

3 実験検証部会

3. 1 今年度の活動方針と活動報告

実験検証部会の目的

伝統的構法の建築物が有する耐震性能を評価するために、構造力学的に未解明な水平構面、柱脚の滑り、通し柱の効果など実大試験体や構造要素試験体を用いた振動台実験や静的実験による検証を行って構造力学的に明らかにする。

継手・仕口接合部や土塗り壁など鉛直構面など各構造要素を対象に各種の実験を行い、構造要素の外力抵抗メカニズムや復元力特性など耐震性能を明らかにし、各構造要素の耐震性能評価法を提案するとともに設計法に適切な簡略化を行うことによって設計式を構築する。

これら一連の実験は、伝統的構法建築物の耐震性能を評価する上で必要不可欠であり、設計法を構築するための基礎に位置づけられるものである。

本部会では、上記の目的を達成するために、以下に示す5つのWGを設け実験や解析を進めた。

以下に各WGと主な検討項目を示す。また、各WGの詳細な検討については、3.2以降に記述する。

(1) 実大震動台実験検討WG

設計法部会・設計WGおよび解析WGとも連携して、昨年度実施した実大振動台実験の結果を踏まえて設計法の構築に反映させる。

1) 昨年度実施した実大振動台実験の実験結果の整理と検討

- ・柱脚の滑りや水平構面の変形が上部構造物の応答に与える影響
- ・1階と2階の耐力バランスによる上部構造物の応答の違い
- ・各部損傷過程の分析

2) 実大振動台実験計画の立案

提案される設計法について、振れ振動、1・2階の耐力・剛性バランスと通し柱の効果、建築物の形状（部分2階建てや下屋付き）、柱脚の滑りを考慮した石場建て、入力地震動として巨大地震動（建築基準法を超える地震動レベル）などの効果を評価できる設計法及び近似応答計算など解析と実験結果の比較検討を目的に実験計画と試験体を設計する。

(2) 振動台実験検証WG

1) 通し柱の仕様が建物の水平力抵抗能力与える影響を実験的に検討

2) 上部構造や礎石の仕様が柱脚部の震動特性に与える影響を実験的に解明

(3) 要素実験WG

1) 水平構面試験

- ・床構面の仕様における復元力特性の検出及び水平力抵抗機構の検討
- ・小屋組構面の仕様における復元力特性の検出及び水平力抵抗機構の検討

2) 継手・仕口

- ・標準的な伝統構法の継ぎ手・仕口接合部の復元力特性の検出及び水平力抵抗機構の検討
- ・継手・仕口の外力抵抗メカニズムの解明

(4) 土壁WG

1) 壁土の材料強度

- ・壁土の材料強度評価法と各地域の壁土の材料強度
- ・壁土の改良法

- ・簡易（原始的）な評価法の開発
- 2) 土塗り壁の耐震性能
 - ・壁土の材料強度と土壁の耐震性能の関連性
 - ・小舞下地仕様、貫仕様、壁厚などと土壁の耐震性能
 - ・土塗り壁の設計法
- 3) 土塗り壁系の耐震性能と設計法
 - ・全面壁、垂れ壁、腰壁、垂れ壁＋腰壁
 - ・各種土塗り壁系の足し合わせによる復元力特性の検証
 - ・土塗り壁系の復元力特性のデータベース作成
- 4) 左官の現状を把握
 - ・アンケート調査・ヒアリング調査による左官仕事の現状、土塗り壁の施工法の把握

（５）データライブラリWG

- 1) データライブラリ
 - ・各実験で得られたデータを格納したデータライブラリの構築
- 2) 設計用データベース
 - ・設計用データの構築

3. 2 実大震動台実験検討

3. 2. 1 2010年度実大震動台実験結果の整理と検討

(1) No. 1、No. 2試験体

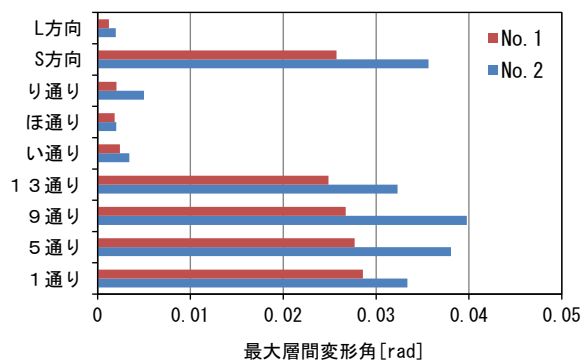
ここではNo.1およびNo.2試験体の実験結果をまとめる。

1) 層間変形角

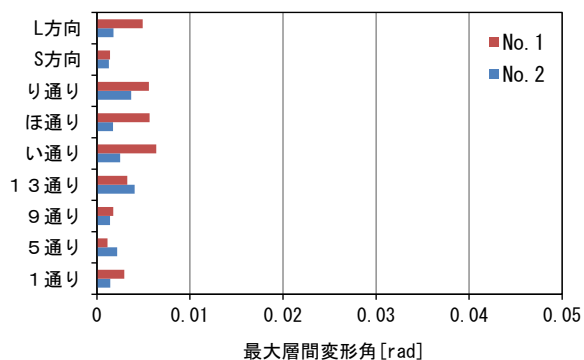
地震波加振における最大層間変形角および最大層間変位の一覧を表3.2.1-1に示す。

表3. 2. 1-1 最大層間変形角および最大層間変位一覧

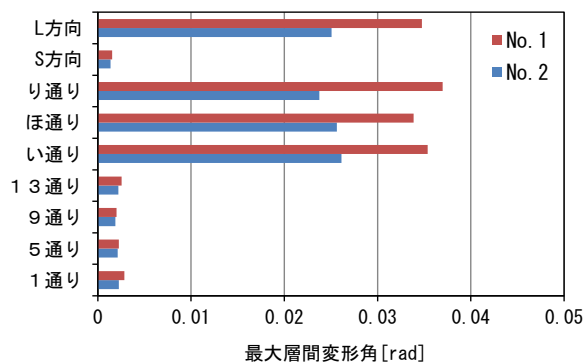
壁配置A BCJ-L2 S方向加振	No.1		No.2	
	最大層間 変形角 [rad]	最大層間 変位[mm]	最大層間 変形角 [rad]	最大層間 変位[mm]
1通り	0.0286	79.23	0.0334	93.26
5通り	0.0277	78.72	0.0381	108.48
9通り	0.0267	75.91	0.0398	113.40
13通り	0.0249	69.23	0.0323	90.16
い通り	0.0024	6.68	0.0034	9.58
ほ通り	0.0018	5.12	0.0020	5.60
り通り	0.0020	5.68	0.0050	13.98
S方向	0.0257	72.34	0.0356	100.65
L方向	0.0012	3.43	0.0020	5.50
壁配置B BCJ-L2 L方向加振	No.1		No.2	
	最大層間 変形角 [rad]	最大層間 変位[mm]	最大層間 変形角 [rad]	最大層間 変位[mm]
1通り	0.0028	7.89	0.0023	6.33
5通り	0.0023	6.46	0.0021	6.09
9通り	0.0020	5.69	0.0019	5.38
13通り	0.0026	7.10	0.0022	6.20
い通り	0.0354	98.51	0.0261	72.99
ほ通り	0.0339	93.82	0.0256	71.22
り通り	0.0370	102.57	0.0238	66.33
S方向	0.0015	4.37	0.0014	3.89
L方向	0.0347	96.45	0.0251	69.84
壁配置C JMA Kobe S方向加振	No.1		No.2	
	最大層間 変形角 [rad]	最大層間 変位[mm]	最大層間 変形角 [rad]	最大層間 変位[mm]
1通り	0.0596	165.18	0.0551	153.94
5通り	0.0627	178.42	0.0612	174.50
9通り	0.0635	180.25	0.0630	179.52
13通り	0.0579	161.21	0.0570	159.10
い通り	0.0058	16.18	0.0069	19.34
ほ通り	0.0030	8.23	0.0059	16.35
り通り	0.0054	14.90	0.0043	12.04
S方向	0.0595	167.33	0.0587	165.63
L方向	0.0020	5.42	0.0043	11.94
壁配置D BCJ-L1 L方向加振	No.1		No.2	
	最大層間 変形角 [rad]	最大層間 変位[mm]	最大層間 変形角 [rad]	最大層間 変位[mm]
1通り	0.0030	8.18	0.0014	4.02
5通り	0.0011	3.27	0.0022	6.23
9通り	0.0018	5.00	0.0014	4.06
13通り	0.0033	9.13	0.0041	11.35
い通り	0.0064	17.75	0.0025	7.02
ほ通り	0.0057	15.71	0.0017	4.82
り通り	0.0056	15.50	0.0037	10.31
S方向	0.0014	3.96	0.0013	3.64
L方向	0.0049	13.71	0.0018	5.02
壁配置D BCJ-L2 L方向加振	No.1		No.2	
	最大層間 変形角 [rad]	最大層間 変位[mm]	最大層間 変形角 [rad]	最大層間 変位[mm]
1通り	0.0019	5.26	0.0026	7.27
5通り	0.0024	6.73	0.0040	11.30
9通り	0.0015	4.19	0.0040	11.54
13通り	0.0024	6.72	0.0032	8.80
い通り	0.0347	96.69	0.0162	45.14
ほ通り	0.0357	98.84	0.0216	59.88
り通り	0.0337	93.40	0.0166	46.36
S方向	0.0015	4.31	0.0026	7.39
L方向	0.0342	94.95	0.0176	49.16
壁配置E JMA Kobe 3方向加振	No.1		No.2	
	最大層間 変形角 [rad]	最大層間 変位[mm]	最大層間 変形角 [rad]	最大層間 変位[mm]
1通り	0.0379	104.93	0.0422	117.92
5通り	0.0361	102.67	0.0477	135.88
9通り	0.0349	99.10	0.0468	133.38
13通り	0.0311	86.66	0.0401	111.78
い通り	0.0194	53.94	0.0250	69.90
ほ通り	0.0282	78.20	0.0325	90.20
り通り	0.0252	70.04	0.0267	74.53
S方向	0.0346	97.37	0.0440	124.15
L方向	0.0238	66.06	0.0270	75.29



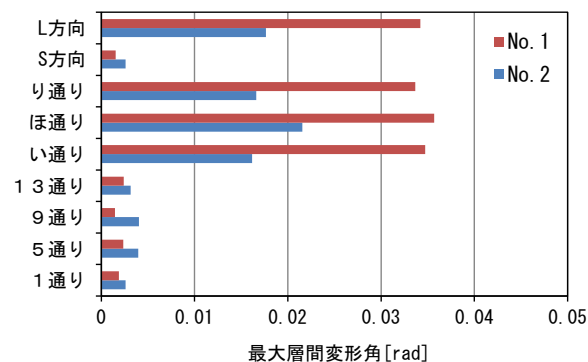
壁配置A・BCJ-L2・S方向加振



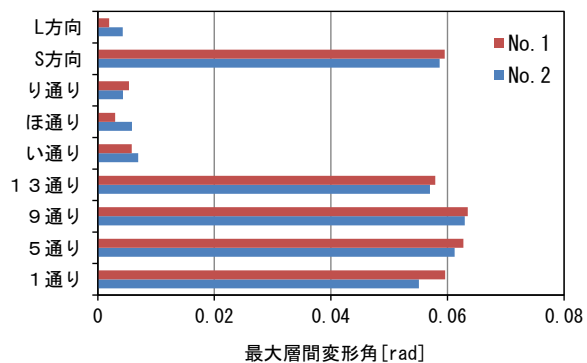
壁配置D・BCJ-L1・L方向加振



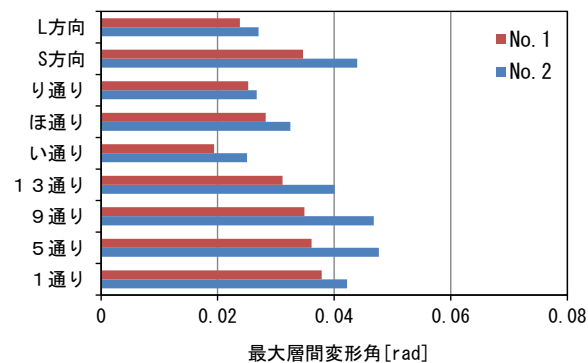
壁配置B・BCJ-L2・L方向加振



壁配置D・BCJ-L2・L方向加振



壁配置C・JMA Kobe・S方向加振



壁配置E・JMA Kobe・3方向加振

図3.2.1-1 最大層間変形角のNo. 1、No. 2比較

構面ごとの層間変形角

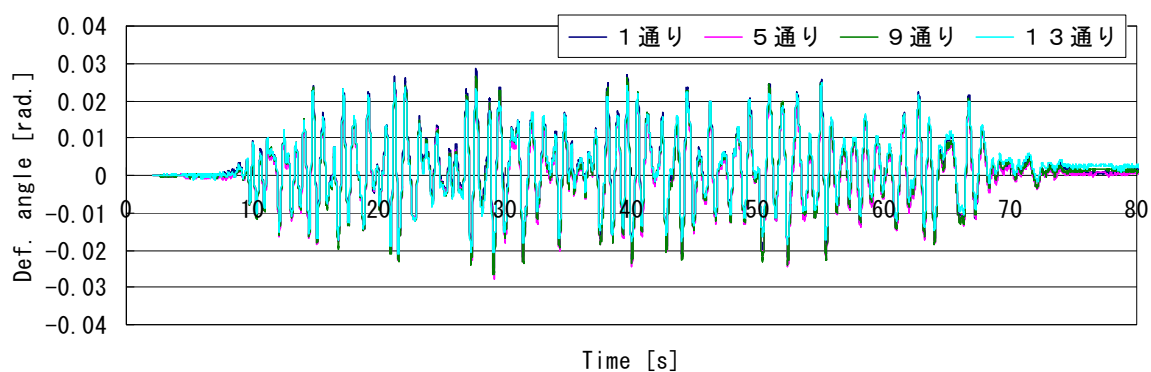


図3. 2. 1-2 層間変形角の時刻歴（壁配置A・BCJ-L2・S方向加振・No. 1）

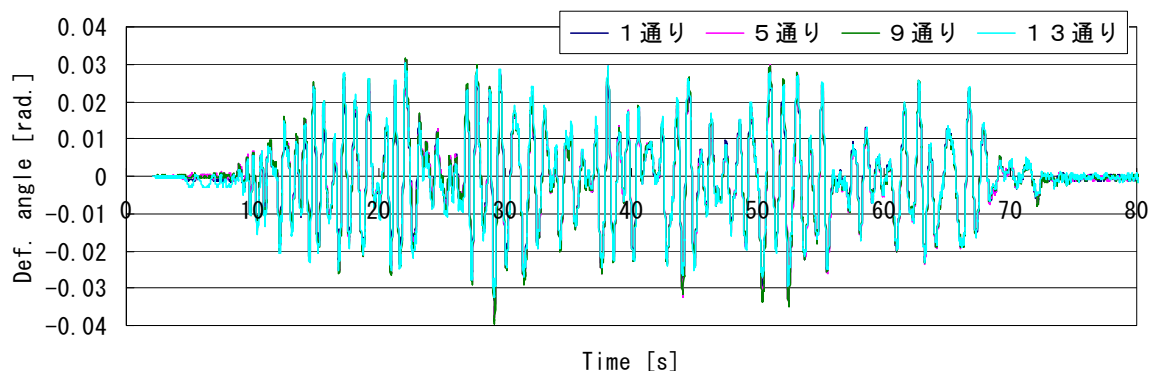


図3. 2. 1-3 層間変形角の時刻歴（壁配置A・BCJ-L2・S方向加振・No. 2）

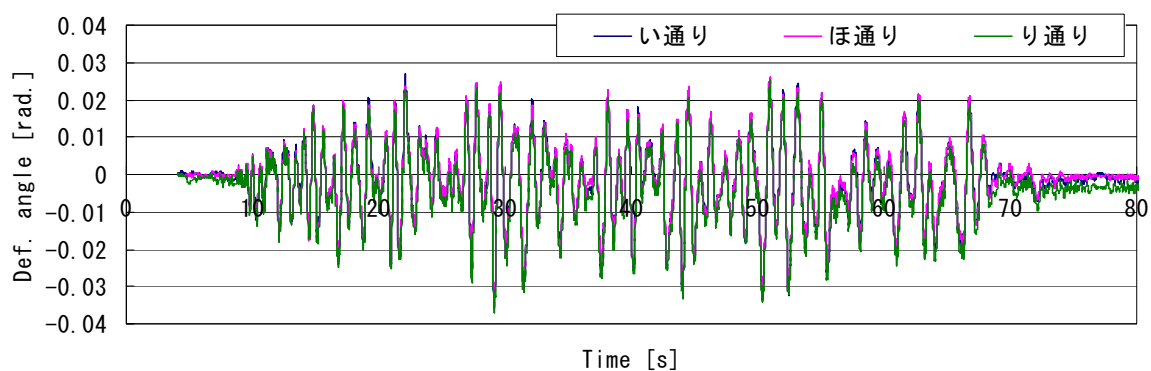


図3. 2. 1-4 層間変形角の時刻歴（壁配置B・BCJ-L2・L方向加振・No. 1）

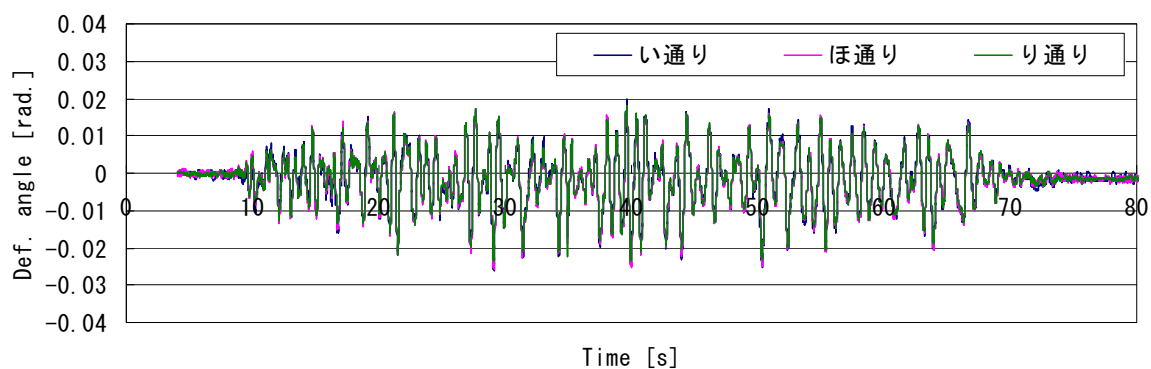


図3. 2. 1-5 層間変形角の時刻歴（壁配置B・BCJ-L2・L方向加振・No. 2）

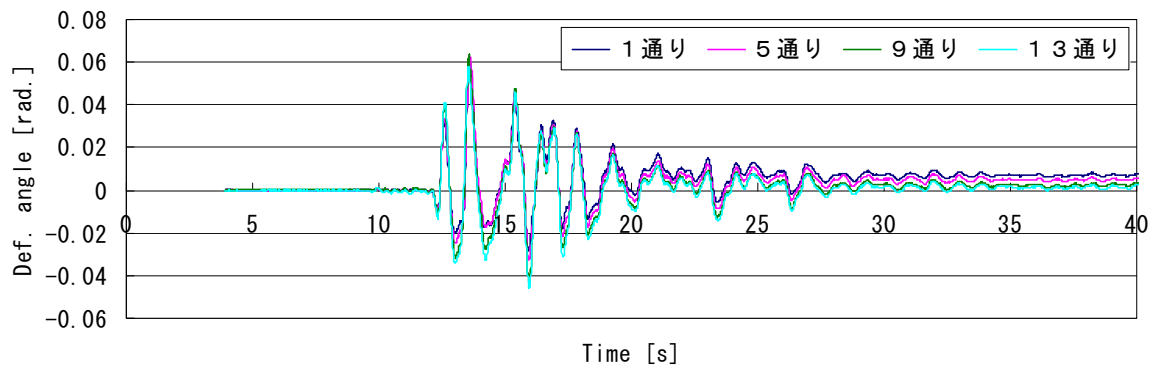


図3. 2. 1-6 層間変形角の時刻歴（壁配置C・JMA Kobe・S方向加振・No. 1）

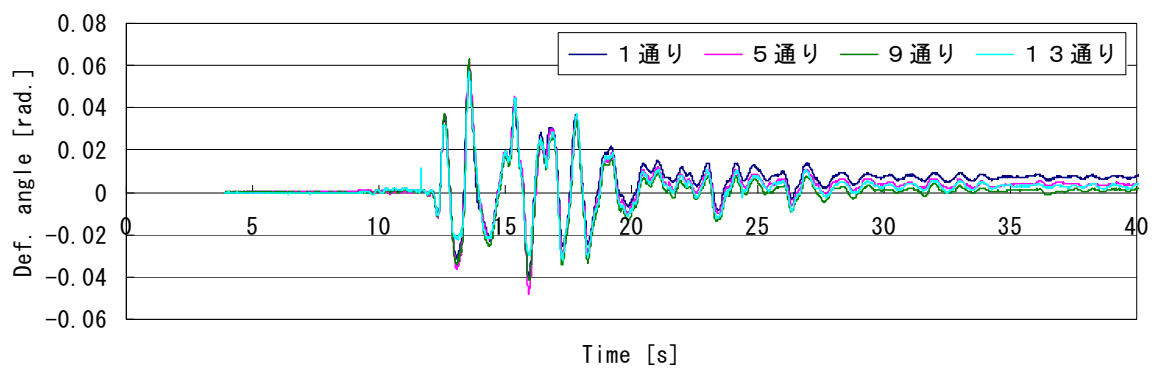


図3. 2. 1-7 層間変形角の時刻歴（壁配置C・JMA Kobe・S方向加振・No. 2）

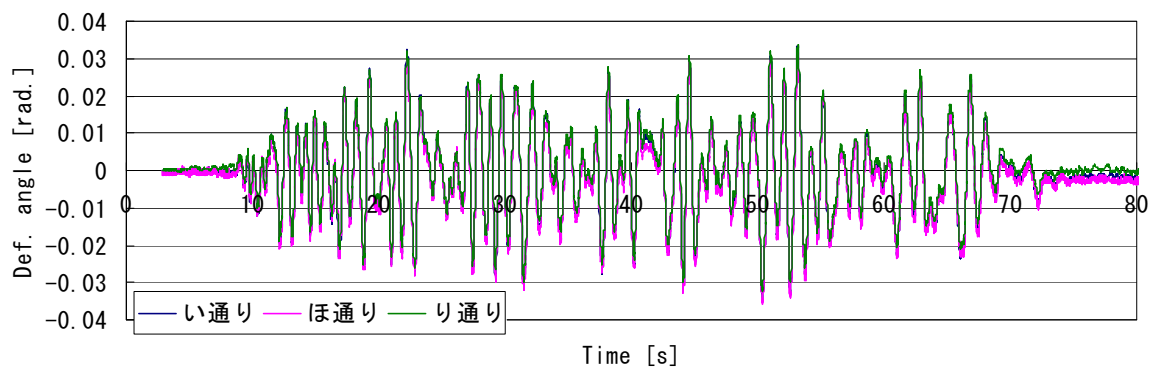


図3. 2. 1-8 層間変形角の時刻歴（壁配置D・BCJ-L2・L方向加振・No. 1）

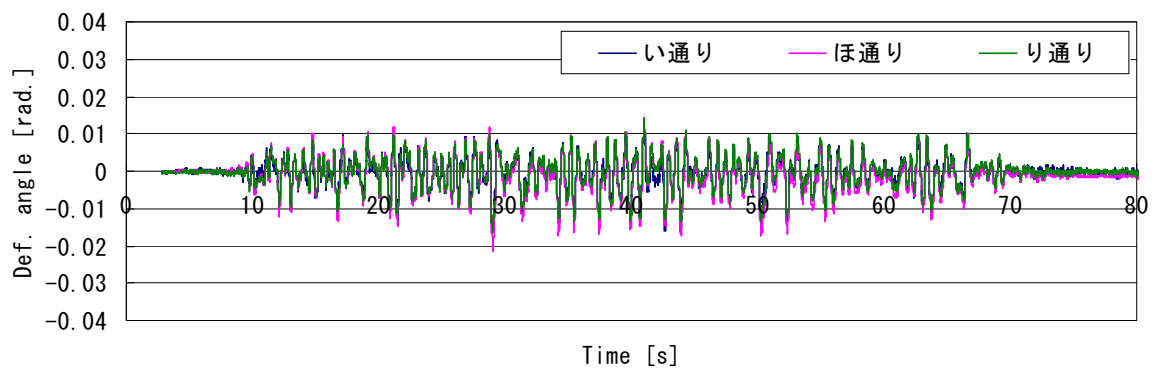


図3. 2. 1-9 層間変形角の時刻歴（壁配置D・BCJ-L2・L方向加振・No. 2）

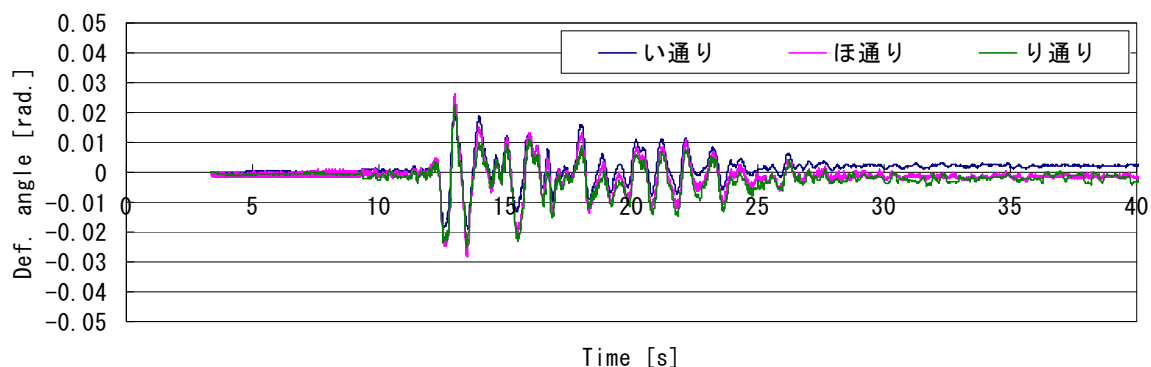
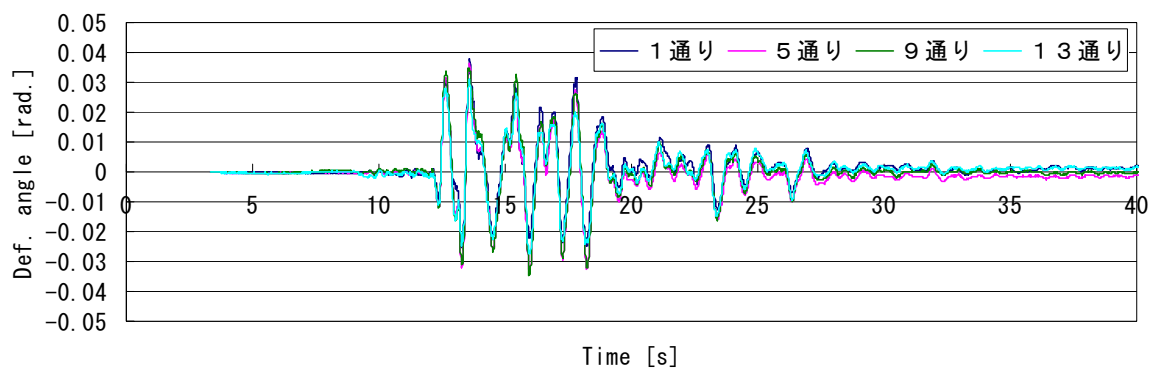


図3. 2. 1-10 層間変形角の時刻歴（壁配置E・JMA Kobe・3方向加振・No. 1）

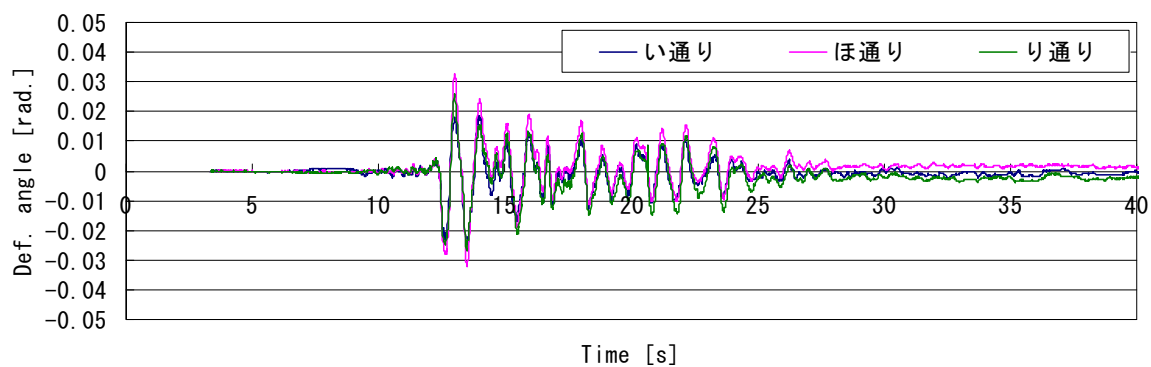
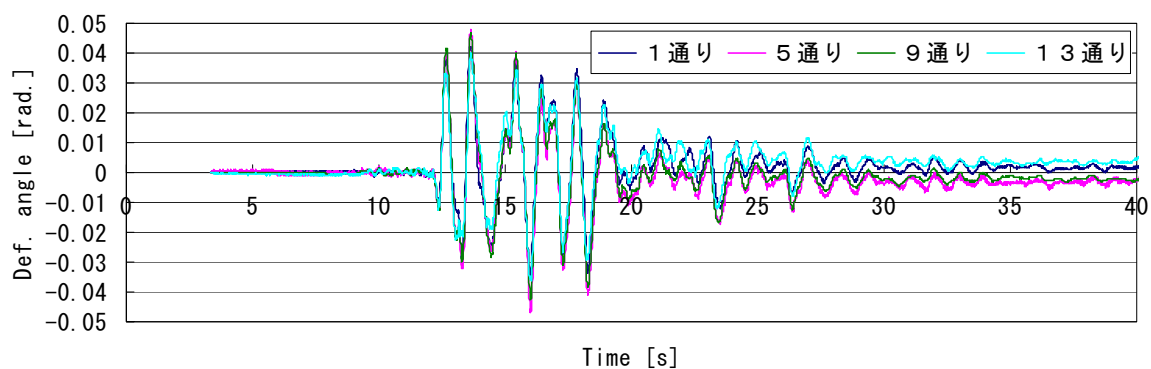
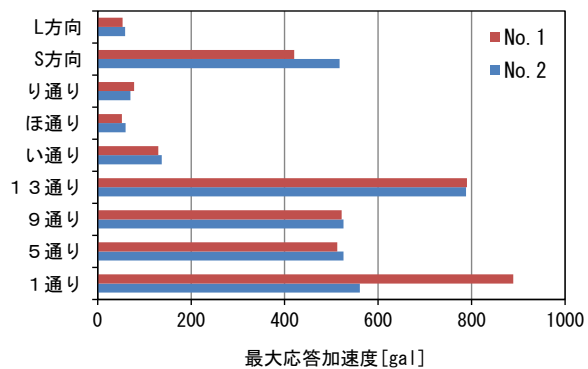


図3. 2. 1-11 層間変形角の時刻歴（壁配置E・JMA Kobe・3方向加振・No. 2）

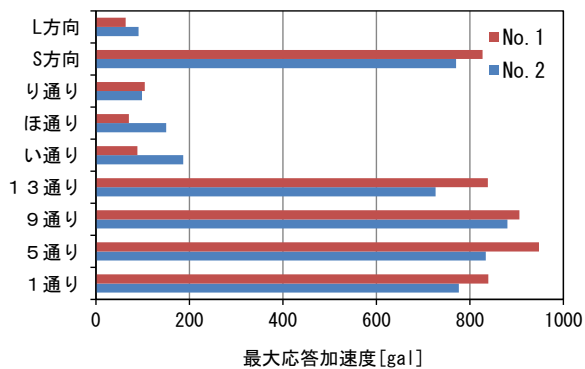
2) 応答加速度

表3. 2. 1-2 最大応答加速度一覧（単位：gal）

壁配置A BCJ-L2 S方向加振	振動台	No.1		No.2	
		1F床	1F桁	1F床	1F桁
1通り		889	839	561	776
5通り		513	948	526	834
9通り		522	906	526	880
13通り		790	838	788	727
い通り		130	89	137	187
ほ通り		52	71	60	150
り通り		78	105	70	98
S方向	498	420	827	518	770
L方向	53	53	64	59	91
壁配置B BCJ-L2 L方向加振	振動台	No.1		No.2	
		1F床	1F桁	1F床	1F桁
1通り		44	65	77	69
5通り		50	67	43	65
9通り		66	70	48	78
13通り		46	84	53	69
い通り		623	764	593	740
ほ通り		624	748	543	758
り通り		569	710	529	786
S方向	29	38	53	35	57
L方向	500	560	707	495	749
壁配置C JMA Kobe S方向加振	振動台	No.1		No.2	
		1F床	1F桁	1F床	1F桁
1通り		1601	1059	1156	856
5通り		1396	1309	1064	1085
9通り		876	1037	1066	1209
13通り		1094	1050	2044	1105
い通り		193	217	803	276
ほ通り		120	89	243	149
り通り		156	170	223	174
S方向	939	1127	1074	862	1028
L方向	70	108	74	295	130
壁配置D BCJ-L1 L方向加振	振動台	No.1		No.2	
		1F床	1F桁	1F床	1F桁
1通り		8	13	9	21
5通り		6	10	9	13
9通り		7	10	9	17
13通り		8	14	10	22
い通り		112	147	106	143
ほ通り		111	145	105	164
り通り		109	143	100	152
S方向	5	6	8	8	12
L方向	101	110	145	103	152
壁配置D BCJ-L2 L方向加振	振動台	No.1		No.2	
		1F床	1F桁	1F床	1F桁
1通り		66	64	88	127
5通り		62	71	44	130
9通り		38	66	57	100
13通り		57	77	122	119
い通り		629	717	947	683
ほ通り		555	688	948	867
り通り		594	744	615	803
S方向	31	32	52	40	47
L方向	498	550	709	613	695
壁配置E JMA Kobe 3方向加振	振動台	No.1		No.2	
		1F床	1F桁	1F床	1F桁
1通り		1236	707	1261	767
5通り		1780	766	1337	893
9通り		2152	743	1324	893
13通り		1343	711	2087	744
い通り		749	550	759	650
ほ通り		1184	561	956	691
り通り		1491	700	931	722
S方向	896	1383	598	1127	776
L方向	646	1056	568	755	601

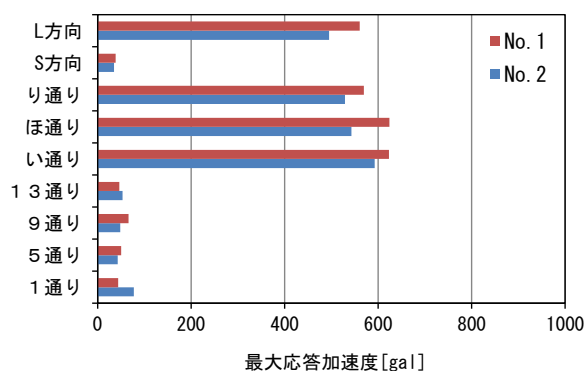


1F床レベル

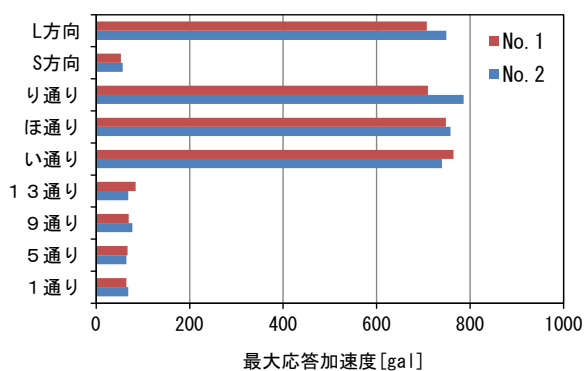


1F桁レベル

図3. 2. 1-12 最大応答加速度 (壁配置A・BGJ-L2・S方向加振)

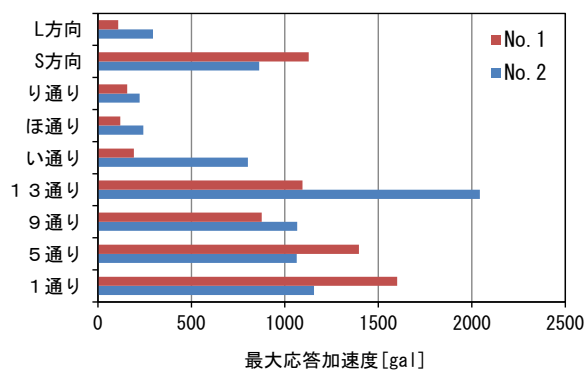


1F床レベル

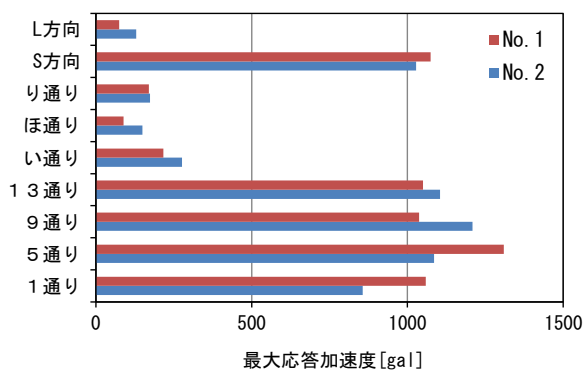


1F桁レベル

図3. 2. 1-13 最大応答加速度 (壁配置B・BGJ-L2・L方向加振)

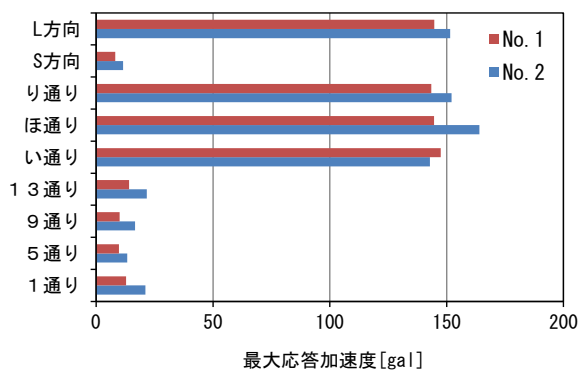
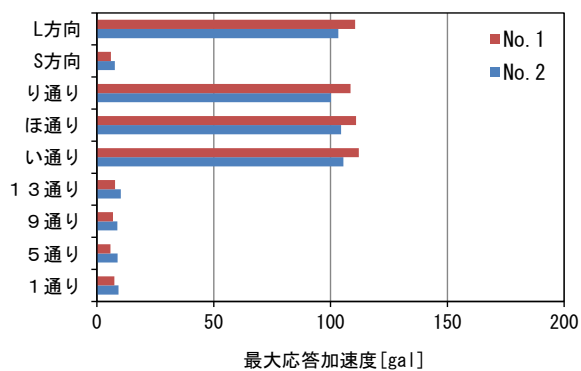


1F床レベル

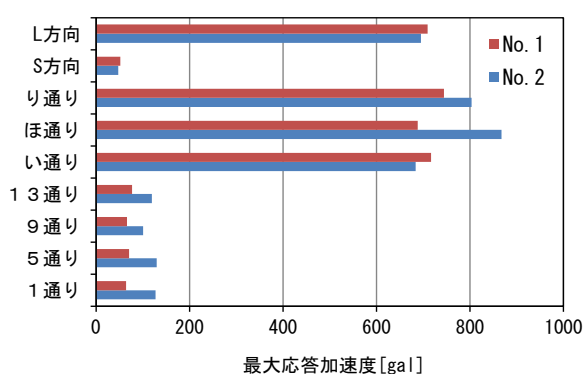
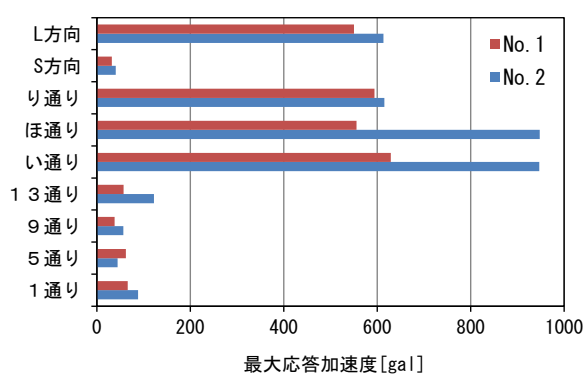


1F桁レベル

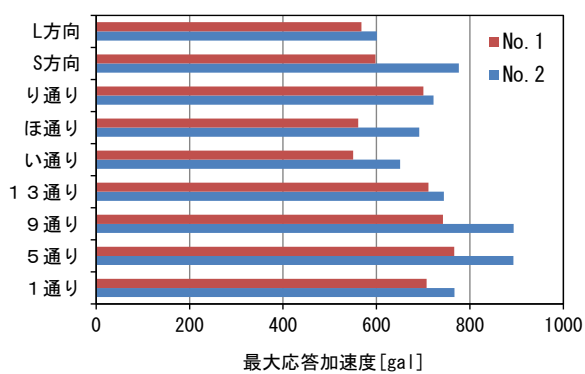
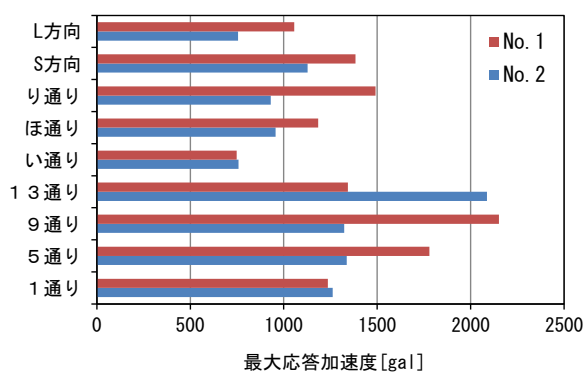
図3. 2. 1-14 最大応答加速度 (壁配置C・JMA Kobe・S方向加振)



1F床レベル
1F桁レベル
図3. 2. 1-15 最大応答加速度 (壁配置D・BCJ-L1・L方向加振)



1F床レベル
1F桁レベル
図3. 2. 1-16 最大応答加速度 (壁配置D・BCJ-L2・L方向加振)



1F床レベル
1F桁レベル
図3. 2. 1-17 最大応答加速度 (壁配置E・JMA Kobe・3方向加振)

3) 層せん断力

表3.2.1-3 質点系重量

加振 コード	試験体No.1		試験体No.2	
	M0 [kN]	M1 [kN]	M0 [kN]	M1 [kN]
1A2B2S	78.67	104.07	78.67	104.07
1B2B2L				
1C2KOS				
1D2B1L	36.67	104.07	78.67	104.07
1D3B2L				
1E2KO3				

層せん断力：長手方向 AL0701、AL0705、AL0709の平均値

短手方向 AS0105、AS0505、AS0705、AS0905、AS1305の平均値

FS0：S方向柱脚下層せん断力、FS1：S方向1層層せん断力

FL0：L方向柱脚下層せん断力、FL1：L方向1層層せん断力

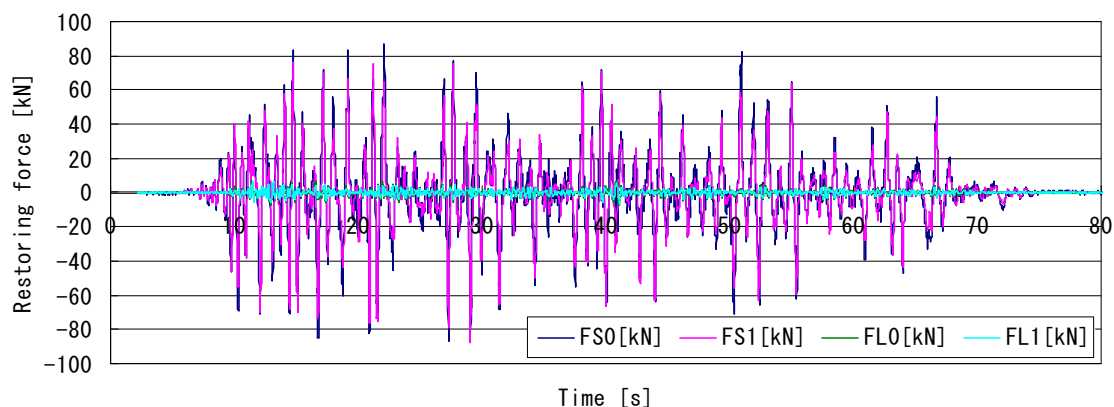


図3.2.1-18 層せん断力の時刻歴（壁配置A・BCJ-L2・S方向加振・No.1）

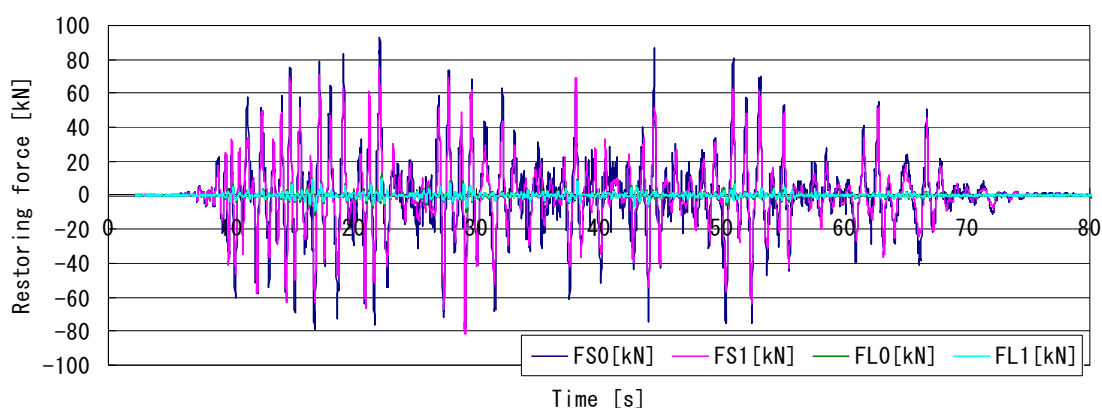


図3.2.1-19 層せん断力の時刻歴（壁配置A・BCJ-L2・S方向加振・No.2）

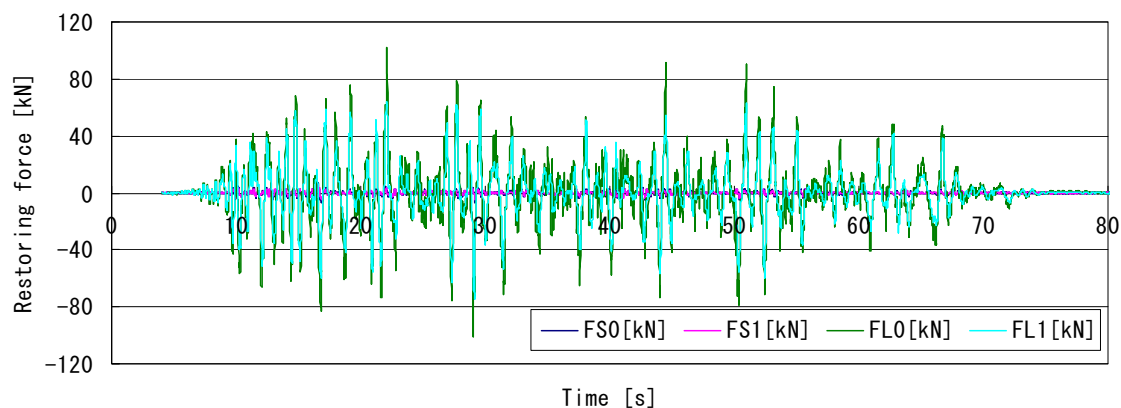


図3. 2. 1-20 層せん断力の時刻歴（壁配置B・BCJ-L2・L方向加振・No. 1）

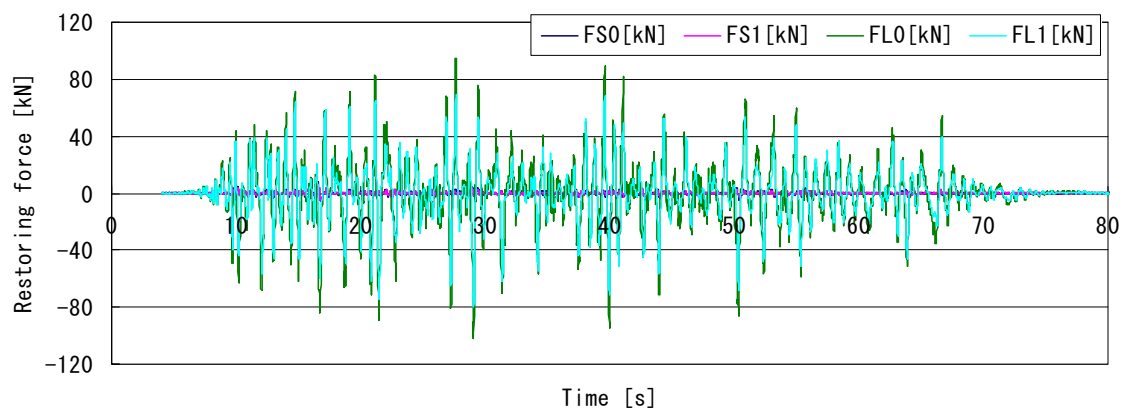


図3. 2. 1-21 層せん断力の時刻歴（壁配置B・BCJ-L2・L方向加振・No. 2）

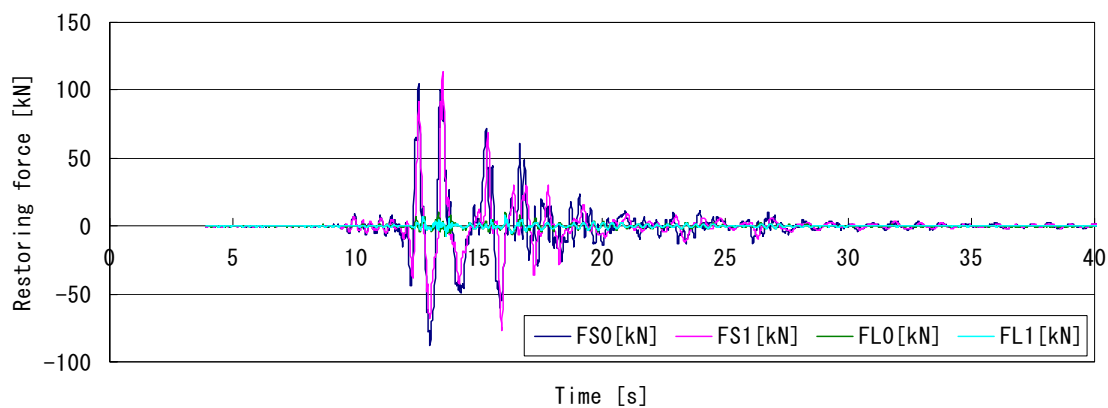


図3. 2. 1-22 層せん断力の時刻歴（壁配置C・JMA Kobe・S方向加振・No. 1）

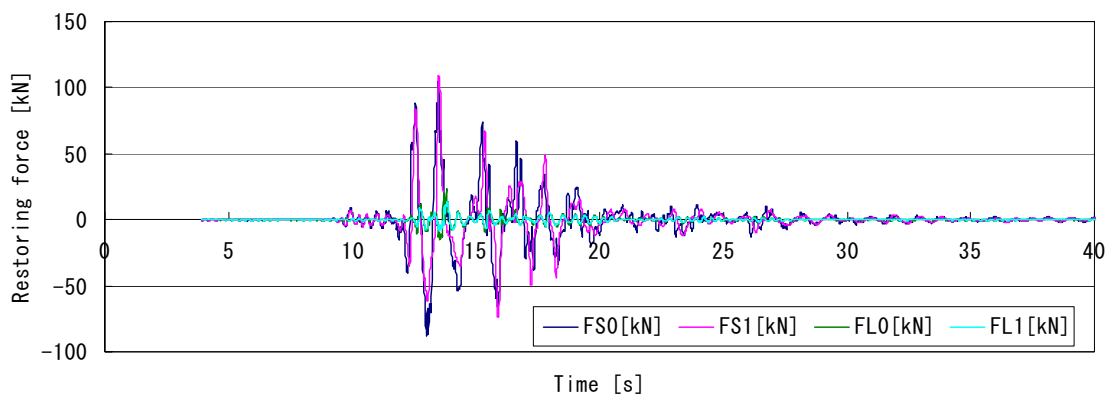


図3. 2. 1-23 層せん断力の時刻歴（壁配置C・JMA Kobe・S方向加振・No. 2）

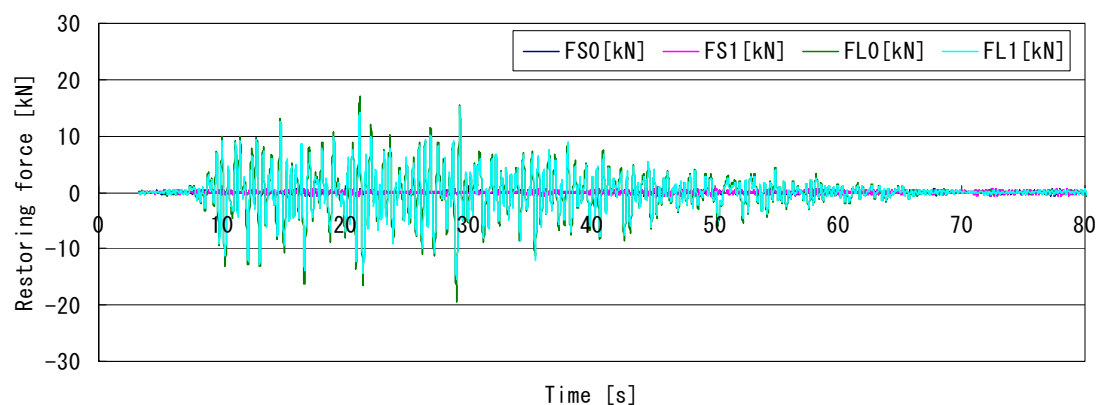


図3.2.1-24 層せん断力の時刻歴（壁配置D・BCJ-L1・L方向加振・No. 1）

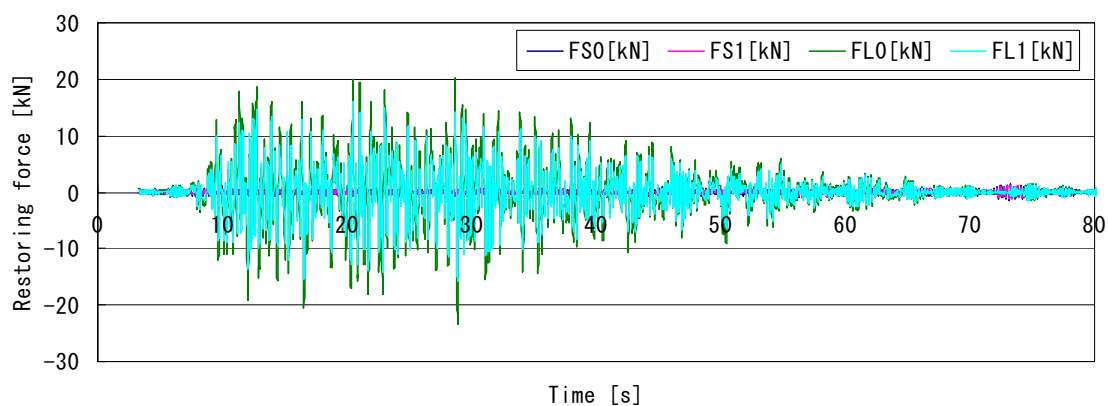


図3.2.1-25 層せん断力の時刻歴（壁配置D・BCJ-L1・L方向加振・No. 2）

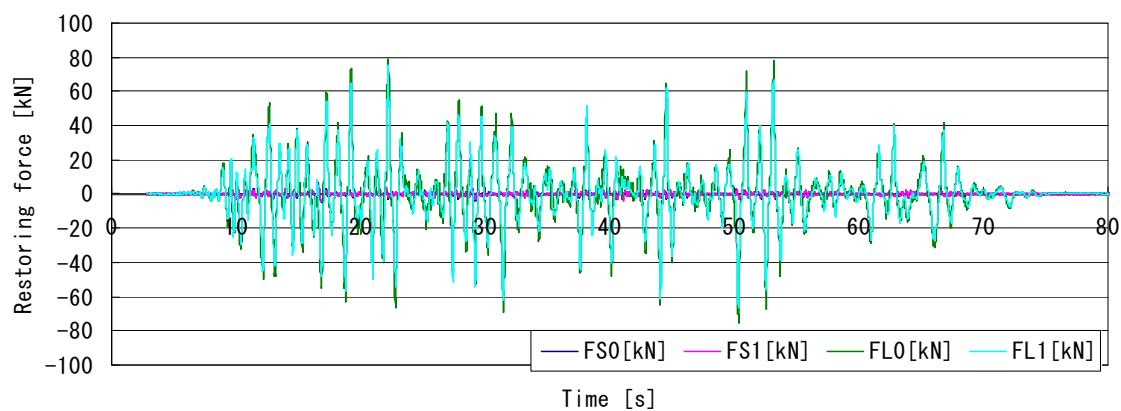


図3.2.1-26 層せん断力の時刻歴（壁配置D・BCJ-L2・L方向加振・No. 1）

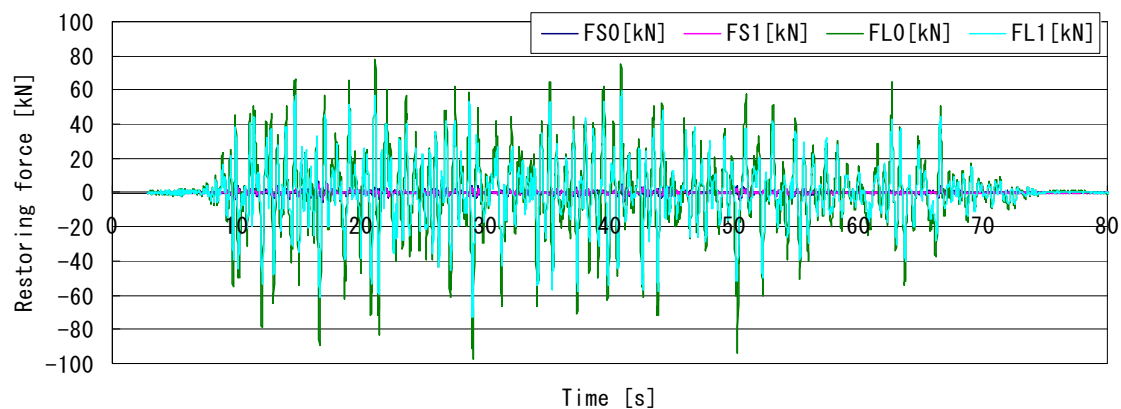


図3.2.1-27 層せん断力の時刻歴（壁配置D・BCJ-L2・L方向加振・No. 2）

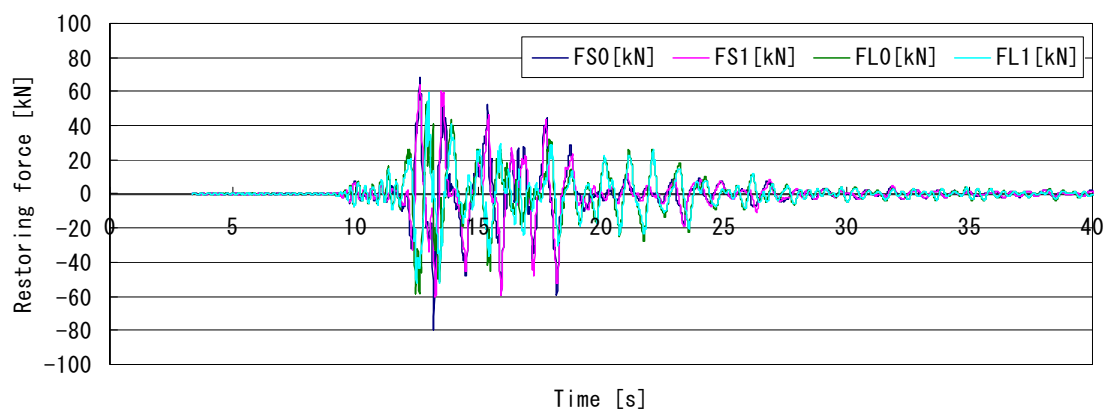


図3. 2. 1-28 層せん断力の時刻歴（壁配置E・JMA Kobe・3方向加振・No. 1）

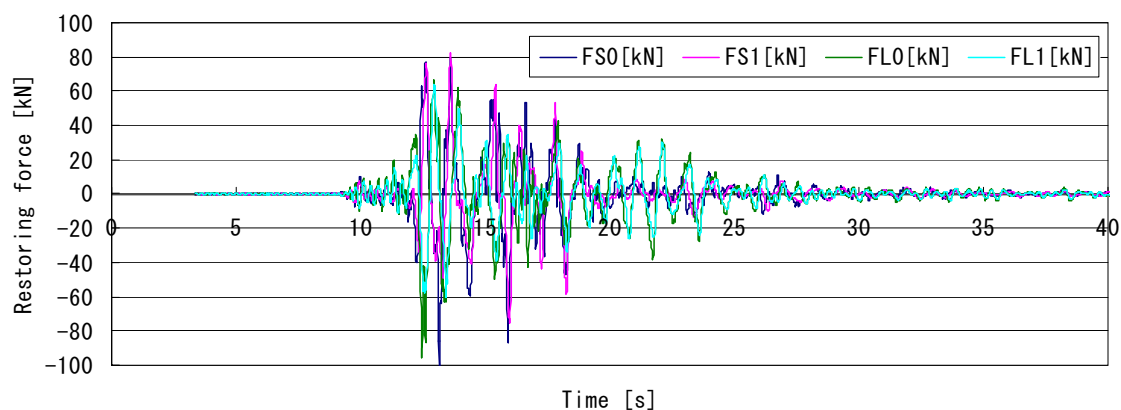


図3. 2. 1-29 層せん断力の時刻歴（壁配置E・JMA Kobe・3方向加振・No. 2）

M_0 が無いと0層せん断力に対する、 f_0 の影響が小さくなる。壁配置Eでさほど差が見られないのは、No.1試験体の0層応答加速度が特に大きいため。その他の条件では0層の加速度応答倍率はおおよそ1前後になる。一方、1層の加速度応答倍率は M_0 の有無に関わらず塑性化とともに低下する。

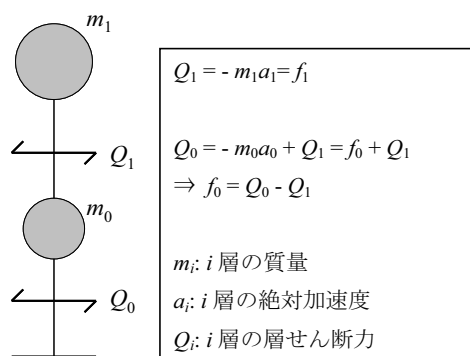


図3. 2. 1-30 m_0 を考慮した質点系

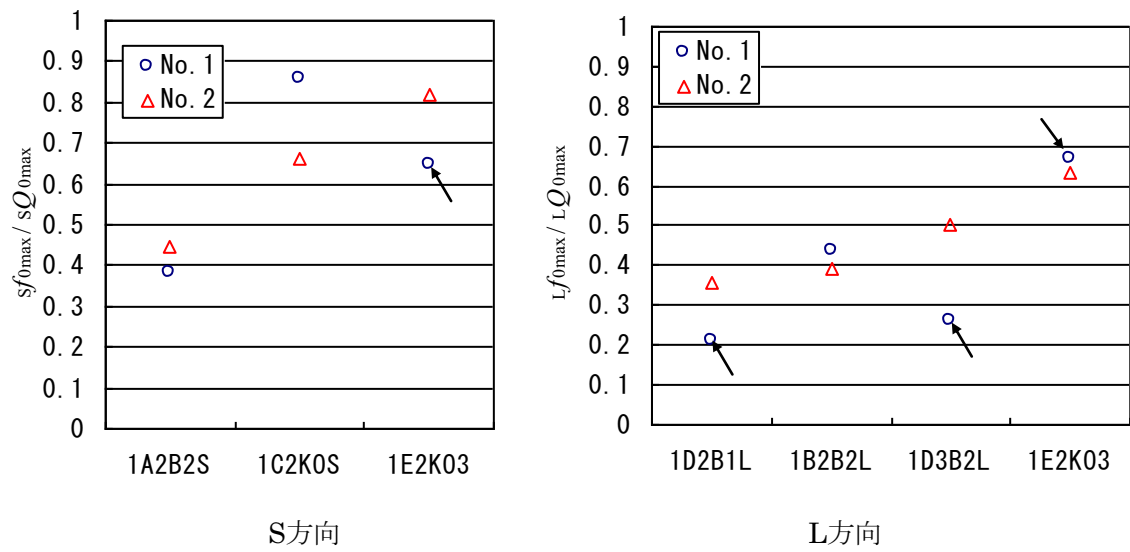


図3. 2. 1-31 Q_0 の最大値に対する f_0 の最大値の比（矢印は m_0 重り無しを表す）

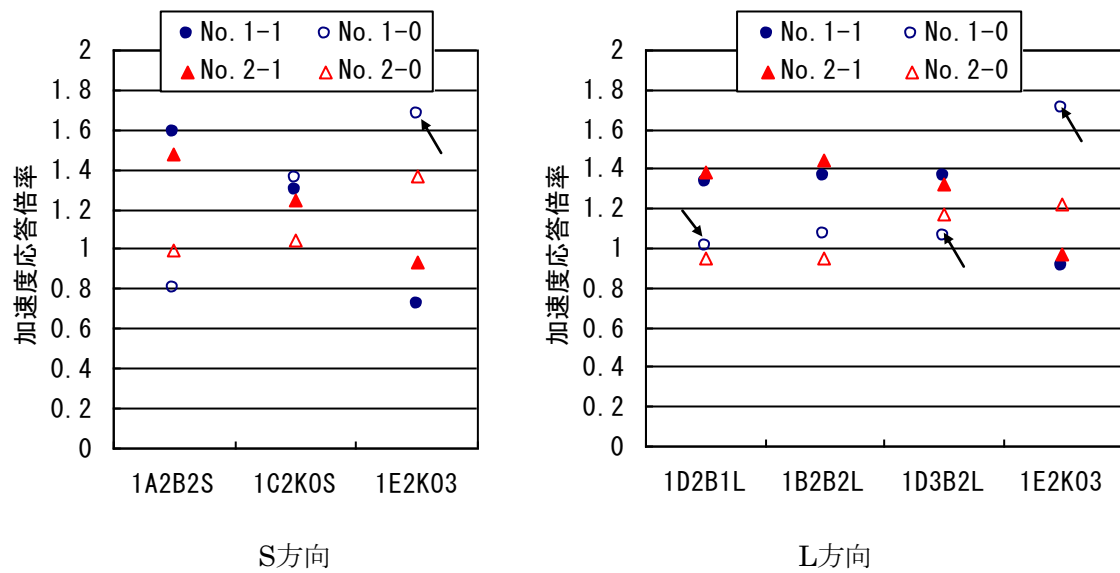


図3. 2. 1-32 各質点の加速度応答倍率（矢印は m_0 重り無しを表す）

4) 復元力特性

層間変形角:画像計測から求めた構面ごとの変形角の平均値 (長手3構面、短手4構面)

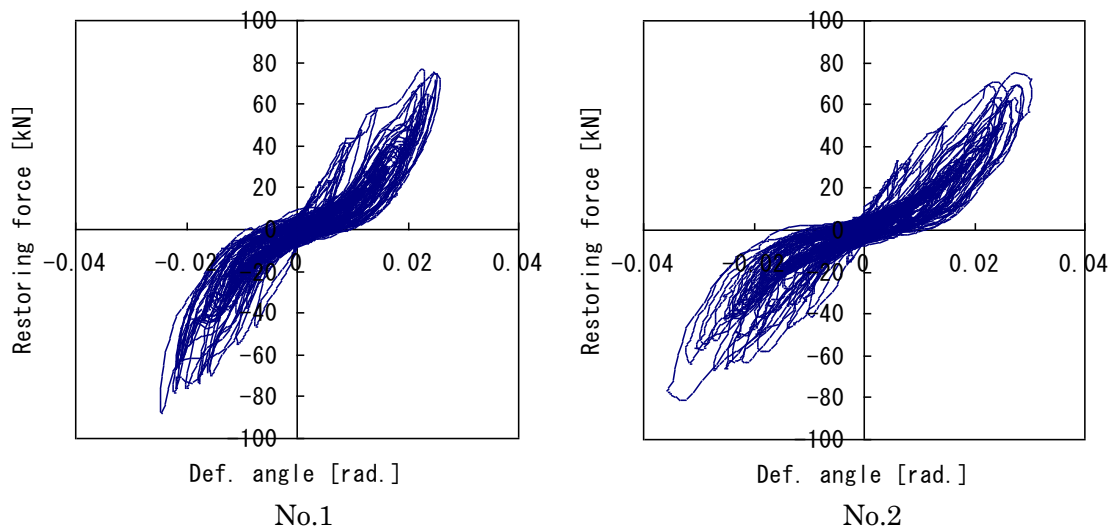


図3. 2. 1-33 S方向層せん断力－層間変形角関係 (壁配置A・BCJ-L2・S方向加振)

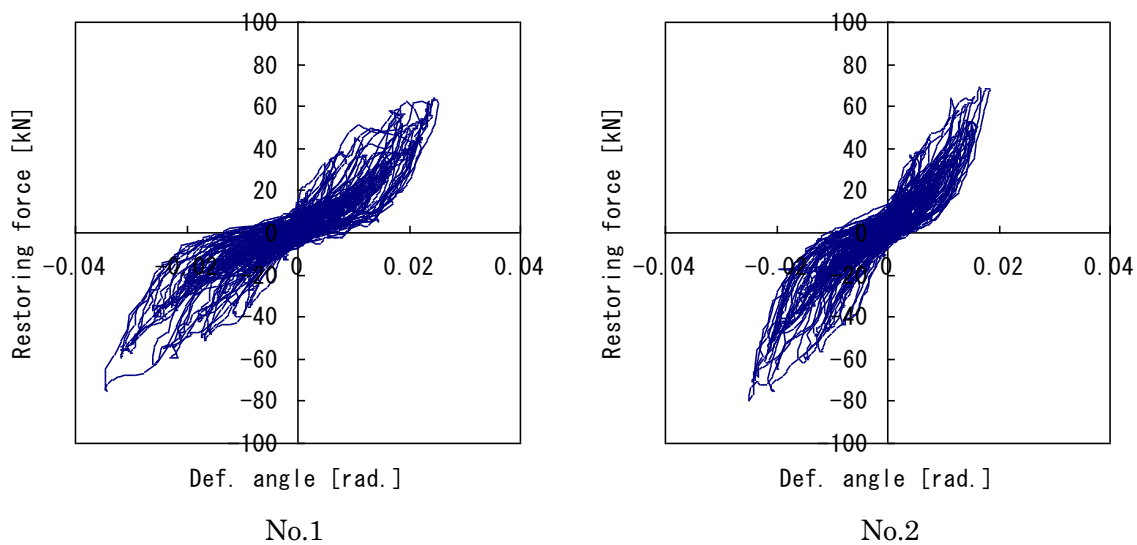
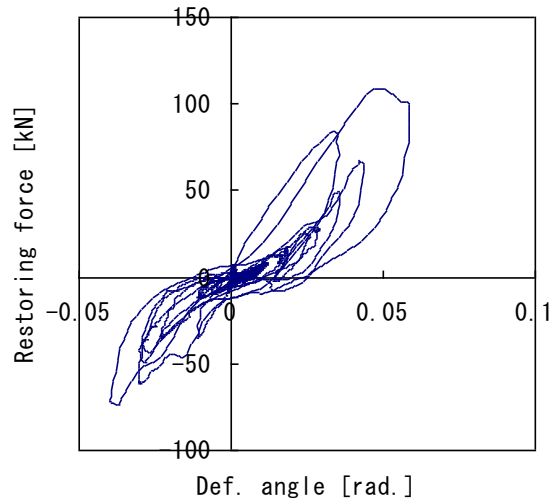
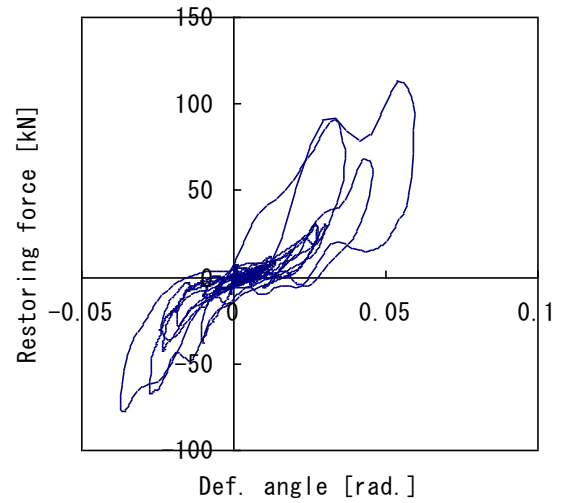


図3. 2. 1-34 L方向層せん断力－層間変形角関係 (壁配置B・BCJ-L2・L方向加振)

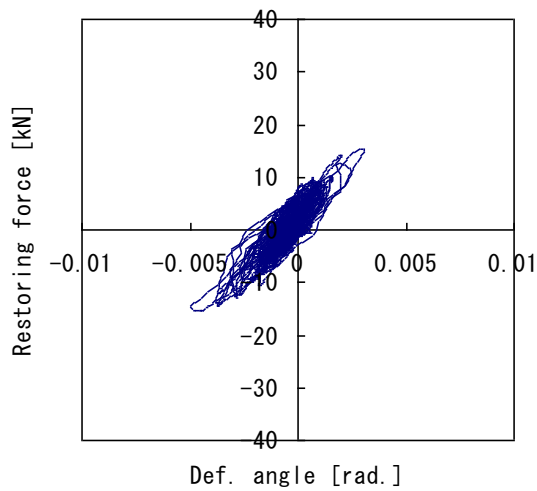


No.1

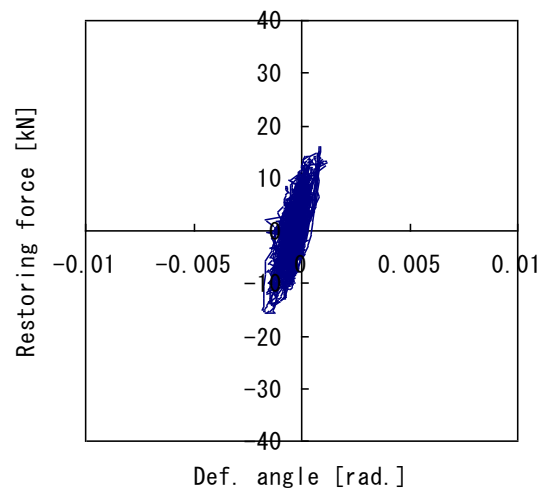


No.2

図3. 2. 1-35 S方向層せん断力一層間変形角関係 (壁配置C・JMA Kobe・S方向加振)

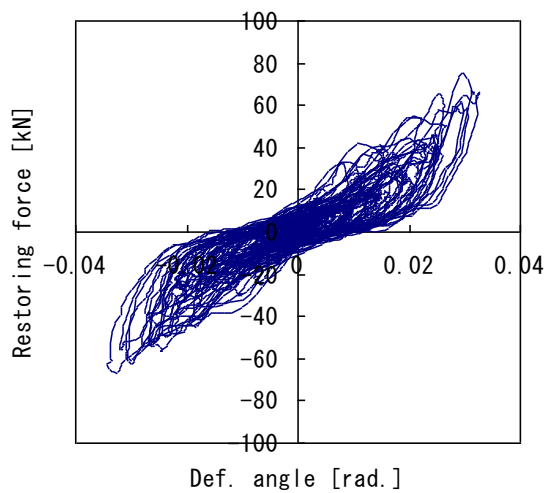


No.1

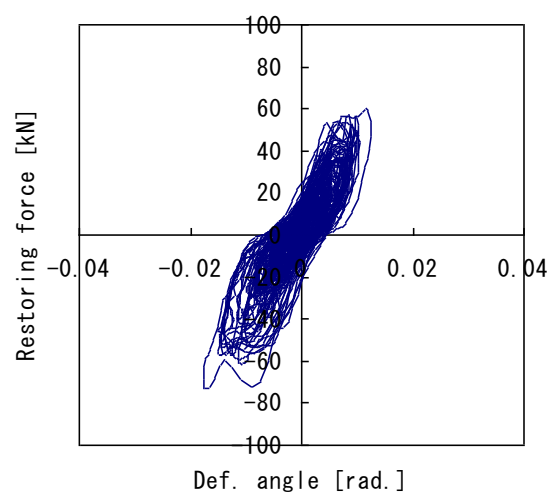


No.2

図3. 2. 1-36 L方向層せん断力一層間変形角関係 (壁配置D・BCJ-L1・L方向加振・No. 1)

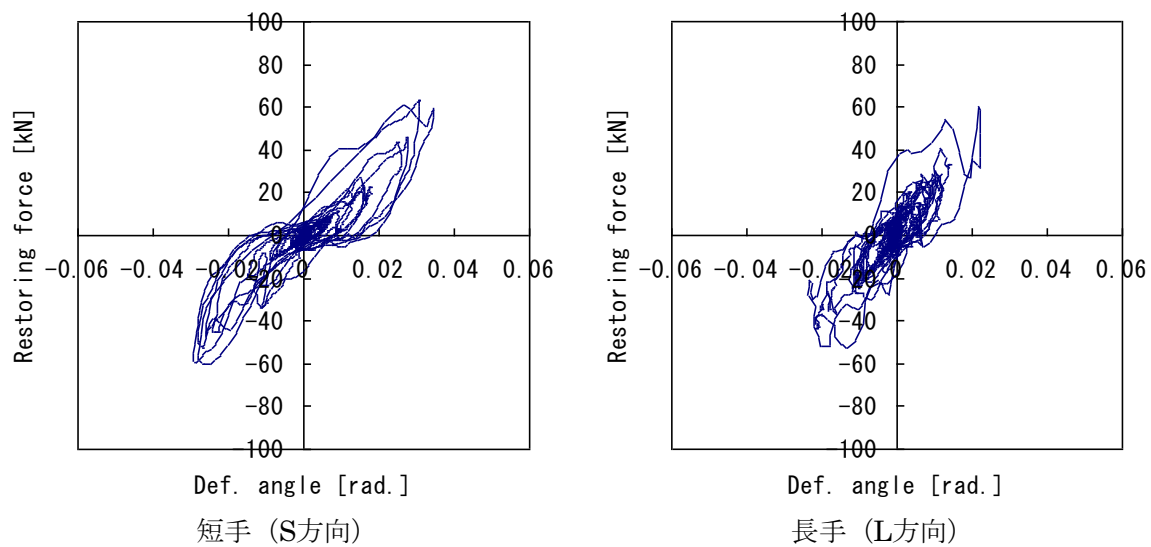


No.1

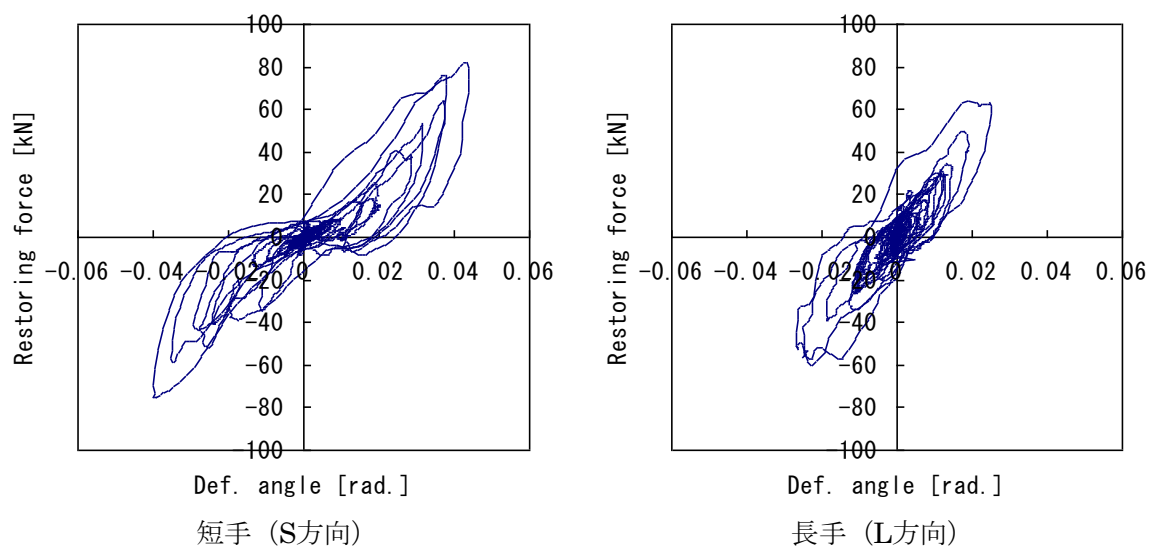


No.2

図3. 2. 1-37 L方向層せん断力一層間変形角関係 (壁配置D・BCJ-L2・L方向加振・No. 1)



No.1



No.2

図3. 2. 1-38 層せん断力一層間変形角関係 (壁配置E・JMA Kobe・3方向加振)

5) 柱脚の水平移動

表3. 2. 1-4

	短辺方向					長辺方向				入力	壁配置 長一短	1階の 錘
	(1)	(5)	(9)	(13)	平均	(い)	(ほ)	(り)	平均			
壁配置A1	44.1	31.7	31.7	48.5	39.0	15.5	3.7	1.0	6.7	BCJ-L2(短)	8P-8P	有り
壁配置A2	13.7	8.7	13.4	32.2	17.0	5.9	1.6	2.9	3.5	BCJ-L2(短)	8P-6P	有り
壁配置B1	1.8	1.7	1.3	0.6	1.4	8.6	8.9	15.8	11.1	BCJ-L2(長)	6P-8P	有り
壁配置B2	1.3	1.9	1.1	1.6	1.5	11.6	19.6	11.5	14.2	BCJ-L2(長)	9P-8P	有り
壁配置C1	98.1	78.4	57.2	95.4	82.3	20.6	12.5	18.4	17.1	JMA神戸 NS(短)	8P-6P	有り
壁配置C2	49.1	54.5	103.9	134.9	85.6	54.9	25.9	21.2	34.0	JMA神戸 NS(短)	8P-6P	有り
壁配置D1	2.2	5.8	0.8	1.9	2.7	9.2	9.8	13.0	10.7	BCJ-L2(長)	6P-8P	なし
壁配置D2	6.6	1.5	2.8	14.3	6.3	26.6	51.5	32.6	36.9	BCJ-L2(長)	14P-6P	有り
壁配置E1	132.6	125.5	120.0	145.3	130.9	134.5	127.4	134.1	132.0	JMA神戸 3方向	8P-6P	なし
壁配置E2	184.5	157.0	159.1	169.6	167.6	164.4	153.9	127.0	148.5	JMA神戸 3方向	8P-6P	有り

加振A（短辺加振方向の壁量が異なる場合）

短辺方向に、極めて稀な地震動（BCJ-L2）を入力した結果、壁量が多い試験体A1（耐力壁8P）は試験体A2（耐力壁6P）に比べて柱脚の滑り量が大きくなり、上部構造の変形は小さくなった。

試験体A1 48.5mm（X13Y09）短辺方向

試験体A2 32.2mm（X13Y05）短辺方向

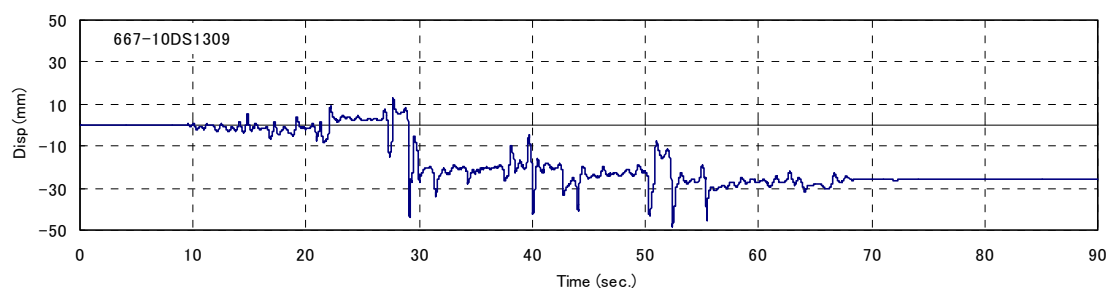


図3. 2. 1-39 試験体A1（最大値12.83mm、最小値-48.49mm）

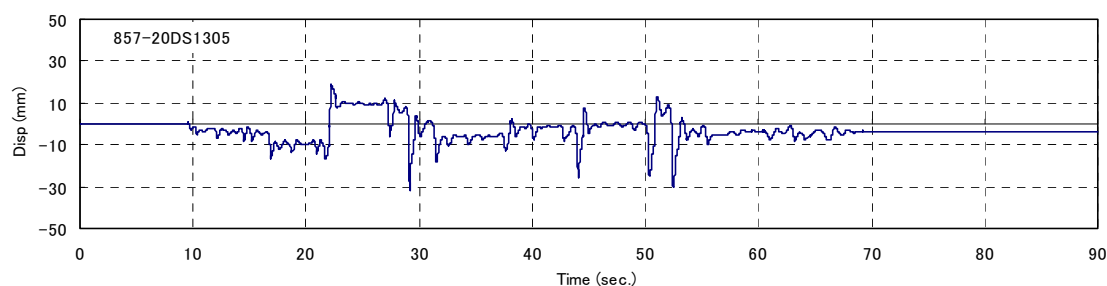


図3. 2. 1-40 試験体A2（最大値19.14mm、最小値-32.19mm）

加振B（長辺加振方向の壁量が異なる場合）

長辺方向に、極めて稀な地震動（BCJ-L2）を入力した結果、壁量が多い試験体B2（耐力壁9P）は試験体B1（耐力壁6P）に比べて柱脚の滑り量は大きくなると予測されたが、両者の滑り量に大

きな違いは見られなかった。また、加振Aと比較すると、同程度の入力地震動では短辺方向より長辺方向の柱脚のすべり量が小さい。

試験体B1 15.8mm (X13Y09) 長辺方向
試験体B2 19.6mm (X05Y05) 長辺方向

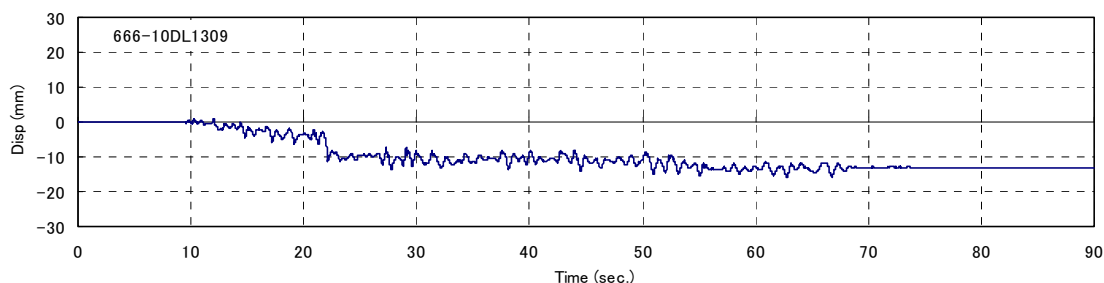


図3. 2. 1-41 試験体B1（最大値0.79mm、最小値-15.75mm）

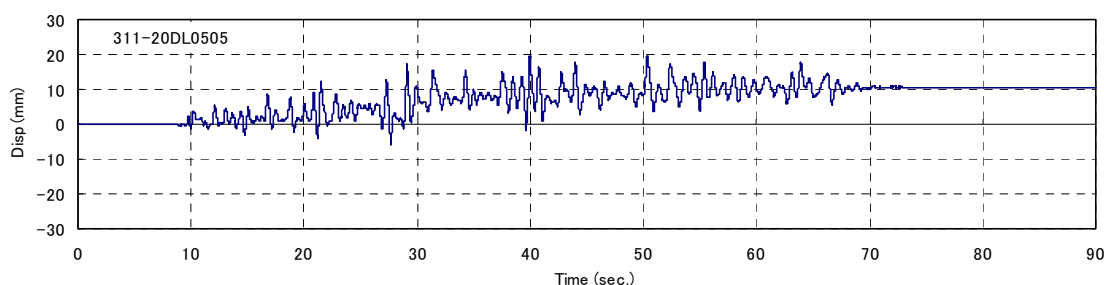


図3. 2. 1-42 試験体B2（最大値19.61mm、最小値-5.86mm）

加振C（同一の壁量だが偏心率が異なる場合）

短辺方向に巨大な地震動（JMA神戸NS方向）を入力した結果、偏心している試験体C1は、壁の多いL1通り側が大きく滑った。偏心がない試験体C2も、試験体C1とは逆向きにねじれるように柱脚が滑った。しかし、柱脚の滑り量だけに着目すると、偏心していない試験体C2のすべり量の方が大きい。また、滑り量の大きい構面の方が、上部構造の層間変形角は小さい。

試験体C1 98.1mm (X01Y05) 短辺方向
試験体C2 134.9mm (X13Y09) 短辺方向

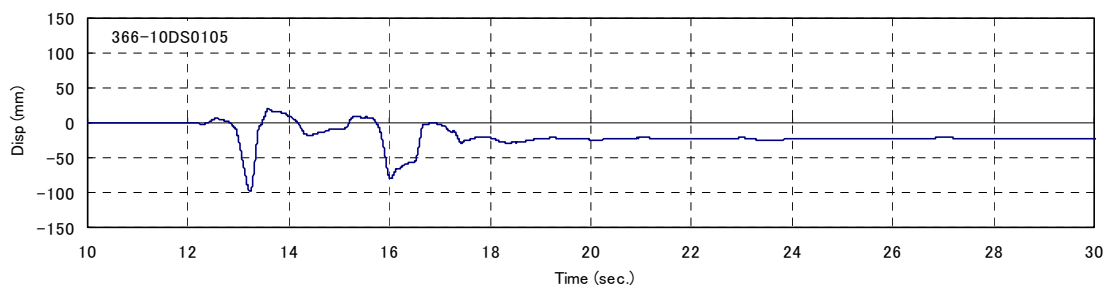


図3. 2. 1-43 試験体C1（最大値20.39mm、最小値-98.07mm）

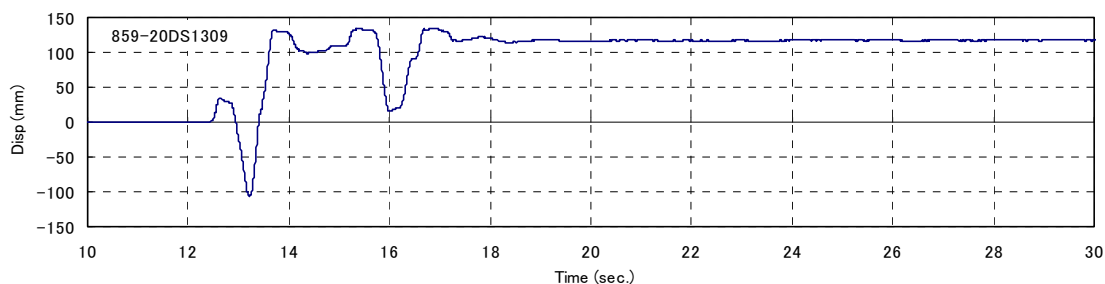


図3. 2. 1-44 試験体C2（最大値134.90mm、最小値-105.93mm）

加振D（M0効果が無い場合、長辺加振方向の壁量を更に多い場合）

長辺方向に、極めて稀な地震動（BCJ-L2）を入力した結果、試験体D1は試験体B1（最大すべり量15.8mm）と比べて、1階床の積載M0が無い分、摩擦力が小さくなり、滑り易くなると予想されたが、最大滑り量に大きな違いは見られなかった。

試験体D2は、壁量の少ない試験体B1（最大すべり量15.8mm）、B2（最大すべり量19.6mm）に比べて大きく滑った。加振方向は違うが、短辺方向の加振を行ったA2（最大すべり量32.2mm）1と比べると、同程度である。柱脚の滑り量が大きいと上部構造の層間変形は、小さくなった。

試験体D1 13.0mm（X09Y09）長辺方向

試験体D2 51.5mm（X05Y05）長辺方向

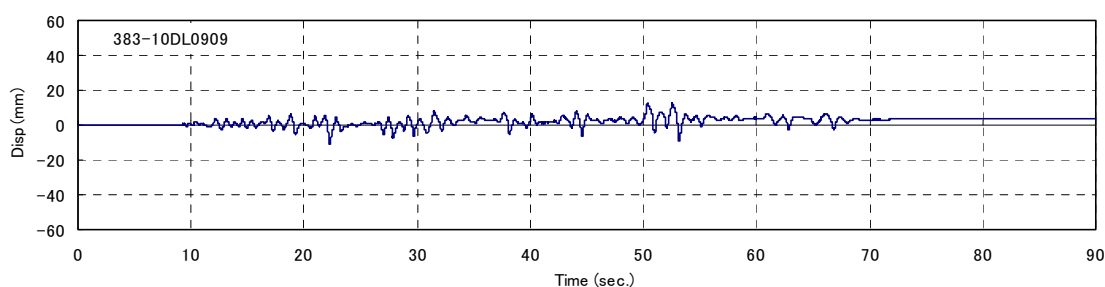


図3. 2. 1-45 試験体D1（最大値12.97mm、最小値-11.11mm）

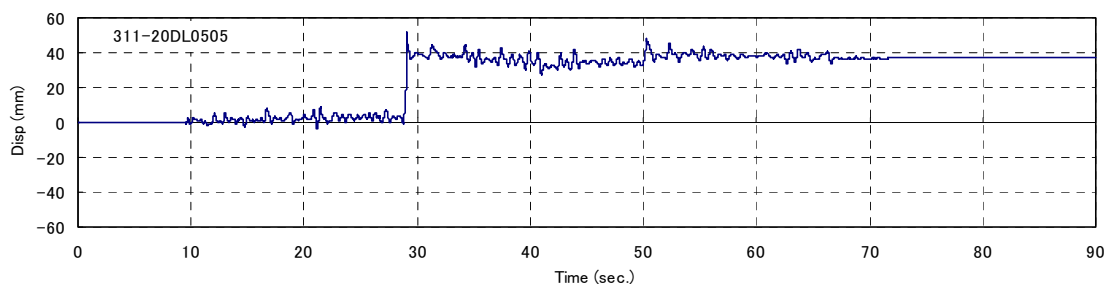


図3. 2. 1-46 試験体D2（最大値51.51mm、最小値-3.51mm）

加振E（入力地震動が3次元の場合、M0効果が無い場合）

巨大な地震動（JMA神戸3方向）を入力した結果、試験体E1、E2とも柱脚は浮き上がりや滑りが見られた。滑り量の最大値は試験体E1で145.3 mm、試験体E2で184.5mmと、1階床積載がないE1のすべり量がE2より小さい。柱軸力増加による摩擦力和1階錘の慣性力との関係により、巨大な地

震動では、M0効果は不利側に働く場合もあることがわかった。

試験体E1 145.3mm (X13Y05) 短辺方向
試験体E2 184.5mm (X01Y01) 短辺方向

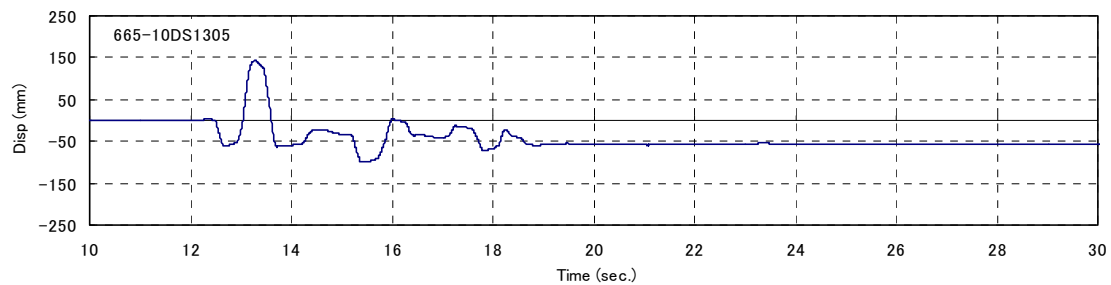


図3. 2. 1-47 試験体E1 (最大値145. 35mm、最小値-98. 50mm)

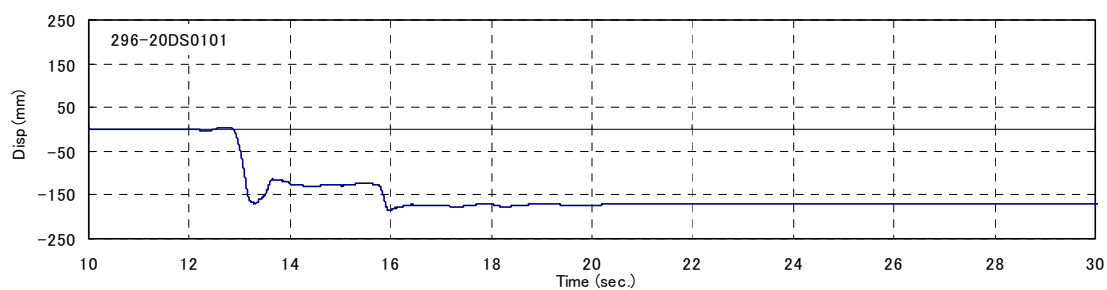


図3. 2. 1-48 試験体E2 (最大値4. 26mm、最小値-184. 51mm)

(2) No. 3 試験体

平成22年度Eディフェンス震動台実験の試験体No.3実験データについて、整理・分析を行う。

1) 試験体No.3の実験概要

試験体No.3の実験概要として、表3.2.1-5に加振日程-加振番号、加振記号、入力情報、試験体壁配置を示す。建物重量は部材ごとに重量を積算して算出するとともに、試験体全体をクレーンによってつり上げて計測した。表3.2.1-6に計測値と計算値（積算値）の建物重量を示す。また、試験体の変位は画像計測を用いて計測した。画像計測機器のマーカを設置した1階床レベルを基準とした高さを表3.2.1-7に示す。同表の値は、各層に設置したマーカ10個の平均値を示す。

表3.2.1-5 実験概要

加振日程-番号	加振記号	入力	壁配置（記号、説明）	
2011-0113-005		ホワイトノイズ	A	・ 偏心なし ・ 1、2階の耐力バランス良い
2011-0113-006	3A2B1L	BCJL1-L		
2011-0113-007	3A3B1S	BCJL1-S		
2011-0113-008	3A4B2L	BCJL2-L		
2011-0113-009	3A5B2S	BCJL2-S		
2011-0113-010		ホワイトノイズ		
2011-0113-011		ホワイトノイズ	B	・ 1Fに偏心あり
2011-0113-012	3B2B2L	BCJL2-L		
2011-0113-013	3B3B2S	BCJL2-S		
2011-0113-014		ホワイトノイズ		
2011-0114-005		ホワイトノイズ	C	・ 偏心なし ・ 1、2階の耐力バランス悪い
2011-0114-006	3C2B1L	BCJL1-L		
2011-0114-007	3C3B1S	BCJL1-S		
2011-0114-008	3C4B2L	BCJL2-L		
2011-0114-009	3C5B2S	BCJL2-S		
2011-0114-010		ホワイトノイズ		
2011-0114-011		ホワイトノイズ	D	・ 偏心なし ・ 1、2階の耐力バランス良い
2011-0114-012	3D2KO3	JMAKOB(1995)		
2011-0114-013		ホワイトノイズ		

表3.2.1-6 試験体重量 (kN)

項目	計測値	計算値
試験体	176.07	—
2層部分	—	99.57
2階床錘	42.00	42.00
1層部分	—	43.99
0層部分	—	27.92
合計	218.07	213.48

表3.2.1-7 画像計測機器の設置高さ

レベル	機器番号	高さ(mm)
桁	マーカ01～10	5280.6
2階床	マーカ11～20	2826.7
1階床	マーカ21～30	-1.0

2) 加速度応答

加速度の時刻歴波形を各層ごとに図3.2.1-49～図3.2.1-160に示す。加速度データの処理は以下の通り。

- ・ 生データのフィルタリング（ローパスフィルター・cosカーブ・15-20Hz）によるノイズ除去
- ・ 加速度データを層（土台レベル、1階床レベル、2階床レベル、桁レベル、頂部レベル）ごとに平

均して、各層の代表加速度を算出

(a) 3A2B1Lの加速度応答の時刻歴波形

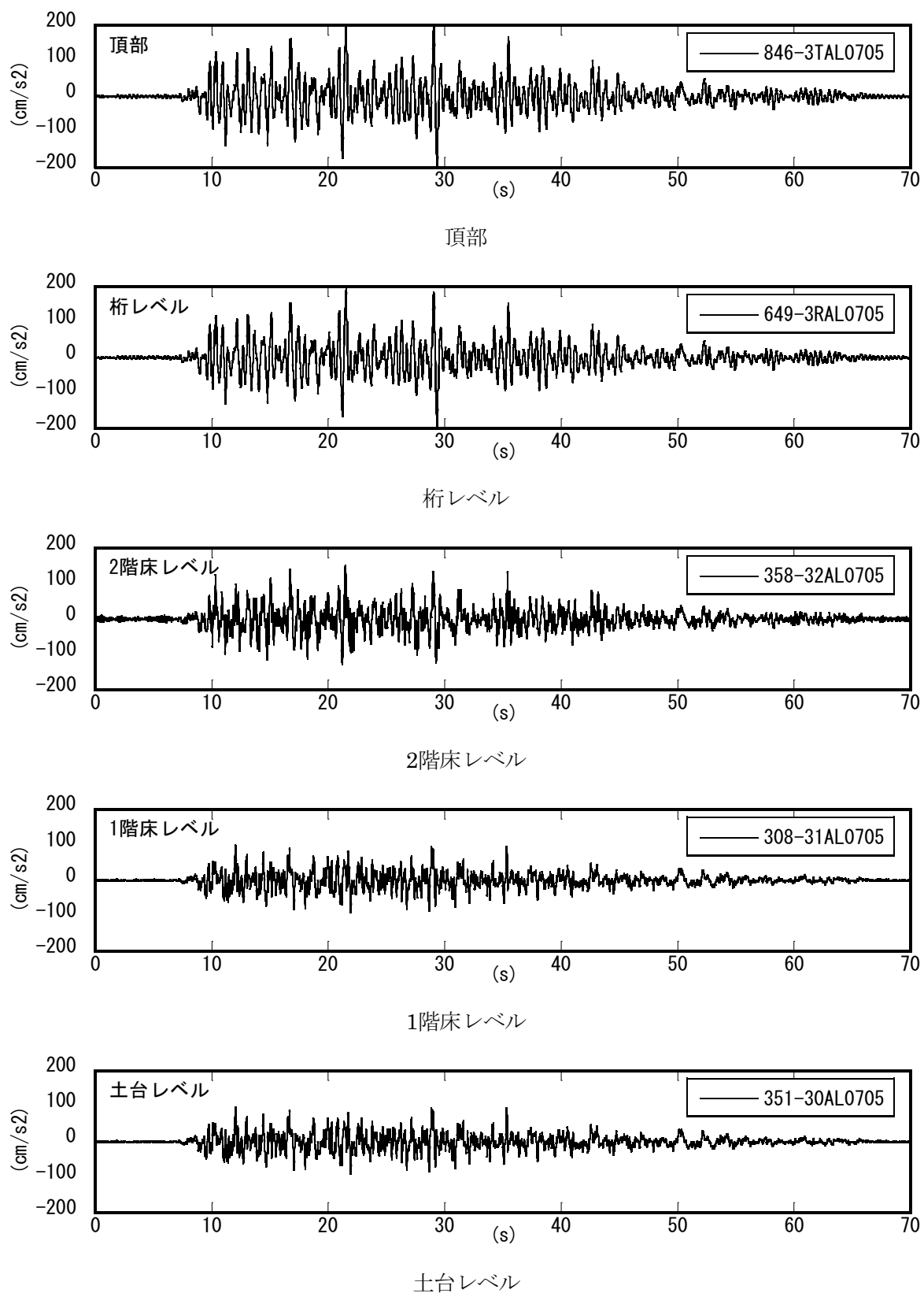


図3. 2. 1-49 3A2B1Lにおける加速度応答波形

(b) 3A3B1Sの加速度応答の時刻歴波形

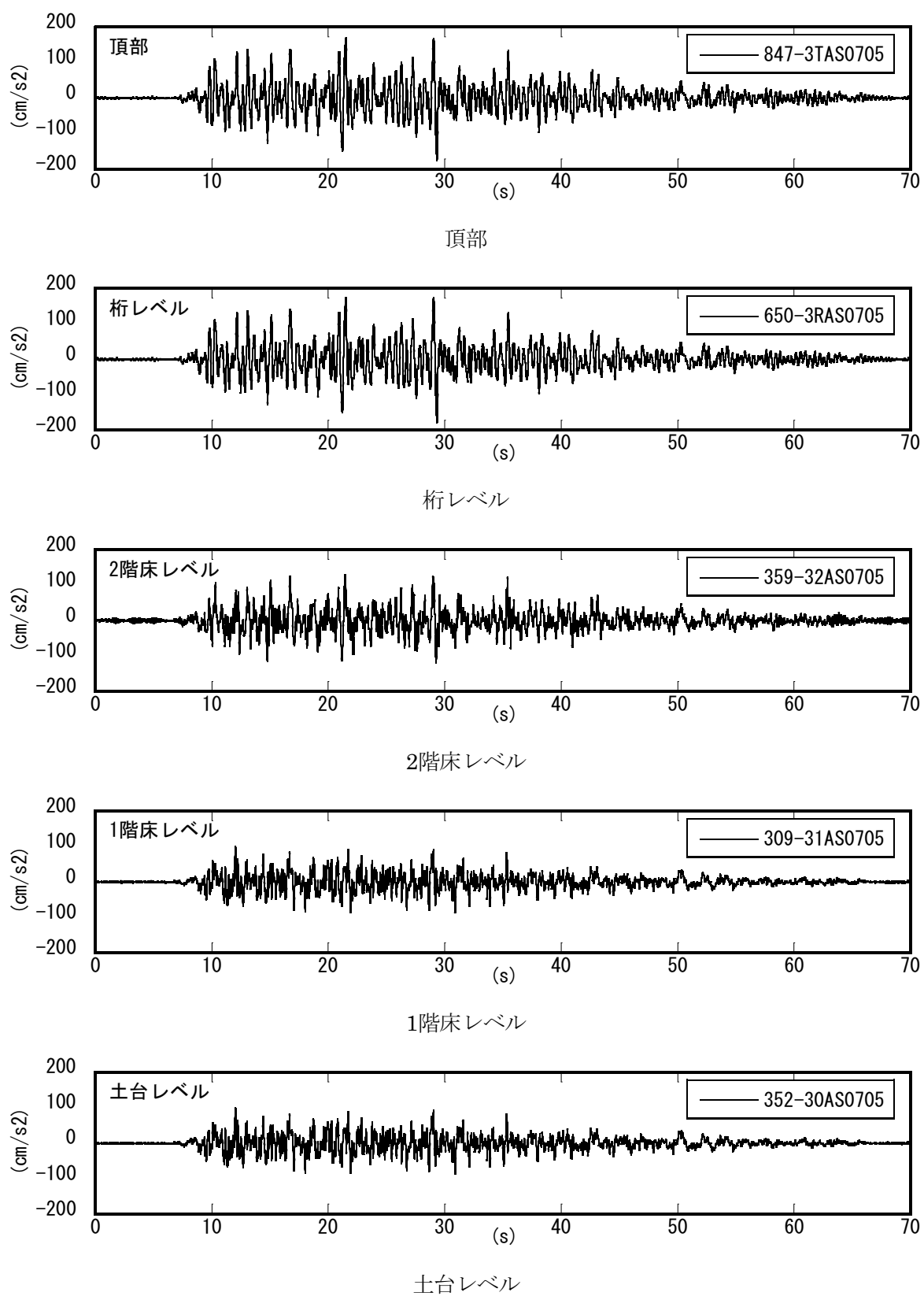


図3. 2. 1-50 3A3B1Sにおける加速度応答波形

(c) 3A4B2Lの加速度応答の時刻歴波形

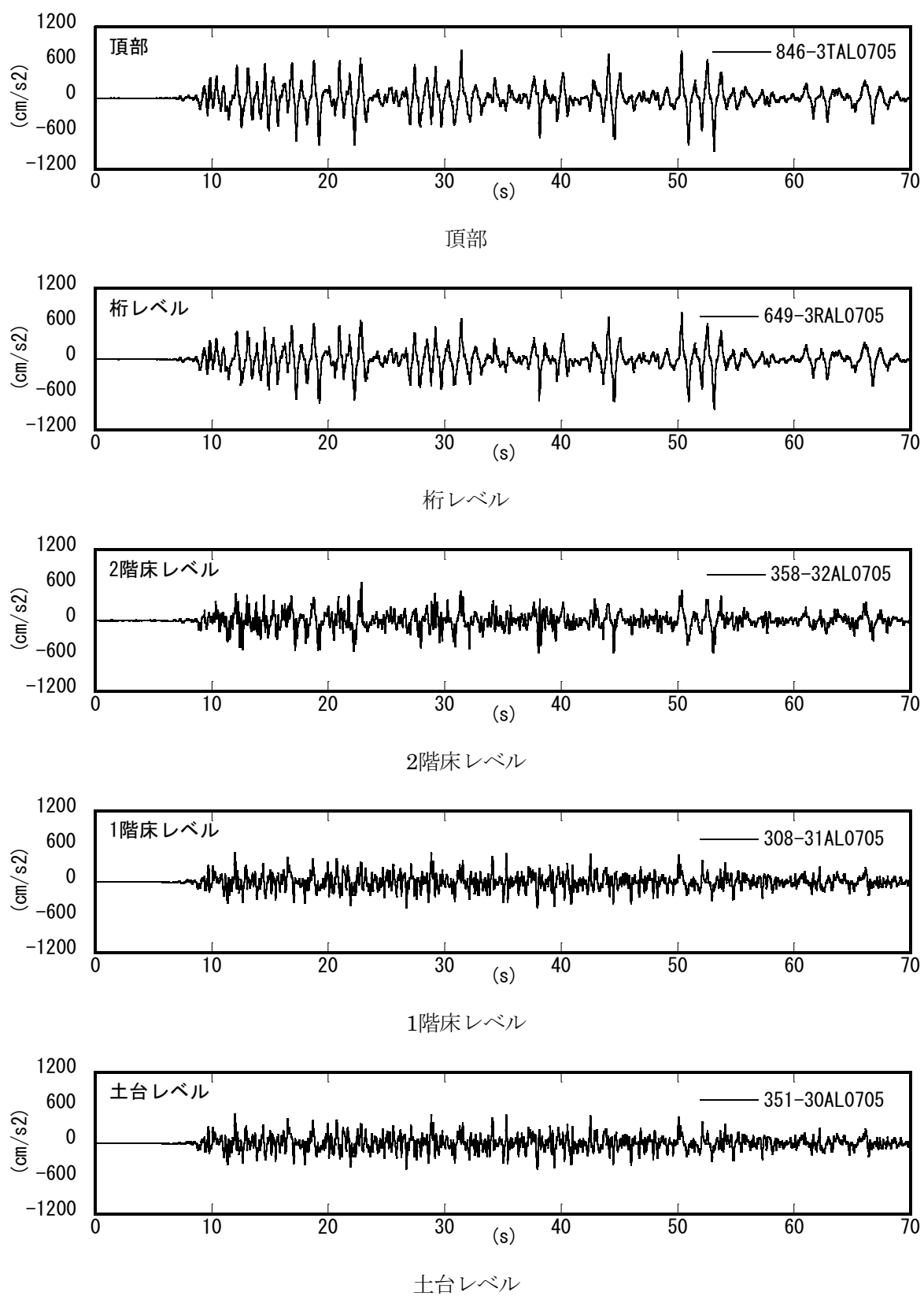


図3. 2. 1-51 3A4B2Lにおける加速度応答波形

(d) 3A5B2Sの加速度応答の時刻歴波形

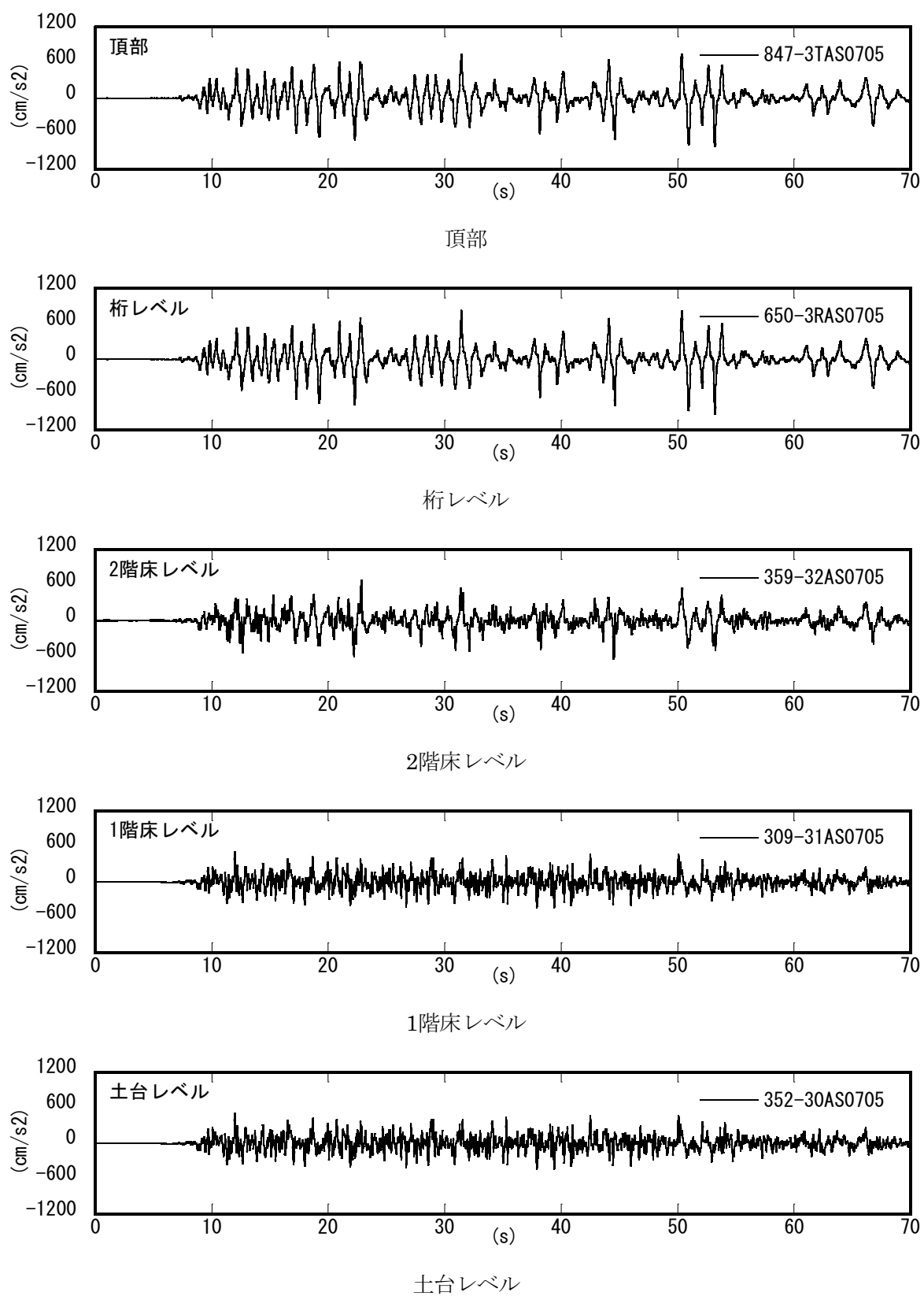


図3. 2. 1-52 3A5B2Sにおける加速度応答波形

(e) 3B2B2Lの加速度応答の時刻歴波形

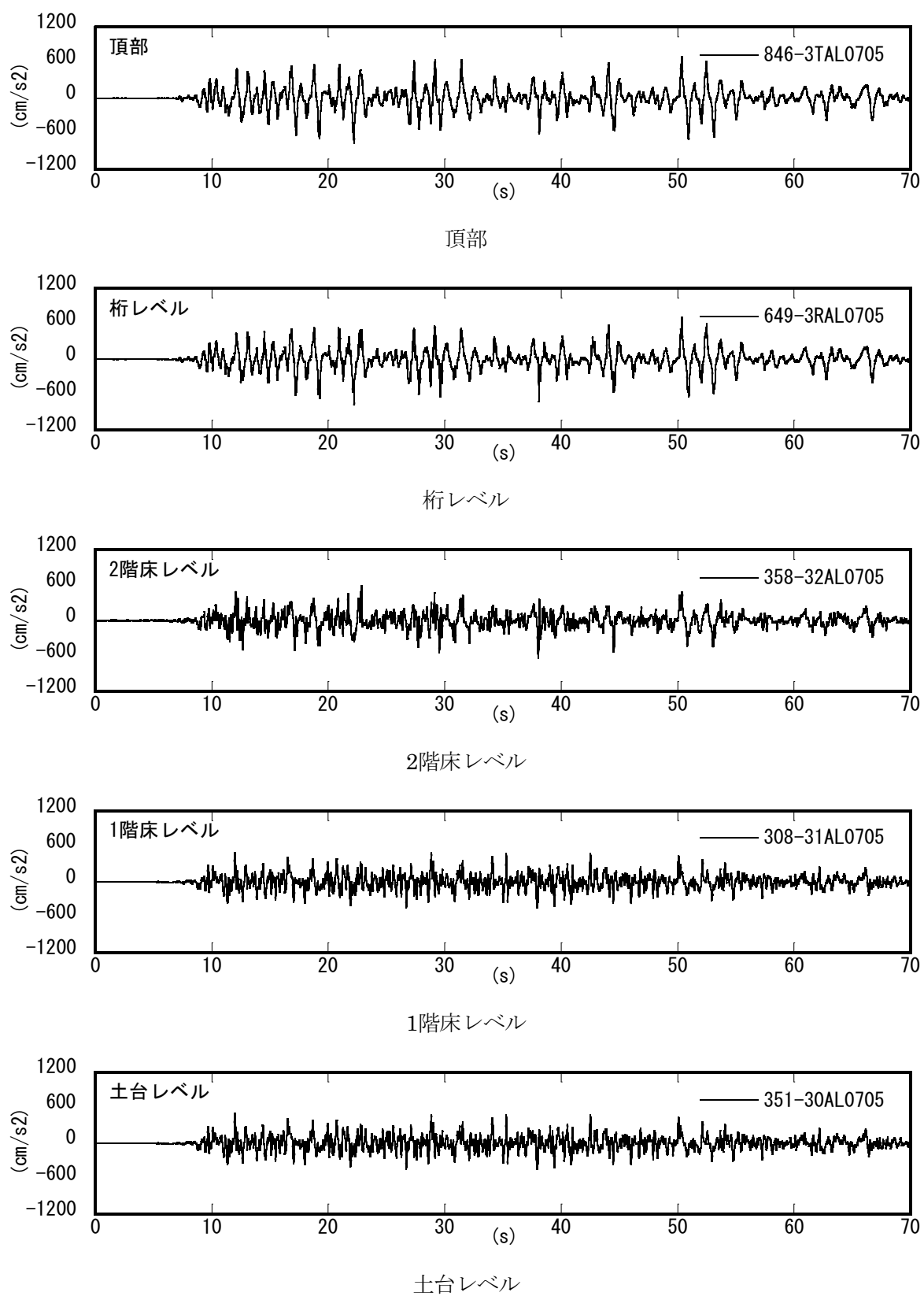


図3. 2. 1-53 3B2B2Lにおける加速度応答波形

(f) 3B3B2Sの加速度応答の時刻歴波形

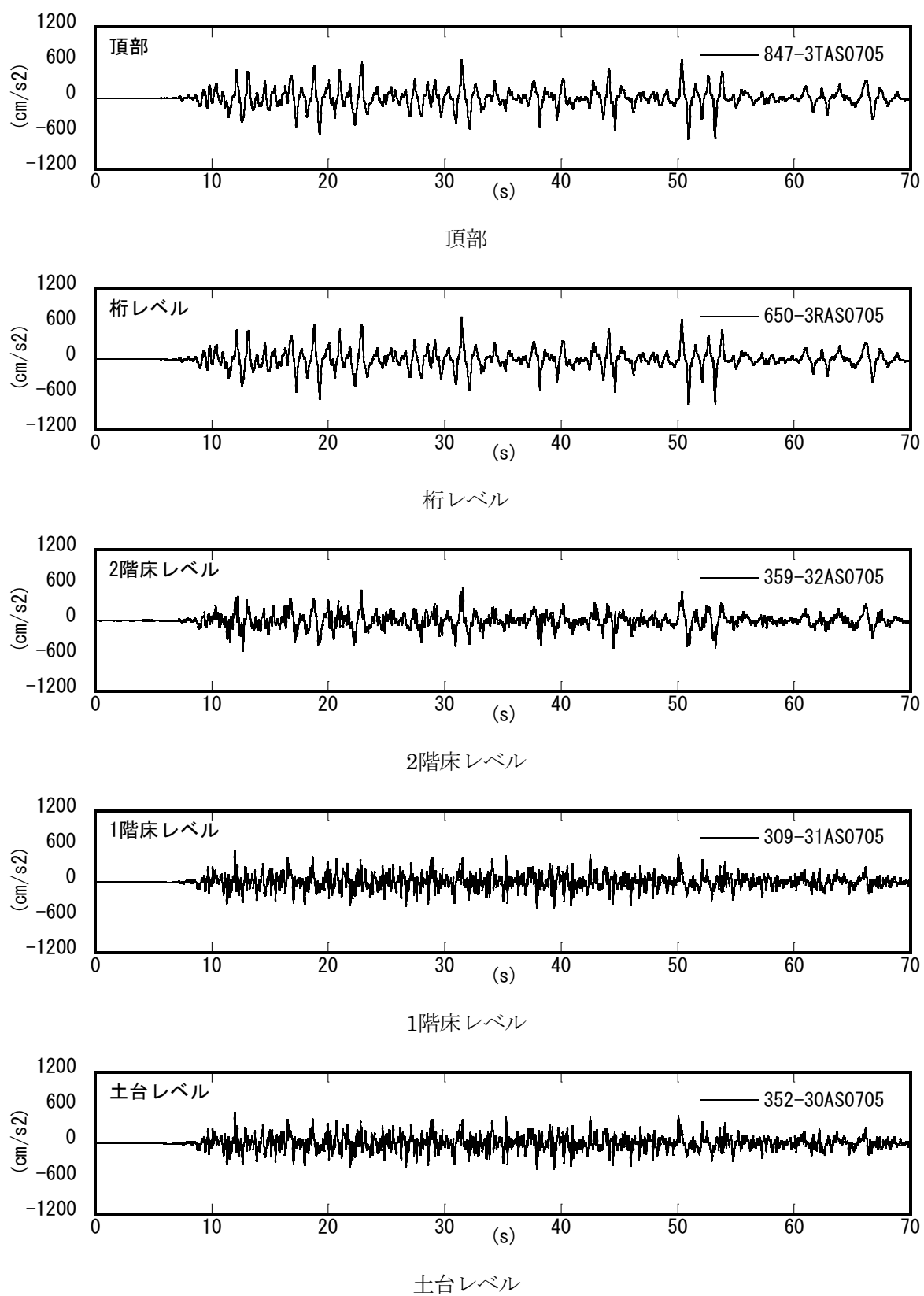


図3. 2. 1-54 3B3B2Sにおける加速度応答波形

(g) 3C2B1Lの加速度応答の時刻歴波形

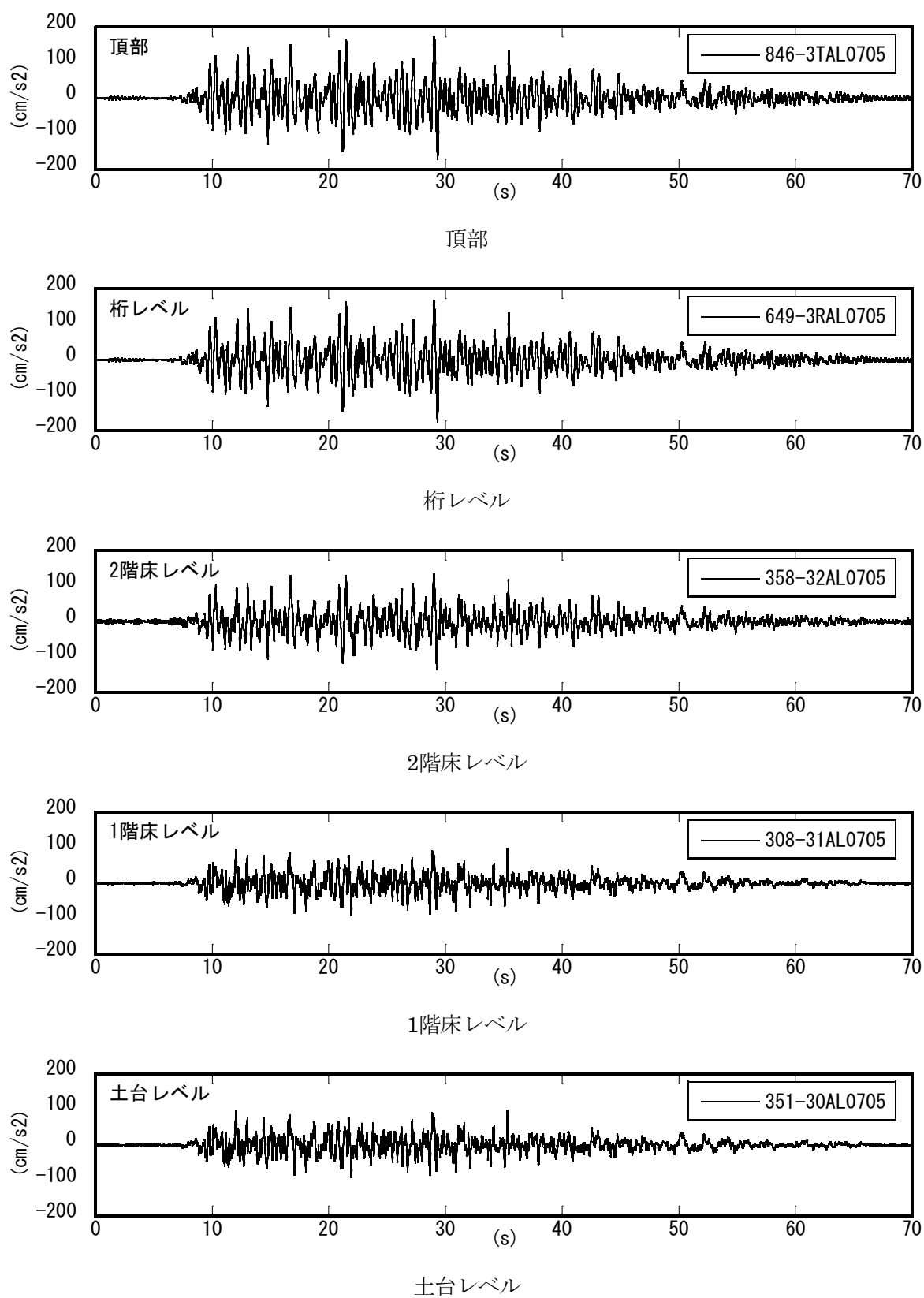


図3. 2. 1-55 3C2B1Lにおける加速度応答波形

(h) 3C3B1Sの加速度応答の時刻歴波形

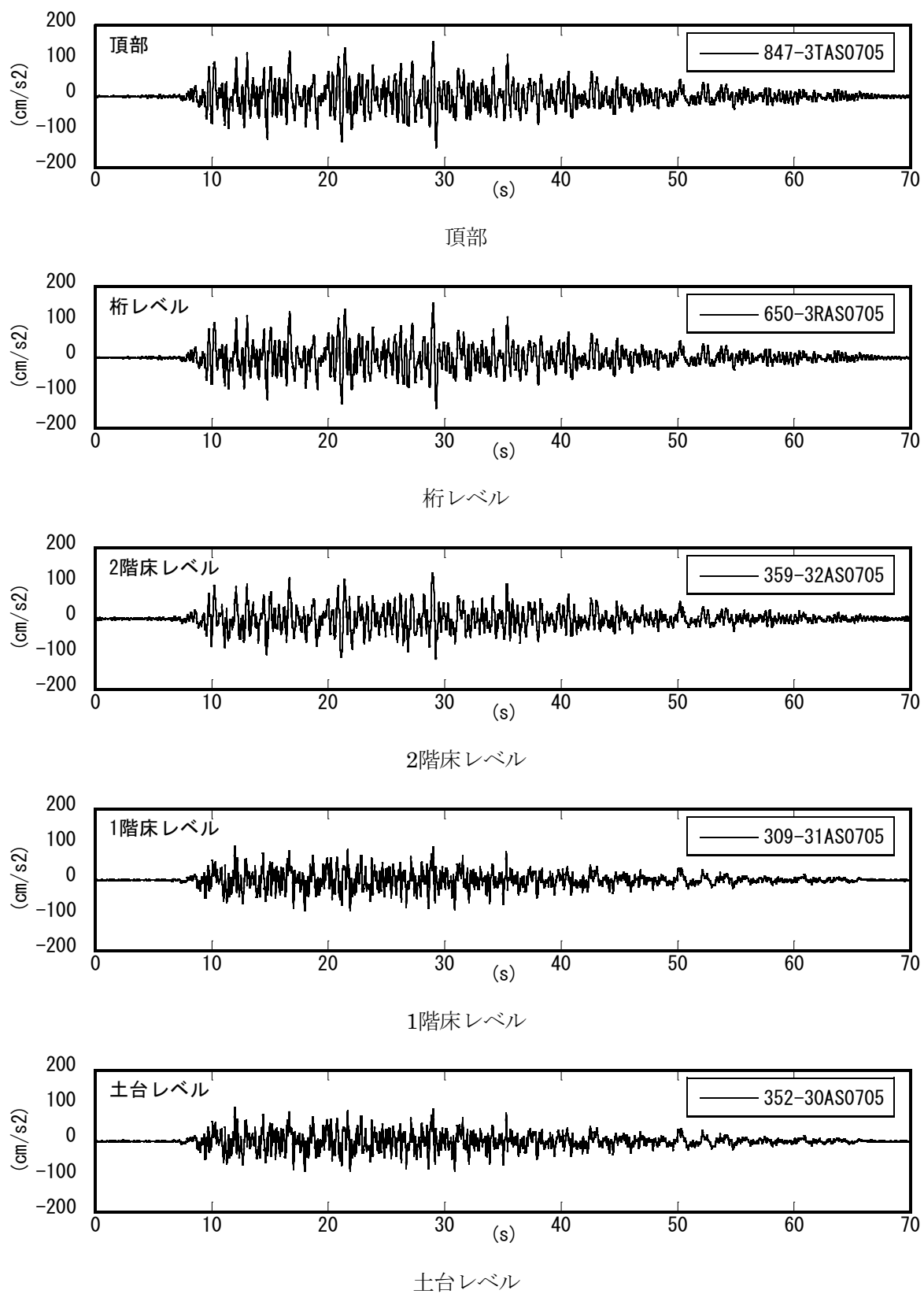


図3. 2. 1-56 3C3B1Sにおける加速度応答波形

(i) 3C4B2Lの加速度応答の時刻歴波形

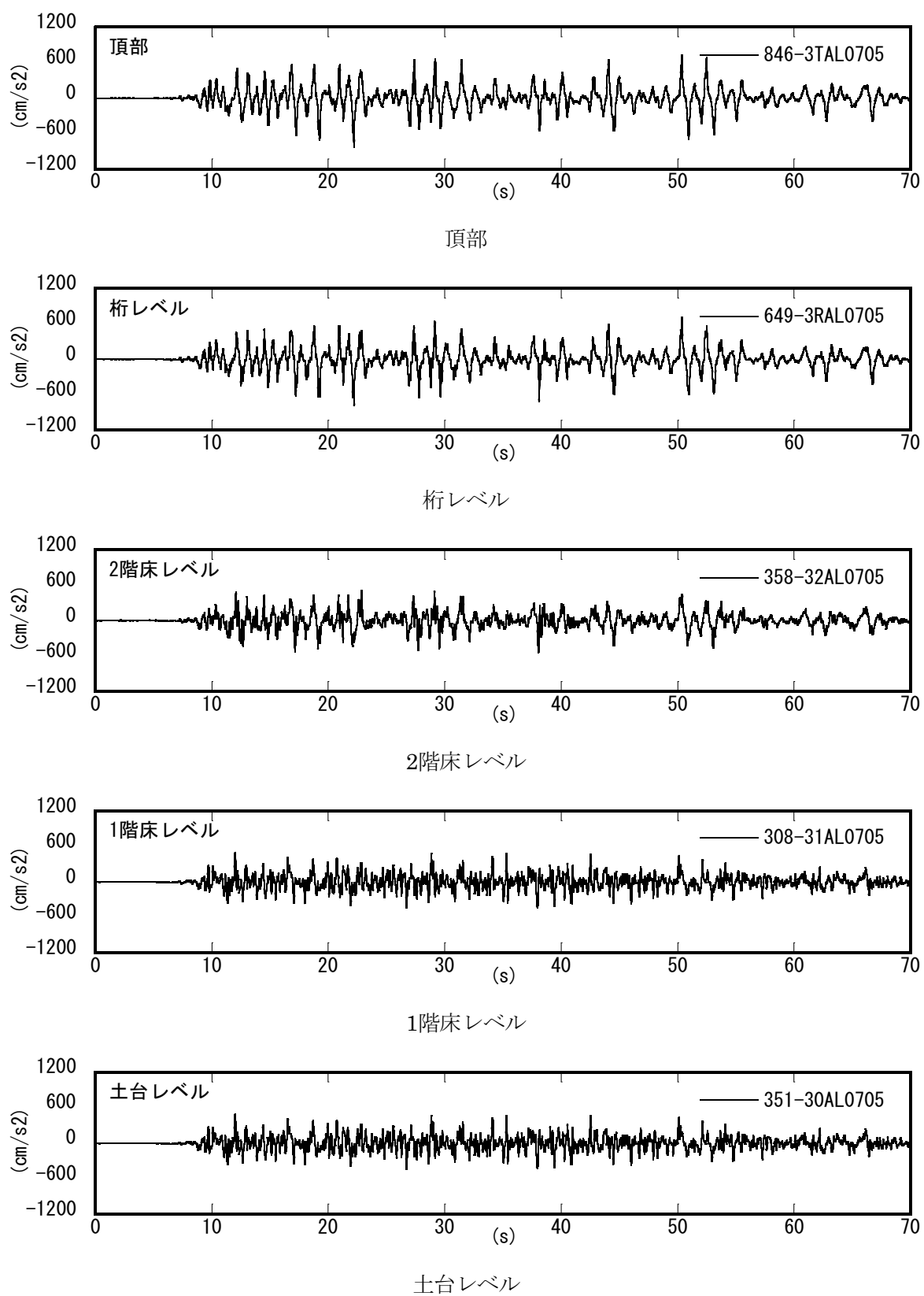


図3. 2. 1-57 3C4B2Lにおける加速度応答波形

(j) 3C5B2Sの加速度応答の時刻歴波形

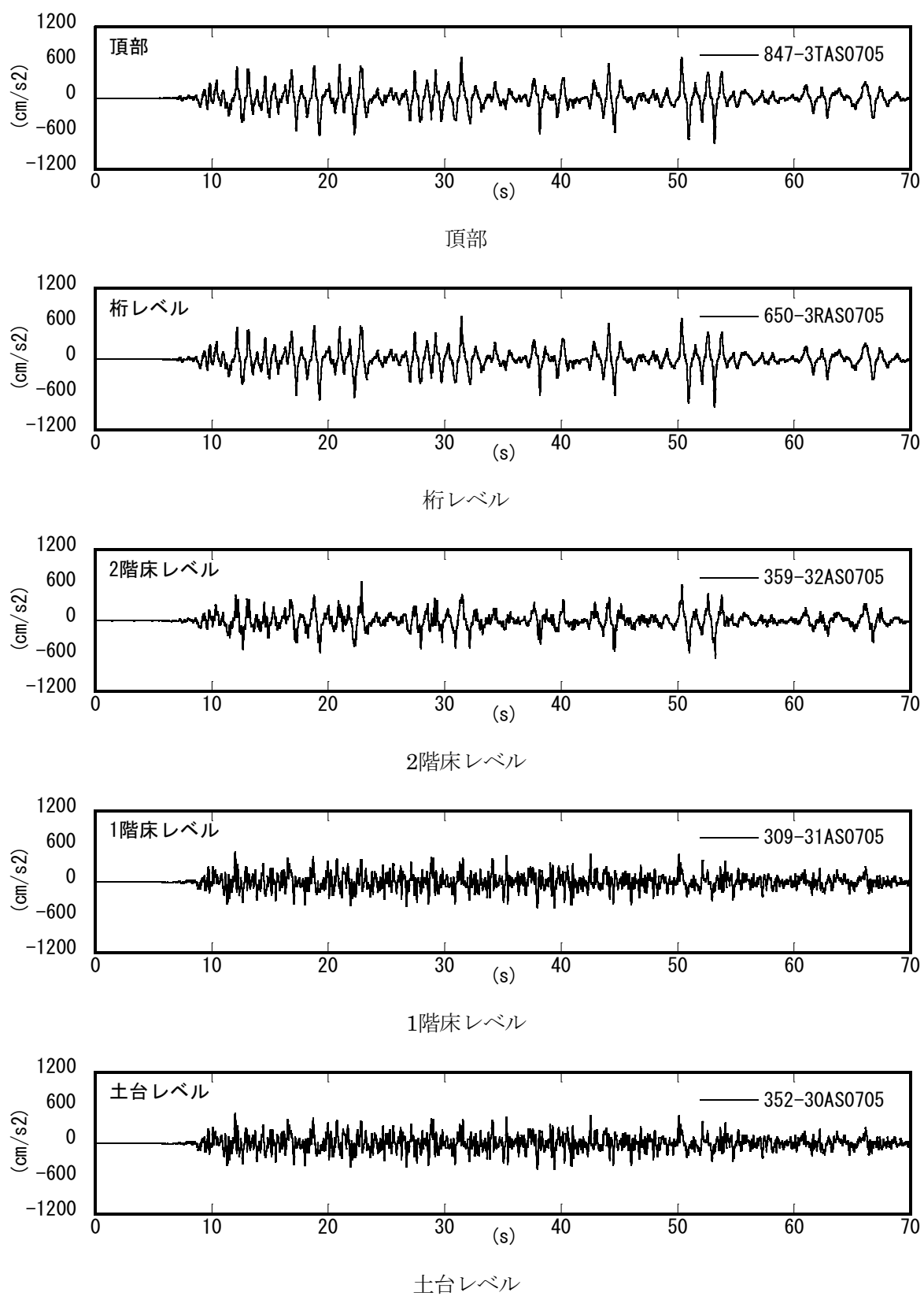


図3. 2. 1-58 3C5B2Sにおける加速度応答波形

(k) 3D2K03-Lの加速度応答の時刻歴波形

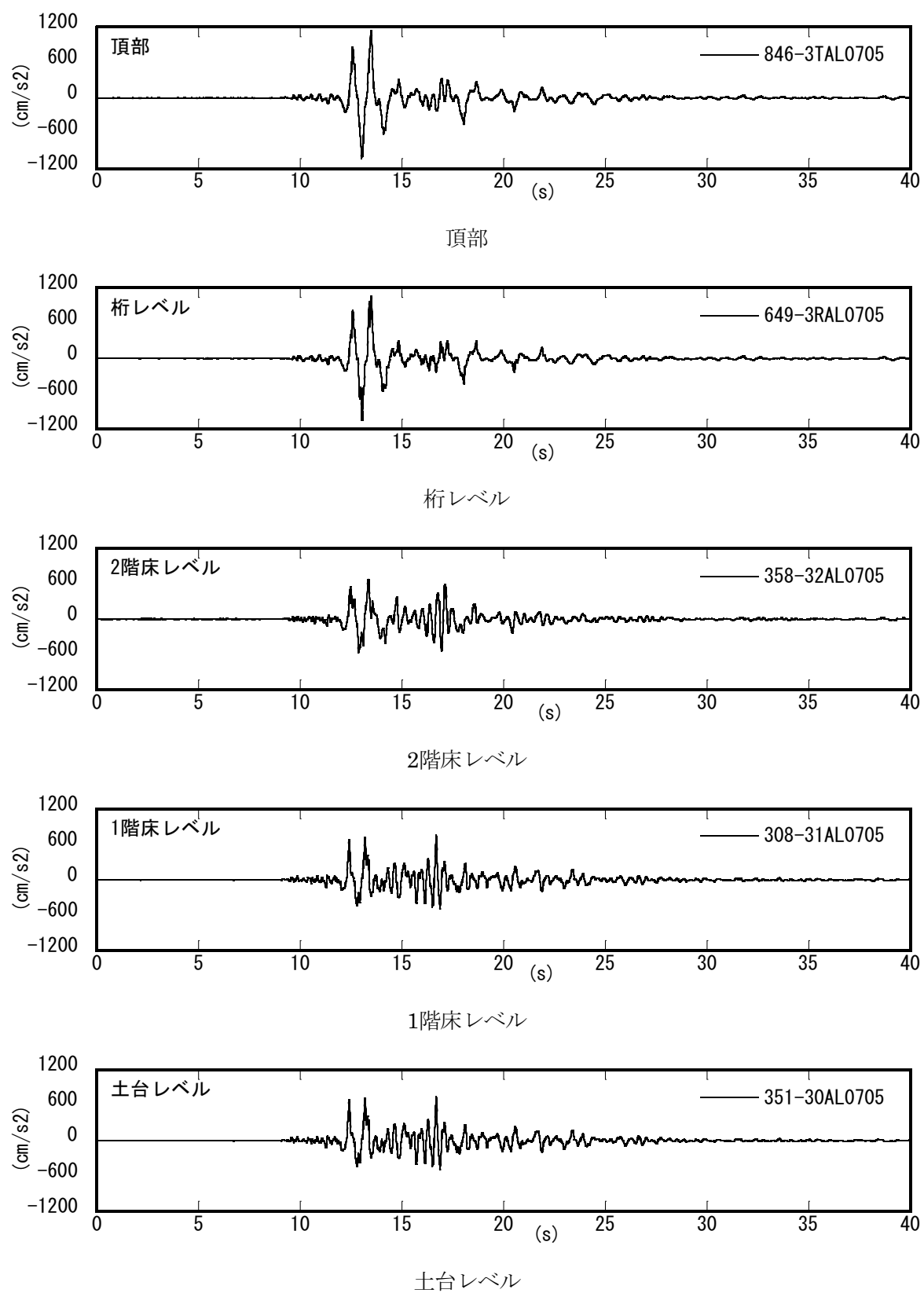


図3. 2. 1-59 3D2K03-Lにおける加速度応答波形

(1) 3D2K03-Sの加速度応答の時刻歴波形

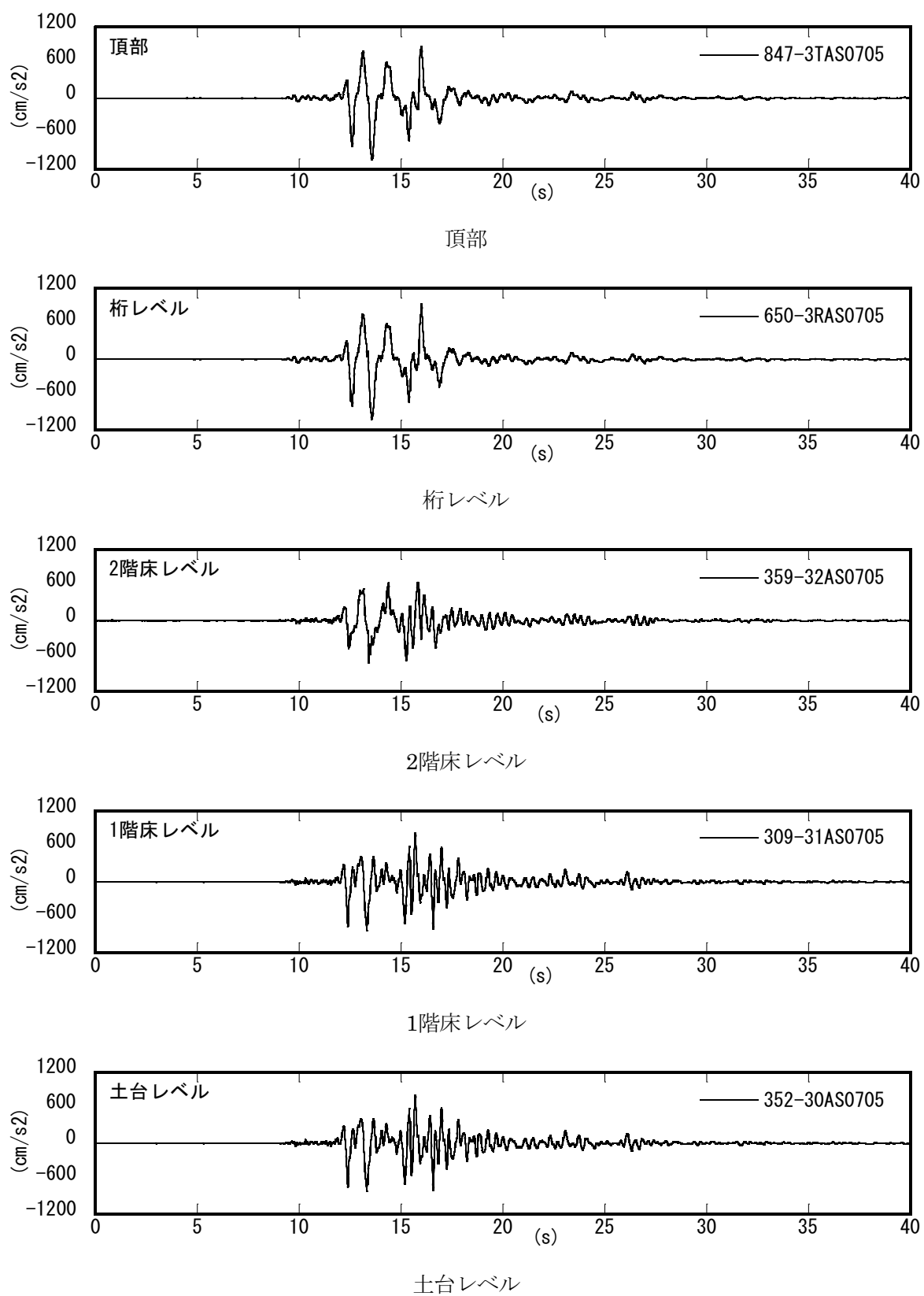


図3. 2. 1-60 3D2K03-Sにおける加速度応答波形

(m) 最大加速度応答

3) 層間変形角

層間変形角の時刻歴波形を各層ごとに図3.2.1-61～図3.2.1-72に示す。変位計測は、ワイヤー変位計によって鉛直構面の対角線を計測する方法と、画像計測による計測を行った。L1加振ではワイヤー変位計、L2加振では画像計測によるデータを用いて分析を行った。変位データの処理方法として、ワイヤー変位計によるデータは、それぞれの取り付け距離によって層間変位に換算し、各層ごとに平均して代表層間変形角を算出した。画像計測による変位データは、変位データを層ごとに平均して、各層の代表変位を算出し、表3.2.1-7に示す平均高さをを用いて、各層の代表層間変形角を算出した。

(a) 3A2B1Lの応答層間変形角の時刻歴波形

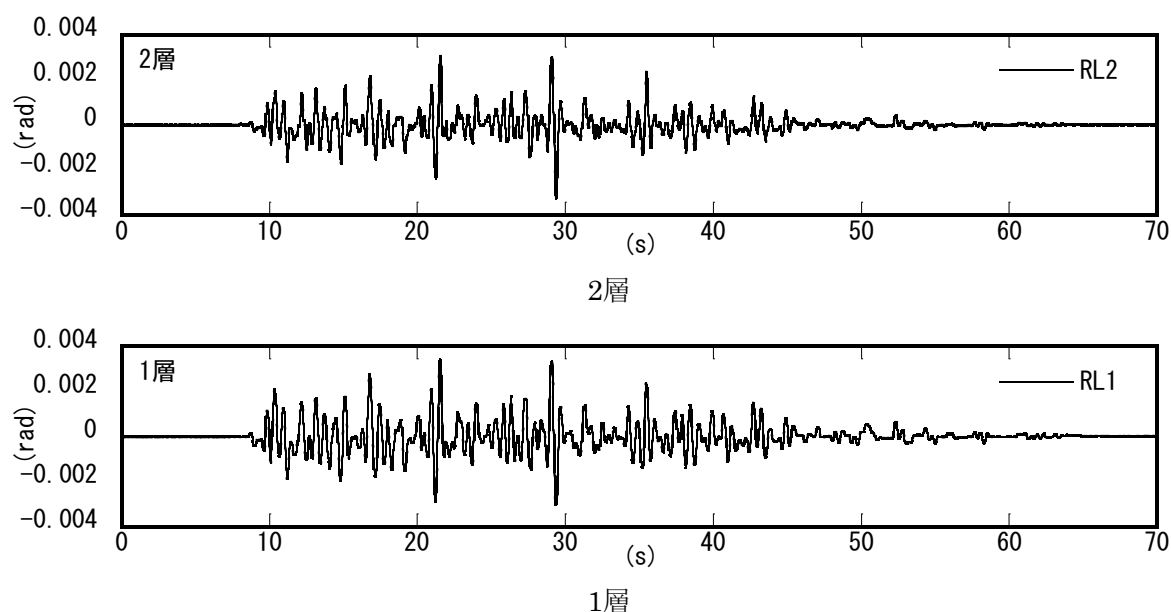


図3. 2. 1-61 3A2B1Lにおける応答層間変形角波形

(b) 3A3B1Sの応答層間変形角の時刻歴波形

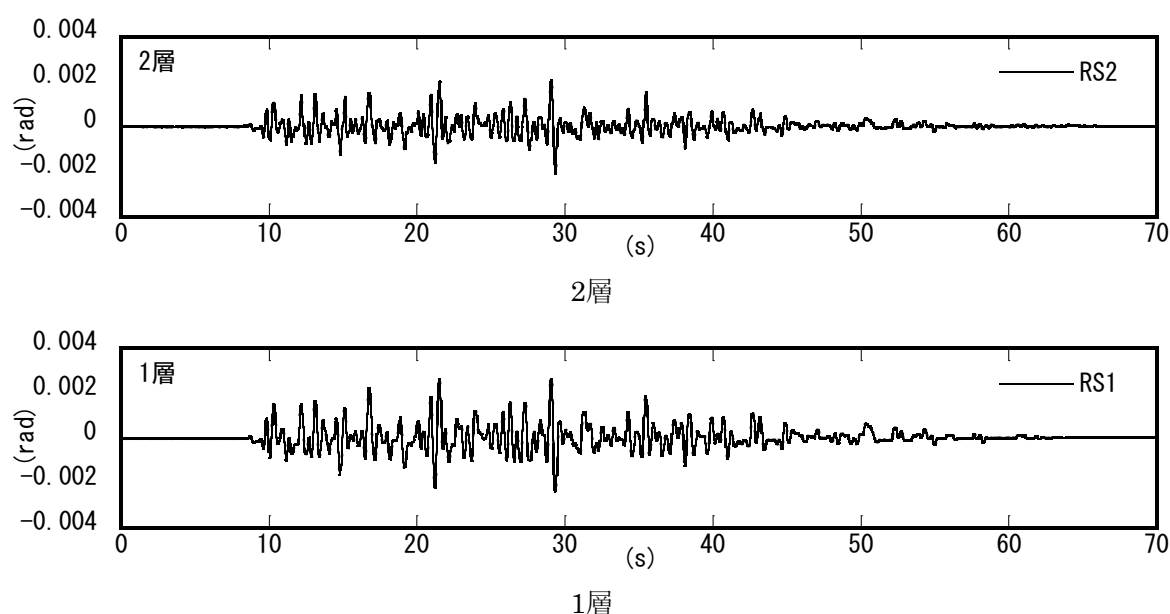


図3. 2. 1-62 3A3B1Sにおける応答層間変形角波形

(c) 3A4B2Lの応答層間変形角の時刻歴波形

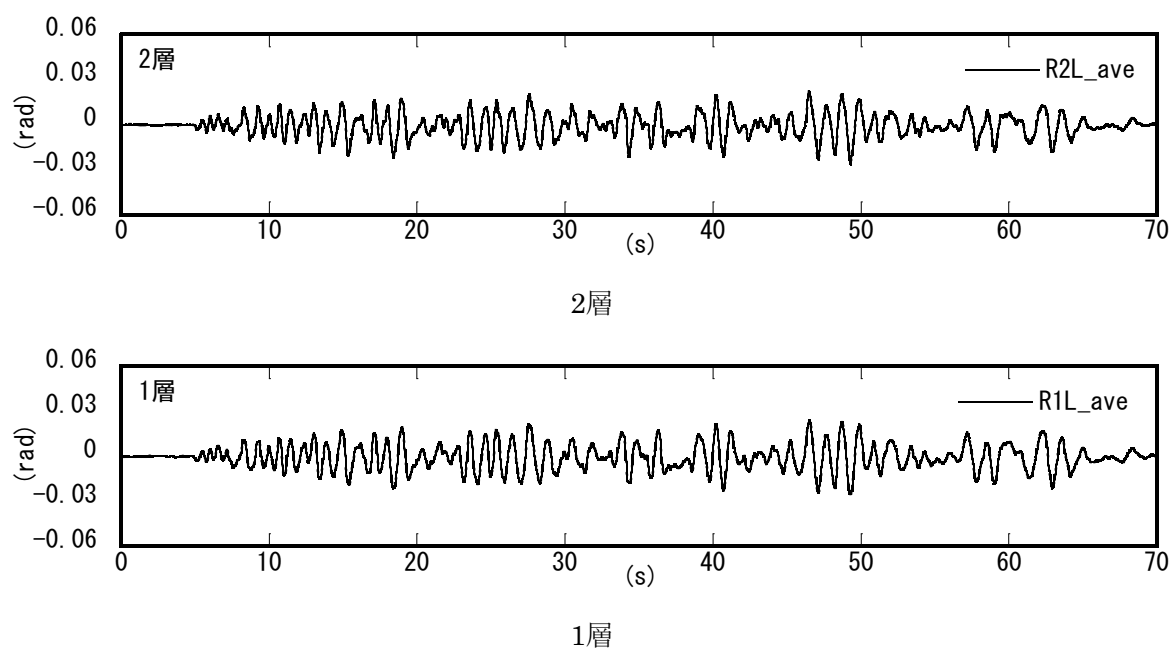


図3. 2. 1-63 3A4B2Lにおける応答層間変形角波形

(d) 3A5B2Sの応答層間変形角の時刻歴波形

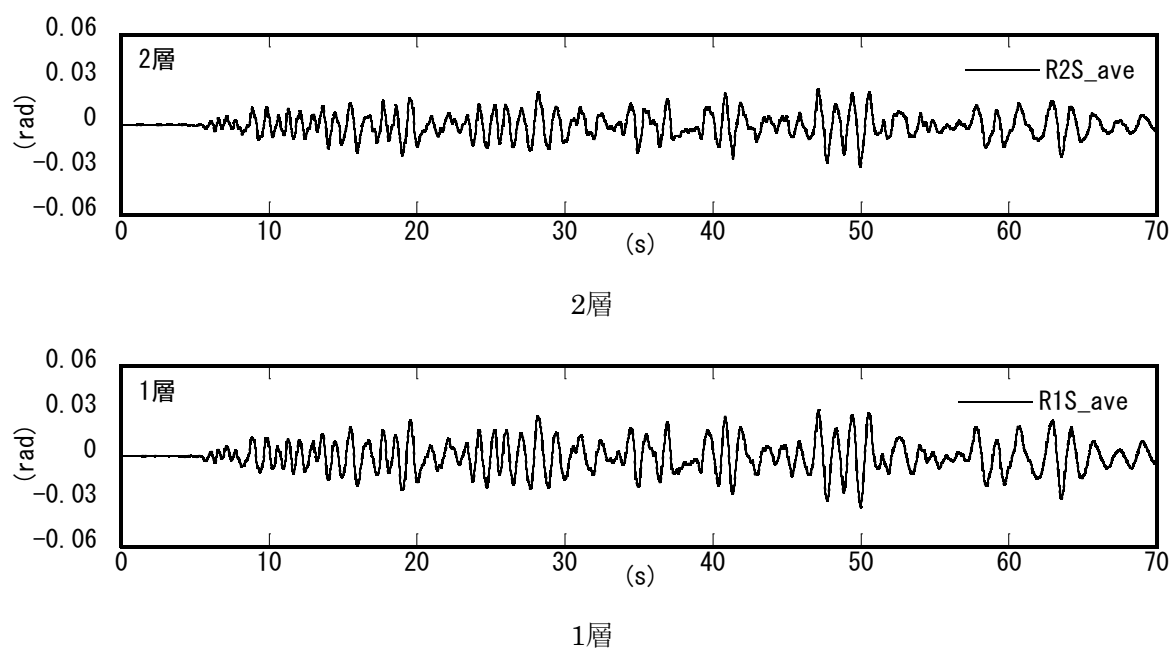


図3. 2. 1-64 3A5B2Sにおける応答層間変形角波形

(e) 3B2B2Lの応答層間変形角の時刻歴波形

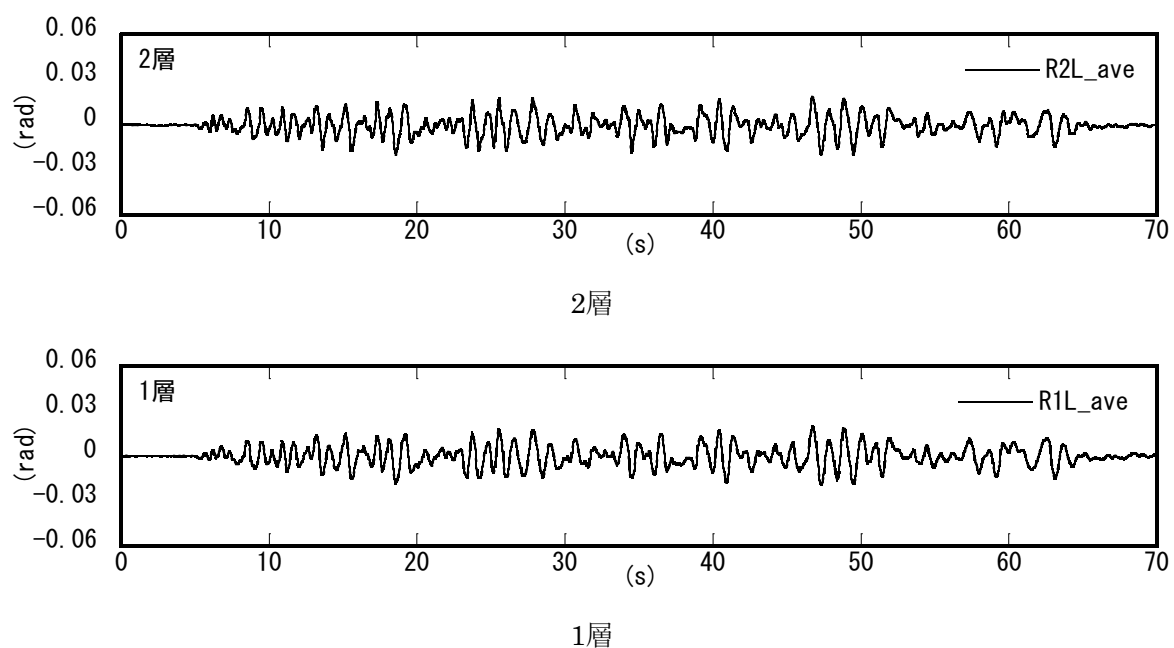


図3. 2. 1-65 3B3B2Lにおける応答層間変形角波形

(f) 3B4B2Sの応答層間変形角の時刻歴波形

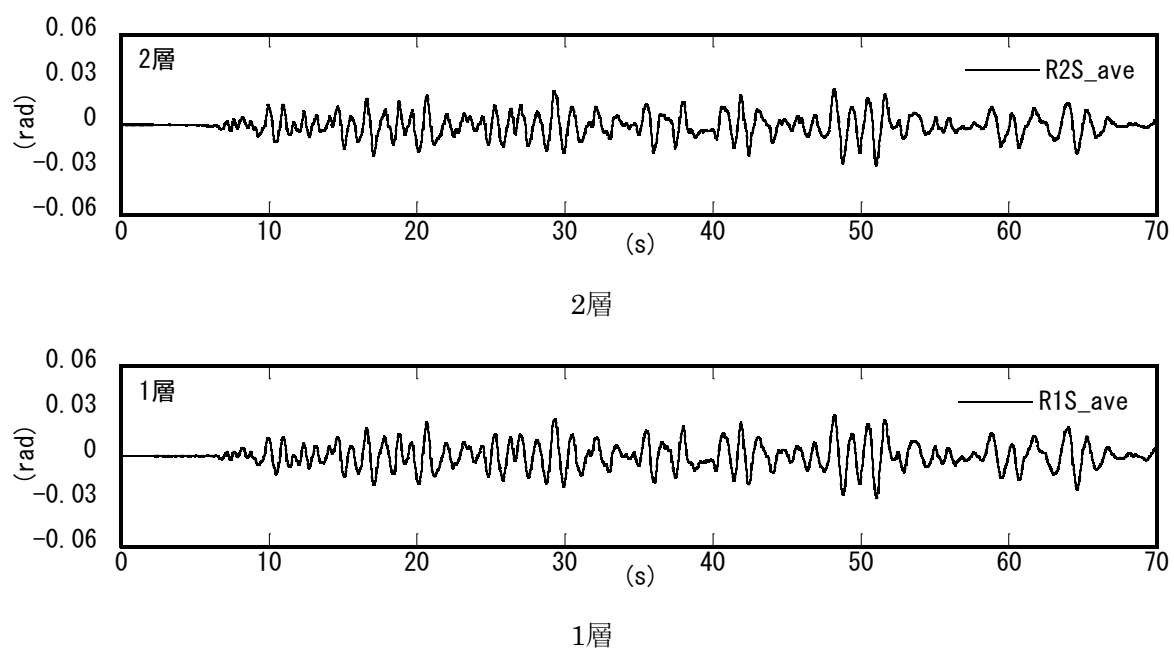


図3. 2. 1-66 3B4B2Sにおける応答層間変形角波形

(g) 3C2B1Lの応答層間変形角の時刻歴波形

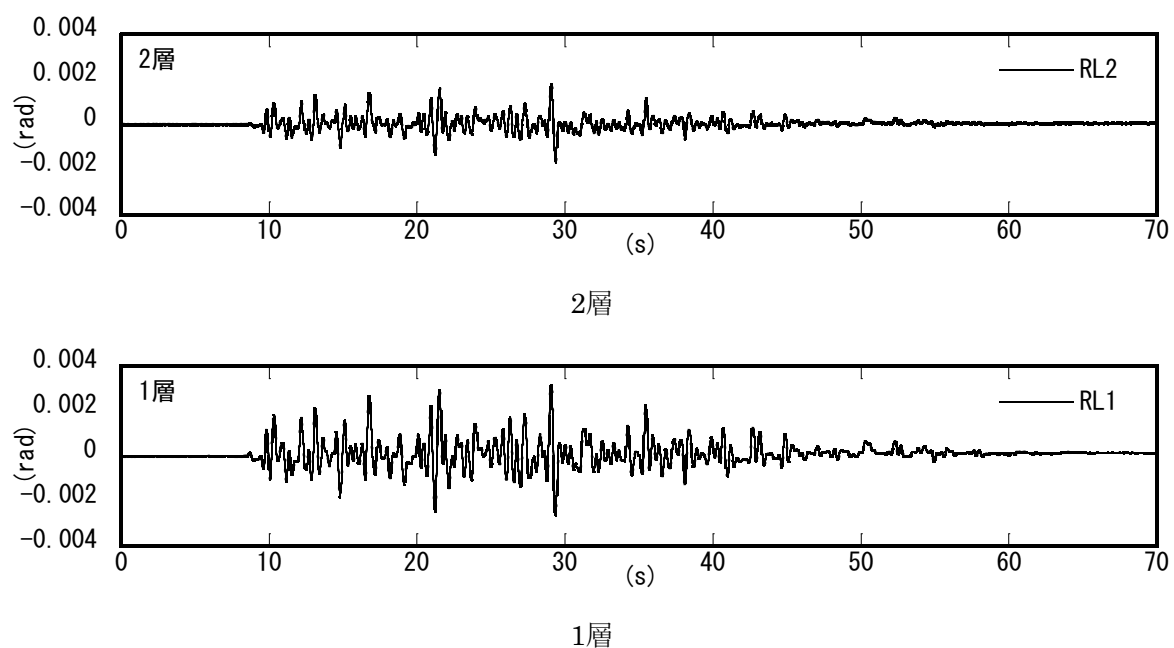


図3. 2. 1-67 3C2B1Lにおける応答層間変形角波形

(h) 3C3B1Sの応答層間変形角の時刻歴波形

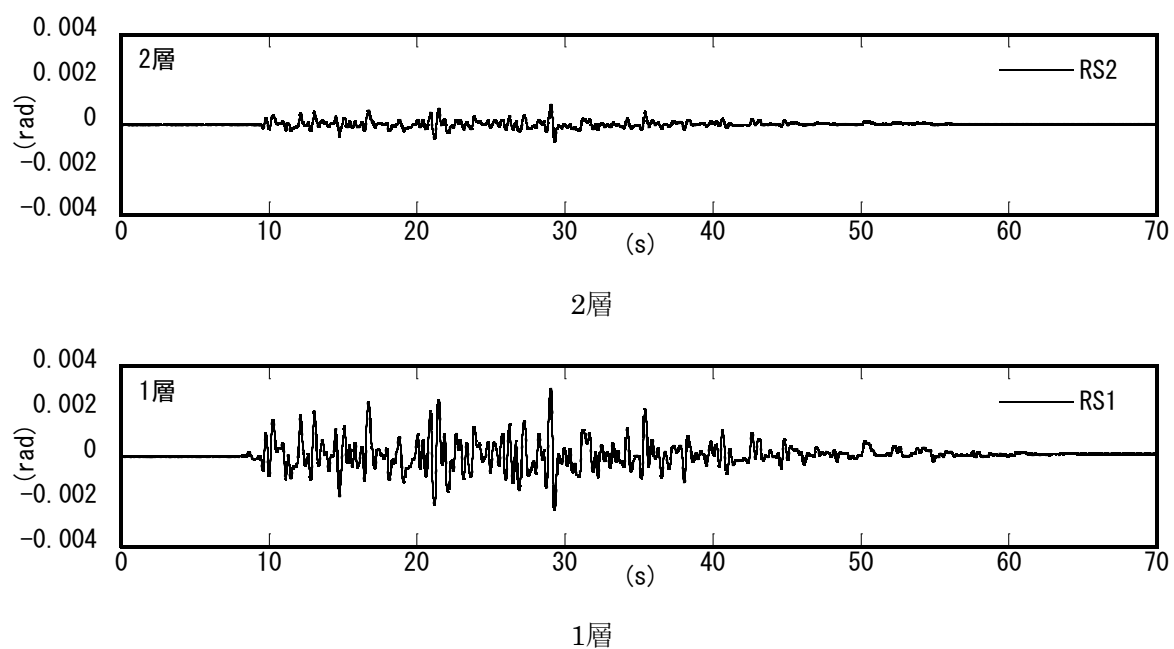


図3. 2. 1-68 3C3B1Sにおける応答層間変形角波形

(i) 3C4B2Lの応答層間変形角の時刻歴波形

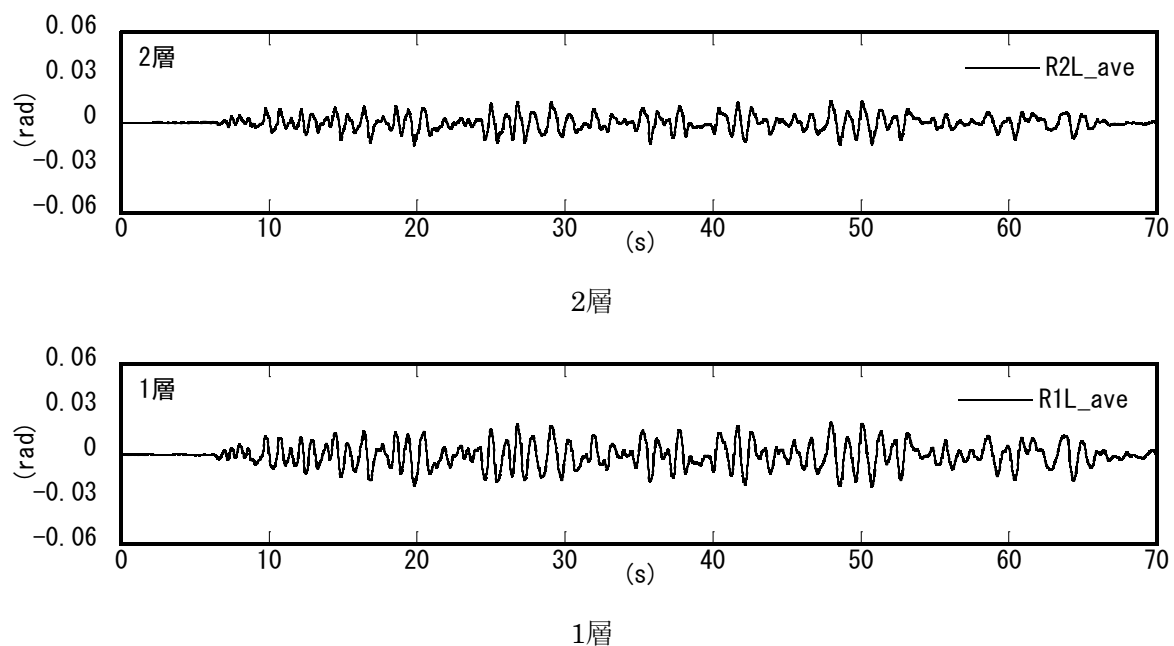


図3. 2. 1-69 3C4B2Lにおける応答層間変形角波形

(j) 3C5B2Sの応答層間変形角の時刻歴波形

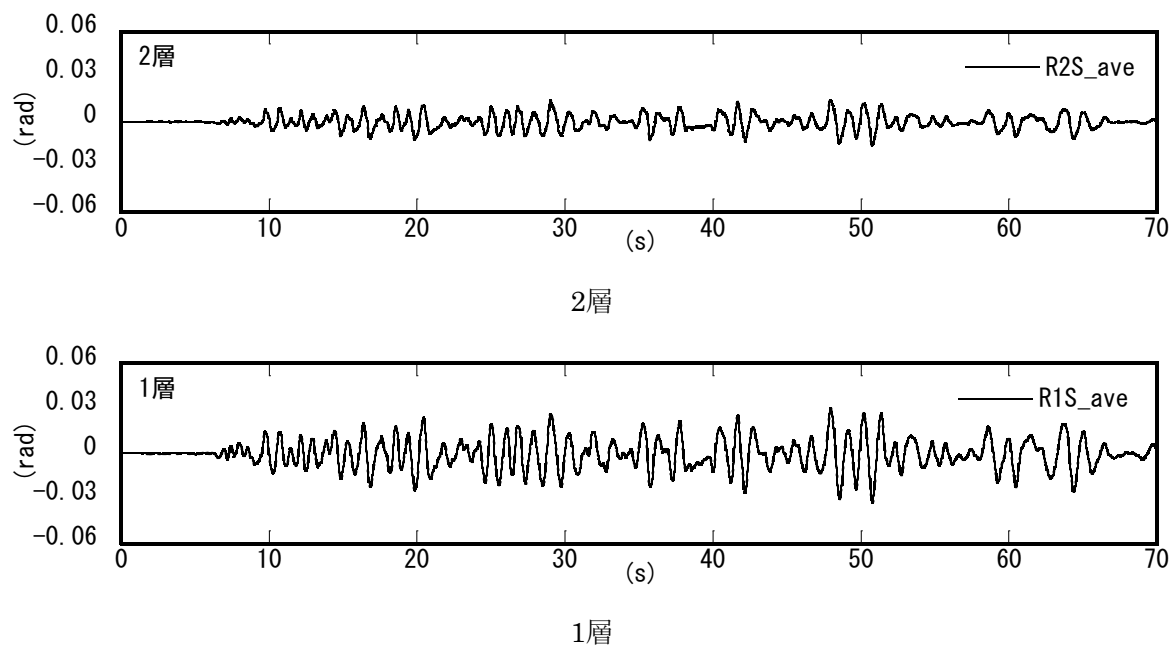


図3. 2. 1-70 3C5B2Sにおける応答層間変形角波形

(k) 3D2K03-Lの応答層間変形角の時刻歴波形

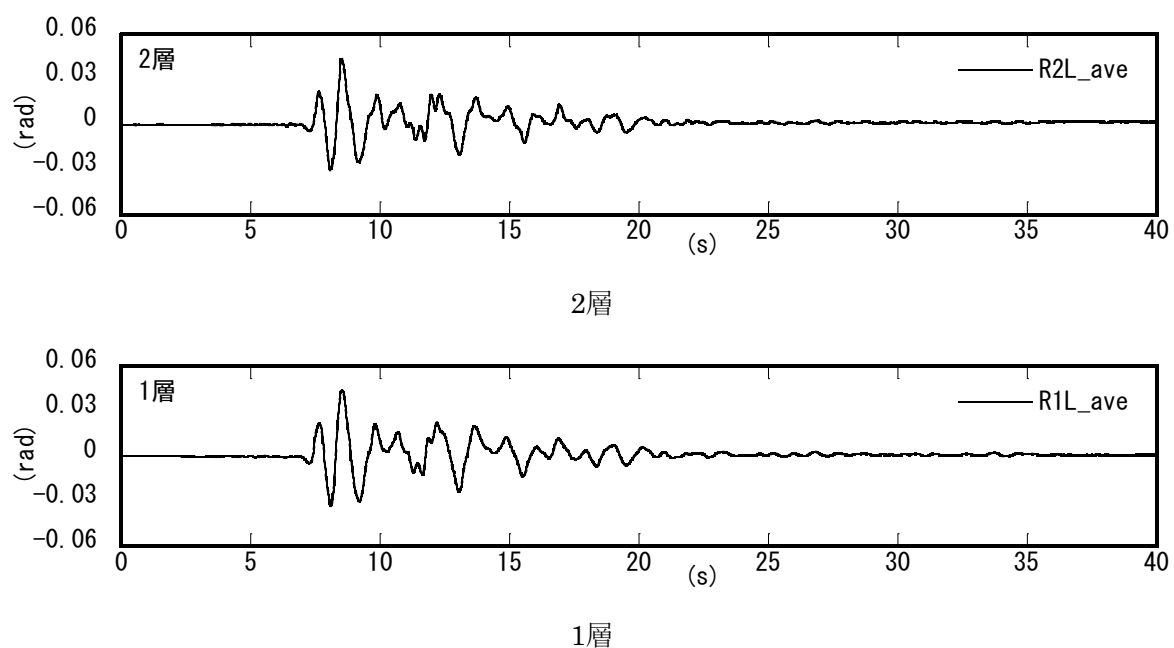


図3. 2. 1-71 3D2K03-Lにおける応答層間変形角波形

(l) 3D2K03-Sの応答層間変形角の時刻歴波形

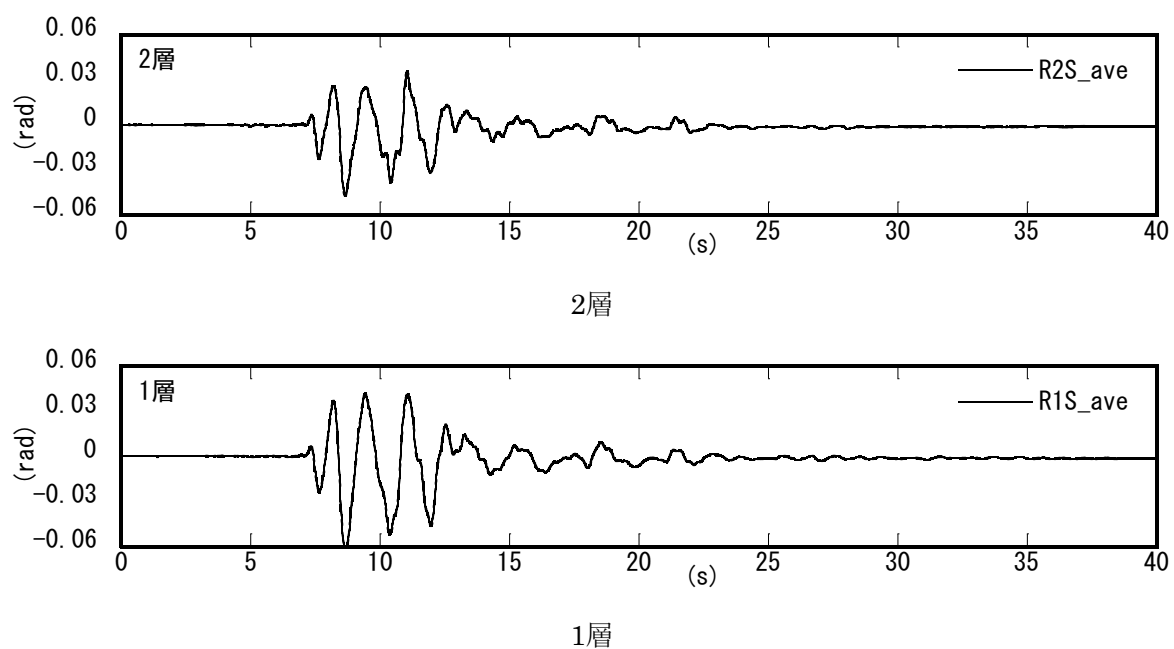


図3. 2. 1-72 3D2K03-Sにおける応答層間変形角波形

4) 履歴曲線

応答加速度から求めた層せん断力係数と変形角から応答層間変形角による履歴曲線を各層ごとに図3.2.1-73～図3.2.1-84に示し、あわせて変形角、層せん断力および層せん断力係数の最大値を表3.2.1-8～表3.2.1-19に示す。

(a) 3A2B1Lの履歴曲線

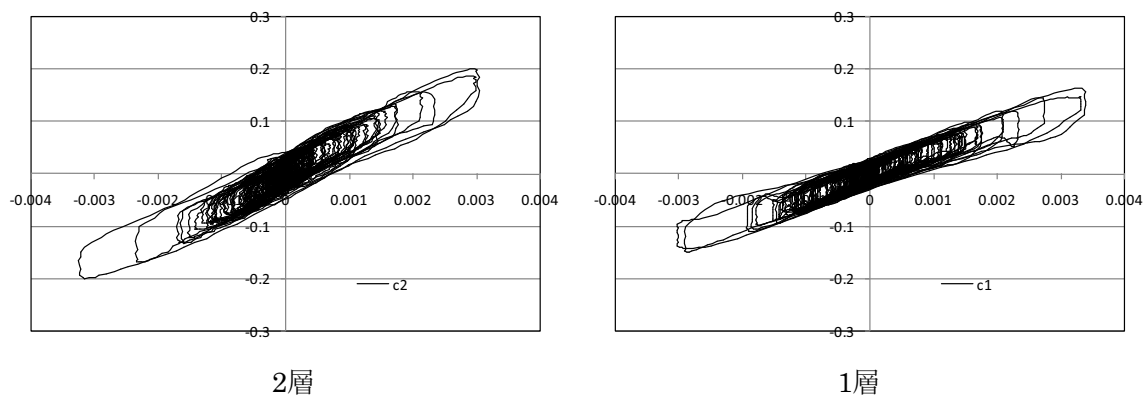


図3.2.1-73 3A2B1Lにおける履歴曲線

表3.2.1-8 3A2B1Lにおける履歴の最大値

	2層	1層
最大変形角	0.0033	0.0034
最大層せん断力	19.97	30.58
最大層せん断力係数	0.201	0.165

(b) 3A3B1Sの履歴曲線

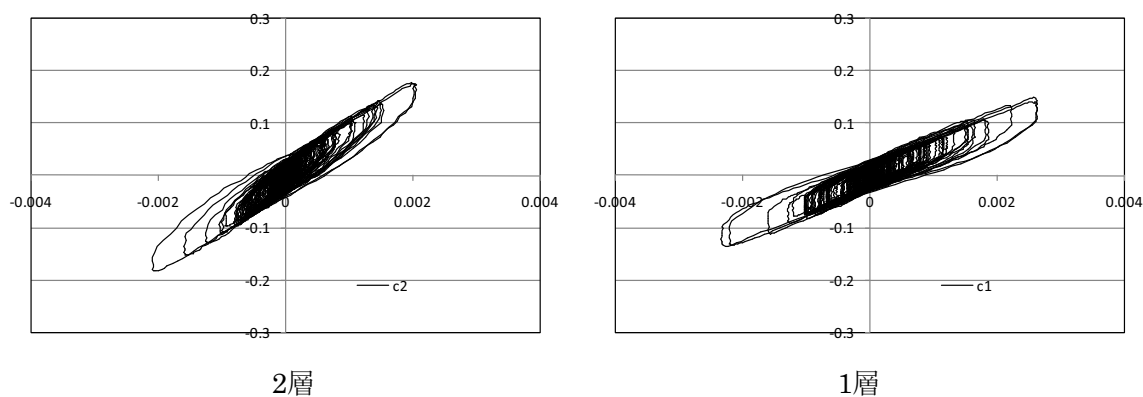


図3.2.1-74 3A3B1Sにおける履歴曲線

表3.2.1-9 3A3B1Sにおける履歴の最大値

	2層	1層
最大変形角	0.0021	0.0026
最大層せん断力	18.15	27.62
最大層せん断力係数	0.182	0.149

(c) 3A4B2Lの履歴曲線

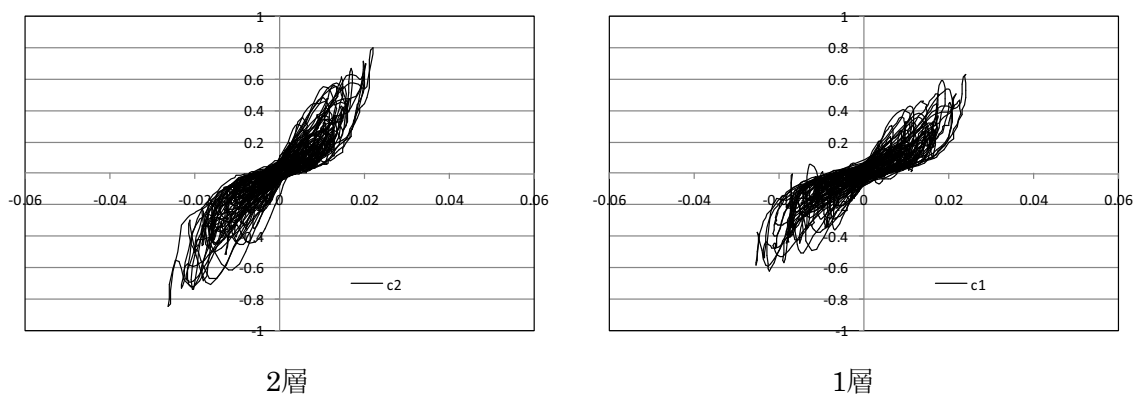


図3. 2. 1-75 3A4B2Lにおける履歴曲線

表3. 2. 1-10 3A4B2Lにおける履歴の最大値

	2層	1層
最大変形角	0.0263	0.0254
最大層せん断力	84.77	117.55
最大層せん断力係数	0.851	0.633

(d) 3A5B2Sの履歴曲線

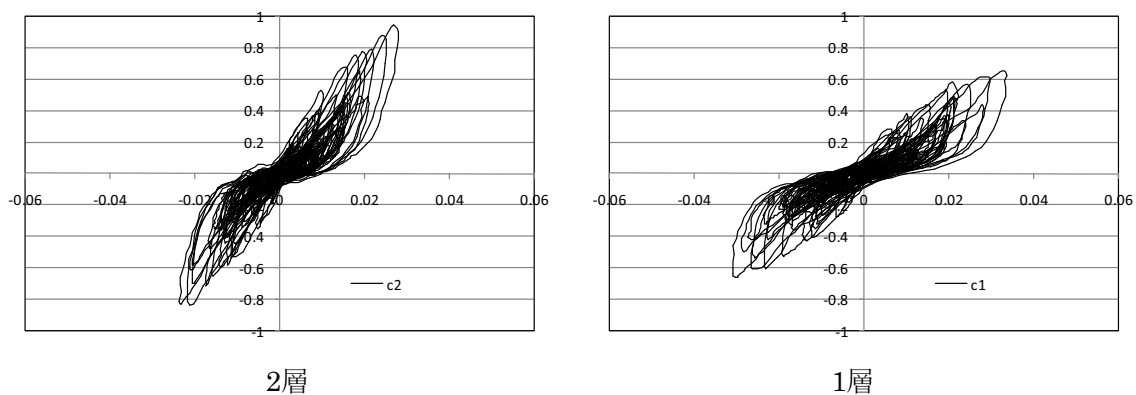


図3. 2. 1-76 3A5B2Sにおける履歴曲線

表3. 2. 1-11 3A5B2Sにおける履歴の最大値

	2層	1層
最大変形角	0.0280	0.0337
最大層せん断力	94.15	122.75
最大層せん断力係数	0.946	0.662

(e) 3B2B2Lの履歴曲線

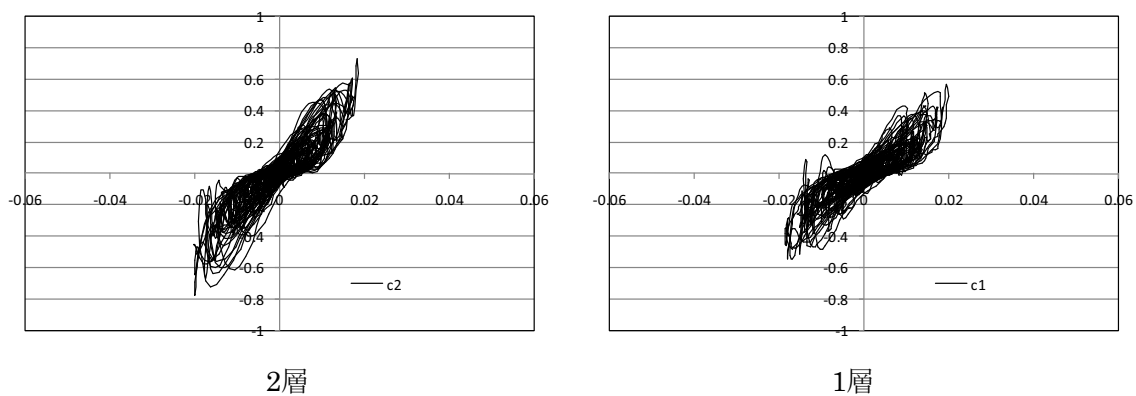


図3. 2. 1-77 3B2B2Lにおける履歴曲線

表3. 2. 1-12 3B2B2Lにおける履歴の最大値

	2層	1層
最大変形角	0.0204	0.0199
最大層せん断力	77.61	106.28
最大層せん断力係数	0.779	0.573

(f) 3B4B2Sの履歴曲線

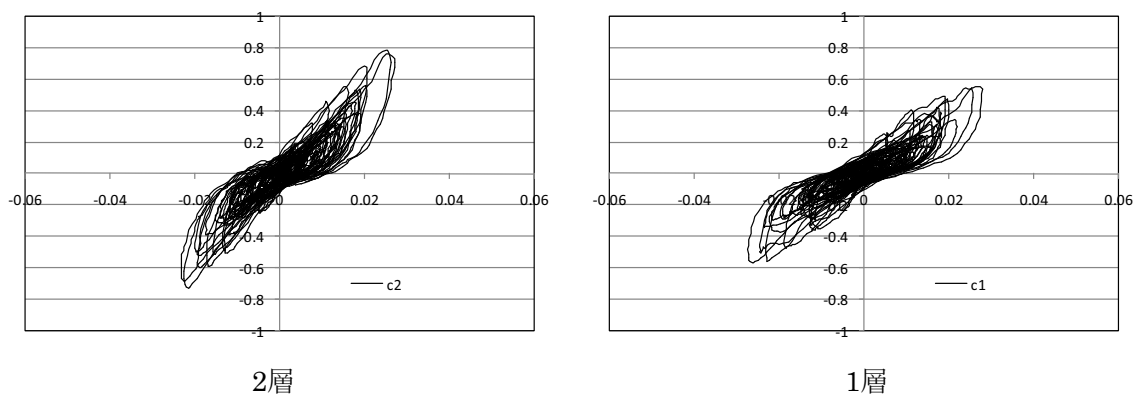


図3. 2. 1-78 3B4B2Sにおける履歴曲線

表3. 2. 1-13 3B4B2Sにおける履歴の最大値

	2層	1層
最大変形角	0.0273	0.0279
最大層せん断力	78.32	105.49
最大層せん断力係数	0.787	0.569

(g) 3C2B1Lの履歴曲線

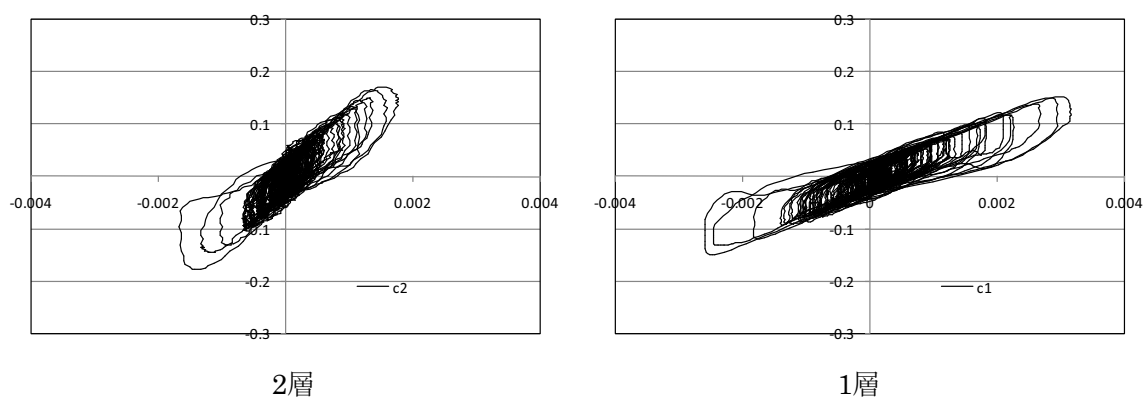


図3. 2. 1-79 3C2B1Lにおける履歴曲線

表3. 2. 1-14 3C2B1Lにおける履歴の最大値

	2層	1層
最大変形角	0.0018	0.0032
最大層せん断力	17.73	28.27
最大層せん断力係数	0.178	0.152

(h) 3C3B1Sの履歴曲線

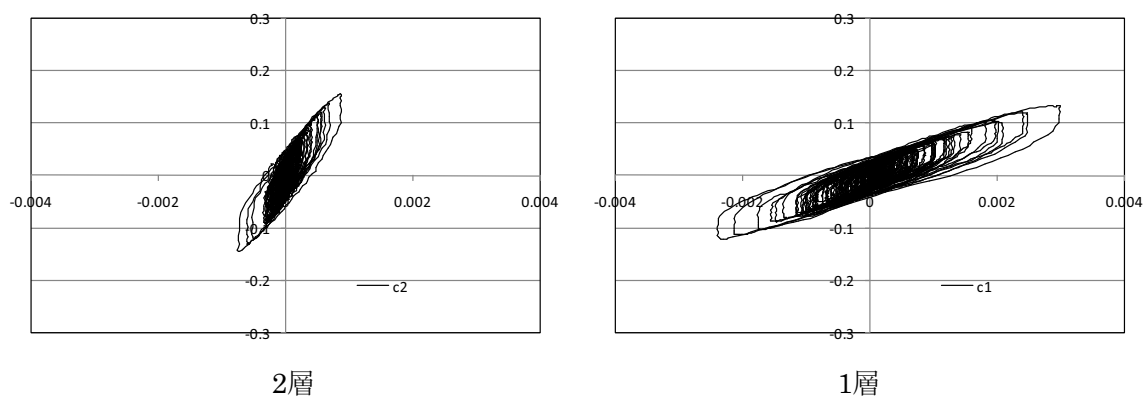


図3. 2. 1-80 3C3B1Sにおける履歴曲線

表3. 2. 1-15 3C3B1Sにおける履歴の最大値

	2層	1層
最大変形角	0.0009	0.0030
最大層せん断力	15.59	24.89
最大層せん断力係数	0.157	0.134

(i) 3C4B2Lの履歴曲線

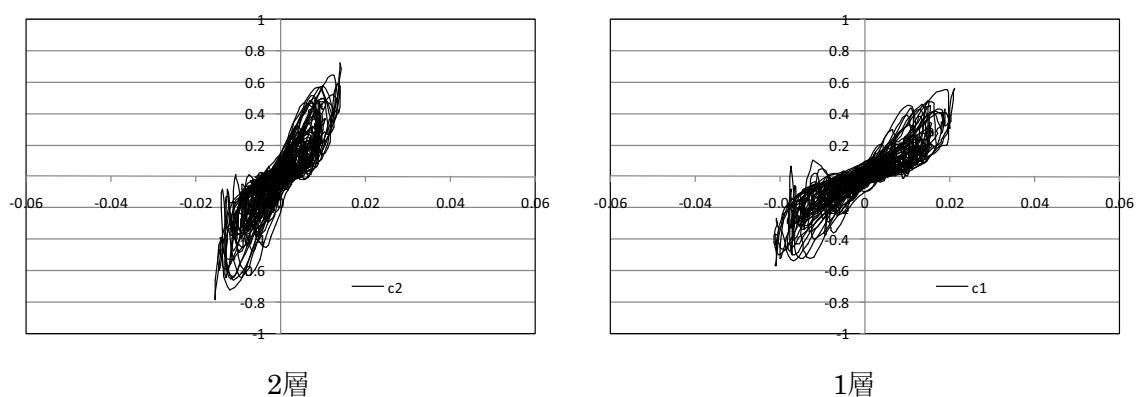


図3. 2. 1-81 3C4B2Lにおける履歴曲線

表3. 2. 1-16 3C4B2Lにおける履歴の最大値

	2層	1層
最大変形角	0.0156	0.0214
最大層せん断力	78.49	105.97
最大層せん断力係数	0.788	0.571

(j) 3C5B2Sの履歴曲線

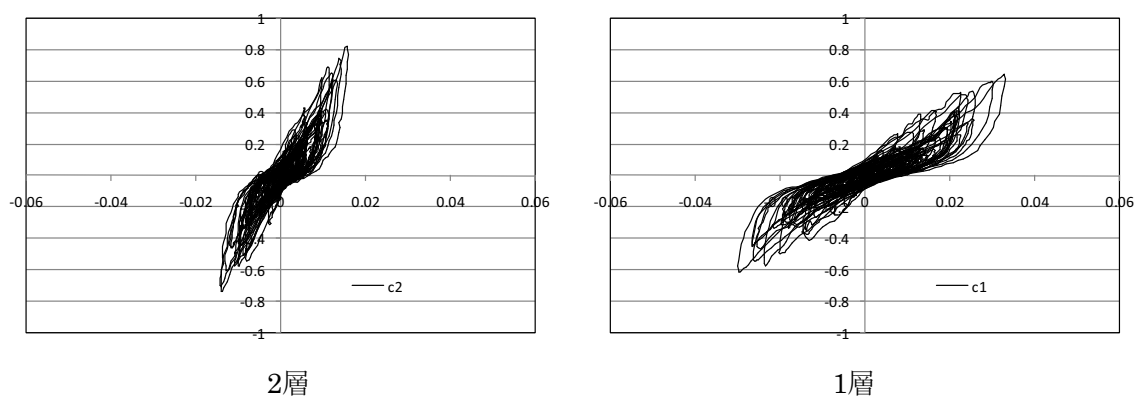


図3. 2. 1-82 3C5B2Sにおける履歴曲線

表3. 2. 1-17 3C5B2Sにおける履歴の最大値

	2層	1層
最大変形角	0.0161	0.0331
最大層せん断力	82.08	119.33
最大層せん断力係数	0.824	0.643

(k) 3D2K03-Lの履歴曲線

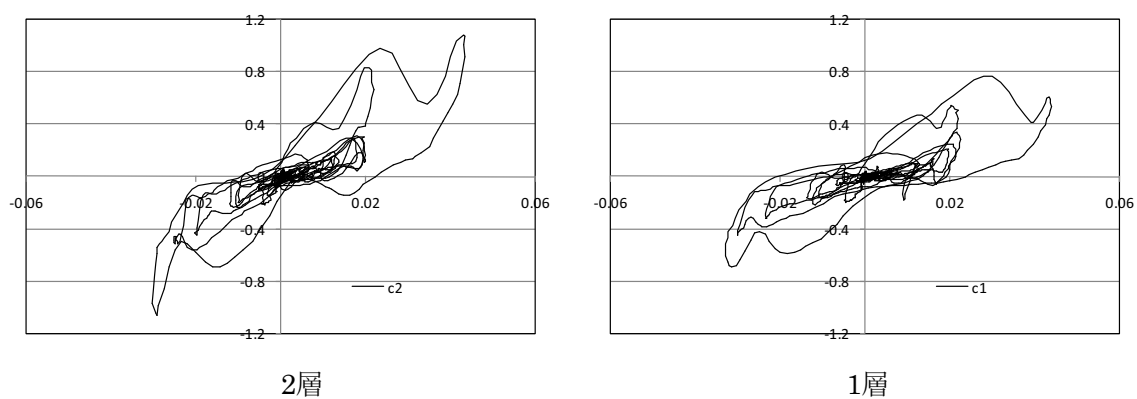


図3. 2. 1-83 3D2K03-Lにおける履歴曲線

表3. 2. 1-18 3D2K03-Lにおける履歴の最大値

	2層	1層
最大変形角	0.0435	0.0440
最大層せん断力	108.05	142.69
最大層せん断力係数	1.085	0.769

(l) 3D2K03-Sの履歴曲線

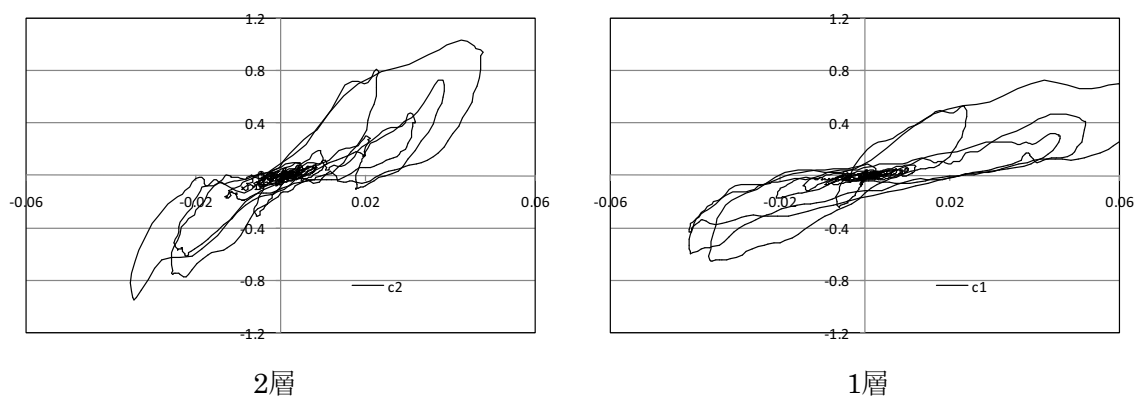


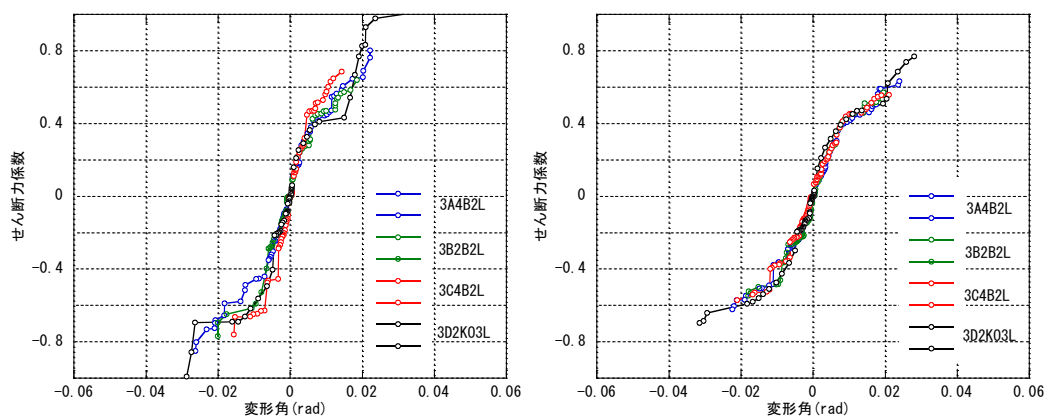
図3. 2. 1-84 3D2K03-Sにおける履歴曲線

表3. 2. 1-19 3D2K03-Sにおける履歴の最大値

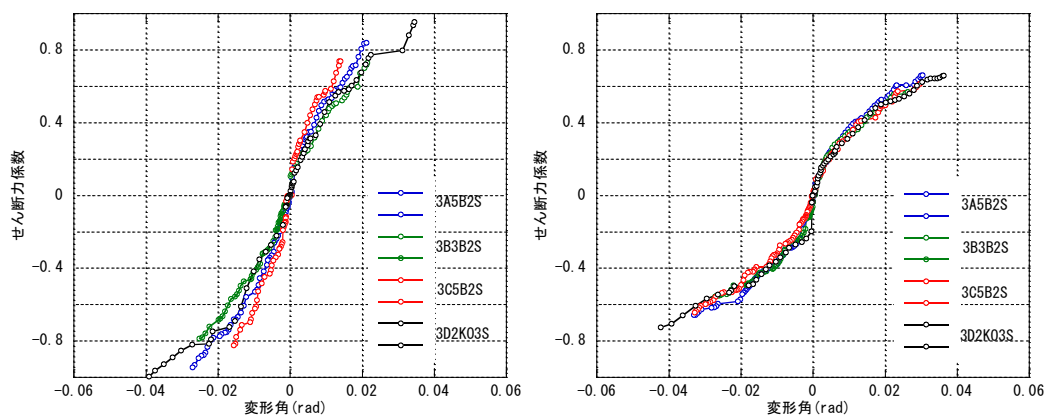
	2層	1層
最大変形角	0.0477	0.0669
最大層せん断力	102.84	134.68
最大層せん断力係数	1.033	0.726

5) スケルトンカーブ

レベル2加振による履歴曲線のスケルトンカーブを図3.2.1-85に示す。スケルトンカーブは、履歴曲線の経験した耐力かつ変形角の最大点を超える点を選択した。



L方向 (左：2層、右：1層)



S方向 (左：2層、右：1層)

図3.2.1-85 スケルトンカーブ

6) 履歴減衰

レベル1加振による履歴曲線の履歴減衰を図3.2.1-86～3.2.1-89に示す。履歴減衰は、1階の層せん断力係数-変形角関係の履歴曲線から履歴モデルを仮定して1サイクルの消費エネルギー (ΔW) とポテンシャルエネルギー (W) を求めて式1より減衰定数を算定した。なお W は第1と第3象限の平均値とした。

$$h = 1/(4\pi) \times \Delta W/W \quad (\text{式1})$$

(a) 3A2B1Lの履歴減衰

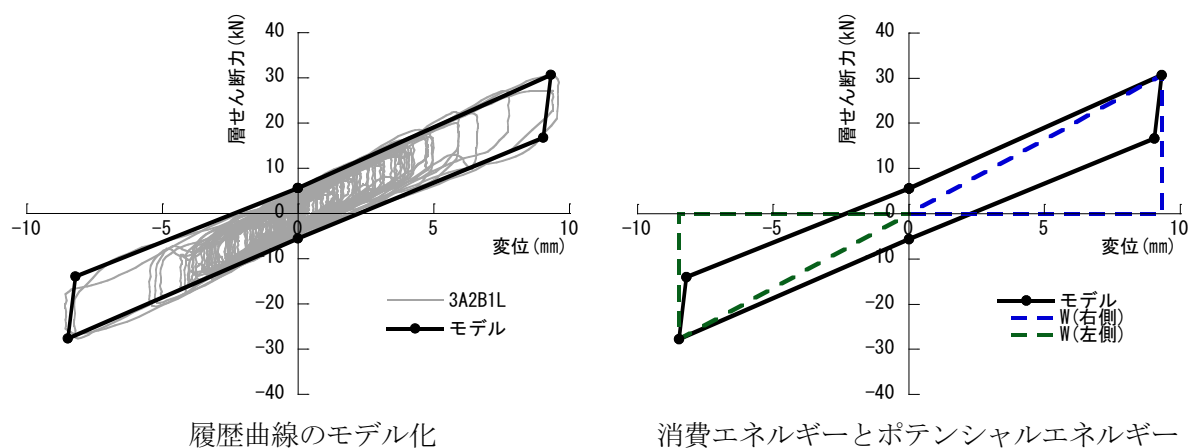


図3. 2. 1-86 3A2B1Lの履歴減衰

表3. 2. 1-20 3A2B1Lの減衰定数

一サイクルの消費エネルギー	212. 53
ポテンシャルエネルギー	130. 06
等価粘性減衰定数	0. 13

(b) 3A3B1Sの履歴減衰

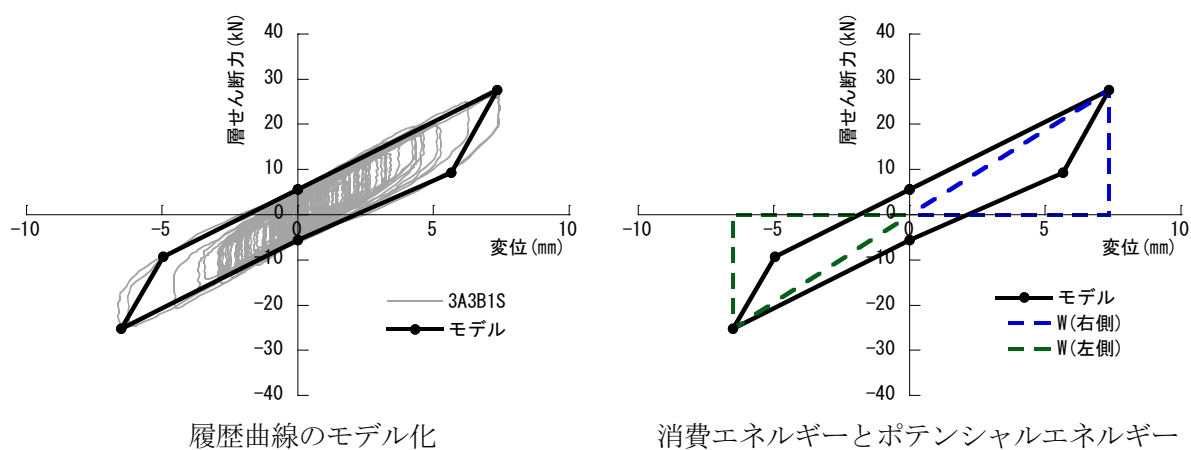
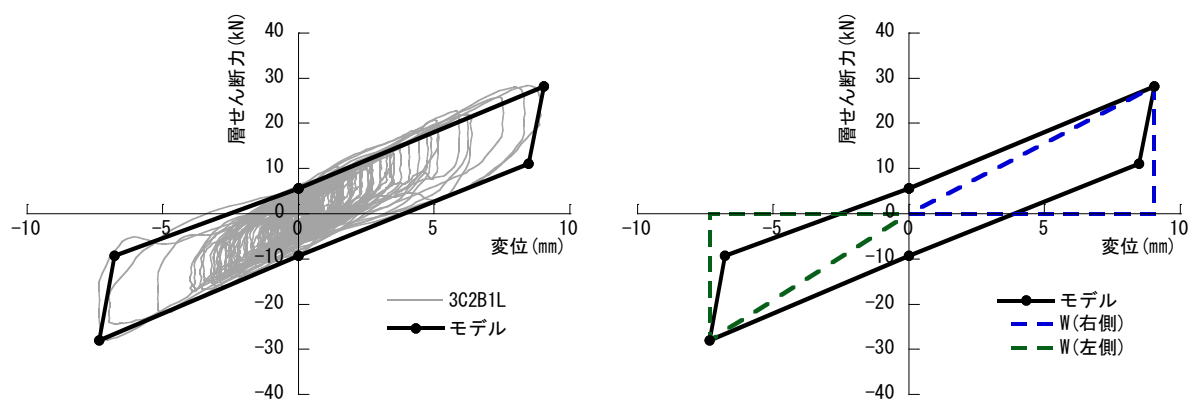


図3. 2. 1-87 3A3B1Sの履歴減衰

表3. 2. 1-21 3A3B1Sの減衰定数

一サイクルの消費エネルギー	144. 43
ポテンシャルエネルギー	91. 85
等価粘性減衰定数	0. 13

(g) 3C2B1Lの履歴減衰



履歴曲線のモデル化

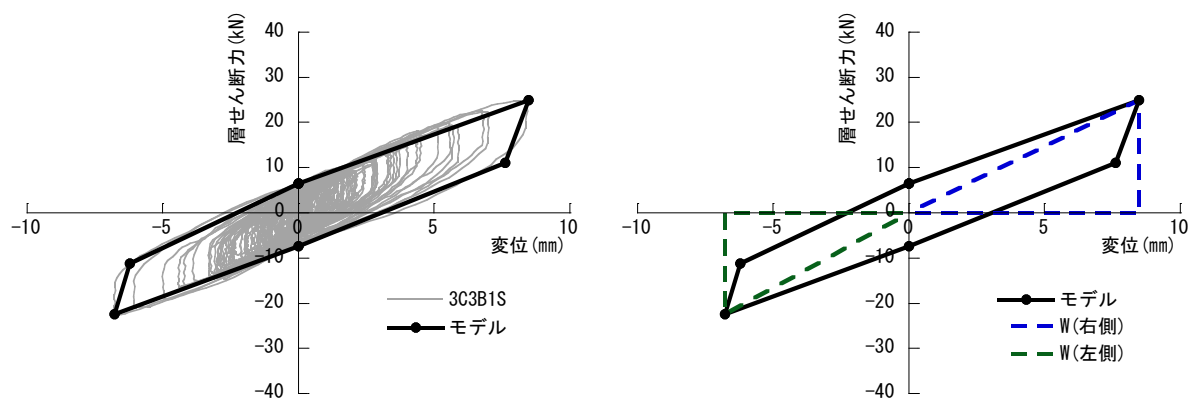
消費エネルギーとポテンシャルエネルギー

図3. 2. 1-88 3C2B1Lの履歴減衰

表3. 2. 1-22 3C2B1Lの減衰定数

一サイクルの消費エネルギー	247.77
ポテンシャルエネルギー	115.30
等価粘性減衰定数	0.17

(h) 3C3B1Sの履歴減衰



履歴曲線のモデル化

消費エネルギーとポテンシャルエネルギー

図3. 2. 1-89 3C3B1Sの履歴減衰

表3. 2. 1-23 3C3B1Sの減衰定数

一サイクルの消費エネルギー	181.02
ポテンシャルエネルギー	90.83
等価粘性減衰定数	0.16

7) 立面的な変形モード

レベル2の加振において、立面的な変形モード図を図3.2.1-90～図3.2.1-97に示す。変形モードは、画像計測データを層ごとに平均して層の代表変位とし、正負ごとに1階の変位がもっとも大きい時点の各層の変位とした。同図のプロットは各層の高さを示し、点線は1層の変形角と同角度を示す。

(a) 3A4B2Lおよび3A5B2Sの立面的な変形モード

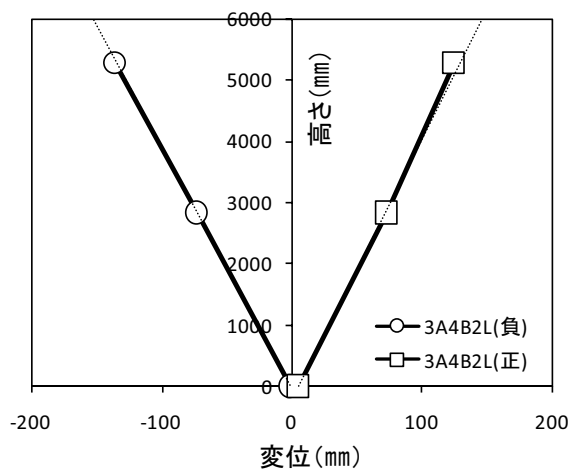


図3. 2. 1-90 3A4B2Lの立面的変形モード

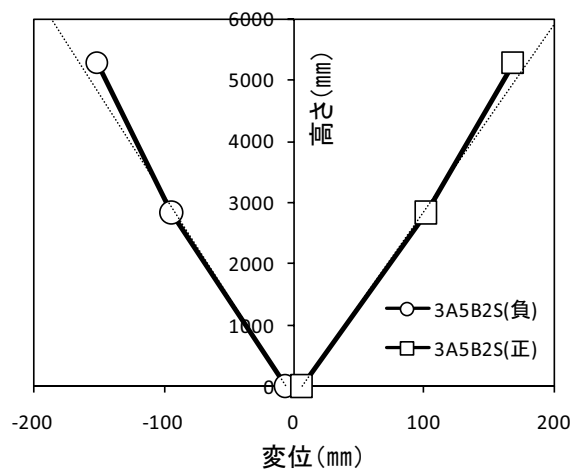


図3. 2. 1-91 3A5B2Sの立面的変形モード

(b) 3B2B2Lおよび3B4B2Sの立面的な変形モード

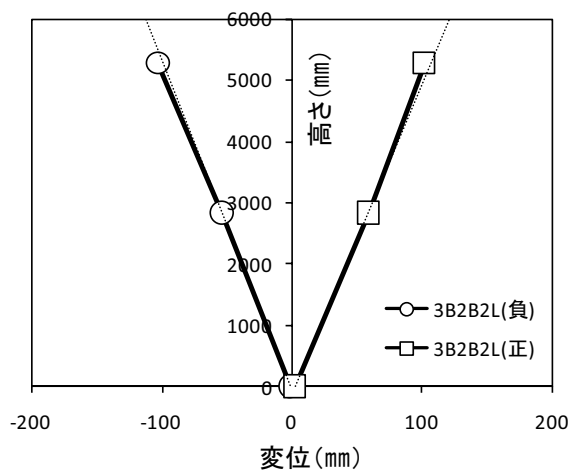


図3. 2. 1-92 3B2B2Lの立面的変形モード

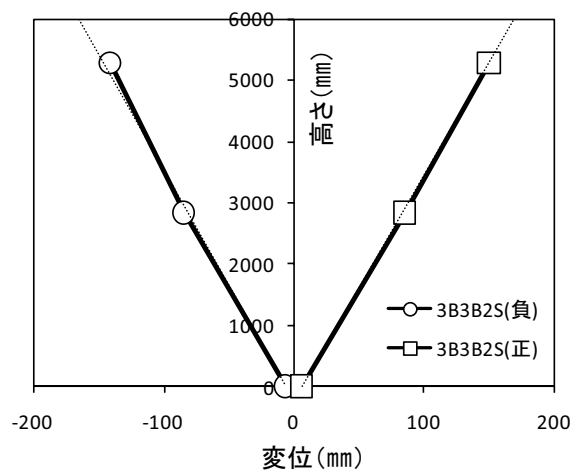


図3. 2. 1-93 3B4B2Sの立面的変形モード

(c) 3C4B2Lおよび3C5B2Sの立面的な変形モード

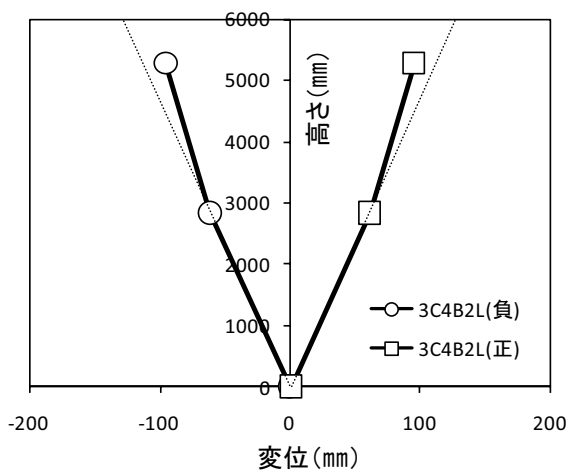


図3. 2. 1. 94 3C4B2Lの立面的変形モード

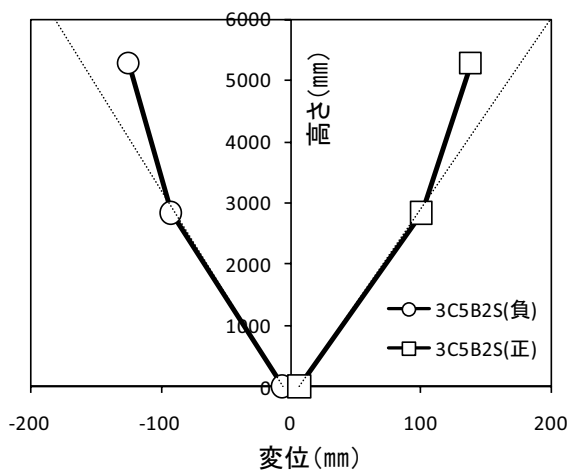


図3. 2. 1-95 3C5B2Sの立面的変形モード

(d) 3D2K03-Lおよび3D2K03-Sの立体的な変形モード

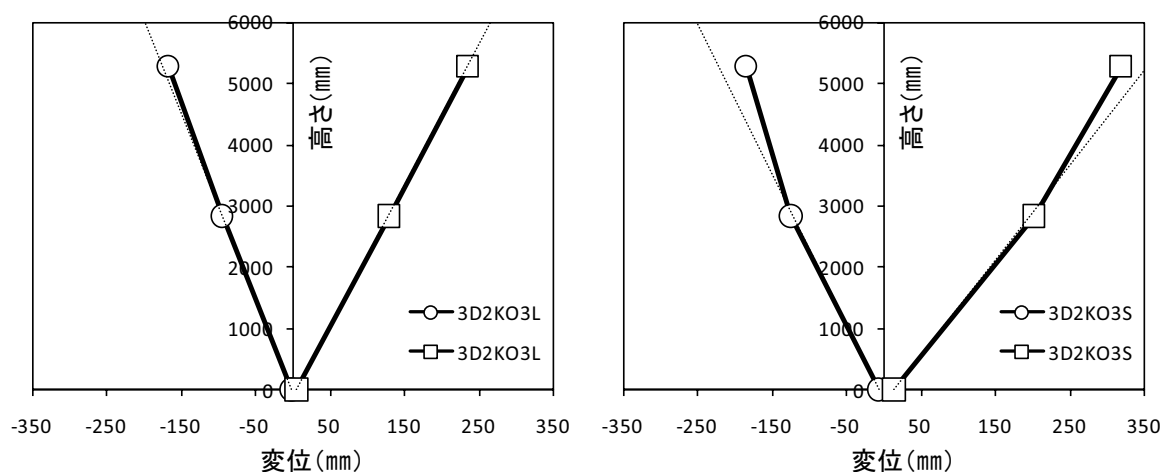


図3. 2. 1-96 3D2K03-Lの立体的変形モード 図3. 2. 1-97 3D2K03-Sの立体的変形モード

8) 平面的な変形モード

変形モードは、1階の変位が最大となる点とその前後数秒を用いて、平面的な変形モードを作成した。画像計測データを用いて、基準点座標を1/10に縮小することで、相対的に10倍の変形モードとしている。試験体の配置および画像計測のマーカ番号を図3.2.1-98に示す。平面的な変形モード図を図3.2.1-99～図3.2.1-100に示す。同図の点線は、変形前の試験体の外壁ラインを示す。また各図中の数値は計測のタイムコードを示す。

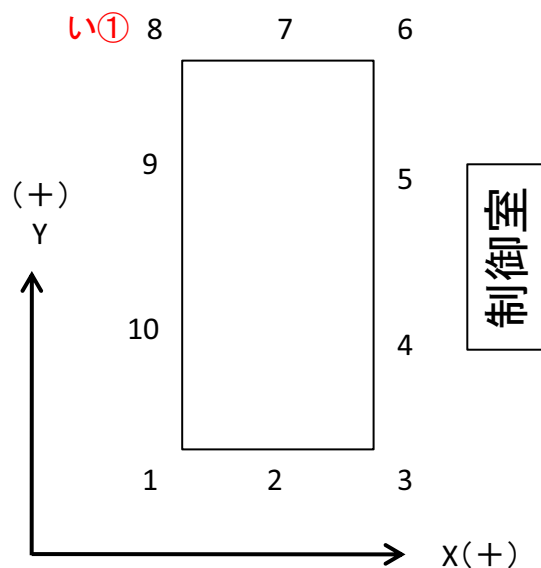


図3. 2. 1-98 試験体の配置とマーカ番号

(a) 3A4B2Lの平面的な変形モード

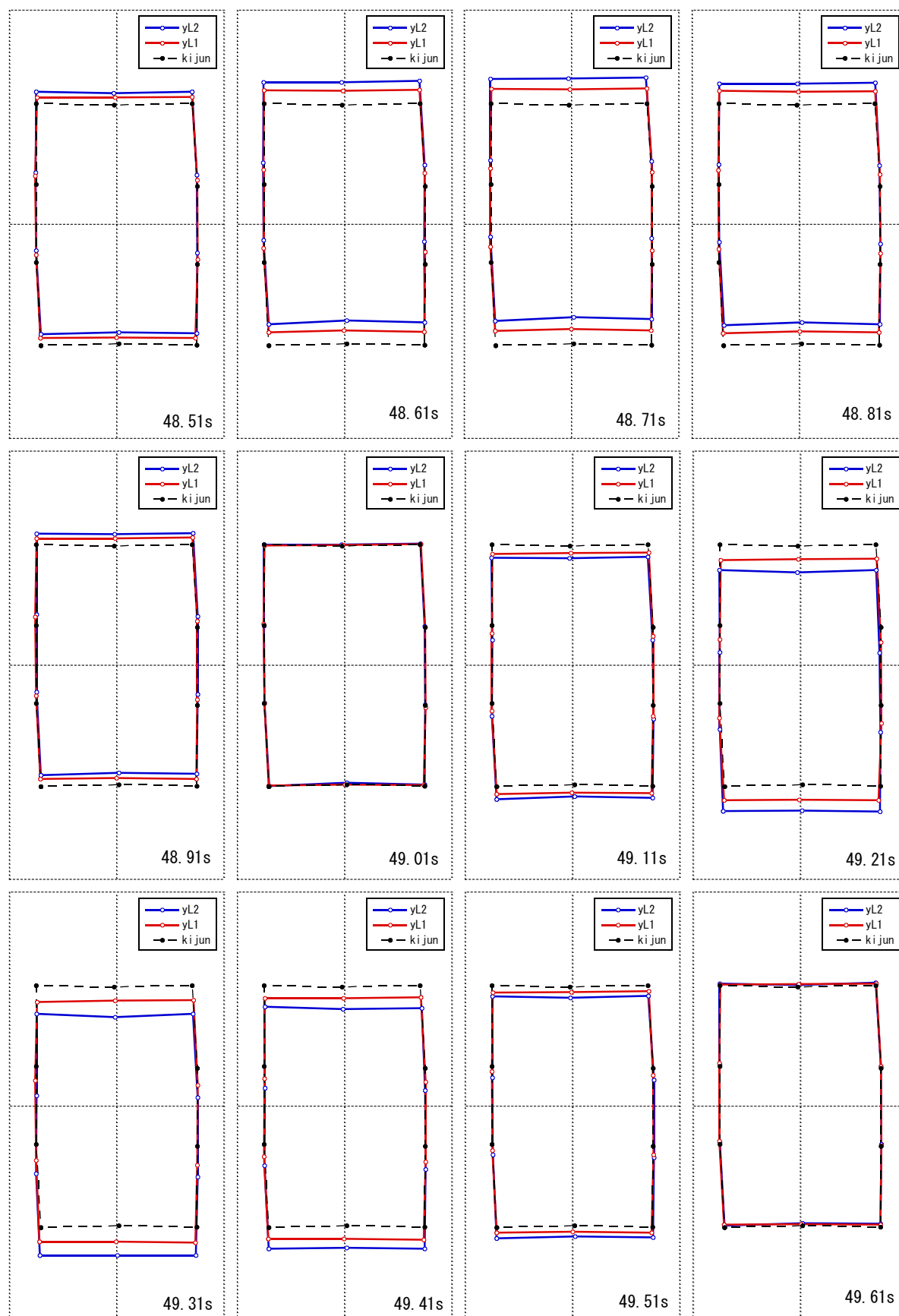


図3. 2. 1-99 3A4B2Lの平面的な変形モード

(c) 3B3B2Sの平面的な変形モード

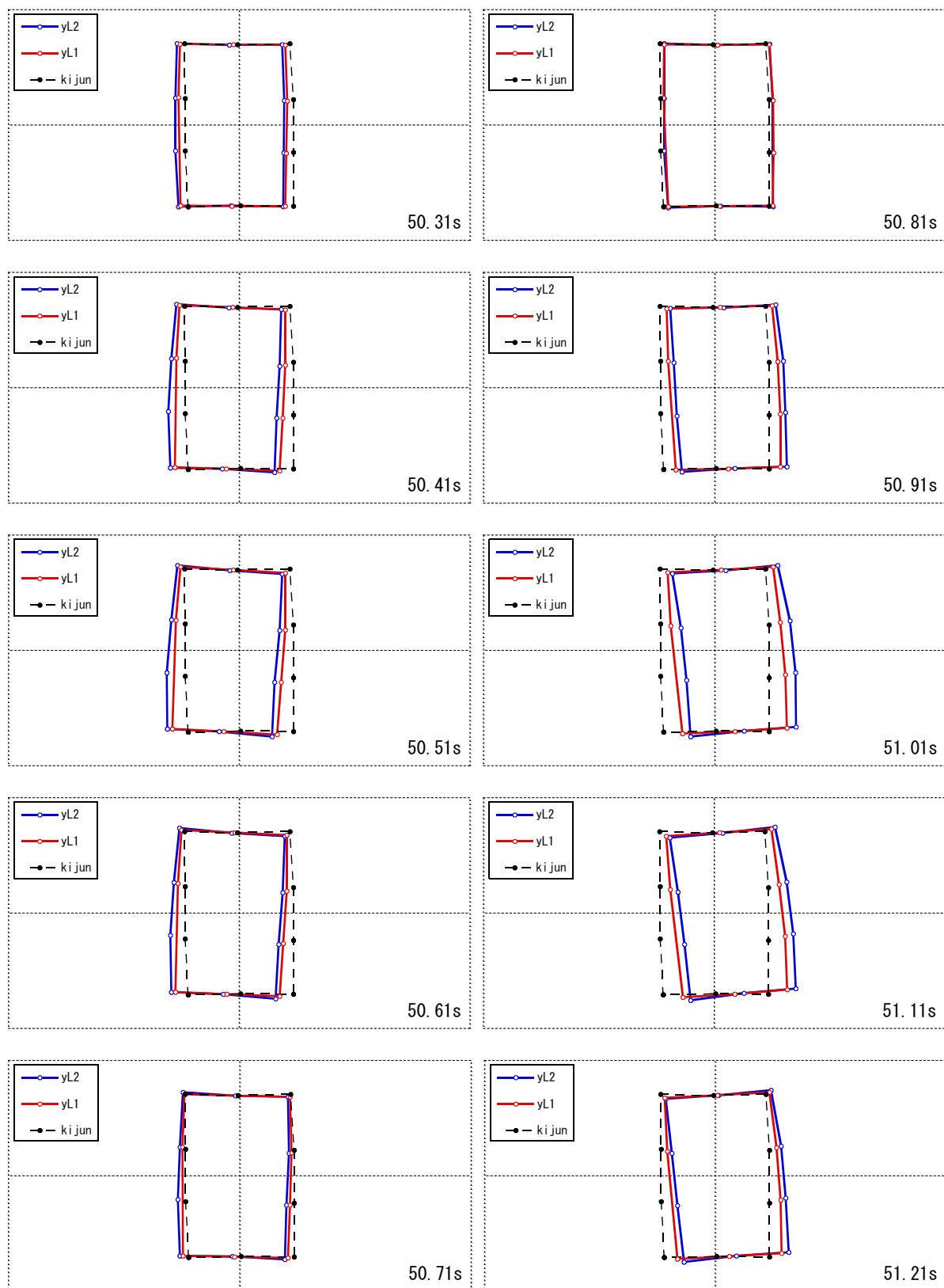


図3. 2. 1-100 3B3B2Sの平面的な変形モード

偏心を有する場合の床の変形モードから、床の回転変形を算出し図3.2.1-101に示し、同様に床のせん断変形を図3.2.1-102に示す。それぞれ同図右に算出方法の概要図を示す。

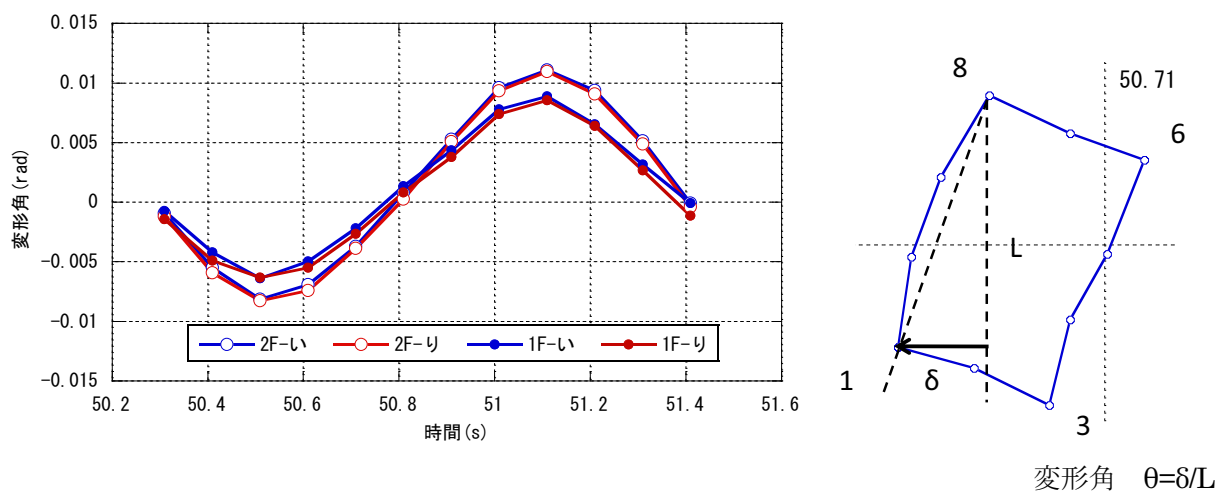


図3.2.1-101 床の回転変形

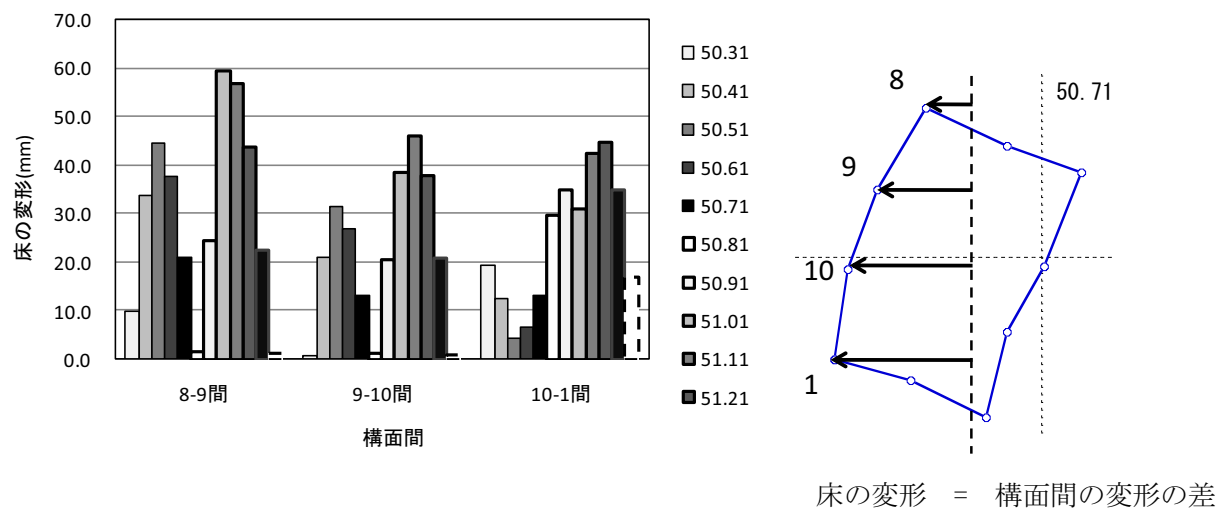


図3.2.1-102 床のせん断変形

(3) No. 4 試験体

1) 復元力特性および復元力包絡線

試験体の各通りに設置した加速度計、変位計や画像変位計測より、各層の復元力特性と復元力包絡線を求めた。質点系荷重および層間変形角を求める各階の階高は、図3.2.1-103に示す値を用いる。実験中の建物応答は捻れ挙動が顕著であり、特に短手（S）方向加振では並進ではない挙動が大きく見られたが、ここでは建物全体の復元力特性を、長手方向で「い、ほ、り通り」の、短手方向では、「1、5、9、13通り」の通り復元力特性を求め、各通りの荷重・変形角をそれぞれ平均した値を層の復元力特性とした。なお、加速度計測値は15Hz以上の周波数成分をローパスフィルタカットした。主要な加振における各階長手・短手方向の復元力特性および、復元力包絡線を図3.2.1-104に、応答値一覧を表3.2.1-1に示す。各加振の復元力特性と復元力包絡線を図3.2.1-105～3.2.1-110に示す。

復元力包絡線は、壁配置A～Cまでであるが、それらすべてを用いて復元力包絡線を求めている。図3.2.1-104より、No.4長手方向1階は、ベースシア係数(Cb)0.55、短手方向1階は0.52であった。

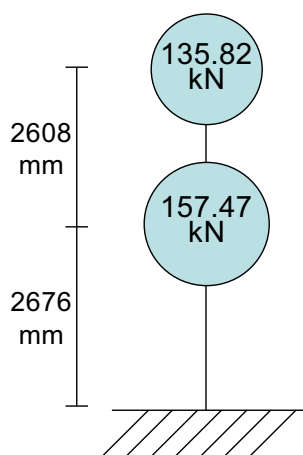
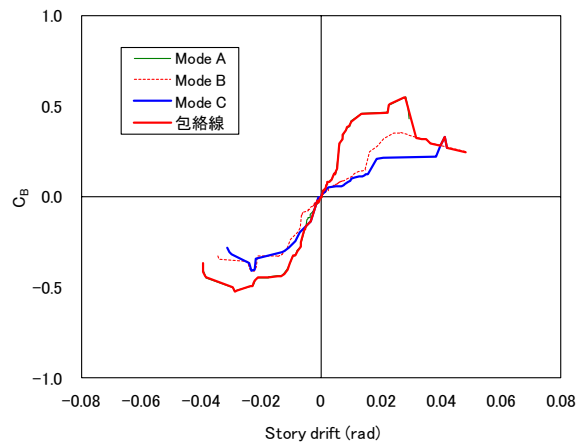


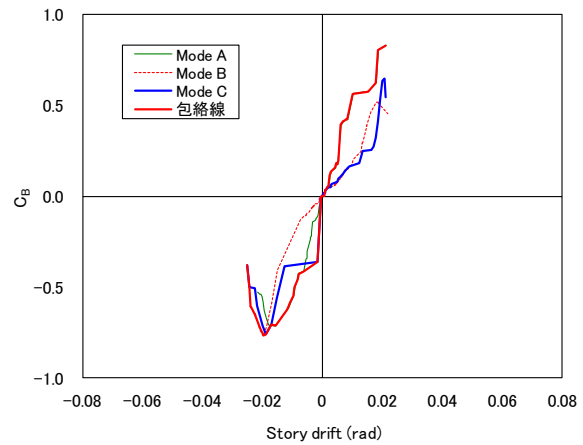
図3. 2. 1-103 試験体No. 4を2質点系に置換した各層の荷重と高さ

表3. 2. 1-24 試験体No. 4 復元力特性最大応答値

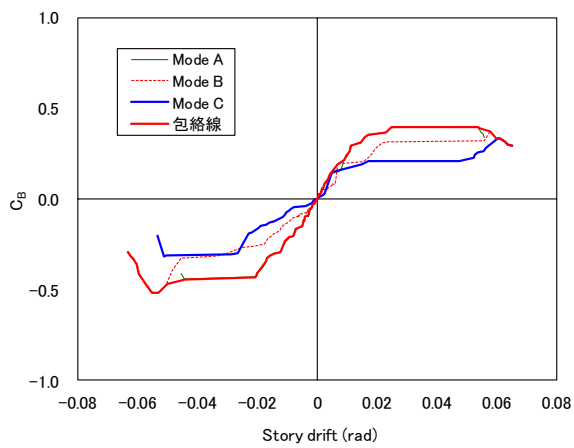
	1階				2階			
	長手		短手		長手		短手	
	復元力 (kN)	変形角 (rad)	復元力 (kN)	変形角 (rad)	復元力 (kN)	変形角 (rad)	復元力 (kN)	変形角 (rad)
4A2B1L	54.2265	0.00549	—	—	32.27	0.005	—	—
4A3B1S	—	—	45.73	0.006	—	—	26.98	0.004
4A4B2L	160.72	0.039	—	—	112.81	0.022	—	—
4A5B2S	—	—	131.96	0.057	—	—	96.888	0.020
4B2B1L	30.27	0.008	—	—	17.51	0.008	—	—
4B3B1S	—	—	28.23	0.007	—	—	16.63	0.006
4B4KO3	121.19	0.049	152.38	0.063	104.33	0.024	102.63	0.032
4C2KO3	119.896	0.04285	109.46	0.066	102.91	0.03	90.67	0.032



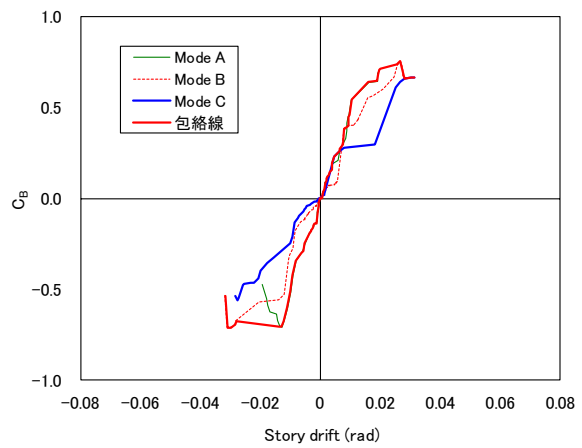
a) 1階長手方向



b) 2階長手方向

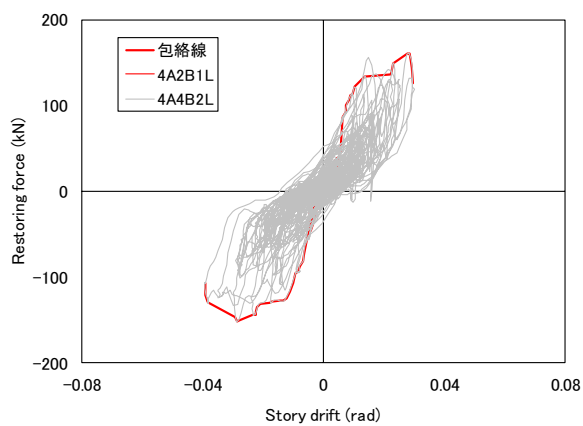


c) 1階短手方向

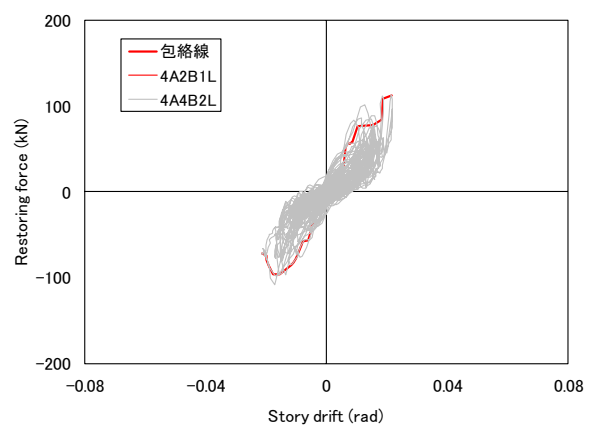


d) 2階短手方向

図3. 2. 1-104 試験体No. 4 復元力包絡線

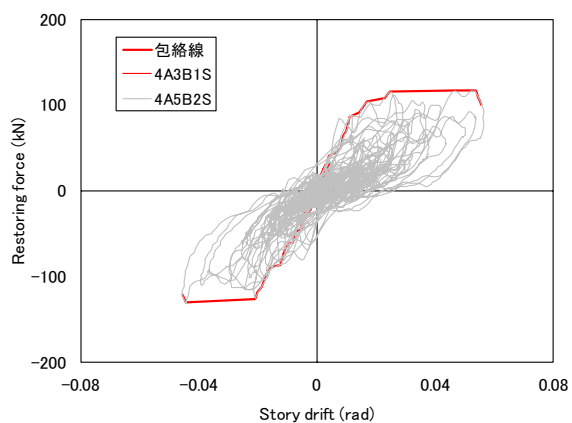


a) 1階長手方向

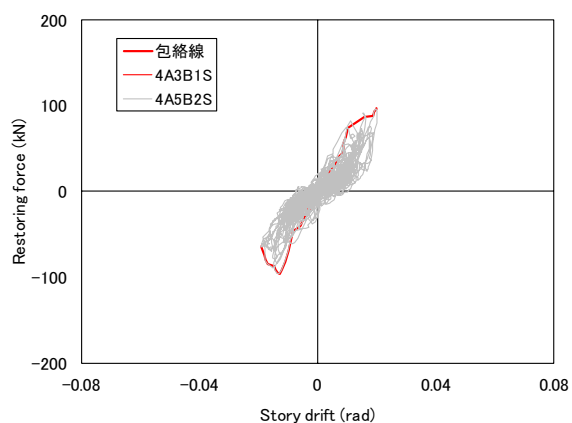


b) 2階長手方向

図3. 2. 1-105 試験体No. 4 壁配置A BCJ-L1、L2長手方向加振 (4A2B1L、4A4B2L)

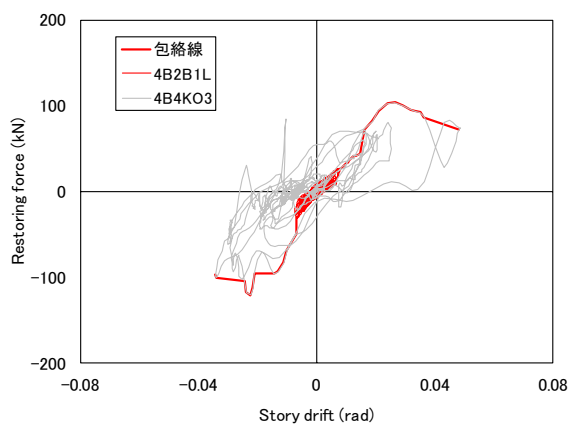


a) 1階短手方向

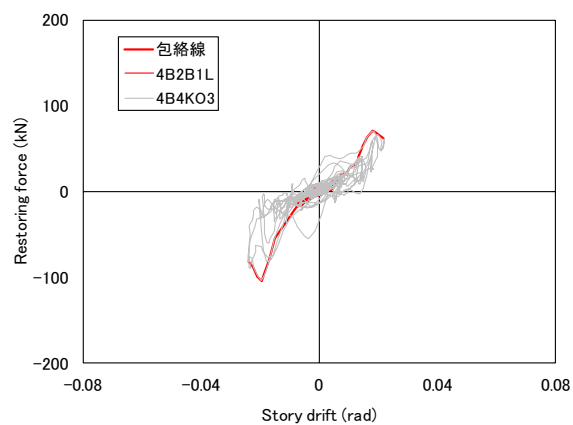


b) 2階短手方向

図3. 2. 1-106 試験体No. 4 壁配置A BCJ-L1、L2短手方向加振 (4A3B1S、4A5B2S)

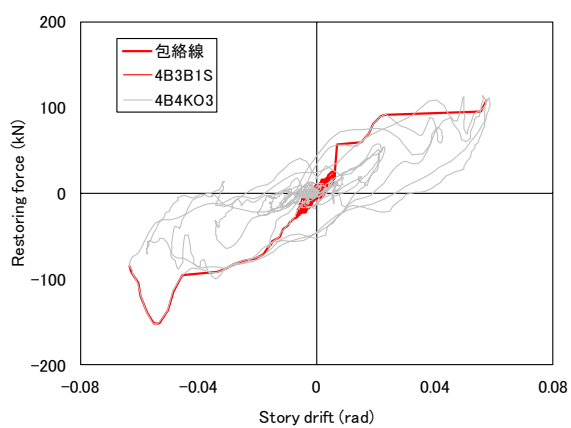


a) 1階長手方向

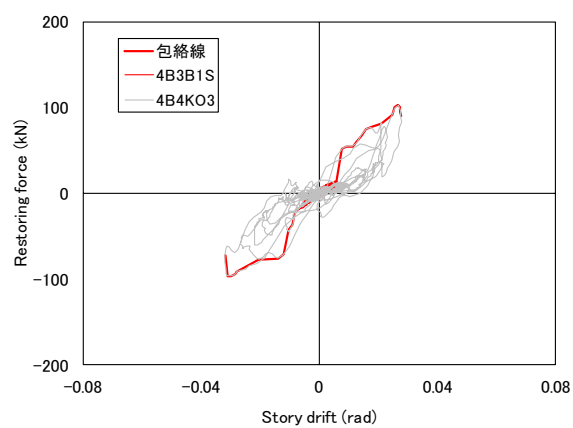


b) 2階長手方向

図3. 2. 1-107 試験体No. 4 壁配置B BCJ-L1長手方向、JMA神戸3方向加振 (4B2B1L、4B4KO3)

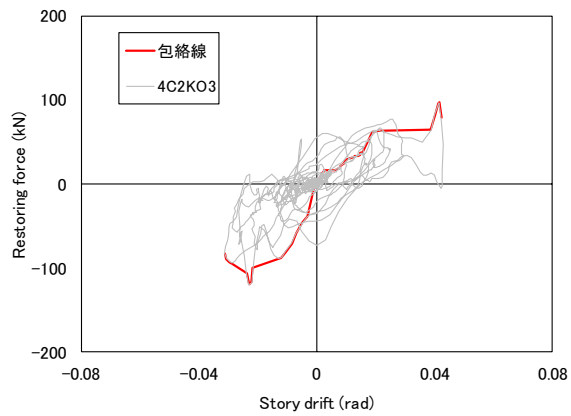


a) 1階短手方向

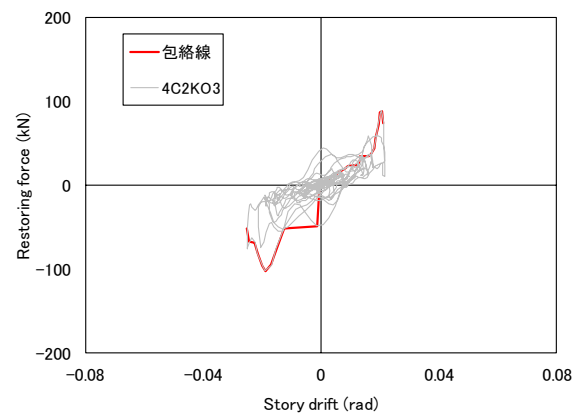


b) 2階短手方向

図3. 2. 1-108 試験体No. 4 壁配置B BCJ-L1短手方向、JMA神戸3方向加振 (4B3B1S、4B4KO3)

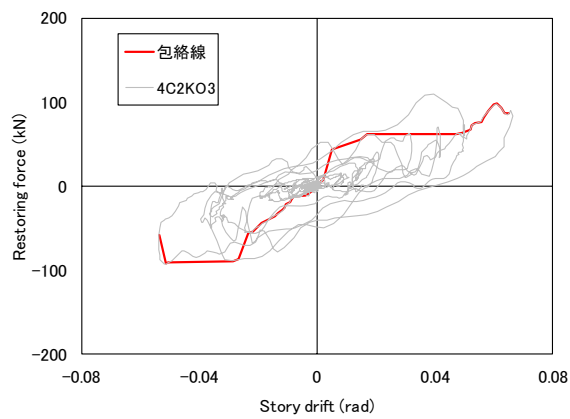


a) 1階長手方向

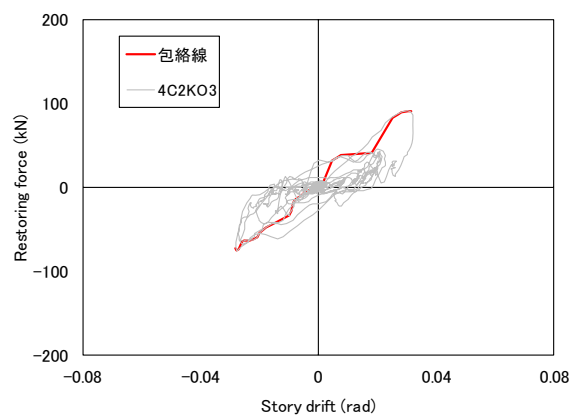


b) 2階長手方向

図3. 2. 1-109 試験体No. 4 壁配置C JMA神戸3方向加振 (4C2KO3)



a) 1階短手方向



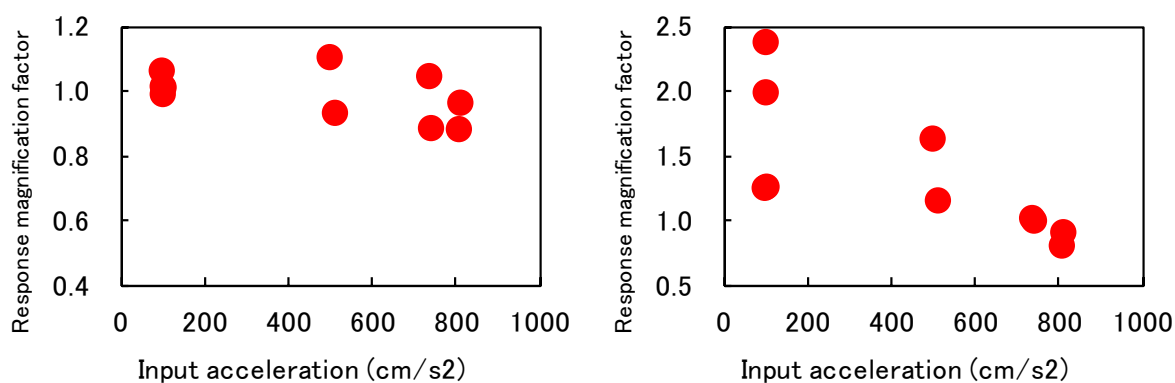
b) 2階短手方向

図3. 2. 1-110 試験体No. 4 壁配置C JMA神戸3方向加振 (4C2KO3)

2) 最大応答加速度および速度

先に1) で求めた各加振の各層復元力特性（層せん断力）から最大加速度を求め、入力地震動と見なした鉄骨架台上の加速度波形の最大値で除することで、入力地震動に対する各層の応答倍率を求めた。各層とは、1階床高、2階床高、2階天井高、最高高の4つである。また、加速度を積分することで速度を求め、同様の手法で応答倍率を求めた。各加振の応答値一覧を表3.2.1-25に、各階床高さにおける入力加速度と応答倍率の相関関係を図3.2.1-111～3.2.1-112に示す。

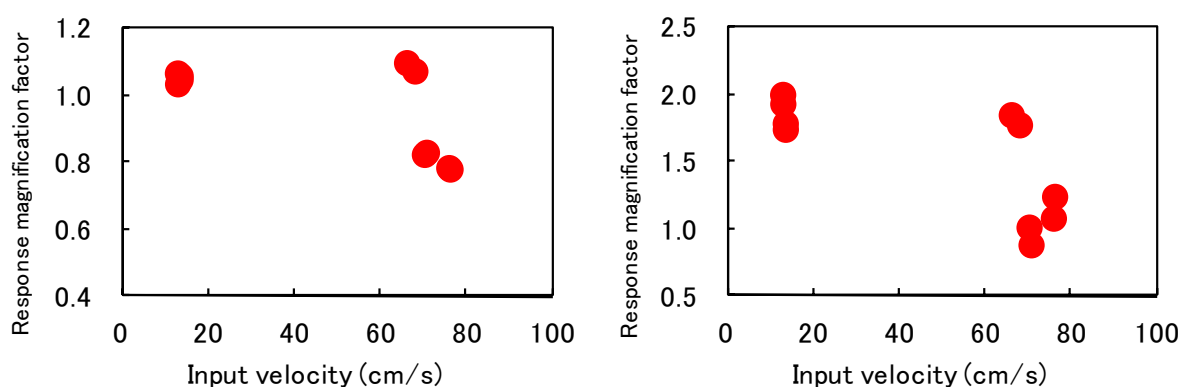
入力値が大きくなるほど、応答倍率が小さくなる傾向が加速度・速度ともに見られた。加速度は、1階床で入力値に関係せず約1.0、2階天井高では入力値が500cm/s²程度までは約1.5、800 cm/s²程度では約1.0となる。速度では、1階床で入力値が10cm/s程度までは約1.1、70cm/s程度では約0.8から1.1程度となる。2階天井高では、入力値が10cm/s程度までは約2.0、70cm/s程度では約1.0から2.0程度とバラツキが見られる。



a) 1階床高/鉄骨高

b) 2階天井高/鉄骨高

図3. 2. 1-111 試験体No. 4 加速度応答倍率



a) 1階床高/鉄骨高

b) 2階天井高/鉄骨高

図3. 2. 1-112 試験体No. 4 速度応答倍率

表3. 2. 1-25 試験体No. 4 加速度・速度応答倍率

		加速度				速度			
		長手方向		短手方向		長手方向		短手方向	
		応答倍率	最大値 (cm/s ²)	応答倍率	最大値 (cm/s ²)	応答倍率	最大値 (cm/s)	応答倍率	最大値 (cm/s)
4A2B1L	最高高	3.0	291.6	—	—	2.0	26.1	—	—
	2階天井高	2.4	233.1	—	—	2.0	25.7	—	—
	2階床高	1.4	140.9	—	—	1.6	20.3	—	—
	1階床高	1.0	99.4	—	—	1.1	13.7	—	—
	鉄骨架台	1.0	97.6	—	—	1.0	12.8	—	—
4A3B1S	最高高	—	—	2.1	207.9	—	—	1.8	23.7
	2階天井高	—	—	2.0	195.3	—	—	1.7	23.5
	2階床高	—	—	1.5	150.3	—	—	1.5	20.2
	1階床高	—	—	1.0	97.1	—	—	1.1	14.3
	鉄骨架台	—	—	1.0	97.7	—	—	1.0	13.5
4A4B2L	最高高	2.8	1383.4	—	—	1.9	123.8	—	—
	2階天井高	1.6	814.0	—	—	1.9	122.5	—	—
	2階床高	1.0	495.5	—	—	1.6	103.4	—	—
	1階床高	1.1	550.0	—	—	1.1	72.7	—	—
	鉄骨架台	1.0	496.3	—	—	1.0	66.1	—	—
4A5B2S	最高高	—	—	1.2	627.4	—	—	1.8	124.6
	2階天井高	—	—	1.2	591.3	—	—	1.8	121.0
	2階床高	—	—	0.9	465.4	—	—	1.5	104.5
	1階床高	—	—	0.9	476.2	—	—	1.1	73.1
	鉄骨架台	—	—	1.0	508.9	—	—	1.0	68.0
4B2B1L	最高高	1.9	189.1	—	—	2.0	25.9	—	—
	2階天井高	1.3	126.4	—	—	1.9	24.9	—	—
	2階床高	1.1	110.0	—	—	1.3	17.2	—	—
	1階床高	1.0	101.1	—	—	1.0	13.3	—	—
	鉄骨架台	1.0	99.7	—	—	1.0	12.9	—	—
4B3B1S	最高高	—	—	1.3	124.9	—	—	1.8	24.7
	2階天井高	—	—	1.3	120.0	—	—	1.8	24.1
	2階床高	—	—	1.1	105.7	—	—	1.3	18.1
	1階床高	—	—	1.1	101.6	—	—	1.0	14.1
	鉄骨架台	—	—	1.0	95.3	—	—	1.0	13.4
4B4KO3	最高高	1.4	1057.1	1.0	799.8	1.1	74.7	1.3	99.5
	2階天井高	1.0	752.8	0.9	740.5	1.0	71.4	1.2	94.9
	2階床高	0.9	653.2	0.7	565.6	0.7	52.2	0.9	72.1
	1階床高	1.0	770.2	1.0	781.8	0.8	58.0	0.8	59.6
	鉄骨架台	1.0	733.9	1.0	808.3	1.0	70.3	1.0	76.2
4C2KO3	最高高	1.3	938.4	0.9	713.8	1.0	68.2	1.1	86.0
	2階天井高	1.0	742.5	0.8	654.2	0.9	62.6	1.1	82.2
	2階床高	0.8	567.9	0.7	547.7	0.6	45.5	0.9	65.4
	1階床高	0.9	656.1	0.9	712.6	0.8	58.8	0.8	59.7
	鉄骨架台	1.0	738.3	1.0	804.8	1.0	70.7	1.0	75.9

3) 柱脚の水平移動

建物全体の水平移動および各柱脚の個別移動を確認する。まず、1階柱脚に設置した変位計より、各通りの最大水平移動量を長手方向、短手方向で求め、建物全体の水平移動とした。長手方向では隅の2柱、短手方向では3柱の移動を計測し、各通りで計測した個別柱の最大値を通りの最大水平移動量とした。なお、計測値には柱脚の水平移動量に加え、柱の回転による変位量も含まれるが、ここでは計測値が水平移動量としている。各加振の柱脚最大水平移動量を表3.2.1-26にベースシア係数（Cb）とともに示す。

BCJ-L1加振では、柱脚の水平移動がほぼ生じず、最大でも1.9mmと非常に小さい。BCJ-L2加振では大きな水平移動が発生し、最大で100mm程度、JMA神戸加振では、最大200mm程度の移動が生じていた。

水平移動が生じていたBCJ-L2、JMA神戸では、長手方向より短手方向の移動量が多い傾向も見られる。最大移動量を平面的に見ると、長手方向ではり通り、短手方向では1通、13通りの変形が大きくなっている。

ベースシア係数（Cb）と水平移動量の関係に着目すると、ベースシア係数が0.4を超える加振で大きな水平移動が生じている。これより、建物全体として礎石との摩擦係数を考えると、概ね0.4程度である可能性が見られる。

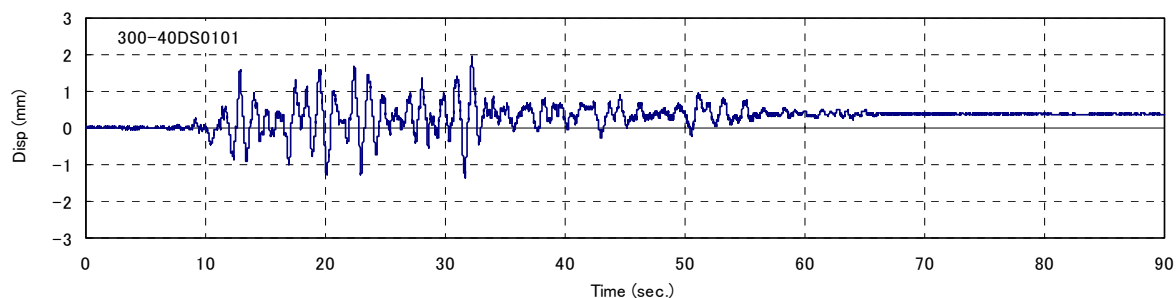
表3.2.1-26 試験体No.4 柱脚最大水平移動量とベースシア係数

	長手方向 (mm)					短手方向 (mm)					
	い通	ほ通	り通	平均	Cb	1通	5通	9通	13通	平均	Cb
4A2B1L	0.7	1.0	1.1	1.0	0.18	1.0	0.4	0.5	0.9	0.7	—
4A3B1S	0.6	0.3	0.4	0.5	—	2.0	0.7	0.9	1.6	1.3	0.16
4A4B2L	47.9	30.2	22.6	33.5	0.55	46.5	11.9	20.0	57.2	33.9	—
4A5B2S	47.1	22.8	100.2	56.7	—	100.4	31.4	35.9	71.1	59.7	0.45
4B2B1L	1.2	1.4	1.8	1.5	0.10	1.3	0.2	0.2	0.4	0.5	—
4B3B1S	0.6	0.2	0.4	0.4	—	1.9	0.9	1.1	1.9	1.5	0.10
4B4KO3	29.1	41.2	124.5	65.0	0.41	195.4	64.7	68.4	179.4	127.0	0.52
4C2KO3	33.5	27.9	112.1	57.8	0.41	138.0	33.2	35.9	153.7	90.2	0.37

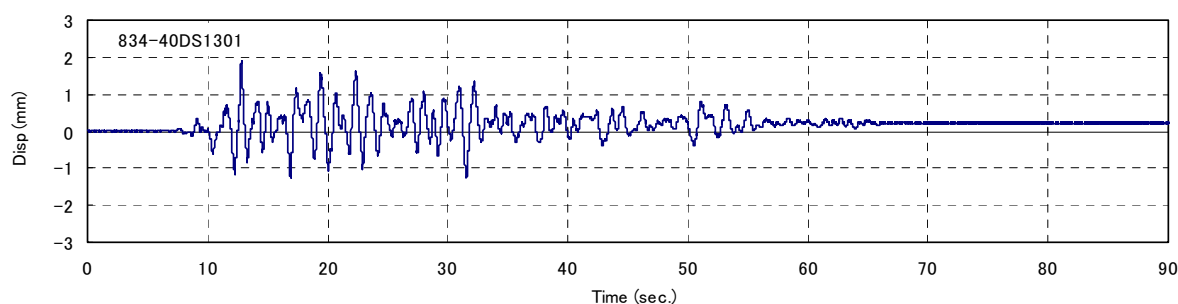
次に、各柱の柱脚水平移動時刻歴より、柱脚がどのように移動したのか確認した。建物全体の検討より、BCJ-L1加振で最大値1.9mmを記録した1通、13通の時刻歴波形を図3.2.1-11に示す。

図より、最大値1.9mmは柱の回転による変位量の可能性が大きく、BCJ-L1加振では、柱脚の水平移動がほぼ生じない。

建物全体として、最大移動量195.4mmを記録した1通の時刻歴波形を図3.2.1-12に示す。波形は矩形であり、最大移動量は柱脚の水平移動によって生じていた。

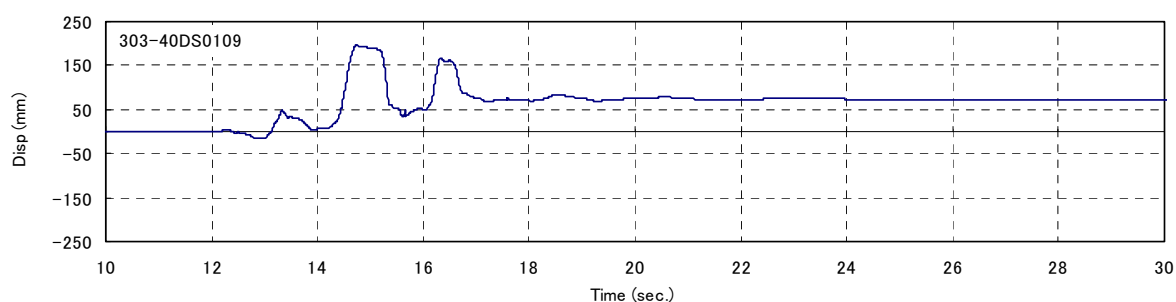


a) 1通 (短手方向)



b) 13通 (短手方向)

図3.2.1-113 試験体No.4 壁配置B BCJ-L1短手方向(4B3B1S)柱脚水平移動時刻歴

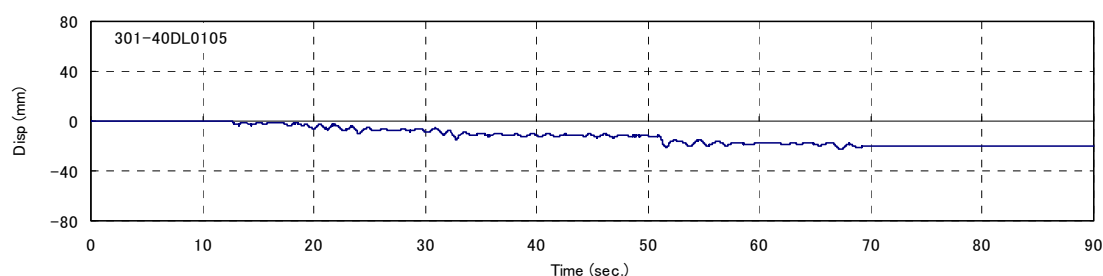


a) 1通 (短手方向)

図3.2.1-114 試験体No.4 壁配置B JMA神戸3方向加振(4B4K03)柱脚水平移動時刻歴

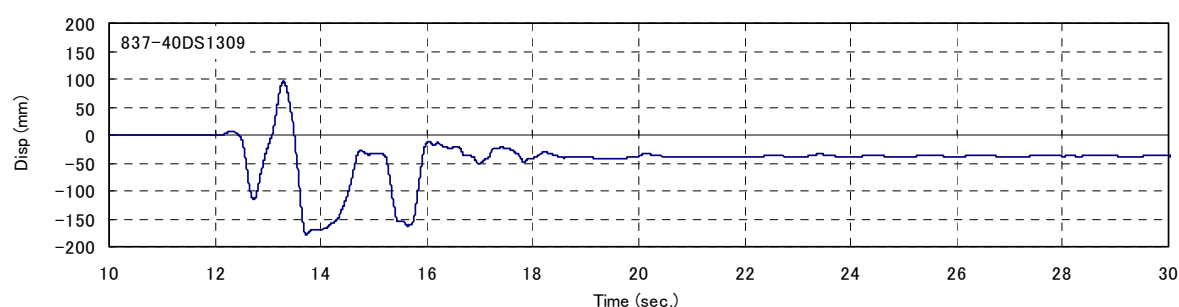
柱脚の個別移動について、移動タイプ、柱脚移動の瞬間最大量、柱脚の残留移動量を確認した。実験中の試験体挙動から、石場建て仕様の柱脚には、大きく2つの移動タイプがあることが確認されている。一つは、少しずつ加振前の柱脚位置より歩くように移動するタイプ、もう一つは一瞬で柱脚位置が変化する、滑るように移動するタイプである。それぞれのタイプのうち、代表的な時刻歴波形および最大移動量を確認した。結果を図3.2.1-115～3.2.1-116に示す。また、柱脚の残留移動量が最大となったJMA神戸の波形を図3.2.1-117に示す。

歩くように移動するタイプでは、最大約23mmの移動量が確認された。滑るように移動するタイプでは、最大約280mmの移動量であった。残留移動量は最大約96mmであり、実験中の移動量が残留移動量より大きい。



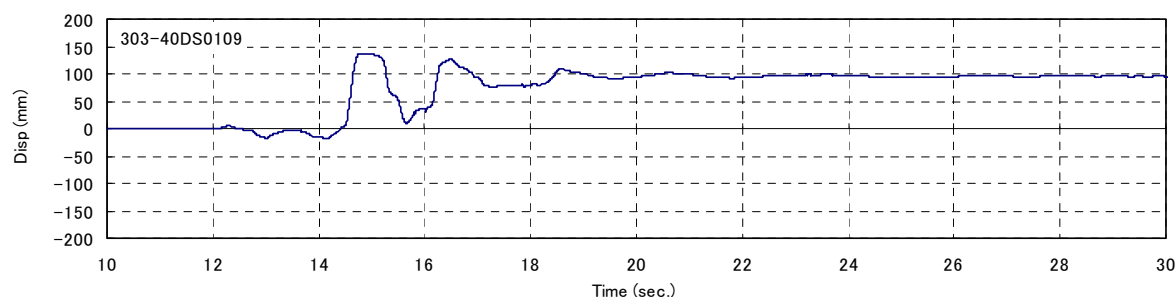
a) 歩くように移動するタイプの代表例（総移動量約23mm）

図3. 2. 1-115 試験体No. 4 壁配置A BCJ-L2短手方向加振（4A5B2S）柱脚水平移動時刻歴



a) 滑るように移動するタイプの代表例（瞬間移動量約280mm）

図3. 2. 1-116 試験体No. 4 壁配置B JMA神戸3方向加振（4B4K03）柱脚水平移動時刻歴



a) 原点から最も離れた柱脚移動波形（原点からの絶対移動距離約96mm）

図3. 2. 1-117 試験体No. 4 壁配置C JMA神戸3方向加振（4C2K03）柱脚水平移動時刻歴

柱脚の水平移動と柱脚に作用したせん断力の関係について考察する。柱脚のせん断力は、図3.2.1-118のように、試験体を質点系に置換することで求め、重量で除することで柱脚せん断力係数(Cb0)とした。また、先に検討したベースシア係数(Cb)と水平移動量の関係より、建物全体と礎石の摩擦係数を0.4として、建物全体の水平移動が生じると考えられる限界柱脚せん断力を求める。限界柱脚せん断力は、建物の総重量に摩擦係数を乗じることで求めた。表3.2.1-27に柱脚に作用した柱脚せん断力係数と柱脚水平移動量を、図3.2.1-119-3.2.1-126に柱脚せん断力と限界柱脚せん断力の時刻歴を示す。

ベースシア係数と建物水平移動量の関係と同様に、Cb0が概ね0.4を超えると大きな柱脚の水平移動が生じていた。

続いて、柱脚せん断力と各通りの柱脚水平移動の関係を確認する。各通りの柱脚水平移動には、通りで計測された各柱の水平移動のうち、最大値を記録した柱を通りの水平移動とした。各通りの柱脚せん断力と柱脚水平移動の時刻歴の比較を図3.2.1-127-3.2.1-130に示す。

図より、柱脚せん断力が限界柱脚せん断力に近づくタイミングで柱脚の移動が生じていることが確認できた。

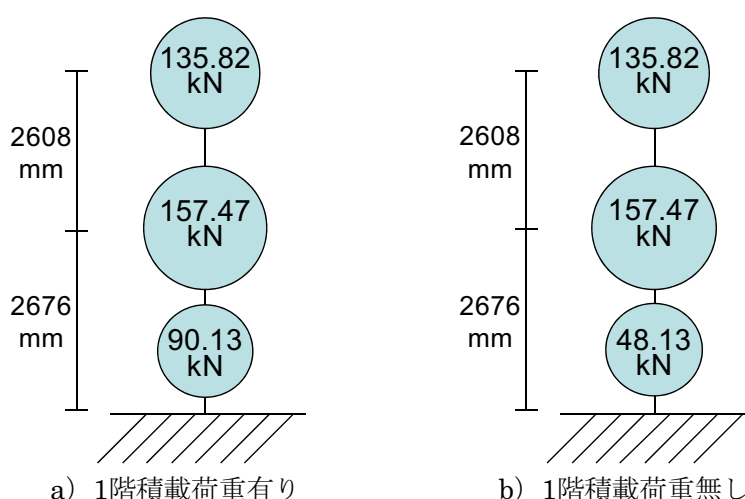
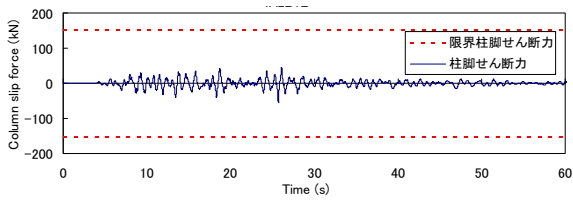


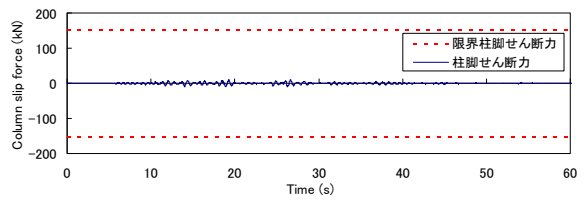
図3.2.1-118 試験体No. 4を3質点系に置換した各層の荷重と高さ

表3.2.1-27 試験体No. 4 柱脚に作用した柱脚せん断力係数と柱脚水平移動量

	長手方向			短手方向		
	Cb0	移動量 (mm)		Cb0	移動量 (mm)	
		平均	最大		平均	最大
4A2B1L	0.14	1.0	1.1	0.03	0.7	1.0
4A3B1S	0.02	0.5	0.6	0.14	1.3	2.0
4A4B2L	0.46	33.5	47.9	0.14	33.9	57.2
4A5B2S	0.14	56.7	100.2	0.41	59.7	100.4
4B2B1L	0.08	1.5	1.8	0.00	0.5	1.3
4B3B1S	0.02	0.4	0.6	0.09	1.5	1.9
4B4KO3	0.30	65.0	124.5	0.51	127.0	195.4
4C2KO3	0.35	57.8	112.1	0.56	90.2	153.7

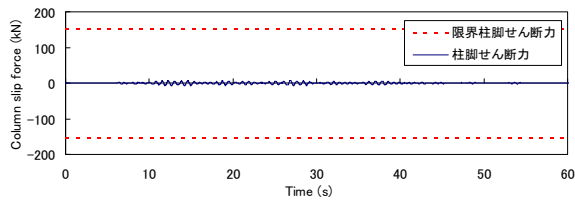


a) 長手方向

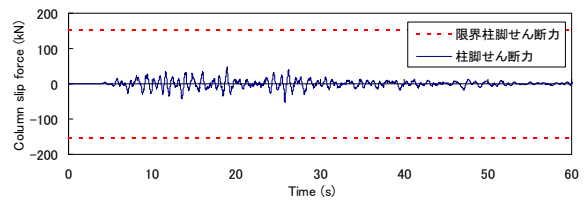


b) 短手方向

図3. 2. 1-119 試験体No. 4 壁配置A BCJ-L1長手方向加振 (4A2B1L)

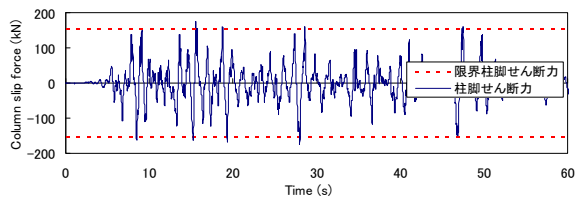


a) 長手方向

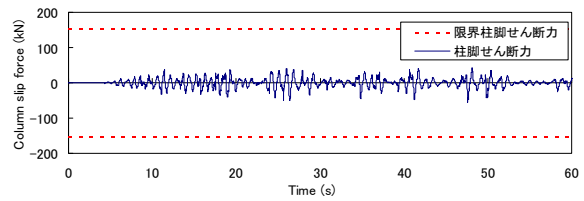


b) 短手方向

図3. 2. 1-120 試験体No. 4 壁配置A BCJ-L1短手方向加振 (4A3B1S)

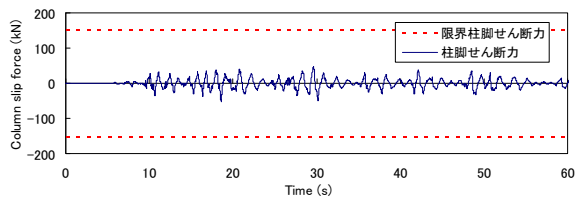


a) 長手方向

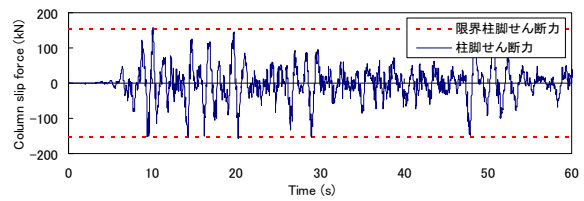


b) 短手方向

図3. 2. 1-121 試験体No. 4 壁配置A BCJ-L2長手方向加振 (4A4B2L)

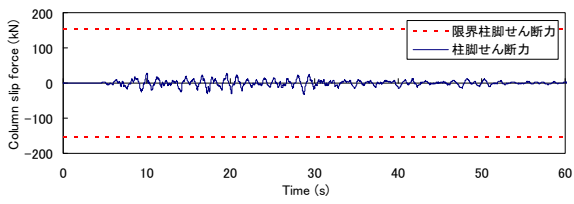


a) 長手方向

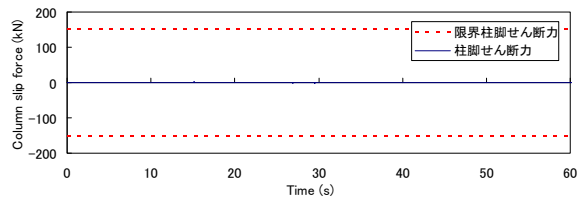


b) 短手方向

図3. 2. 1-122 試験体No. 4 壁配置A BCJ-L2短手方向加振 (4A5B2S)

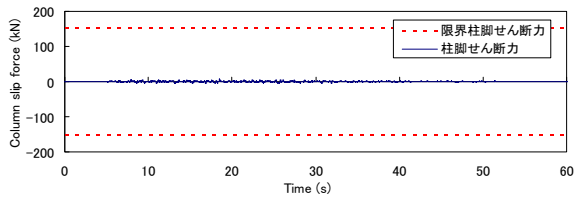


a) 長手方向

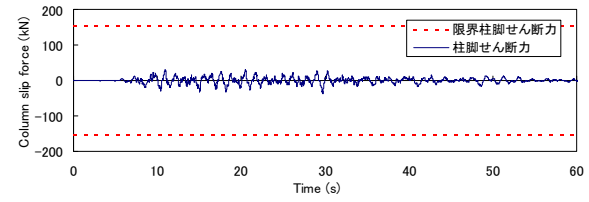


b) 短手方向

図3. 2. 1-123 試験体No. 4 壁配置B BCJ-L1長手方向加振 (4B2B1L)

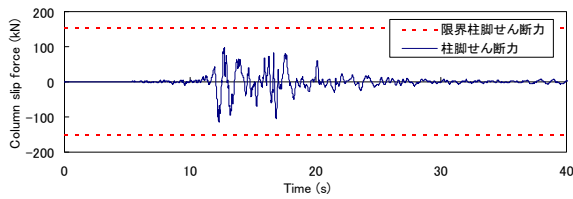


a) 長手方向

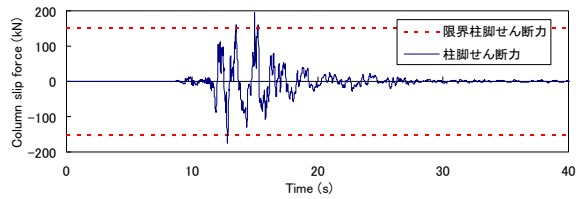


b) 短手方向

図3. 2. 1-124 試験体No. 4 壁配置B BCJ-L1短手方向加振 (4B3B1S)

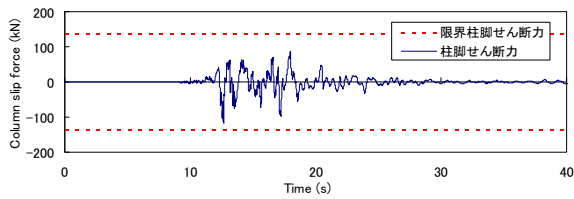


a) 長手方向

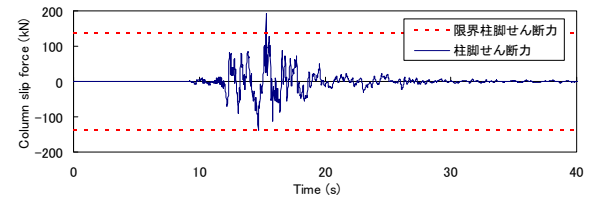


b) 短手方向

図3. 2. 1-125 試験体No. 4 壁配置B JMA神戸3方向加振 (4B4K03)

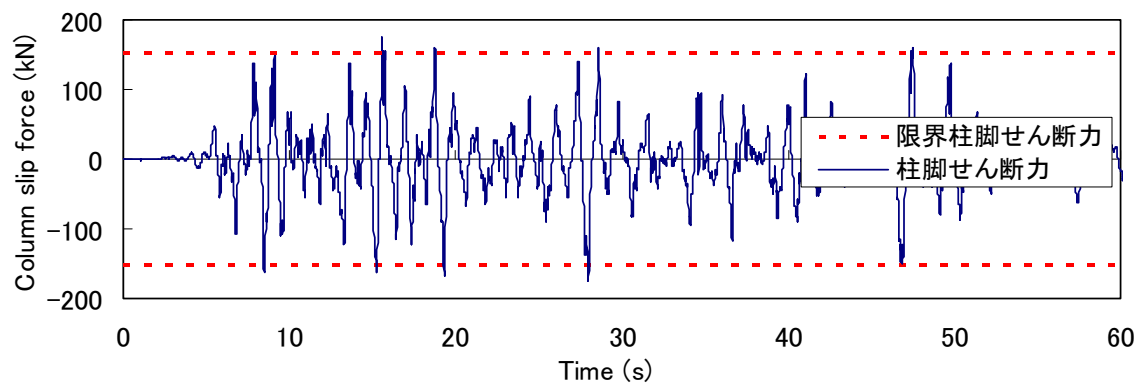


a) 長手方向

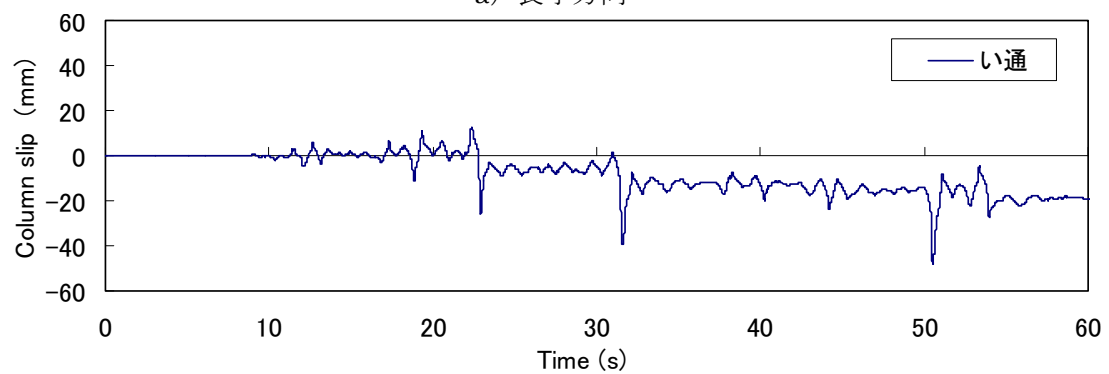


b) 短手方向

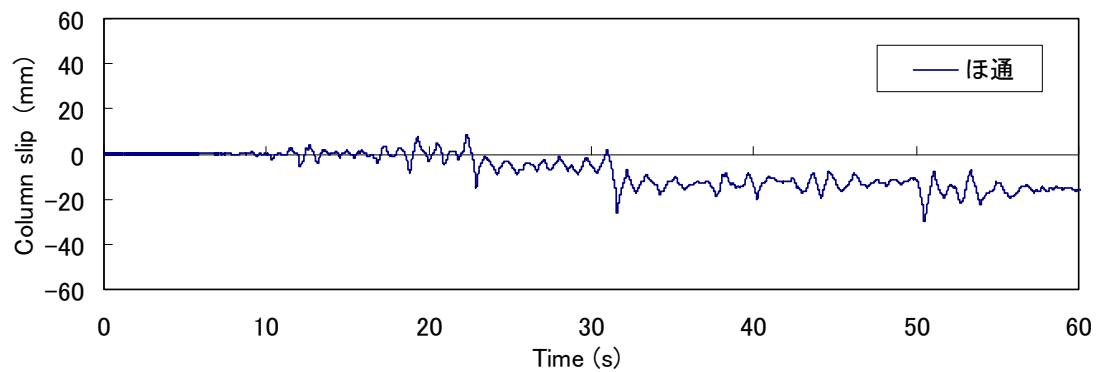
図3. 2. 1-126 試験体No. 4 壁配置C JMA神戸3方向加振 (4C2K03)



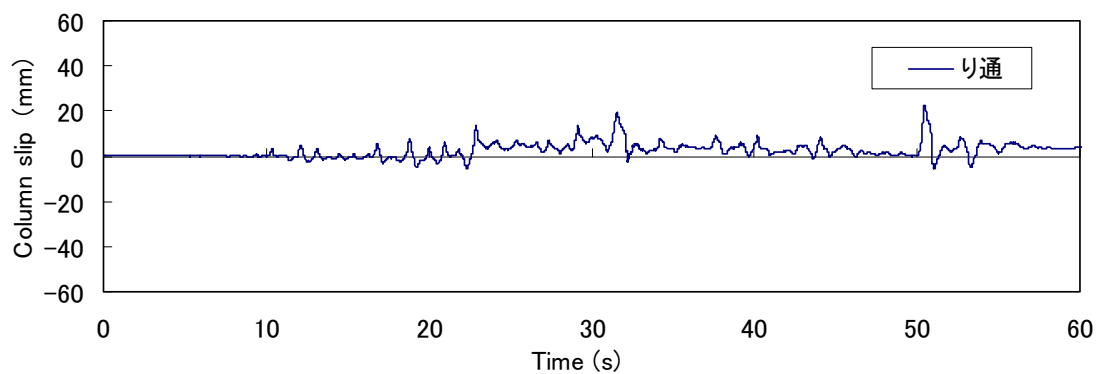
a) 長手方向



b) い通

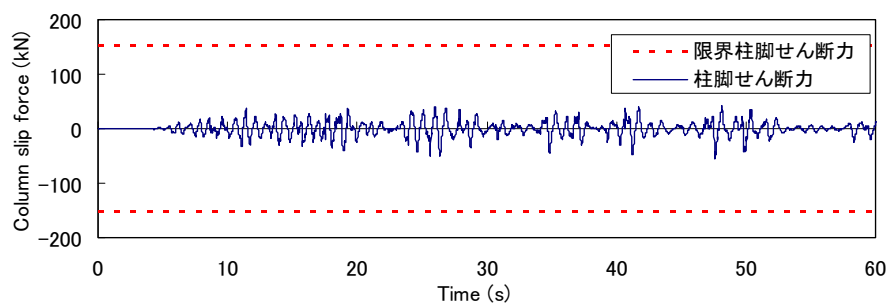


c) ほ通

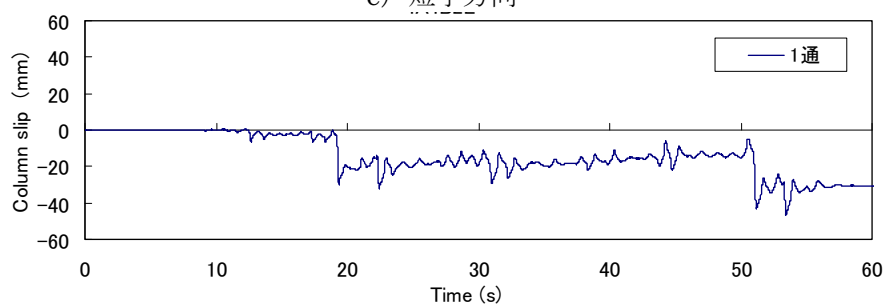


d) り通

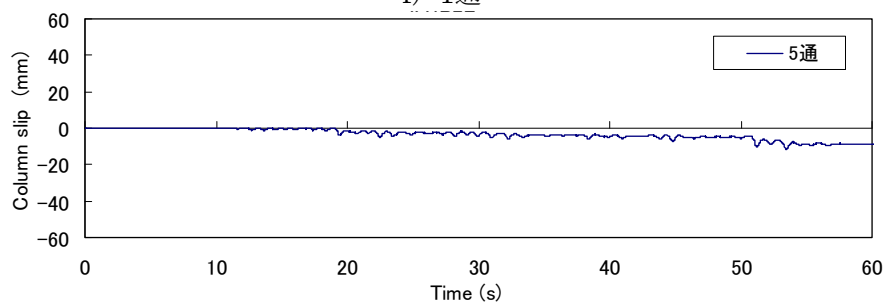
図3. 2. 1-127 試験体No. 4 壁配置A BCJ-L2長手方向加振 (4A4B2L)



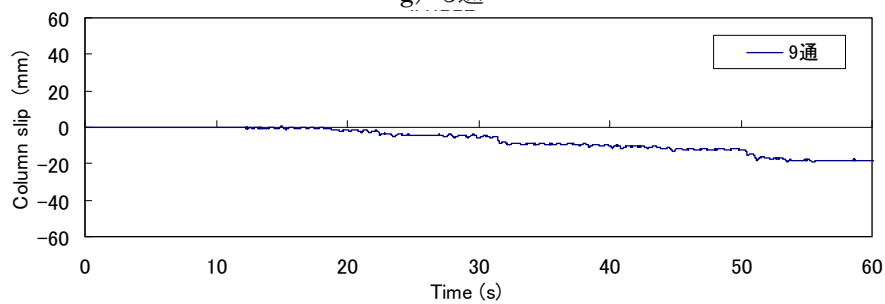
e) 短手方向



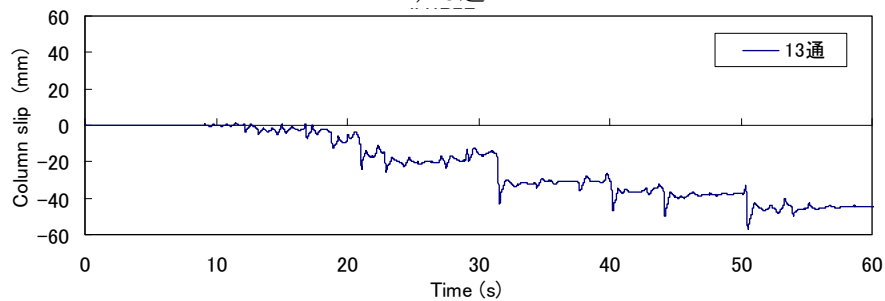
f) 1通



g) 5通

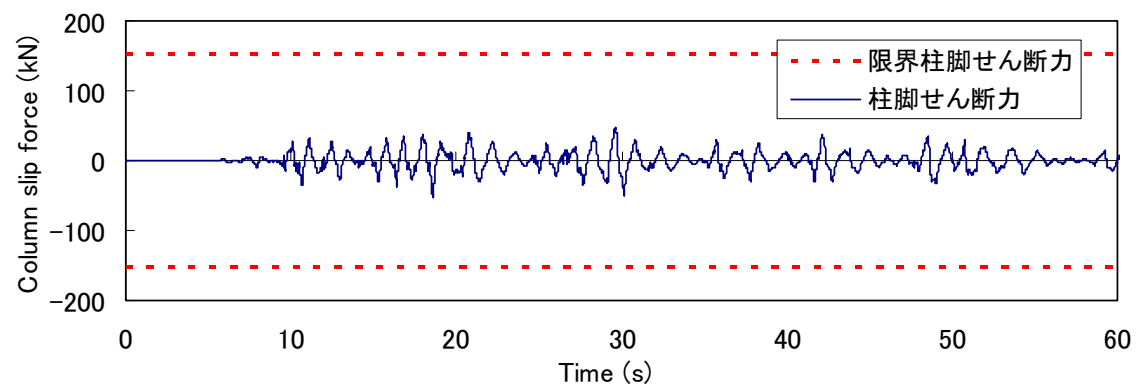


h) 9通

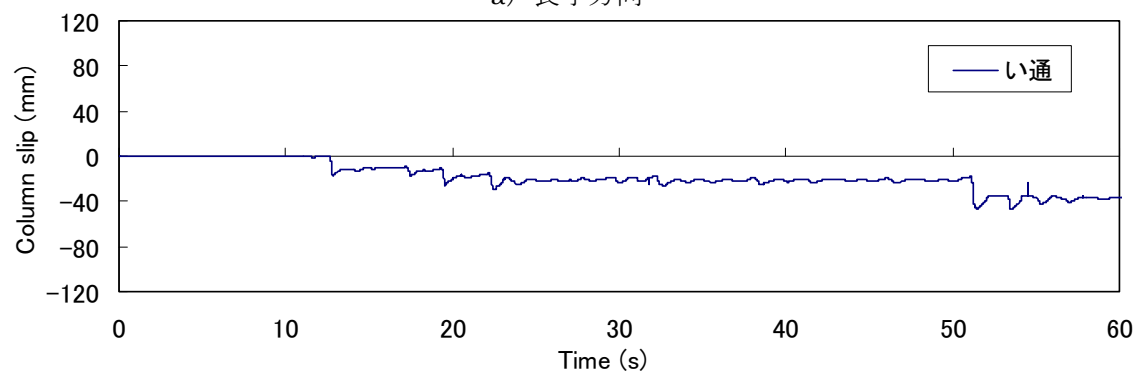


i) 13通

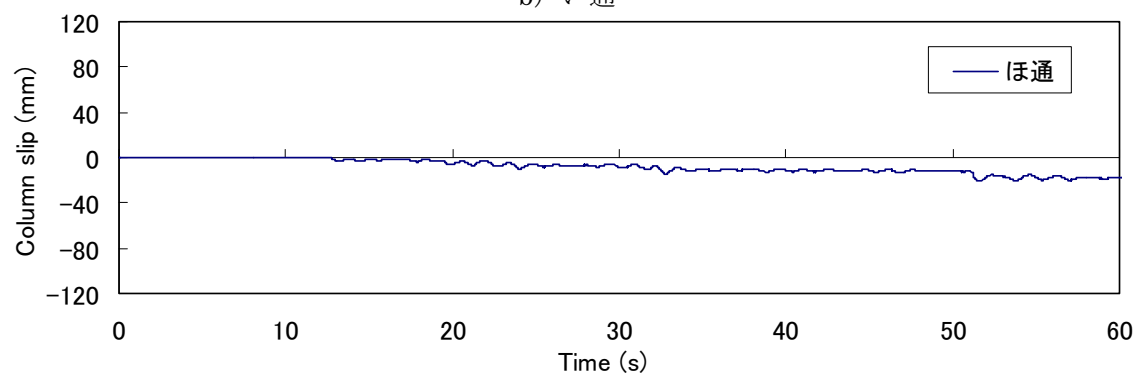
図3.2.1-127 試験体No.4 壁配置A BCJ-L2長手方向加振(4A4B2L)



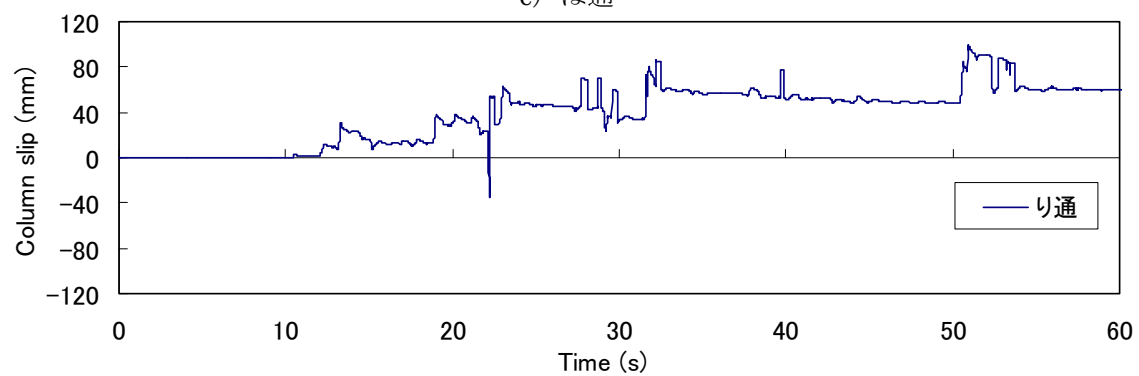
a) 長手方向



b) い通

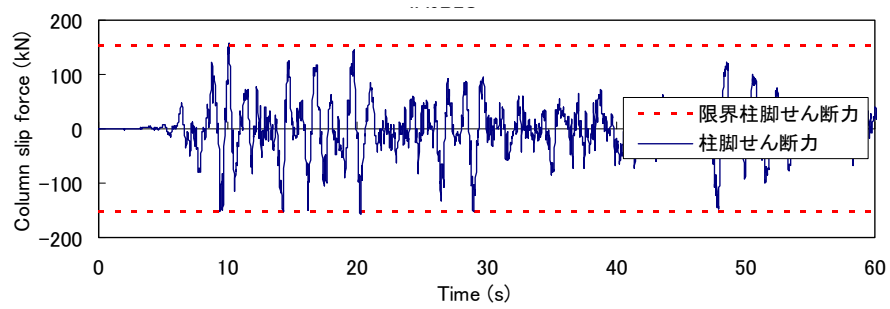


c) ほ通

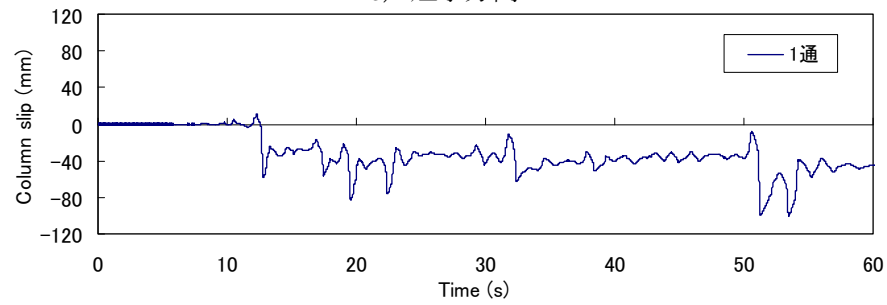


d) り通

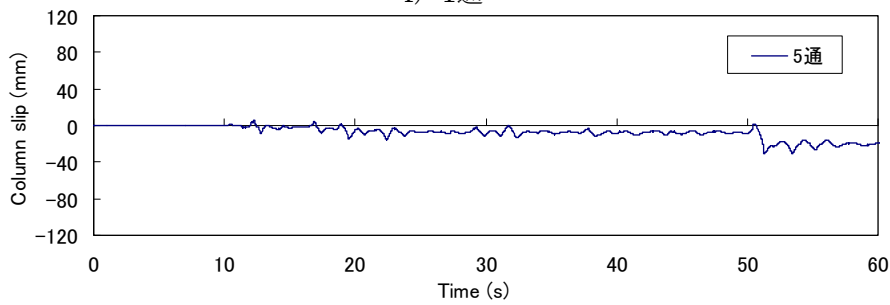
図3. 2. 1-128 試験体No. 4 壁配置A BCJ-L2短手方向加振 (4A5B2S)



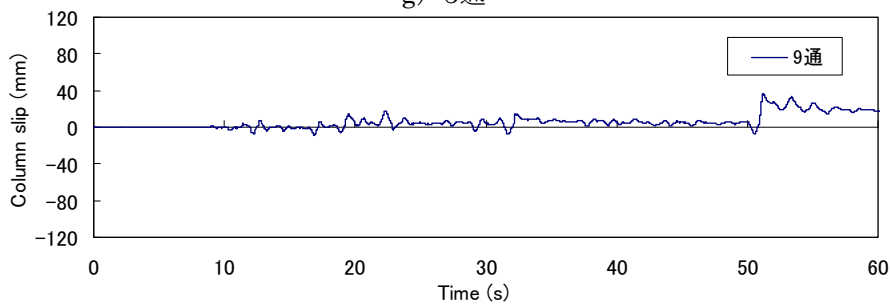
e) 短手方向



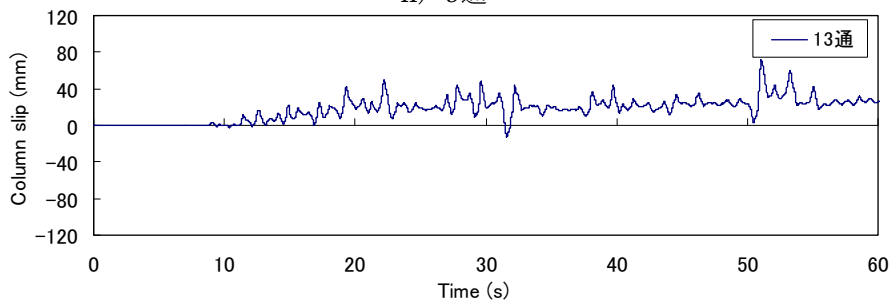
f) 1通



g) 5通

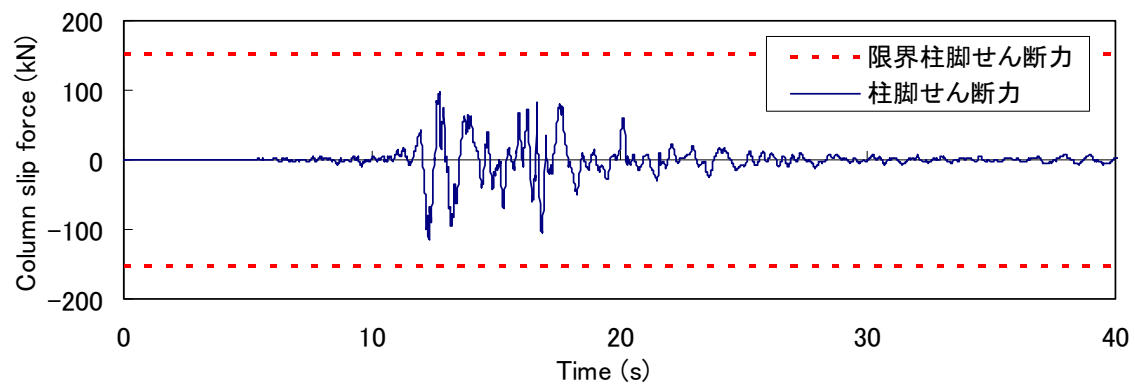


h) 9通

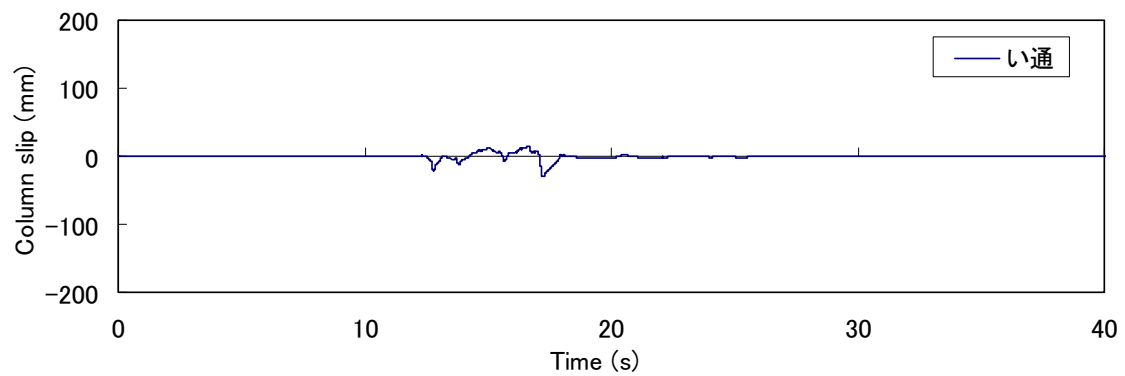


i) 13通

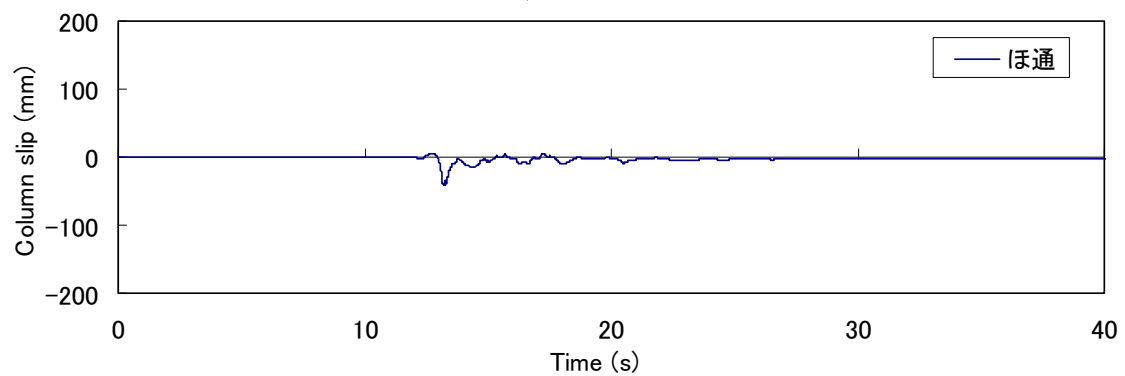
図3. 2. 1-128 試験体No. 4 壁配置A BCJ-L2短手方向加振 (4A5B2S)



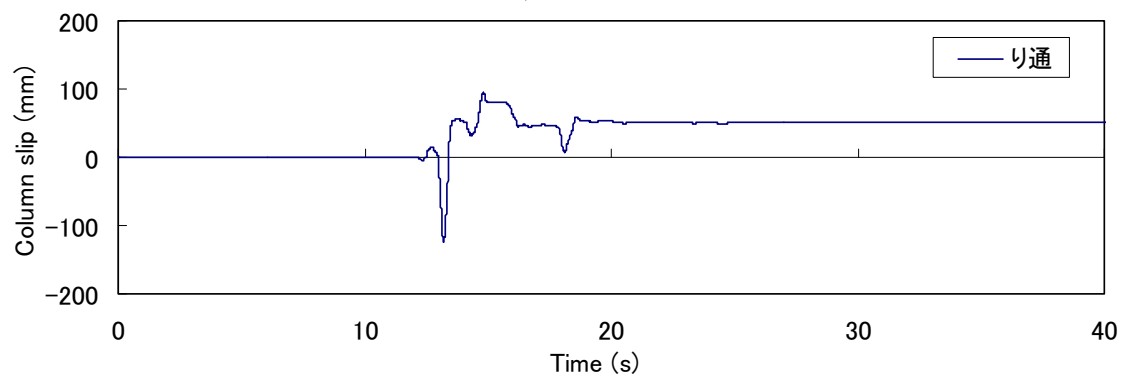
a) 長手方向



b) い通

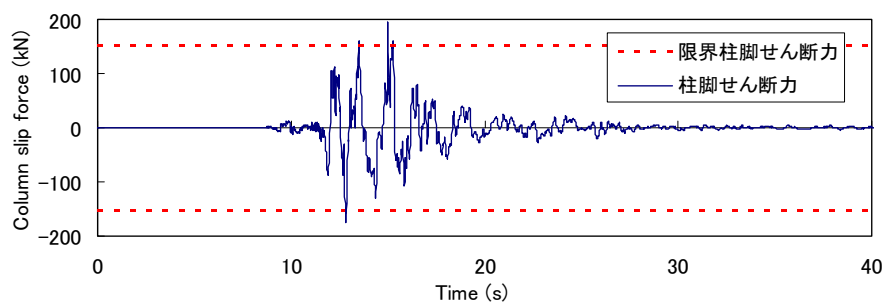


c) ほ通

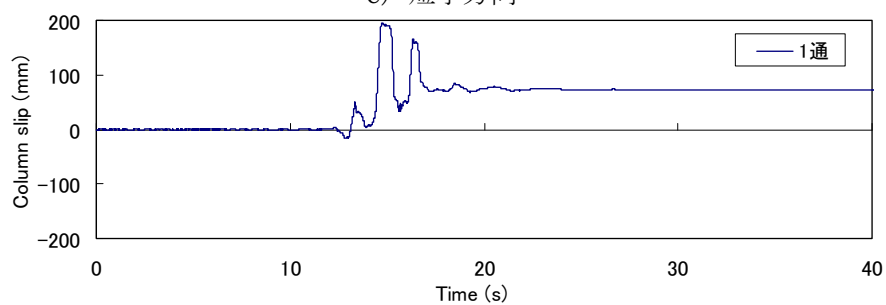


d) り通

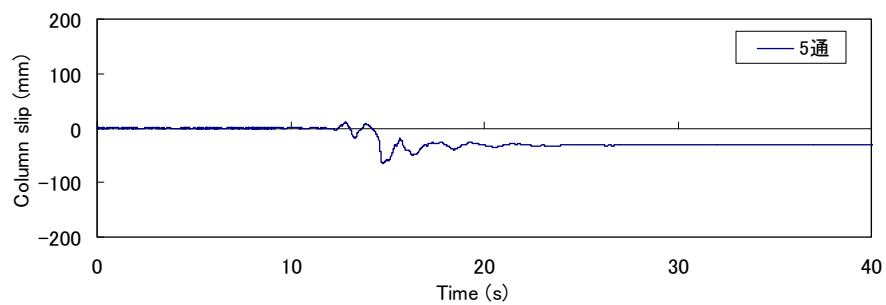
図3. 2. 1-129 試験体No. 4 壁配置B JMA神戸3方向加振 (4B4K03)



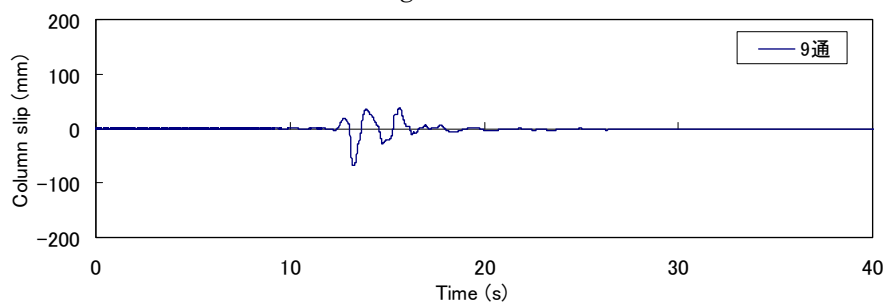
e) 短手方向



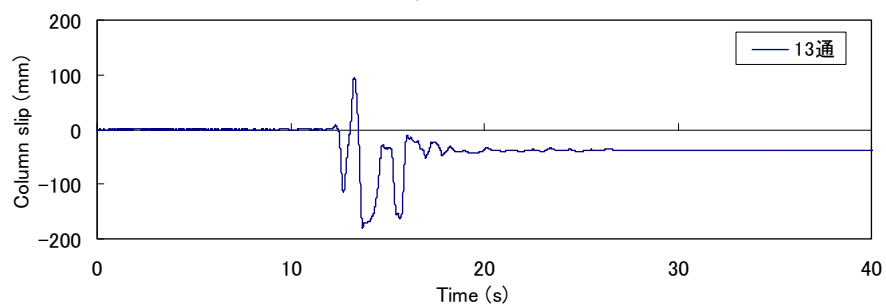
f) 1通



g) 5通

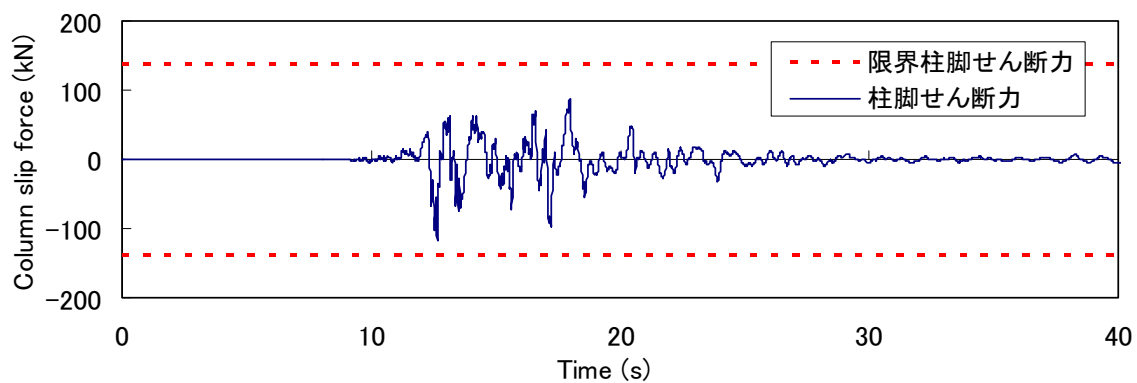


h) 9通

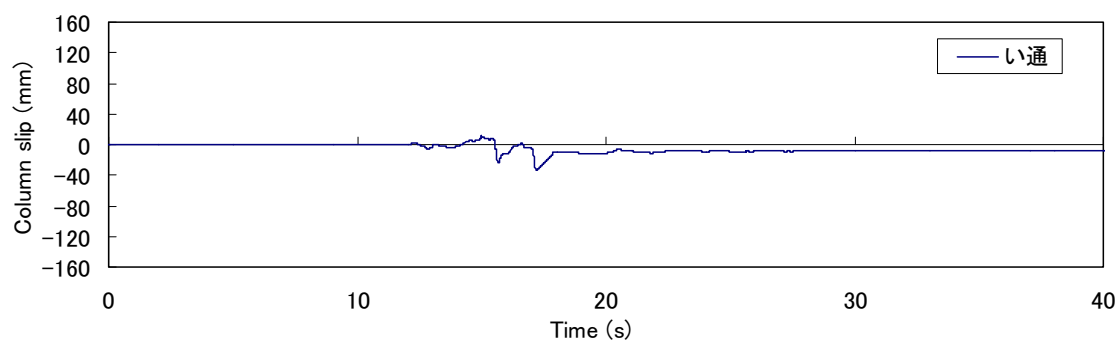


i) 13通

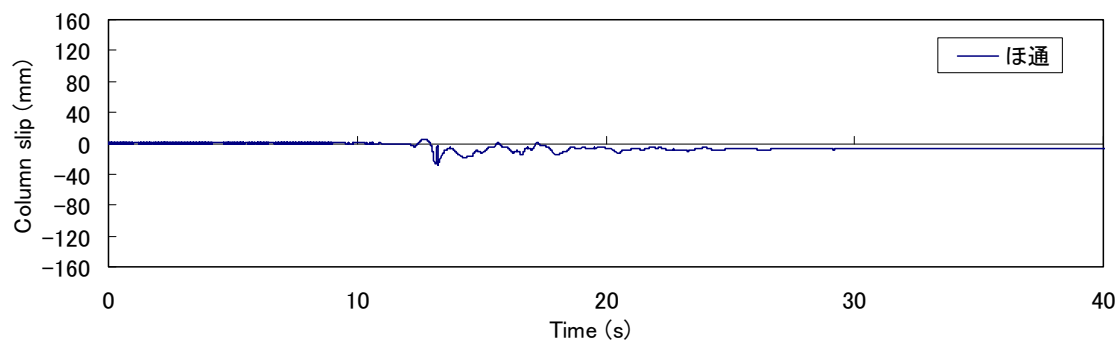
図3. 2. 1-129 試験体No. 4 壁配置B JMA神戸3方向加振 (4B4K03)



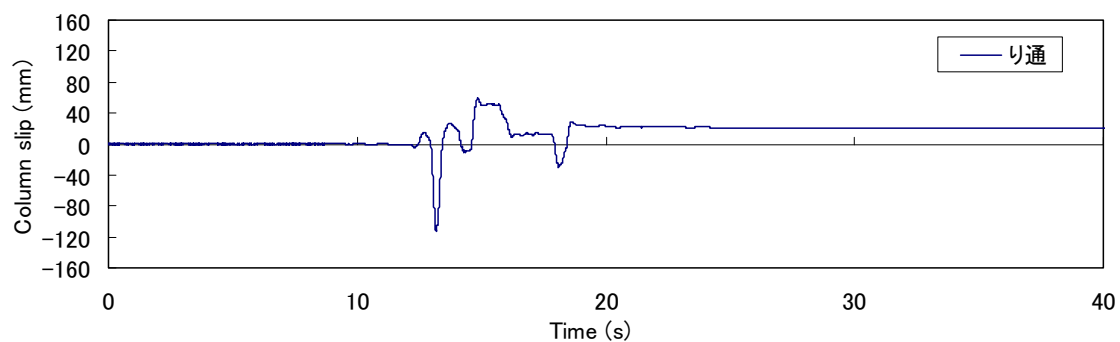
a) 長手方向



b) い通

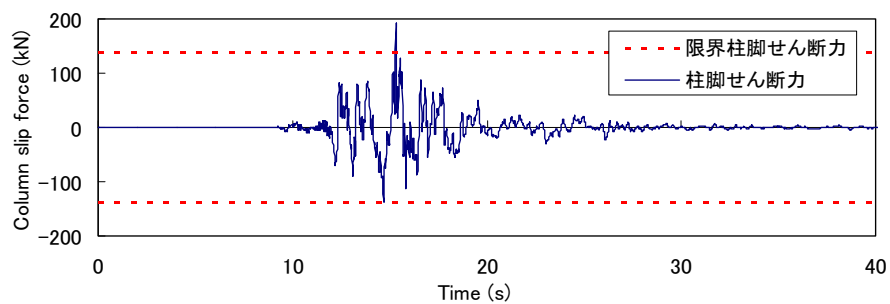


c) ほ通

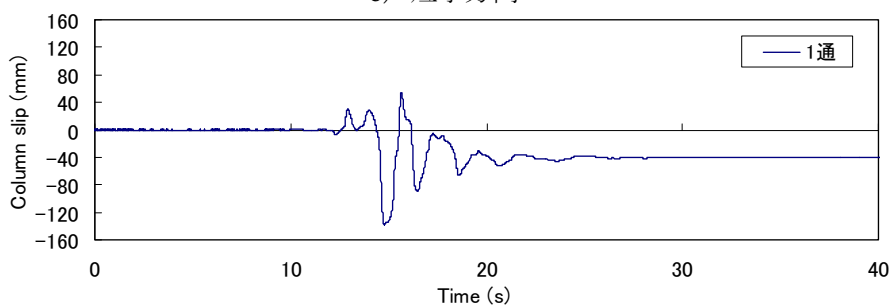


d) り通

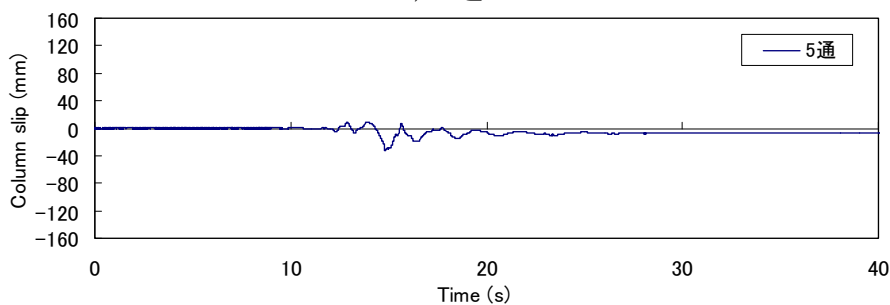
図3. 2. 1-130 試験体No. 4 壁配置C JMA神戸3方向加振 (4C2K03)



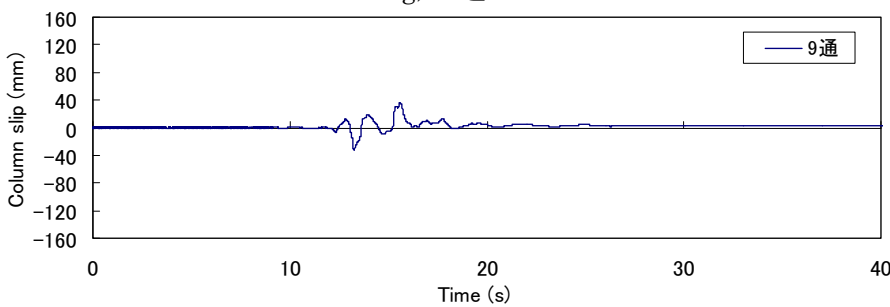
e) 短手方向



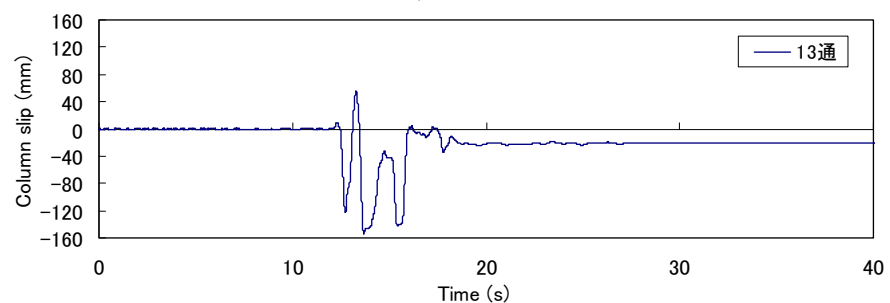
f) 1通



g) 5通



h) 9通



i) 13通

図3. 2. 1-130 試験体No. 4 壁配置C JMA神戸3方向加振 (4C2K03)

4) 水平・鉛直構面の振動モード

1) で求めた各加振の各層復元力特性から、各階の変形量の違いを検証するため、鉛直構面振動モードを求めた。鉛直構面の振動モードは、各階の変形が最大となった点および、1階の復元力が最大となった点の3つより、最も変形モードの違いが見られた、1階変形最大時とした。各階の階高は、図3.2.1-103に示す値を用いる。また、試験体No.4では、柱脚の移動も生じていたが、ここでは柱脚の移動が生じないものとして、鉛直構面の振動モードを図3.2.1-131に示す。

長手方向・短手方向とも、BCJ-L1加振では上下階の振動モードに大きな違いは見られない。BCJ-L2加振、JMA神戸では、1階の変形量が2階より大きくなる振動モードが顕著となる。壁配置A～Cまでを比較しても、それほど大きな違いは見られなかった。

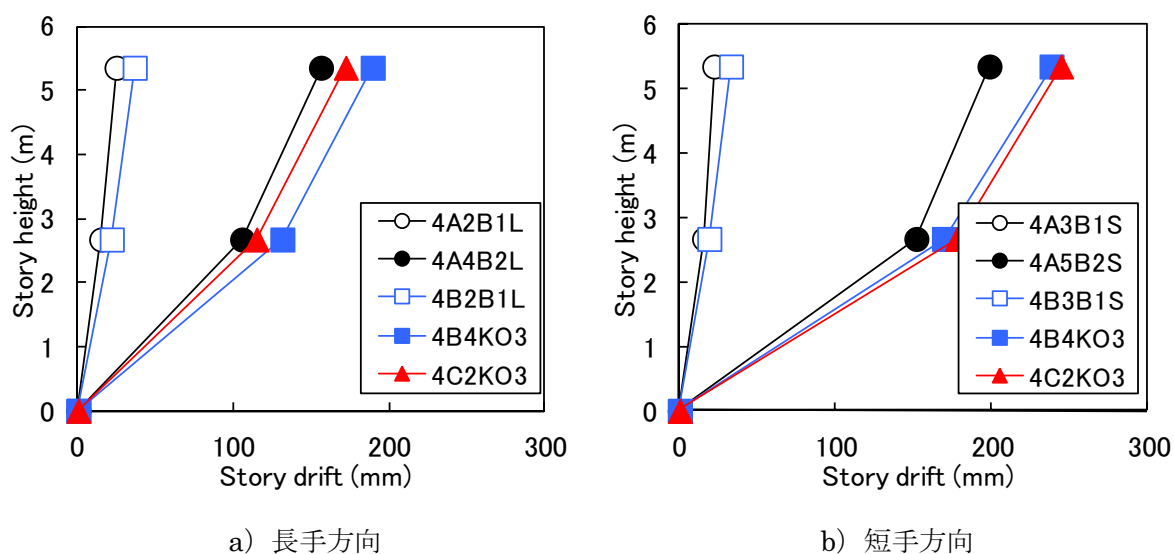


図3.2.1-131 試験体No.4 1階最大変形時の鉛直構面振動モード

表3.2.1-28 試験体No.4 1階最大変形時の各階変位

	階高 (mm)	長手方向			短手方向		
		2階 (mm)	1階 (mm)	基礎 (mm)	2階 (mm)	1階 (mm)	基礎 (mm)
4A2B1L	変形角(rad)	0.004	0.005	0	—	—	—
	変位(mm)	24.52	14.68	0	—	—	—
4A3B1S	変形角(rad)	—	—	—	0.002	0.006	0.00
	変位(mm)	—	—	—	22.01	15.50	0.00
4A4B2L	変形角(rad)	0.019	0.039	0	—	—	—
	変位(mm)	155.89	105.25	0	—	—	—
4A5B2S	変形角(rad)	—	—	—	0.017	0.057	0.00
	変位(mm)	—	—	—	198.30	151.47	0.00
4B2B1L	変形角(rad)	0.005	0.008	0	—	—	—
	変位(mm)	36.20	21.46	0	—	—	—
4B3B1S	変形角(rad)	—	—	—	0.005	0.007	0.00
	変位(mm)	—	—	—	32.72	18.83	0.00
4B4KO3	変形角(rad)	0.022	0.049	0	0.026	0.063	0.00
	変位(mm)	189.12	131.08	0	238.06	169.16	0.00
4C2KO3	変形角(rad)	0.021	0.043	0	0.025	0.066	0.00
	変位(mm)	171.84	114.58	0	244.19	177.53	0.00

平面振動モード

試験体No.4は、壁配置Aにおいて偏心率が0.20程度と大きいですが、すべての壁配置でも加振中、水平構面では大きな振れ挙動が見られた。そこで、鉛直構面振動モードに続き、水平構面の振動モードの確認を行う。長手方向・短手方向の両隅の通りの1階変位差が最大となった時の平面振動モードを図3.2.1-132～図3.2.1-135に示す。両隅の通りの変位差を通り間距離で除した平面変形角と変位量を表3.2.1-29～表3.2.1-30に示す。

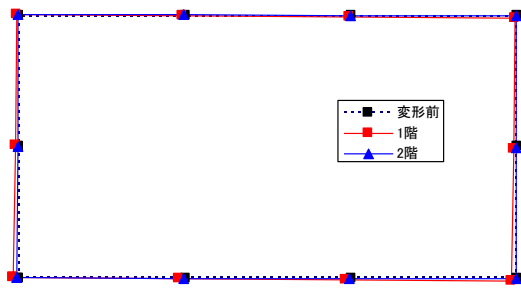
図より、水平構面では大きな振れ挙動が生じていた事が確認できる。表より、BCJ-L2加振では1階平面変形角で約1/100rad、JMA神戸で約1/40radの変形が見られ、建物が振れることによって、顕著な剛体回転を生じている様子が確認された。

表3. 2. 1-29 試験体No. 4 水平構面1階最大変形時の各構面変位（長手方向）

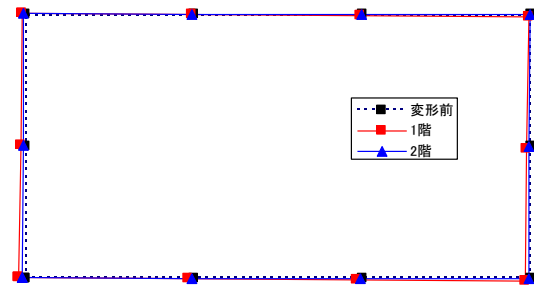
		長手方向 (mm)			平面変形角 (rad)
		い通	ほ通	り通	
4A2B1L	2階				0.000
	1階				0.000
4A3B1S	2階				0.000
	1階				0.000
4A4B2L	2階	-51.6	-38.8	-31.3	0.003
	1階	-133.6	-92.8	-55.3	0.011
4A5B2S	2階	-40.0	-17.7	15.0	0.008
	1階	-95.9	-56.5	-32.6	0.009
4B2B1L	2階				0.000
	1階				0.000
4B3B1S	2階				0.000
	1階				0.000
4B4KO3	2階	46.1	18.3	-11.4	0.008
	1階	94.7	9.6	-75.3	0.023
4C2KO3	2階	11.8	-16.2	-41.5	0.007
	1階	70.7	-4.9	-82.0	0.021

表3. 2. 1-30 試験体No. 4 水平構面1階最大変形時の各構面変位（短手方向）

		短手方向 (mm)				平面変形角 (rad)
		1通	5通	9通	13通	
4A2B1L	2階					0.000
	1階					0.000
4A3B1S	2階					0.000
	1階					0.000
4A4B2L	2階	-7.9	-4.1	10.2	28.2	0.003
	1階	32.0	7.9	-23.0	-66.1	0.009
4A5B2S	2階	47.2	59.7	35.0	-2.3	0.005
	1階	210.0	140.0	78.4	38.8	0.016
4B2B1L	2階					0.000
	1階					0.000
4B3B1S	2階					0.000
	1階					0.000
4B4KO3	2階	-61.4	-68.7	-50.5	-14.8	0.004
	1階	-307.6	-189.0	-84.6	-2.5	0.028
4C2KO3	2階	-63.3	-75.3	-43.5	-5.7	0.005
	1階	-243.9	-135.4	-51.9	27.9	0.025

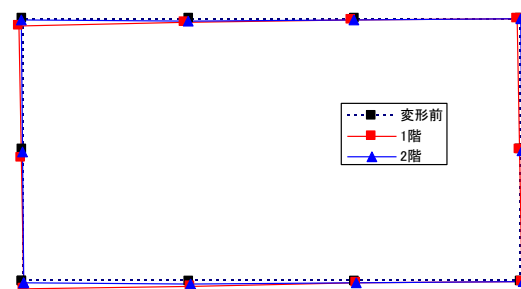


a) 長手方向

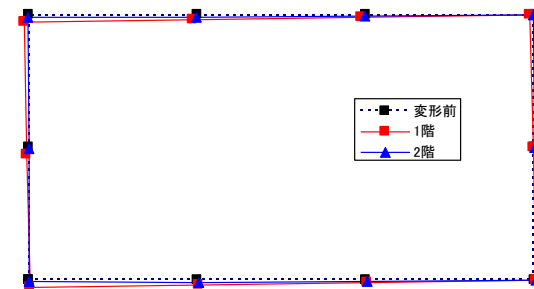


b) 短手方向

図3. 2. 1-132 試験体No. 4 壁配置A BCJ-L2長手方向加振1階最大変形時の平面振動モード(4A4B2L)

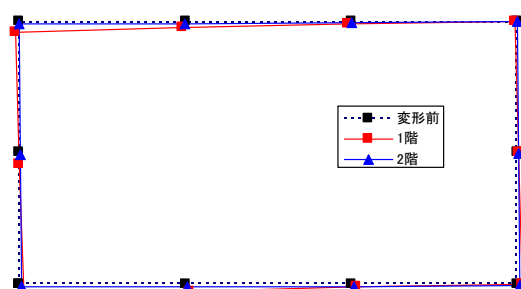


a) 長手方向

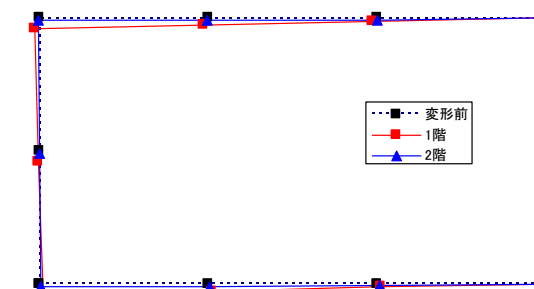


b) 短手方向

図3. 2. 1-133 試験体No. 4 壁配置A BCJ-L2短手方向加振1階最大変形時の平面振動モード(4A5B2S)

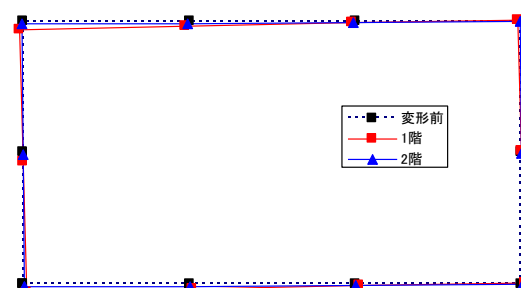


a) 長手方向

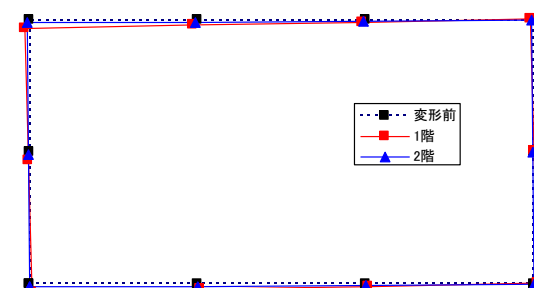


b) 短手方向

図3. 2. 1-134 試験体No. 4 壁配置B JMA神戸3方向加振1階最大変形時の平面振動モード(4B4K03)



a) 長手方向



b) 短手方向

図3. 2. 1-135 試験体No. 4 壁配置C JMA神戸3方向加振1階最大変形時の平面振動モード(4C2K03)

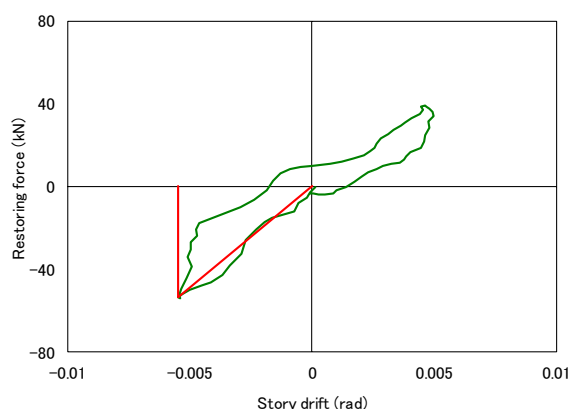
5) 減衰定数および等価剛性

1) で求めた各加振の各層復元力特性から、減衰定数と等価剛性を求めた。復元力特性のうち、最大変形角を記録した履歴ループを抽出し、履歴面積から等価粘性減衰定数を求めた。また、原点と最大変形点を結び、割線剛性を求めた。等価粘性減衰定数と割線剛性を表3.2.1-31に、最大履歴ループと割線剛性を図3.2.1-136～図3.2.1-145に示す。

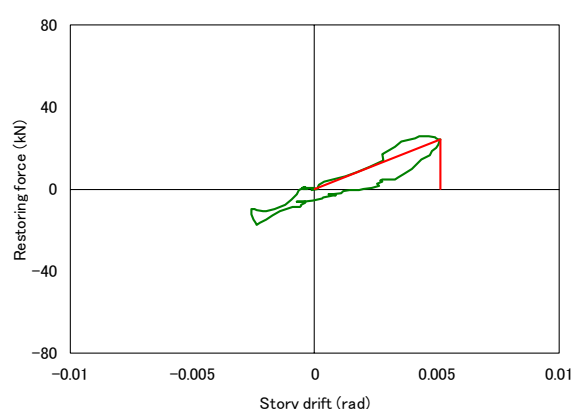
1階の減衰定数は、BCJ-L1加振で0.10程度、BCJ-L2加振、JMA神戸加振では0.20以上の大きな値を示した。等価剛性は、最大変形が大きくなるに従い、剛性が低くなる傾向が見られた。

表3. 2. 1-31 試験体No. 4 等価粘性減衰定数と割線剛性

	減衰定数				等価剛性 (kN/mm)			
	長手方向		短手方向		長手方向		短手方向	
	1階	2階	1階	2階	1階	2階	1階	2階
4A2B1L	0.10	0.18	—	—	3.64	1.02	—	—
4A4B2L	0.18	0.16	—	—	1.02	1.29	—	—
4A3B1S	—	—	0.09	0.06	—	—	2.90	2.39
4A5B2S	—	—	0.23	0.09	—	—	0.51	1.68
4B2B1L	0.13	0.13	—	—	1.10	0.81	—	—
4B4KO3	0.20	0.15	0.25	0.13	0.56	1.32	0.50	0.88
4B3B1S	—	—	0.11	0.13	—	—	1.34	0.88
4C2KO3	0.35	0.26	0.26	0.20	0.41	0.79	0.47	0.84

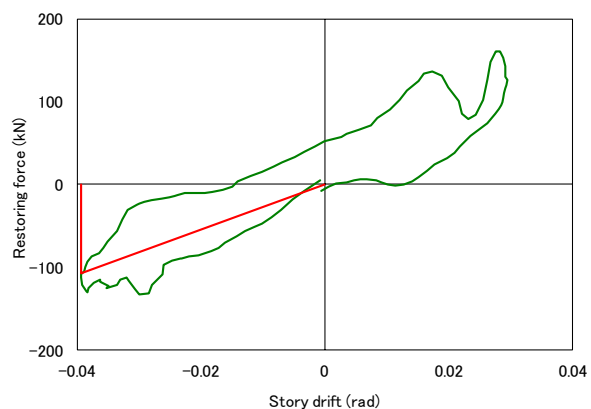


a) 1階長手方向

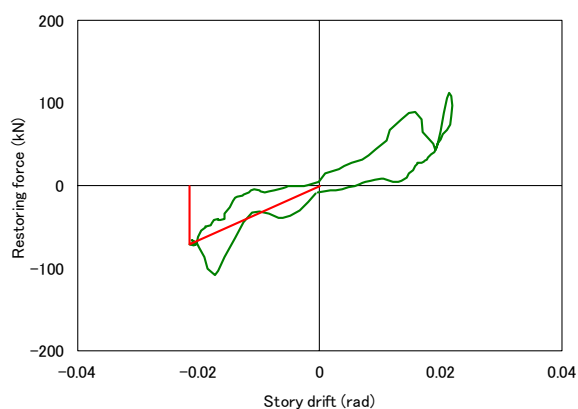


b) 2階長手方向

図3. 2. 1-136 試験体No. 4 壁配置A BCJ-L1長手方向加振 (4A2B1L)

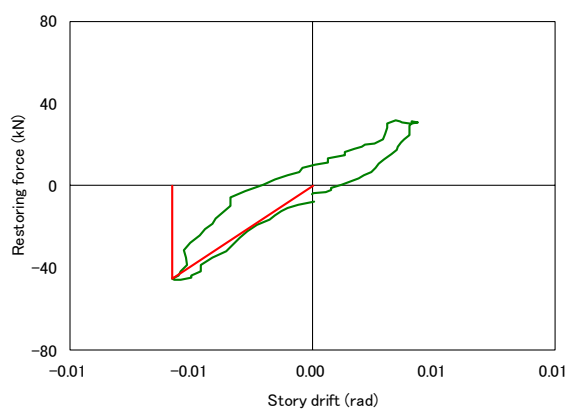


a) 1階長手方向

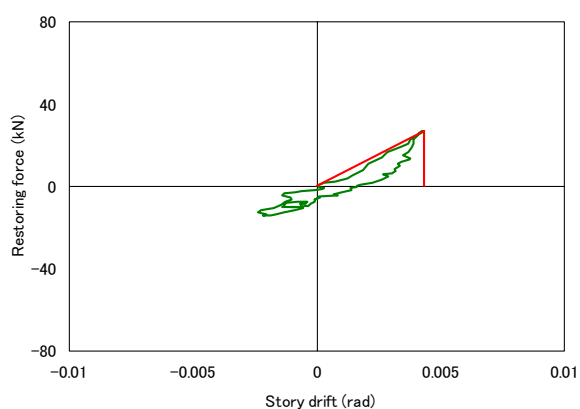


b) 2階長手方向

図3. 2. 1-137 試験体No. 4 壁配置A BCJ-L2長手方向加振 (4A4B2L)

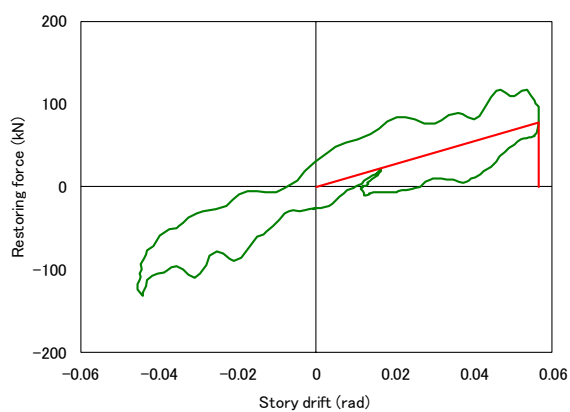


a) 1階短手方向

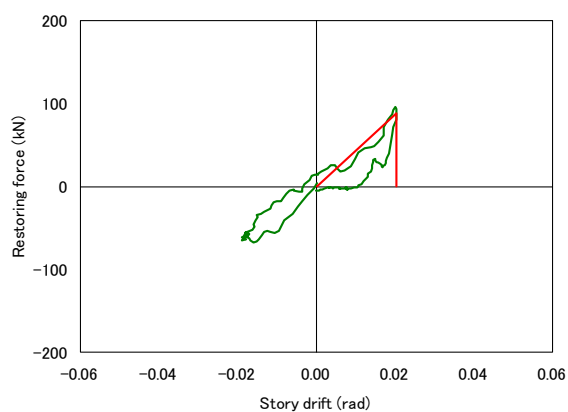


b) 2階短手方向

図3. 2. 1-138 試験体No. 4 壁配置A BCJ-L1短手方向加振 (4A3B1S)

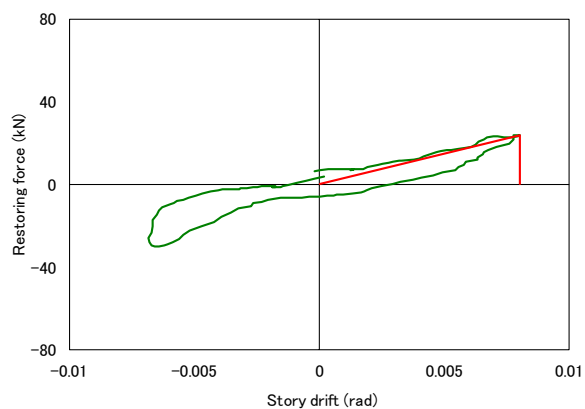


a) 1階短手方向

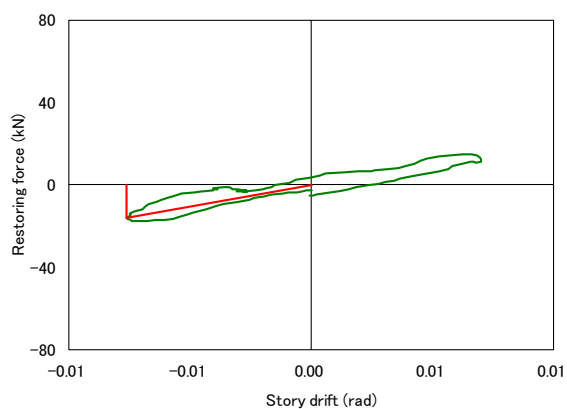


b) 2階短手方向

図3. 2. 1-139 試験体No. 4 壁配置A BCJ-L2短手方向加振 (4A5B2S)

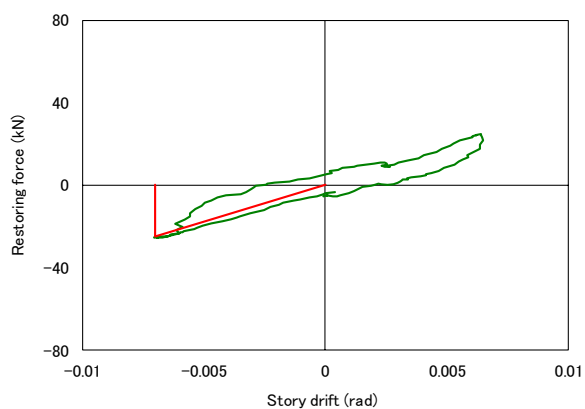


a) 1階長手方向

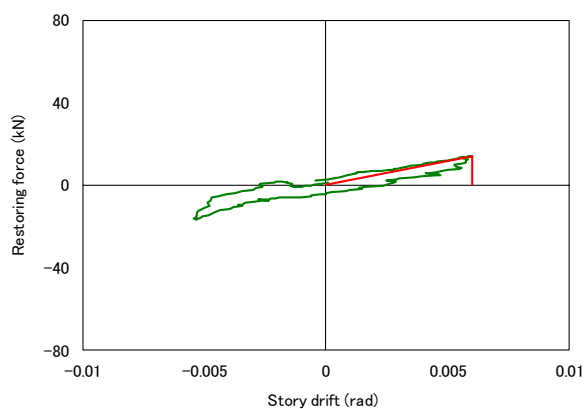


b) 2階長手方向

図3. 2. 1-140 試験体No. 4 壁配置B BCJ-L1長手方向 (4B2B1L)

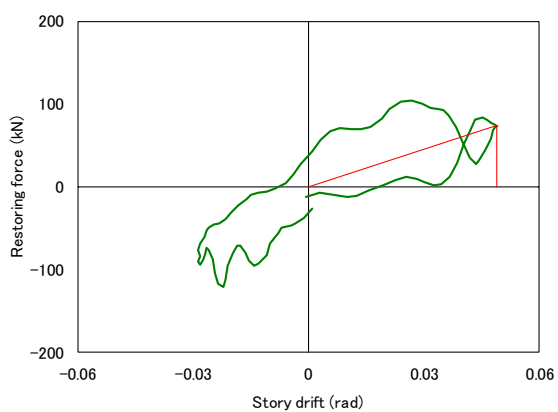


a) 1階短手方向

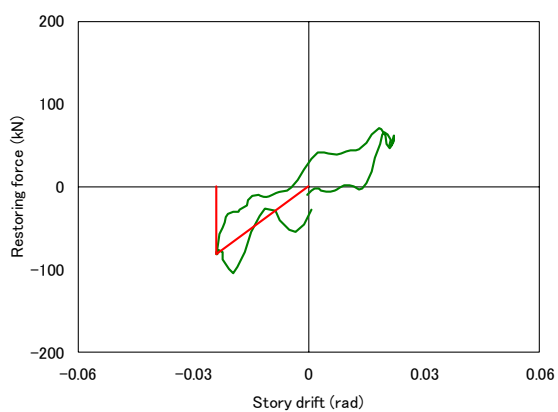


b) 2階短手方向

図3. 2. 1-141 試験体No. 4 壁配置B BCJ-L1短手方向加振 (4B3B1S)



a) 1階長手方向

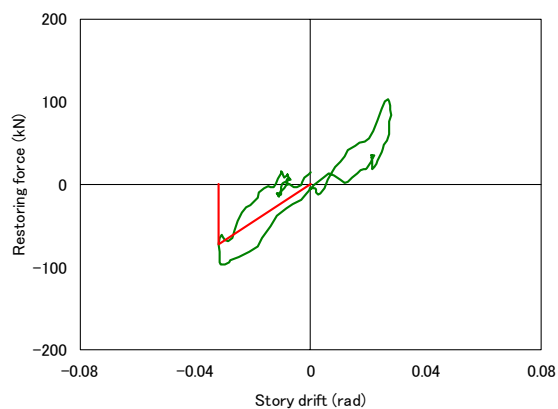


b) 2階長手方向

図3. 2. 1-142 試験体No. 4 壁配置B JMA神戸3方向加振 (4B4K03)



a) 1階短手方向

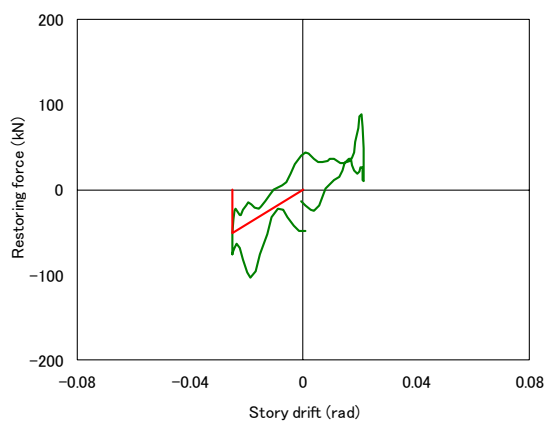


b) 2階短手方向

図3. 2. 1-143 試験体No. 4 壁配置B JMA神戸3方向加振 (4B4K03)

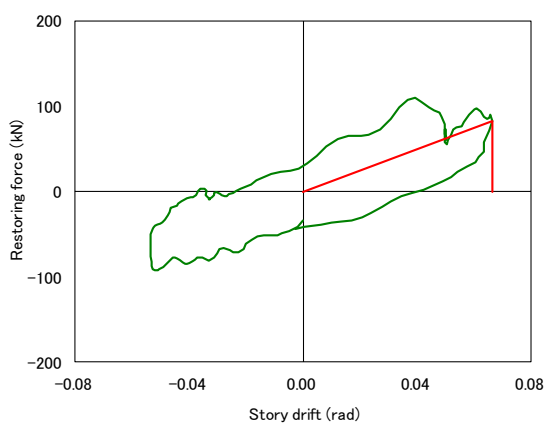


a) 1階長手方向

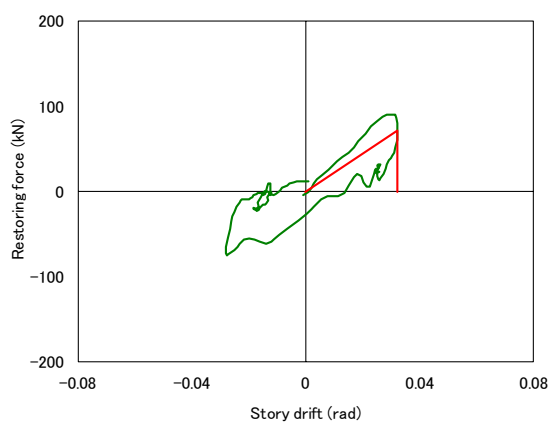


b) 2階長手方向

図3. 2. 1-144 試験体No. 4 壁配置C JMA神戸3方向加振 (4C2K03)



a) 1階短手方向



b) 2階短手方向

図3. 2. 1-145 試験体No. 4 壁配置C JMA神戸3方向加振 (4C2K03)

(4) まとめ

試験体No.4

復元力

ベースシア係数は、L方向0.55、S方向0.52であった。

捻れ挙動が大きい。特に短手方向加振で顕著である。

柱脚のすべり

BCJ-L1加振では、柱脚の水平移動はほとんど見られなかった。

柱脚の水平移動には、主に2種類有ることが確認された。一方は、時間をかけて少しずつ歩くように移動するパターン、残りは一瞬で数百mmすべるように移動するパターンである。歩くように移動するパターンの最大変位は約23mmであり、すべるように移動するパターンの最大変位は約280mm、実験前の柱脚位置から最も離れた距離は約200mmであった。

柱脚のすべりによって、上部構造の変形は小さくなった。

応答倍率

石場建ての場合、大地震時にM0に作用する加速度・速度の応答倍率は約1.0である。2階天井高さでは約1.2である。

減衰・等価剛性

変形が大きくなるに従って減衰定数は大きくなり、概ね10%を超えていた。

変形が大きくなるに従って割線剛性は低くなる。

3. 2. 2 2012年度実大震動台実験試験体の立案

2012年度にE-ディフェンスで実施する実大実験は、標準設計法及び詳細設計法の検証を行うため、別紙のような下屋付二階型の実験体を2棟作り、一方の実験体は柱脚を地盤に固定し、もう一方の実験体は柱脚を固定せずに同時に加振し両者を比較する。

この実験体に確定するまでに実大震動台実験検討WGが10回、実務者を中心とした実験体検討SWGが20回開催され、上記の最終案となった。以下に経過を表す。

■ 試験体検討の経過

H23.7.4 第1回WG開催

- ・ 4棟以内の実験体とし、SWGで案を考えることが決定される。

H23.8.10 第2回WG開催

- ・ 現代タイプ、農家型、数奇屋風、町家型、社寺風建築の5種類が例示提案される。
- ・ 社寺風建築は今回の実験からはずすことが決定される。

H23.9.14 第3回WG開催

- ・ 社寺風建築を除く4案を提出される。
- ・ 実験目的を明確化させ、再提出することとする。

H23.10.8 第4回WG開催

- ・ 4種類のタイプの実験体が提案される。
- ・ 予算の関係で2体の実験体とすることになった。
- ・ 標準設計法で設計できるような実験体になるよう再検討することとする。

H23.10.22 第5回WG開催

- ・ 農家型と書院型の二体に絞り込んだ提案がされる。
- ・ 設計法部会に向けて、優先順位を継承農家型、平屋開放型、提案型とし資料を作成することとする。

H23.11.3 第6回WG開催

- ・ 下屋付二階建（奥行き4間半：関東間）と平屋開放型を同時加振する案が提案される。
- ・ 引き続き詳細の検討を行うこととする。

H23.11.17 第7回WG開催

- ・ SWGで下屋付二階型、平屋開放型、現代生活対応型の3タイプを再検討した結果、下屋付二階型、平屋開放型の二棟が提案される。
- ・ 別途、鈴木委員長より、提案農家型（下屋付二階型）をベースした柱脚の仕様が異なる2棟を同時加振する案が出される。（平屋解放型は詳細解析で対応する）
- ・ 上記2案を検討し、下屋付二階建案を縮小し、二体同時に加振する案とする。

H23.12.1 第8回WG開催

- ・ 下屋付二階案（一階奥行き四間+1尺、二階奥行き3間）が提案される。

- ・ 材料拾いを行なわれた。
- ・ 次回WGで仕口等の検討を行うこととする。

H23.12.28 第9回WG開催

- ・ 下屋付二階型の修正案提案（北面を総2階とし、南側の部屋を2間幅とする。二階奥行き3間半）が提案される。
- ・ 限界耐力計算で確認し修正を加えることとする。

H24.1.14 第10回WG開催

- ・ 最終案が確認され、実施設計を進めることとなる。
- ・ 足元の固定方法は引き続き検討するものとする。京大防災研で行われる通し柱の実験体の下部固定方法も参考にするものとする。

3. 3 振動台実験検証WG

3. 3. 1 実験目的

「伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験」検討委員会におけるE・ディフェンス振動台を利用した伝統木造建物の震動台実験先行実験として、伝統木造建築物試験体の基本的な動的挙動として「通し柱による層間変形角の均一化効果」を確認するとともに、各部の計測方法などを確認する。ここでは「通し柱効果」とは、図3.3.1-1のイメージで定義する。他の構造形式で言えば、「連層耐震壁により建物各層の層間変位を均一化する」ことになり、連層耐震壁の役割を大断面の通し柱に期待している。この「通し柱効果」により伝統的木造建築物の地震被害に度々見受けられる「1階のみに変形が集中して1階が潰れる」状況を防ぐ。特に、道路や庭に面した1階は開口部が多くなるという暮らしの必然から起こりうる上下階の剛性・耐力のアンバランスを補正する効果が期待される。

・土台仕様試験体の実験

実験時期：平成23年7月19日～2011年8月12日

場所：京都大学防災研究所強震応答実験室

・石場建て仕様試験体の実験～2012年2月17日

実験時期：平成24年2月1日

場所：京都大学防災研究所強震応答実験室

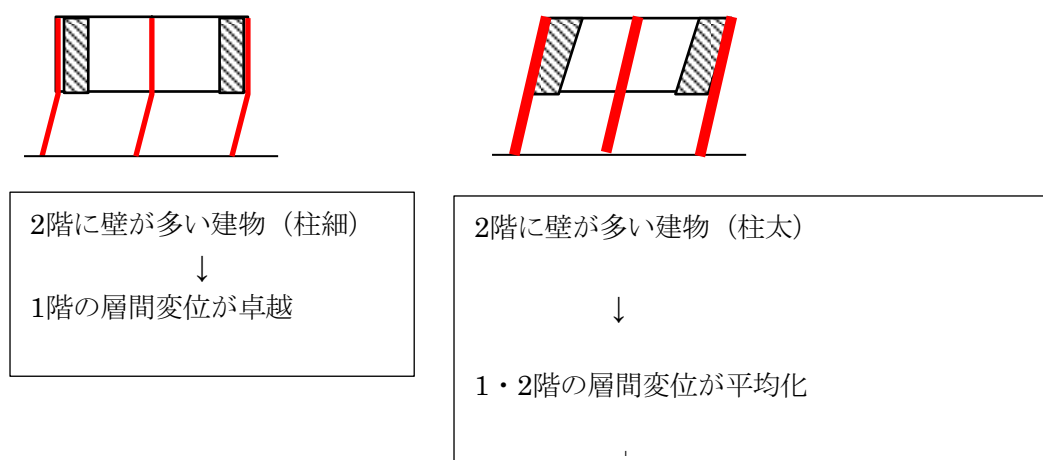


図3. 3. 1-1 「通し柱効果」のイメージ

3. 3. 2 解析的検討

(1) 解析モデル

材端部に半剛接バネ要素を考慮した平面骨組解析によって、時刻歴応答解析を行った。

解析モデルは図3.3.2-1に示す振動実験に用いた6寸角の通し柱を有する伝統木造建築の架構である。

(2) 解析概要

- 試験体質量, $M_1=5.5\text{ton}/2$, $M_2=5.0\text{ton}/2$ (解析は対称性を考慮し、1/2構面解析を行った)
- 入力地震波 BCJ-L2波
- 減衰定数 $\eta=0.02$ (初期剛性比例型減衰)

1) 土壁のモデル化 (図3. 3. 2-2)

土壁 (乾式) の非線形特性は、剛棒要素とせん断バネを用い、せん断変形に対しては、要素実験によって得られている非線形特性を考慮させ、回転変形 (ロッキング) に対しては、簡便に剛体モデルとする。このとき、せん断に対する復元力特性は、スリップ型復元力モデルによってモデル化する。このとき、土壁の耐力特性は、既往の実験結果に基づき、バイリニア成分にスリップ特性を有するトリリニア成分をプラスすることでモデル化を行った。図3.3.2-3に解析に用いた乾式土壁 (1P) の耐力特性を示す。

2) 接合部のモデル化 (図3. 3. 2-4)

柱脚柱頭接合部 (長ほぞ差し込栓) の非線形特性は、曲げバネ要素を用い、スリップ型復元力モデルによってモデル化を行う。また、ほぞの方向に対して存在する強軸・弱軸の特性は、すべて強軸の特性とした解析を行った。

はり接合部の非線形特性は、曲げバネ要素を用い、スリップ型復元力モデル (図3.3.2-5) によってモデル化を行う。

図3.3.2-6に解析に用いた接合部の耐力特性を示す。

(3) 解析結果

試験体No.1-1～No.1-4における解析結果を以下に示す。

図3.3.2-7～10に試験体No.1-1～No.1-4における各層の最大層間変位の実験値と解析値を示す。図中、左は1階の最大層間変位を示し、右は2階の最大層間変位を示す。若干の相違はあるものの、概ね解析値は実験値と整合していることがわかる。しかしながら、試験体No.1-4に対するBCJ-L2波600gal入力の解析では、1階の最大層間変位は、実験値よりも解析値は小さな応答値となっていることがわかる。これは、解析では、部材接合部の局所的な破壊をモデル化していないのに対し、実際の加振実験では、雇いホゾを止めていた鼻栓が曲げ破壊を生じ、柱と胴差の間に隙間が生じたためであると推測される。

試験体 (通し柱180角) の実験と解析における最大層間変位の一覧を表3.3.2-1に示す。

図3.3.2-15～18に試験体No.1-1～No.1-4におけるBCJ-L2波200gal及び400gal入力時の各耐力要素に生ずる最大せん断力の解析値を示す。これらの図より、BCJ-L2波200gal入力時と400gal入力時を比べると、通し柱が負担する水平荷重は、400galの大きな入力動において大きくなる傾向にあることがわかる。

図3.3.2-11～14に試験体No.1-1～No.1-4における400gal又は350gal入力時の層せん断力-層間変位関係の解析値を示す。

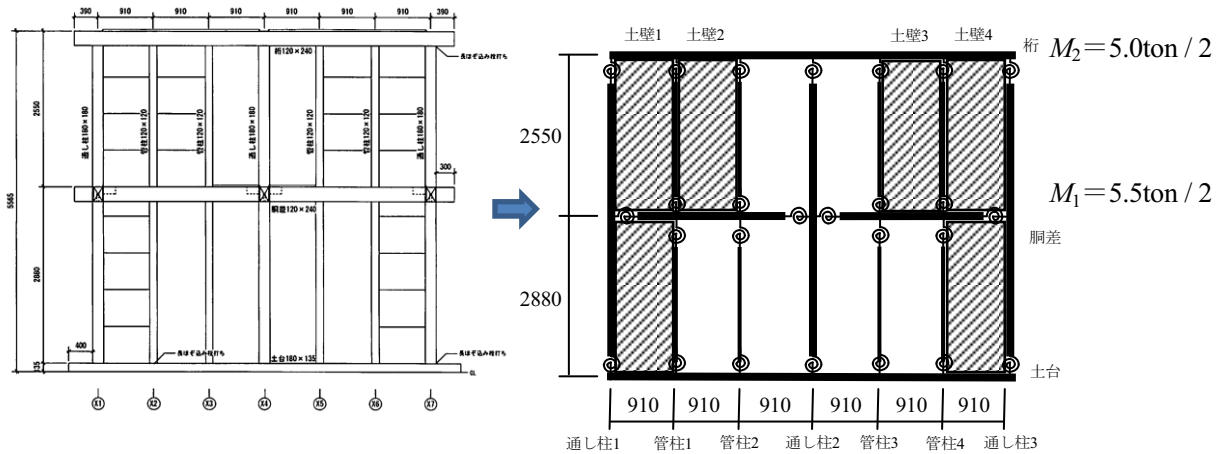


図3.3.2-1 解析モデル

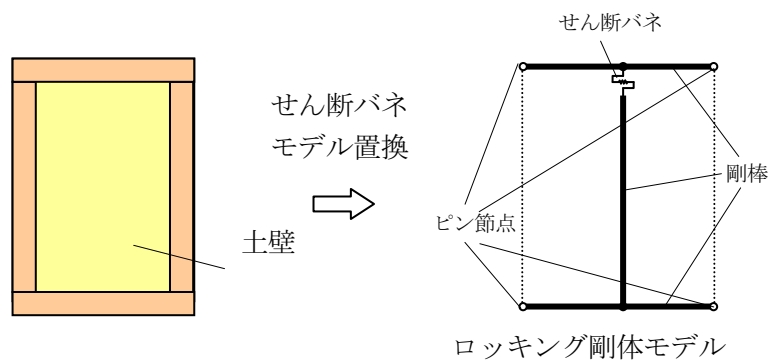


図3.3.2-2 荒壁パネルの非線形モデル

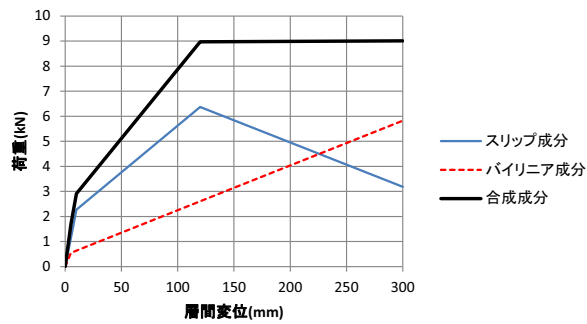


図3.3.2-3 乾式土壁（1P）の耐力特性

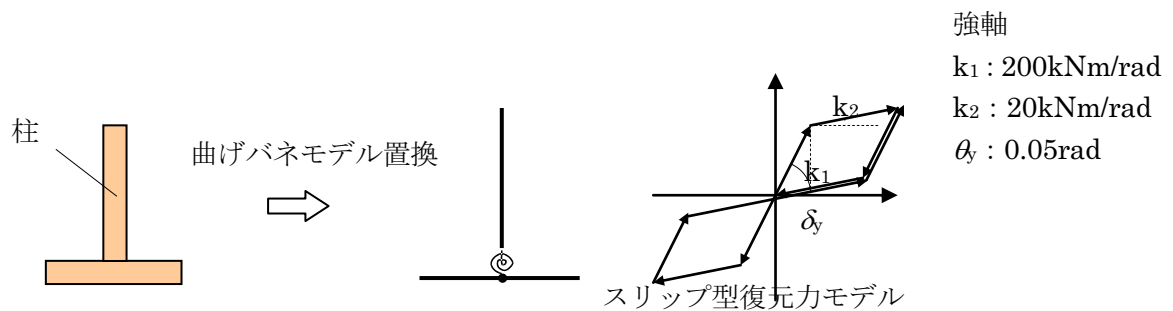


図3.3.2-4 柱端接合部の非線形モデル

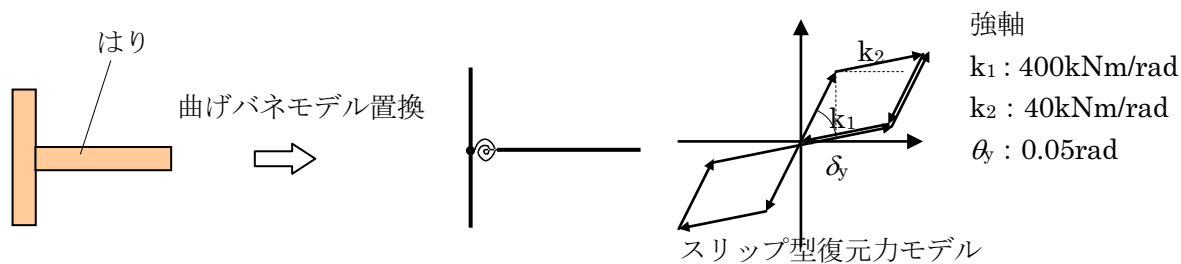


図3.3.2-5 はり接合部の非線形モデル

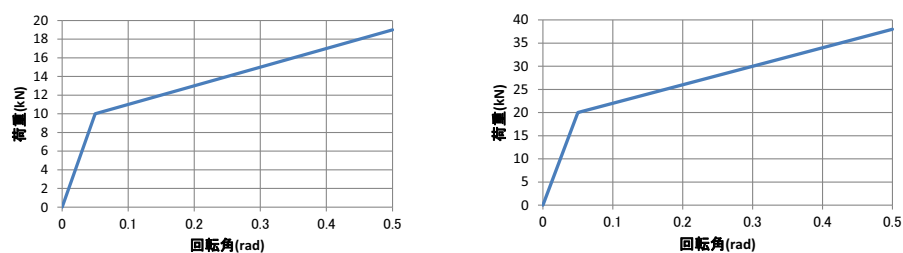


図3.3.2-6 接合部の耐力特性

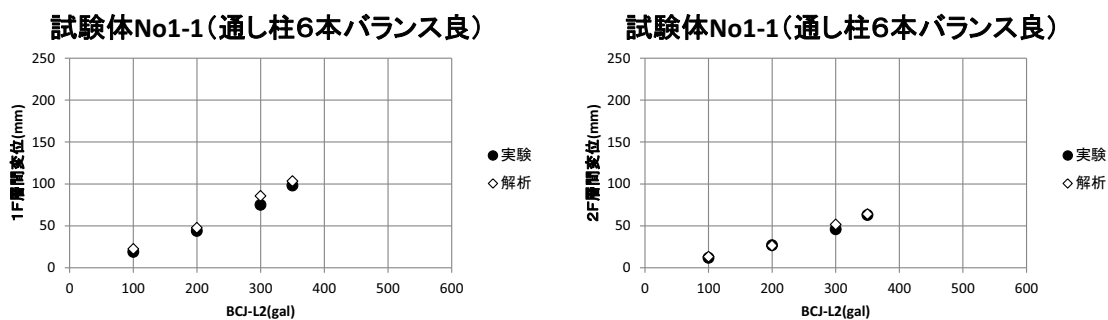


図3.3.2-7 試験体No. 1-1 最大層間変位 (mm)

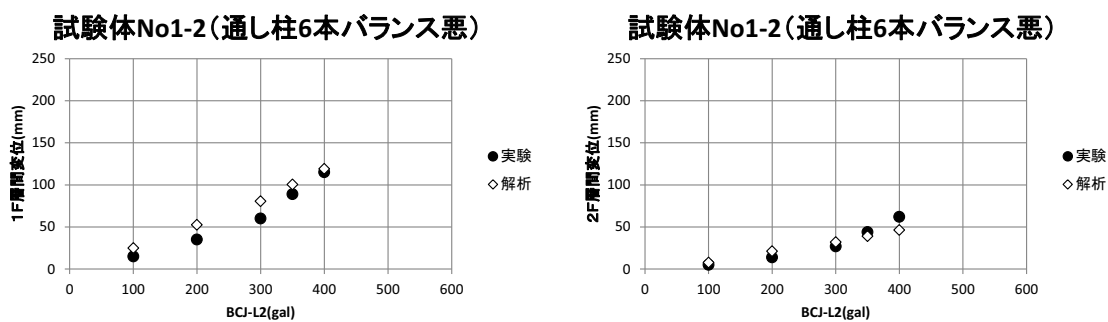


図3.3.2-8 試験体No. 1-2 最大層間変位 (mm)

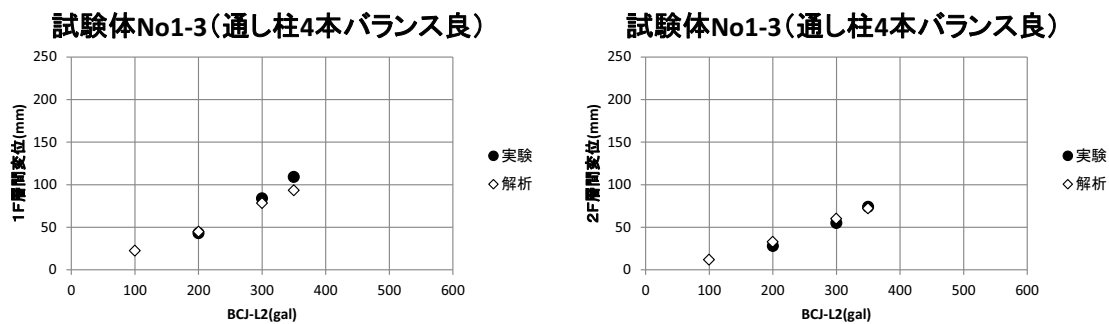


図3.3.2-9 試験体No. 1-3 最大層間変位 (mm)

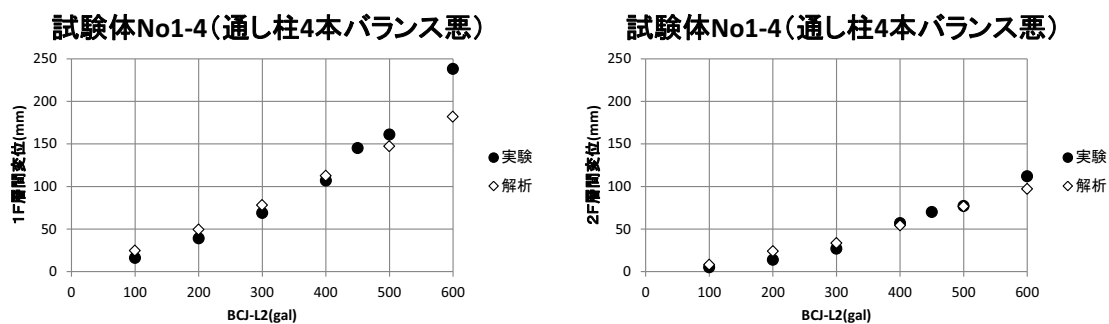


図3.3.2-10 試験体No. 1-4 最大層間変位 (mm)

表3.3.2-1 試験体(通し柱180角)の最大層間変位 (mm)

柱180角	No.1-1				No.1-2				No.1-3				No.1-4			
	通し柱6本バランス良				通し柱6本バランス悪				通し柱4本バランス良				通し柱4本バランス悪			
	1F		2F		1F		2F		1F		2F		1F		2F	
入力加速度	実験	解析	実験	解析	実験	解析	実験	解析	実験	解析	実験	解析	実験	解析	実験	解析
100	19	23	12	13	15	25	5	8		22		12	16	25	5	8
150																
200	44	48	27	26	35	53	14	21	43	45	28	33	39	49	14	24
250																
300	75	86	46	52	60	81	27	32	84	78	55	60	69	78	27	34
350	98	103	63	64	89	101	44	39	109	93	74	72				
400					115	119	62	46					107	113	57	54
450													145		70	
500													161	147	77	77
550																
600													238	182	112	97

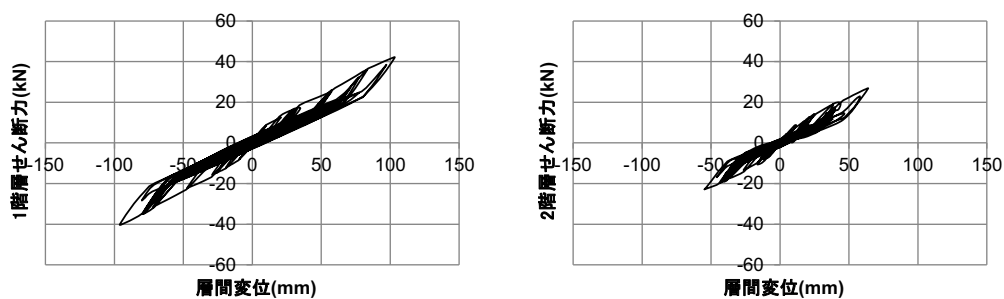


図3.3.2-11 試験体No. 1-1 (350gal) 層せん断力-層間変位関係

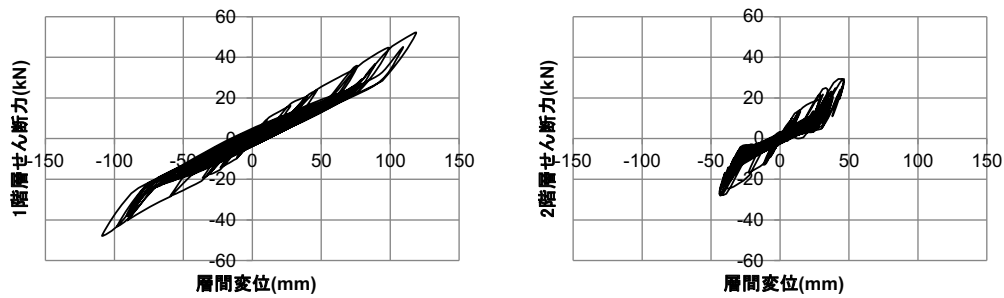


図3.3.2-12 試験体No. 1-2 (400gal) 層せん断力-層間変位関係

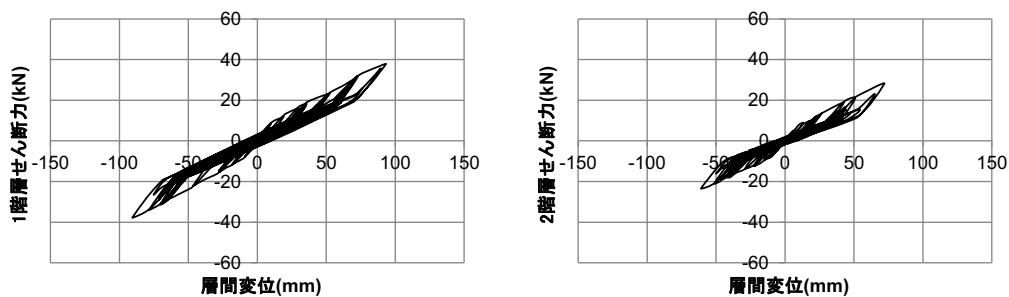


図3.3.2-13 試験体No. 1-3 (350gal) 層せん断力-層間変位関係

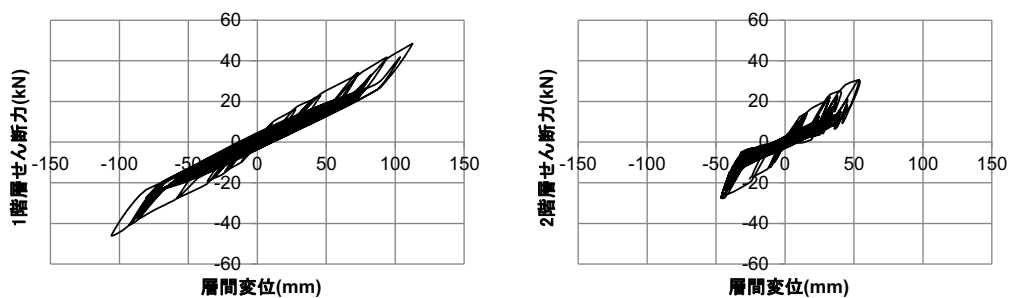
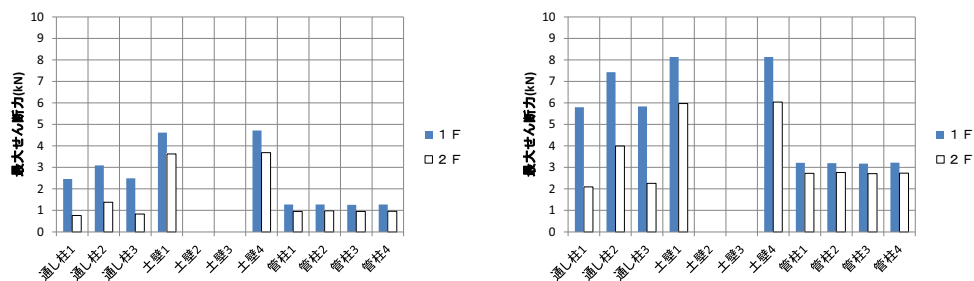
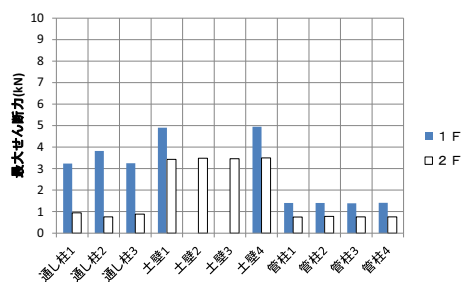


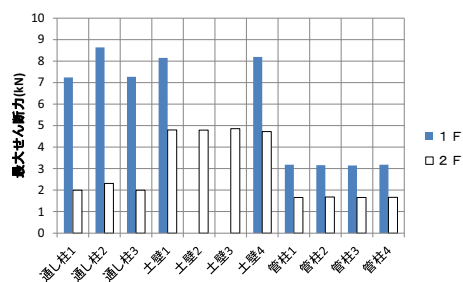
図3.3.2-14 試験体No. 1-4 (400gal) 層せん断力-層間変位関係



BCJ-L2 200gal
BCJ-L2 400gal
図3.3.2-15 試験体No. 1-1における耐力要素に生ずる最大せん断力

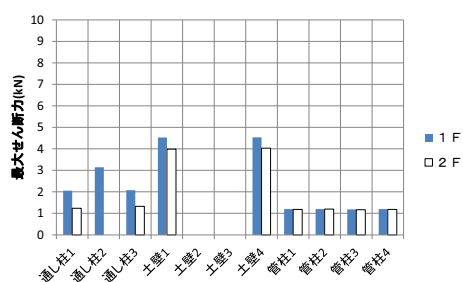


BCJ-L2 200gal

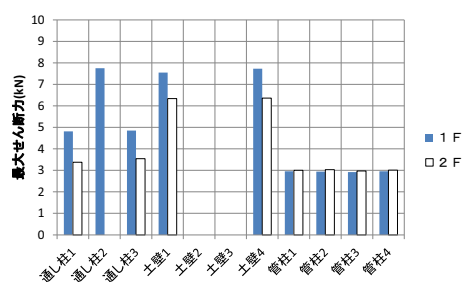


BCJ-L2 400gal

図3. 3. 2-16 試験体No. 1-2における耐力要素に生ずる最大せん断力

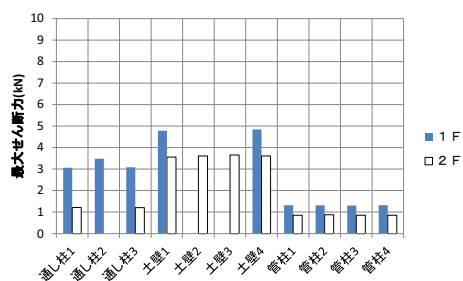


BCJ-L2 200gal

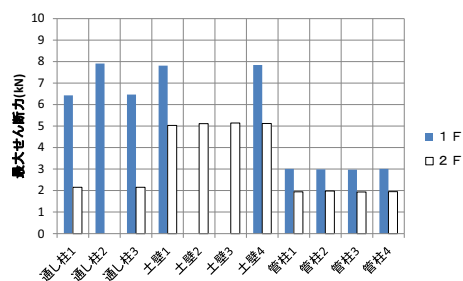


BCJ-L2 400gal

図3. 3. 2-17 試験体No. 1-3における耐力要素に生ずる最大せん断力



BCJ-L2 200gal



BCJ-L2 400gal

図3. 3. 2-18 試験体No. 1-4における耐力要素に生ずる最大せん断力

3. 3. 3 振動台実験

ここでは通し柱を有する伝統木造軸組の振動台実験について述べる。

(1) 日程・人員

実験は、平成23年7月19日から8月10日まで京都大学防災研究所にて行った。作業日程を表3.3.3-1、参加人員の所属を表3.3.3-2に示す。

(2) 試験体

試験体は、平面サイズが5,460mm×3,640mmの2階建て木造軸組であり、6本の通し柱からなる。通し柱が120mm角の試験体（以下4寸試験体）と180mmの試験体（以下6寸試験体）の2種類を用いた。各試験体ともに軸組接合部は雇いほぞに、柱外側は鼻栓打ちとし、柱内側は車知栓打ちあるいは込み栓打ちとした。桁と柱の接合部は長ほぞ込み栓打ちとした。耐力要素は鉛直構面の片面貼り乾式土壁パネルとした。試験体の全景を写真3.3.3-1、3.3.3-2に示す。

1) 軸組

各試験体の図面を図3.3.3-1～3.3.3-10に示す。加振方向をX方向とし、それに直交する方向をY方向として構面を設定した。

試験体の平面は柱間で5460×3640mm、土台（120mm）を含めた全高は5550mm、柱にはヒノキを用い、6本の通し柱と管柱の断面はともに120×120mmとなっている。その他の軸組にはベイマツを用い、土台の断面は120×120mm、胴差しの断面は120×240mm、桁の断面は120×240mm、梁の断面は120×240mm、床張りの断面は120×240mmとなっている。床は1F、2F、RFともに厚さ24mmの構造用合板を配置し、根太にはスギを用い、断面は120×45mmとなっている。

柱・胴差接合部は2方差し、3方差しとなり断面欠損が生じる。断面の詳細を図3.3.3-11、3.3.3-12に示す。なお、雇いや胴差のサイズは通し柱のサイズに関わらず同一とした。

2) 壁の配置

上下階の壁量バランスによる応答の違いを調べるため、図3.3.3-13、3.3.3-14に示すように、バランス良、バランス悪の2パターンの実験を行った。耐力壁は乾式土壁パネルとし、バランス良の場合1層2層ともに4P、バランス悪の場合1層に4P、2層に8P配置した。

3) 通し柱の本数

通し柱の本数による応答の違いを調べるため、まず通し柱6本での実験後、2層の通し柱2本を胴差上端で切り落とし通し柱4本として実験を行った（図3.3.3-15、3.3.3-16）。

4) 試験体重量

積載重量として2階および天井階に4tonfずつの鋼製錘を載せた。錘の設置状況を写真3.3.3-3および3.3.3-4に、設置位置を図3.3.3-17に示す。

実験終了後の解体時に部材ごとに部材の重量を実測した。なお、乾式土壁パネル、根太、床板については一部を計測し、得られた測定値からそれらの部材全体の重量を算出した。4寸試験体の重量表を表3.3.3-3、6寸試験体の重量表を表3.3.3-4に示す。表中の赤字が実測した数値である。

質点系重量を算出した結果、4寸試験体1層54.8kN、2層51.8kN、6寸試験体1層55.5kN、2層52.2kNとなった。

5) 含水率

実験後、試験体の含水率を求めるため、後述の曲げ試験に用いた通し柱の両端付近から厚さ30mmずつ切り取り、全乾重量を測定し含水率を求めた。結果を表3.3.3-5に示す。

6) 曲げ強度・曲げヤング係数

振動台実験終了後、通し柱から割れなどの損傷の無い部分を切り出し、立命館大学BKCセルにて曲げ試験を平成23年8月16、17日に行った。載荷点位置を図3.3.3-18および3.3.3-19に示す。

得られた曲げ強度、曲げヤング係数、密度を表3.3.3-6に示す。また、曲げ強度、曲げヤング係数と密度の関係を図3.3.3-20～3.3.3-22に示す。

(3) 計測・加振計画

1) 計測方法

試験体各部の加速度、変位、ひずみを計測した。サンプリング周波数は100Hzとした。加速度計は共和電業製の小型半導体加速度変換器ASP-2GAとASP-5GAを用い、変位計は東京測器研究所製の巻込型ワイヤー変位計DP-1000DS、KEYENCE製のCCDレーザー変位センサLK-2500、可視光レーザー変位センサLB-1200を用いた。接合部の回転角には、東京測器研究所製のSDP-200D、緑測器製のLP100FCを用いた。ひずみ計測には、東京測器研究所製のPFL-10-11（ゲージ率2.12）を用いた。

計測器の設置位置を図3.3.3-23～3.3.3-44に示す。なお、6寸試験体の加速度計、ひずみゲージの設置位置は4寸試験体と同一である。また、チャンネル表を表3.3.3-7および3.3.3-8に示す。

2) 加振方法

入力波はホワイトノイズ波（10cm/s²）、日本建築センター模擬波の0～60秒（BCJ-L2波）とし、加振方向はX方向の一方向とした。BCJ-L2波は最大加速度を100cm/s²から一回の加振ごとに100cm/s²あるいは50cm/s²ずつ段階的に加振レベルを上げて繰り返し加振を行った。ホワイトノイズ波はBCJ-L2波加振の前後で振動特性の変化を見るために用いた。加振リストを表3.3.3-9～3.3.3-12に示す。

(4) 固有振動数

各試験体の実験前後に行ったホワイトノイズ波加振から得られた卓越振動数を表3.3.3-13に示す。なお表中の加振コードは前述の加振リストにおけるファイル名と同じものである。通し柱のサイズおよび壁のバランスによって卓越振動数が変化していることが分かる。一方、通し柱を切断して6本から4本にした影響はほとんど見られない。

(5) 損傷状況

1) 4寸試験体

4寸試験体の加振では、いずれの条件でもBCJ-L2波の入力レベル200～300cm/s²辺りで乾式土壁パネルの隅角部にひび割れが見られ、入力レベルが大きくなっていくにつれ、損傷部分が拡大した（写真3.3.3-5～3.3.3-7）。また、通し柱4本、バランス悪の場合、450cm/s²の加振で大きな衝撃音とともに柱に亀裂が入った。その後500cm/s²まで加振して実験を終了した。

解体後の軸組の損傷状況を写真3.3.3-8～写真3.3.3-11に示す。管柱よりも通し柱の方が損傷して

おり、接合部が主に損傷していた。梁と通し柱の接合部にあった鼻栓は大きく曲がって変形していた。

2) 6寸試験体

6寸試験体の加振では、BCJ-2波の入力レベル300～400cm/s²辺りで乾式土壁パネルの隅角部にひび割れが見られ、入力レベルが大きくなっていくにつれ、損傷部分が拡大した（写真3.3.3-12～3.3.3-14）。700cm/s²まで加振しても、壁は大きく損傷したが、通し柱は折れることはなかった。

解体後の軸組の損傷状況を写真3.3.3-15～写真3.3.3-17に示す。柱は通し柱の損傷は少なかったが、管柱は柱脚、柱頭部を損傷していた。また梁と通し柱の接合部にあった鼻栓は4寸試験体のときよりも大きく曲がって変形していた。

（6）応答加速度

1) 4寸試験体

4寸試験体のBCJ-L2波加振における応答加速度の時刻歴波形を図3.3.3-45～3.3.3-53に示す。図中、1層は1階桁レベル、2層は2階桁レベルを指す。壁バランスが悪くなると1層と2層の応答加速度に差が無くなっていることが分かる。通し柱の本数が6本から4本になっても同様の傾向が見られる。

2) 6寸試験体

6寸試験体のBCJ-L2波加振における応答加速度の時刻歴波形を図3.3.3-54～3.3.3-62に示す。4寸試験体に比べると、壁バランスが悪くなっても1層と2層の応答加速度には特に大振幅領域で差が見られ、2層で応答加速度が増幅していることが分かる。

3) 最大応答加速度の比較

最大応答加速度の比較を図3.3.3-63～3.3.3-66に示す。

（7）層間変形角

1) 4寸試験体

4寸試験体のBCJ-L2波加振における層間変形角の時刻歴波形を図3.3.3-67～3.3.3-74に示す。壁バランスが良い場合、2層の変形角は1層の半分程度であるが、壁バランスが悪くなるとその差が大きくなっていることが分かる。

2) 6寸試験体

6寸試験体のBCJ-L2波加振における層間変形角の時刻歴波形を図3.3.3-75～3.3.3-82に示す。4寸試験体と同様に壁バランスが悪くなると1層と2層の変形角の差が大きくなっている。一方、壁バランスが良い場合、1層と2層の変形角の差は4寸試験体のときよりも小さい。

3) 最大層間変形角の比較

最大層間変形角の比較を図3.3.3-83および3.3.3-84に示す。なお図中の実線は1層と2層の変形角が等しくなるときである。壁バランスが良い場合、6寸試験体では1層と2層が比較的近い変形角となっているが、4寸試験体では1層の変形角が大きくなる傾向にある。壁バランスが悪い場合も同様の傾向であるが、4寸と6寸の違いがより大きい。通し柱の本数が6本から4本に減少しても傾向は変わらない。

(8) 層せん断力

1) 4寸試験体

4寸試験体の層せん断力 - 変形角関係を図3.3.3-85～3.3.3-93に示す。

2) 6寸試験体

6寸試験体の層せん断力 - 変形角関係を図3.3.3-94～3.3.3-102に示す。

3) 包絡線の比較

層せん断力 - 変形角関係から層せん断力が最大・最小となった点を結んだ包絡線を図3.3.3-103～3.3.3-104に示す。4寸試験体に比べて6寸試験体の方が特に1層で大きな耐力を示している。壁量、仕口寸法は同一なので、通し柱の曲げ戻しによる耐力向上と考えられる。

(9) まとめ

通し柱を有する伝統木造軸組の振動台実験から得られた知見は以下のとおりである。

- ・ 通し柱の断面を6寸角と大きくすることで、4寸角のときに比べて、1層と2層の変形角の差を平均化することが出来る。さらに、平均化の効果は、1層と2層の耐力バランスが悪い場合により顕著に表れる。
- ・ 通し柱の断面を6寸角と大きくすることで、通し柱の曲げ戻し効果によって、4寸角のときに比べて、特に1層の層せん断力の向上が期待できる。
- ・ 通し柱を用いる場合、柱の折損に注意しなければならないが、今回の場合、鼻栓の曲げが先行したことによって、6寸角の場合、大変形時にも柱の折損は見られなかった。

表3.3.3-1 作業日程

月	日	曜日	内容
7	19	火	架台・仮設足場設置
	20	水	計測フレーム設置, 試験体組立
	21	木	試験体組立, 錘設置, 乾式パネル取付, 計測器準備
	22	金	計測器準備
	23	土	
	24	日	
	25	月	計測器準備
	26	火	加振, 壁変更
	27	水	壁変更, 柱切断, 計測器調整
	28	木	加振, 壁変更
	29	金	試験体解体
	30	土	
	31	日	
8	1	月	試験体組立
	2	火	試験体組立, 錘設置, 乾式パネル取付, 計測器準備
	3	水	計測器準備
	4	木	加振, 壁変更
	5	金	壁変更, 柱切断, 計測器調整
	6	土	
	7	日	
	8	月	加振, 壁変更
	9	火	試験体解体
	10	水	架台・仮設足場撤去

表3.3.3-2 作業人員及び人数

氏名	所属
山田耕司	豊田工業高等専門学校・准教授
須田 達	立命館大学・准教授
向坊恭介	立命館大学・助教
河原 大	東京大学・研究生
松原雅之	立命館大学・学部生
富田吉希	立命館大学・学部生
田板翔平	立命館大学・学部生
深瀬 司	立命館大学・学部生
井上成人	立命館大学・学部生
沼田未知	立命館大学・学部生
池田正樹	立命館大学・学部生
高橋俊順	立命館大学・学部生
三宅健太郎	金沢工業大学・大学院生



写真3.3.3-1 4寸試験体の写真



写真3.3.3-2 6寸試験体の写真

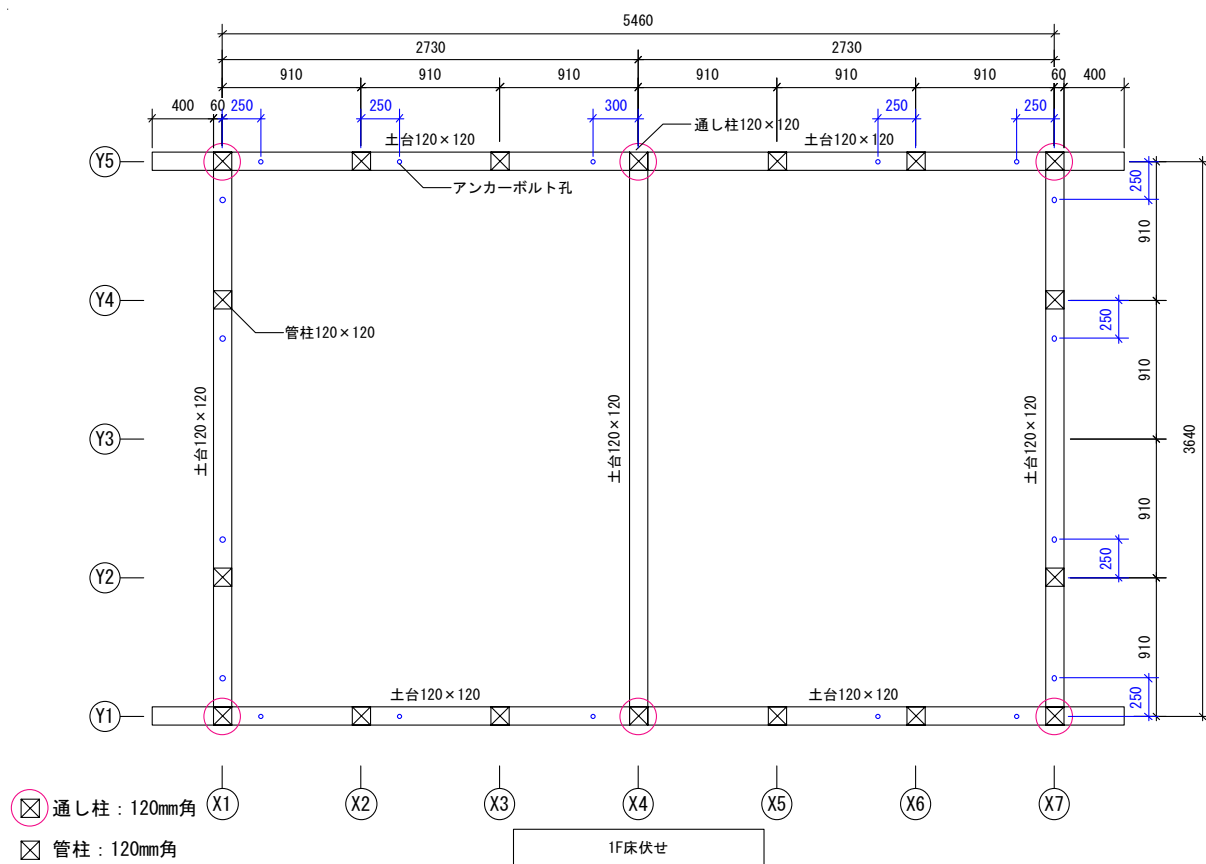


図3. 3. 3-1 4寸試験体1F床伏せ

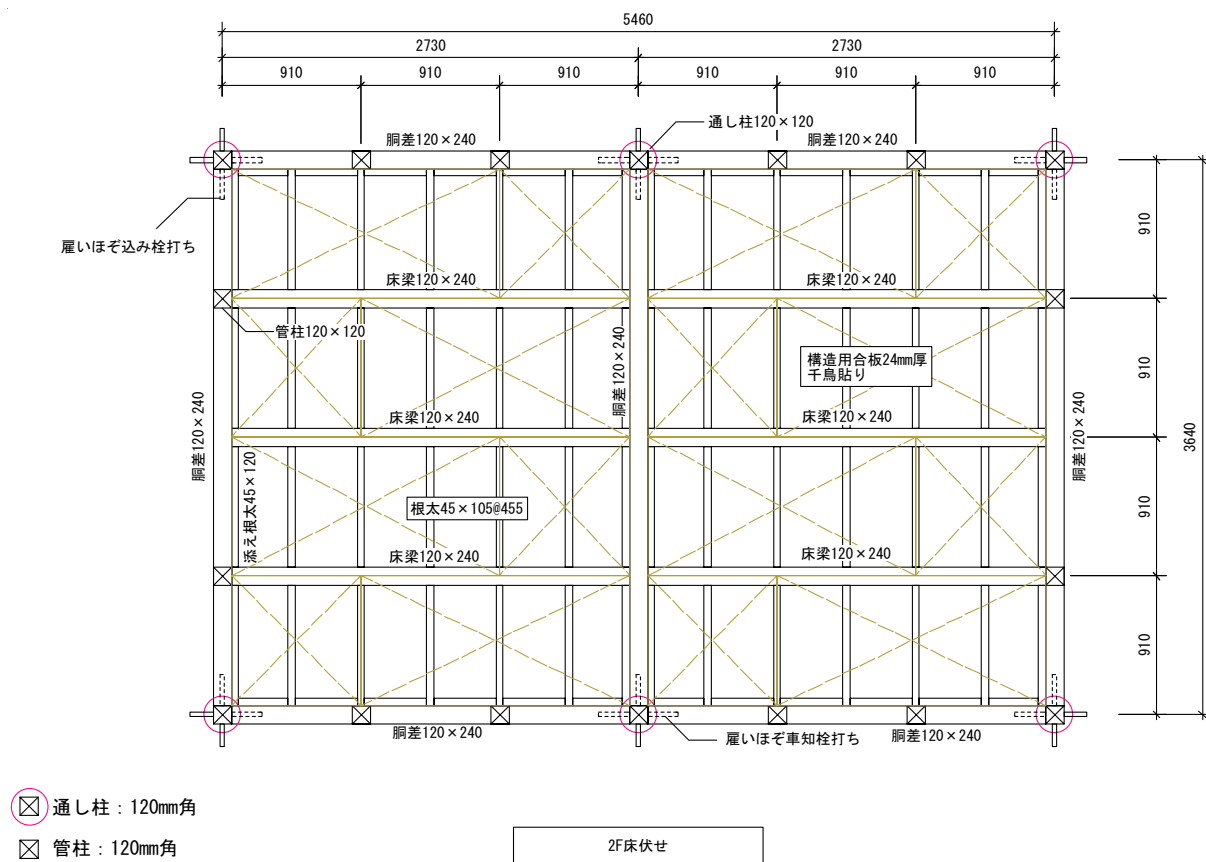
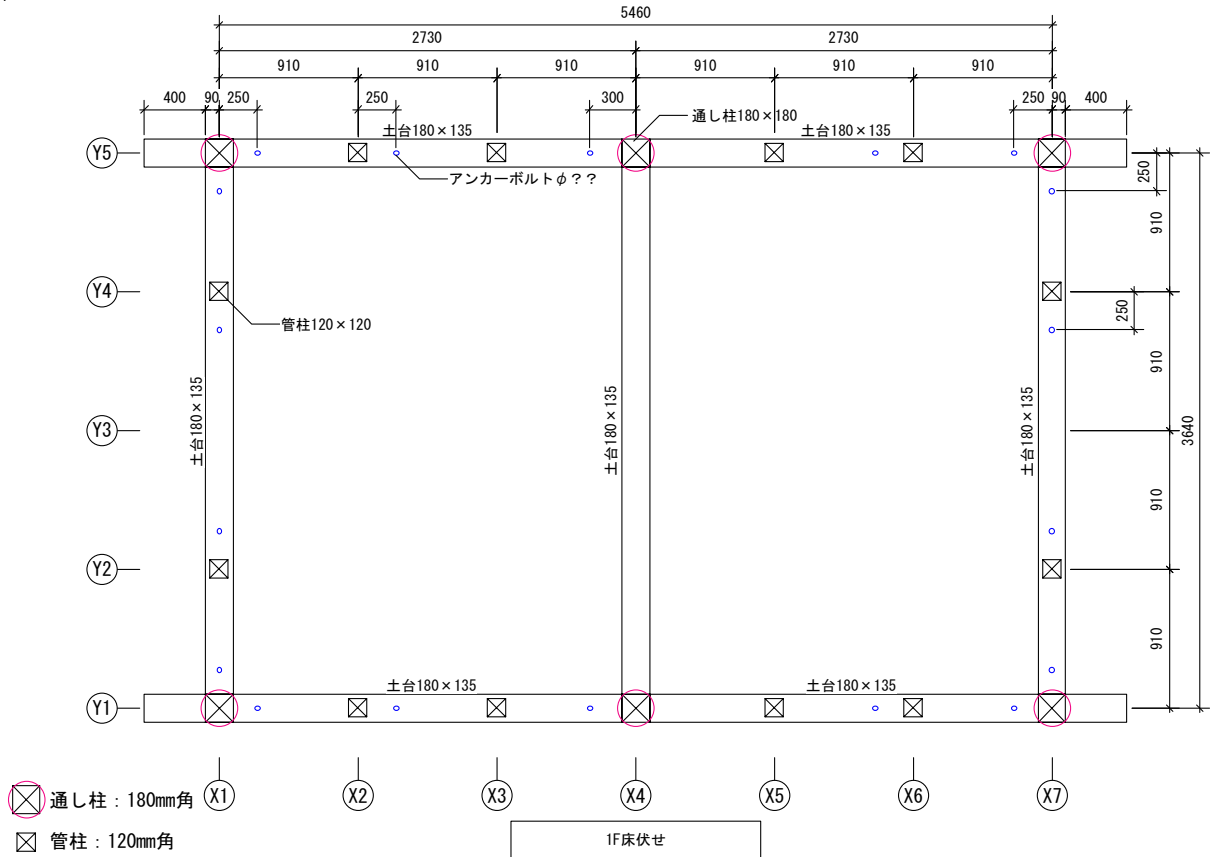
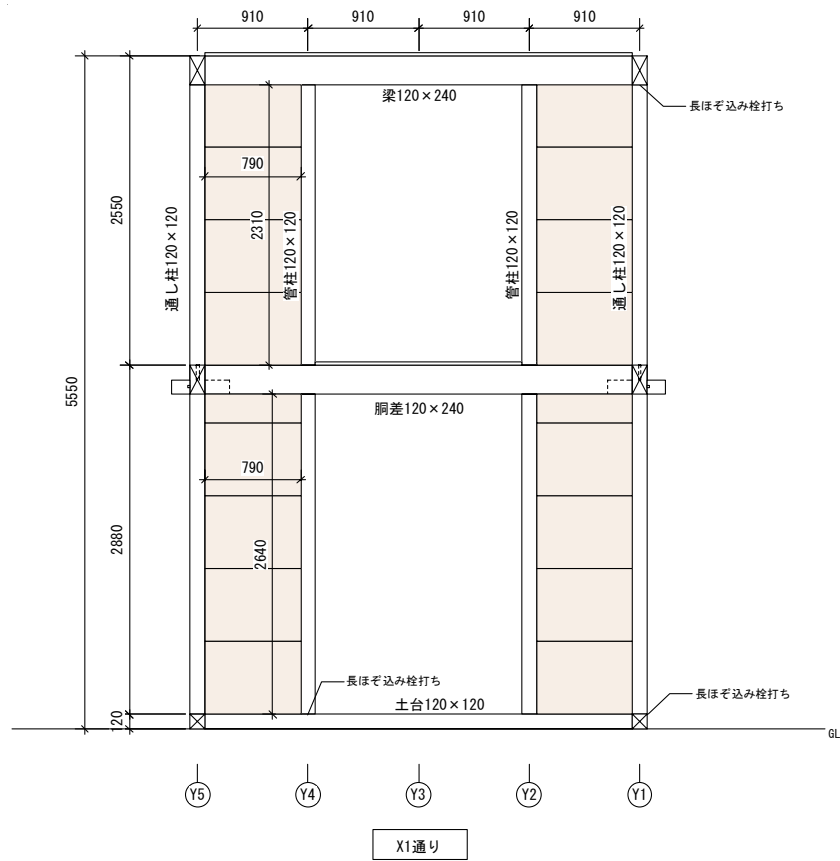


図3. 3. 3-2 4寸試験体2F床伏せ



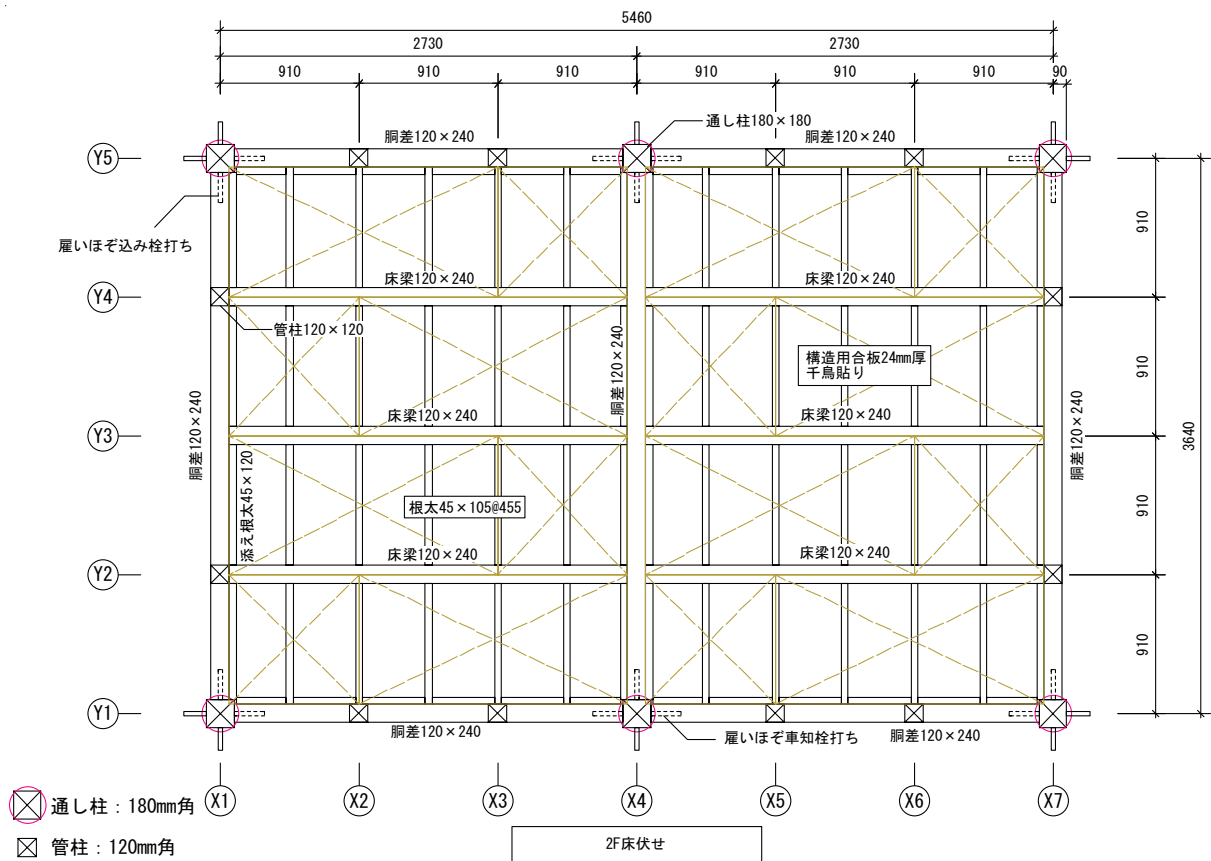


図3. 3. 3-7 6寸試験体2F床伏せ

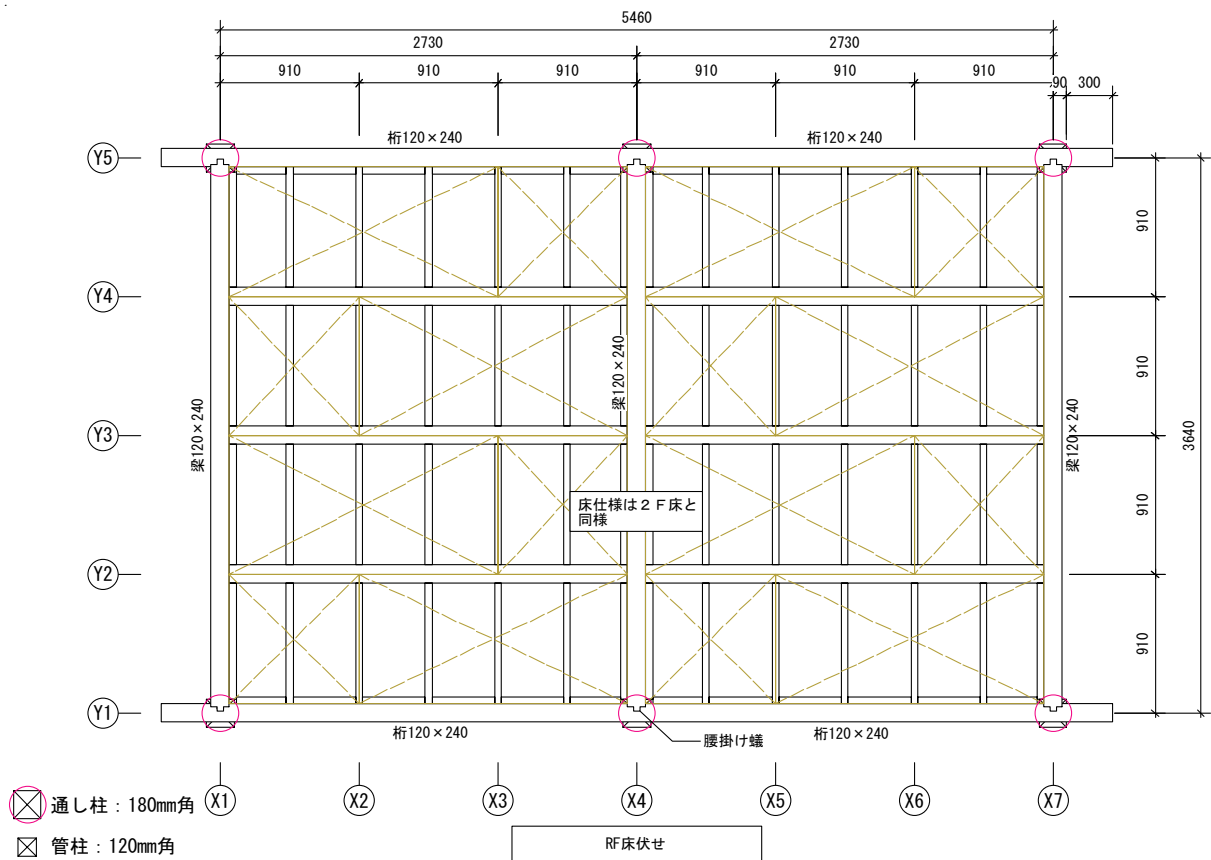


図3. 3. 3-8 6寸試験体RF床伏せ

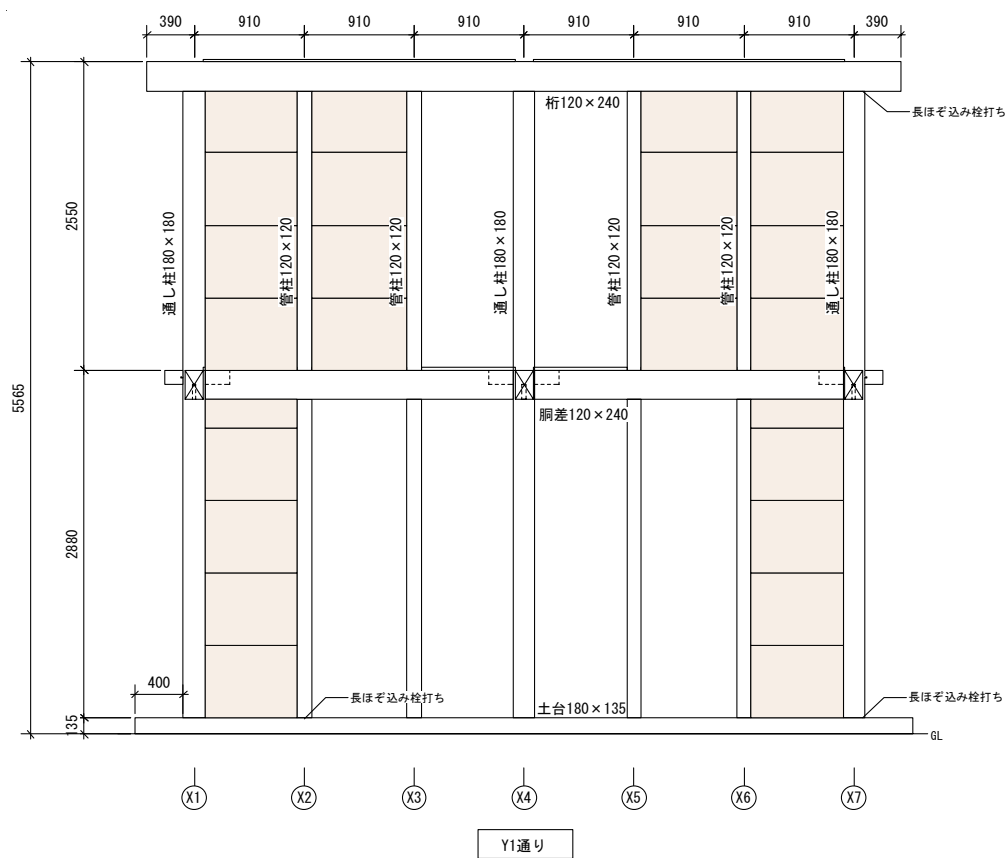


図3.3.3-9 立面図（長手方向）

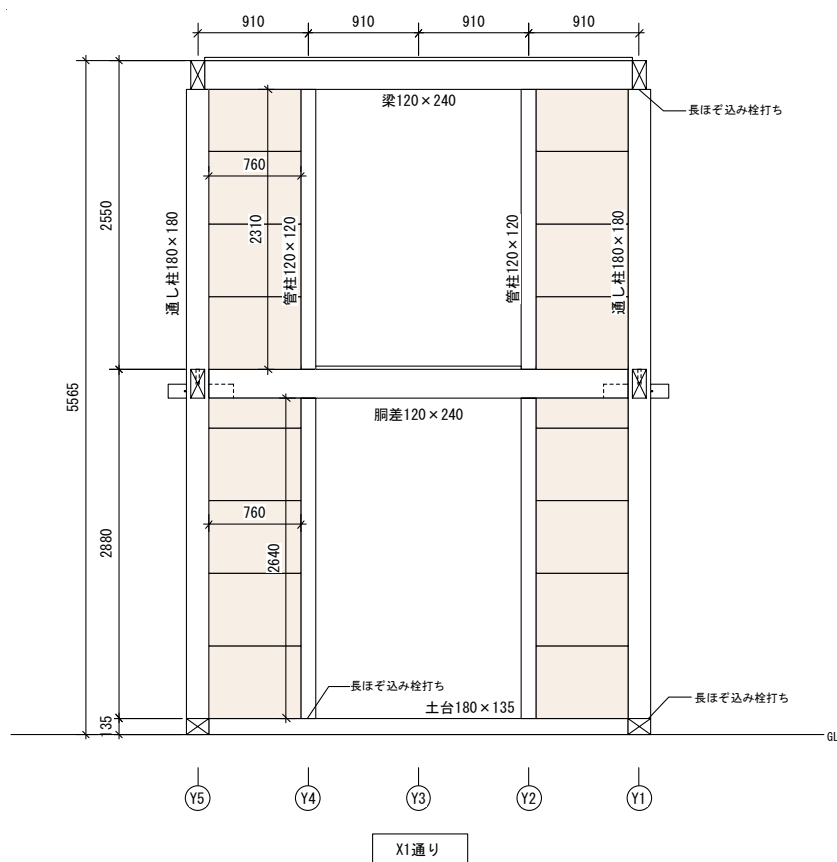


図3.3.3-10 立面図（短手方向）

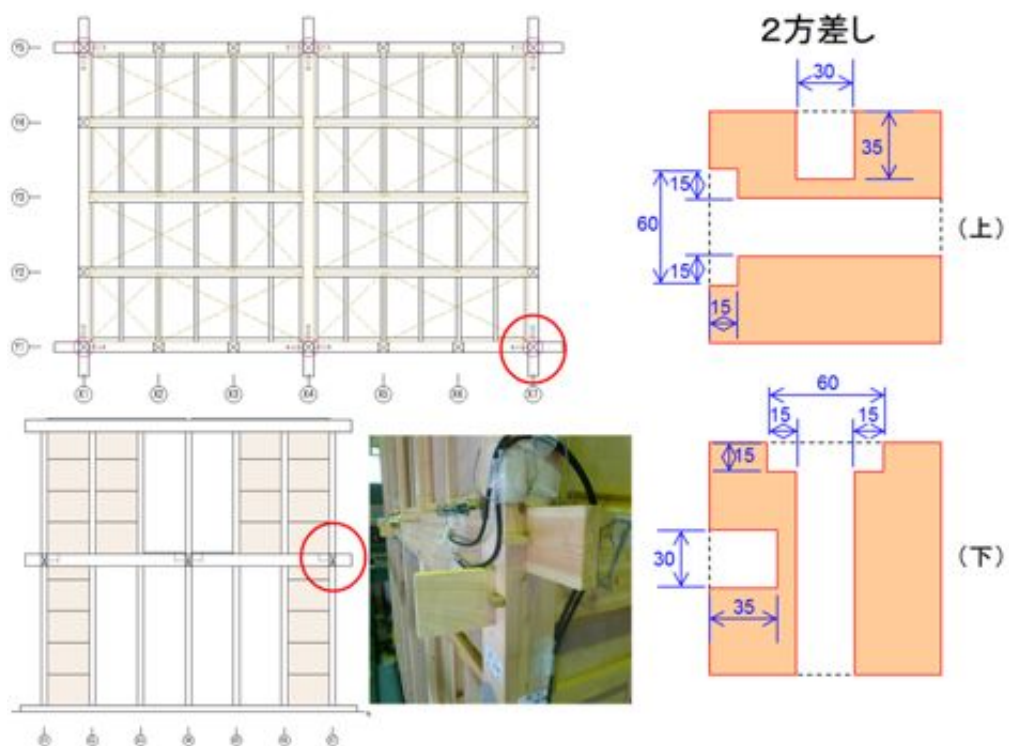


図3.3.3-11 2方差し

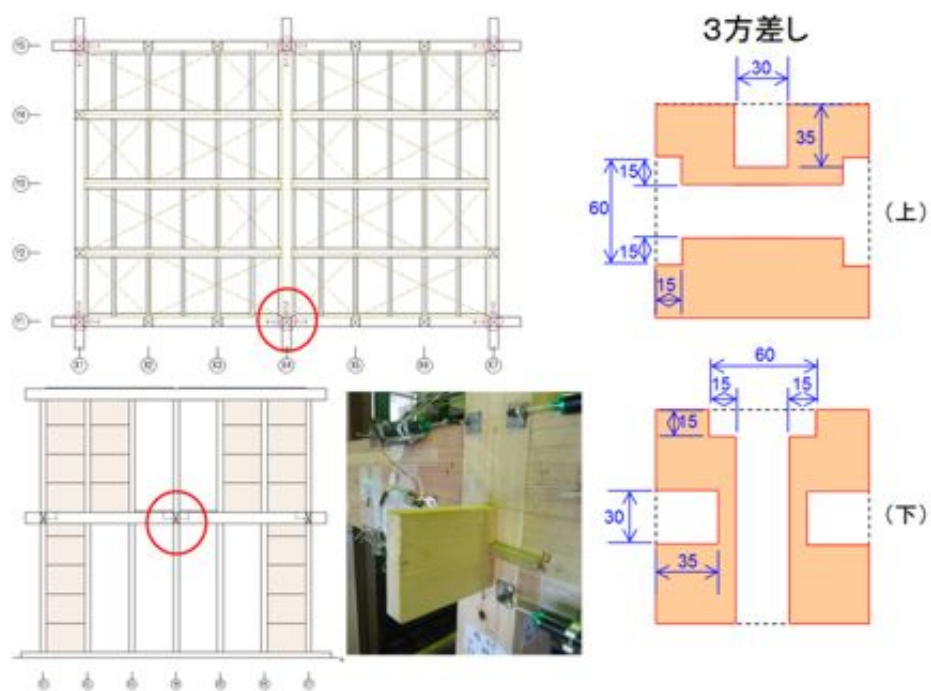


図3.3.3-12 3方差し

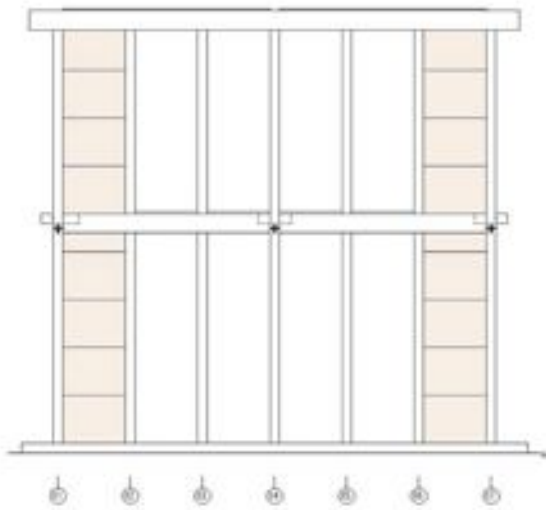


図3.3.3-13 壁の配置（バランス良）

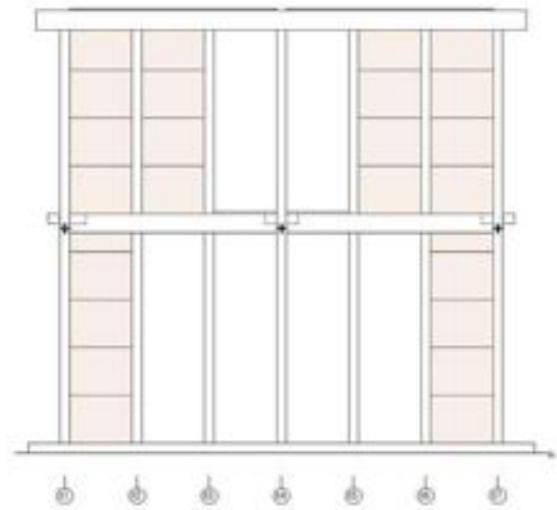


図3.3.3-14 壁の配置（バランス悪）

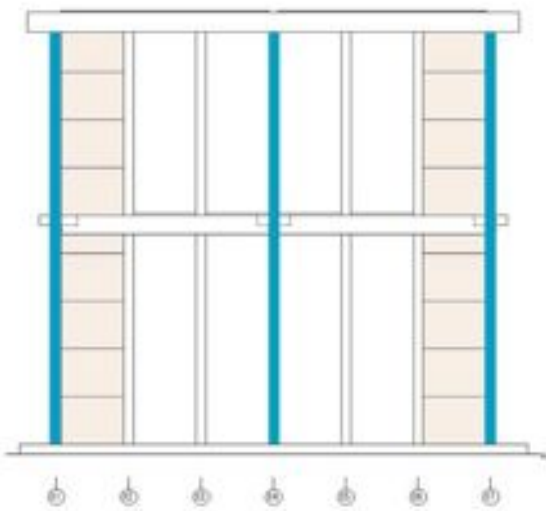


図3.3.3-15 通し柱6本

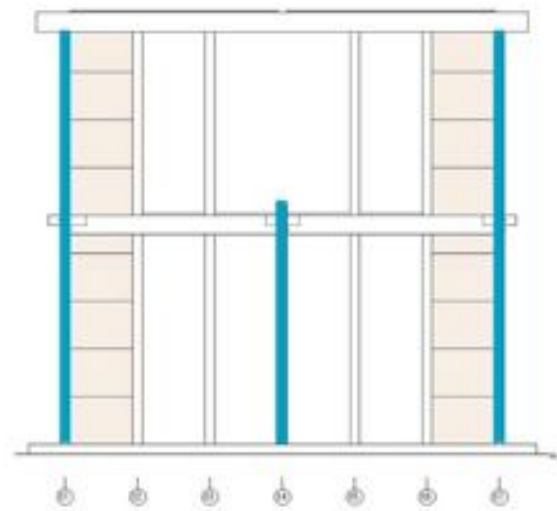


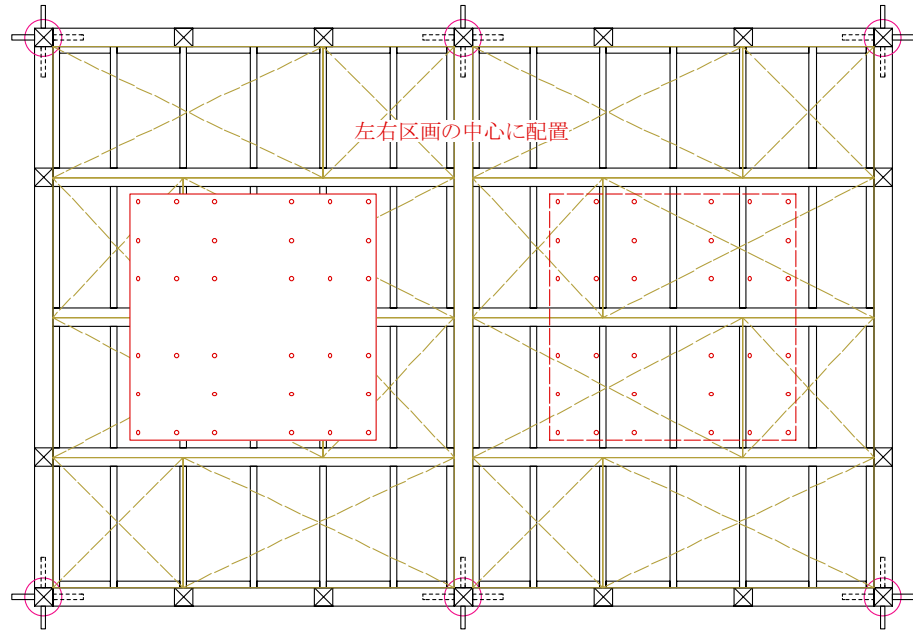
図3.3.3-16 通し柱4本



写真3.3.3-3 2F階の鍾



写真3.3.3-4 天井階の鍾



⊗ 通し柱 : 120mm角

⊗ 管柱 : 120mm角

2F RF 鋼板重り設置位置

図3.3.3-17 錘の設置位置

表3.3.3-3 4寸試験体重量表

梁(短手)[kgf]	土台	1F	2F	合計
X1	25.5	54.41	53.73	408.49
X4	27.37	53.88	56.29	
X7	26.41	54.82	56.08	
計	79.28	163.11	166.1	

梁(長手)[kgf]		土台	1F	2F	合計	
Y1	X1～4		23.87	36.51	55.65	896.66
	X4～7		26.07	36.03	53.73	
Y2	X1～4			39.85	37.5	
	X4～7			38.14	41.42	
Y3	X1～4			39.54	37.15	
	X4～7			39.91	37.39	
Y4	X1～4			37.55	40.07	
	X4～7			37.84	37.55	
Y5	X1～4	28.34	36.16	39.71		
	X4～7	21.89	38.16	36.63		
計		100.17	379.69	416.8		

柱(通し柱以外)[kgf]		1F	2F	合計
Y1	X2	18.78	18.34	450.14
	X3	19.78	16.8	
	X5	19.28	16.71	
	X6	19.22	17.64	
Y2	X1	20.54	19.12	
	X7	20.26	17.72	
Y4	X1	20.48	18.6	
	X7	20.08	17.82	
Y5	X2	20.84	15.72	
	X3	20.61	17.93	
	X5	19.44	16.23	
	X6	19.99	18.21	
計		239.3	210.84	

種[kgf]	1F	2F	合計
全体	50.85	70.56	121.41

床板[kgf]	2F	RF	合計
全体(×12)	256.06	250.85	506.91

根太[kgf]	2F	RF	合計
全体(×40)	72.21	69.38	141.59

荒壁パネル[kgf]	1F	2F	合計
全体(×8)	257.08		257.08
全体(×12)		349.02	349.02

通し柱[kgf]	合計	2層	1層	0層
X1.Y1	40.55	10.1375	20.275	10.1375
X1.Y5	43.15	10.7875	21.575	10.7875
X4.Y1 上	18.13	10.81	21.62	10.81
X4.Y1 下	25.11			
X4.Y5 上	15.45	9.14	18.28	9.14
X4.Y5 下	21.11			
X7.Y1	45.56	11.39	22.78	11.39
X7.Y5	41.88	10.47	20.94	10.47
計	250.94	62.735	125.47	62.735

錘[kgf]	8000
--------	------

やとい[kgf]	11.09
----------	-------

全体重量[kgf]	11393.33
-----------	----------

質点系重量	kgf	kN
2層	5281.075	51.75454
1層	5596.455	54.84526
0層	515.8	5.05484
合計	11393.33	111.6546

表3.3.3-4 6寸試験体重量

梁(短手)[kgf]	土台	1F	2F	合計
X1	47.62	54.59	57.23	459.07
X4	39.9	54.82	58.61	
X7	38.75	52.1	55.45	
計	126.27	161.51	171.29	

梁(長手)[kgf]		土台	1F	2F	合計	
Y1	X1~4	36.61	37.55	37.67	961.5	
	X4~7	38.76	37.56	56.35		
Y2	X1~4		40.59	38.11		
	X4~7		38.9	37.22		
Y3	X1~4		40.89	38.81		
	X4~7		37.9	37.66		
Y4	X1~4		38.88	38.99		
	X4~7		38.82	37.07		
Y5	X1~4		42.83	38.26		58.41
	X4~7		37.93	37.87		37.86
計			156.13	387.22		418.15

柱(通し柱以外)[kgf]		1F	2F	合計
Y1	X2	20.11	16.4	446.99
	X3	19.04	17.32	
	X5	20	17.05	
	X6	17.83	17.21	
Y2	X1	19.51	18.91	
	X7	17.46	16.15	
Y4	X1	20.22	17.2	
	X7	21.72	16.49	
Y5	X2	21.1	19.01	
	X3	19.46	18.94	
	X5	20.51	19.3	
	X6	19.58	16.47	
計		236.54	210.45	

種[kgf]	1F	2F	合計
1枚	6.71	?	
全体	53.68	64.32	118

床板[kgf]	2F	RF	合計
1枚	19.29	20.32	
全体(×12)	231.48	243.84	475.32

根太[kgf]	2F	RF	合計
1枚	1.76	1.82	
全体(×40)	70.4	72.8	143.2

荒壁パネル[kgf]	1F	2F	合計
1枚	30.8	26.4	
全体(×8)	246.4		563.2
全体(×12)		316.8	

通し柱[kgf]	合計	2層	1層	0層
X1.Y1	83.13	20.7825	41.565	20.7825
X1.Y5	79.37	19.8425	39.685	19.8425
X4.Y1 上	34.18	20.9375	41.875	20.9375
X4.Y1 下	49.57			
X4.Y5 上	36.23	21.3325	42.665	21.3325
X4.Y5 下	49.1			
X7.Y1	80.26	20.065	40.13	20.065
X7.Y5	81.74	20.435	40.87	20.435
計		123.395	246.79	123.395

鉄[kgf]	8000
--------	------

全体重量[kgf]	11660.86
-----------	----------

質点系重	kgf	kN
2層	5325.26	52.187548
1層	5661.495	55.482651
0層	674.105	6.606229
合計	11660.86	114.276428

表3.3.3-5 通し柱の含水率一覧

試験片		乾燥前				全乾後	
		重量 [gf]	体積 [mm ³]	密度 [g/cm ³]	含水率 [%]	重量 [gf]	全乾密度 [g/cm ³]
4 寸 柱	X1. Y1①	210.5	429480	0.490	17.3	179.5	0.418
	X1. Y1②	209.7	432360	0.485	16.9	179.4	0.415
	X1. Y5①	242.8	432900	0.561	15.1	210.9	0.487
	X1. Y5②	260.5	433800	0.601	16.2	224.2	0.517
	X4. Y1①	260.6	446760	0.583	19.8	217.6	0.487
	X4. Y1②	235.5	436140	0.540	17.3	200.7	0.460
	X4. Y5①	211.8	445680	0.475	15.2	183.9	0.413
	X4. Y5②	208.2	448920	0.464	14.8	181.4	0.404
	X7. Y1①	267.8	447120	0.599	18.8	225.4	0.504
	X7. Y1②	260.7	453240	0.575	17.4	222.0	0.490
	X7. Y5①	235.7	435139	0.542	13.6	207.5	0.477
	X7. Y5②	238.3	440640	0.541	13.5	210.0	0.477
	平均	236.8	440182	0.538	16.3	203.5	0.462
6 寸 柱	X1. Y1①	416.7	894248	0.466	15.7	360.3	0.403
	X1. Y1②	431.7	899910	0.480	15.5	373.9	0.415
	X1. Y5①	455.7	963820	0.473	15.8	393.4	0.408
	X1. Y5②	417.3	895367	0.466	12.7	370.4	0.414
	X4. Y1①	423.0	859107	0.492	12.8	375.0	0.436
	X4. Y1②	460.7	926455	0.497	13.4	406.4	0.439
	X4. Y5①	418.1	868524	0.481	16.6	358.5	0.413
	X4. Y5②	448.0	884977	0.506	16.7	384.0	0.434
	X7. Y1①	398.2	911538	0.437	15.6	344.4	0.378
	X7. Y1②	391.1	827279	0.473	15.7	338.0	0.409
	X7. Y5①	431.5	927124	0.465	16.0	372.1	0.401
	X7. Y5②	428.6	930279	0.461	15.5	371.0	0.399
	平均	426.7	899052	0.475	15.2	370.6	0.412
全体平均				0.506	15.7		0.437

4寸試験体(6体とも)

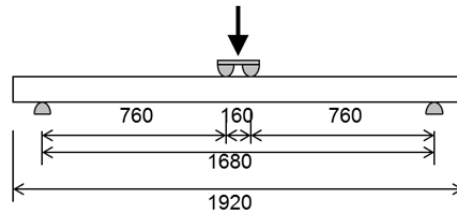


図3. 3. 3-18 載荷位置 (4寸試験体)

6寸試験体(前半2体:X7Y5,X1Y1)

6寸試験体(後半4体)

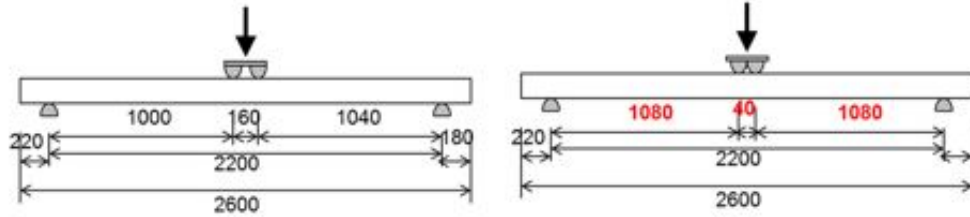


図3. 3. 3-19 載荷位置 (6寸試験体)

表3. 3. 3-6 曲げ強度、曲げヤング係数、密度

		曲げ強度	曲げヤング係数
		[N/mm ²]	[kN/mm ²]
4 寸	X1Y1	56. 62	9. 59
	X4Y1	56. 65	9. 92
	X7Y1	69. 22	11. 02
	X1Y5	72. 38	9. 68
	X4Y5	55. 42	9. 39
	X7Y5	61. 68	10. 55
6 寸	X1Y1	43. 41	7. 36
	X4Y1	62. 51	9. 13
	X7Y1	48. 55	8. 34
	X1Y5	45. 96	8. 05
	X4Y5	43. 16	8. 64
	X7Y5	46. 31	7. 84

	密度 [g/cm ³]		
	①	②	平均
X1Y1	0. 490	0. 485	0. 488
X4Y1	0. 561	0. 601	0. 581
X7Y1	0. 583	0. 540	0. 562
X1Y5	0. 475	0. 464	0. 470
X4Y5	0. 599	0. 575	0. 587
X7Y5	0. 542	0. 541	0. 541
X1Y1	0. 466	0. 480	0. 473
X4Y1	0. 473	0. 466	0. 469
X7Y1	0. 492	0. 497	0. 495
X1Y5	0. 481	0. 506	0. 494
X4Y5	0. 437	0. 473	0. 455
X7Y5	0. 465	0. 461	0. 463

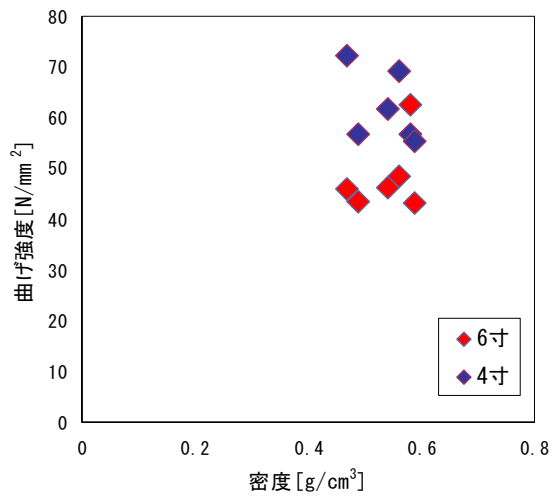


図3.3.3-20 曲げ強度－密度の関係

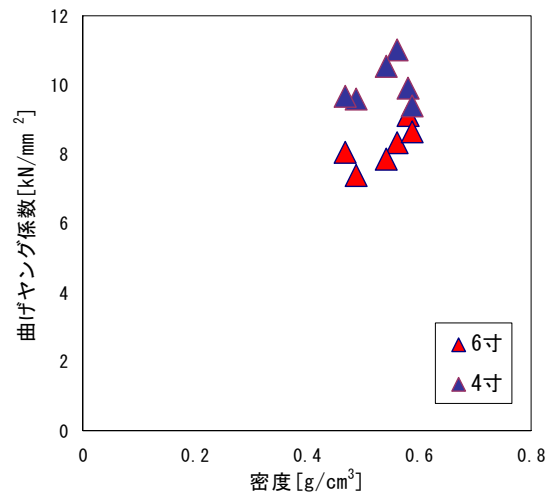


図3.3.3-21 曲げヤング係数－密度の関係

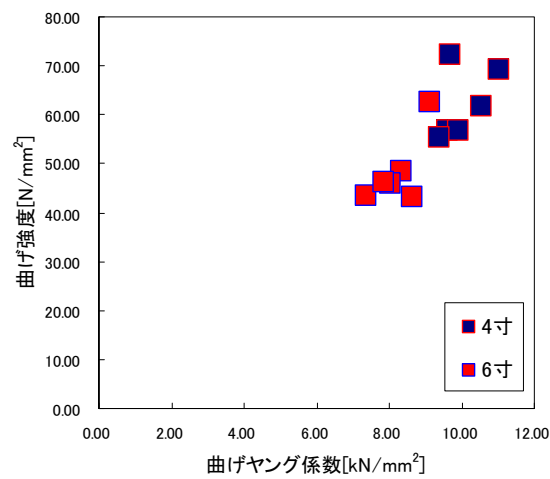


図3.3.3-22 曲げ強度－曲げヤング係数の関係

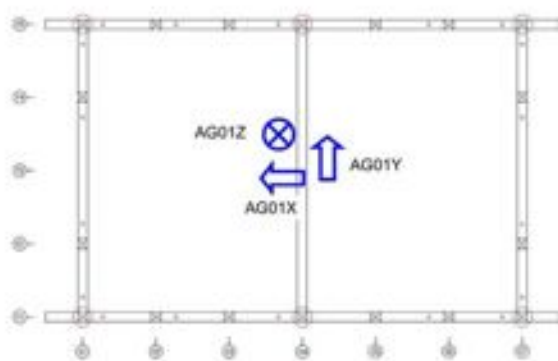


図3.3.3-23 加速度計・振動台レベル

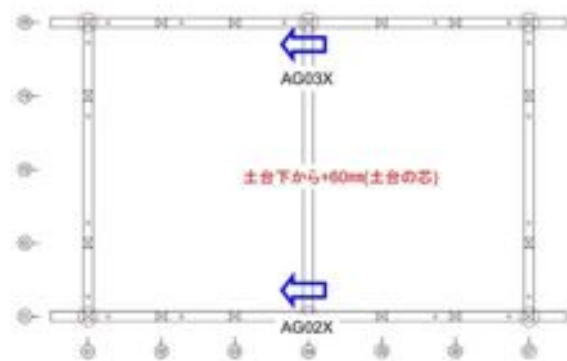


図3.3.3-24 加速度計・1F床レベル

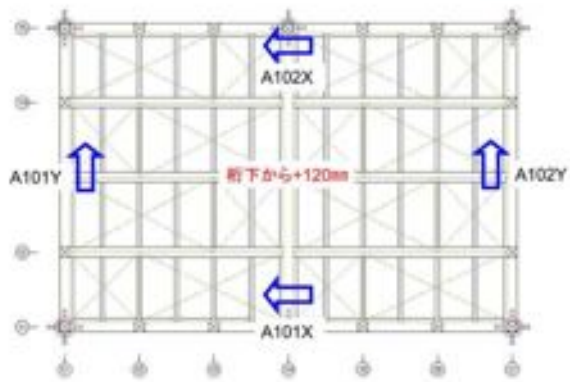


図3.3.3-25 加速度計・2F床レベル

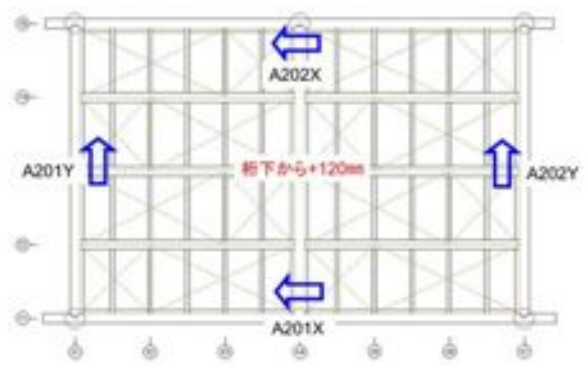


図3.3.3-26 加速度計・RF床レベル

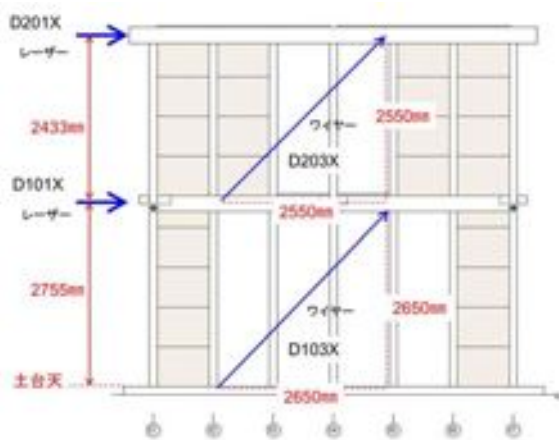


図3.3.3-27 4寸変位計・Y1構面

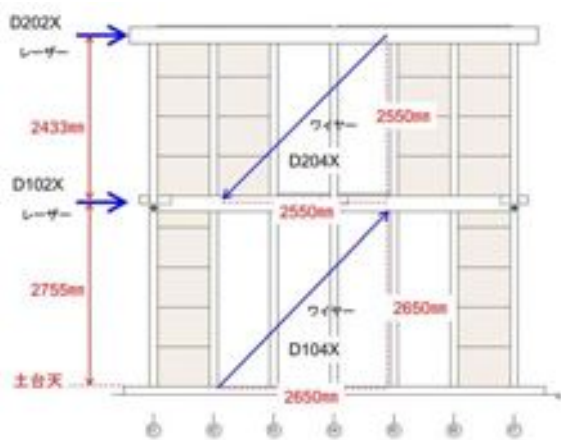


図3.3.3-28 4寸変位計・Y5構面

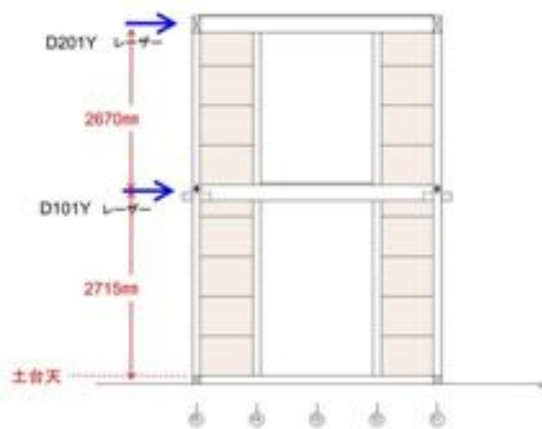


図3.3.3-29 4寸変位計・X1構面

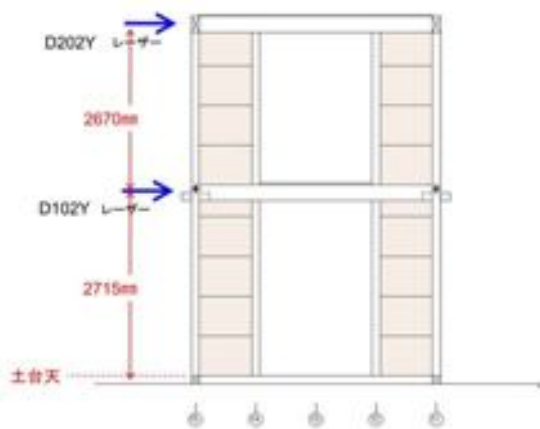


図3.3.3-30 4寸変位計・X7構面

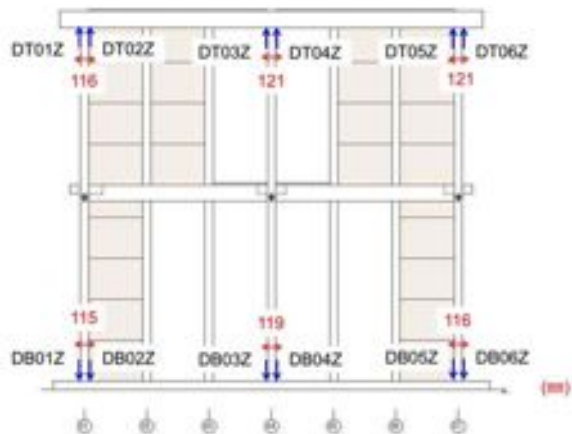


図3.3.3-31 4寸柱頭柱脚回転角・Y1構面

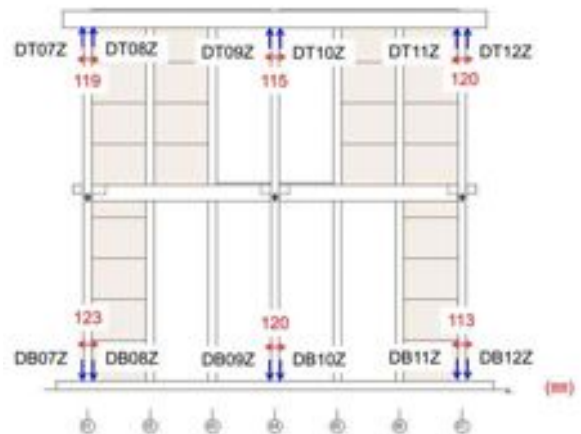


図3.3.3-32 4寸柱頭柱脚回転角・Y5構面

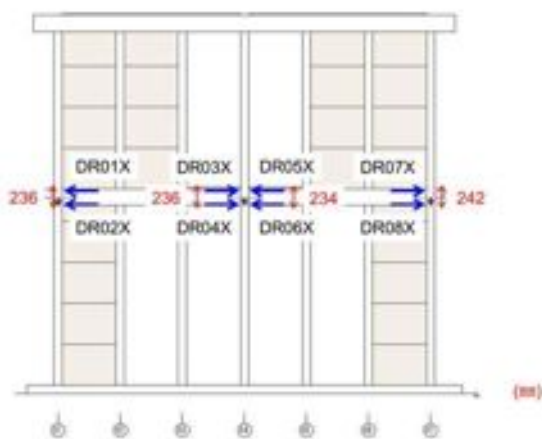


図3.3.3-33 4寸胴差接合部回転角・Y1構面

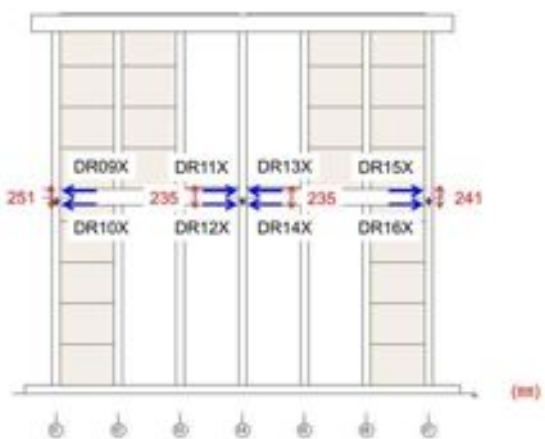


図3.3.3-34 4寸胴差接合部回転角・Y5構面

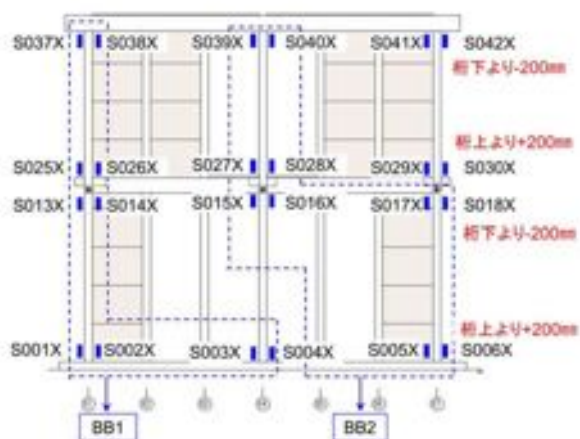


図3.3.3-35 ひずみ・Y1構面

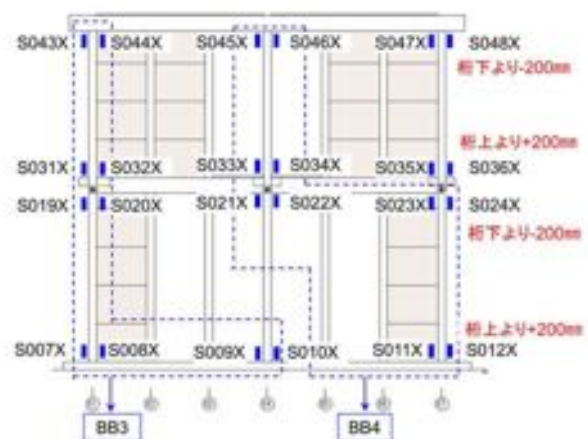


図3.3.3-36 ひずみ・Y5構面

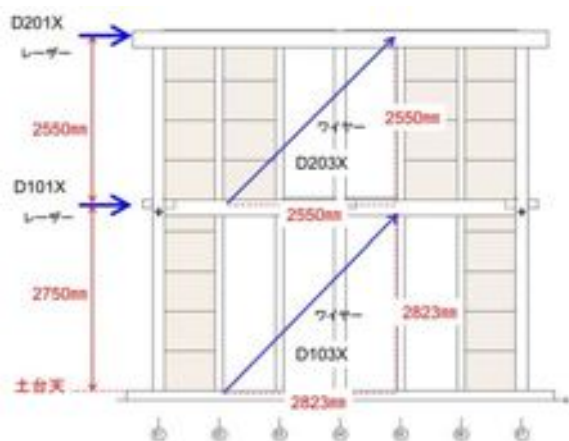


図3. 3. 3-37 6寸変位計・Y1構面

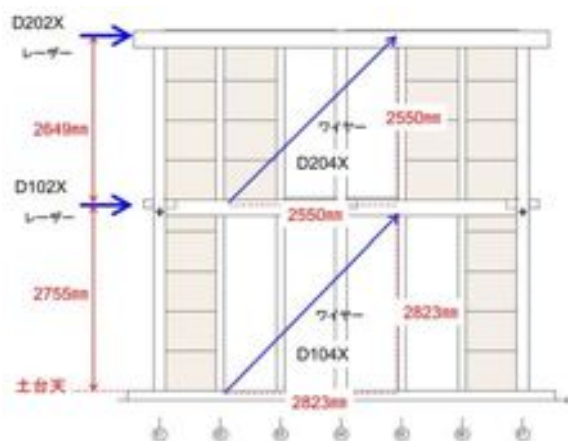


図3. 3. 3-38 6寸変位計・Y5構面

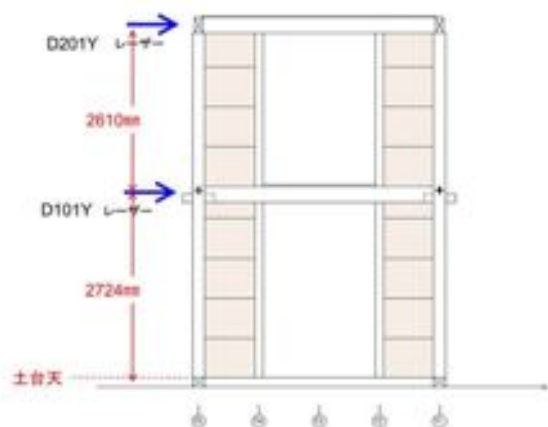


図3. 3. 3-39 6寸変位計・X1構面

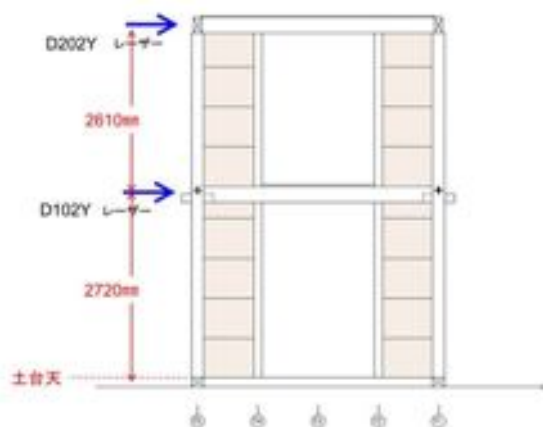


図3. 3. 3-40 6寸変位計・X7構面



図3. 3. 3-41 6寸柱頭柱脚回転角・Y1構面



図3. 3. 3-42 6寸柱頭柱脚回転角・Y5構面

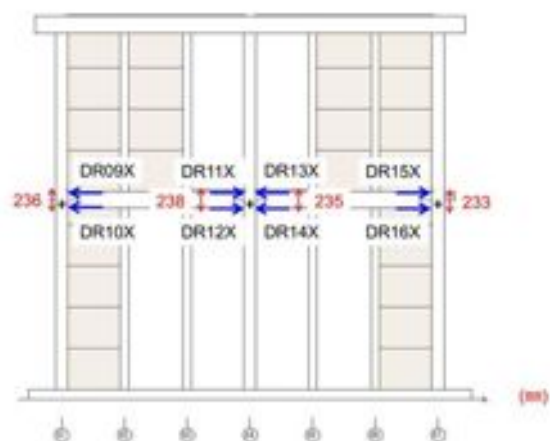
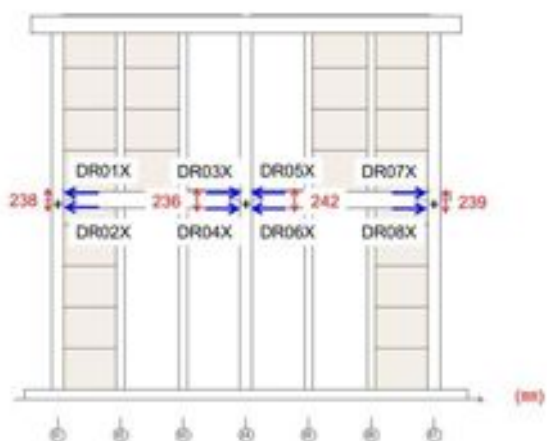


图3. 3. 3-43 6寸胴差接合部回転角・Y1構面 图3. 3. 3-44 6寸胴差接合部回転角・Y5構面

表3.3.3-7 チャンネル表

ch	名称	ケーブル	型番	計測器の種類	計測種類	計測箇所	計測構面	計測方向
1	AG01X			加速度計2G	水平加速度	振動台	X4Y3	X
2	AG01Y			加速度計2G	水平加速度	振動台	X4Y3	Y
3	AG01Z			加速度計2G	鉛直加速度	振動台	X4Y3	Z
4	AG02X			加速度計2G	水平加速度	架台	Y1	X
5	AG03X			加速度計2G	水平加速度	架台	Y5	X
6	A101X			加速度計5G	水平加速度	1F桁	Y1	X
7	A102X			加速度計5G	水平加速度	1F桁	Y5	X
8	A101Y			加速度計5G	水平加速度	1F桁	X1	Y
9	A102Y			加速度計5G	水平加速度	1F桁	X7	Y
10	A201X			加速度計5G	水平加速度	2F桁	Y1	X
11	A202X			加速度計5G	水平加速度	2F桁	Y5	X
12	A201Y			加速度計5G	水平加速度	2F桁	X1	Y
13	A202Y			加速度計5G	水平加速度	2F桁	X7	Y
14	D101X			レーザー変位計Long	層間変位	1F桁	Y1	X
15	D102X			レーザー変位計Long	層間変位	1F桁	Y5	X
16	D101Y			レーザー変位計Short	層間変位	1F桁	X1	Y
17	D102Y			レーザー変位計Short	層間変位	1F桁	X7	Y
18	D201X			レーザー変位計Long	層間変位	2F桁	Y1	X
19	D202X			レーザー変位計Long	層間変位	2F桁	Y5	X
20	D201Y			レーザー変位計Short	層間変位	2F桁	X1	Y
21	D202Y			レーザー変位計Short	層間変位	2F桁	X7	Y
22	D103X			ワイヤー変位計DP-1000DS	層間変位	1F桁	Y1	X
23	D104X			ワイヤー変位計DP-1000DS	層間変位	1F桁	Y5	X
24	D203X			ワイヤー変位計DP-1000DS	層間変位	2F桁	Y1	X
25	D204X			ワイヤー変位計DP-1000DS	層間変位	2F桁	Y5	X
26	DT01Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱頭	X1Y1	Z
27	DT02Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱頭	X1Y1	Z
28	DT03Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱頭	X4Y1	Z
29	DT04Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱頭	X4Y1	Z
30	DT05Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱頭	X7Y1	Z
31	DT06Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱頭	X7Y1	Z
32	DT07Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱頭	X1Y5	Z
33	DT08Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱頭	X1Y5	Z
34	DT09Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱頭	X4Y5	Z
35	DT10Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱頭	X4Y5	Z
36	DT11Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱頭	X7Y5	Z
37	DT12Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱頭	X7Y5	Z
38	DB01Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱脚	X1Y1	Z
39	DB02Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱脚	X1Y1	Z
40	DB03Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱脚	X4Y1	Z
41	DB04Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱脚	X4Y1	Z
42	DB05Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱脚	X7Y1	Z
43	DB06Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱脚	X7Y1	Z
44	DB07Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱脚	X1Y5	Z
45	欠番							
46	DB08Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱脚	X1Y5	Z
47	DB09Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱脚	X4Y5	Z
48	DB10Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱脚	X4Y5	Z
49	DB11Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱脚	X7Y5	Z
50	DB12Z			SDP-200	柱の抜け・回転	柱脚	X7Y5	Z
51	DR01X			LP100FC	接合部回転角	1F桁上端	X1Y1	X
52	DR02X			LP100FC	接合部回転角	1F桁下端	X1Y1	X
53	DR03X			LP100FC	接合部回転角	1F桁上端	X4Y1	X
54	DR04X			LP100FC	接合部回転角	1F桁下端	X4Y1	X
55	DR05X			LP100FC	接合部回転角	1F桁上端	X4Y1	X
56	DR06X			LP100FC	接合部回転角	1F桁下端	X4Y1	X
57	DR07X			LP100FC	接合部回転角	1F桁上端	X7Y1	X
58	DR08X			LP100FC	接合部回転角	1F桁下端	X7Y1	X
59	DR09X			LP100FC	接合部回転角	1F桁上端	X1Y5	X
60	DR10X			LP100FC	接合部回転角	1F桁下端	X1Y5	X
61	DR11X			LP100FC	接合部回転角	1F桁上端	X4Y5	X
62	DR12X			LP100FC	接合部回転角	1F桁下端	X4Y5	X
63	DR13X			LP100FC	接合部回転角	1F桁上端	X4Y5	X
64	DR14X			LP100FC	接合部回転角	1F桁下端	X4Y5	X

表3.3.3-8 チャンネル表 (つづき)

ch	名称	ケーブル	型番	計測器の種類	計測種類	計測箇所	計測構面	計測方向
65	DR15X			LP100FC	接合部回転角	1F桁上端	X7Y5	X
66	DR16X			LP100FC	接合部回転角	1F桁下端	X7Y5	X
67	S001X			ひずみゲージ	BB1-1	1F柱脚	X1Y1	X
68	S002X			ひずみゲージ	BB1-2	1F柱脚	X1Y1	X
69	S003X			ひずみゲージ	BB1-3	1F柱脚	X4Y1	X
70	S004X			ひずみゲージ	BB1-4	1F柱脚	X4Y1	X
71	S005X			ひずみゲージ	BB2-1	1F柱脚	X7Y1	X
72	S006X			ひずみゲージ	BB2-2	1F柱脚	X7Y1	X
73	S007X			ひずみゲージ	BB3-1	1F柱脚	X1Y5	X
74	S008X			ひずみゲージ	BB3-2	1F柱脚	X1Y5	X
75	S009X			ひずみゲージ	BB3-3	1F柱脚	X4Y5	X
76	S010X			ひずみゲージ	BB3-4	1F柱脚	X4Y5	X
77	S011X			ひずみゲージ	BB4-1	1F柱脚	X7Y5	X
78	S012X			ひずみゲージ	BB4-2	1F柱脚	X7Y5	X
79	S013X			ひずみゲージ	BB1-5	1F柱頭	X1Y1	X
80	S014X			ひずみゲージ	BB1-6	1F柱頭	X1Y1	X
81	S015X			ひずみゲージ	BB2-3	1F柱頭	X4Y1	X
82	S016X			ひずみゲージ	BB2-4	1F柱頭	X4Y1	X
83	S017X			ひずみゲージ	BB2-5	1F柱頭	X7Y1	X
84	S018X			ひずみゲージ	BB2-6	1F柱頭	X7Y1	X
85	S019X			ひずみゲージ	BB3-5	1F柱頭	X1Y5	X
86	S020X			ひずみゲージ	BB3-6	1F柱頭	X1Y5	X
87	S021X			ひずみゲージ	BB4-3	1F柱頭	X4Y5	X
88	S022X			ひずみゲージ	BB4-4	1F柱頭	X4Y5	X
89	S023X			ひずみゲージ	BB4-5	1F柱頭	X7Y5	X
90	S024X			ひずみゲージ	BB4-6	1F柱頭	X7Y5	X
91	S025X			ひずみゲージ	BB1-7	2F柱脚	X1Y1	X
92	S026X			ひずみゲージ	BB1-8	2F柱脚	X1Y1	X
93	S027X			ひずみゲージ	BB2-7	2F柱脚	X4Y1	X
94	S028X			ひずみゲージ	BB2-8	2F柱脚	X4Y1	X
95	S029X			ひずみゲージ		2F柱脚	X7Y1	X
96	S030X			ひずみゲージ		2F柱脚	X7Y1	X
97	S031X			ひずみゲージ	BB3-7	2F柱脚	X1Y5	X
98	S032X			ひずみゲージ	BB3-8	2F柱脚	X1Y5	X
99	S033X			ひずみゲージ	BB4-7	2F柱脚	X4Y5	X
100	S034X			ひずみゲージ	BB4-8	2F柱脚	X4Y5	X
101	S035X			ひずみゲージ		2F柱脚	X7Y5	X
102	S036X			ひずみゲージ		2F柱脚	X7Y5	X
103	S037X			ひずみゲージ	BB1-9	2F柱頭	X1Y1	X
104	S038X			ひずみゲージ	BB1-10	2F柱頭	X1Y1	X
105	S039X			ひずみゲージ	BB2-9	2F柱頭	X4Y1	X
106	S040X			ひずみゲージ	BB2-10	2F柱頭	X4Y1	X
107	S041X			ひずみゲージ		2F柱頭	X7Y1	X
108	S042X			ひずみゲージ		2F柱頭	X7Y1	X
109	S043X			ひずみゲージ	BB3-9	2F柱頭	X1Y5	X
110	S044X			ひずみゲージ	BB3-10	2F柱頭	X1Y5	X
111	S045X			ひずみゲージ	BB4-9	2F柱頭	X4Y5	X
112	S046X			ひずみゲージ	BB4-10	2F柱頭	X4Y5	X
113	S047X			ひずみゲージ		2F柱頭	X7Y5	X
114	S048X			ひずみゲージ		2F柱頭	X7Y5	X
115				振動台変位				
116				振動台変位				
117				振動台変位				
118				振動台加速度				
119				振動台加速度				
120				振動台加速度				

表3.3.3-9 4寸試験体（通し柱6本）

ファイル名	入力波	入力方向	最大加速度 [cm/s ²]
aw010xa	ホワイトノイズ	X	10
aw010ya	ホワイトノイズ	Y	10
ab100xa	BCJ-L2波	X	100
ab200xa	BCJ-L2波	X	200
ab300xa	BCJ-L2波	X	300
aw010xb	ホワイトノイズ	X	10
aw010yb	ホワイトノイズ	Y	10
壁配置変更後			
bw010xa	ホワイトノイズ	X	10
bw010ya	ホワイトノイズ	Y	10
bb100xa	BCJ-L2波	X	100
bb150xa	BCJ-L2波	X	150
bb200xa	BCJ-L2波	X	200
bb250xa	BCJ-L2波	X	250
bb300xa	BCJ-L2波	X	300
bw010xb	ホワイトノイズ	X	10
bw010yb	ホワイトノイズ	Y	10

表3.3.3-10 4寸試験体（通し柱4本）

ファイル名	入力波	入力方向	最大加速度 [cm/s ²]
cw010xa	ホワイトノイズ	X	10
cw010ya	ホワイトノイズ	Y	10
cb100xa	BCJ-L2波	X	100
cb150xa	BCJ-L2波	X	150
cb200xa	BCJ-L2波	X	200
cb250xa	BCJ-L2波	X	250
cb300xa	BCJ-L2波	X	300
cw010xb	ホワイトノイズ	X	10
cw010yb	ホワイトノイズ	Y	10
壁配置変更後			
dw010xa	ホワイトノイズ	X	10
dw010ya	ホワイトノイズ	Y	10
db100xa	BCJ-L2波	X	100
db150xa	BCJ-L2波	X	150
db200xa	BCJ-L2波	X	200
db250xa	BCJ-L2波	X	250
db300xa	BCJ-L2波	X	300
dw010xb	ホワイトノイズ	X	10
dw010yb	ホワイトノイズ	Y	10
db350xa	BCJ-L2波	X	350
db400xa	BCJ-L2波	X	400
db450xa	BCJ-L2波	X	450
db500xa	BCJ-L2波	X	500
db500xb	BCJ-L2波	X	500
dw010xc	ホワイトノイズ	X	10
dw010yc	ホワイトノイズ	Y	10

表3.3.3-11 6寸試験体（通し柱6本）

ファイル名	入力波	入力方向	最大加速度 [cm/s ²]
ew010xa	ホワイトノイズ	X	10
ew010ya	ホワイトノイズ	Y	10
eb100xa	BCJ-L2波	X	100
eb200xa	BCJ-L2波	X	200
ew010xb	ホワイトノイズ	X	10
ew010yb	ホワイトノイズ	Y	10
eb100xb	BCJ-L2波	X	100
eb200xb	BCJ-L2波	X	200
eb300xa	BCJ-L2波	X	300
eb350xa	BCJ-L2波	X	350
ew010xc	ホワイトノイズ	X	10
ew010yc	ホワイトノイズ	Y	10
壁配置変更後			
fw010xa	ホワイトノイズ	X	10
fw010ya	ホワイトノイズ	Y	10
fb100xa	BCJ-L2波	X	100
fb200xa	BCJ-L2波	X	200
fb300xa	BCJ-L2波	X	300
fb350xa	BCJ-L2波	X	350
fb400xa	BCJ-L2波	X	400
fw010xb	ホワイトノイズ	X	10
fw010yb	ホワイトノイズ	Y	10

表3.3.3-12 6寸試験体（通し柱4本）

ファイル名	入力波	入力方向	最大加速度 [cm/s ²]
gw010xa	ホワイトノイズ	X	10
gw010ya	ホワイトノイズ	Y	10
gb100xa	BCJ-L2波	X	100
gb200xa	BCJ-L2波	X	200
gb300xa	BCJ-L2波	X	300
gb350xa	BCJ-L2波	X	350
gw010xb	ホワイトノイズ	X	10
gw010yb	ホワイトノイズ	Y	10
壁配置変更後			
hw010xa	ホワイトノイズ	X	10
hw010ya	ホワイトノイズ	Y	10
hb100xa	BCJ-L2波	X	100
hb200xa	BCJ-L2波	X	200
hb300xa	BCJ-L2波	X	300
hb400xa	BCJ-L2波	X	400
hb450xa	BCJ-L2波	X	450
hb500xa	BCJ-L2波	X	500
hb600xa	BCJ-L2波	X	600
hw010xb	ホワイトノイズ	X	10
hw010yb	ホワイトノイズ	Y	10
hb700xa	BCJ-L2波	X	700
hw010xc	ホワイトノイズ	X	10
hw010yc	ホワイトノイズ	Y	10

表3.3.3-13 試験体別卓越振動数

加振 コード	卓越振動数[Hz]		加振 コード	卓越振動数[Hz]		試験体			加振の タイミング
	X方向			Y方向		通し柱		壁 バランス	
	1 次	2 次		1 次	2 次	寸法	本数		
aw010xa	2. 22	7. 23	aw010ya	2. 10	7. 12	4 寸	6 本	良	実験前
aw010xb	1. 22	4. 46	aw010yb	1. 94	6. 62				実験後
bw010xa	2. 43	9. 44	bw010ya	1. 99	6. 86			悪	実験前
bw010xb	1. 23	7. 54	bw010yb	1. 89	6. 60				実験後
cw010xa	2. 22	7. 42	cw010ya	1. 99	6. 60		4 本	良	実験前
cw010xb	1. 23	4. 91	cw010yb	1. 85	6. 30				実験後
dw010xa	2. 45	9. 44	dw010ya	1. 88	6. 41			悪	実験前
dw010xb	1. 39	7. 73	dw010yb	1. 84	6. 22				300gal後
dw010xc	0. 88	6. 12	dw010yc	1. 72	5. 83				実験後
ew010xa	2. 47	8. 69	ew010ya	2. 23	8. 14	6 寸	6 本	良	実験前
ew010xb	2. 16	7. 86	ew010yb	2. 17	7. 98				200gal後
ew010xc	1. 32	5. 27	ew010yc	2. 06	7. 74			実験後	
fw010xa	2. 58	10. 31	fw010ya	2. 17	7. 90		悪	実験前	
fw010xb	1. 61	7. 29	fw010yb	2. 08	7. 74			実験後	
gw010xa	2. 34	8. 37	gw010ya	2. 17	7. 64		4 本	良	実験前
gw010xb	1. 32	4. 72	gw010yb	2. 06	7. 28				実験後
hw010xa	2. 58	10. 32	hw010ya	2. 10	7. 35			悪	実験前
hw010xb	1. 07	4. 30	hw010yb	1. 97	6. 95				600gal後
hw010xc	0. 79	3. 73	hw010yc	1. 94	8. 86				実験後



写真3.3.3-5 250cm/s²で発生した亀裂



写真3.3.3-6 300cm/s²で発生した亀裂



写真3. 3. 3-7 500cm/s²後の乾式土壁パネルの損傷状況



写真3. 3. 3-8 柱脚ほぞの損傷状況



写真3. 3. 3-9 柱頭ほぞの損傷状況



写真3.3.3-10 接合部の損傷状況（左：3方差し、右：桁-柱頭接合部）



写真3.3.3-11 鼻柱の損傷状況（左：解体前、右：解体後）



写真3.3.3-12 350cm/s²で発生した亀裂



写真3.3.3-13 400cm/s²で発生した亀裂



写真3. 3. 3-14 700cm/s²後の乾式土壁パネルの損傷状況



写真3. 3. 3-15 柱の損傷状況（左：柱頭部、右：柱脚部）



写真3. 3. 3-16 接合部（桁-柱）の損傷状況



写真3. 3. 3-17 鼻栓の損傷状況（解体前）

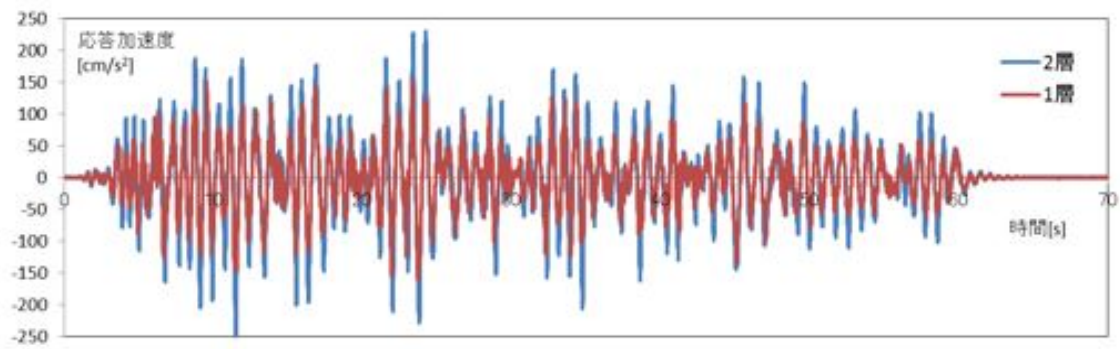


図3. 3. 3-45 4寸・バランス良・通し柱6本・BCJ-L2波100cm/s²加振時の応答加速度

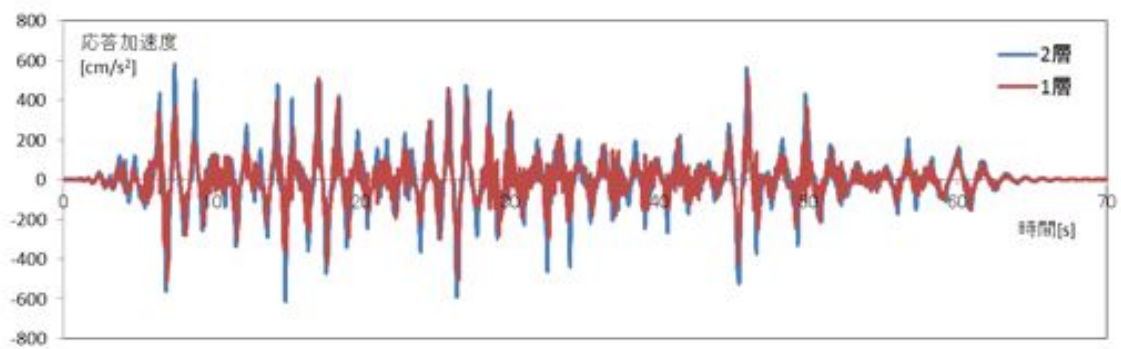


図3. 3. 3-46 4寸・バランス良・通し柱6本・BCJ-L2波300cm/s²加振時の応答加速度

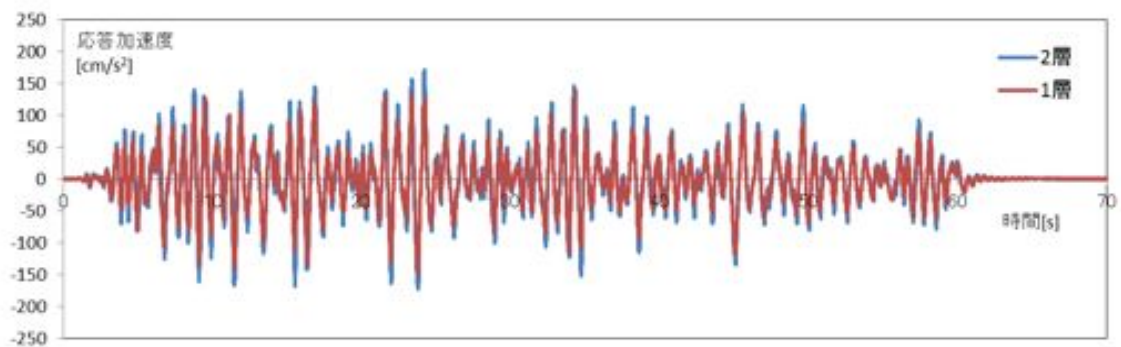


図3. 3. 3-47 4寸・バランス悪・通し柱6本・BCJ-L2波100cm/s²加振時の応答加速度

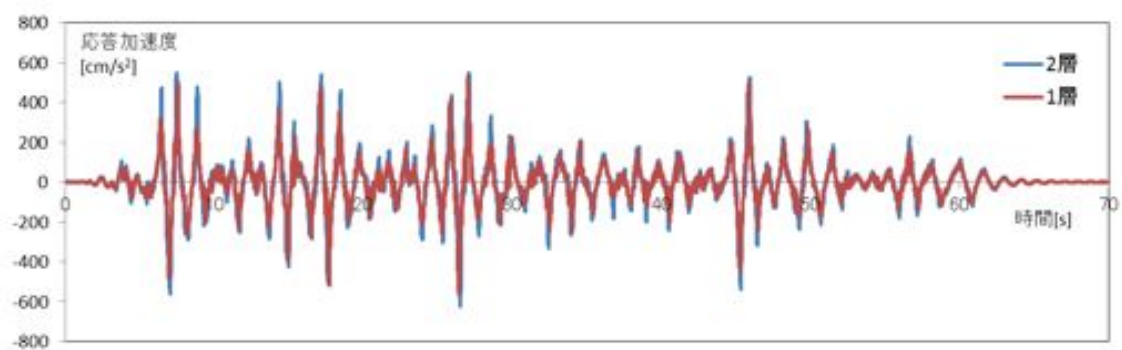


図3.3.3-48 4寸・バランス悪・通し柱6本・BCJ-L2波300cm/s²加振時の応答加速度

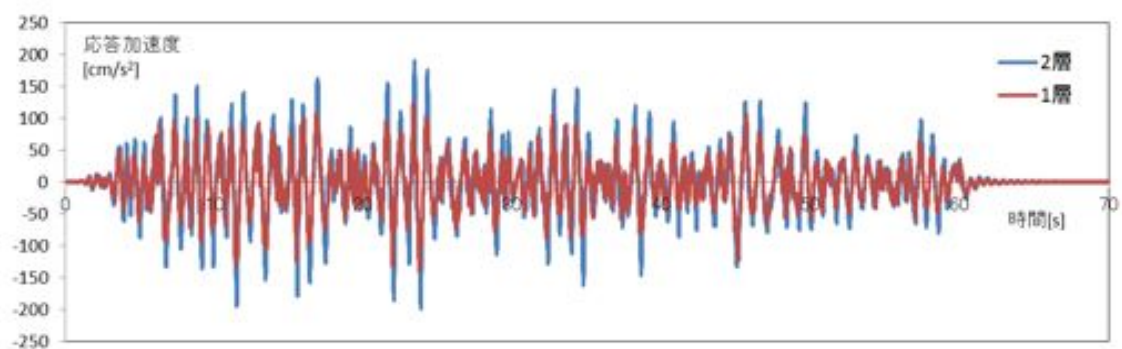


図3.3.3-49 4寸・バランス良・通し柱4本・BCJ-L2波100cm/s²加振時の応答加速度

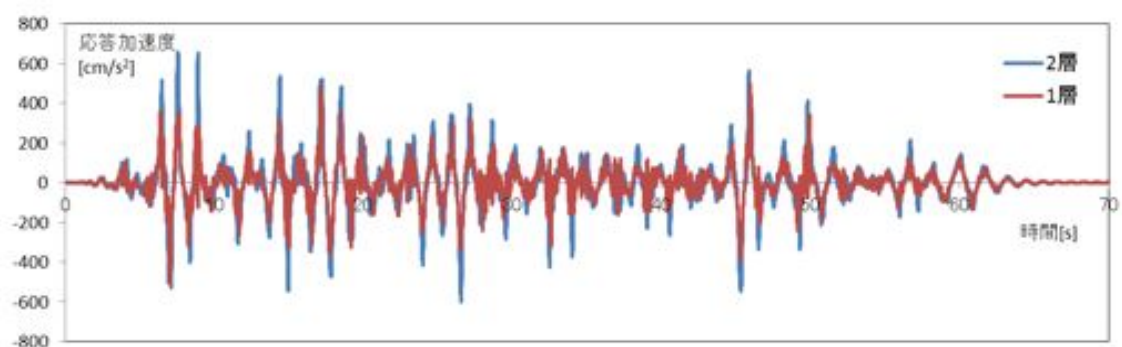


図3.3.3-50 4寸・バランス良・通し柱4本・BCJ-L2波300cm/s²加振時の応答加速度

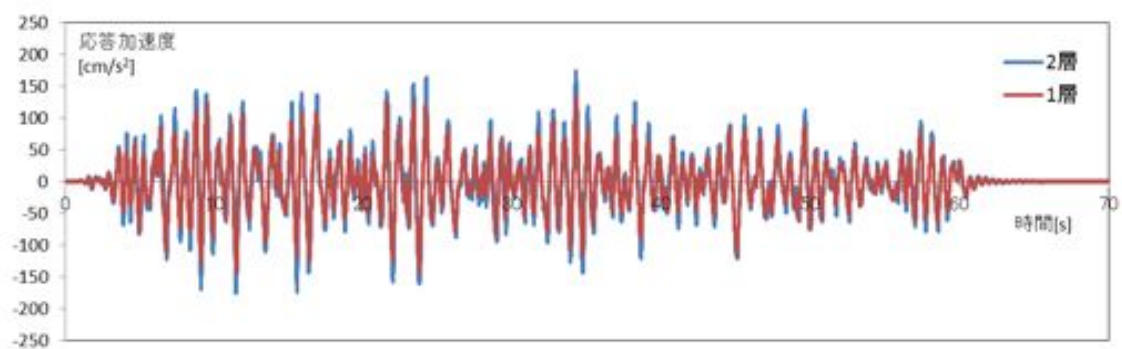


図3.3.3-51 4寸・バランス悪・通し柱4本・BCJ-L2波100cm/s²加振時の応答加速度

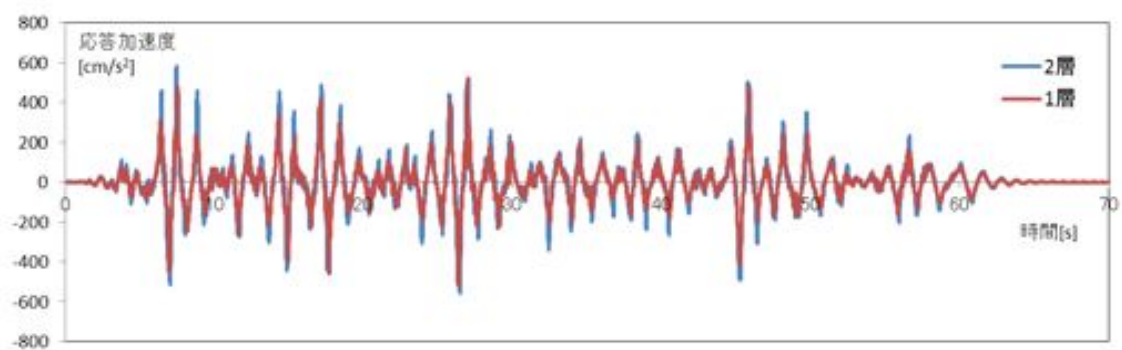


図3. 3. 3-52 4寸・バランス悪・通し柱4本・BCJ-L2波300cm/s²加振時の応答加速度

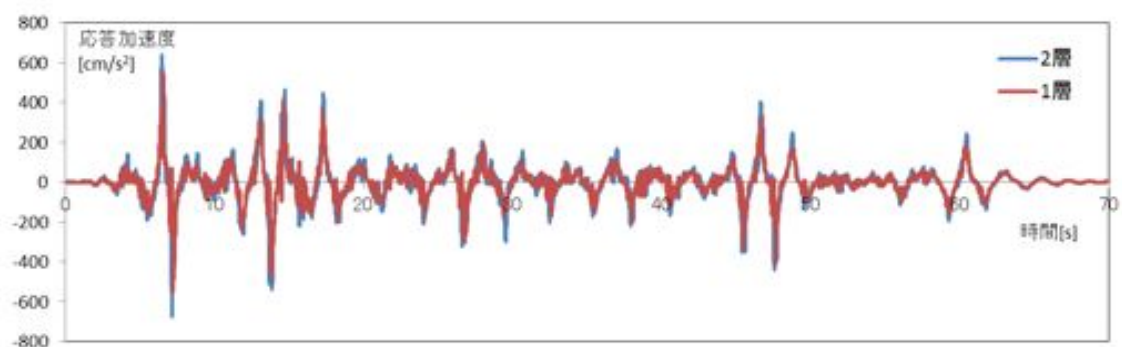


図3. 3. 3-53 4寸・バランス悪・通し柱4本・BCJ-L2波500cm/s²加振時の応答加速度

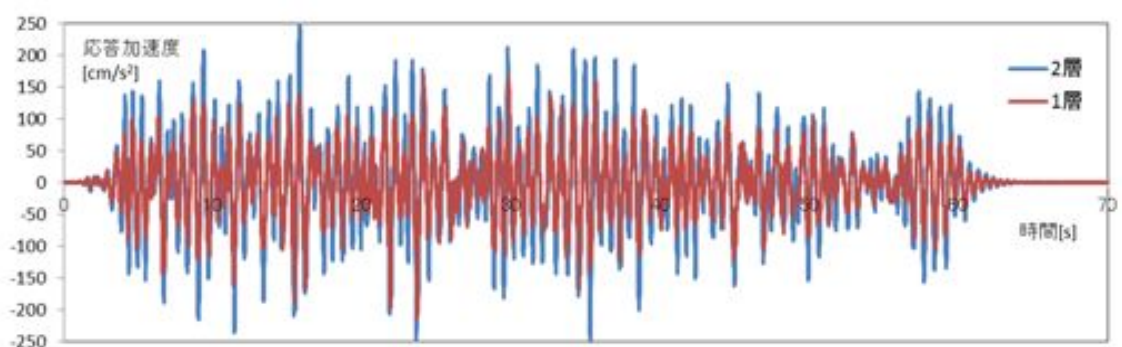


図3. 3. 3-54 6寸・バランス良・通し柱6本・BCJ-L2波100cm/s²加振時の応答加速度

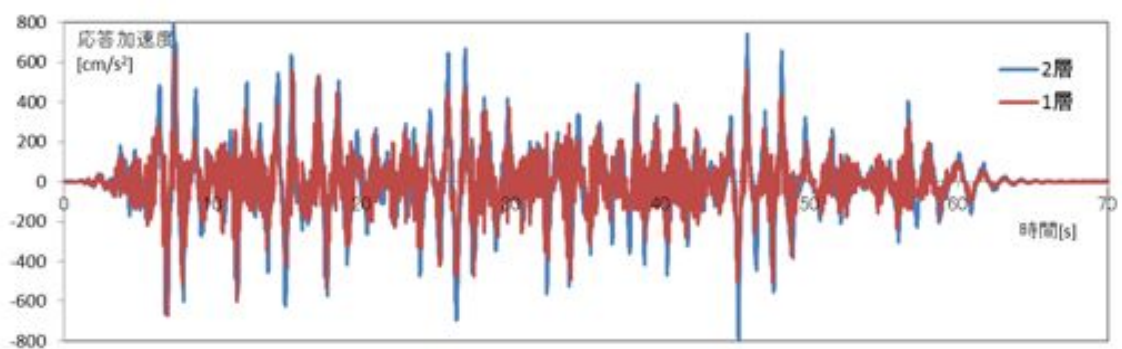


図3. 3. 3-55 6寸・バランス良・通し柱6本・BCJ-L2波350cm/s²加振時の応答加速度

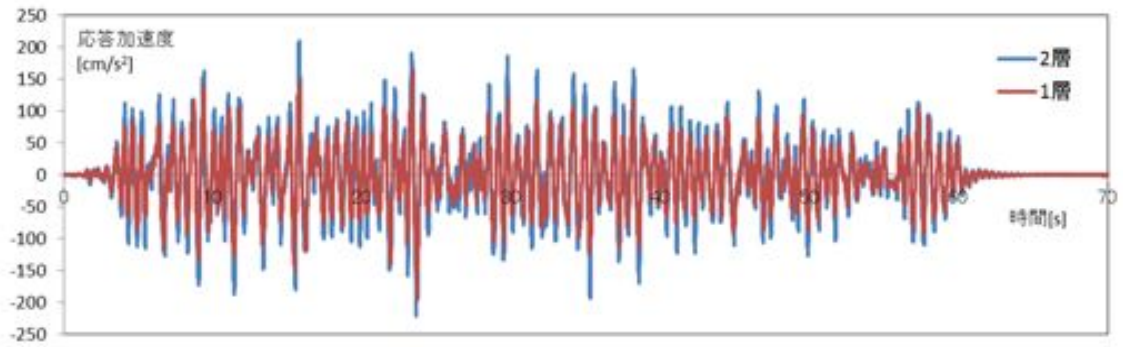


図3. 3. 3-56 6寸・バランス悪・通し柱6本・BCJ-L2波100cm/s²加振時の応答加速度

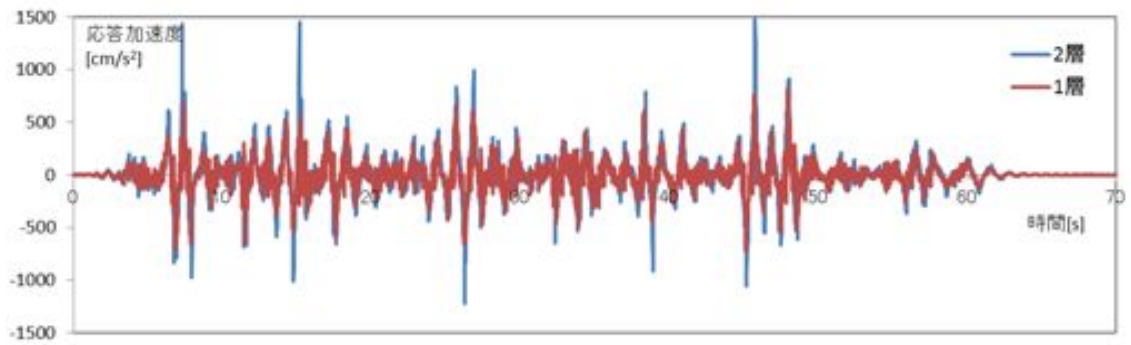


図3. 3. 3-57 6寸・バランス悪・通し柱6本・BCJ-L2波400cm/s²加振時の応答加速度

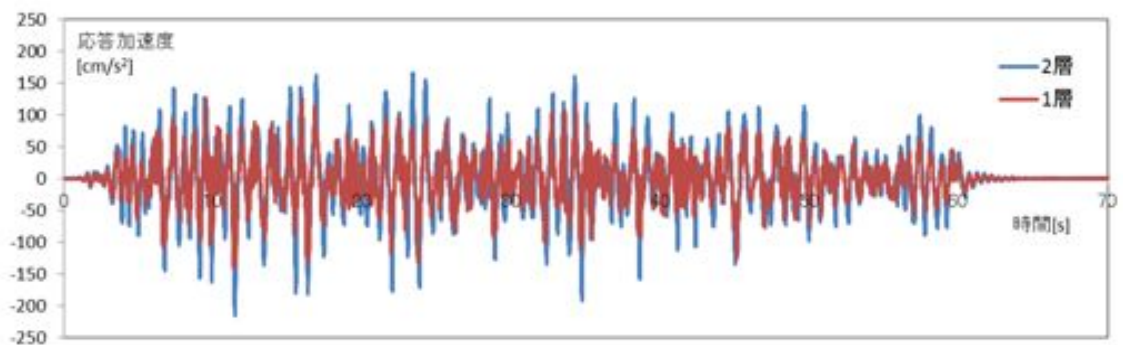


図3. 3. 3-58 6寸・バランス良・通し柱4本・BCJ-L2波100cm/s²加振時の応答加速度

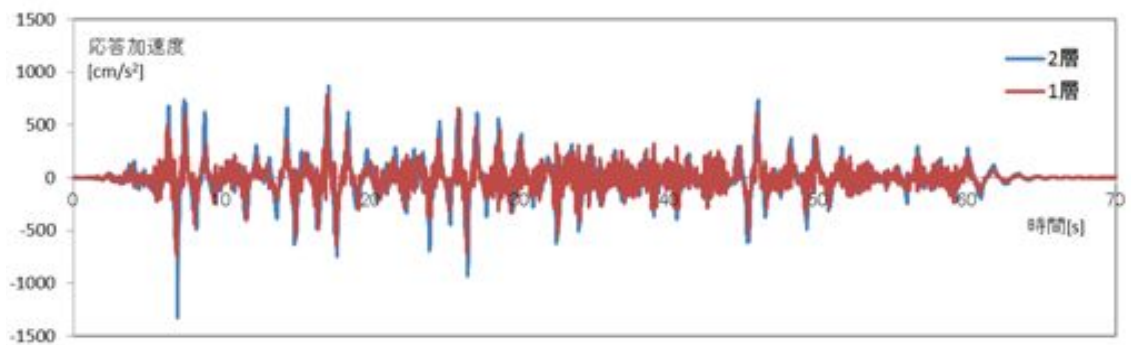


図3. 3. 3-59 6寸・バランス良・通し柱4本・BCJ-L2波350cm/s²加振時の応答加速度

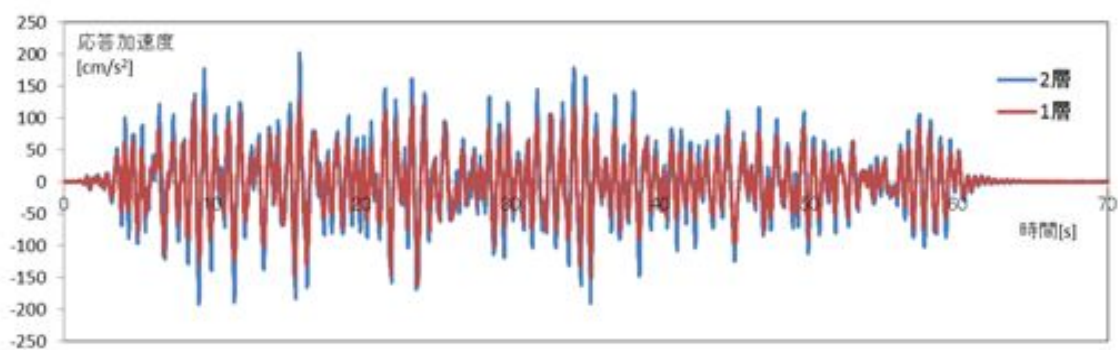


図3.3.3-60 6寸・バランス悪・通し柱4本・BCJ-L2波100cm/s²加振時の応答加速度

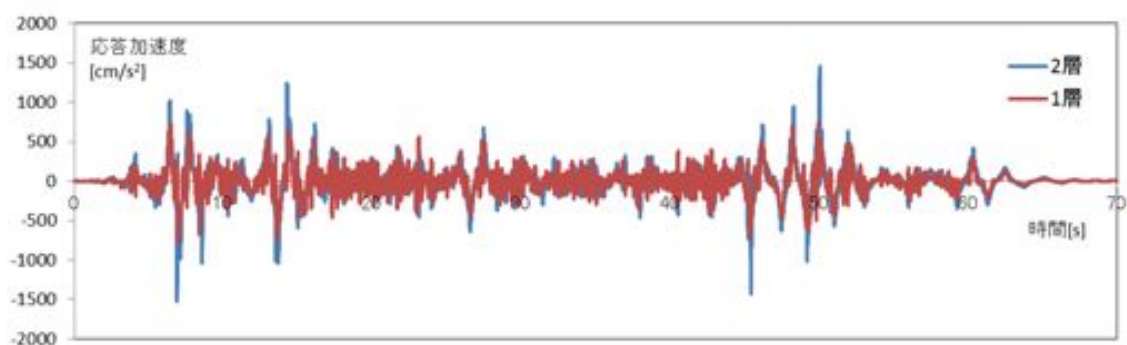


図3.3.3-61 6寸・バランス悪・通し柱4本・BCJ-L2波600cm/s²加振時の応答加速度

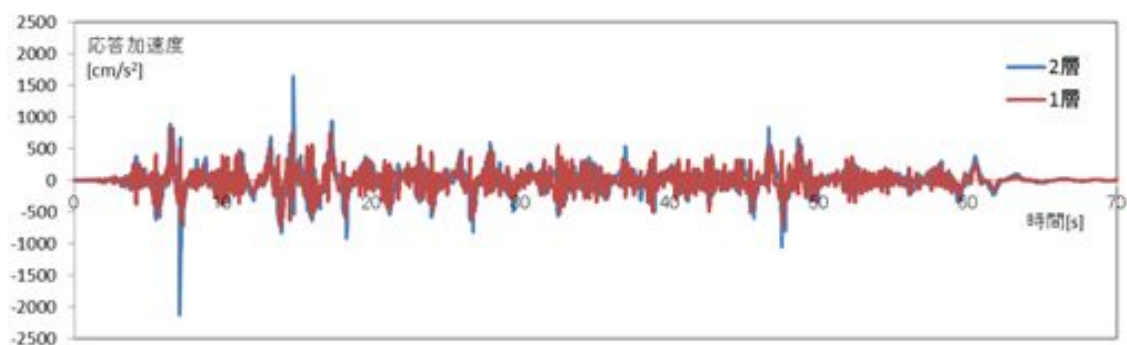


図3.3.3-62 6寸・バランス悪・通し柱4本・BCJ-L2波700cm/s²加振時の応答加速度

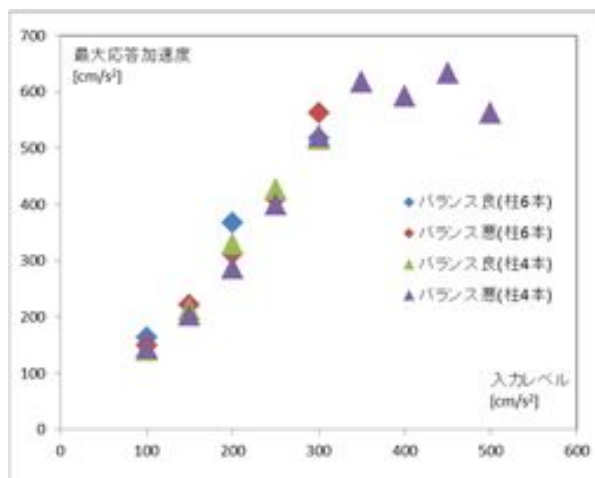


図3.3.3-63 4寸・1層最大応答加速度

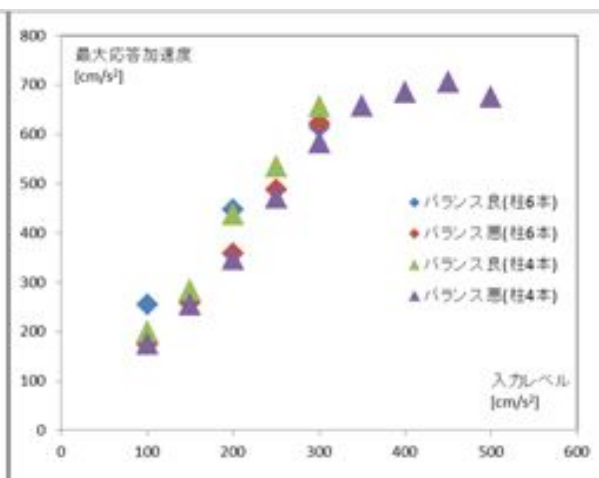


図3.3.3-64 4寸・2層最大応答加速度

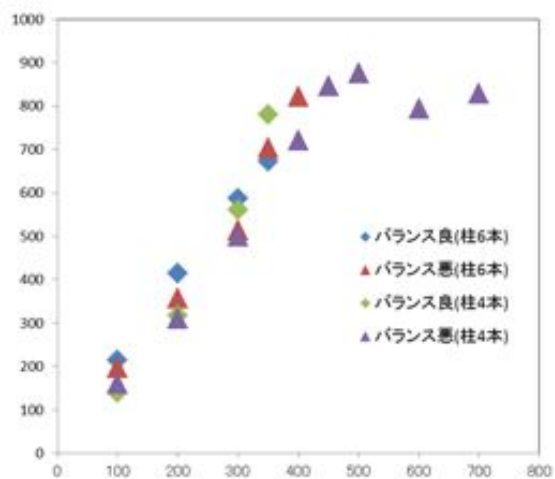


図3.3.3-65 6寸・1層最大応答加速度

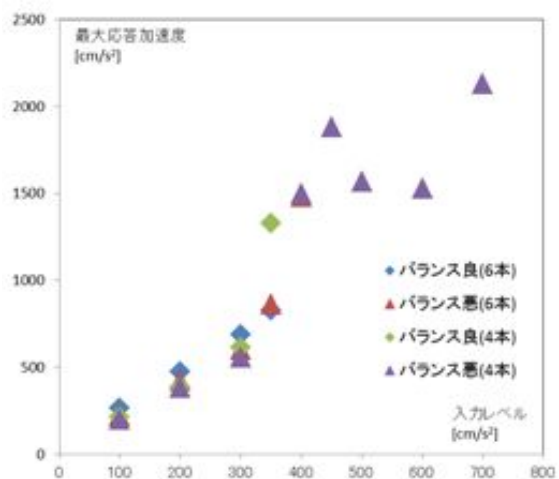


図3.3.3-66 6寸・2層最大応答加速度

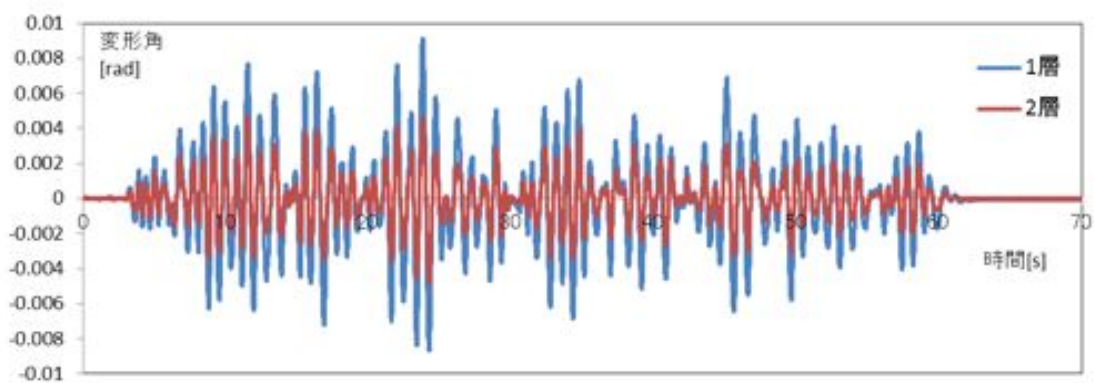


図3.3.3-67 4寸・バランス良・通し柱6本・BCJ-L2波100cm/s²加振時の層間変形角

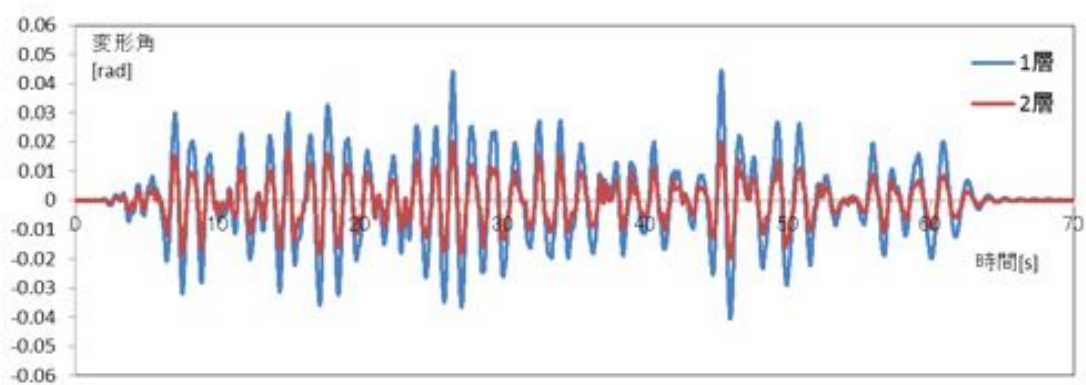


図3.3.3-68 4寸・バランス良・通し柱6本・BCJ-L2波300cm/s²加振時の層間変形角

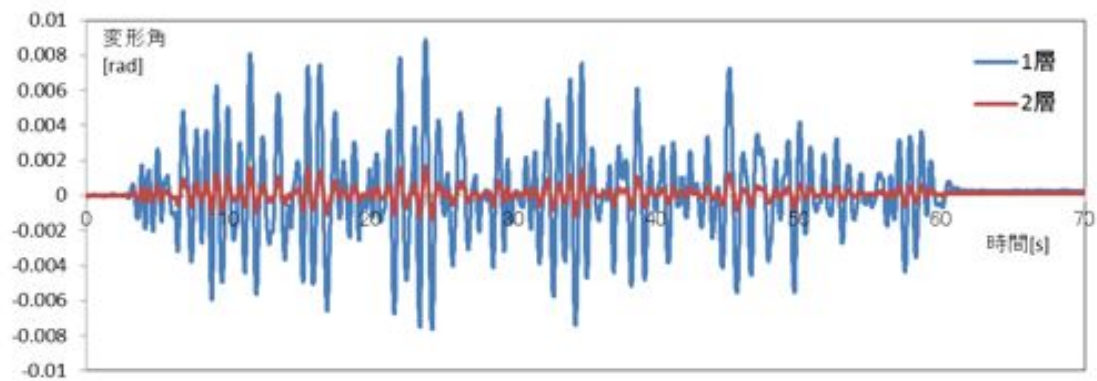


図3. 3. 3-69 4寸・バランス悪・通し柱6本・BCJ-L2波100cm/s²加振時の層間変形角

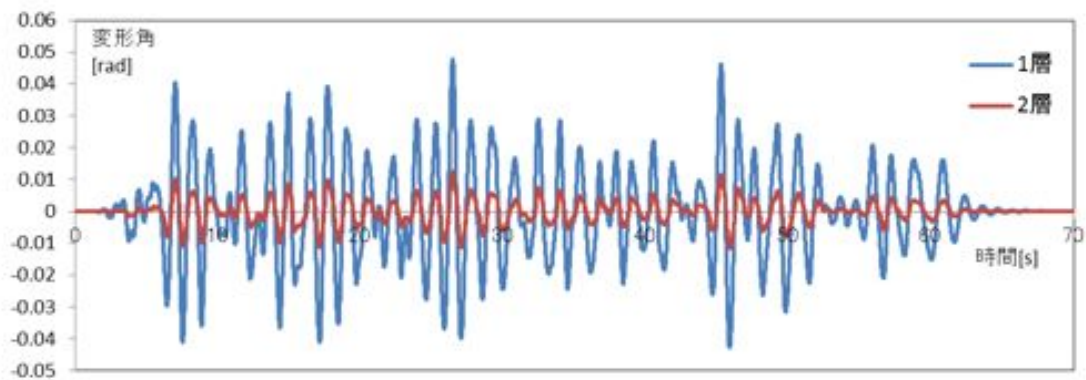


図3. 3. 3-70 4寸・バランス悪・通し柱6本・BCJ-L2波300cm/s²加振時の層間変形角

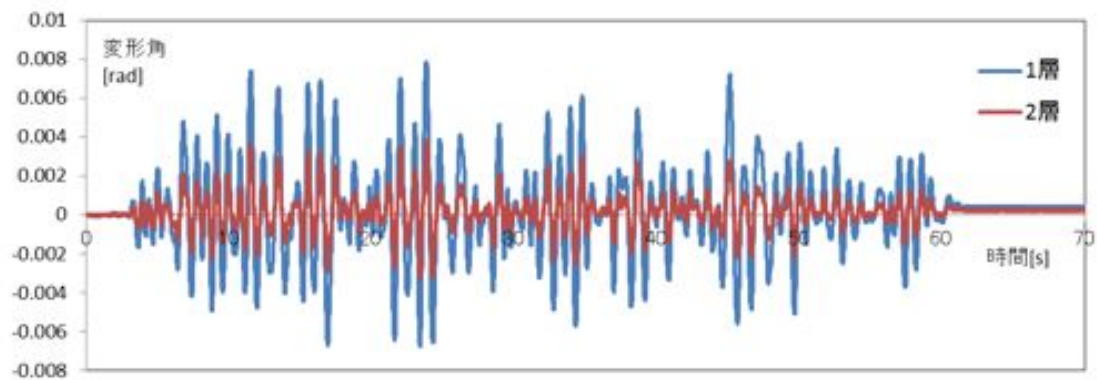


図3. 3. 3-71 4寸・バランス良・通し柱4本・BCJ-L2波100cm/s²加振時の層間変形角

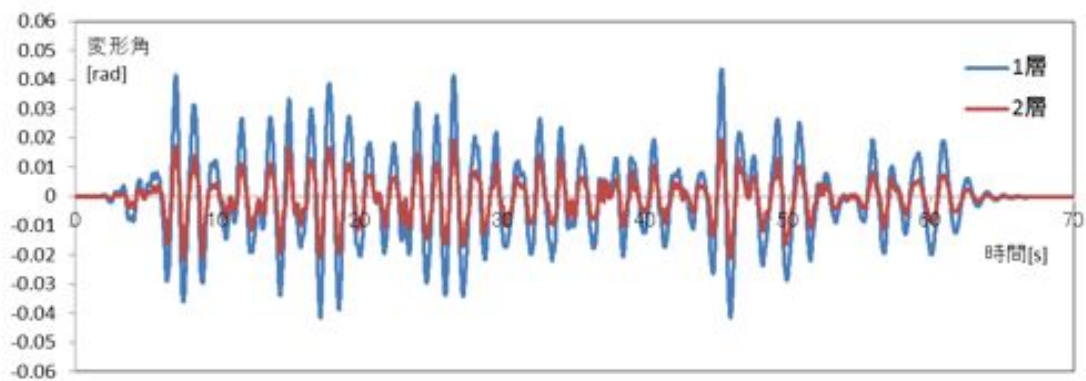


図3. 3. 3-72 4寸・バランス良・通し柱4本・BCJ-L2波300cm/s²加振時の層間変形角

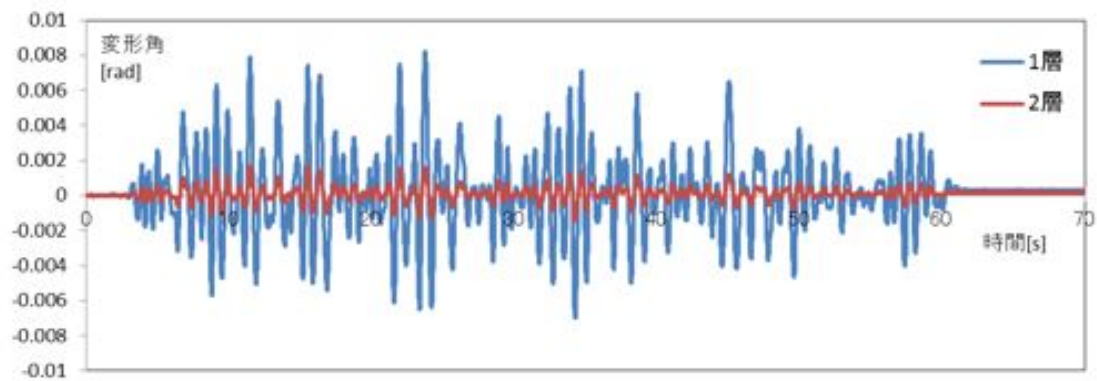


図3. 3. 3-73 4寸・バランス悪・通し柱4本・BCJ-L2波100cm/s²加振時の層間変形角

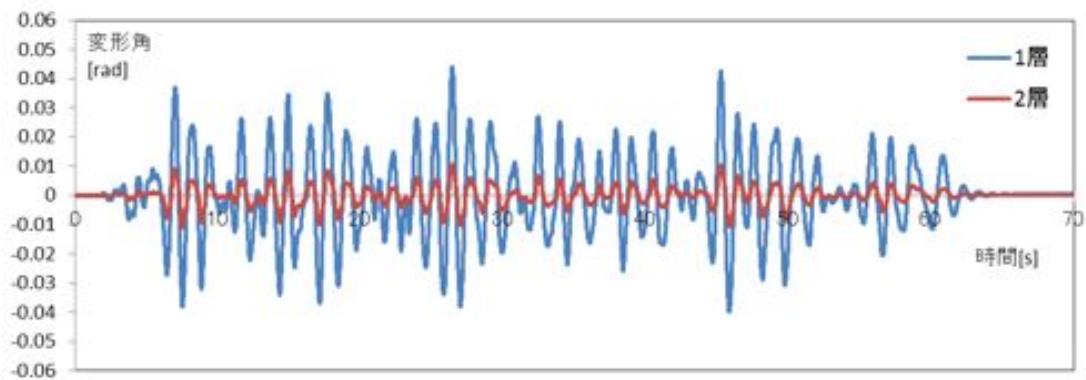


図3. 3. 3-74 4寸・バランス悪・通し柱4本・BCJ-L2波300cm/s²加振時の層間変形角

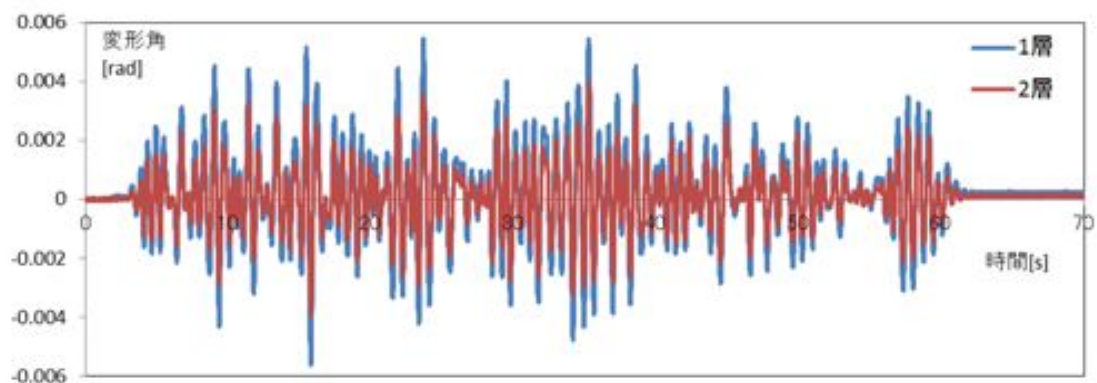


図3. 3. 3-75 6寸・バランス良・通し柱6本・BCJ-L2波100cm/s²加振時の層間変形角

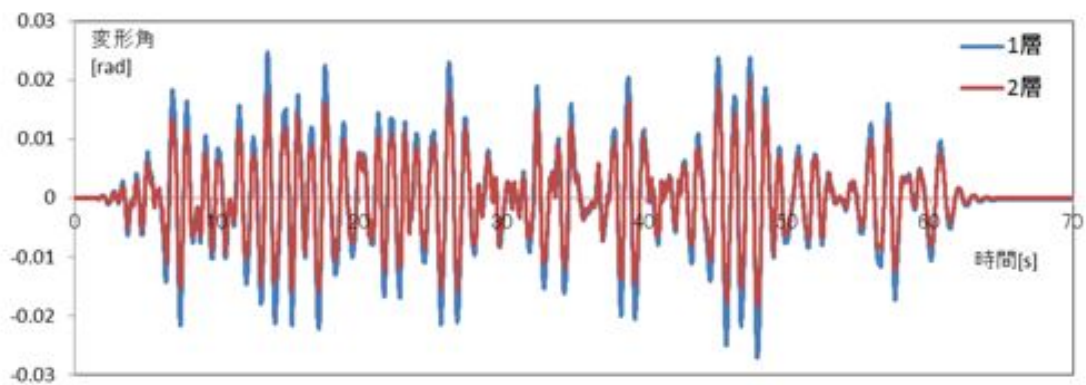


図3. 3. 3-76 6寸・バランス良・通し柱6本・BCJ-L2波300cm/s²加振時の層間変形角

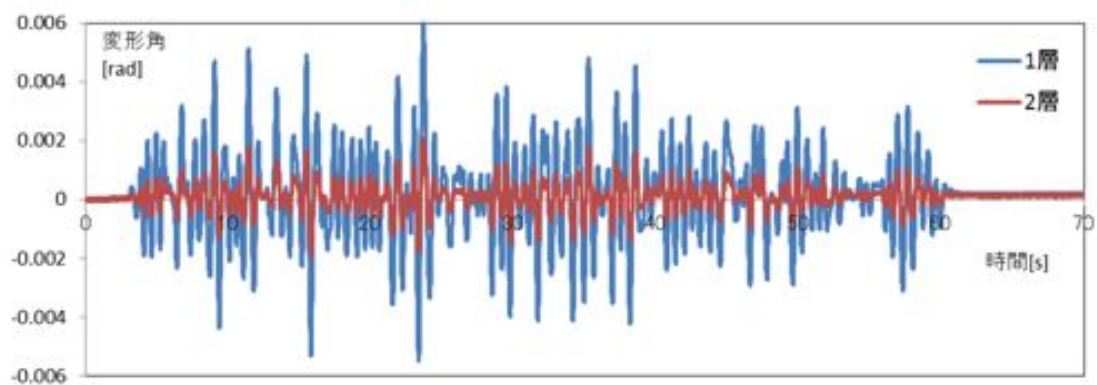


図3. 3. 3-77 6寸・バランス悪・通し柱6本・BCJ-L2波100cm/s²加振時の層間変形角

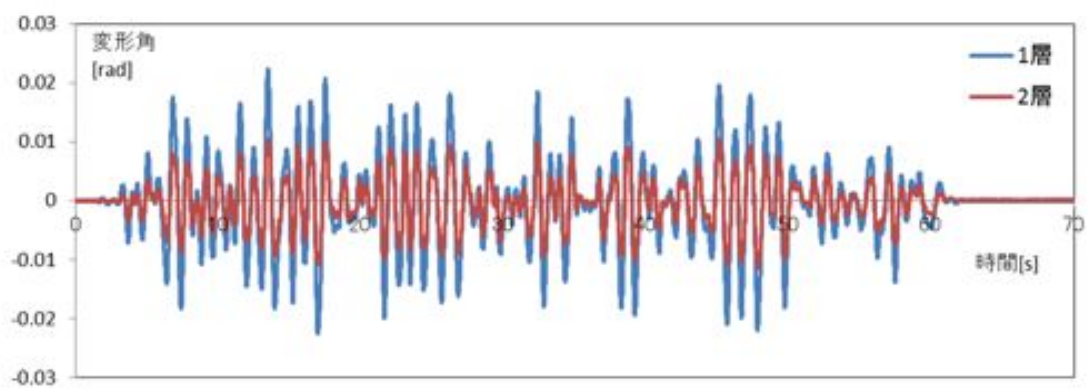


図3. 3. 3-78 6寸・バランス悪・通し柱6本・BCJ-L2波300cm/s²加振時の層間変形角

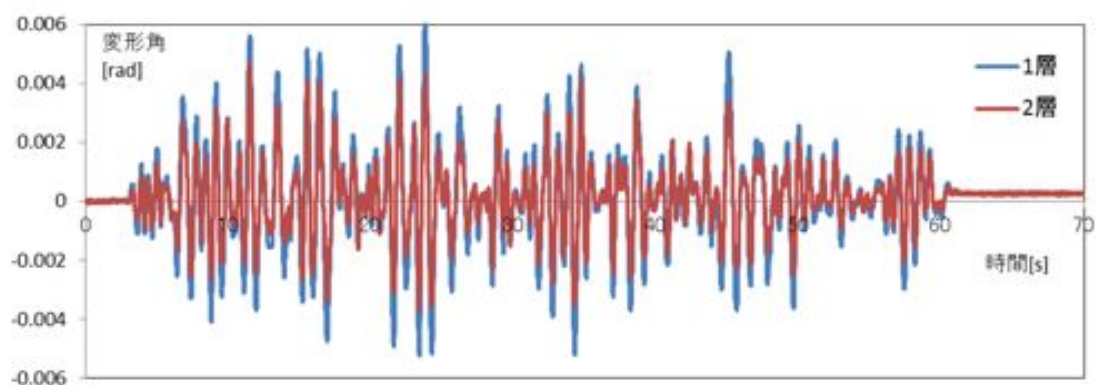


図3. 3. 3-79 6寸・バランス良・通し柱4本・BCJ-L2波100cm/s²加振時の層間変形角

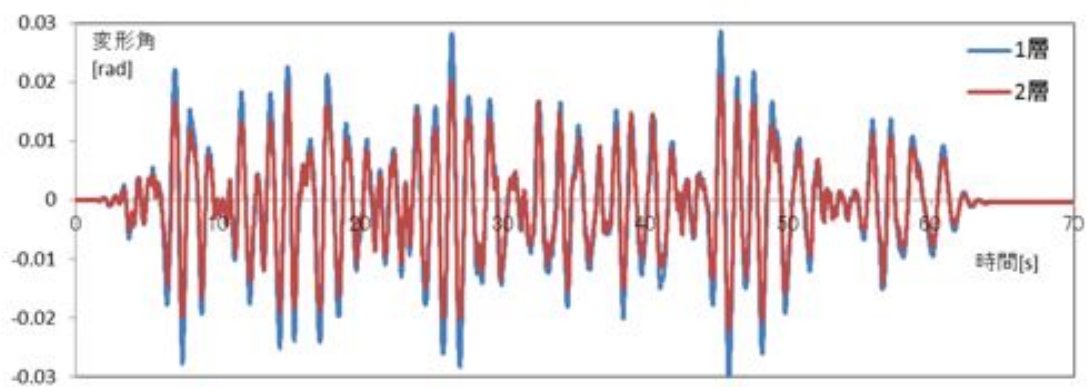


図3. 3. 3-80 6寸・バランス良・通し柱4本・BCJ-L2波300cm/s²加振時の層間変形角

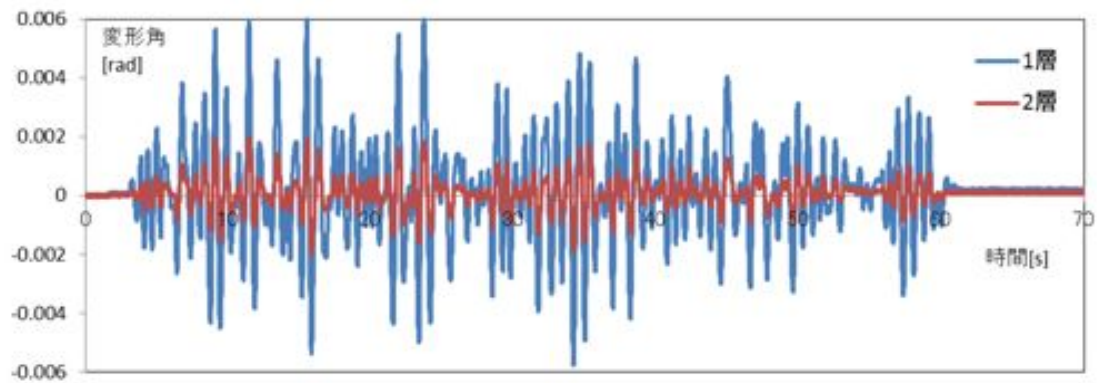


図3.3.3-81 6寸・バランス悪・通し柱4本・BCJ-L2波 100cm/s^2 加振時の層間変形角

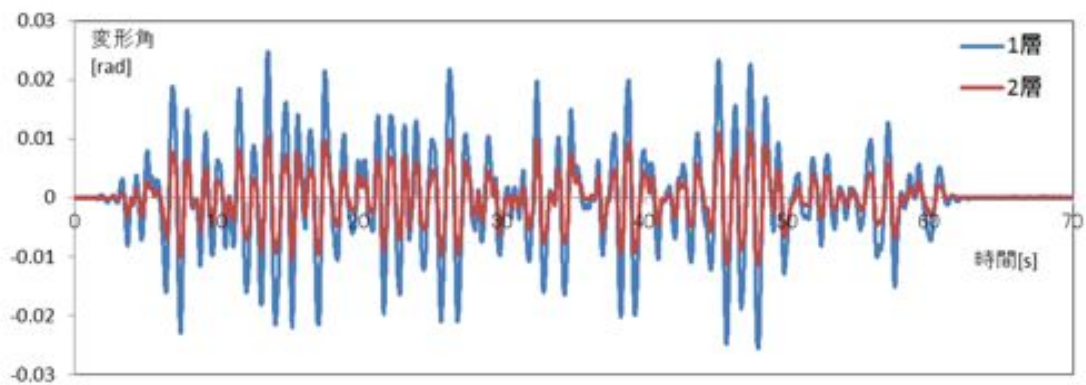


図3.3.3-82 6寸・バランス悪・通し柱4本・BCJ-L2波 300cm/s^2 加振時の層間変形角

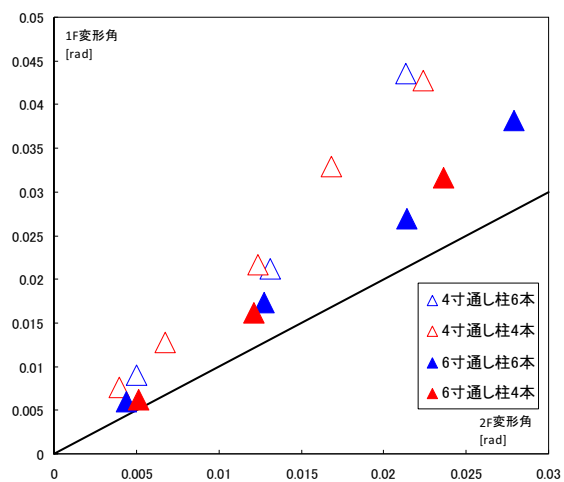


図3.3.3-83 最大変形角の比較 (バランス良)

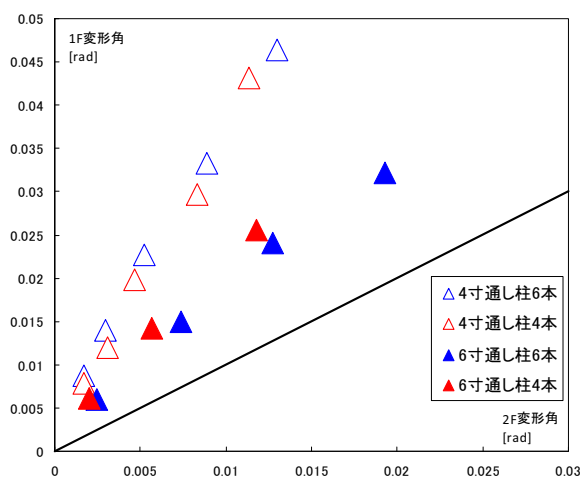


図3.3.3-84 最大変形角の比較 (バランス悪)

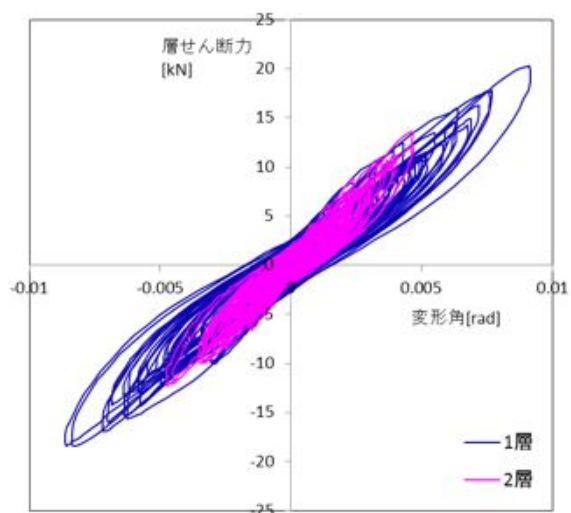


図3.3.3-85 4寸・バランス良・通し柱6本
・BCJ-L2波100cm/s²加振時の履歴曲線

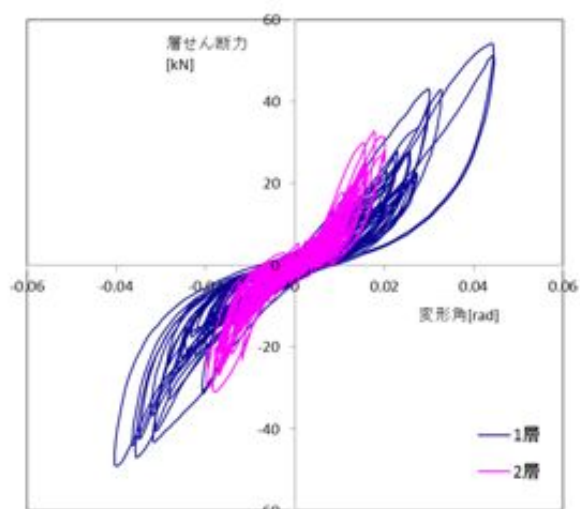


図3.3.3-86 4寸・バランス良・通し柱6本
・BCJ-L2波300cm/s²加振時の履歴曲線

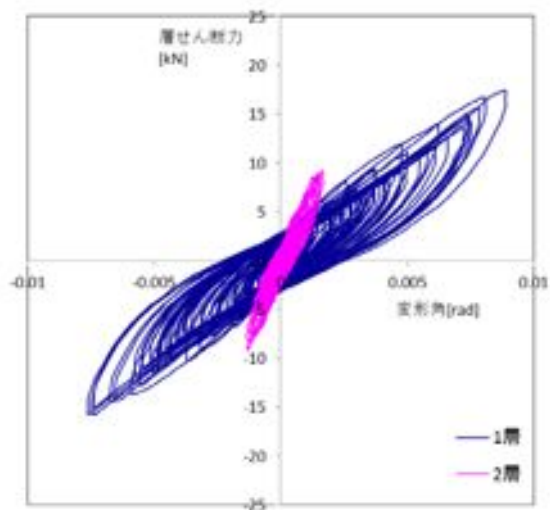


図3.3.3-87 4寸・バランス悪・通し柱6本
・BCJ-L2波100cm/s²加振時の履歴曲線

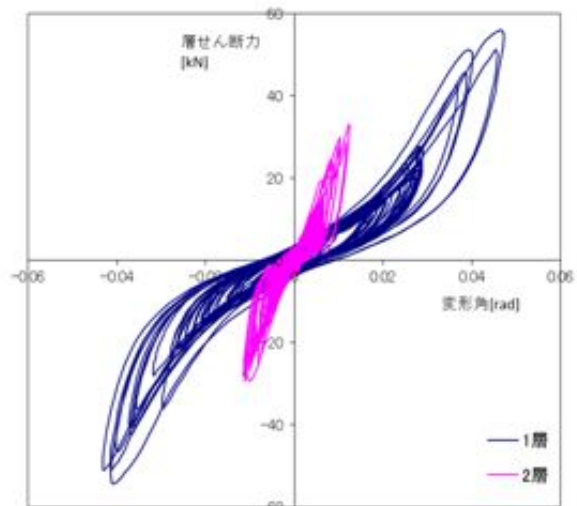


図3.3.3-88 4寸・バランス悪・通し柱6本
・BCJ-L2波300cm/s²加振時の履歴曲線

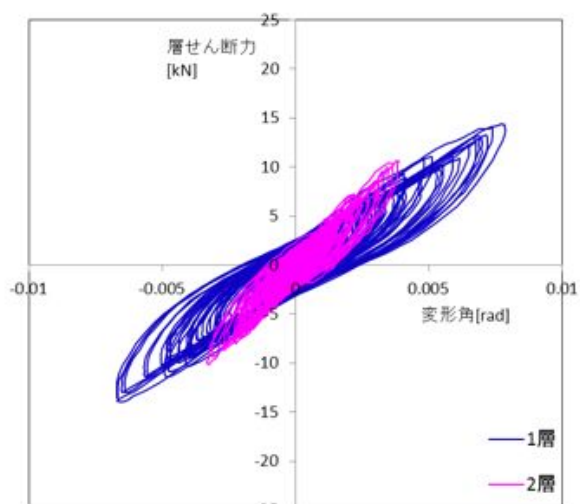


図3.3.3-89 4寸・バランス良・通し柱4本
・BCJ-L2波100cm/s²加振時の履歴曲線

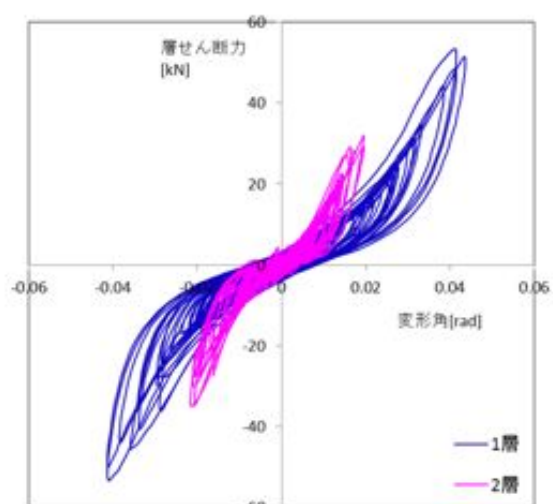


図3.3.3-90 4寸・バランス良・通し柱4本
・BCJ-L2波300cm/s²加振時の履歴曲線

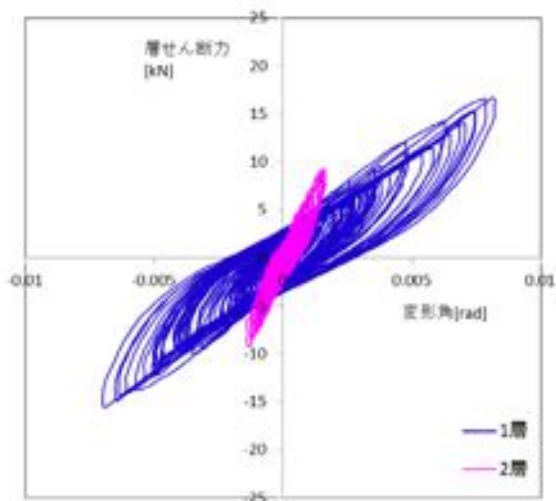


図3.3.3-91 4寸・バランス悪・通し柱4本
・BCJ-L2波100cm/s²加振時の履歴曲線

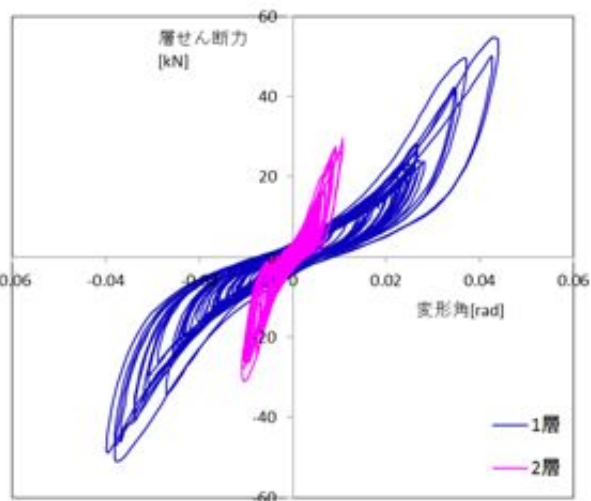


図3.3.3-92 4寸・バランス悪・通し柱4本
・BCJ-L2波300cm/s²加振時の履歴曲線

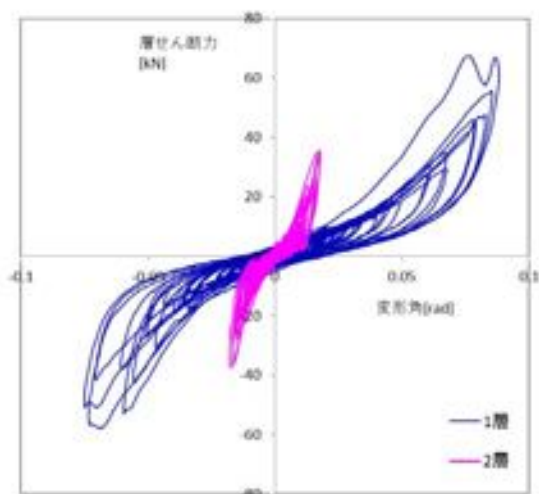


図3.3.3-93 4寸・バランス悪・通し柱4本・BCJ-L2波450cm/s²加振時の履歴曲線

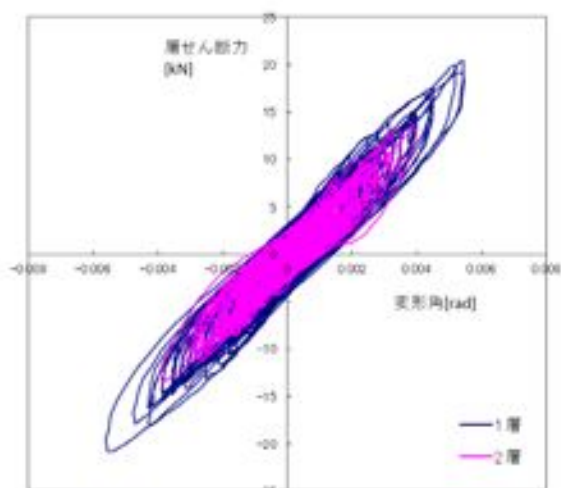


図3.3.3-94 6寸・バランス良・通し柱6本
・BCJ-L2波100cm/s²加振時の履歴曲線

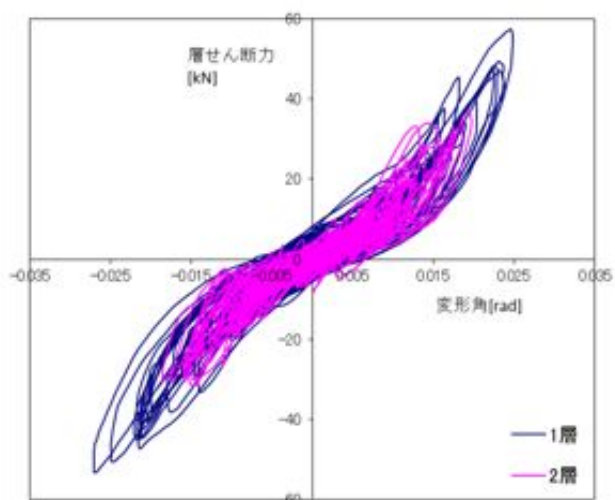


図3.3.3-95 6寸・バランス良・通し柱6本
・BCJ-L2波300cm/s²加振時の履歴曲線

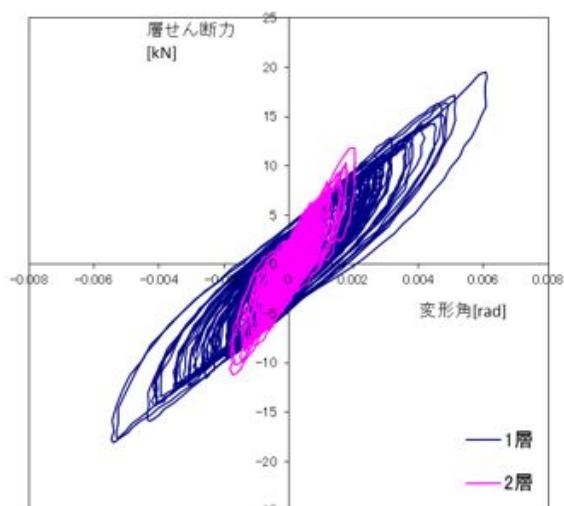


図3.3.3-96 6寸・バランス悪・通し柱6本
・BCJ-L2波100cm/s²加振時の履歴曲線

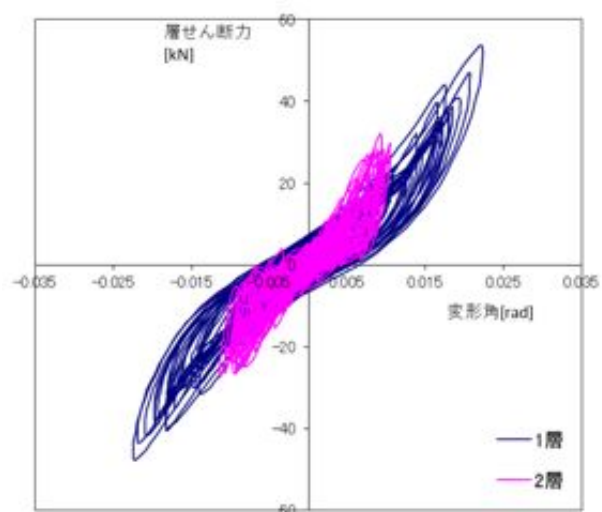


図3.3.3-97 6寸・バランス悪・通し柱6本
・BCJ-L2波300cm/s²加振時の履歴曲線

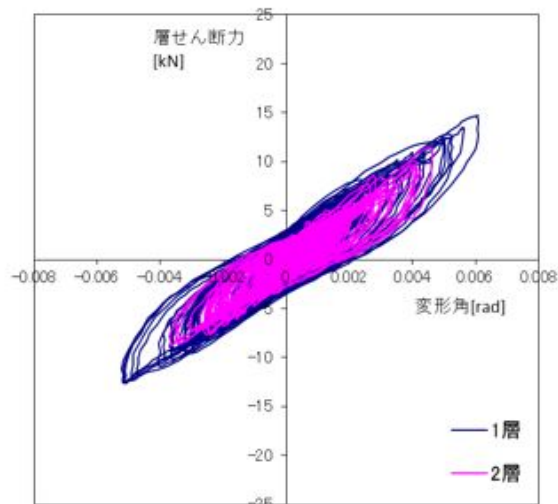


図3.3.3-98 6寸・バランス良・通し柱4本
・BCJ-L2波100cm/s²加振時の履歴曲線

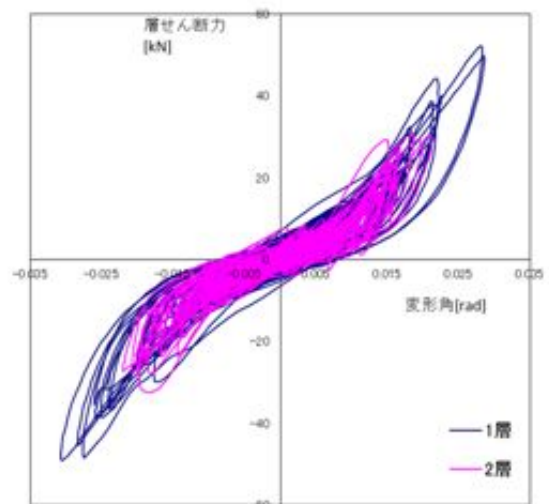


図3.3.3-99 6寸・バランス良・通し柱4本
・BCJ-L2波300cm/s²加振時の履歴曲線

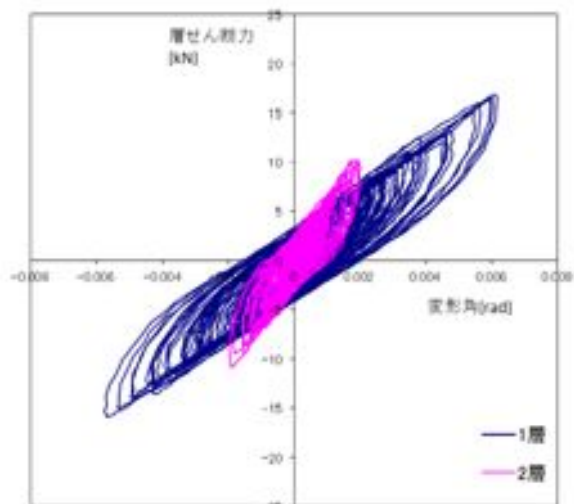


図3.3.3-100 6寸・バランス悪・通し柱4本
・BCJ-L2波100cm/s²加振時の履歴曲線

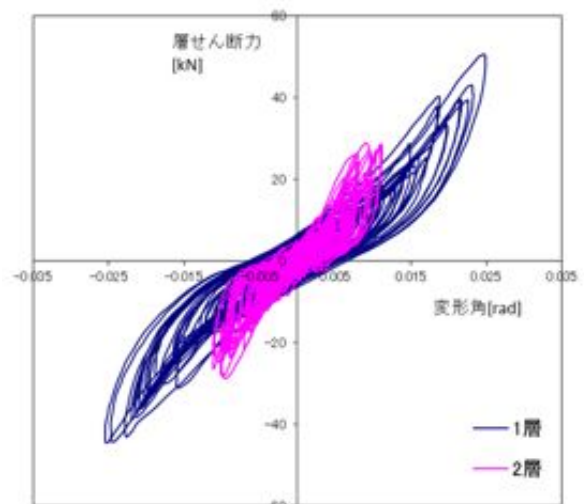


図3.3.3-101 6寸・バランス悪・通し柱4本
・BCJ-L2波300cm/s²加振時の履歴曲線

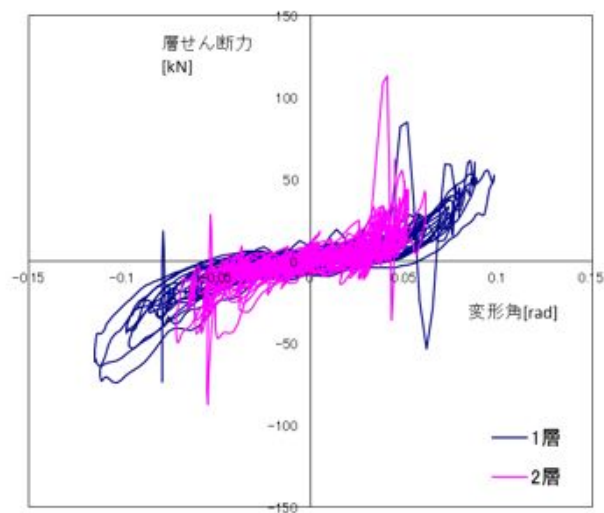


図3.3.3-102 6寸・バランス悪・通し柱4本・BCJ-L2波700cm/s²加振時の履歴曲線

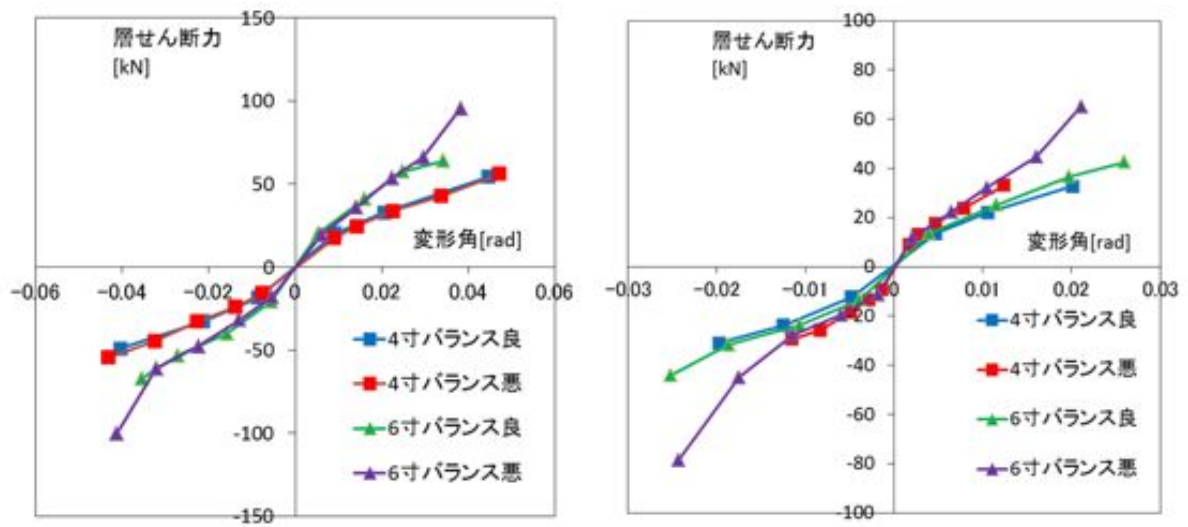


図3.3.3-103 通し柱6本の場合の包絡線（左：1層、右：2層）

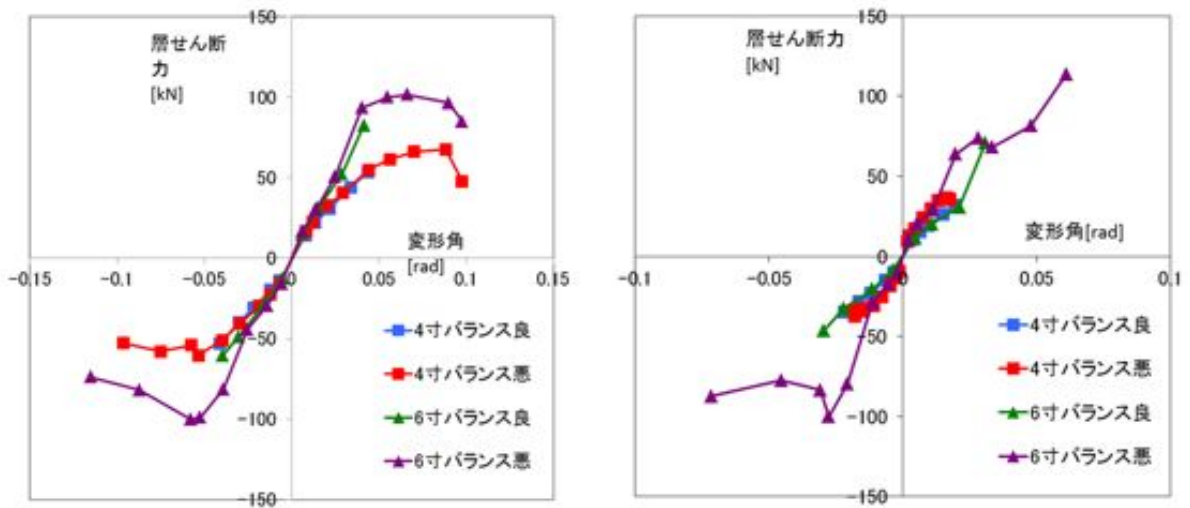


図3.3.3-104 通し柱4本の場合の包絡線（左：1層、右：2層）

3. 4 伝統的木造建物の構造要素実験

3. 4. 1 水平構面

(1) 床水平構面

1) はじめに

床構面は壁などの鉛直構面と異なり建物により大きさが異なるため、壁のように実験結果を直接設計用データとして用いることができない。よって、要素試験結果から力学モデルを介して設計で対象とする床構面の性能を推定することができる計算モデルが必要となる。ここでは、伝統的構法で用いる床構面の面内せん断試験を実施し、面内せん断性能の力学メカニズムを明らかにするとともに、釘単体のせん断試験結果から任意の大きさの床水平構面の面内せん断性能の推定が可能となる力学モデルの提案を行う。

また、(2) 屋根構面水平構面で実施した屋根の試験体の要素試験として、屋根野地板や垂木を用いた構面の試験体も作成し、面内せん断試験を実施した。

さらに、一般に伝統的構法で用いられる床構面は初期剛性や耐力が低いことが予想される。しかしながら、限界耐力計算で用いる質点系モデルにおいては床水平構面にはある程度の初期剛性と耐力が要求される。よって、ここでは、伝統的構法の考え方に基づいた床構面で初期剛性と耐力の上昇が期待できるものを提案する。

2) 試験体概要

(a) 厚板直張り仕様

試験体形状を図3.4.1-1に示す。梁、桁は全てスギ材 (□・120×240mm) を用いている。各試験体の概要は下記の通りである。

① (a)-1 : 床板直張り / 試験体数3体

910mmピッチの梁にスギ床板 (t=30mm、働き巾190mm、長さ1820mm、本実加工) を直張りにした仕様である。釘は、N90を1箇所あたり3本用いている。

② (a)-2 : 床板+大入れ根太 (E-ディフェンス仕様) / 試験体数3体

910mmピッチの梁に対して直交方向にヒノキの根太 (@455mm、□・45×105mm) が大入れで差し込まれ、N125の釘を脳天から斜めに打ち込み固定している。そこにスギ床板 (t=30mm、働き巾190mm、長さ2730mm、本実加工) を直張りにした仕様である。釘は、N90を1箇所あたり3本用いている。

③ (a)-3 : 床板直張り (隙間有り) / 試験体数1体

(a)-1試験体との比較のために、床板の間に約20mmの隙間を設け、大変形時に床板同士の摩擦が生じない仕様とした。隙間以外の仕様については、(a)-1試験体と全く同じである。

(b) 根太+厚板仕様

試験体形状を図3.4.1-2に示す。梁、桁は全てスギ材 (□・120×240mm) を用いている。各試験体の概要は下記の通りである。

① (b)-1 : 根太 (N125-1 / 脳天打ち) + 床板 / 試験体数1体

1820mmピッチの梁にスギの転ばし根太 (@606、□・60×90) をN125-1本で留めつけ、その上にスギ床板 (t=30mm、働き巾190mm、長さ2730mm、本実加工) をN90-3本で留めつけている。

② (b)-2 : 根太 (N150-1 / 脳天打ち) + 床板 / 試験体数1体+3体

1820mmピッチの梁にスギの転ばし根太 (@606、□・60×90) をN150-1本で留めつけ、その上にスギ床板 (t=30mm、働き巾190mm、長さ2730mm、本実加工) をN90-3本で留めつけている。

③ (b)-3 : 根太 (N90-2 / 斜め打ち) + 床板 / 試験体数1体

1820mmピッチの梁にスギの転ばし根太 (@606、□・60×90) をN90-2本で留めつけ、その上にスギ床板 (t=30mm、働き巾190mm、長さ2730mm、本実加工) をN90-3本で留めつけている。

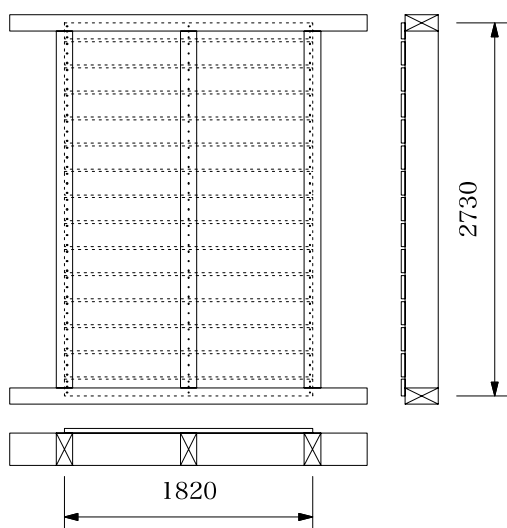
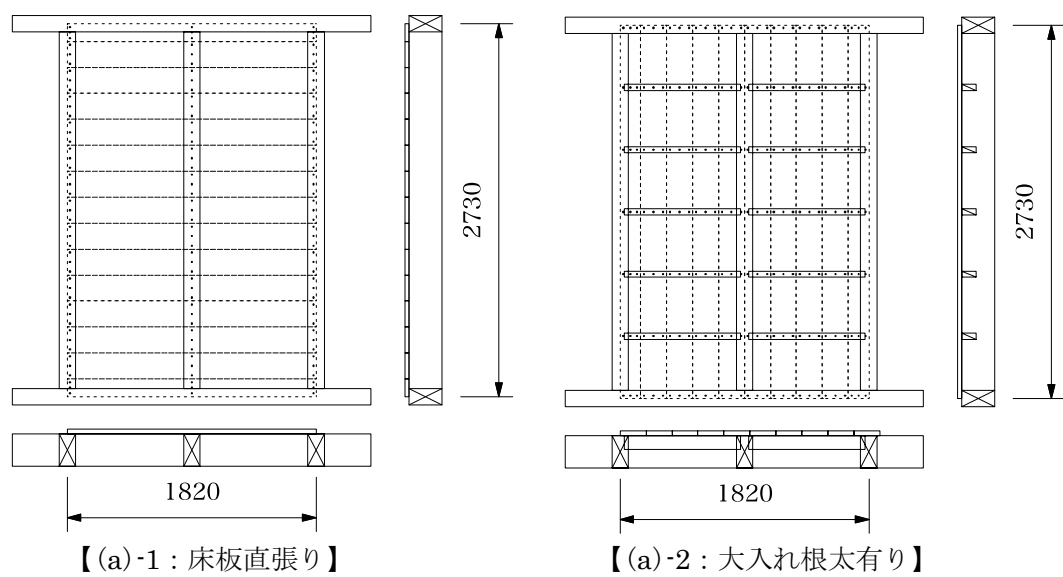


図3.4.1-1 試験体形状 ((a) 厚板直張り仕様)

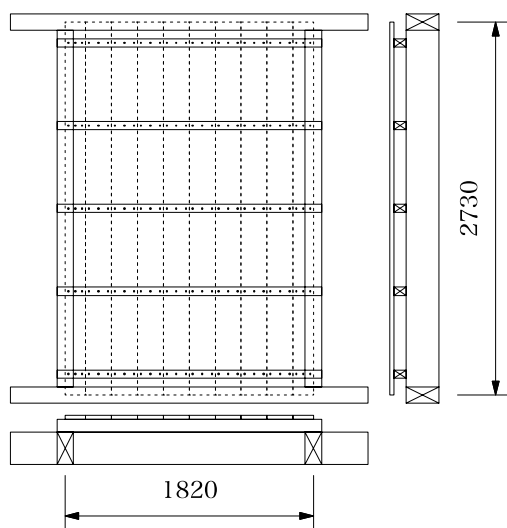


図3.4.1-2 試験体形状 ((b) 根太+厚板仕様)

(c) 屋根野地板仕様

試験体形状を図3.4.1-3に示す。梁、桁は全てスギ材（□・120×240mm）を用いている。各試験体の概要は下記の通りである。

①(c)-1：野地板直張り／試験体数3体

910mmピッチの梁にスギ野地板（t=15mm、幅240mm、長さ1820mm）を直張りにした仕様である。釘は、N45を1箇所あたり3本用いている。

②(c)-2：垂木+野地板／試験体数3体

910mmピッチの梁にスギの垂木（@455、□・60×60）をN125・1本で留めつけ、その上にスギ野地板（t=15mm、幅240mm、長さ2730mm）をN45・3本で留めつけている。

③(c)-3：野地板直張り（隙間有り）／試験体数1体

(c)-1試験体との比較のために、野地板の間に約20mmの隙間を設け、大変形時に野地板同士の摩擦が生じない仕様とした。隙間以外の仕様については、(c)-1試験体と全く同じである。

(d) 半剛床仕様

試験体形状を図3.4.1-4に示す。梁、桁は全てスギ材（□・120×240mm）を用いている。各試験体の概要は下記の通りである。

①(d)-1：仕上げ床用根太による拘束型／試験体数3体

910mmピッチの梁にスギ床板（t=30mm、働き巾190mm、長さ1820mm、本実加工）を直張りにし、その上に仕上げ用の床板に用いる根太（@303、□90×39、ヒノキ材）を釘（梁上：N125貫通、その他：N65）により留めつけている。両端部の釘は、N90を1箇所あたり3本用いている。

②(d)-2：仕上げ床用根太による拘束型（落とし込み）／試験体数3体

910mmピッチの梁にスギ床板（t=30mm、働き巾190mm、長さ1820mm、本実加工）を直張りにし、その上に仕上げ用の床板に用いる根太（@910、□・60×60、ヒノキ材）のうち梁上に載るものを床板に設けた15mmの溝に落とし込み、床板を貫通してN125の釘により留めつけている。根太には配線用の通り穴をあらかじめ設けている。両端部の釘は、N90を1箇所あたり3本用いている。

③(d)-3：ダボによる拘束型／試験体数3体

910mmピッチの梁にスギ床板（t=30mm、働き巾190mm、長さ1820mm、本実加工）を直張りにし、梁上の床板境界部に丸ダボ（カシ、φ30）を落とし込み、さらに丸ダボの両側にN90の釘を2本追加している。床板施工後に、所定の位置にドリルにより穴空け加工を施し、そこに丸ダボを打ち込む。なお、丸ダボの長さは床板の厚みの2倍程度とし、丸ダボは床板を貫通して梁上部にも落とし込む。丸ダボ部分の詳細を、図3.4.1-5に示す。

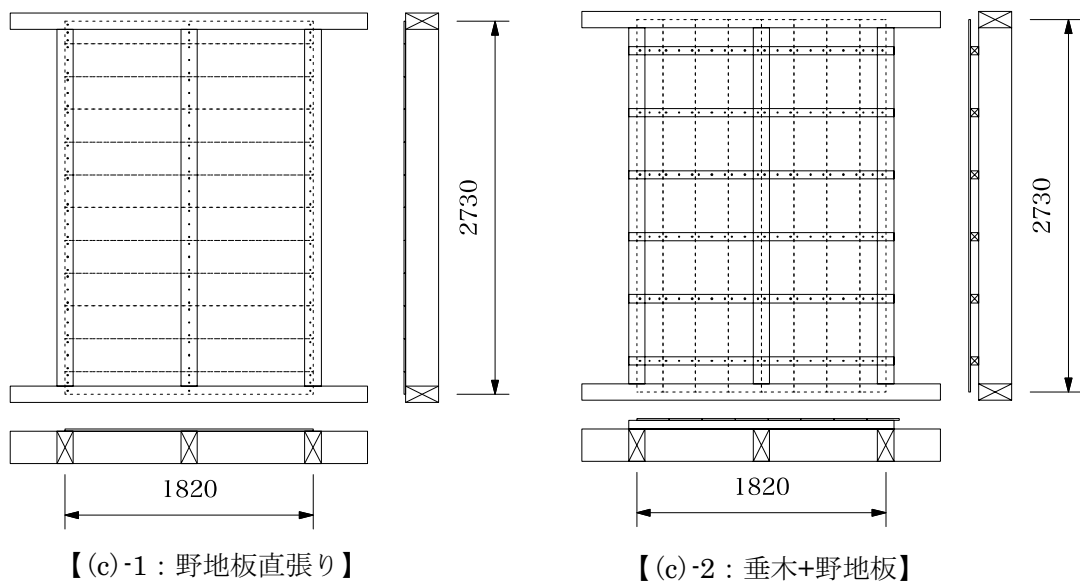


図3.4.1-3 試験体形状 (c)屋根野地板仕様

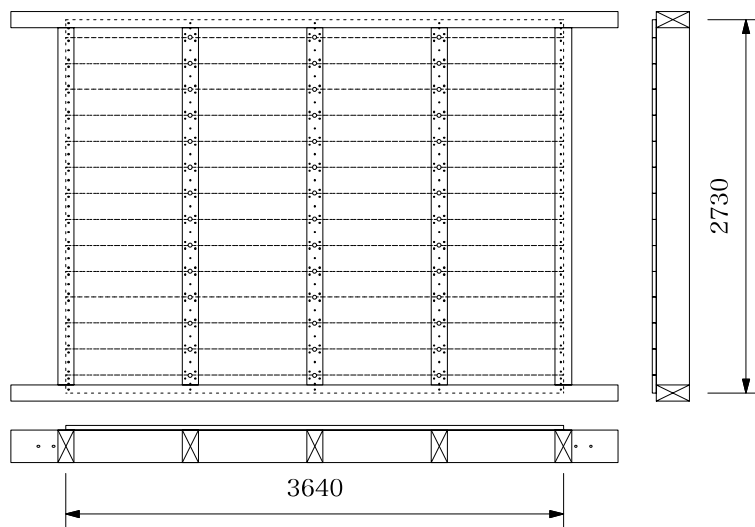
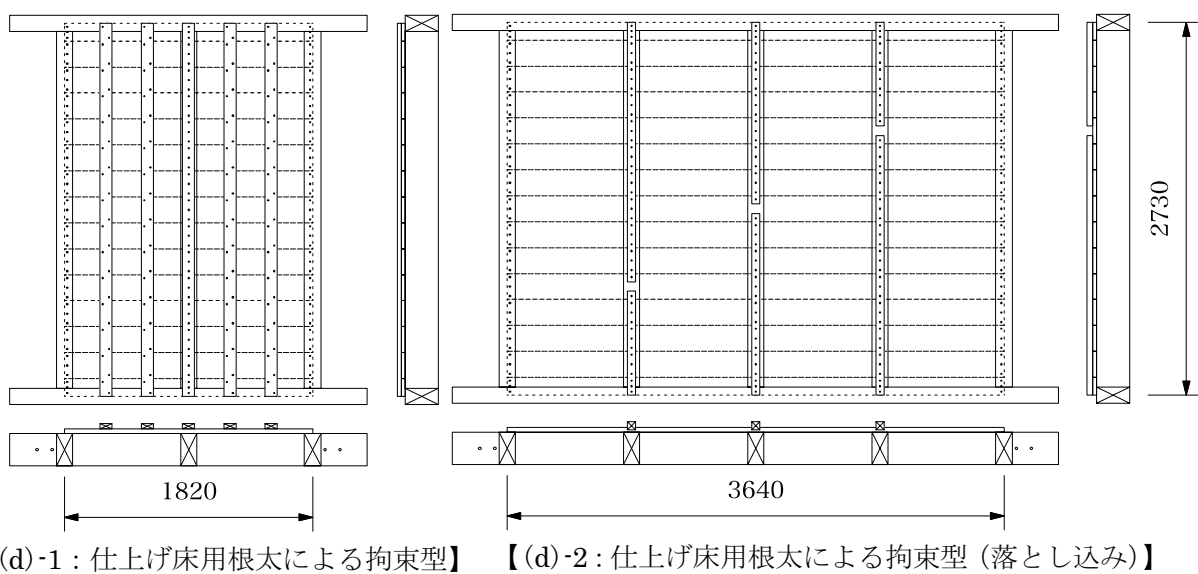


図3.4.1-4 試験体形状 (d)半剛床仕様

3) 試験方法

試験体一覧を表3.4.1-1に示す。載荷方法は、木造軸組工法住宅の許容応力度設計に準拠し、柱脚固定式で実施した。軸組の状態により載荷方法を下記の2種類に分類している。

①新規載荷：軸組の損傷がなく、新しく製作した試験体の状態から載荷を実施した。

②軸組損傷後：先に軸組のみの載荷を行った後に、床板などを貼り付け、載荷を実施した。

一部の試験体はE-ディフェンスで実施した試験体の余りの材を再利用したため、同じ軸組を再利用して載荷を行っている。その際に、軸組の影響を考慮するために各試験の前後に軸組のみの実験を実施した。また、損傷のない軸組のみの試験も実施しており、後で軸組のみのデータを加算できるようにした。

載荷は、見かけのせん断変形角が1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50、1/30、1/15、1/10rad.を正負交番1回繰り返し加力で行った。

表3.4.1-1 試験体一覧

仕様	試験体名称	床板							試験体数	載荷方法
		樹種	厚	幅	仕様	留めつけ				
(a)厚板直張り	(a)-1 床板直張り	スギ	30	190	本実	3-N90	横張り		3	②軸組損傷後
	(a)-2 大入れ根太有り	スギ	30	190	本実	3-N90	縦張り		3	①新規載荷
	(a)-3 隙間有り	スギ	30	170	-	3-N90	横張り		1	②軸組損傷後
(b)根太+厚板	(b)-1 根太 (N125-1) +床板	スギ	30	190	本実	3-N90	縦張り		1	②軸組損傷後
	(b)-2 根太 (N150-1) +床板 根太 (N150-1) +床板	スギ	30	190	本実	3-N90	縦張り		1	②軸組損傷後
		スギ	30	190	本実	3-N90	縦張り		3	②軸組損傷後
	(b)-3 根太 (N90-2) +床板	スギ	30	190	本実	3-N90	縦張り		1	②軸組損傷後
(c)屋根野地板	(c)-1 野地板直張り	スギ	15	240	-	3-N45	横張り		3	②軸組損傷後
	(c)-2 垂木+野地板	スギ	15	240	-	3-N45	縦張り		3	②軸組損傷後
	(c)-3 隙間有り	スギ	15	220	-	3-N45	縦張り		1	②軸組損傷後
(d)半剛床	(d)-1 根太拘束型	スギ	30	190	本実	3-N90	横張り		3	①新規載荷
	(d)-2 根太拘束型 (落とし込み)	スギ	30	190	本実	3-N90	横張り		3	①新規載荷
	(d)-3 ダボ拘束型	スギ	30	190	本実	3-N90	横張り		3	①新規載荷

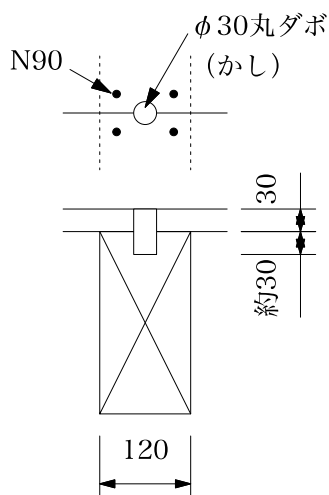


図3.4.1-5 丸ダボ部分の詳細

4) 試験結果

試験結果の整理において軸組の影響を考慮するために、各試験の前後に実施した軸組のみの試験より得られた荷重-せん断変形角関係の包絡線のデータを全て平均した結果を図3.4.1-6に示す。また、一度も載荷を行っていない新しい軸組のみの載荷を行った試験結果の荷重-せん断変形角関係の包絡線の平均値を図3.4.1-7に示す。床倍率の算定に用いる際には軸組の耐力を含んだ試験結果で評価することや、長さに依存しない耐力評価式を構築するために軸組の影響を除去した評価を行うために、ここでは下記の2つの方針によりデータ整理を行った。

①新規載荷の場合：無損傷の軸組耐力を含んだ試験結果であることから、床倍率の算定にはそのままのデータを用いる。また、軸組の影響を除去する際には、図3.4.1-7に示した無損傷の軸組の試験結果を用いる。

②軸組損傷後載荷の場合：軸組の影響を除去するために、得られた試験結果から図3.4.1-6に示す軸組の試験結果を引く。このデータに図3.4.1-7に示した無損傷の軸組の試験結果を足し合わせることで、床倍率の算定を行う。

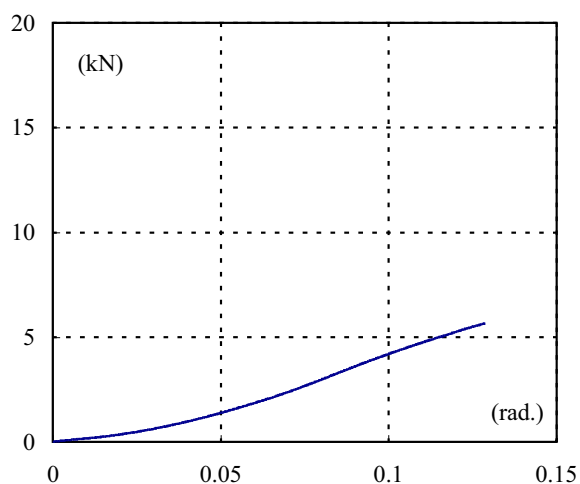


図3.4.1-6 軸組のみ（損傷後載荷）の荷重-せん断変形角関係の包絡線の平均値

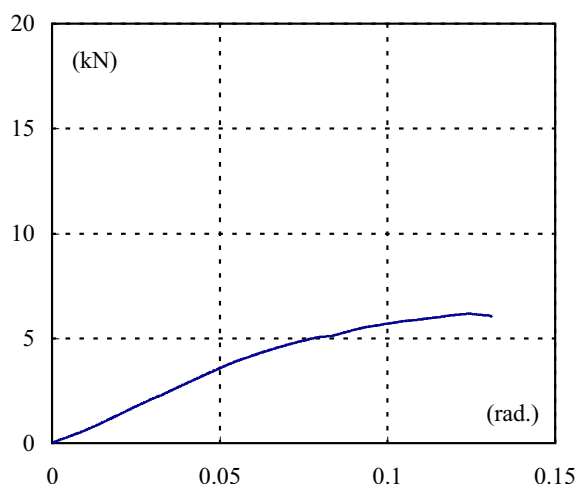


図3.4.1-7 軸組のみ（無損傷）の荷重-せん断変形角関係の包絡線の平均値

(a) 厚板直張り仕様

①(a)-1：床板直張り

荷重-せん断変形角関係の一覧を図3.4.1-8に、軸組の結果を除去した包絡線を図3.4.1-9に示す。載荷の早い段階から写真3.4.1-1に示すように板と板とのずれ変形が生じ始め、ずれ変形の増大に伴い荷重が緩やかに上昇していった。また、1/15rad.付近より、さらなる荷重増大が見受けられたが、これは板と板との摩擦が原因と考えられる。

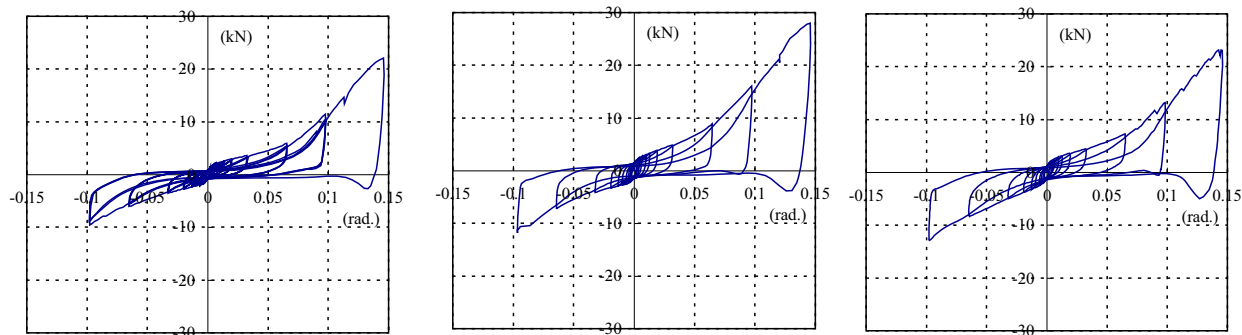


図3.4.1-8 荷重-せん断変形角関係 ((a)-1)

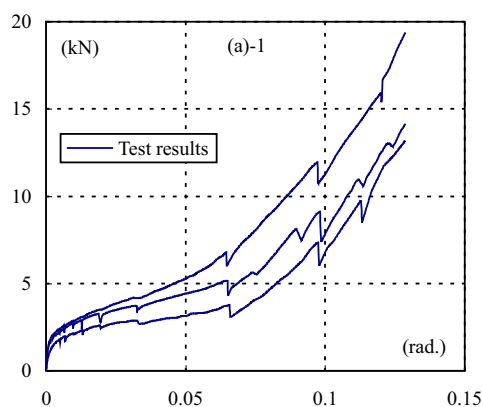


図3.4.1-9 包絡線 ((a)-1)



写真3.4.1-1 破壊性状 ((a)-1)

②(a)-2：床板+大入れ根太（E-ディフェンス仕様）

荷重-せん断変形角関係の一覧を図3.4.1-10に、軸組の結果を除去した包絡線を図3.4.1-11に示す。
(a)-1と同様に载荷の早い段階から写真3.4.1-2に示すように板と板とのずれ変形が生じ始め、ずれ変形の増大に伴い荷重が緩やかに上昇していった。また、(a)-1で見られたほど大変形時の摩擦による荷重上昇は見られなかった。

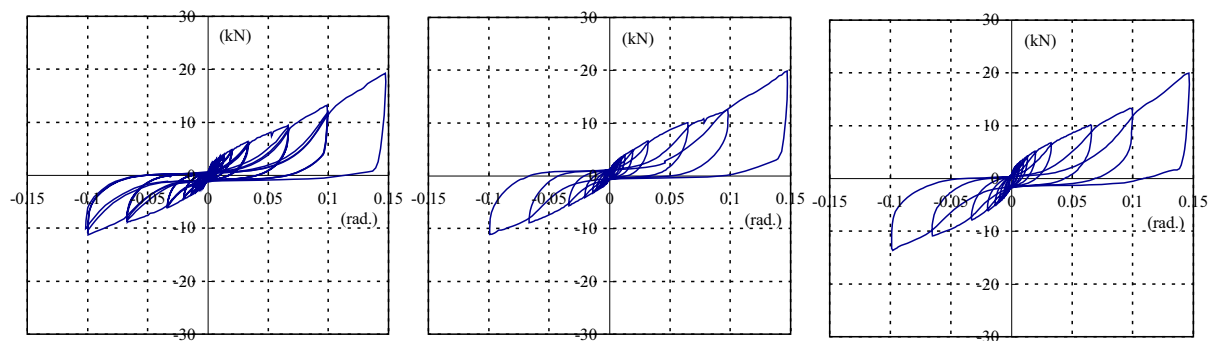


図3.4.1-10 荷重-せん断変形角関係 ((a)-2)

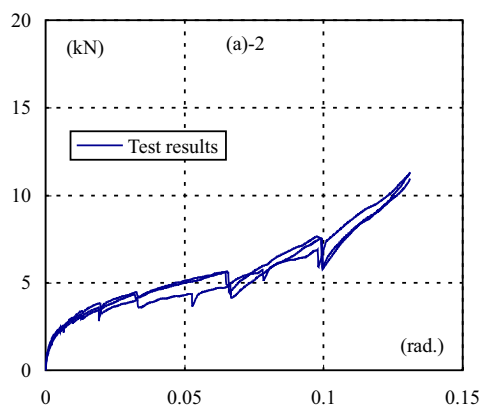


図3.4.1-11 包絡線 ((a)-2)



写真3.4.1-2 破壊性状 ((a)-2)

③(a)-3：床板直張り（隙間有り）

荷重-せん断変形角関係の一覧を図3.4.1-12に、軸組の結果を除去した包絡線を図3.4.1-13に示す。破壊は板と板とのずれ変形により生じたが、板間に隙間があるため大変形時に摩擦は生じず、荷重上昇はほとんど見られなかった（写真3.4.1-3）。

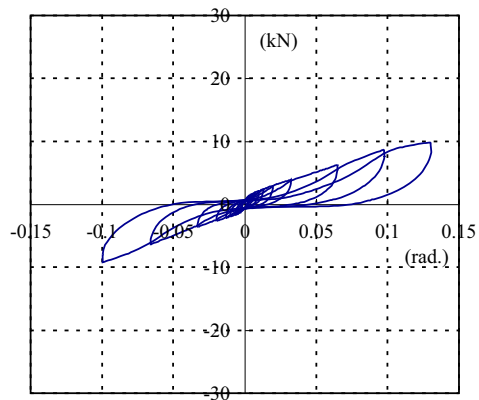


図3.4.1-12 荷重-せん断変形角関係（(a)-3）

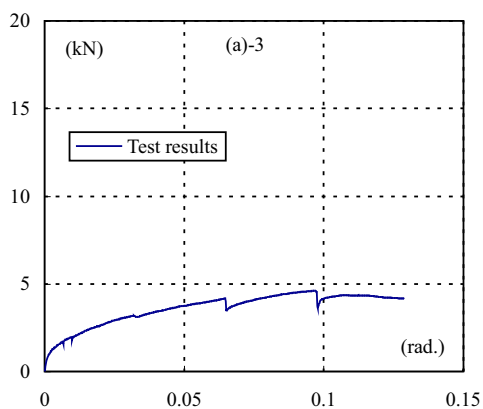


図3.4.1-13 包絡線（(a)-3）



写真3.4.1-3 破壊性状（(a)-3）

(b) 根太+厚板仕様

① (b)-1～3 : 根太 (N125-1、N150-1、N75-2)

荷重-せん断変形角関係の一覧を図3.4.1-14に、軸組の結果を除去した包絡線を図3.4.1-15に示す。N125-1およびN75-2の試験体では、1/10rad.を迎える前に根太-桁接合部が完全に破壊し、終局状態を迎えた。一方、N150-1の試験体では、終局時まで根太-桁接合部に破壊は生じなかった (写真3.4.1-4)。

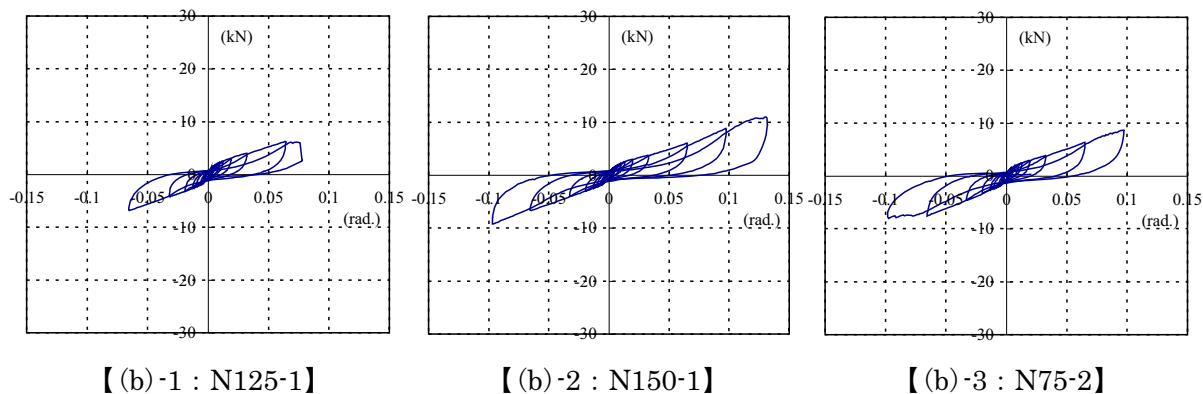


図3.4.1-14 荷重-せん断変形角関係 (b) シリーズ

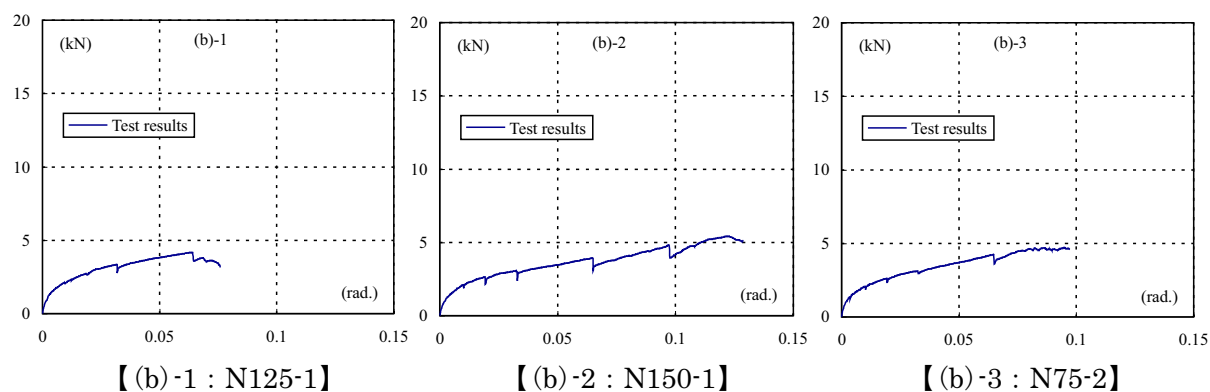


図3.4.1-15 包絡線 (b) シリーズ



【(b)-1 : N125-1】



【(b)-2 : N150-1】



【(b)-3 : N75-2】

写真3.4.1-4 破壊性状 (b) シリーズ

(c) 屋根野地板仕様

① (c)-1 : 野地板直張り

荷重-せん断変形角関係の一覧を図3.4.1-16に、軸組の結果を除去した包絡線を図3.4.1-17に示す。載荷の早い段階から写真3.4.1-5に示すように板と板とのずれ変形が生じ始め、ずれ変形の増大に伴い荷重が緩やかに上昇していった。また、1/15rad.付近より、さらなる荷重増大が見受けられたが、これは板と板との摩擦が原因と考えられる。

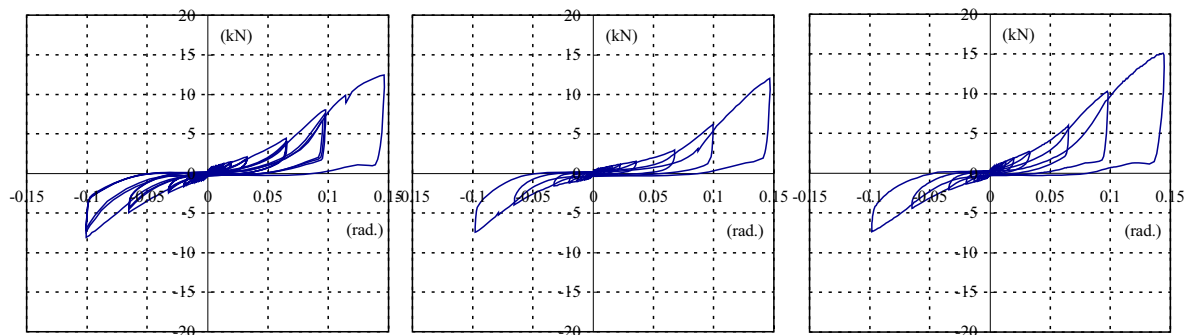


図3. 4. 1-16 荷重-せん断変形角関係 ((c)-1)

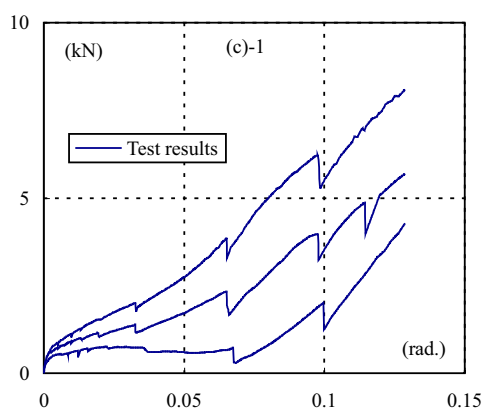


図3. 4. 1-17 包絡線 ((c)-1)



写真3. 4. 1-5 破壊性状 ((c)-1)

②(c)-2：垂木+野地板

荷重-せん断変形角関係の一覧を図3.4.1-18に、軸組の結果を除去した包絡線を図3.4.1-19に示す。全ての試験体で、板と板とのずれ変形および垂木-桁接合部のせん断変形が見られたが、終局時まで垂木-桁接合部が完全に破壊することはなかった（写真3.4.1-6）。

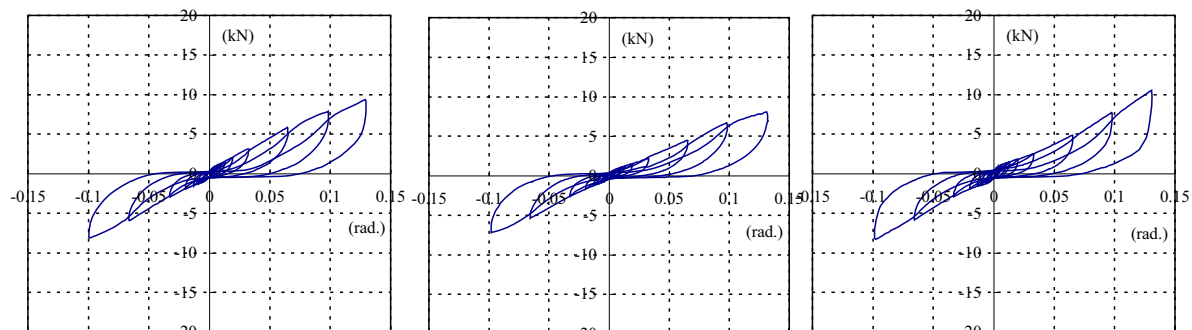


図3.4.1-18 荷重-せん断変形角関係 ((c)-2)

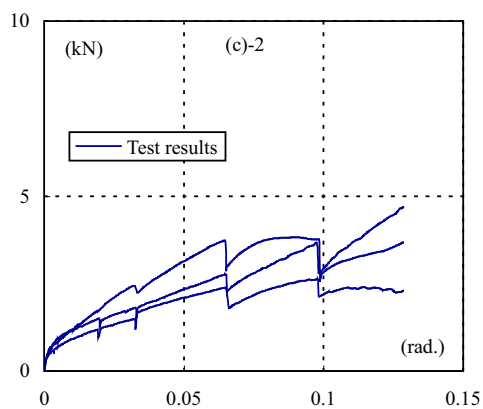


図3.4.1-19 包絡線 ((c)-2)



写真3.4.1-6 破壊性状 ((c)-2)

③(c)-3：野地板直張り（隙間有り）

荷重-せん断変形角関係の一覧を図3.4.1-20に、軸組の結果を除去した包絡線を図3.4.1-21に示す。破壊は板と板とのずれ変形により生じたが、板間に隙間があるため大変形時に摩擦は生じず、荷重上昇はほとんど見られなかった（写真3.4.1-7）。

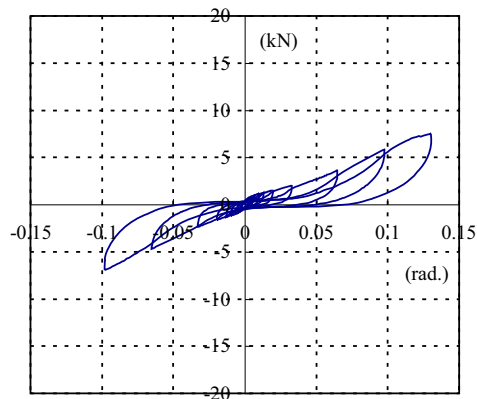


図3. 4. 1-20 荷重-せん断変形角関係 ((c)-3)

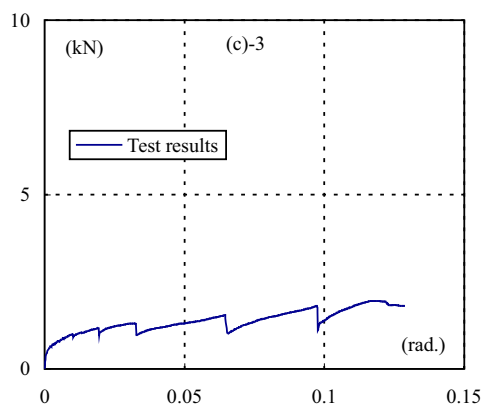


図3. 4. 1-21 包絡線 ((c)-3)



写真3. 4. 1-7 破壊性状 ((c)-3)

(d) 試験結果の比較

3体ずつ実施した試験体の結果一覧を表3.4.1-2～表3.4.1-5および図3.4.1-22に示す。なお、床倍率の算定は木造軸組工法住宅の許容応力度設計を参照し、1/15rad.時までの結果を用いて算出した。

表3.4.1-2 試験結果一覧 ((a)-1)

試験体長さ	1.82 (m)
-------	----------

試験体名称	Py (kN/m)	0.2Pu/Ds (kN/m)	2/3Pmax (kN/m)	P(1/120) (kN/m)	K (kN/rad/m)	Pu (kN/m)	Pmax (kN/m)	γ_y (rad)	γ_v (rad)	γ_u (rad)	μ	Ds
a-1-1	2.08	1.31	3.03	1.42	116.1	3.65	4.54	0.0179	0.0314	0.0667	2.12	0.56
a-1-2	2.53	1.68	4.12	1.79	145.7	4.86	6.18	0.0174	0.0333	0.0667	2.00	0.58
a-1-3	2.29	1.61	3.52	1.73	146.9	4.21	5.29	0.0156	0.0286	0.0667	2.33	0.52
試験体数	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
平均値	2.30	1.54	3.56	1.65	136.2	4.24	5.34	0.0170	0.0311	0.0667	2.15	0.55
最大値	2.53	1.68	4.12	1.79	146.9	4.86	6.18	0.0179	0.0333	0.0667	2.33	0.58
最小値	2.08	1.31	3.03	1.42	116.1	3.65	4.54	0.0156	0.0286	0.0667	2.00	0.52
変動係数	0.080	0.104	0.126	0.100	0.10	0.116	0.126	0.059	0.062	0.000	0.063	0.041
50%下限値	2.21	1.46	3.35	1.57	129.5	4.01	5.02	0.0165	0.0302	0.0667	2.09	0.54

最小値 : P0	1.46 (kN/m)
----------	-------------

床倍率換算	0.7
-------	-----

試験体名称	特定変形角時のP(kN/m)										
	450	300	200	150	120	100	75	50	30	15	10
	0.0022	0.0033	0.005	0.0067	0.0083	0.01	0.0133	0.02	0.0333	0.0667	0.1
a-1-1	0.86	1.00	1.05	1.32	1.42	1.49	1.72	2.12	2.76	4.21	6.84
a-1-2	1.20	1.34	1.46	1.51	1.79	1.90	2.17	2.68	3.58	6.09	9.31
a-1-3	1.08	1.23	1.39	1.56	1.73	1.81	2.09	2.43	3.25	5.11	7.43
試験体数	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
平均値	1.05	1.19	1.30	1.46	1.65	1.73	1.99	2.41	3.20	5.14	7.86
最大値	1.20	1.34	1.46	1.56	1.79	1.90	2.17	2.68	3.58	6.09	9.31
最小値	0.86	1.00	1.05	1.32	1.42	1.49	1.72	2.12	2.76	4.21	6.84
変動係数	0.135	0.117	0.139	0.070	0.100	0.102	0.100	0.094	0.105	0.149	0.134
50%下限値	0.98	1.12	1.22	1.42	1.57	1.65	1.90	2.31	3.04	4.78	7.36

表3.4.1-3 試験結果一覧 ((a)-2)

試験体長さ	1.82 (m)
-------	----------

試験体名称	Py (kN/m)	0.2Pu/Ds (kN/m)	2/3Pmax (kN/m)	P(1/120) (kN/m)	K (kN/rad/m)	Pu (kN/m)	Pmax (kN/m)	γ_y (rad)	γ_v (rad)	γ_u (rad)	μ	Ds
a-2-1	2.41	1.61	3.44	1.74	147.3	4.18	5.16	0.0164	0.0283	0.0667	2.35	0.52
a-2-2	2.59	1.66	3.68	1.80	145.9	4.66	5.52	0.0178	0.0319	0.0667	2.09	0.56
a-2-3	2.59	1.74	3.71	1.84	159.9	4.53	5.56	0.0162	0.0283	0.0667	2.35	0.52
試験体数	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
平均値	2.53	1.67	3.61	1.79	151.0	4.46	5.41	0.0168	0.0295	0.0667	2.26	0.53
最大値	2.59	1.74	3.71	1.84	159.9	4.66	5.56	0.0178	0.0319	0.0667	2.35	0.56
最小値	2.41	1.61	3.44	1.74	145.9	4.18	5.16	0.0162	0.0283	0.0667	2.09	0.52
変動係数	0.033	0.034	0.033	0.024	0.04	0.046	0.033	0.042	0.058	0.000	0.054	0.035
50%下限値	2.49	1.64	3.55	1.77	148.1	4.36	5.33	0.0165	0.0287	0.0667	2.21	0.52

最小値：P0	1.64 (kN/m)
--------	-------------

床倍率換算	0.8
-------	-----

試験体名称	特定変形角時のP(kN/m)										
	450	300	200	150	120	100	75	50	30	15	10
	0.0022	0.0033	0.005	0.0067	0.0083	0.01	0.0133	0.02	0.0333	0.0667	0.1
a-2-1	0.93	1.13	1.37	1.57	1.74	1.84	2.19	2.51	3.26	4.97	6.34
a-2-2	0.88	1.19	1.44	1.49	1.80	1.95	2.15	2.66	3.58	5.23	6.87
a-2-3	1.06	1.26	1.49	1.66	1.84	1.93	2.26	2.74	3.61	4.99	6.39
試験体数	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
平均値	0.96	1.19	1.43	1.57	1.79	1.91	2.20	2.64	3.48	5.06	6.53
最大値	1.06	1.26	1.49	1.66	1.84	1.95	2.26	2.74	3.61	5.23	6.87
最小値	0.88	1.13	1.37	1.49	1.74	1.84	2.15	2.51	3.26	4.97	6.34
変動係数	0.079	0.043	0.035	0.043	0.024	0.023	0.022	0.036	0.045	0.023	0.037
50%下限値	0.92	1.17	1.41	1.54	1.77	1.89	2.18	2.59	3.41	5.01	6.42

表3.4.1-4 試験結果一覧 ((c)-1)

試験体長さ	1.82 (m)
-------	----------

試験体名称	Py (kN/m)	0.2Pu/Ds (kN/m)	2/3Pmax (kN/m)	P(1/120) (kN/m)	K (kN/rad/m)	Pu (kN/m)	Pmax (kN/m)	γ_y (rad)	γ_v (rad)	γ_u (rad)	μ	Ds
c-1-1	3.43	0.76	2.49	0.75	58.1	3.78	3.73	0.0590	0.0651	0.0651	1.00	1.00
c-1-2	1.41	0.69	1.92	0.59	54.8	2.46	2.88	0.0258	0.0450	0.0667	1.48	0.71
c-1-3	3.05	0.91	3.05	0.87	69.7	4.54	4.57	0.0437	0.0651	0.0651	1.00	1.00
試験体数	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
平均値	2.63	0.78	2.48	0.74	60.8	3.59	3.73	0.0428	0.0584	0.0656	1.16	0.90
最大値	3.43	0.91	3.05	0.87	69.7	4.54	4.57	0.0590	0.0651	0.0667	1.48	1.00
最小値	1.41	0.69	1.92	0.59	54.8	2.46	2.88	0.0258	0.0450	0.0651	1.00	0.71
変動係数	0.333	0.115	0.186	0.153	0.10	0.238	0.186	0.317	0.163	0.011	0.196	0.150
50%下限値	2.22	0.74	2.27	0.69	57.8	3.19	3.40	0.0364	0.0539	0.0653	1.05	0.84

最小値：P0	0.69 (kN/m)
--------	-------------

床倍率換算	0.3
-------	-----

試験体名称	特定変形角時のP(kN/m)										
	450	300	200	150	120	100	75	50	30	15	10
	0.0022	0.0033	0.005	0.0067	0.0083	0.01	0.0133	0.02	0.0333	0.0667	0.1
c-1-1	0.42	0.48	0.56	0.67	0.75	0.83	1.01	1.33	1.93	3.44	5.06
c-1-2	0.33	0.40	0.47	0.52	0.59	0.68	0.84	1.16	1.69	2.87	3.82
c-1-3	0.44	0.55	0.61	0.75	0.87	0.94	1.16	1.59	2.31	4.46	6.15
試験体数	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
平均値	0.39	0.47	0.55	0.65	0.74	0.82	1.00	1.36	1.98	3.59	5.01
最大値	0.44	0.55	0.61	0.75	0.87	0.94	1.16	1.59	2.31	4.46	6.15
最小値	0.33	0.40	0.47	0.52	0.59	0.68	0.84	1.16	1.69	2.87	3.82
変動係数	0.123	0.131	0.101	0.147	0.153	0.132	0.130	0.131	0.129	0.183	0.190
50%下限値	0.37	0.45	0.52	0.60	0.69	0.76	0.94	1.28	1.86	3.28	4.56

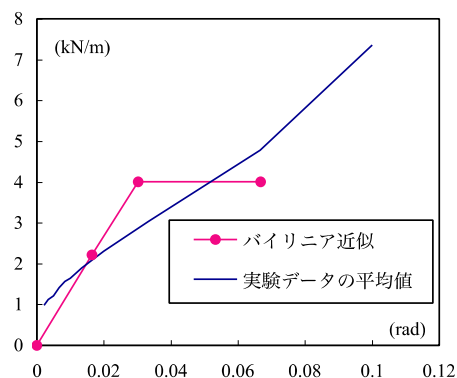
表3.4.1-5 試験結果一覧 ((c)-2)

試験体長さ	1.82 (m)											
試験体名称	Py (kN/m)	0.2Pu/Ds (kN/m)	2/3Pmax (kN/m)	P(1/120) (kN/m)	K (kN/rad/m)	Pu (kN/m)	Pmax (kN/m)	γ_y (rad)	γ_v (rad)	γ_u (rad)	μ	Ds
c-2-1	2.56	1.05	2.99	0.88	80.6	4.18	4.49	0.0318	0.0519	0.0667	1.28	0.80
c-2-2	2.98	0.82	2.50	0.75	62.8	4.09	3.75	0.0475	0.0652	0.0652	1.00	1.00
c-2-3	2.02	0.93	2.64	0.89	71.8	3.74	3.96	0.0282	0.0521	0.0667	1.28	0.80
試験体数	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
平均値	2.52	0.93	2.71	0.84	71.7	4.01	4.07	0.0358	0.0564	0.0662	1.19	0.87
最大値	2.98	1.05	2.99	0.89	80.6	4.18	4.49	0.0475	0.0652	0.0667	1.28	1.00
最小値	2.02	0.82	2.50	0.75	62.8	3.74	3.75	0.0282	0.0519	0.0652	1.00	0.80
変動係数	0.155	0.100	0.076	0.073	0.10	0.048	0.076	0.234	0.110	0.011	0.112	0.109
50%下限値	2.34	0.89	2.61	0.81	68.3	3.92	3.92	0.0319	0.0535	0.0659	1.13	0.82

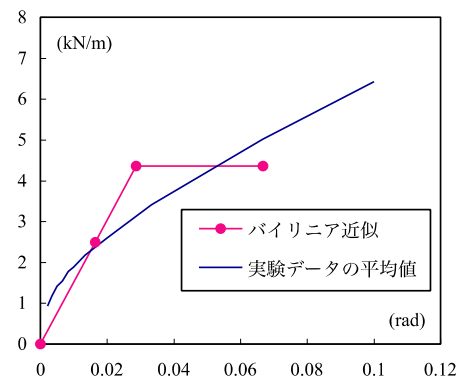
最小値：P0	0.81 (kN/m)
--------	-------------

床倍率換算	0.4
-------	-----

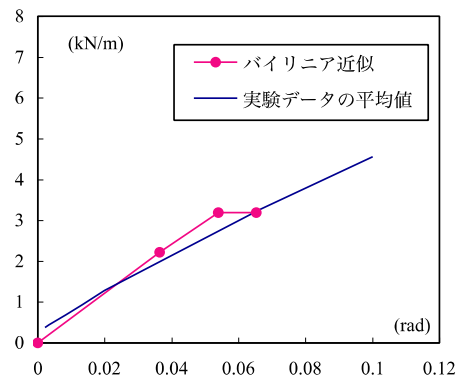
試験体名称	特定変形角時のP(kN/m)										
	450	300	200	150	120	100	75	50	30	15	10
	0.0022	0.0033	0.005	0.0067	0.0083	0.01	0.0133	0.02	0.0333	0.0667	0.1
c-2-1	0.43	0.53	0.63	0.75	0.88	0.98	1.21	1.72	2.52	4.19	4.68
c-2-2	0.37	0.45	0.56	0.65	0.75	0.85	1.03	1.37	2.20	3.49	4.33
c-2-3	0.46	0.56	0.67	0.78	0.89	0.97	1.17	1.46	2.21	3.79	4.73
試験体数	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
平均値	0.42	0.51	0.62	0.72	0.84	0.93	1.14	1.52	2.31	3.82	4.58
最大値	0.46	0.56	0.67	0.78	0.89	0.98	1.21	1.72	2.52	4.19	4.73
最小値	0.37	0.45	0.56	0.65	0.75	0.85	1.03	1.37	2.20	3.49	4.33
変動係数	0.094	0.096	0.078	0.076	0.073	0.066	0.071	0.098	0.064	0.075	0.039
50%下限値	0.40	0.49	0.60	0.70	0.81	0.90	1.10	1.45	2.24	3.69	4.50



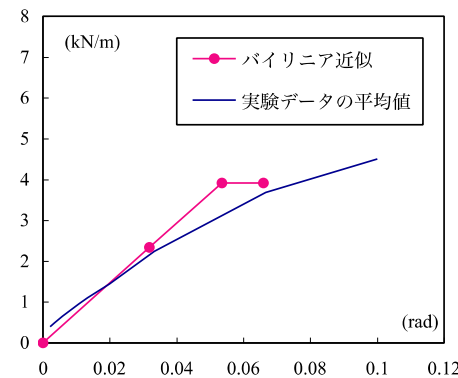
【(a)-1】



【(a)-2】



【(c)-1】



【(c)-2】

図3.4.1-22 試験結果一覧

5) 床水平構面の力学モデル

(a) 板材に打たれた釘のせん断要素試験

床の主な抵抗機構が釘のせん断抵抗であるため、釘のせん断要素試験を実施した。使用した釘は、床水平構面に用いたN90の釘と屋根野地板に用いたN45の釘である。試験の様子を写真3.4.1-8に示す。まず単調加力により予備試験を行い、その試験結果から降伏変位 δ_y を求め、 δ_y の1/2、1、4、6、8、12、16倍の順で繰り返し加力を行った。試験体数はそれぞれ6体とした。

試験結果を図3.4.1-23および図3.4.1-24に示す。



写真3. 4. 1-8 試験の様子

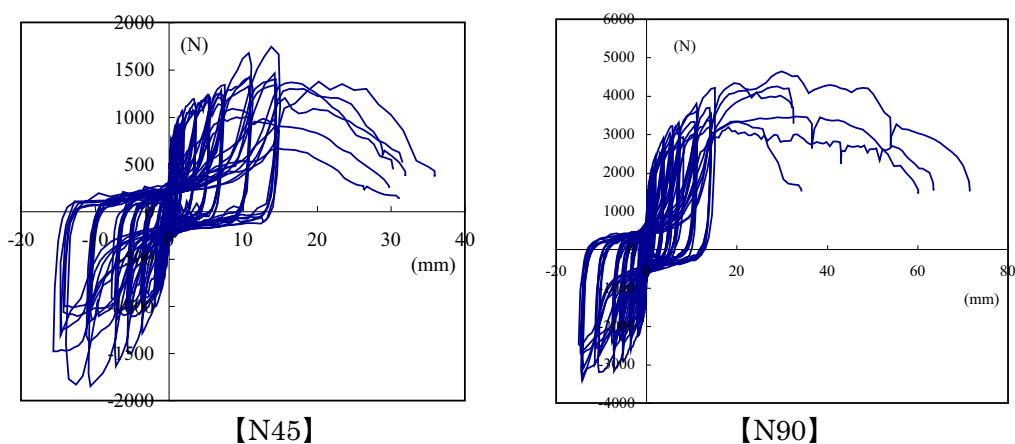


図3. 4. 1-23 荷重-せん断変形関係の一覧

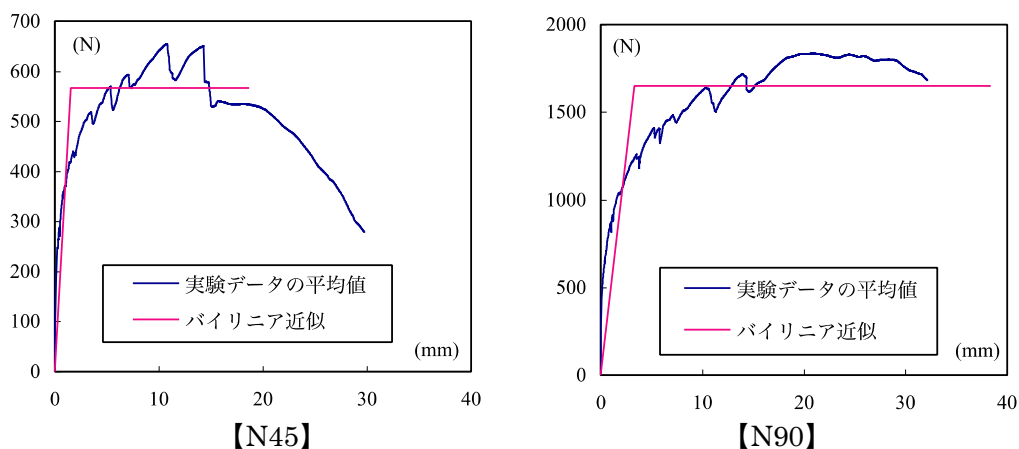


図3. 4. 1-24 包絡線および完全バイリニア近似の平均値

(b) 抵抗メカニズム

軸組に直接貼り付けた床構面では、図3.4.1-25に示すように板のずれ変形が生じる。軸組がせん断変形角 R 生じた際に全ての床板が同様のずれ変形を生じているとすると、同図に示すように両端に留めつけた釘による偶力によって生じる曲げモーメントが生じる。この曲げモーメントは全ての釘部分において同様に生じ、これらの総和が床水平構面全体のせん断力に釣り合うと考えられる。

釘と釘との距離を d とおくと、せん断変形角 R が生じた際の釘の移動量 δ は次式で表せる。

$$\delta = R \times d \quad (3.4.1-1)$$

この時の釘のせん断力 ${}_nP_n$ は、釘の一面せん断試験より得られた剛性 ${}_nK$ および上式の δ を用いて次式で表せる。

$${}_nP = {}_nK \times \delta \quad (3.4.1-2)$$

よって、釘のせん断抵抗による床水平構面全体の曲げモーメントは次式で表せる。

$$M = \sum ({}_nP \times 2d) \quad (3.4.1-3)$$

釘の完全バイリニア近似のデータより釘の降伏せん断耐力 ${}_nP_y$ 、終局せん断耐力 ${}_nP_u$ を用いれば床構面の降伏変形角 R_y 、終局曲げモーメント M_u は次式により求められる。

$$R_y = \frac{{}_nP_y}{{}_nK \times d} \quad (3.4.1-4)$$

$$M_u = \sum ({}_nP_u \times 2d) \quad (3.4.1-5)$$

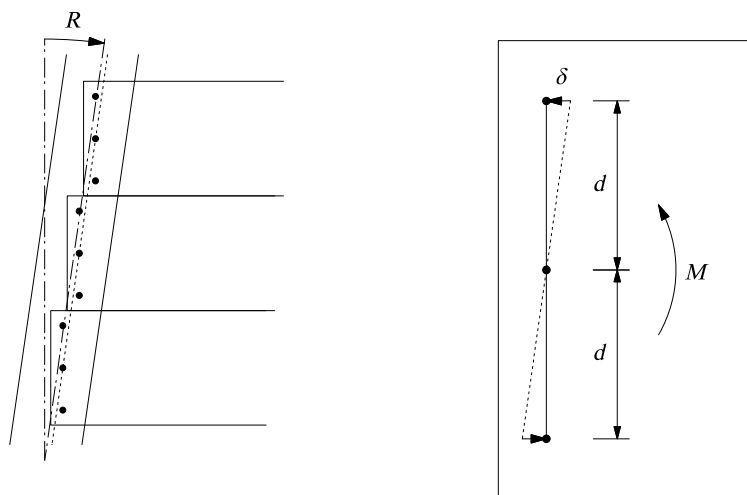


図3.4.1-25 釘の抵抗メカニズム

(c) モーメント-変形角関係の推定

先述した抵抗メカニズムにより計算した結果と実験結果との比較を図3.4.1-26に示す。なお、釘の一面せん断試験の完全バイリニア近似のデータは、図3.4.1-24で示した全データの平均値を用いた。実験による降伏耐力と計算の終局耐力とは概ね一致しており、計算結果は概ね妥当であると判断できる。しかし、大変形時においては摩擦による耐力上昇が生じているが、計算では一切考慮していないため誤差が大きくなっている。また、釘の一面せん断試験の結果を完全バイリニア近似した際に、バイリニア近似の初期剛性の方が実験結果よりも低いため、計算結果の初期剛性が全体的に低い傾向を示している。

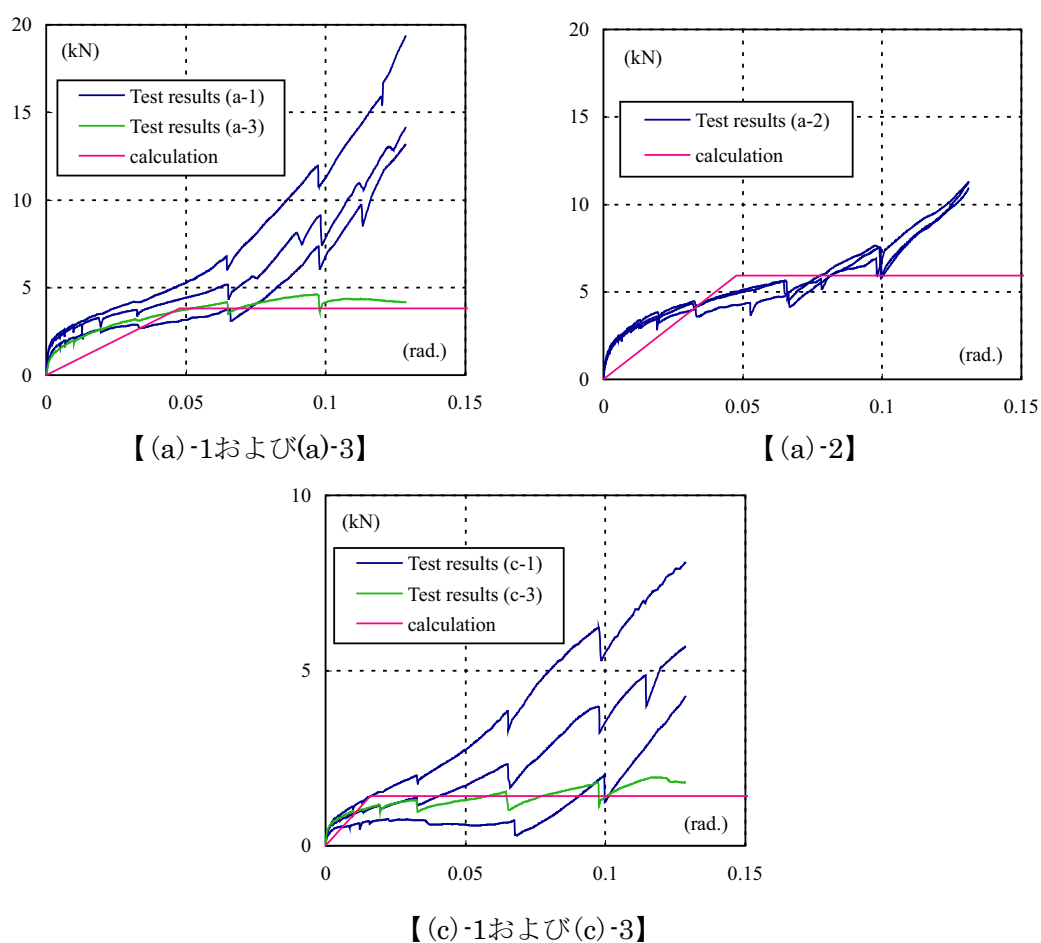


図3.4.1-26 計算結果と実験結果との比較

6) まとめ

ここでは、伝統的構法で用いる床構面の面内せん断試験を実施し、面内せん断性能の力学メカニズムを明らかにし、釘単体のせん断試験結果から任意の大きさの床水平構面の面内せん断性能の推定が可能となる力学モデルの提案を行った。

床構面の破壊モードはほとんどが板と板とのずれ変形によるものであり、このずれ変形に伴う釘のモーメント抵抗が床全体のせん断性能を支配していることがわかった。また、根太を用いる場合は、根太-桁接合部に用いる釘の仕様によっては、終局状態に至る前に根太-桁接合部で破壊が生じるものも見られた。

提案した力学モデルは、板と板とのずれ変形に伴う釘のモーメント抵抗から床構面全体の曲げモーメントを推定するものである。計算結果と実験結果とを比較すると、降伏耐力は概ね推定可能であるが、計算結果では初期剛性が低くなっていることや、大変形時における摩擦力による耐力上昇を考慮することができないことが課題である。特に、初期剛性については、建物全体の挙動を把握する上で重要な要素となるため、今後は力学モデルの改善を行う必要がある。

（２）屋根構面

1)はじめに

屋根構面に面内せん断力が作用したときの破壊は、野地板－垂木接合部での面材釘のせん断すべりの他に、垂木－桁接合部などの立体的な破壊が、屋根構面の仕様の違いにより様々に変化する。屋根構面は、床や耐力壁のような単位の要素の繰り返しでなく、建物全体で1要素となり、建物ごとに仕様、大きさ、勾配、屋根仕上り荷重などが異なるため、一律に耐力を定めることは難しい。そのため、屋根構面の実験研究はいくつか行われているが、試験装置の関係で小規模の特定の形状の試験体に対して行われているものしかなく、屋根仕上りによる荷重を考慮した試験も行われていないため、屋根構面全体の挙動を推定する資料に乏しい。そこで、「（２）屋根構面」では屋根構面の仕様を切妻屋根、寄棟屋根、方形屋根の3種類として、それぞれの仕様に対して、可能な限り大きな試験体として仕様の違いによる影響や屋根仕上りによる荷重が屋根構面に与える影響を調べる。また、屋根構面の力学モデル構築のための資料を得ることを目的としているため、力学モデル検証の必要性から野地板に剛性の高い構造用合板を用いた在来仕様の試験体も含まれている。

2) 試験体概要

(a) 切妻屋根

切妻屋根の試験は、6仕様の試験体を各1体ずつ行った。試験体の大きさは3640×5460mm、屋根面の勾配は4.5寸勾配とした。桁は120×240mm、棟木は120×120mm、母屋は120×120mm、束は120×120mm、貫は27×105mm（RGCB、RGCBLのみ）、垂木は60×60mmであり、すべてスギ材とした。RGC、RGCB、RGCBLの桁、棟木、母屋、束は、試験終了時にあまり損傷が見られなかったもので、RGCO、RGPO、RGPOLに用いた。垂木－桁の接合と垂木－棟木の接合は、RGC、RGCB、RGCBLではN125脳天釘打ちとし、RGCO、RGPO、RGPOLでは2-N75斜め釘打ちとした。野地板は、伝統仕様と在来仕様の比較を行うために、RGC、RGCB、RGCBL、RGCOでは15×240×2000mmのスギ板を用い、RGPO、RGPOLでは9×910×1820mmの構造用合板を用いた。スギ板は、垂木に対してN45を90mmピッチで釘打ちした。構造用合板は、垂木に対してN50を150mmピッチで釘打ちした。RGCBL、RGPOLでは瓦荷重を想定し、野地板におもり（1個あたり5.8kg）を256個（総重量1484.8kg、屋根面単位面積あたり63.59kg/m²）ビス止めした。試験体一覧を表3.4.1-6に、部材のヤング係数、含水率を表3.4.1-7に、試験体図を図3.4.1-27～3.4.1-32に、全体写真を写真3.4.1-9～3.4.1-14に示す。

表3.4.1-6 試験体一覧

試験体仕様	試験体名	野地板	野地板－垂木接合	垂木	垂木－桁接合	垂木－棟木接合	小屋貫	積載荷重	備考
切妻屋根	RGC	スギ板 15×240×2000mm	N45@90	スギ 60×60mm	N125 脳天打ち	N125 脳天打ち	×	×	— — —
	RGCB						○	×	
	RGCBL						○	○	
	RGCO	合板 9×910×1820mm	— — —		2-N75 斜め打ち	2-N75 斜め打ち	×	×	RGC, RGCB, RGCBLの 桁、棟木、 母屋、束を 使用
	RGPO						×	×	
	RGPOL						×	○	

表3.4.1-7 部材のヤング係数、含水率

		比重	ヤング率 (N/mm ²)	含水率(%)
平均値	桁	0.35	6355	15.0
	棟木・母屋	0.42	9810	15.2
	束	0.45	6325	14.9
	スギ板	0.38		13.6
	垂木	0.37	7480	12.5
	貫	0.39		13.5
最大値	桁	0.40	8301	18.0
	棟木・母屋	0.45	11151	17.7
	束	0.50	6674	18.7
	スギ板	0.44		17.8
	垂木	0.46	9063	17.2
	貫	0.41		14.5
最小値	桁	0.32	5145	12.7
	棟木・母屋	0.39	8196	11.7
	束	0.41	5960	11.7
	スギ板	0.30		11.2
	垂木	0.29	6039	9.3
	貫	0.37		13.0

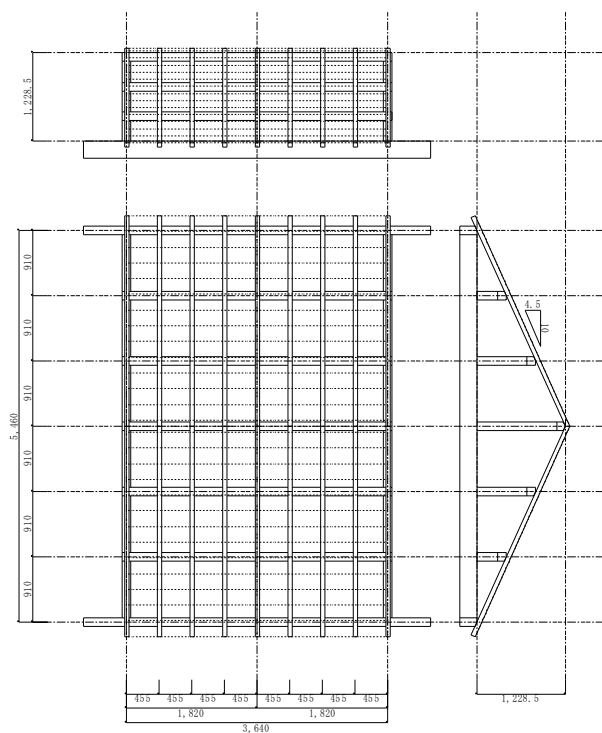


図3. 4. 1-27 RGC

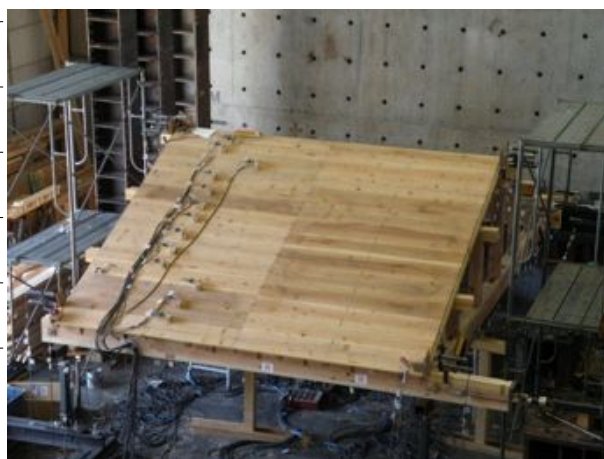


写真3. 4. 1-9 RGC

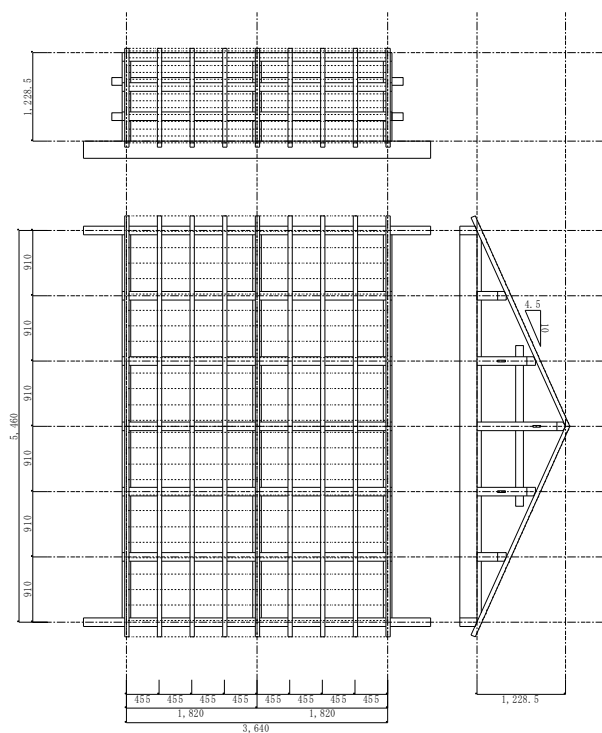


図3. 4. 1-28 RGC

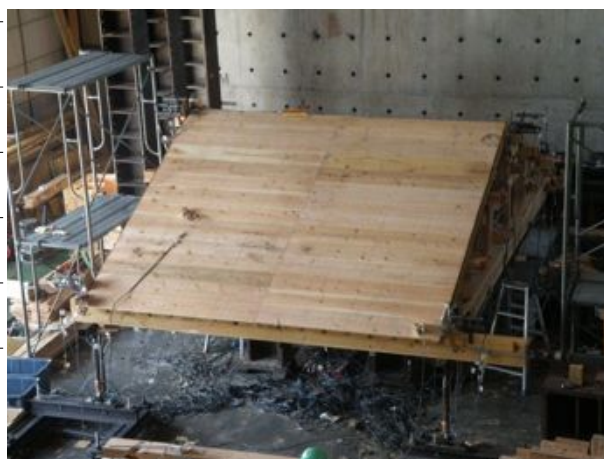


写真3. 4. 1-10 RGC

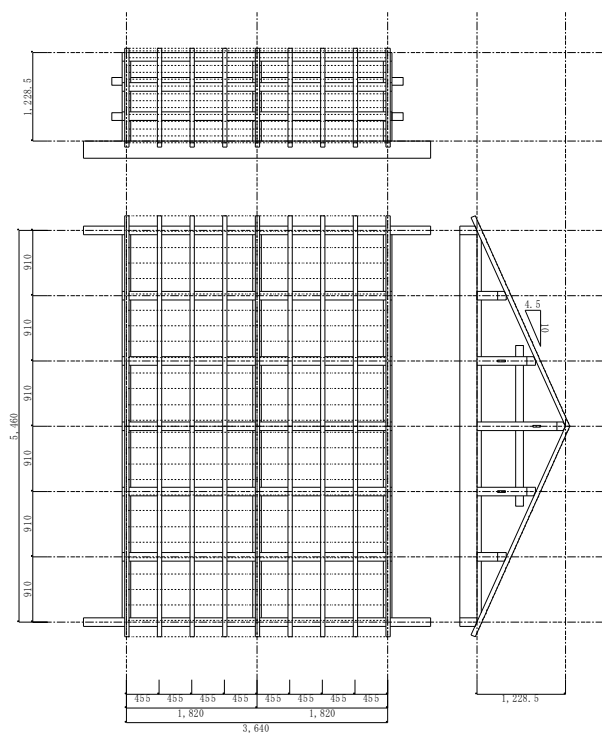


图3. 4. 1-29 RGCBL

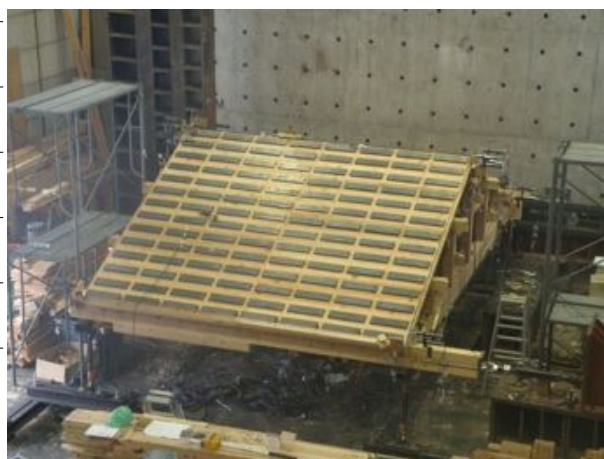


写真3. 4. 1-11 RGCBL

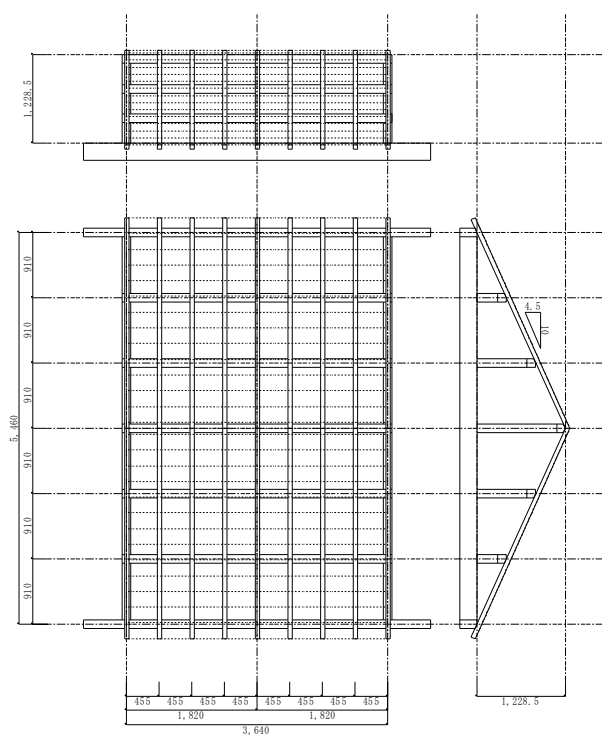


图3. 4. 1-30 RGC0

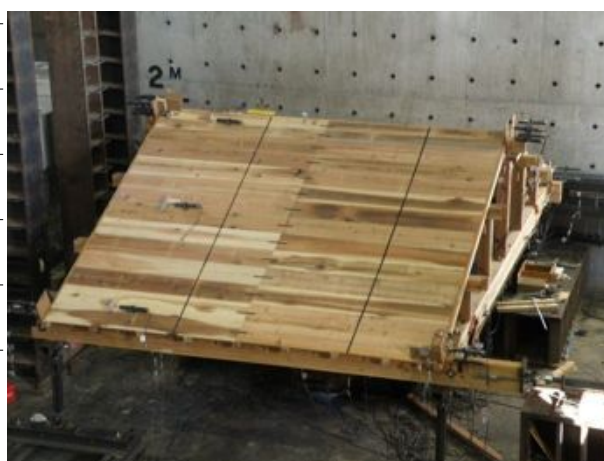


写真3. 4. 1-12 RGC0

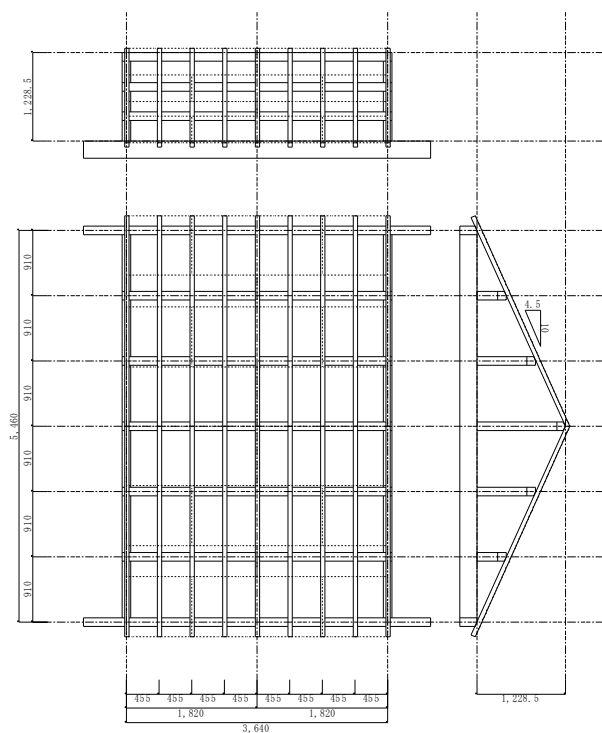


図3. 4. 1-31 RGP0



写真3. 4. 1-13 RGP0

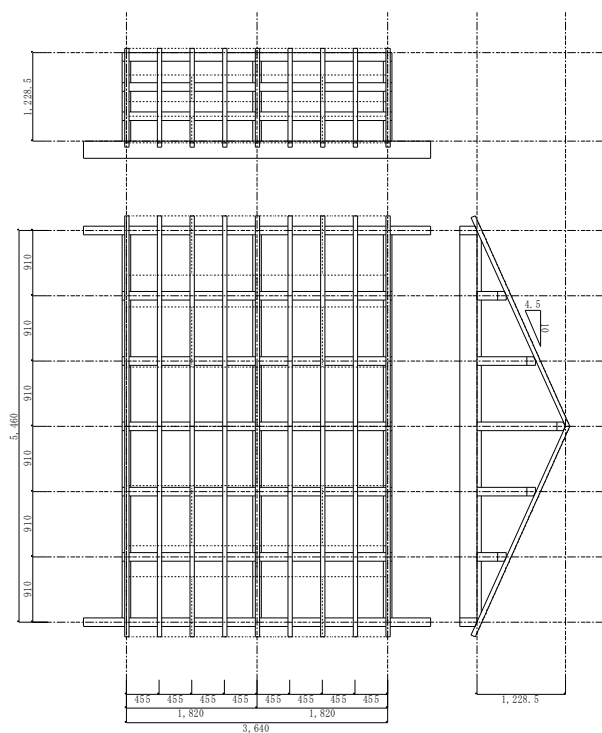


図3. 4. 1-32 RGPOL



写真3. 4. 1-14 RGPOL

(b) 寄棟屋根

寄棟屋根の試験は、5仕様の試験体を各1体ずつ行った。試験体の大きさは3640×5460mm、屋根面の勾配は5寸勾配とした。桁は105×180mm、棟木は105×120mm、束は105×105mm、隅木は120×120mm、垂木は42×75mmであり、すべてスギ材とした。垂木－桁の接合と垂木－棟木の接合は、N125脳天釘打ちとした。垂木－隅木の接合は、2-N75とした。隅木－桁の接合は、2-N90打ちとした。隅木－棟木の接合は、2-N90とした。野地板の割り付けを変えたときの影響を確認するために、RHCDでは、RHCに対して垂木を227.5mmずらして、野地板を千鳥配置にならないようにした。野地板は、伝統仕様と在来仕様の比較を行うために、RHC、RHCD、RHCLで15×240×2000mmのスギ板を用い、RHP、RHPLでは9×910×1820mmの構造用合板を用いた。スギ板は、垂木に対してN45を90mmピッチで釘打ちした。構造用合板は、垂木に対してN50を150mmピッチで釘打ちした。RHCL、RHPLでは瓦荷重を想定し、野地板におもり（1個あたり5.8kg）を314個（総重量1821.2kg、屋根面単位面積あたり69.53kg/m²）ビス止めした。試験体一覧を表3.4.1-8に、部材のヤング係数、含水率を表3.4.1-9に、試験体図を図3.4.1-33～3.4.1-37に、全体写真を写真3.4.1-15～3.4.1-19に示す。

表3.4.1-8 試験体一覧

試験体仕様	試験体名	野地板	野地板－垂木接合	垂木	垂木－桁接合	垂木－棟木接合	小屋貫	積載荷重	備考
寄棟屋根	RHC						×	×	
	RHCD	スギ板 15×240×2000mm	N45@90				×	×	野地板の割付を変更
	RHCL			スギ 42×75mm	N125 脳天打ち	N125 脳天打ち	×	○	
	RHP	合板 9×910×1820mm	N50@150				×	×	
	RHPL						×	○	

表3.4.1-9 部材のヤング係数、含水率

		比重	ヤング率 (N/mm ²)	含水率(%)
平均値	桁	0.44	7779	14.4
	隅木	0.42	8053	11.9
	棟木	0.39	9192	10.8
	束	0.45	7489	11.4
	スギ板	0.38		13.6
	垂木	0.40	8676	14.3
最大値	桁	0.50	10173	16.7
	隅木	0.48	10321	16.5
	棟木	0.49	10305	13.3
	束	0.47	9213	12.7
	スギ板	0.44		17.8
	垂木	0.45	10046	17.2
最小値	桁	0.38	5136	10.8
	隅木	0.34	5678	9.2
	棟木	0.34	8039	9.2
	束	0.43	5603	7.7
	スギ板	0.30		11.2
	垂木	0.35	6871	11.7

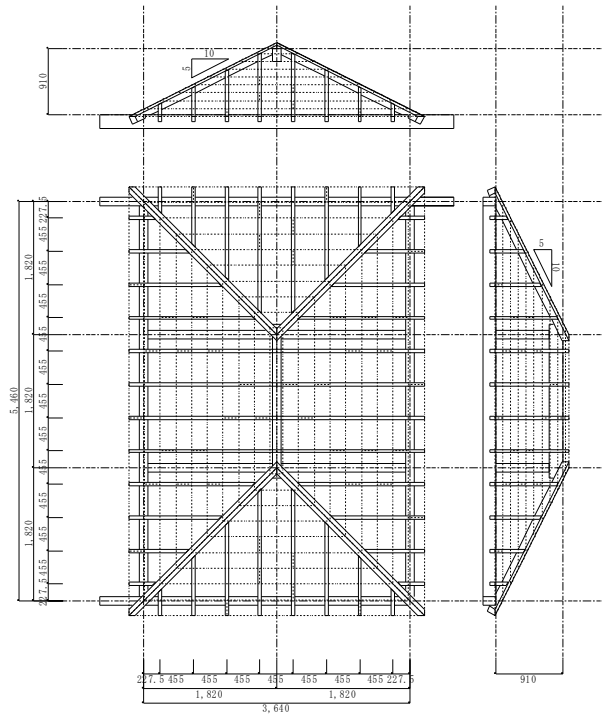


图3. 4. 1-33 RHC

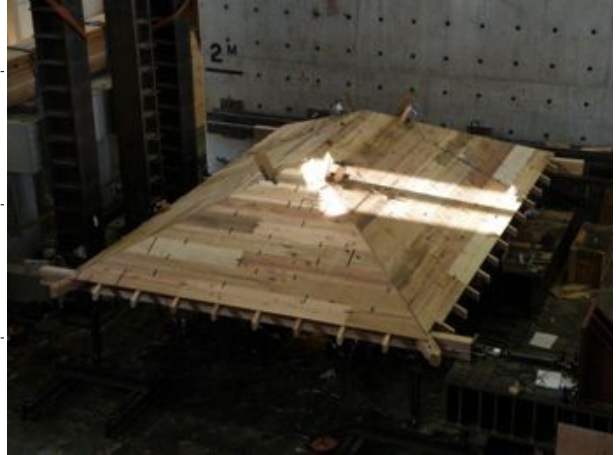


写真3. 4. 1-15 RHC

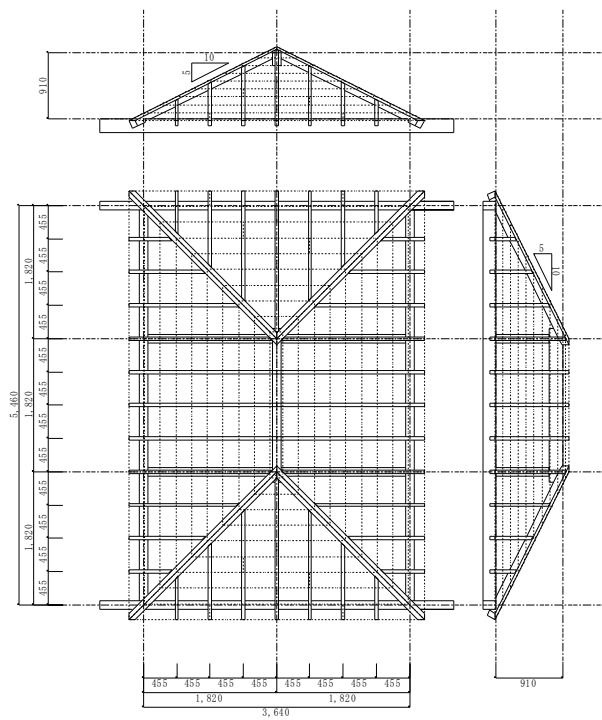


图3. 4. 1-34 RHCD

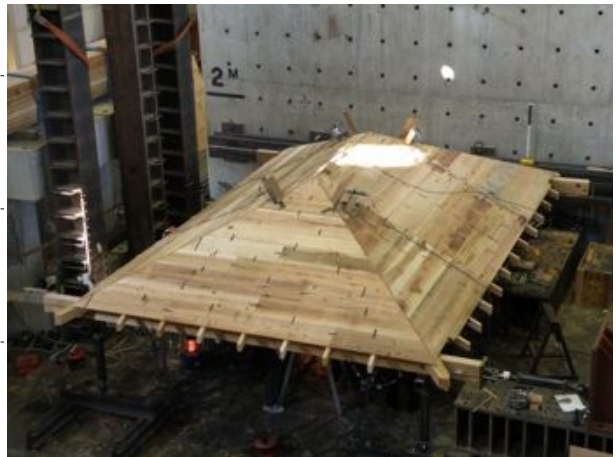


写真3. 4. 1-16 RHCD

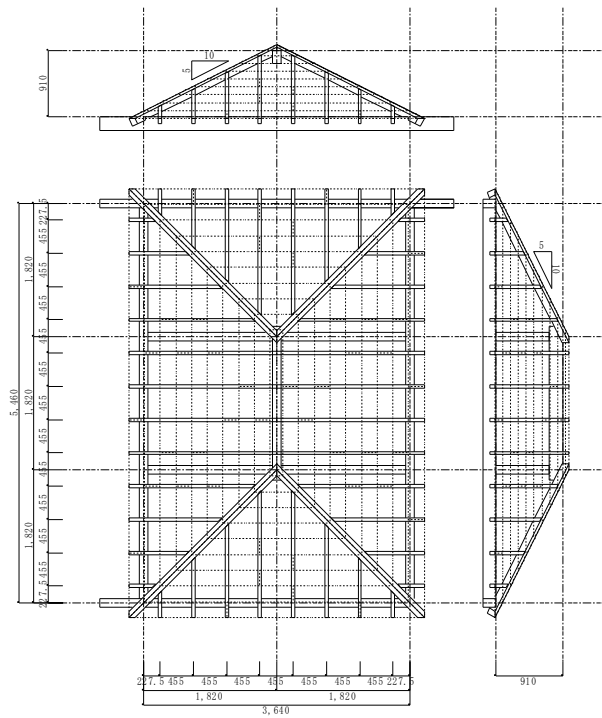


图3. 4. 1-35 RHCL



写真3. 4. 1-17 RHCL

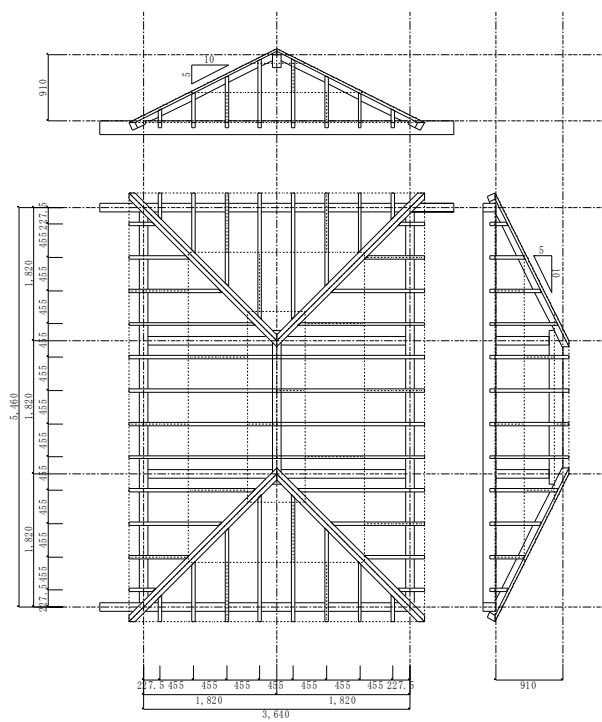


图3. 4. 1-36 RHP

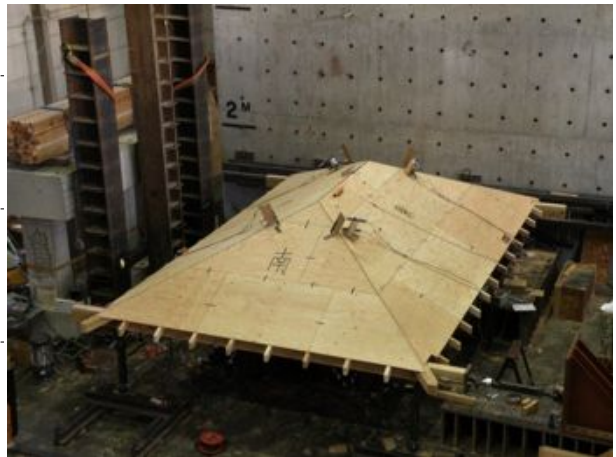


写真3. 4. 1-18 RHP

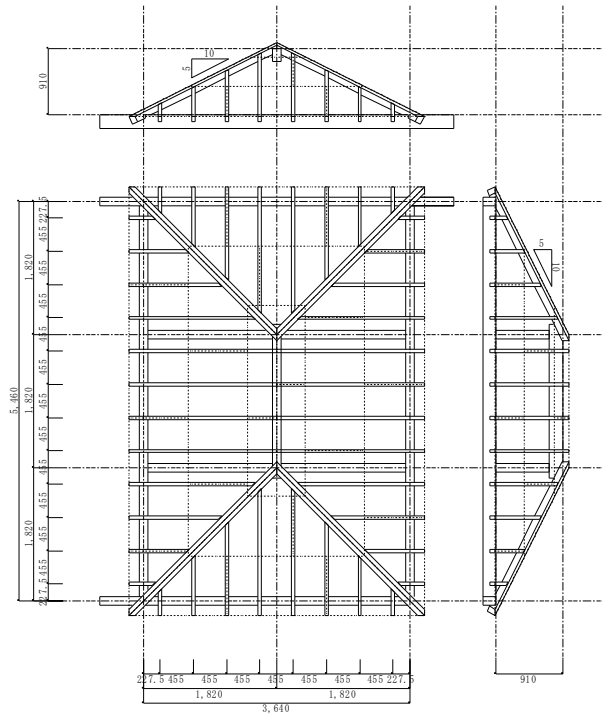


图3. 4. 1-37 RHPL



写真3. 4. 1-19 RHPL

(c) 方形屋根

方形屋根の試験は、3仕様の試験体を各1体ずつ行った。試験体の大きさは3640×3640mm、屋根面の勾配は5寸勾配とした。桁は105×180mm、束は105×105mm、隅木は120×120mm、垂木は42×75mmであり、すべてスギ材とした。垂木－桁の接合は、N125脳天釘打ちとした。垂木－隅木の接合は、2-N75とした。隅木－桁の接合は、2-N90とした。隅木－束の接合は、ほぞ差しのみとした。野地板は、伝統仕様と在来仕様の比較を行うために、RPC、RPCLでは15×240×2000mmのスギ板を用い、RPPLでは9×910×1820mmの構造用合板を用いた。スギ板は、垂木に対してN45を90mmピッチで釘打ちした。構造用合板は、垂木に対してN50を150mmピッチで釘打ちした。RHCL、RHPLでは瓦荷重を想定し、野地板におもり（1個あたり5.8kg）を220個（総重量1276kg、屋根面単位面積あたり70.8kg/m²）ビス止めした。試験体一覧を表3.4.1-10に、部材のヤング係数、含水率を表3.4.1-11に、試験体図を図3.4.1-38～3.4.1-40に、全体写真を写真3.4.1-20～3.4.1-22に示す。

表3.4.1-10 試験体一覧

試験体仕様	試験体名	野地板	野地板－垂木接合	垂木	垂木－桁接合	垂木－棟木接合	小屋貫	積載荷重	備考
方形屋根	RPC	スギ板	N45@90	スギ 42×75mm	N125 脳天打ち	N125 脳天打ち	×	×	
	RPCL	15×240×2000mm					×	○	
	RPPL	合板 9×910×1820mm	N50@150				×	○	

表3.4.1-11 部材のヤング係数、含水率

		比重	ヤング率 (N/mm ²)	含水率(%)
平均値	桁	0.45	7935	15.9
	隅木	0.39	7348	12.9
	束	0.39	8164	10.6
	スギ板	0.38		13.6
	垂木	0.40	8676	14.3
最大値	桁	0.50	9783	18.3
	隅木	0.49	9461	17.7
	束	0.42	8817	11.3
	スギ板	0.44		17.8
	垂木	0.45	10046	17.2
最小値	桁	0.35	6575	13.3
	隅木	0.33	5698	9.5
	束	0.37	6922	10.0
	スギ板	0.30		11.2
	垂木	0.35	6871	11.7

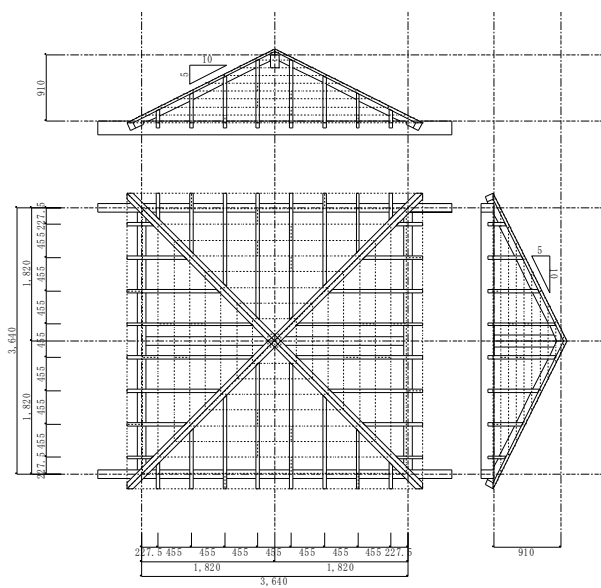


图3. 4. 1-38 RPC

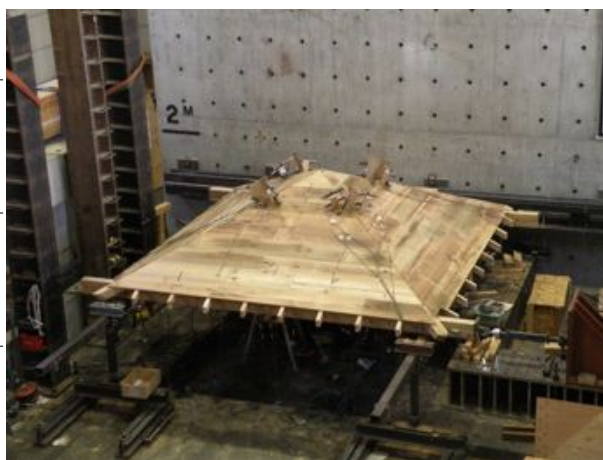


写真3. 4. 1-20 RPC

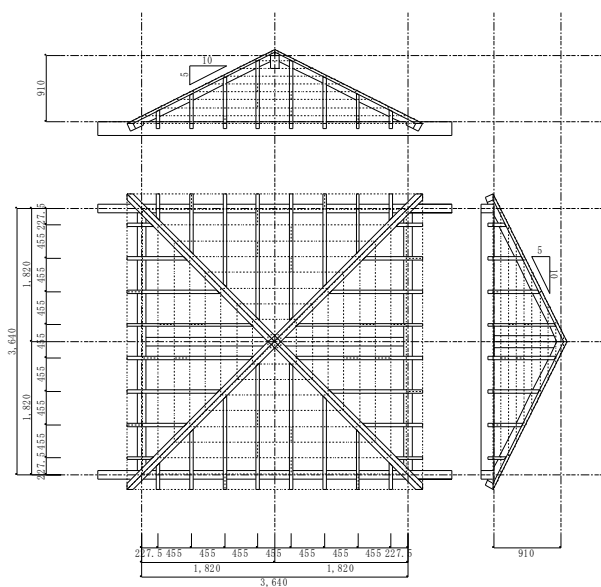


图3. 4. 1-39 RPCL

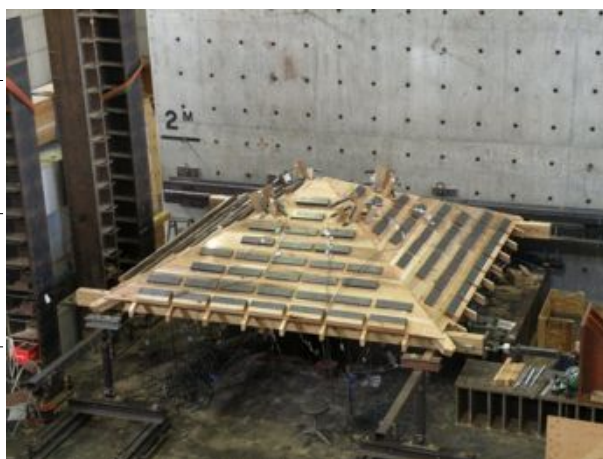


写真3. 4. 1-21 RPCL

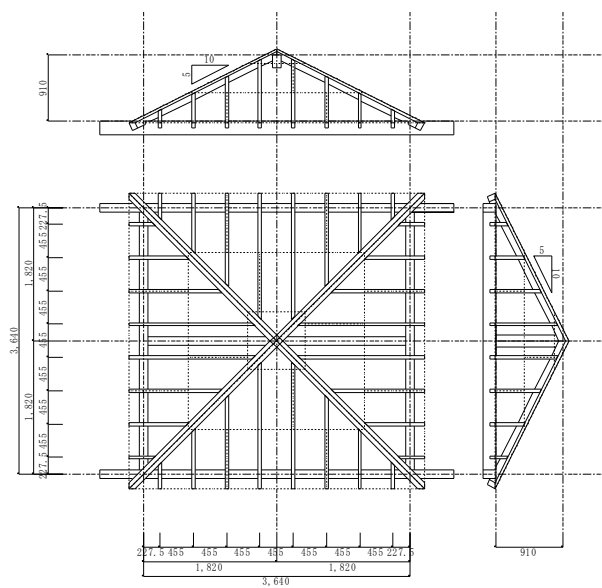


图3. 4. 1-40 RPPL

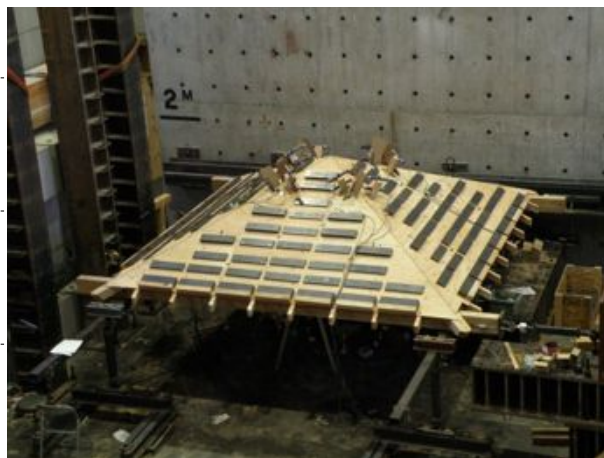


写真3. 4. 1-22 RPPL

3) 試験方法

試験は、(財)日本住宅・木材技術センター「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008年版）」の第6章6.3「鉛直構面及び水平構面の剛性と許容せん断耐力を算定するための試験」に準じて行った。加力方法は正負交番繰り返し加力とし、繰り返しはせん断変形角が $1/450$ 、 $1/300$ 、 $1/200$ 、 $1/150$ 、 $1/100$ 、 $1/75$ 、 $1/50$ 、 $1/30$ 、 $1/15$ 、 $1/10\text{rad}$ の正負変形時に行い、同一変形段階で1回ずつ繰り返した。また、試験体の破壊状況により、これ以上変形が増大することにより野地板の脱落等による危険性があると判断した場合は、 $1/15\text{rad}$ を超える変形またはせん断力が最大耐力の80%以下に低下したことを確認した上で試験を中止した。

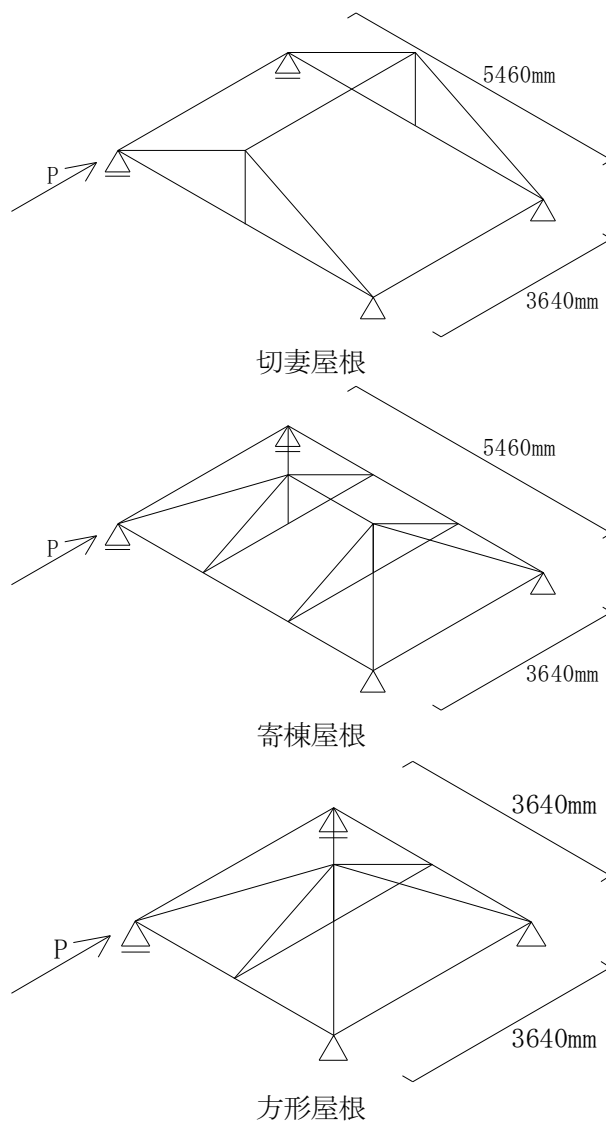


図3. 4. 1-41 試験方法

4) 試験結果

(a) 切妻屋根

各試験体の破壊状況を写真3.4.1-23～3.4.1-28に、各試験体のせん断力 Q －変形角 R 関係の履歴曲線を図3.4.1-42に、包絡線を図3.4.1-43～3.4.1-44に示す。



全体



垂木－野地板接合部



垂木－桁接合部



垂木－棟接合部



小屋組



野地板のズレ

写真3. 4. 1-23 RGCの破壊状況 (1/15rad時)



全体



垂木－野地板接合部



垂木－桁接合部



垂木－棟接合部



小屋組



野地板のズレ

写真3. 4. 1-24 RGCBの破壊状況 (1/15rad時)



全体



垂木－野地板接合部



垂木－桁接合部



垂木－棟接合部

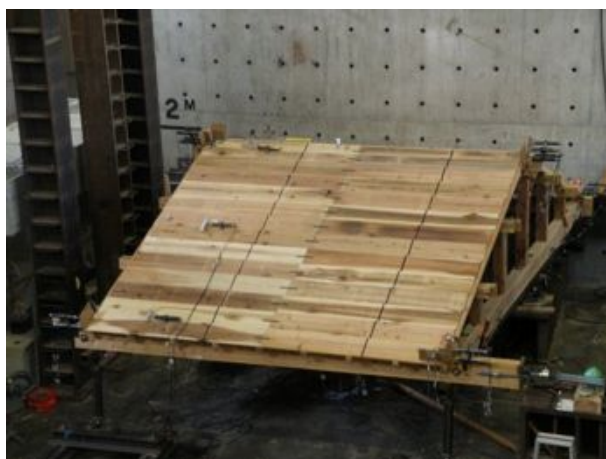


小屋組



野地板のズレ

写真3. 4. 1-25 RGCBLの破壊状況 (1/15rad時)



全体



垂木－野地板接合部



垂木－桁接合部



垂木－棟接合部



小屋組



野地板のズレ

写真3. 4. 1-26 RGC0の破壊状況 (1/10rad時)



全体



垂木－野地板接合部



垂木－桁接合部



垂木－棟接合部



小屋組



野地板のズレ

写真3. 4. 1-27 RGP0の破壊状況 (1/15rad時)



全体



垂木－野地板接合部



垂木－桁接合部



垂木－棟接合部



小屋組



野地板のズレ

写真3. 4. 1-28 RGPOLの破壊状況 (1/15rad時)

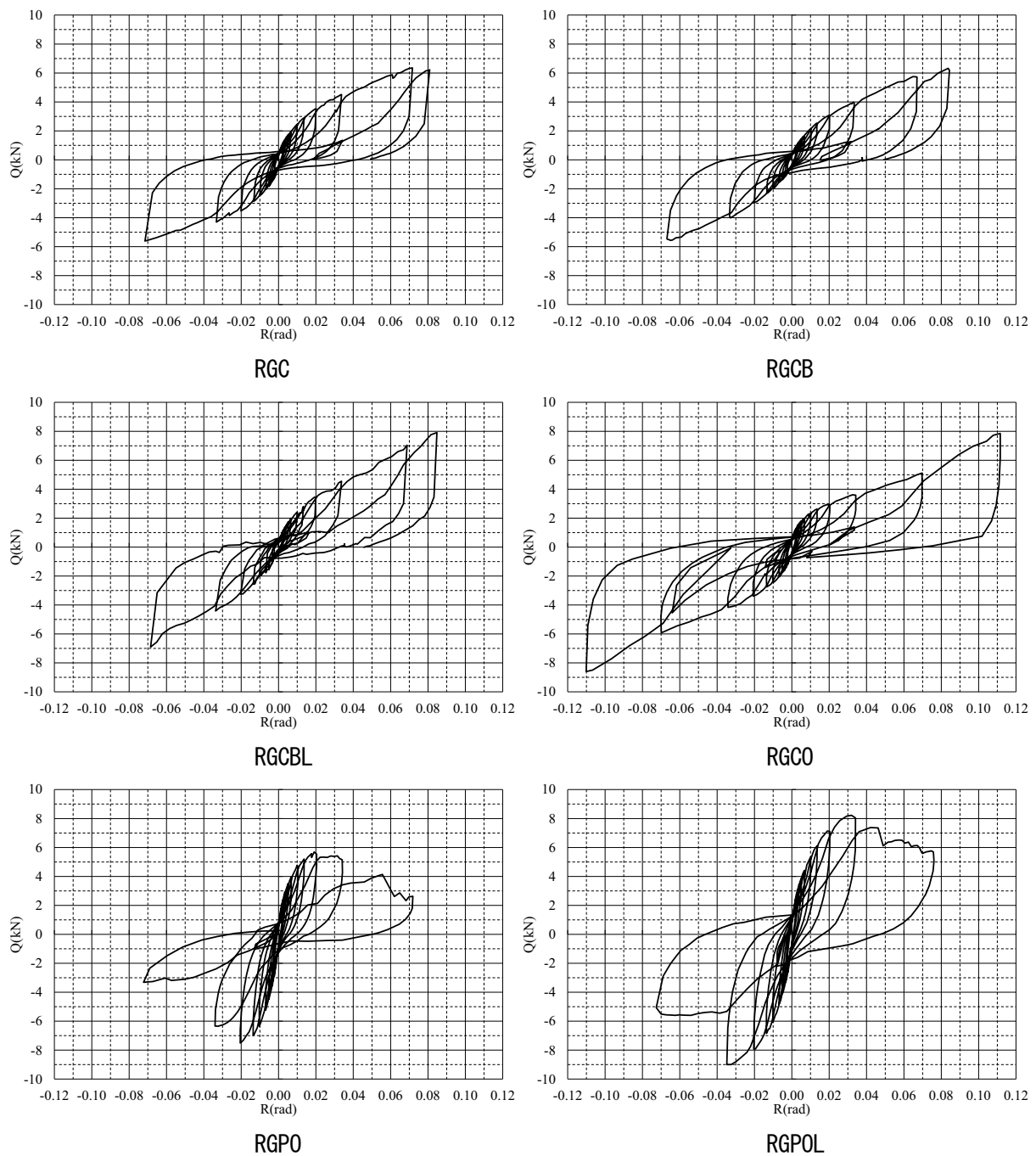


図3. 4. 1-42 切妻屋根試験体のせん断力 Q —変形角 R 関係の履歴曲線

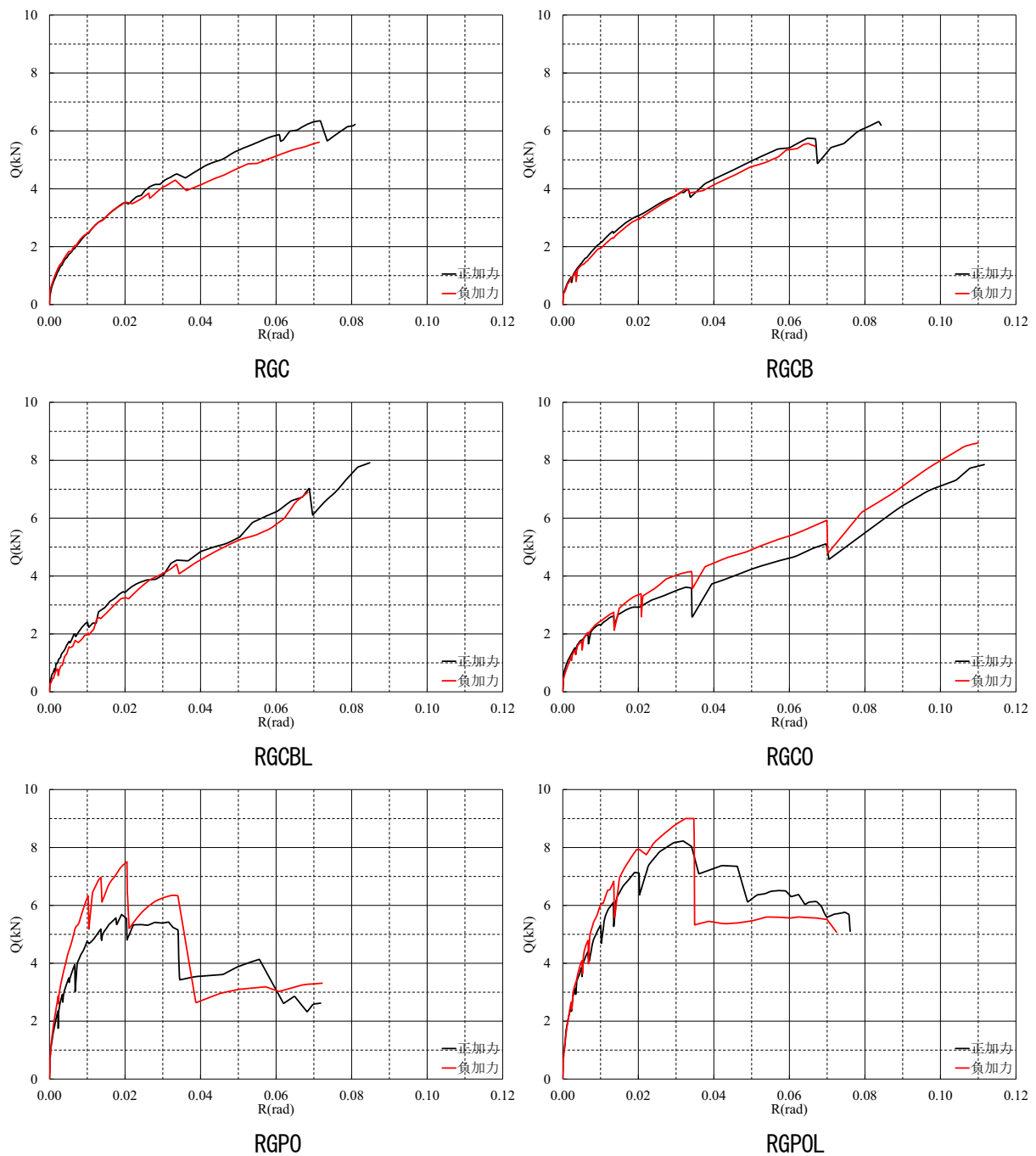


図3. 4. 1-43 切妻屋根試験体のせん断力 Q —変形角 R 関係の包絡線

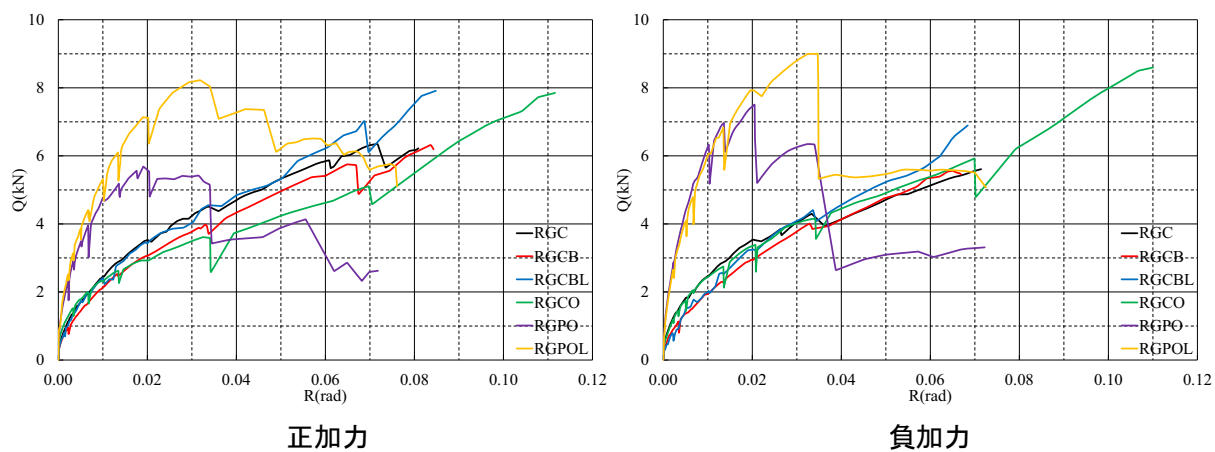


図3. 4. 1-44 切妻屋根試験体のせん断力 Q —変形角 R 関係の包絡線の比較

①伝統仕様切妻屋根

野地板が杉板で垂木一桁、棟木接合部がN125脳天釘打ちのRGC、RGCB、RGCBLでは、すべての試験体で野地板－垂木接合部の面材釘のせん断すべりによる面材のずれが顕著に見られ、垂木一桁、棟木接合部の垂木軸方向及びせん断方向の変形はほとんど確認できなかった。これは、垂木一桁、棟木接合部がN125脳天釘打ちで垂木軸方向及びせん断方向の強度が高く、野地板の幅が小さいために野地板－垂木接合部の面材釘のせん断による抵抗モーメントが低かったことが原因であると考えられる。

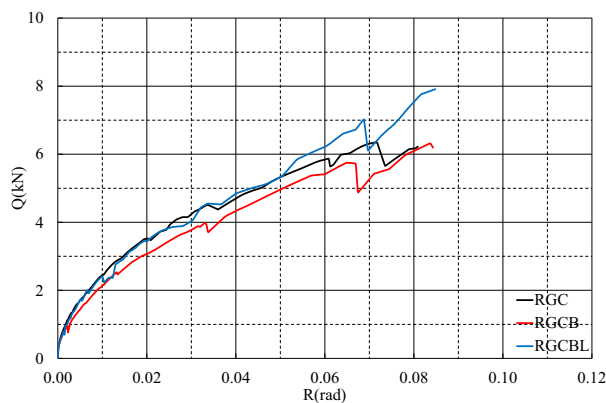


図3. 4. 1-45 伝統仕様切妻屋根（RGC、RGCB、RGCBL）

瓦荷重を考慮したRGCBLでは、RGCBと比較した結果、瓦荷重の影響により垂木一桁、棟木接合部の引き抜け強度が高くなり、若干ではあるが屋根構面の耐力が高くなった。しかし、垂木一桁、棟木接合部がN125脳天釘打ちで強度が高く、野地板の幅が小さいために野地板－垂木接合部の面材釘のせん断による抵抗モーメントが低いいため、面材のずれによる変形が多く見られ、瓦荷重の有無による耐力の差はあまり大きくならなかった。

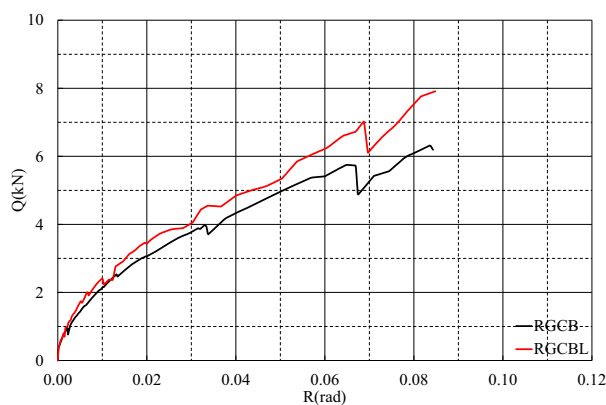


図3. 4. 1-46 瓦荷重の有無の比較（RGCB、RGCBL）

小屋貫を設けたRGCBでは、小屋貫により小屋束が拘束されていることから小屋束の傾斜が見られなかったが、小屋貫を設けていないRGCでも小屋束の傾斜が見られなかったため、小屋貫による小屋束の拘束効果は確認できなかった。また、RGC、RGCBの試験結果の比較からも小屋貫による耐力の差は確認できなかった。小屋貫の有無により耐力の差が現れなかったのは、垂木-桁接合部の垂木軸方向の強度が高かったことにより、桁に対する屋根面全体の回転が殆ど生じず、小屋束が垂木軸方向に傾斜しなかったことが原因である。また、RGCでは、屋根面上部の杉板で、せん断ずれの際に隣接する板の角が引っかかり杉板同士に隙間が生じたため、RGCBよりも耐力が若干高くなった。

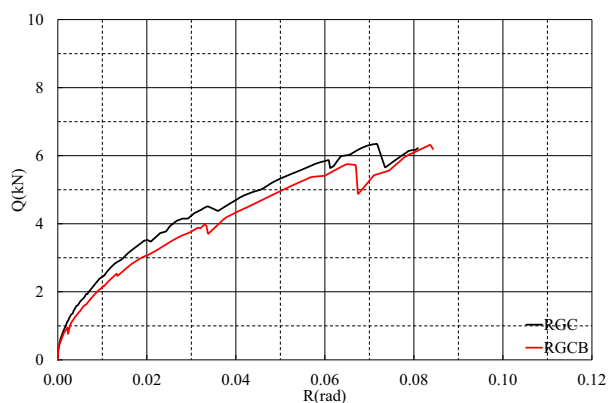


図3. 4. 1-47 小屋貫の有無の比較 (RGC、RGCB)



RGC

RGCB

写真3. 4. 1-29 野地板のずれ

野地板が杉板で垂木一桁、棟木接合部が2-N75斜め釘打ちのRGCOでは、垂木一桁、棟木接合部がN125脳天釘打ちのRGCと比較して、垂木一棟木接合部の垂木軸方向の変形はどちらもあまり見られなかったが、RGCOの方が垂木一桁接合部の垂木軸方向の変形が大きくなり、その結果、RGCに比べRGCOの耐力は低くなった。これは、N125脳天釘打ちに比べて2-N75斜め釘打ちのせん断強度が低いことが原因である。また、RGCOでは、垂木一棟木接合部の垂木軸方向の変形は小さく、垂木一桁接合部の垂木軸方向の変形が大きくなったため、棟木は屋根構面の回転に追従し、若干ではあるが小屋束の垂木軸方向への傾斜が確認できた。

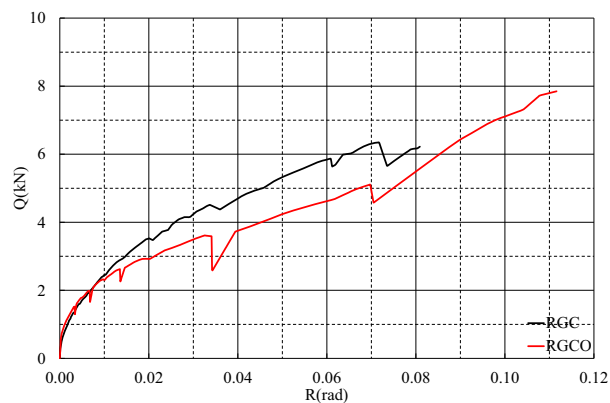


図3. 4. 1-48 垂木一桁、棟木接合部仕様の比較 (RGC、RGCO)



写真3. 4. 1-30 垂木一桁接合部の破壊状況



写真3. 4. 1-31 RGCOの小屋束の傾斜

②在来仕様切妻屋根

野地板が構造用合板で垂木一桁、棟木接合部がN125脳天釘打ちのRGPO、RGPOLでは、すべての試験体で垂木一桁接合部の垂木軸方向の変形と小屋束の垂木軸方向への傾斜が顕著に見られ、垂木一桁接合部のせん断方向の変形、垂木一棟木接合部の垂木軸方向及びせん断方向の変形、野地板一垂木接合部の面材釘のせん断すべりによる面材のずれはあまり確認できなかった。これは、野地板の幅が大きいことにより野地板一垂木接合部の面材釘のせん断による強度が高く、垂木一桁接合部が2・N75斜め釘打ちで垂木軸方向の強度が低かったことが原因である。また、小屋貫や妻壁を設けていなかったため、垂木一棟木接合部の垂木軸方向の変形が見られず、棟木は屋根構面の回転に追従し、小屋束が垂木軸方向へ傾斜した。

瓦荷重を考慮したRGPOLでは、RGPOと比較した結果、瓦荷重により垂木一桁、棟木接合部の強度が高くなり、変形が進むにつれて屋根構面の耐力は大幅に高くなった。また、伝統仕様のRGCBLとRGCBLの耐力の差（図3.4.1-49）に比べて、RGPOとRGPOLの耐力の差が大きくなった原因としては、在来仕様では垂木一桁、棟木接合部が2・N75斜め釘打ちでせん断強度が低く、合板野地板一垂木接合部の面材釘のせん断による抵抗モーメントが高いためである。

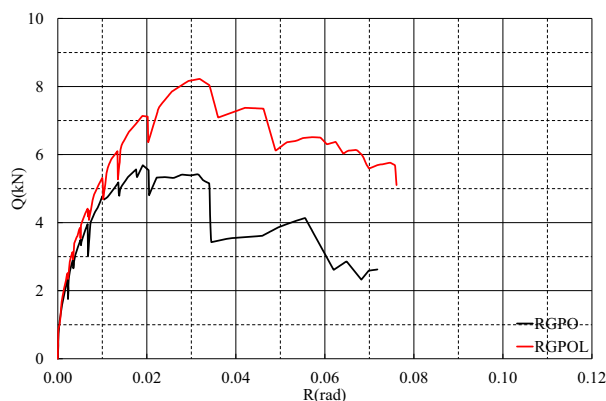


図3. 4. 1-49 瓦荷重の有無の比較 (RGPO、RGPOL)



写真3. 4. 1-32 垂木一桁接合部 (RGPO)



写真3. 4. 1-33 小屋束の傾斜 (RGPO)

③伝統仕様切妻屋根と在来仕様切妻屋根の比較

野地板が杉板の伝統仕様のRGCOと野地板が構造用合板の在来仕様のRGPOを比較すると、RGPOでは剛性が高く1/50rad付近で耐力低下を起こしているのに対し、RGCOでは剛性は低い、1/10radを超えても耐力低下を起こさず、1/12rad付近ではRGPOの最大耐力よりも耐力は高くなった。在来仕様のRGPOでは、垂木－桁接合部の垂木軸方向の変形が大きく、垂木－桁接合部の釘が外れることにより耐力低下を起こしたため、脆性的な破壊となったが、伝統仕様のRGCOでは、野地板－垂木接合部の面材釘のせん断すべりによる面材のずれが大きく、垂木－桁接合部の釘が外れることなく変形したため、靱性的な破壊となった。

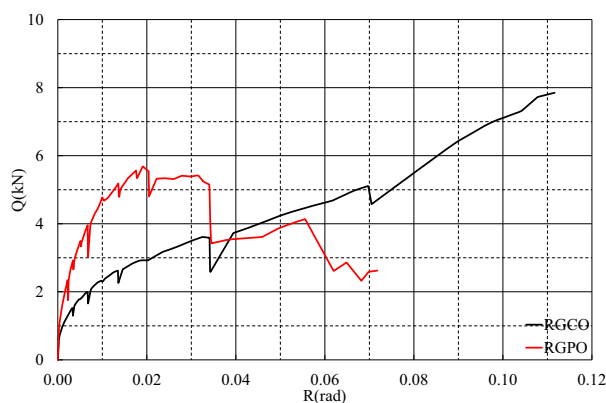


図3. 4. 1-50 伝統仕様と在来仕様の比較 (RGCO、RGPO)



垂木－桁接合 (RGCO)



垂木－桁接合 (RGPO)



野地板のズレ (RGCO)



野地板のズレ (RGPO)

写真3. 4. 1-34 伝統仕様と在来仕様の比較

④完全弾塑性評価

切妻屋根試験体の完全弾塑性評価結果を図3.4.1-51、表3.4.1-12に示す。完全弾塑性評価は、変形角が $1/15\text{rad}$ までのせん断力 Q －変形角 R 関係の包絡線で行い、試験体は各1体ずつしか行っていないので、特性値はばらつきを考慮せずに算出した。

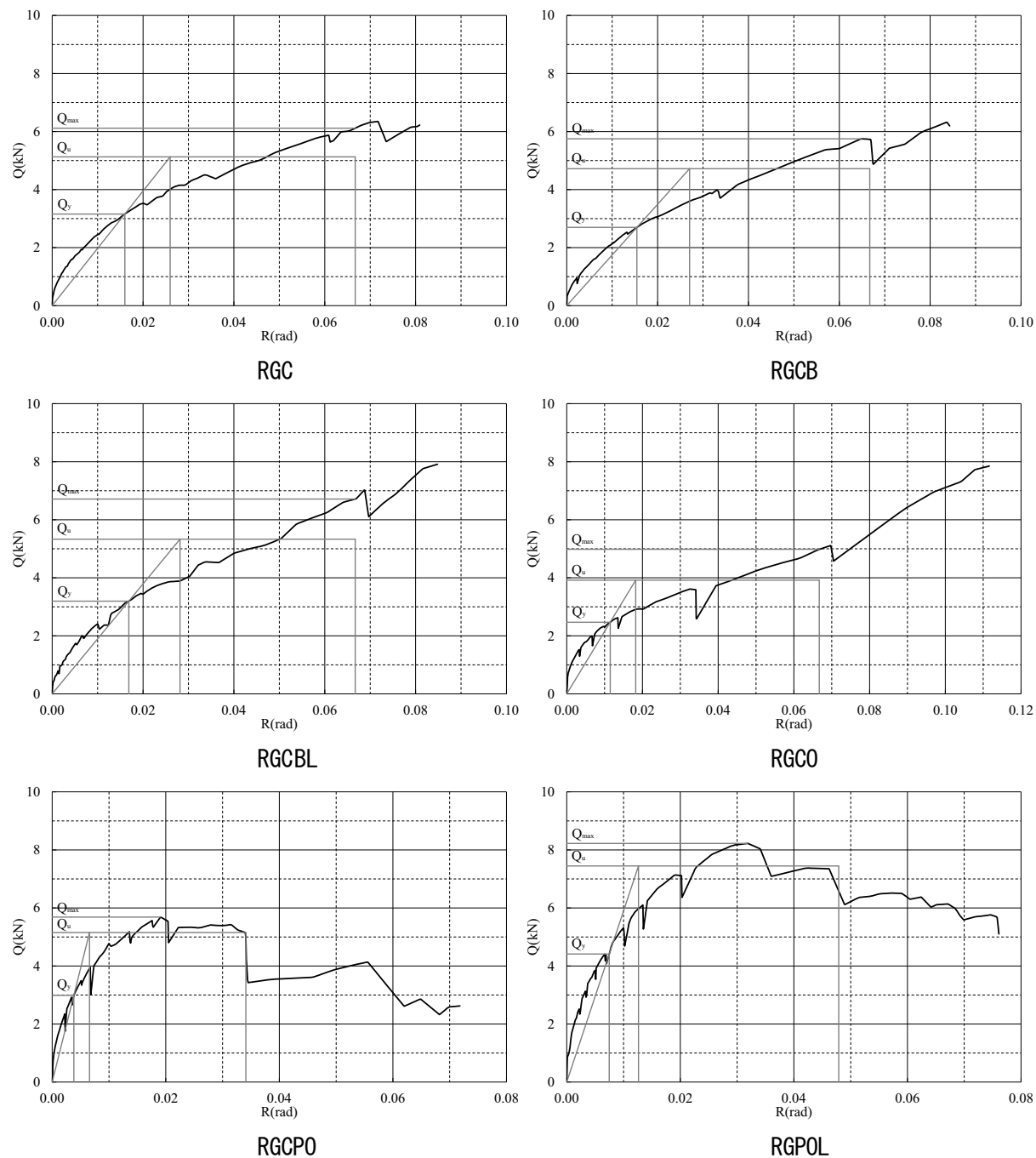


図3. 4. 1-51 切妻屋根試験体の完全弾塑性評価

表3. 4. 1-12 切妻屋根試験体の完全弾塑性評価結果

		RGC	RGCB	RGCBL	RGCO	RGPO	RGPOL	
K	(kN/rad)	197	175	189	215	783	590	K : 剛性
Q _y	(kN)	3.16	2.70	3.20	2.47	2.99	4.41	Q _y : 降伏耐力
Q _u	(kN)	5.13	4.72	5.33	3.92	5.15	7.45	Q _u : 終局耐力
Q _{max}	(kN)	6.12	5.75	6.71	4.98	5.69	8.22	Q _{max} : 最大耐力
Q _{1/600}	(kN)	0.97	0.84	0.90	1.16	2.05	2.19	Q _{1/600} : 1/600rad 時の耐力
Q _{1/450}	(kN)	1.14	0.91	1.03	1.29	2.21	2.48	Q _{1/450} : 1/450rad 時の耐力
Q _{1/300}	(kN)	1.36	1.16	1.34	1.45	2.89	3.06	Q _{1/300} : 1/300rad 時の耐力
Q _{1/200}	(kN)	1.71	1.44	1.71	1.79	3.46	3.85	Q _{1/200} : 1/200rad 時の耐力
Q _{1/150}	(kN)	1.93	1.67	2.00	1.99	3.94	4.40	Q _{1/150} : 1/150rad 時の耐力
Q _{1/120}	(kN)	2.22	1.93	2.19	2.20	4.30	4.87	Q _{1/120} : 1/120rad 時の耐力
Q _{1/100}	(kN)	2.45	2.14	2.41	2.30	4.77	5.32	Q _{1/100} : 1/100rad 時の耐力
Q _{1/75}	(kN)	2.87	2.50	2.80	2.62	5.13	6.09	Q _{1/75} : 1/75rad 時の耐力
Q _{1/50}	(kN)	3.52	3.05	3.44	2.93	5.59	7.12	Q _{1/50} : 1/50rad 時の耐力
Q _{1/30}	(kN)	4.49	3.94	4.52	3.60	5.20	8.10	Q _{1/30} : 1/30rad 時の耐力
Q _{1/15}	(kN)	6.11	5.73	6.71	4.98	-	6.13	Q _{1/15} : 1/15rad 時の耐力
R _y	(rad)	0.0160	0.0154	0.0169	0.0115	0.0038	0.0075	R _y : 降伏変形角
R _v	(rad)	0.0260	0.0270	0.0281	0.0182	0.0066	0.0126	R _v : 降伏点変形角
R _u	(rad)	0.0667	0.0667	0.0667	0.0667	0.0341	0.0479	R _u : 終局変形角
μ	(-)	2.57	2.47	2.37	3.66	5.18	3.79	μ : 塑性率
D _s	(-)	0.49	0.50	0.52	0.40	0.33	0.39	D _s : 構造特性係数

各特性値を比較してみると、剛性Kでは伝統仕様（RGC、RGCB、RGCBL、RGCO）と在来仕様（RGPO、RGPOL）で大きな差が見られ、特に剛性Kが小さいRGC、RGCB、RGCBLではμが2.4程度と低い値となった。降伏耐力Q_y及び最大耐力Q_{max}では、垂木－桁接合部の強度が低いRGCO、RGPOが低く、また、同じ接合方法のRGPOLでは、瓦荷重の影響により垂木－桁接合部の強度が高くなったため、RGPOと比較して降伏耐力Q_y及び最大耐力Q_{max}は1.4～1.5倍の耐力の向上がみられた。

(b) 寄棟屋根

各試験体の破壊状況を写真3.4.1-35～3.4.1-44に、各試験体のせん断力 Q －変形角 R 関係の履歴曲線を図3.4.1-52に、包絡線を図3.4.1-53～3.4.1-54に示す。



全体



隅木－桁接合部



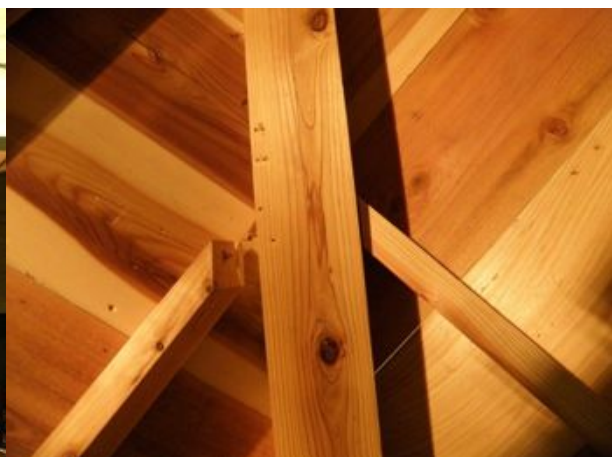
隅木－桁接合部



垂木－桁接合部（小平面）



垂木－桁接合部（大平面）



垂木－隅木接合部

写真3. 4. 1-35 RHCの破壊状況（1/10rad時）



隅木－棟木接合部



小屋束



小屋組



小平面



大平面



野地板の隅木、棟木の継ぎ目

写真3. 4. 1-36 RHCの破壊状況 (1/10rad時)



全体



隅木一桁接合部



隅木一桁接合部



垂木一桁接合部（小平面）



垂木一桁接合部（大平面）



垂木一隅木接合部

写真3. 4. 1-37 RHCDの破壊状況（1/10rad時）



隅木－棟木接合部



小屋束



小屋組



小平面



大平面



野地板の隅木、棟木の継ぎ目

写真3. 4. 1-38 RHCDの破壊状況 (1/10rad時)



全体



隅木一桁接合部



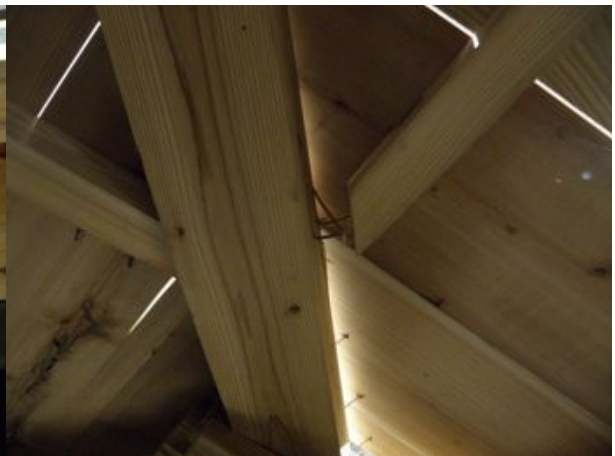
隅木一桁接合部



垂木一桁接合部（小平面）



垂木一桁接合部（大平面）



垂木一隅木接合部

写真3. 4. 1-39 RHCLの破壊状況（1/15rad時）



隅木－棟木接合部



小屋束



小屋組



小平面

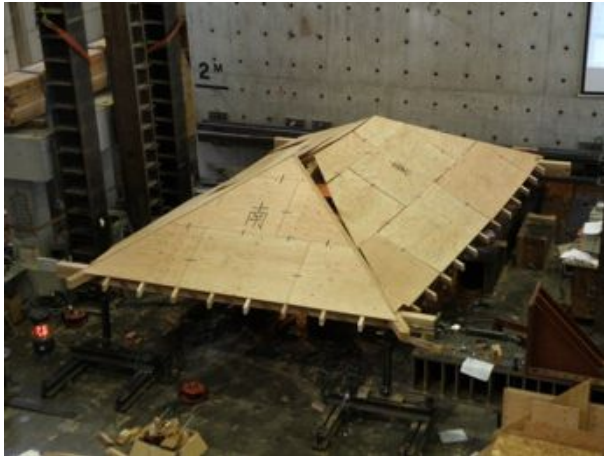


大平面



野地板の隅木、棟木の継ぎ目

写真3. 4. 1-40 RHCLの破壊状況 (1/15rad時)



全体



隅木－桁接合部



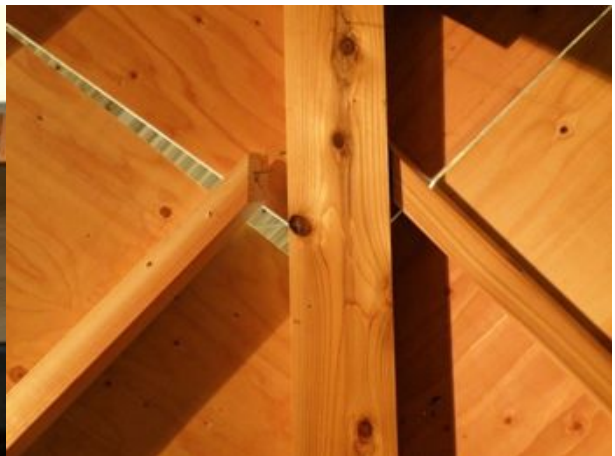
隅木－桁接合部



垂木－桁接合部（小平面）



垂木－桁接合部（大平面）



垂木－隅木接合部

写真3. 4. 1-41 RHPの破壊状況（1/10rad時）



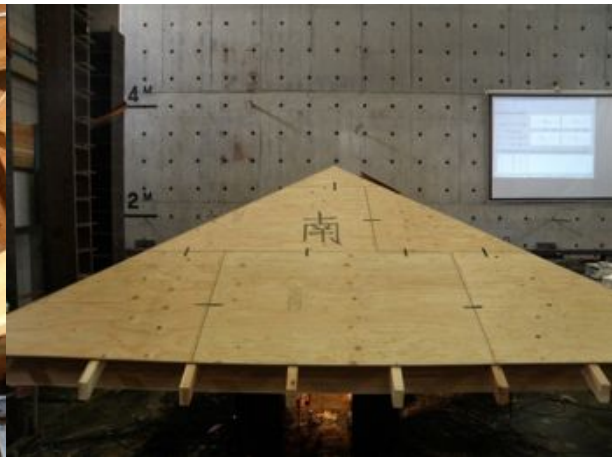
隅木－棟木接合部



小屋束



小屋組



小平面



大平面



野地板の隅木、棟木の継ぎ目

写真3. 4. 1-42 RHPの破壊状況 (1/10rad時)



全体



隅木一桁接合部



隅木一桁接合部



垂木一桁接合部（小平面）



垂木一桁接合部（大平面）



垂木一隅木接合部

写真3. 4. 1-43 RHPLの破壊状況（1/15rad時）



隅木－棟木接合部



小屋束



小屋組



小平面



大平面



野地板の隅木、棟木の継ぎ目

写真3. 4. 1-44 RHPLの破壊状況 (1/15rad時)

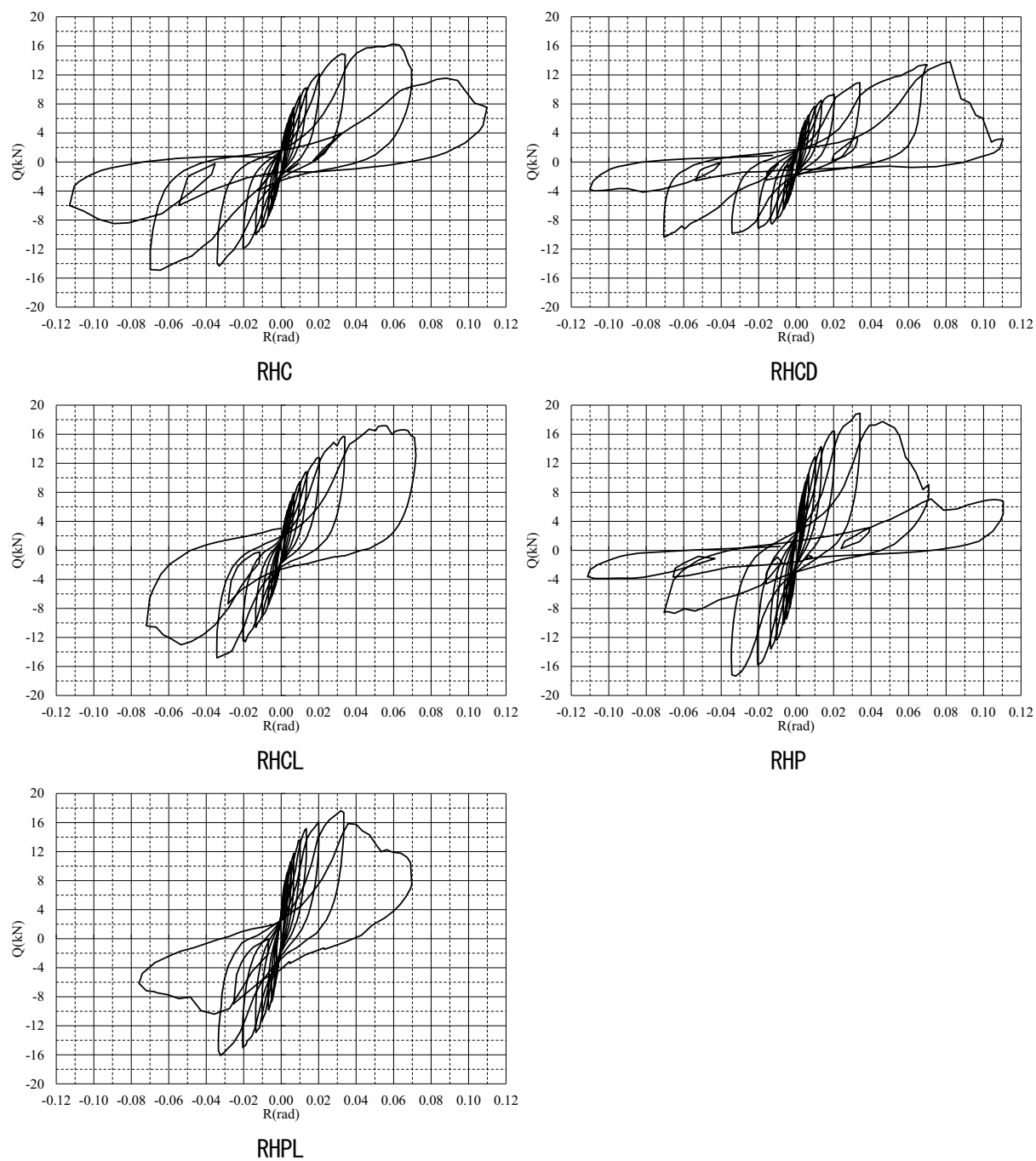


図3. 4. 1-52 寄棟屋根試験体のせん断力 Q —変形角 R 関係の履歴曲線

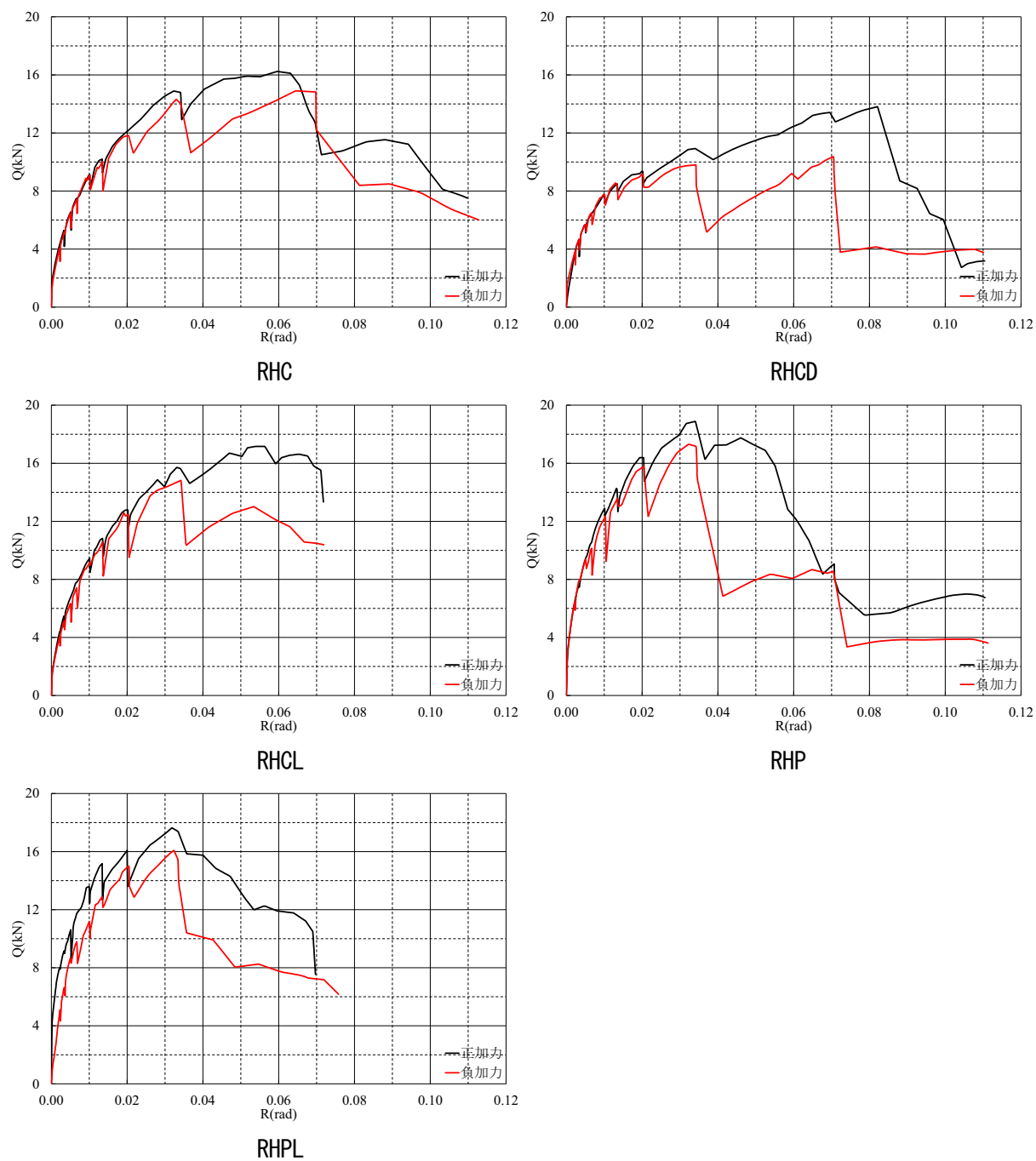


図3. 4. 1-53 寄棟屋根試験体のせん断力 Q —変形角 R 関係の包絡線

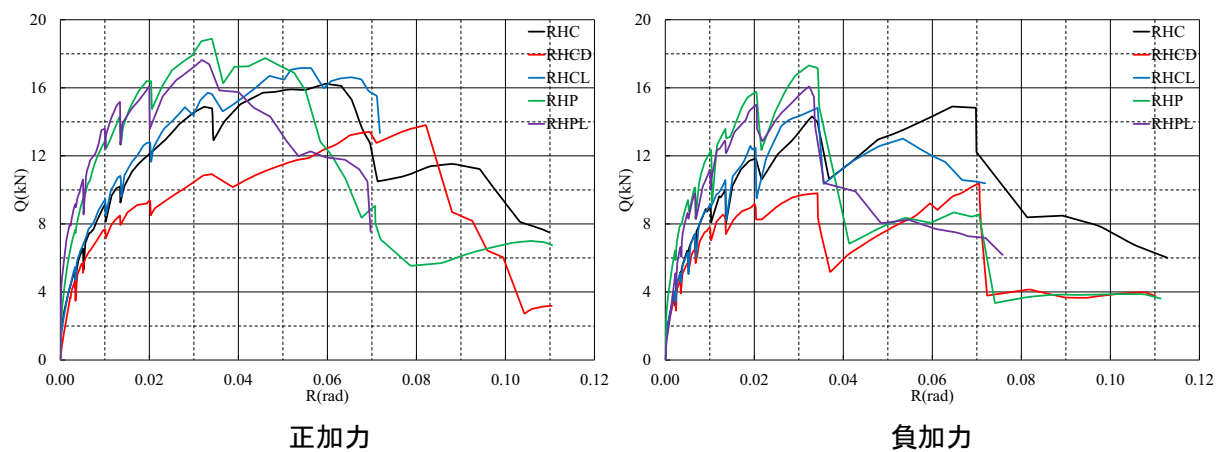


図3.4.1-54 寄棟屋根試験体のせん断力 Q —変形角 R 関係の包絡線の比較

①伝統仕様寄棟屋根

野地板が杉板のRHC、RHCLでは、野地板－垂木接合部の面材釘のせん断すべりによる面材のずれ、隅木－桁接合部の隅木軸方向の変形、小屋束の傾斜、大平面での野地板と垂木の隅木から外れる変形が見られた。隅木付近の垂木－桁接合部は、隅木が変形する隅木軸方向に引っ張られるように垂木軸方向及びせん断方向に変形したが、大平面が隅木から離れるにつれて垂木－桁接合部はあまり大きな変形は見られず、大平面では野地板がS字型に変形した。RHC、RHCLの耐力は1/20rad付近まで上がり続けたが、小屋束が傾斜する方向に隅木－棟木接合部が外れ、その後、大平面での野地板と垂木の隅木から外れる破壊、隅木が棟木から外れることにより野地板を押し上げて垂木－棟木接合部が外れる破壊が顕著になり、耐力が低下し始めた。また、RHCLでは瓦荷重の影響により隅木が面外方向に外れなかったが、RHCでは隅木が面外方向に外れる破壊が見られた。

瓦荷重を考慮したRHCLでは、RHCと比較した結果、瓦荷重の影響により隅木－桁、棟木接合部及び垂木－桁、棟木接合部の強度が高くなり、若干ではあるが耐力が高くなった。しかし、垂木－桁、棟木接合部と隅木－桁、棟木接合部の強度が高く、野地板の幅が小さいために野地板－垂木接合部の面材釘のせん断による強度が低いいため、面材のずれによる変形が多く見られ、瓦荷重の有無による耐力の差はあまり大きくならなかった。

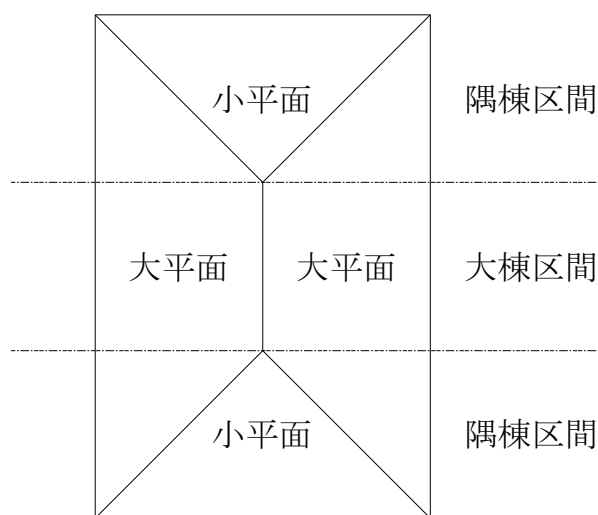


図3. 4. 1-55 寄棟屋根の部位名称

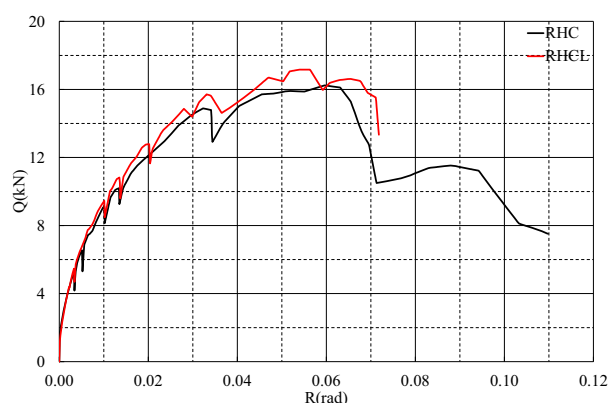


図3. 4. 1-56 瓦荷重の有無の比較 (RHC、RHCL)



RHC

RHCL

写真3. 4. 1-45 大平面のS字型変形

野地板を千鳥配置とはせず大棟区間と隅棟区間で区切ったRHCDでは、大棟区間の野地板－垂木接合部の面材釘のせん断すべりによる面材のずれ、隅木－桁接合部の隅木軸方向の変形、小屋束の傾斜が見られ、隅棟区間の野地板のずれは見られなかった。隅木付近の垂木－桁接合部は、隅木が変形する隅木軸方向に引っ張られるように垂木軸方向及びせん断方向に変形した。野地板は、大棟区間と隅棟区間で区切っているため、大棟区間の野地板での面材のずれが顕著になり、RHCより大平面での野地板はS字型に大きく変形した。RHCDの耐力は1/12rad付近まで上がり続けたが、小屋束が傾斜する方向に隅木－棟木接合部が外れ、その後、大棟区間の野地板が垂木から外れる破壊、垂木－棟木接合部が外れる破壊が顕著になり耐力が大幅に低下した。また、RHCDではRHCで見られた隅木が面外方向に外れる破壊は見られなかった。

RHCDとRHCと比較した結果、RHCDでは野地板を千鳥に配置しなかったため、隅棟区間の野地板の損傷はほとんど見られず、大棟区間の野地板のみが大きく変形してしまったため、RHCよりも大幅に耐力は低い結果となった。

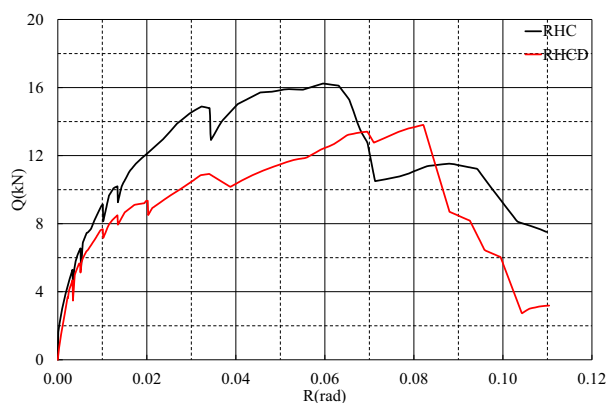


図3. 4. 1-57 の比較 (RHC、RHCD)



写真3. 4. 1-46 野地板の変形

②在来仕様寄棟屋根

野地板が構造用合板のRHP、RHPLでは、大平面での野地板－垂木接合部の面材釘のせん断すべりによる面材のずれ、隅木－桁接合部の隅木軸方向の変形、小屋束の傾斜、大平面での野地板と垂木の隅木からの外れが見られ、小平面の野地板のずれは見られなかった。隅木付近の垂木－桁接合部は、隅木が変形する隅木軸方向に引っ張られるように垂木軸方向及びせん断方向に変形したが、大平面の隅木から離れるにつれて垂木－桁接合部はあまり大きな変形は見られず、大平面ではS字型に変形した。RHP、RHPLの耐力は1/30rad付近まで上がり続けたが、小屋束が傾斜する方向に隅木－棟木接合部が外れ、その後、大平面での野地板－垂木接合部の面材釘のせん断すべりによる面材のずれ、大平面での野地板と垂木の隅木から外れる破壊が顕著になり耐力が低下し始めた。

瓦荷重を考慮したRHPLとRHPを比較した結果、瓦荷重の有無による耐力の差はあまり見られなかった。

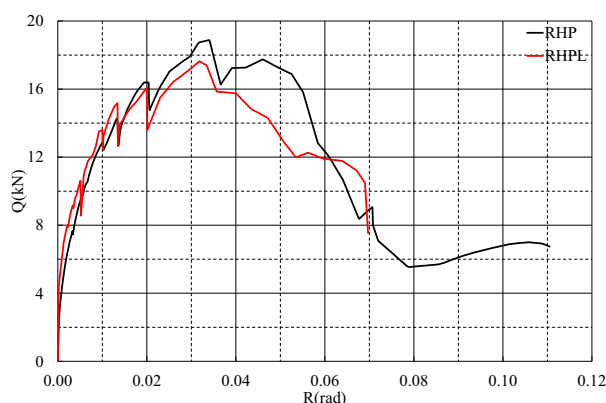


図3. 4. 1-58 瓦荷重の有無の比較（RHP、RHPL）



RHP

RHPL

写真3. 4. 1-47 野地板の変形

③伝統仕様寄棟屋根と在来仕様寄棟屋根の比較

伝統仕様のRHCと在来仕様のRHPを比較すると、RHPでは剛性が高く1/30rad付近で耐力低下を起しているのに対し、RHCでは剛性は低い、1/15rad付近まで耐力は増加し、その後、耐力低下し始めた。在来仕様のRHPでは、野地板の幅が大きく、野地板－垂木接合部の面材釘のせん断すべりによる剛性が高いが、面材釘の外れが早い段階から起こるため、脆性的な破壊となった。また、伝統仕様のRHCでは、野地板の幅が小さく、野地板－垂木接合部の面材釘のせん断すべりによる剛性が低いため、面材釘の外れが大変形時でないと起こらないため、靱性的な破壊となった。また、瓦荷重を有無による影響は伝統仕様、在来仕様共に同じようなせん断性状を示した。

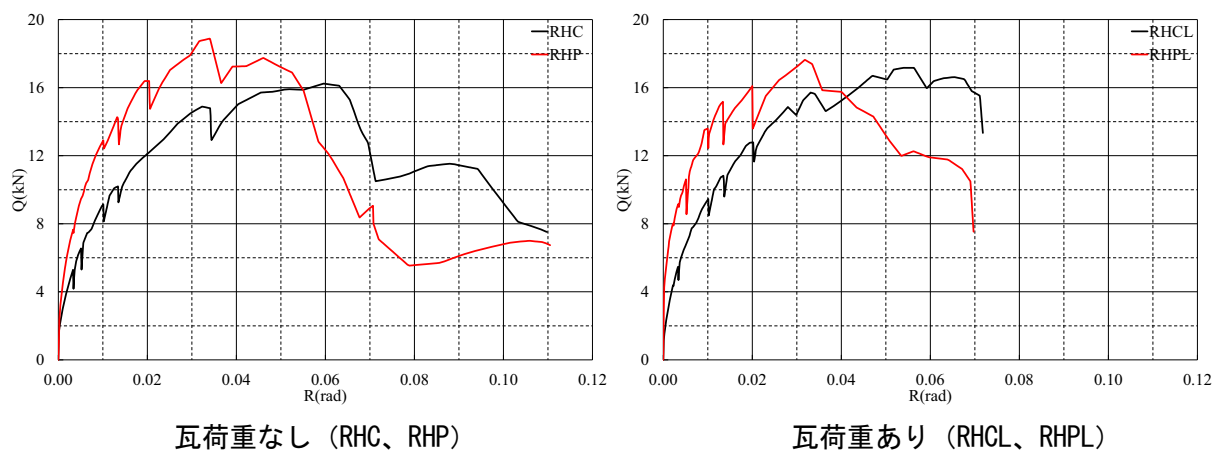


図3. 4. 1-59 伝統仕様と在来仕様の比較



写真3. 4. 1-48 野地板の変形

④完全弾塑性評価

寄棟屋根試験体の完全弾塑性評価結果を図3.4.1-60、表3.4.1-13に示す。完全弾塑性評価は、変形角が $1/15\text{rad}$ までのせん断力 Q －変形角 R 関係の包絡線で行い、試験体は各1体ずつしか行っていないので、特性値はばらつきを考慮せずに算出した。

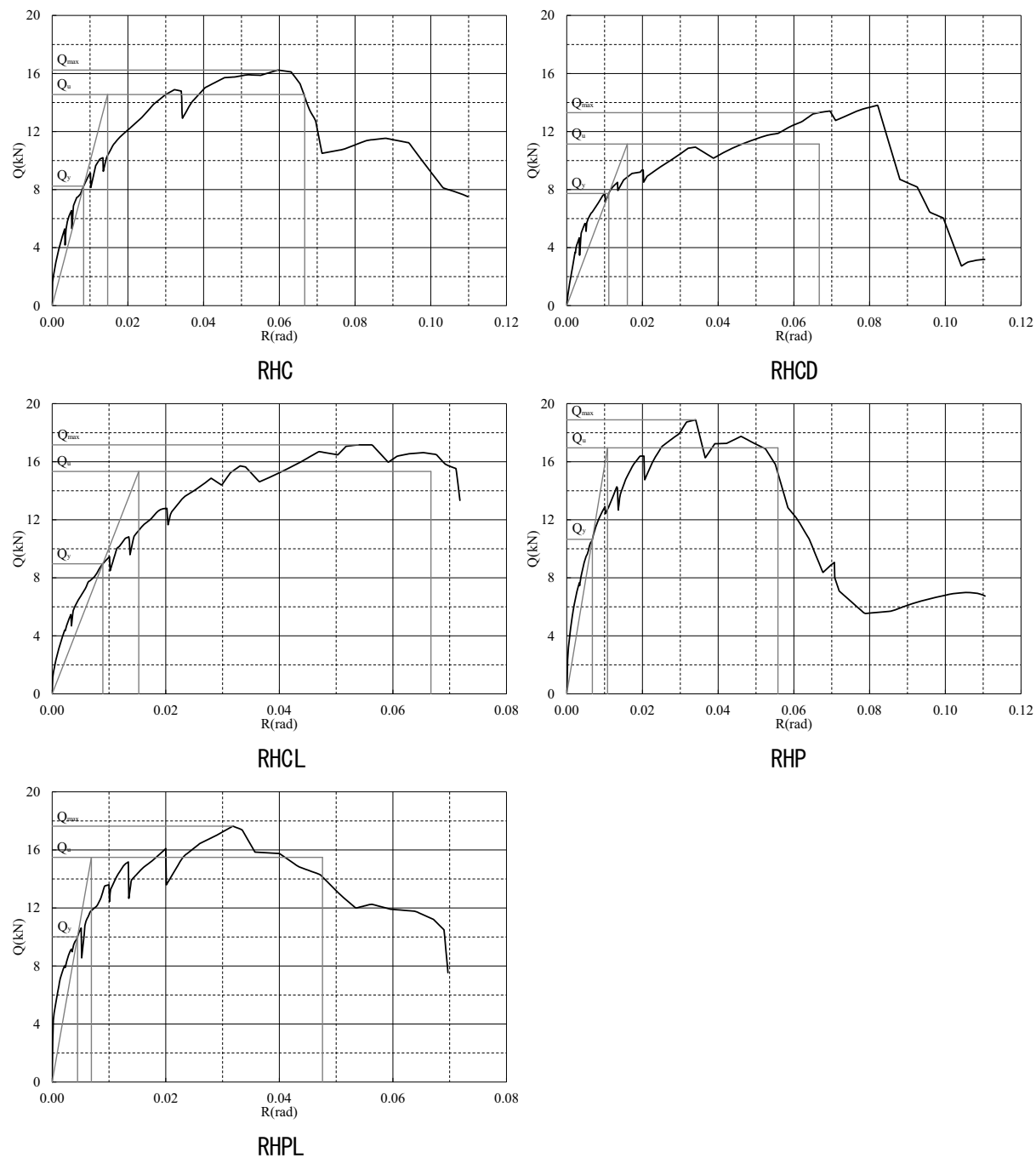


図3. 4. 1-60 寄棟屋根試験体の完全弾塑性評価

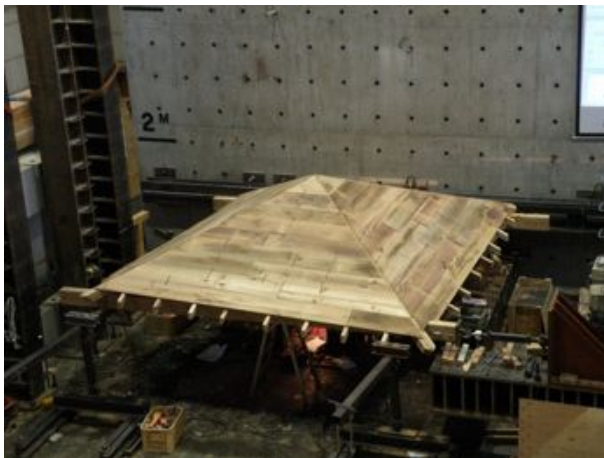
表3. 4. 1-13 寄棟屋根試験体の完全弾塑性評価結果

		RHC	RHCD	RHCL	RHP	RHPL	
K	(kN/rad)	992	696	1005	1572	2244	K：剛性
Q _y	(kN)	8.24	7.73	8.96	10.65	10.01	Q _y ：降伏耐力
Q _u	(kN)	14.55	11.14	15.33	16.96	15.49	Q _u ：終局耐力
Q _{max}	(kN)	16.24	13.30	17.16	18.88	17.63	Q _{max} ：最大耐力
Q _{1/600}	(kN)	3.80	2.85	3.77	5.68	7.43	Q _{1/600} ：1/600rad 時の耐力
Q _{1/450}	(kN)	4.34	3.67	4.38	6.47	7.99	Q _{1/450} ：1/450rad 時の耐力
Q _{1/300}	(kN)	4.92	4.27	5.21	7.59	9.13	Q _{1/300} ：1/300rad 時の耐力
Q _{1/200}	(kN)	6.50	5.64	6.72	9.39	10.53	Q _{1/200} ：1/200rad 時の耐力
Q _{1/150}	(kN)	7.48	6.43	7.80	10.56	11.71	Q _{1/150} ：1/150rad 時の耐力
Q _{1/120}	(kN)	8.26	7.08	8.64	11.97	12.48	Q _{1/120} ：1/120rad 時の耐力
Q _{1/100}	(kN)	9.11	7.67	9.42	12.86	13.60	Q _{1/100} ：1/100rad 時の耐力
Q _{1/75}	(kN)	10.19	8.48	10.80	14.22	15.16	Q _{1/75} ：1/75rad 時の耐力
Q _{1/50}	(kN)	12.11	9.34	12.78	16.39	16.09	Q _{1/50} ：1/50rad 時の耐力
Q _{1/30}	(kN)	14.83	10.90	15.69	18.84	17.41	Q _{1/30} ：1/30rad 時の耐力
Q _{1/15}	(kN)	14.42	13.30	16.55	-	-	Q _{1/15} ：1/15rad 時の耐力
R _y	(rad)	0.0083	0.0111	0.0089	0.0068	0.0045	R _y ：降伏変形角
R _v	(rad)	0.0147	0.0160	0.0152	0.0108	0.0069	R _v ：降伏点変形角
R _u	(rad)	0.0667	0.0667	0.0667	0.0558	0.0476	R _u ：終局変形角
μ	(-)	4.55	4.16	4.37	5.17	6.90	μ：塑性率
D _s	(-)	0.35	0.37	0.36	0.33	0.28	D _s ：構造特性係数

各特性値を比較してみると、剛性Kでは伝統仕様（RHC、RHCL）と在来仕様（RHP、RHPL）で1.5～2.2倍程度の大きな差が見られたが、降伏耐力Q_y及び最大耐力Q_{max}では、あまり差は見られなかった。また、伝統仕様で野地板を千鳥に配置しなかったRHCDでは、剛性K、降伏耐力Q_y及び最大耐力Q_{max}がその他の寄棟屋根試験体に比べて大幅に低くなった。

(c) 方形屋根

各試験体の破壊状況を写真3.4.1-49～3.4.1-54に、各試験体のせん断力 Q －変形角 R 関係の履歴曲線を図3.4.1-61に、包絡線を図3.4.1-62～3.4.1-63に示す。



全体



隅木一桁接合部



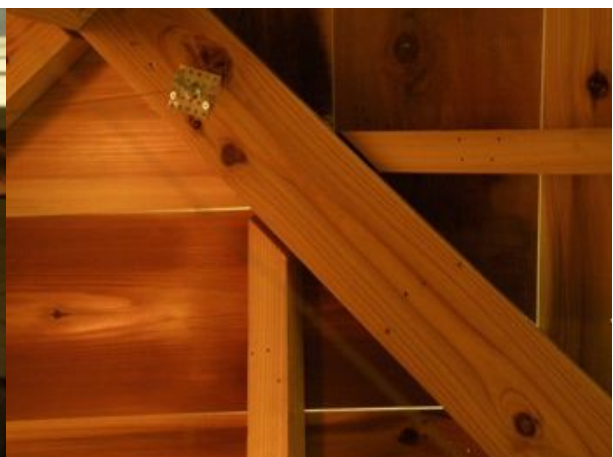
隅木一桁接合部



垂木一桁接合部



垂木一桁接合部



垂木一隅木接合部

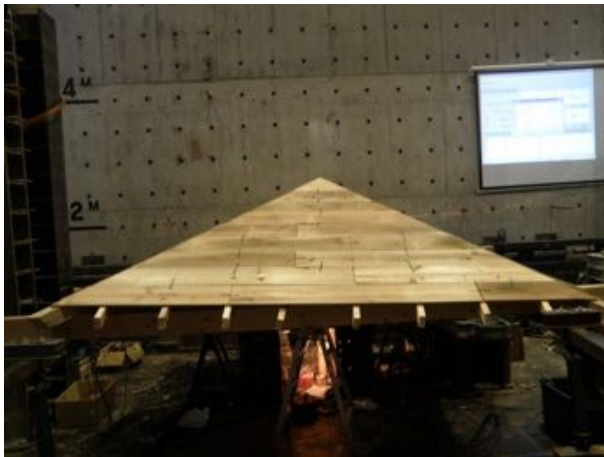
写真3. 4. 1-49 RPCの破壊状況 (1/10rad時)



隔木一束接合部



小屋束

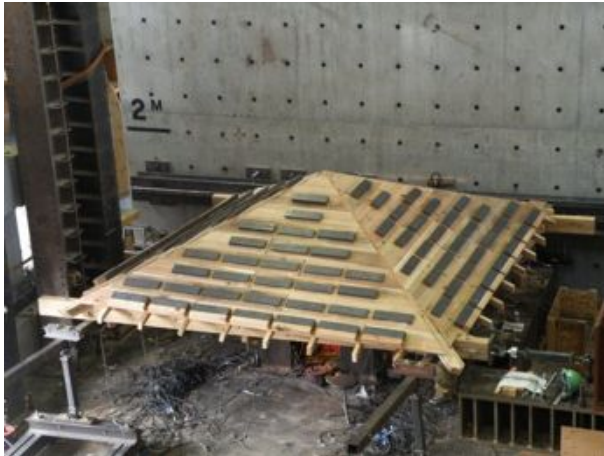


野地板



野地板

写真3. 4. 1-50 RPCの破壊状況 (1/10rad時)



全体



隔木一桁接合部



隔木一桁接合部



垂木一桁接合部



垂木一桁接合部



垂木一隅木接合部

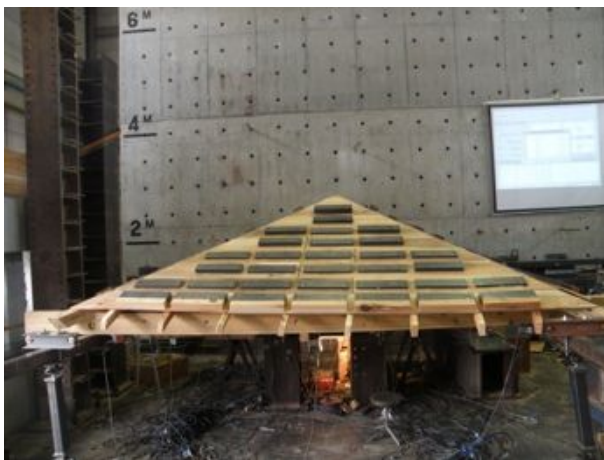
写真3. 4. 1-51 RPCLの破壊状況 (1/10rad時)



隅木一束接合部



小屋束



野地板



野地板

写真3. 4. 1-52 RPCLの破壊状況 (1/10rad時)



全体



隅木一桁接合部



隅木一桁接合部



垂木一桁接合部



垂木一桁接合部



垂木一隅木接合部

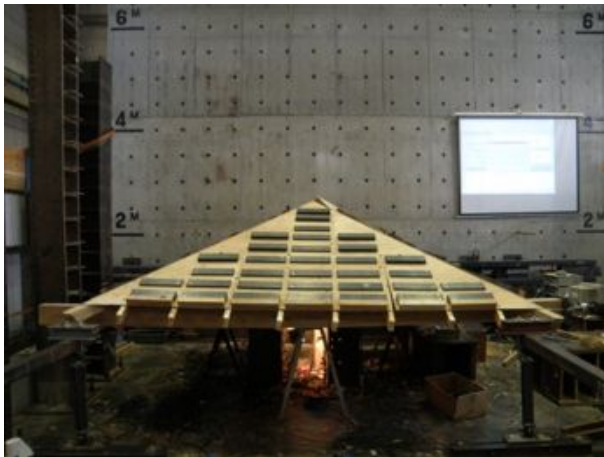
写真3. 4. 1-53 RPPLの破壊状況 (1/15rad時)



隔木一束接合部



小屋束



野地板



野地板

写真3. 4. 1-54 RPPLの破壊状況 (1/15rad時)

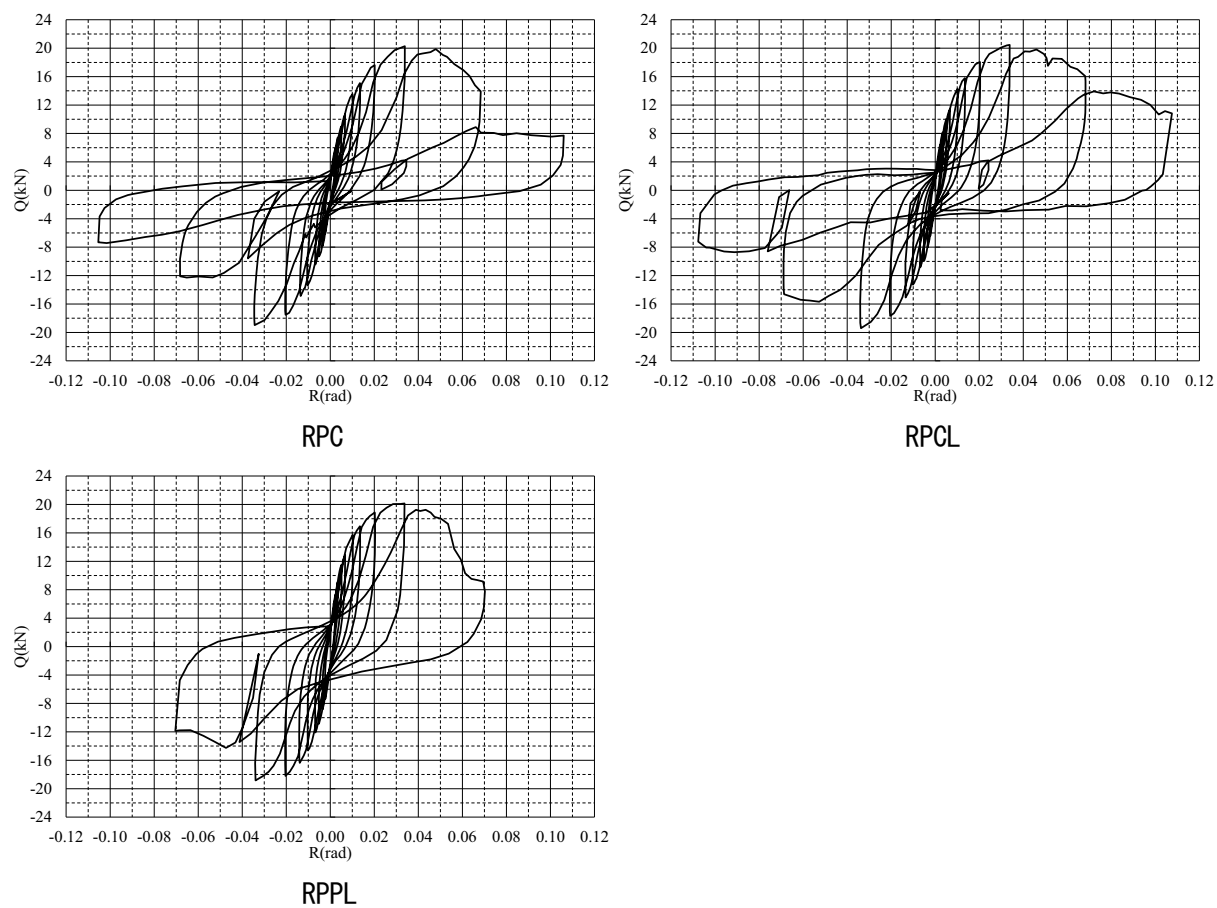


図3. 4. 1-61 方形屋根試験体のせん断力 Q —変形角 R 関係の履歴曲線

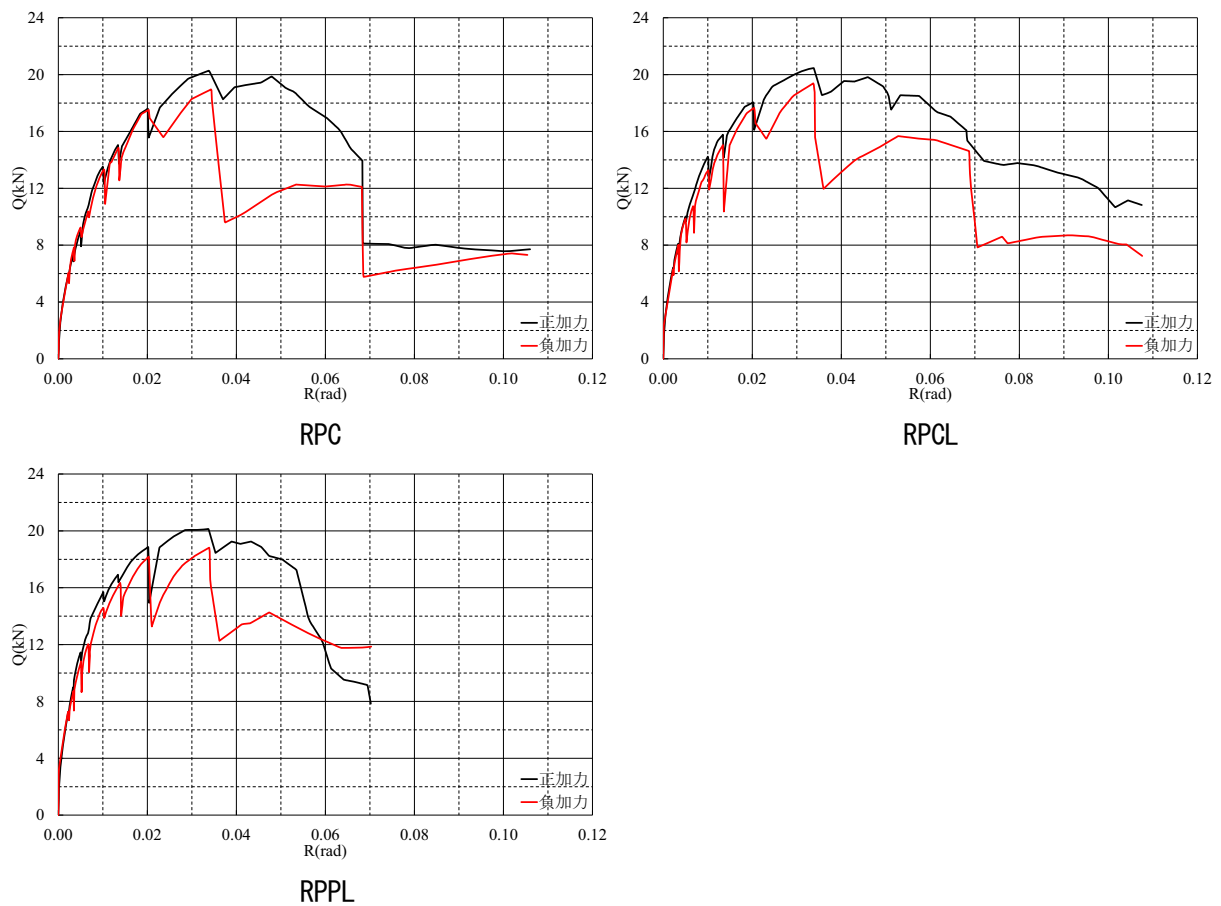


図3. 4. 1-62 方形屋根試験体のせん断力 Q —変形角 R 関係の包絡線

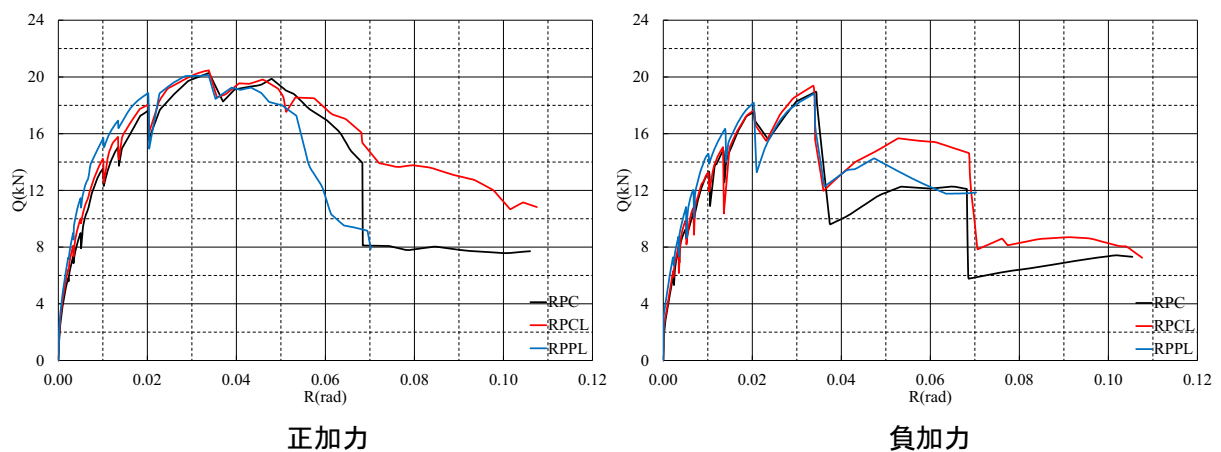


図3. 4. 1-63 方形屋根試験体のせん断力 Q —変形角 R 関係の包絡線の比較

①伝統仕様方形屋根

野地板が杉板のRPC、RPCLでは、隅木一桁接合部の隅木軸方向の変形、隅木一束接合部の隅木軸方向の変形、野地板と垂木の隅木から外れる変形が見られたが、寄棟屋根で見られた小屋束の傾斜は見られなかった。隅木付近の垂木一桁接合部は、隅木が変形する隅木軸方向に引っ張られるように垂木軸方向及びせん断方向に変形した。RPC、RPCLの耐力は1/30rad付近まで上がり続けたが、隅木一桁接合部の隅木軸方向の変形が顕著になり耐力が低下し始めた。また、RPCLでは瓦荷重の影響により隅木が面外方向に外れなかったが、RPCでは隅木が面外方向に外れる破壊が見られた。

瓦荷重を考慮したRPCLでは、RPCと比較した結果、瓦荷重の影響による耐力の差は見られなかった。しかし、RPCLでは瓦荷重の影響により隅木が面外方向に外れず、耐力の低下は安定していたが、RPCでは隅木が面外方向に外れることにより、1/15rad付近で耐力の急激な低下が見られた。

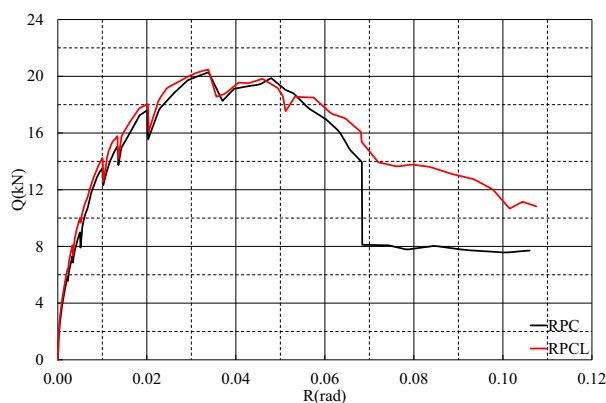


図3. 4. 1-64 瓦荷重の有無の比較 (RPC、RPCL)



RPC

RPCL

写真3. 4. 1-55 隅木一桁接合部

②在来仕様方形屋根

野地板が構造用合板のRPPLでは、隅木－桁接合部の隅木軸方向の変形、隅木－束接合部の隅木軸方向の変形、野地板と垂木の隅木から外れる変形が見られたが、寄棟屋根で見られた小屋束の傾斜は見られなかった。隅木付近の垂木－桁接合部では、隅木の軸方向変形に追従するように垂木が軸方向及びせん断方向に変形した。RPPLの耐力は1/30rad付近まで上がり続けたが、隅木－桁接合部の隅木軸方向の変形が顕著になり、耐力が低下し始めた。その後、1/20rad付近で隅木－束接合部の隅木が小屋束から外れることにより、耐力の急激な低下が見られた。

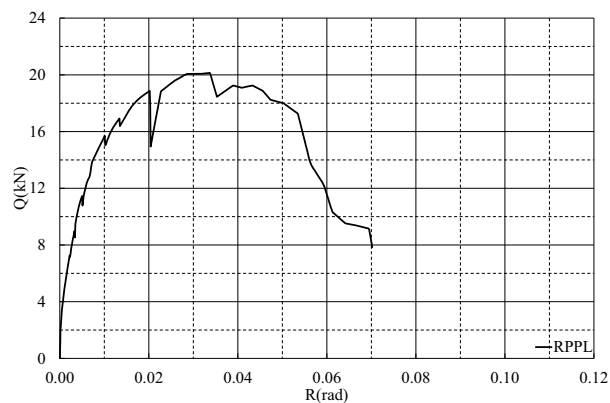


図3. 4. 1-65 在来仕様方形屋根 (RPPL)



写真3. 4. 1-56 隅木－束接合部 (RPPL)

③伝統仕様方形屋根と在来仕様方形屋根の比較

伝統仕様のRPCLと在来仕様のRPPLを比較すると、 $1/20\text{rad}$ 付近まではほぼ同じような耐力となったが、在来仕様のRPPLでは隅木―束接合部の隅木が小屋束から外れることにより、 $1/20\text{rad}$ 付近で耐力の急激な低下が見られ、脆性的な破壊となった。また、伝統仕様と在来仕様の野地板では、野地板―垂木接合部の面材釘のせん断すべりによる抵抗モーメントの差はあるが、方形屋根では面材のずれによる変形がほぼ見られなかったため、RPCLとRPPLの耐力に差が出なかった。

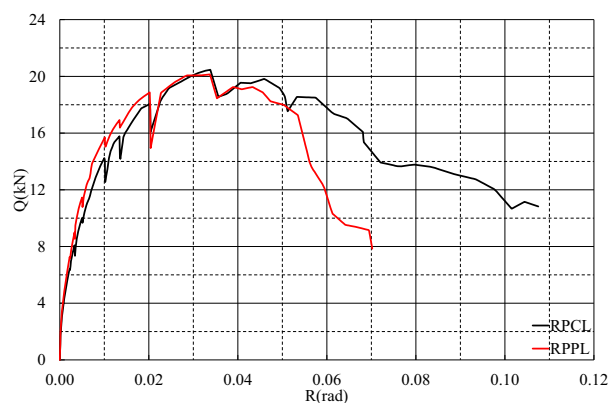


図3. 4. 1-66 伝統仕様と在来仕様の比較 (RPCL、RPPL)



写真3. 4. 1-57 隅木―束接合部

④完全弾塑性評価

方形屋根試験体の完全弾塑性評価結果を図3.4.1-67、表3.4.1-14に示す。完全弾塑性評価は、変形角が $1/15\text{rad}$ までのせん断力 Q －変形角 R 関係の包絡線で行い、試験体は各1体ずつしか行っていないので、特性値はばらつきを考慮せずに算出した。

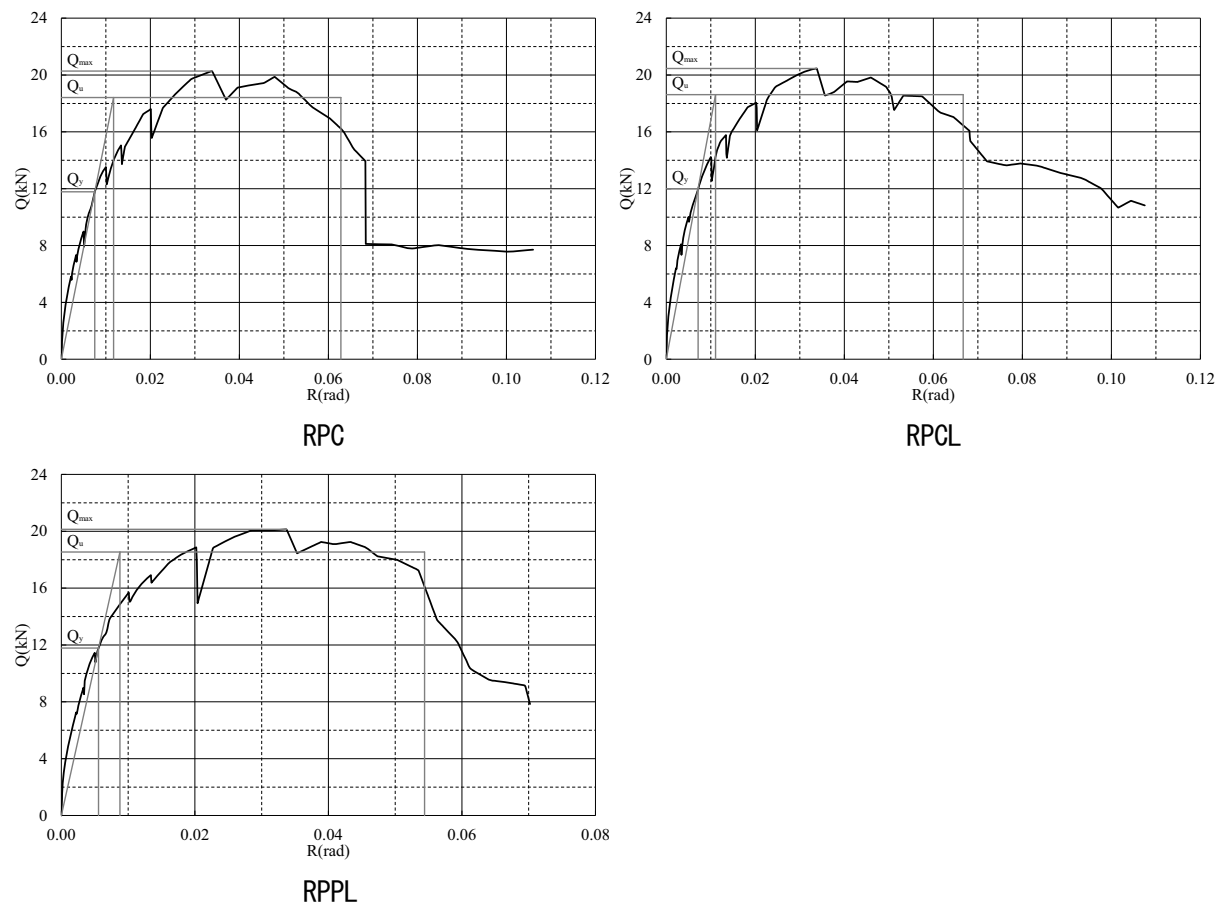


図3.4.1-67 方形屋根試験体の完全弾塑性評価

表3. 4. 1-14 方形屋根試験体の完全弾塑性評価結果

		RPC	RPCL	RPPL	
K	(kN/rad)	1568	1682	2114	
Q _y	(kN)	11.78	12.00	11.78	K : 剛性
Q _u	(kN)	18.42	18.62	18.54	Q _y : 降伏耐力
Q _{max}	(kN)	20.28	20.46	20.14	Q _u : 終局耐力
Q _{1/600}	(kN)	5.09	5.51	6.20	Q _{max} : 最大耐力
Q _{1/450}	(kN)	5.76	6.39	7.23	Q _{1/600} : 1/600rad 時の耐力
Q _{1/300}	(kN)	7.17	7.84	8.83	Q _{1/450} : 1/450rad 時の耐力
Q _{1/200}	(kN)	8.99	10.02	11.45	Q _{1/300} : 1/300rad 時の耐力
Q _{1/150}	(kN)	10.66	11.45	12.80	Q _{1/200} : 1/200rad 時の耐力
Q _{1/120}	(kN)	12.49	13.10	14.57	Q _{1/150} : 1/150rad 時の耐力
Q _{1/100}	(kN)	13.53	14.23	15.63	Q _{1/120} : 1/120rad 時の耐力
Q _{1/75}	(kN)	15.01	15.75	16.89	Q _{1/100} : 1/100rad 時の耐力
Q _{1/50}	(kN)	17.58	18.02	18.82	Q _{1/75} : 1/75rad 時の耐力
Q _{1/30}	(kN)	20.22	20.44	20.12	Q _{1/50} : 1/50rad 時の耐力
Q _{1/15}	(kN)	14.48	16.46	-	Q _{1/30} : 1/30rad 時の耐力
R _y	(rad)	0.0075	0.0071	0.0056	Q _{1/15} : 1/15rad 時の耐力
R _v	(rad)	0.0117	0.0111	0.0088	R _y : 降伏変形角
R _u	(rad)	0.0628	0.0667	0.0544	R _v : 降伏点変形角
μ	(-)	5.35	6.02	6.20	R _u : 終局変形角
D _s	(-)	0.32	0.30	0.30	μ : 塑性率
					D _s : 構造特性係数

各特性値を比較してみると、剛性Kでは伝統仕様（RPC、RPCL）と在来仕様（RPPL）で1.3倍程度の大きな差が見られたが、降伏耐力Q_y、最大耐力Q_{max}及び塑性率μでは差が見られなかった。

(d) 試験結果の比較

①伝統仕様の切妻屋根、寄棟屋根、方形屋根の比較

野地板が杉板の切妻屋根、寄棟屋根、方形屋根を比較すると、切妻屋根は寄棟屋根、方形屋根に比べて耐力は低く、最大耐力が1/3以下ではあるが、1/15radを超えても耐力低下はみられなかった。これは、方形屋根と寄棟屋根の隅棟区間がトラス状であるためせん断剛性、耐力が高いことが原因である。また、寄棟屋根の大棟区間のせん断剛性、耐力が低いため、方形屋根に比べて寄棟屋根の剛性及び最大耐力が低くなった。

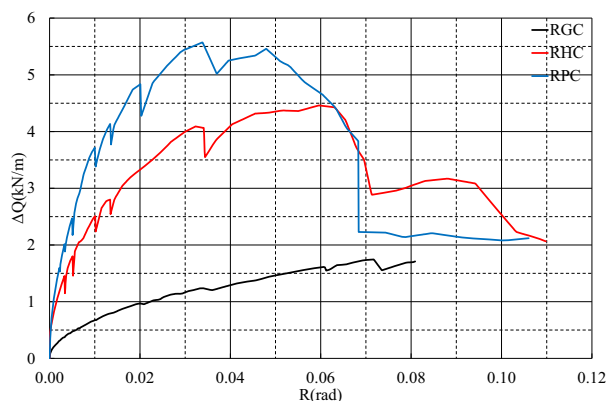


図3. 4. 1-68 単位長さあたりのせん断力Q—変形角R関係の包絡線の比較

②在来仕様の切妻屋根、寄棟屋根、方形屋根の比較

野地板が構造用合板の切妻屋根、寄棟屋根、方形屋根を比較すると、伝統仕様と同様に切妻屋根は寄棟屋根、方形屋根に比べて耐力は低く、最大耐力が1/2以下ではあるが、急激な耐力低下はみられなかった。また、寄棟屋根の大棟区間の強度が低いため、方形屋根に比べて寄棟屋根の剛性及び最大耐力が低くなった。

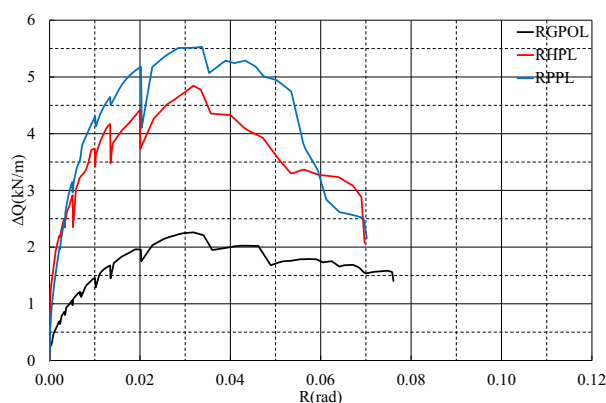


図3. 4. 1-69 単位長さあたりのせん断力Q—変形角R関係の包絡線の比較

5) 切妻屋根の力学モデル

(a) 抵抗メカニズム

切妻屋根の桁に面内せん断力が作用して桁を平行四辺形に変形させようとする、垂木－桁接合部を介して屋根勾配面により抵抗する。面内せん断力が作用した切妻屋根の主な変形成分は、軸組（桁、棟木、母屋、束）を剛体と仮定すると、図3.4.1-70に示す、垂木－桁接合部の垂木軸方向の変形 θx_1 、垂木－桁接合部の垂木せん断方向の変形+垂木のねじれによる変形 θy_1 、垂木－棟木接合部の垂木せん断方向の変形+垂木のねじれによる変形 θy_2 、野地板－垂木接合部の面材釘のせん断すべりによる面材のずれの変形 γ_1 、野地板のせん断変形 γ_2 が上げられる。

切妻屋根の桁に作用する面内せん断力 Q に対して各変形成分が直列関係で挙動しているので、各変形成分による変形角の和は、式(3.4.1-6)のように切妻屋根構面全体のせん断変形角 R と等しくなる。

$$R = \theta x + \theta y + \gamma$$

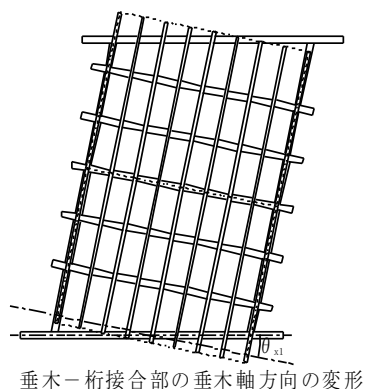
(3.4.1-6)

ここで、

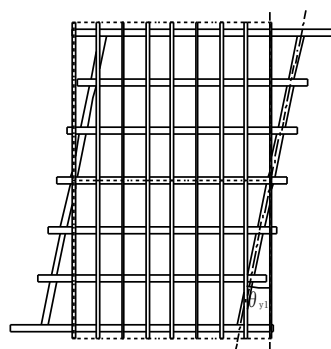
$$\theta x = \theta x_1$$

$$\theta y = \theta y_1 + \theta y_2$$

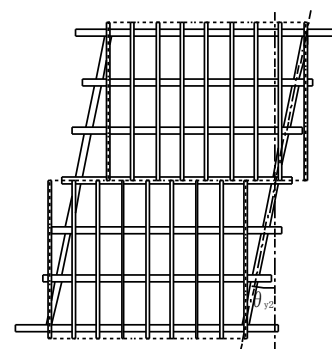
$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$$



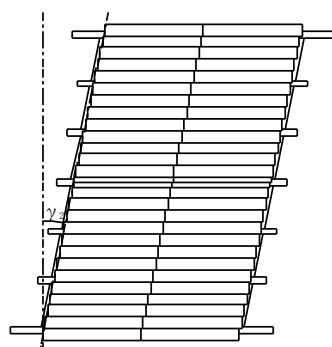
垂木－桁接合部の垂木軸方向の変形



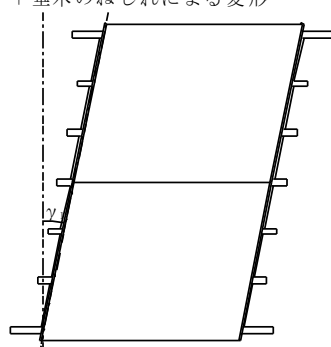
垂木－桁接合部の
垂木せん断方向の変形
+ 垂木のねじれによる変形



垂木－棟木接合部の
垂木せん断方向の変形
+ 垂木のねじれによる変形



野地板－垂木接合部の面材釘
のせん断すべりによる
面材のずれの変形



野地板のせん断変形

図3.4.1-70 切妻屋根の変形成分

切妻屋根構面全体のせん断変形角 R に対する θ_x 、 θ_y 、 γ の比率の推移を図3.4.1-71に示す。

伝統仕様の試験体（RGC、RGCB、RGCBL、RGCO）では、 γ が全体の変形の大部分を占めており、 $\theta_x/R+\theta_y/R+\gamma/R$ がほぼ1.0となった。また、在来仕様の試験体（RGPO、RGPOL）では、 θ_x が全体の変形の大部分を占めており、 $\theta_x/R+\theta_y/R+\gamma/R$ がほぼ1.0となった。

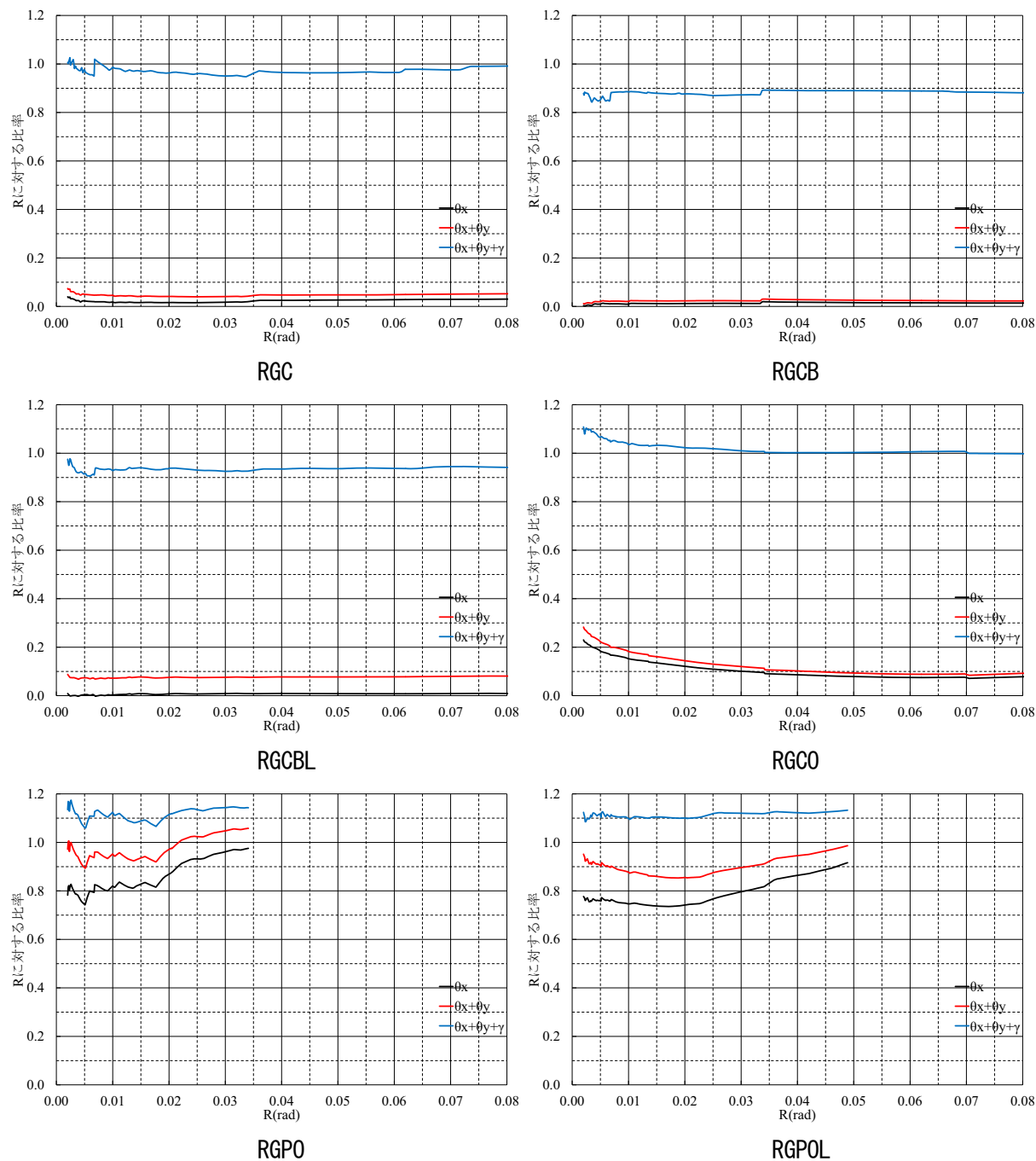


図3. 4. 1-71 各変形成分の推移

(b) モーメントー変形角関係の推定

伝統仕様の試験体（RGC、RGCB、RGCB、RGCO）では、切妻屋根構面全体のせん断変形角 R に対する各変形成分の比率で、 γ が全体の変形の大部分（9割程度）を占めていることがわかった。そこで、「(1) 床水平構面」で行われた伝統仕様の野地板の面内せん断試験結果（図3.4.1-22の(c)-1：野地板直張り、(c)-2：垂木+野地板）から、野地板の面全体の変形がすべて面材釘のせん断すべりによる変形であると仮定して、図3.4.1-72に示す面材釘3本で構成される野地板ー垂木接合部1カ所当たりのモーメントー変形角関係を式(3.4.1-7)、(3.4.1-8)により算出する。そして、伝統仕様の切妻屋根面全体の変形がすべて面材釘のせん断すべりによる変形であると仮定して、伝統仕様の切妻屋根のモーメントー変形角関係を式(3.4.1-9)、(3.4.1-10)により推定し、単位長さあたりのせん断力ー変形角関係は式(3.4.1-11)により算出する。

$$M_n = M_b / (n_b/3) \quad (3.4.1-7)$$

$$\theta_n = R_b \quad (3.4.1-8)$$

$$M_r = M_n \times (n_r/3) \times \cos\theta_r \quad (3.4.1-9)$$

$$R_r = \theta_n / \cos\theta_r \quad (3.4.1-10)$$

$$\Delta Q_r = M_r / (L_r \times H_r) \quad (3.4.1-11)$$

ここで、

M_r : 切妻屋根試験体のモーメント

M_b : 野地板試験体のモーメント

M_n : 図3.4.1-72に示す面材釘3本で構成される接合部のモーメント

ΔQ_r : 切妻屋根試験体の単位長さあたりのせん断力

R_r : 切妻屋根試験体の面全体の真のせん断変形角

R_b : 野地板試験体の面全体の真のせん断変形角

θ_r : 屋根勾配

θ_n : 図3.4.1-72に示す面材釘3本で構成される接合点の変形角

n_r : 切妻屋根試験体に使用した面材釘の本数

n_b : 野地板試験体に使用した面材釘の本数

$n_r/3$: 切妻屋根試験体の面材釘3本で構成される接合部の数

$n_b/3$: 野地板試験体の面材釘3本で構成される接合部の数

L_r : 切妻屋根試験体の桁行方向の長さ

H_r : 切妻屋根試験体の梁間方向の長さ

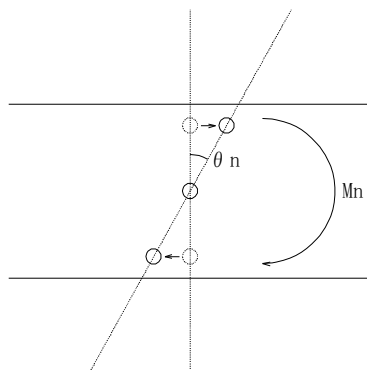


図3. 4. 1-72 面材釘3本で構成される野地板ー垂木接合部

「(1) 床水平構面」で行われた野地板試験体（図3.4.1-0の(c)-1：野地板直張り、(c)-2：垂木+野地板）の軸組みの耐力を除去したモーメント M_b －変形角 R_b 関係を図3.4.1-73に、野地板試験体の試験結果から得られた面材釘3本で構成される接合部のモーメント M_n －変形角 θ_n 関係を図3.4.1-74に、伝統仕様の切妻屋根構面の単位長さあたりのせん断力 ΔQ_r －変形角 R_r 関係の実験値と推定値の比較を図3.4.1-75に示す。図3.4.1-73～図3.4.1-75の50%下限値は、3体の実験値の信頼水準75%における50%下限許容限界値である。

(c)-1では試験結果がばらついたが、(c)-1の50%下限値と(c)-2では、推定値の初期変形時の耐力が若干高い値を示したが実験値を概ね捉えていることが確認できた。初期変形時では実験値よりも推定値が高くなったが、切妻屋根構面の変形の9割程度占めている y の変形成分のみで推定したためであり、 θ_x 、 θ_y の変形成分も考慮した形で推定を行うと、精度よく切妻屋根構面のせん断力－変形角関係を推定できると考えられる。

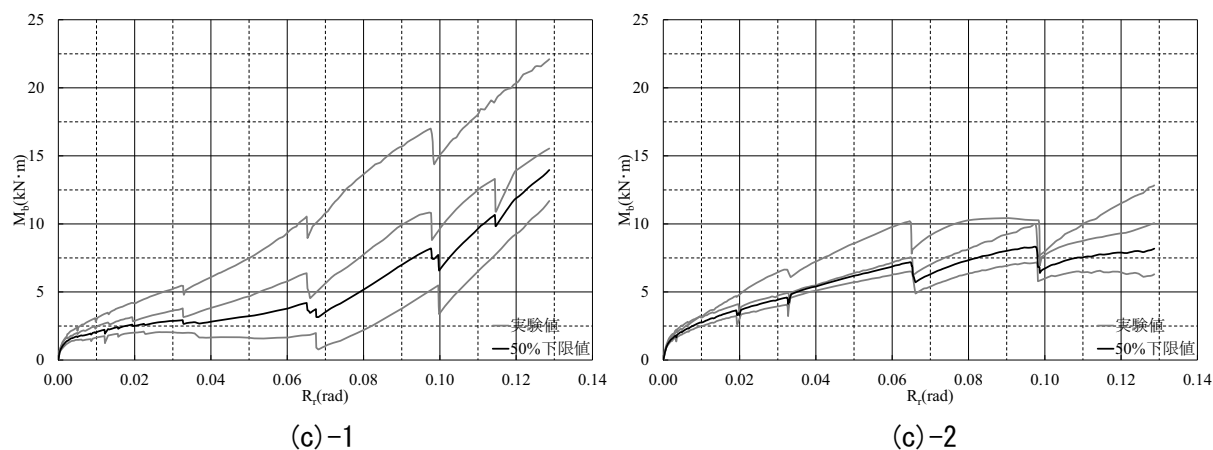


図3. 4. 1-73 野地板試験体の軸組みの耐力を除去したモーメント M_b —変形角 R_b 関係

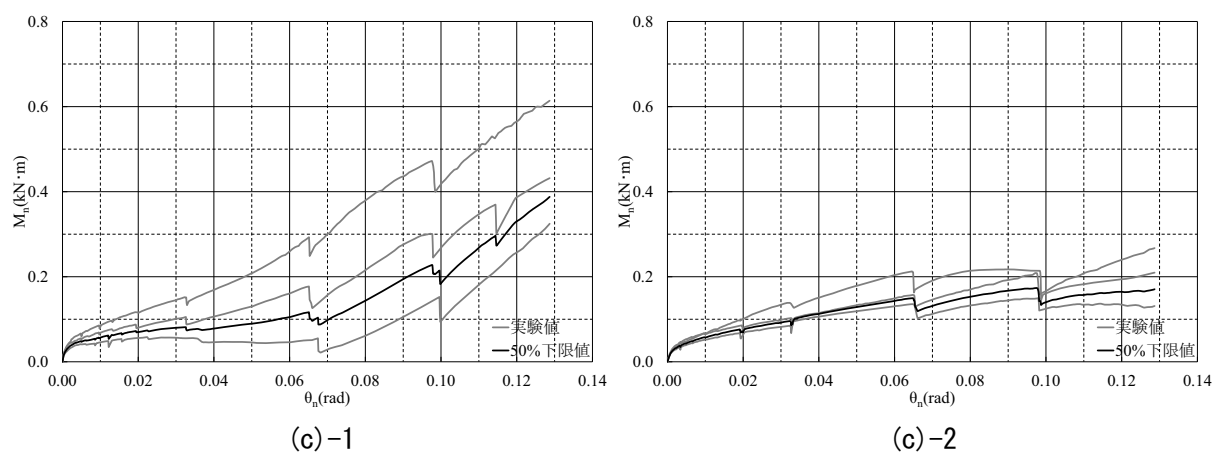


図3. 4. 1-74 面材釘3本で構成される接合部のモーメント M_n —変形角 θ_n 関係

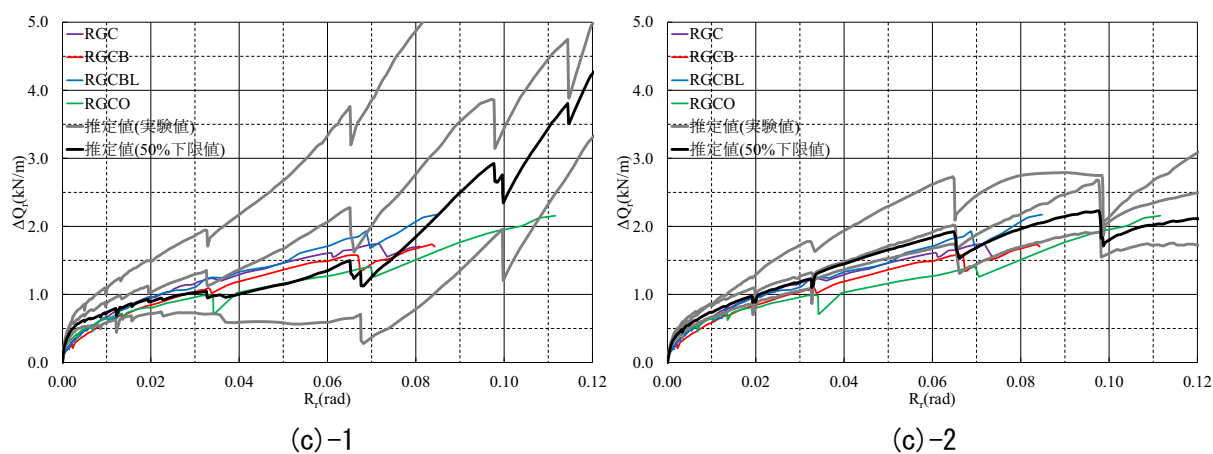


図3. 4. 1-75 伝統仕様の切妻屋根の実験値と推定値の比較

6) 載荷方向を考慮した垂木-母屋間のせん断耐力

(a) はじめに

在来軸組木造住宅の屋根には地震時水平力を各耐力壁に効率よく伝達する水平構面としての構造性能が求められる。勾配屋根の水平せん断に対する耐力評価式は、野地板と垂木のせん断挙動および垂木と母屋のせん断挙動を考慮した形で実用化されている¹⁾（以下、「評価式」と呼ぶ）が、垂木と母屋のせん断挙動によって耐力が決定される場合、実験により求められた耐力は、この評価式で求められた耐力よりもかなり低くなることが指摘されている²⁾。

評価式は野地板-母屋間に垂木軸方向または垂木直交方向のせん断力が単独で作用した場合の実験結果に基づいており、両者の組み合わせ外力下での挙動を考慮していないことが評価式の耐力が過大となる原因となると考える。また既往の研究³⁾では、引き抜きとせん断を同時に受ける釘接合部の耐力について実験的な検討を行ったが、引き抜き耐力とせん断耐力の相関は高く、この影響を適切に考慮した耐力評価が不可欠なことが指摘されている。

本研究では切妻屋根を想定した野地板と母屋間のせん断実験を載荷方向を変化させて行い、その挙動を考察する。そして組み合わせ外力を作用させたときの実験結果から、載荷方向を考慮した評価の必要性について検証する。

(b) 野地板－母屋間のせん断実験

①試験体概要

試験体は屋根面のせん断要素と小屋組などの軸材との間の挙動を観察できるように設計した。試験体概要を図3.4.1-76に示す。試験体は在来軸組構法として一般的に用いられるディテールを考慮して作成した。試験体は400mm間隔で並べた1スパン分の母屋の上に1スパン分の垂木を500mm間隔で並べ、さらに野地板をモデル化した。図3.4.1-76の载荷方向と垂木軸方向のなす载荷角度 θ を用いると、試験体は $\theta=0^\circ$ （垂木軸方向载荷）、 30° 、 60° 、 90° （垂木直交方向载荷）の4種類を各1体、合計4体を用意した。

垂木と母屋はそれぞれ45mm×55mm、90mm×90mmのベイマツ、野地板は厚さ12mmの構造用合板を用い、釘本数は実際の屋根における野地板側の釘本数と母屋側の釘本数の比率を考慮し、野地板側で80mm間隔、母屋側で400mm間隔とした。

接合方法については図3.4.1-77に示すように、垂木を深さ9mmの垂木道を設けた母屋に対してN115釘脳天打ちで接合し、野地板を垂木に対してN50釘で接合した。

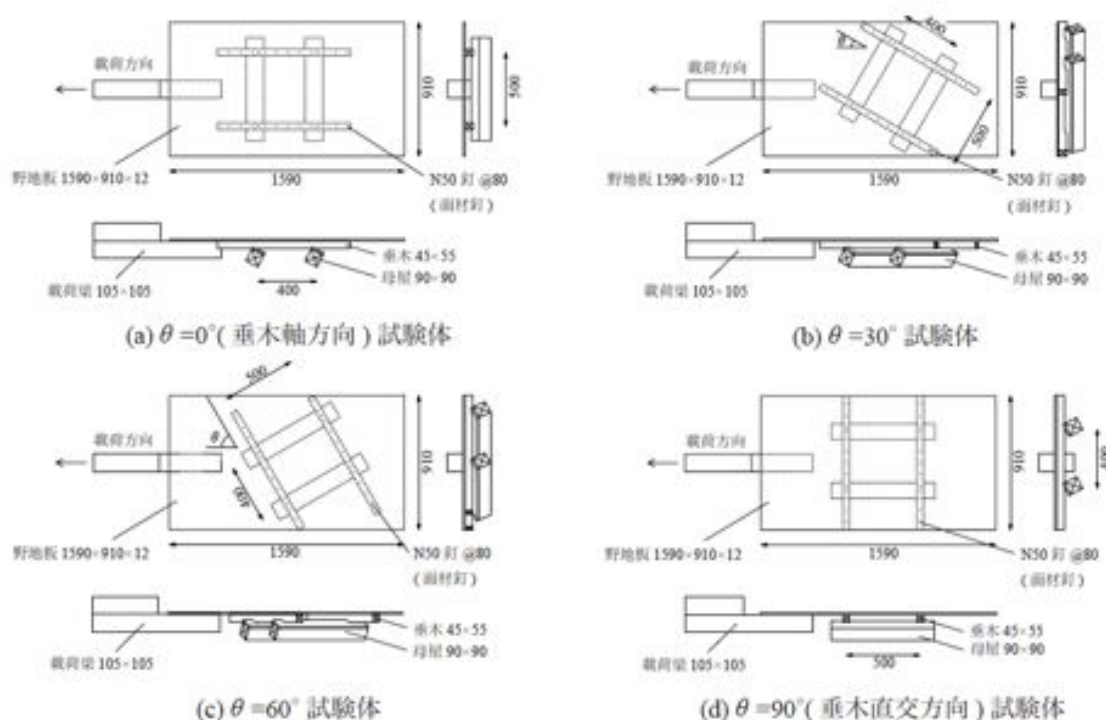


図3.4.1-76 試験体概要

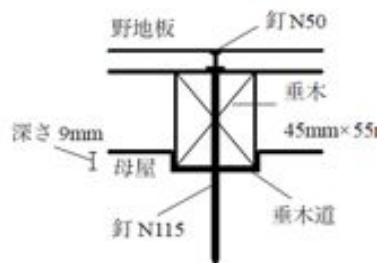


図3.4.1-77 接合部詳細

②実験方法

図3.4.1-78に実験装置概要を示す。試験体は母屋を反力台へ固定治具を介してボルト固定した。野地板に取り付けた載荷梁をオイルジャッキで水平方向に単調引張载荷することで野地板と母屋間に荷重 P を作用させた。

変位についてはフレームと載荷梁間の相対水平変位 δ 、野地板と母屋間、垂木と母屋間の相対水平変位および垂木の回転について測定した。

なお、試験体に鉄骨梁の横補剛装置を取り付けることで野地板の横方向と回転移動を拘束し、载荷方向への並進移動のみが生じるような境界条件を設定した。図3.4.1-79に横補剛のモデルを示す。

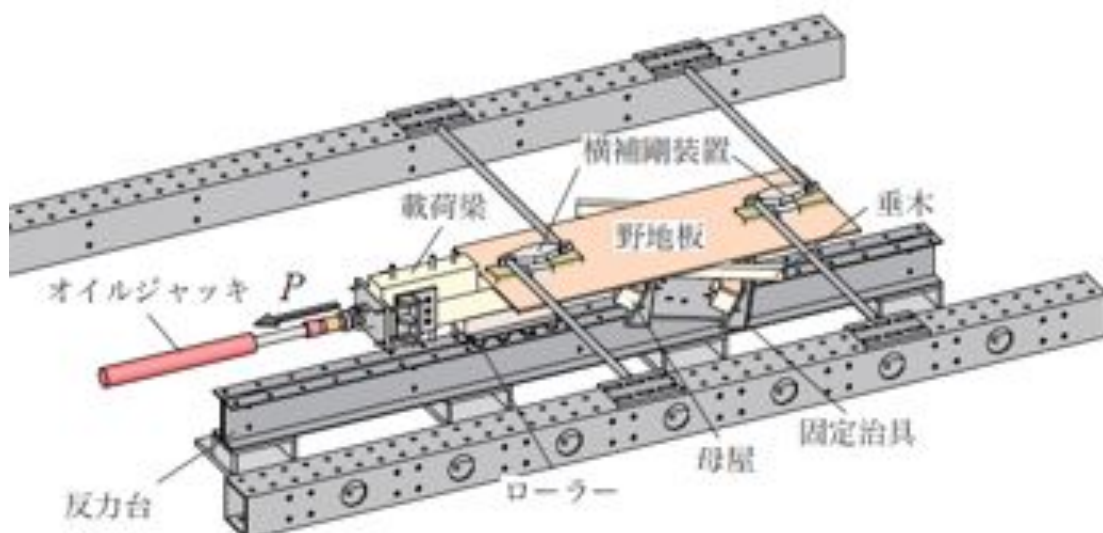


図3.4.1-78 実験装置概要

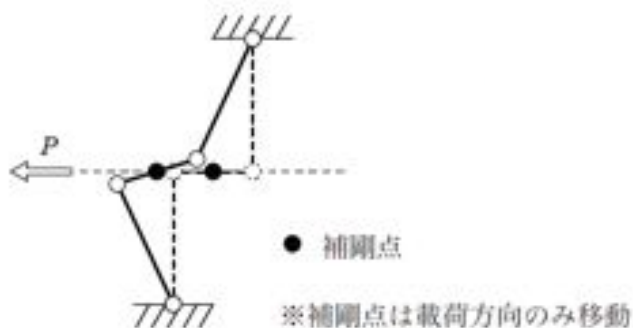


図3.4.1-79 横補剛のメカニズム

(c) 実験結果および考察

表3.4.1-15に実験で得られた最大耐力 P_{max} 、最大耐力時の載荷梁の移動量 δ 、図3.4.1-80のように定義される垂木軸方向の移動量 δ_{s1} 、垂木直交方向の並進移動量 δ_{s2} 、垂木の並進移動量 δ_s 、垂木軸回りの回転移動量 δ_r 、成分比率 δ_s / δ 、 δ_r / δ 、垂木の回転角 θ_r を、図3.4.1-81に各試験体の荷重変形関係を示す。また、図3.4.1-82に $\theta = 30^\circ \sim 90^\circ$ の垂木の回転移動量と並進移動量の成分比率、最大耐力時の載荷梁変位 δ_{max} を示す。

$\theta = 0^\circ$ の試験体ではN115釘に垂木軸方向のせん断と垂木が浮き上がることによる引き抜けが同時に生じた。

図3.4.1-81の荷重変形関係より、降伏後は引き抜きがやや支配的となり耐力が安定したが、変位30mm付近で再び耐力が上昇した。これは垂木側面と垂木道の間を生ずる摩擦により垂木の浮き上がりが拘束され、垂木軸方向のせん断が支配的となったことが原因と考える。

θ が大きくなるとN115釘のせん断と垂木の回転移動に伴い生ずる釘の引き抜きの両方が生じ、図3.4.1-82より θ が大きくなるほど垂木の回転による釘の引き抜けが支配的となる傾向がみられた。

釘の引き抜きが支配的になることで、 $\theta = 0^\circ$ と比較して、 $\theta = 30^\circ$ 、 60° では比較的早い段階で耐力低下が始まった。降伏耐力が $\theta = 0^\circ$ よりも高くなったのは、垂木が垂木道にめりこむことによる耐力上昇が原因と考える。

$\theta = 30^\circ$ と 60° と比較して釘の引き抜けが支配的であるにもかかわらず $\theta = 90^\circ$ では変形が大きく進んでも耐力が減少しなかった。これは倒れた垂木が引張材となって抵抗するロープ効果を示したことが原因と考えられる。

初期剛性については θ の増加に伴って引き抜きが先行することでやや減少した。なお、 $\theta = 0^\circ$ 以外の試験体における降伏後の耐力上昇は測定治具が試験体の一部に接触したためであり、釘接合部としての耐力はこの部分では測定した値よりもやや低くなるものと考えられる。

表3.4.1-15 実験結果

θ ($^\circ$)	P_{max} (kN)	δ (mm)	δ_{s1} (mm)	δ_{s2} (mm)	δ_s (mm)	δ_r (mm)	δ_s / δ	δ_r / δ	θ_r ($^\circ$)
0	9.31	33.58	30.20	—	30.20	0.00	0.90	—	—
30	9.99	7.72	3.91	0.96	4.02	2.52	0.52	0.33	3
60	10.19	13.96	0.98	4.55	4.65	8.28	0.33	0.59	8
90	7.84	18.47	—	0.91	0.91	15.72	0.05	0.85	15

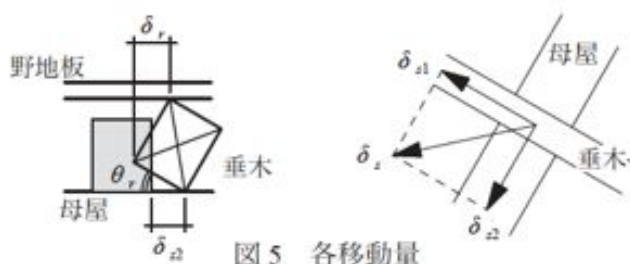


図5 各移動量

図3.4.1-80 垂木移動量

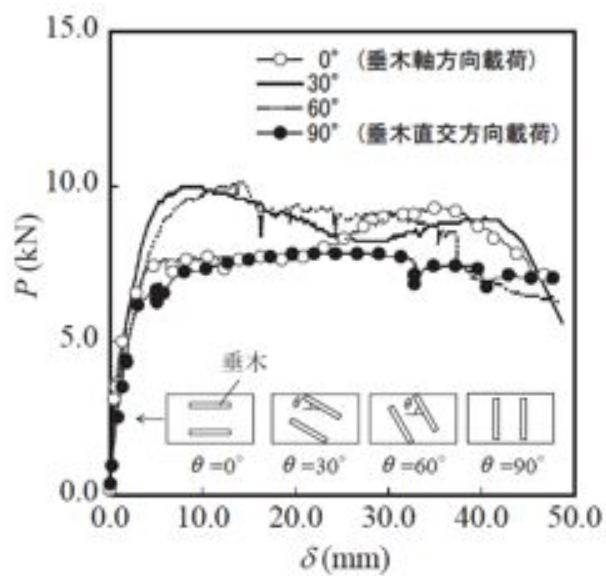


図3.4.1-81 各試験体の荷重変位関係

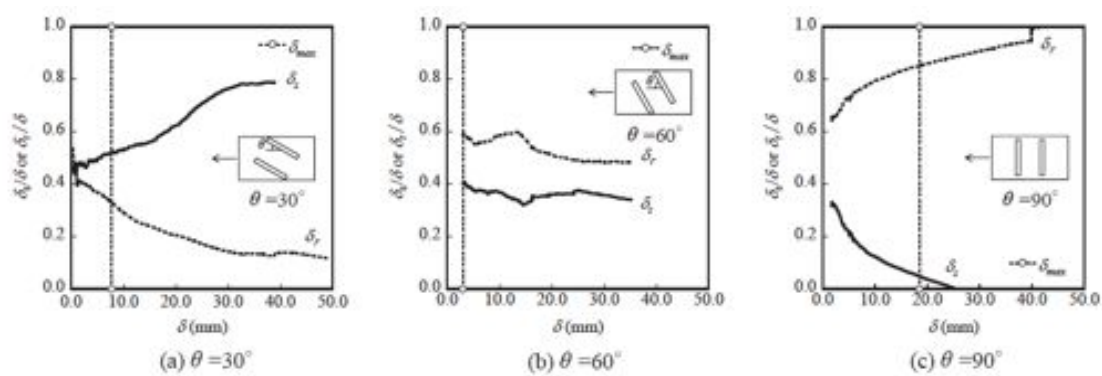


図3.4.1-82 垂木の回転移動量と並進移動量の成分比率

(d) 実験結果の評価

評価式による耐力が実験による耐力を過大評価するのは、組み合わせ外力下での挙動を考慮していないことが原因であると考えられている。そこで本研究での実験結果を用いた評価手法を提案し、評価と実験結果との対応を検討する。

評価については、 $\theta = 0^\circ$ と $\theta = 90^\circ$ の挙動が組み合わせ外力下でも独立に成立すると仮定し、その合成から得られる $\theta = 30^\circ$ と $\theta = 60^\circ$ の挙動を合成値とする。

① 評価方法

評価は下記の㉗～㉙の手順に従うものとする。

㉗ 図3.4.1-83に示すように、 $\theta = 30^\circ$ と 60° の試験体の載荷梁の変位 δ を垂木軸方向と垂木直交方向の成分に分解し、それぞれを δ_l 、 δ_v とする。このとき $\delta_l = \delta \cos\theta$ 、 $\delta_v = \delta \sin\theta$ となる。

㉘ $\theta = 0^\circ$ と 90° の荷重変形関係から最大耐力点と明確な剛性の変化が観察された点を目視で読み取り、モデル化した。図3.4.1-84の(a)、(b)にそれぞれ $\theta = 0^\circ$ と $\theta = 90^\circ$ のモデルを太い実線で示す。

図3.4.1-83のモデルより得られた変位 δ_l 、 δ_v に対応する荷重 P_l と P_v をそれぞれ読み取る。

㉙ 今回の実験ではフレーム長手方向と直交方向の載荷梁の変位を拘束するために、補剛装置を用いた。図3.4.1-85に示すように補剛装置と試験体の間に生ずる力 P_m を考慮すると、本評価法による荷重 P_e は次式で得られる。

ここに P_{lv} : P_l と P_v の合力、 α : P_{lv} と P_l がなす角度である。

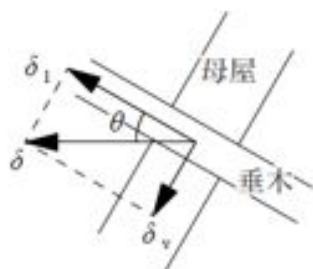
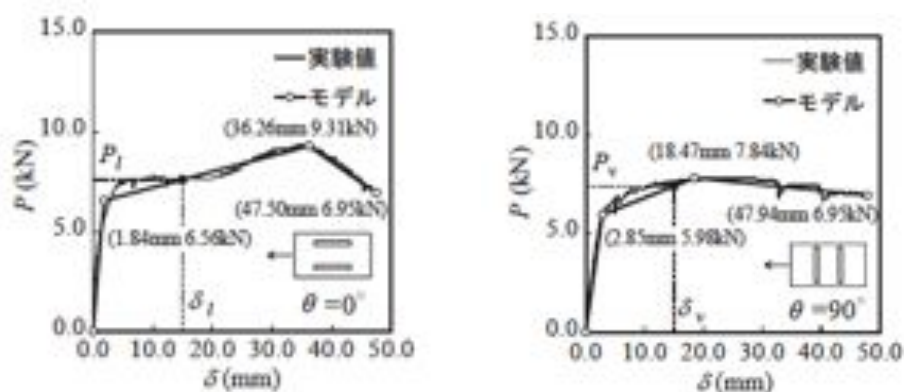


図3.4.1-83 母屋に対する垂木の軸方向変位と直交方向変位



(a) $\theta = 0^\circ$ (垂木軸方向載荷)

(b) $\theta = 90^\circ$ (垂木直交方向載荷)

図3.4.1-84 荷重変形関係のトリリニアモデル化

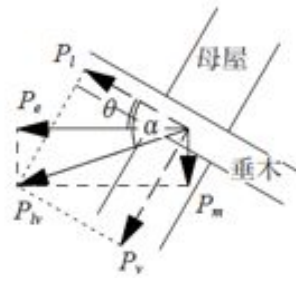


図3. 4. 1-85 垂木-母屋間のせん断力の成分

②実験値との対応

図3.4.1-86の(a)、(b)にそれぞれ $\theta = 30^\circ$ と $\theta = 60^\circ$ の、実験で得られた荷重変形関係を太い実線で、提案した評価方法によって得られた荷重変形関係の合成値を太い点線で示す。また、変位計治具があたることによる耐力上昇を無視したグラフを、その直前の剛性からおおまかに予想して図中に細い点線で示す。図3.4.1-87には最大耐力と $\delta = 40\text{mm}$ における耐力について実験値と合成値を示す。

図3.4.1-86の荷重変形関係より、実験値では比較的早い段階で耐力の低下が始まったが、合成値では粘りをみせて大きく変形が進んだ後に最大耐力を示した。これは評価方法が垂木軸方向载荷と垂木直交方向载荷の挙動を反映したものであることに起因すると考える。結果として、変形が比較的小さな $\delta = 10\text{mm}$ 付近では実験値が合成値をやや上回ったが、変形が進んだ $\delta = 40\text{mm}$ 付近では合成値が実験値を上回り顕著な耐力の差が観察された。

図3.4.1-87より最大耐力の比較では $\theta = 30^\circ$ では、合成値と実験値で顕著な差がみられたが、 $\theta = 60^\circ$ ではわずかに合成値のほうが上回った。しかし変形が進むとより耐力の差が顕著にみられるようになった。また、今回の実験では $\theta = 30^\circ$ と 60° 試験体で垂木の垂木道へのめりこみで耐力が決定したと考えられるため、釘接合部で耐力が決定した場合耐力はそれを下回ると考える。

よって合成値と実験値との対応から、組み合わせ外力下での耐力を垂木軸方向または垂木直交方向载荷での実験結果を用いて単独で評価すると過大評価となることがわかった。

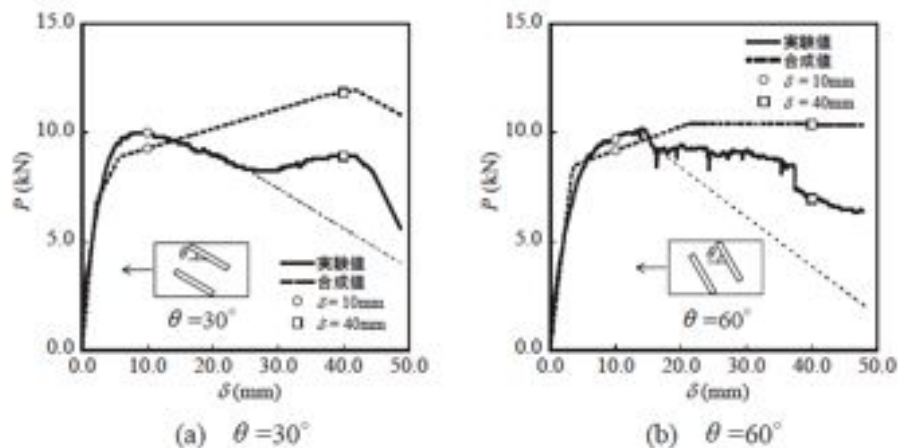


図3.4.1-86 直交成分の合成値と実験値の荷重変形関係

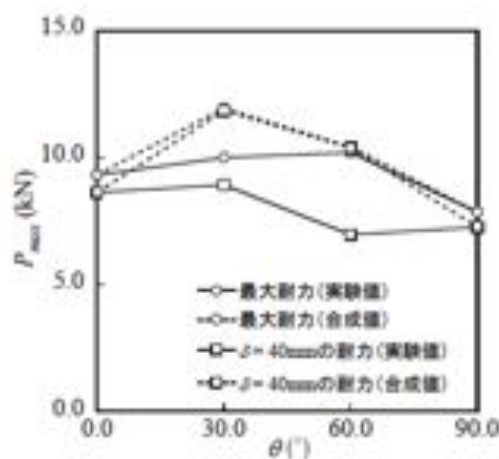


図3.4.1-87 载荷角度と最大耐力の関係

(e) 結論

本研究では野地板面と母屋間のせん断実験を載荷角度を変化させて行い、その挙動を把握した。また0°と90°の荷重変形関係から30°と60°の載荷方向の荷重変形関係を評価し、実験結果と比較した。本研究で得られた結果は以下の通りである。

- ①θが大きくなるにつれてN115 釘のせん断よりも垂木の回転による釘の引き抜けが支配的となる傾向がみられた。
- ②垂木軸方向と垂木直交方向の耐力の相関は高く、評価手法では実験値を過大評価することから、切妻屋根の垂木- 母屋接合部ではこの影響を適切に考慮した耐力評価が不可欠である。

<参考文献>

- 1) 日本住宅・木材技術センター：2008 年度版 木造軸組工法住宅の許容応力度設計
- 2) 柴田雅人、土方和己、辻本直子、井戸田秀樹：垂木と母屋の接合に金物を用いた在来木造勾配屋根の剛性と耐力、日本建築学会東海支部研究報告書、第47 号、 pp.157-160、2009.2
- 3) 青山昇洋、井戸田秀樹：引抜きとせん断を同時に受ける釘接合部の耐力、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.283-285、2011.9
- 4) 井戸田秀樹、稲山正弘、加藤征宏：釘の引き抜けを伴う垂木および根太のねじり剛性、日本建築学会構造系論文集、第566 号、pp.89-95、2003.4

7) まとめ

本報告の試験では、伝統仕様の切妻屋根、寄棟屋根、方形屋根を瓦荷重の有無を実験変数とした試験を行い、また、構造用合板を野地板とした在来仕様の屋根構面との比較を行った。以下に得られた知見を示す。

切妻屋根

- ①伝統仕様は、在来仕様よりも剛性は低くなったが、 $1/10\text{rad}$ を超えても耐力低下を起さず、在来仕様の最大耐力よりも耐力は高くなった。
- ②伝統仕様は、杉板の幅が小さいため、面材釘のせん断すべりによるせん断剛性が低く、野地板のせん断変形が全体の変形の大部分を占めたため、垂木－桁接合部の釘が外れることなく変形したので、靱性的な破壊となった。在来仕様は、垂木－桁接合部の垂木軸方向の変形が全体の変形の大部分を占めることにより、垂木－桁接合部の釘が外れることにより耐力低下したため、脆性的な破壊となった。また、垂木－桁接合部の垂木軸方向の変形が大きかったため、小屋束の垂木軸方向への傾斜による棟木の回転が顕著に見られた。
- ③伝統仕様は、小屋束の垂木軸方向への傾斜による変形がなかったため、小屋貫の有無による耐力の差は見られなかった。
- ④伝統仕様は、瓦荷重の有無による耐力の差は見られなかったが、在来仕様では、瓦荷重を設けることにより、耐力の大幅な上昇が見られた。
- ⑤伝統仕様では、垂木－桁、棟木接合部をN125脳天釘打ちから2・N75斜め釘打ちに変更することにより、屋根構面のせん断耐力は低くなった。
- ⑥伝統仕様の野地板の面内せん断試験結果から得られた面材釘3本で構成される接合部のモーメント－変形角曲線から、簡易的に伝統仕様の切妻屋根のせん断力－変形角曲線を推定し、実験値と比較した結果、推定値の初期変形時の耐力が若干高い値を示したが実験値を概ね捉えていることが確認できた。また、推定方法は、垂木－桁接合部の垂木軸方向の変形による θ_x 、垂木－桁、棟木接合部の垂木せん断方向の変形による θ_y の変形成分は考慮していなかったが、すべての変形成分を考慮した形で推定を行うと、精度よく切妻屋根のせん断力－変形角曲線を推定できることが可能である見通しがたった。

寄棟屋根

- ①伝統仕様は、在来仕様よりも剛性は低くなったが、在来仕様と比較して靱性的な破壊となった。
- ②変形としては、面材釘のせん断すべりによる面材のずれ、隅木－桁接合部の隅木軸方向の変形、小屋束の傾斜、大平面での野地板と垂木の隅木からの外れが見られた。そして、隅木が棟木から外れることにより野地板を押し上げて垂木－棟木接合部が外れる破壊が顕著になり耐力が低下し始めた。
- ③大平面の隅木から離れるにつれて垂木－桁接合部はあまり大きな変形は見られず、大平面ではS字型に変形した。
- ④野地板を千鳥配置とせずに大棟区間と隅棟区間で区切ると、剛性、耐力共に大幅に低くなった。
- ⑤瓦荷重の有無による耐力の差は見られなかった。
- ⑥切妻屋根に比べて剛性、耐力共に高くなった。

方形屋根

- ①在来仕様は、伝統仕様と比べて $1/20\text{rad}$ 付近まではほぼ同じような耐力となったが、在来仕様では、隅木－束接合部の隅木が小屋束から外れることにより、 $1/20\text{rad}$ 付近で耐力の急激な低下が見られ、脆性的な破壊となった。
- ②変形としては、隅木－桁接合部の隅木軸方向の変形、隅木－束接合部の隅木軸方向の変形、野地板と垂木の隅木からの外れが見られた。そして、隅木－桁接合部の隅木軸方向の変形が顕著になり耐力が低下し始めた。
- ③瓦荷重の有無による耐力の差は見られなかった。
- ④寄棟屋根に比べて剛性、耐力共に高くなった。

今後、垂木－桁、棟木接合部の要素試験を実施するとともに、各種板厚と釘1本のせん断性状から野地板や床板の接合点1カ所あたりの $M-\theta$ 関係を計算するためのデータベースを整備することにより、様々な板幅や厚さの野地板に対応できるようにする予定である。

3. 4. 2 仕口・継ぎ手

(1) 試験体番号F1, H1, K1, L1試験体

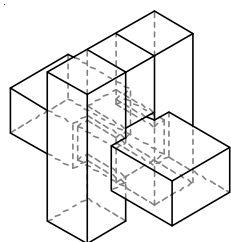
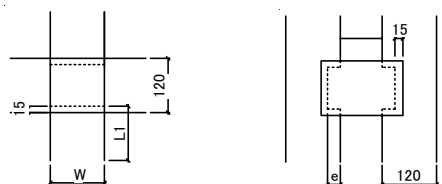
1) 試験体と試験方法

(a) 試験体概要

伝統構法建築物の耐力評価に際し、接合部の強度性能の評価は重要な因子である。各地域や対象物件でさまざまに異なった樹種、寸法、要素形状を持つ伝統構法接合部に対して適切な評価を行うためには、材料や寸法の持つそれぞれの働きを明らかにする必要がある。そこでこれら伝統構法接合部に対して、将来的な算定式による評価法の確立を目指した実験的な耐力性能の検証を行っている。本項では試験体番号F1、H1、K1、L1試験体についての要素試験結果について報告を行う。それぞれの試験体番号が意味する試験条件は下記である。図3.4.2-1に対象仕口の概要を示す。

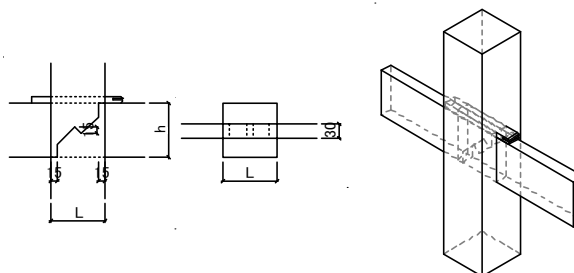
F-1	渡り腮	「引張」
H-1	通し貫（略鎌継ぎ）	「引張」
K-1	雇い竿車知	「引張」
L-1	雇い竿車知	「4点曲げ」

F-1試験体「渡り腮」



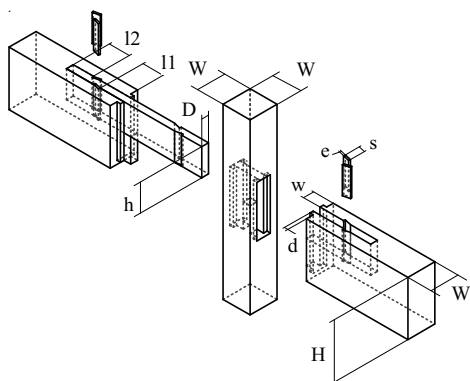
W : 梁幅
e : 腮の噛み合い深さ
L1 : 腮長さ

H-1試験体「通し貫（略鎌継ぎ）」



L : 柱幅
h : 貫幅

K-1、L-1試験体「雇い竿車知」



W : 梁幅
D : 雇い実幅
w : 雇い実溝側部幅
H : 梁せい
h : 雇い実せい
e : 車知厚
s : 車知幅
l₁ : 梁端-車知間距離
l₂ : 雇い実溝先端-車知間距離
d : 目違深さ

図3. 4. 2-1 対象仕口の概要

(b) 材料と加工

供試体は、主要な構成部材の大部分を静岡県産の天然乾燥スギ材から作製した。供試材はあらかじめグレーディングを行い、E70等級の品質を持つものを使用した。なお、一部は昨年度実施したE-ディフェンスでの実大震動台実験に用いられた試験体の解体材を再利用したため、情報が不足しているものも存在した。試験前後で電気抵抗含水率計および全乾法により含水率計測を行ったが、概ね20%程度と、比較的良好に乾燥していた。このため、試験体にはさまざまな程度の乾燥割れが入っているものが多かった。また主要な接合耐力を発揮する部分付近に節等の欠点が存在するものも見られたが、総合的な試口性能の評価を行うため、これらの影響については、試験結果を取り扱う際に特に考慮しないものとした。

試験体の作製に際し、基本的に同型の試験体においては同一の丸太から採取された材料を用いるようにした。なお、雇い竿車知の仕様の仕口において、両側の梁材は供木から採取されたものとした。

試験体は京都市の工務店において一括して加工を施した後、1ヶ月程度養生した後に組み立て、評価試験を行った。

なお、雇い竿車知の仕様の仕口については雇いほぞ材料はヒノキ、車知栓材料はシラカンとした。また試験体を組み立てる載、車知の打ち込みにより初期支圧力が発生すると耐力性能に影響を及ぼすため、これを極力与えないために、車知に滑り勾配は設けないものとし、また車知を手で押し込める程度の嵌合度で加工を行った。

(c) 試験方法

F-1 渡り腮「引張」

図3.4.2-2にF-1渡り腮（以下渡り腮仕口）引張試験の方法を示す。渡り腮仕口鉛直部材に引張力が作用する際、仕口の嵌合抵抗の作用線と鉛直部材の荷重の作用線がずれているため、仕口にはモーメントが作用し、回転を生じて単体では試験が困難である。そこで同型2体の渡り腮鉛直部材をペアとして、中央の水平部材の両側に配することにより、バランスを取って試験を実施した。

ところで渡り腮仕口の引張性能評価に対し、いわゆる梁材のせいが大きい場合に生じる横倒れやねじれの変形は仕口性能とは別途評価すべきと考え、今回梁材を想定した水平部材についてはそれほど断面の大きくないものを使用した。

水平部材をスパン600mmでフレームに支持し、1対の鉛直部材の間にスパーサー挟みこんだ上でボルトで結合し、それを介して、Instron100kN 堅型万能試験機を用いて2mm/minの単調増加加力で引張力を与えた。荷重は100kN容量のロードセルで記録した。鉛直部材と水平部材の相対変位を計測したが、変位計CDP-50を各鉛直部材軸線上の両側に取り付け、水平部材の中央部に固定したプレートに向けて、変位計測を行った。

なお、本試験は渡り腮仕口の引張性能に関わる抵抗要素パラメータの挙動を把握することが目的であるが、大きく顎部のせん断と、顎と水平部材のめり込みの2要素が考えられる。顎部は脆性的に破壊するため、先行破壊した場合にめり込みの評価が十分に行えないと考えられた。そこで、図中囲いに示したように、顎部のせん断で先行破壊を生じた試験体については、加力終了後に水平材の支点下部と鉛直材の加力点部にブロックを挟んで圧縮試験を行った。これにより、引張試験時には健全であった仕口の反対側でのめり込み性能を評価した。

試験体は後に述べる各寸法パラメータについて、それぞれ6体ずつ実施した。

H-1 通し貫（略鎌継ぎ）「引張」

図3.4.2-3にH-1通し貫（略鎌継ぎ）引張試験の方法を示す。貫材中立軸線上において仕口中心から両側に275mm離れた位置にφ20mmの鋼製ピンを介し、Instron100kN 堅型万能試験機を用い

て1mm/minの単調増加加力で加力した。変位計は両貫材の両側に設置し、貫材と柱との相対変位を記録した。本試験条件は寸法パラメータを持たず、1条件計3体について試験を行った。

略鎌継ぎでは仕口内で貫材同士を噛み合わせるために柱には楔代を設け、スギ製の合わせ楔で両側から留めつけた。このとき、楔を強く締め付けると、仕口に摩擦力が生じ、引き抜きの抵抗因子となる。この影響をできる限り除外するため、楔の打ち込みに当たっては貫材が仕口両側でぐらつかない程度に打撃力を調整しつつ、注意深く楔端をハンマーで打撃して仕口内に打ち込んだ。

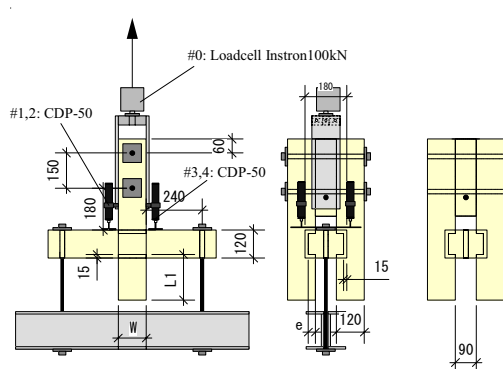


図3.4.2-2 F1試験体の試験方法

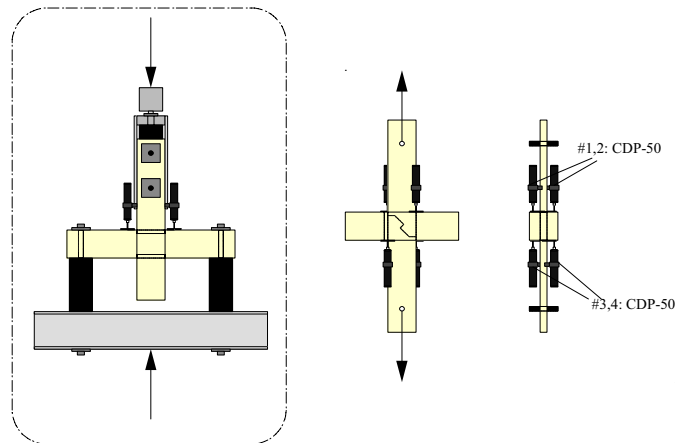


図3.4.2-3 H1試験体の試験方法

雇い竿車知仕口（以下車知仕口）に対しては①引張試験(K1)、②対称純曲げ試験(L1)の2加力条件での実験を行った。なおこれは、車知仕口に作用する力がより明快となる条件下で性能評価を行うためであり、実際の接合部においてこの力学条件だけが作用するわけではない。接合部の型式は、断面120×120mmのスギ柱に、断面120×240mmのスギ梁を両側から取り付け、断面30×120mmのヒノキ雇い実を挿入し、7.5×30mmのシラカシ車知で止めつける仕様を標準とした。

K-1 雇い竿車知「引張」

図3.4.2-4に車知仕口の引張試験方法を示す。加力は雇いほぞの中心線上で行い、梁材において雇いほぞ導入溝基部からの縦割裂の進展を妨げないよう、その影響を極力避けるべく加力点までの距離を360mmとした。同様に、直交する柱部材の割裂強度への影響を考慮し、ほぞ穴からの余長を360mmとした。加力部では梁材の強軸方向へのピン支持とし、Instron堅型1000kN試験機を使用して変位速度2mm/minで単調载荷を行った。

変位計測について、①雇いほぞと梁との相対変位を雇いほぞ端で計測し、また②柱と梁との相対変位を、柱に取り付けたアルミ製治具を介して雇いほぞが挿入された部分より外側において計測した。また③梁の横開き変形に対し、柱との相対変位を車知の挿入点（中央）において行った。

また、試験体に取り付けた定点カメラにより、試験体側面から、部材や車知の変形を一定時間ごとにインターバル撮影した。

試験体は後に述べる各寸法パラメータについて、それぞれ3体ずつ実施した。

本試験体は柱の両側に同型の接合部が取り付け仕様であるが、試験体は基本的に脆性的な破壊挙動を示すため、どちらか一方が先行して破壊を生じる。この場合、他方は健全なままであることが多く、これを評価対象に加えるために以下の手順を行った。すなわち、①試験体を加力し一方を破壊に至らしめる。②接合耐力が低下し、荷重値が最大値の50%程度に低下した時点で一旦試験を終了し、除荷する。③破壊を生じた側の梁材両側の外部から、コーススレッド120mmを雇いほぞを貫通するように多数本斜め打ちし補強する。④試験体を再加力し、破壊しなかった側の接合部を破壊に至らしめる。⑤両側で破壊を生じせしめることが出来た試験体は2体分として評価対象に含める。

ただし、一方が最後まで破壊に至らず、補強した側で再度破壊を生じた試験体については評価対象に含めない。

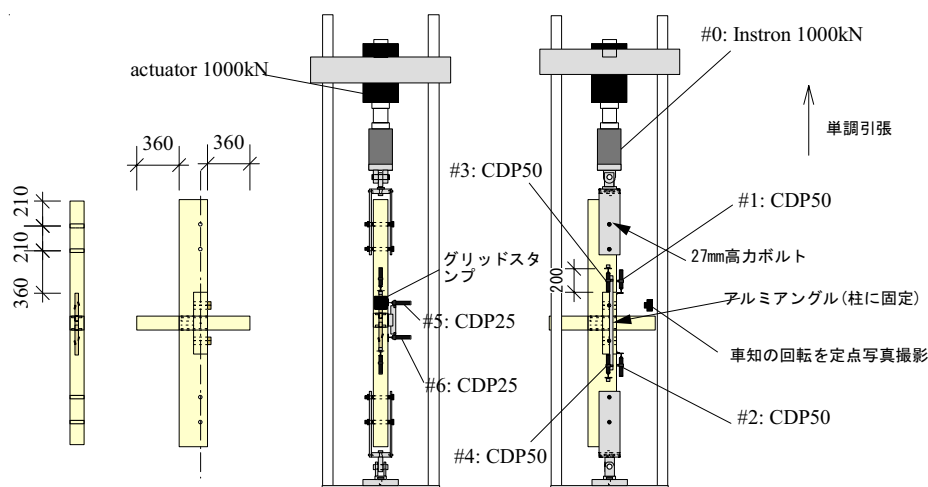


図3. 4. 2-4 K1試験体の試験方法概要

L-1 雇い竿車知「4点曲げ」

図3.4.2-5に車知仕口の4点曲げ試験方法を示す。本試験法では仕口部に純粋な曲げモーメントが作用するため、せん断力等の影響を受けない、接合部の回転挙動を評価することが出来る。試験体の全スパンは2700mmとしたが、そのうち純曲げスパンを1300mmとした。正負交番の繰り返し載荷を行うため、加力点と支持点はピン支持とし、さらに試験体の横開き変形を拘束しないために両端ピンのバーを用いて支持・加力した。スパン中央部でInstron縦型試験機にピン支持条件で取り付け、柱の上下動変位と試験体のスパンから算出される見かけの接合部回転角を用いて、目標値1/240、1/120、1/60、1/30、1/20、1/15radの段階で正負交番1回繰り返し加力を行った。加力速度は目標辺計画段階ごとに異なるものとし、それぞれ4、8、16、30、45、80 (mm/min) とした。なお、柱が傾く現象を防止するため、柱の上下において4方向からローラーで拘束を設けた。

最大目標変形角段階に達する以前に試験体が正負いずれかの方向で耐力を失った場合にはそこでそちら側の加力を終了し、以下耐力が保持されている側のみの加力を継続した。試験体が正負両側で完全に耐力を失った時点で試験を終了とした。

梁材片側面において両梁の上下面と柱との相対変位を記録し、接合部回転角を算出した。さらに梁と柱の直交方向のせん断変形を計測した。

$$M=P/2 \times 0.675 \quad [\text{N.m}] \quad (3.4.2-1)$$

$$\theta = ((\delta_1 - \delta_2 + \delta_3 - \delta_4)) / 2H \quad [\text{rad}] \quad (3.4.2-2)$$

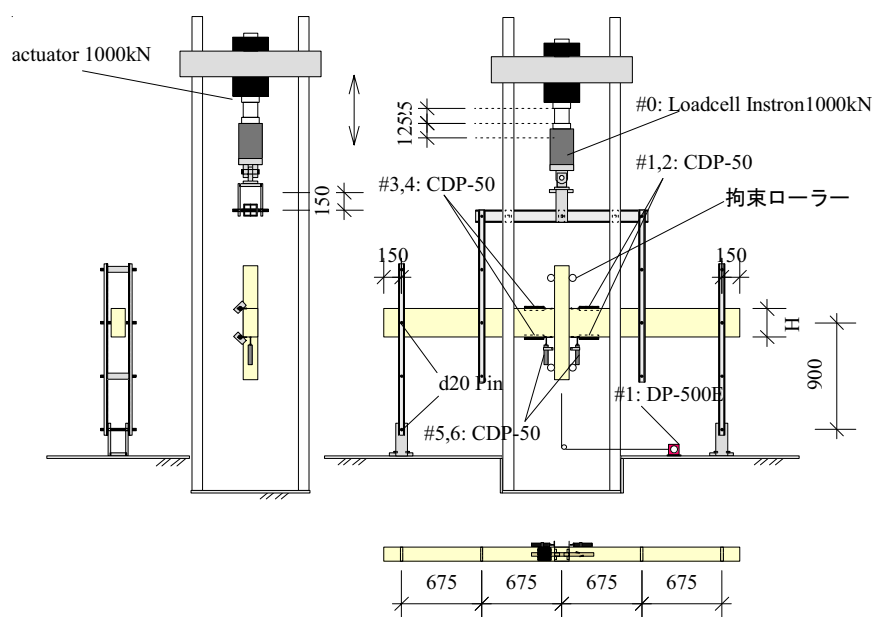


図3. 4. 2-5 L1試験体の試験方法概要

(d) 試験パラメータ

F-1 渡り腮「引張」

表3.4.2-1にF-1試験体寸法パラメータを示す。渡り腮仕口では、顎部の引っ掛かりにより、①顎部のせん断、②顎部の横架材へのめり込み、③横架材の横せん断、の降伏-破壊モードが想定されたため、顎部の余長部(L1)、顎の幅(W)、顎部の深さ(e)の各寸法条件を変化させたパラメータを設定した。

表3. 4. 2-1 F-1試験体寸法パラメータ (mm)

No.	e	L1	W	備考	No.	e	L1	W	備考
F1-1	30	120	120		F1-4	30	120	60	
F1-2	30	60	120		F1-5	45	120	120	
F1-3	30	180	120		F1-6	15	120	120	

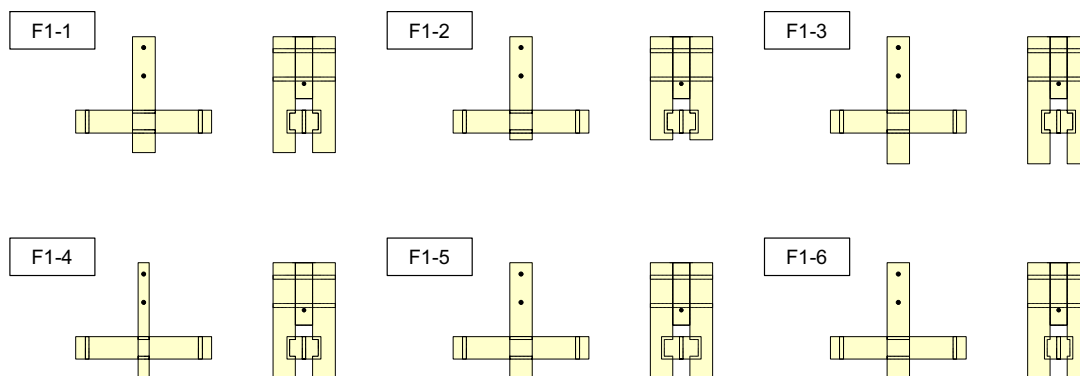


図3. 4. 2-6 F-1試験体の寸法パラメータ

H-1 通し貫（略鎌継ぎ）「引張」

H-1型の仕口については接合部形状は1種類のみであり、寸法パラメータは無い。

K-1 雇い竿車知「引張」

表3.4.2-2にK-1試験体寸法パラメータを示す。K1-1を基本形として、柱断面の大きいもの（K1-2）、梁せいと雇いほぞせいのバランスを変化させたもの（K1-3、4、5）、車知の断面寸法を変えたもの（K1-6、7、8）、雇いほぞのせん断長さを変化させたもの（K19、10）、目違いの深さや有無の異なるもの（K1-11、12）といったパラメータを設定した。K1-5は雇いほぞが梁の高さ方向全面に渡って挿入されている試験体であり、車知の回転を拘束する梁のほぞ導入溝の基底部が無い条件である。K1-12は目違いが柱に挿入されておらず、互いの梁同士で結合されているため、左右の梁に生じる開き力のバランスが等しい場合、開き力を拘束しない。

表3.4.2-2 K-1試験体寸法パラメータ (mm)

No.	W	D	w	H	h	e	s	l_1	l_2	d	備考
K1-1	120	30	45	240	120	7.5	30	90	90	15	標準形
K1-2	150	30	60	240	120	7.5	30	90	90	15	
K1-3	120	30	45	150	60	7.5	30	90	90	15	
K1-4	120	30	45	300	180	7.5	30	90	90	15	
K1-5	120	30	45	150	150	7.5	30	90	90	15	
K1-6	120	30	45	240	120	9	30	90	90	15	
K1-7	120	30	45	240	120	12	30	90	90	15	
K1-8	120	30	45	240	120	7.5	45	90	90	15	
K1-9	120	30	45	240	120	7.5	30	60	60	15	
K1-10	120	30	45	240	120	7.5	30	120	120	15	
K1-11	120	30	45	240	120	7.5	30	90	90	30	
K1-12	120	30	45	240	120	7.5	30	90	90	0	柱無し

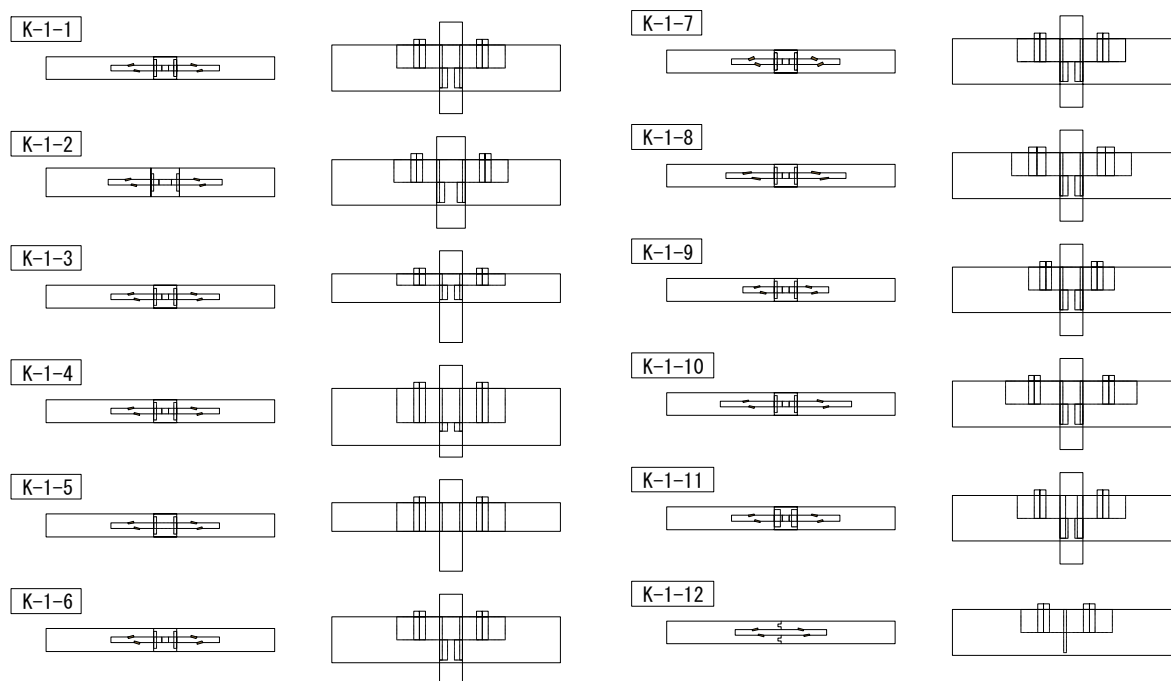


図3.4.2-7 K-1試験体の寸法パラメータ

L-1 雇い竿車知「4点曲げ」

表3.4.2-3にL-1試験体寸法パラメータを示す。L1-1を基本形として、柱幅の大きいもの（L1-2）、梁せいの大小、梁と雇いほぞの寸法比の異なる条件（L1-4、5、6）、雇いほぞのせん断長さの異なるもの（L1-7、8）、目違いの拘束条件の異なるもの（L1-2、9、10）といった条件を設定した。

表3. 4. 2-3 L-1試験体寸法パラメータ (mm)

No.	W	D	w	h	h1	e	s	l ₁	l ₂	d	備考
L1-1	120	30	45	240	120	7.5	30	90	90	15	標準形
L1-2	120	30	45	240	120	7.5	30	90	90	0	目違無し
L1-3	150	30	60	240	120	7.5	30	90	90	15	
L1-4	120	30	45	150	60	7.5	30	90	90	15	
L1-5	120	30	45	300	180	7.5	30	90	90	15	
L1-6	120	30	45	240	240	7.5	30	90	90	15	
L1-7	120	30	45	240	120	7.5	30	60	60	15	
L1-8	120	30	45	240	120	7.5	30	120	120	15	
L1-9	120	30	45	240	120	7.5	30	90	90	30	
L1-10	120	30	45	240	120	7.5	30	90	90	0	柱無し

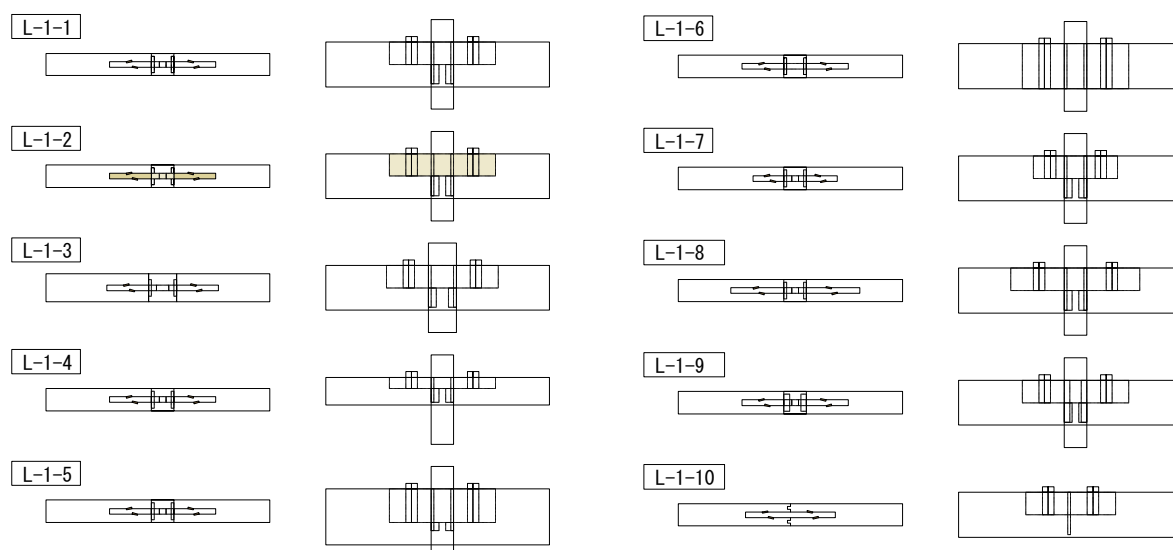


図3. 4. 2-8 L-1試験体の寸法パラメータ

(e) 試験概観

図3.4.2-7に試験時の風景を示す。それぞれ左上はF-1試験、中上はH-1試験、右上はK-1試験全景、左下はK-1試験における仕口のスクリュー補強、中下はL-1試験全景、右下はL-1試験変位計配置である。

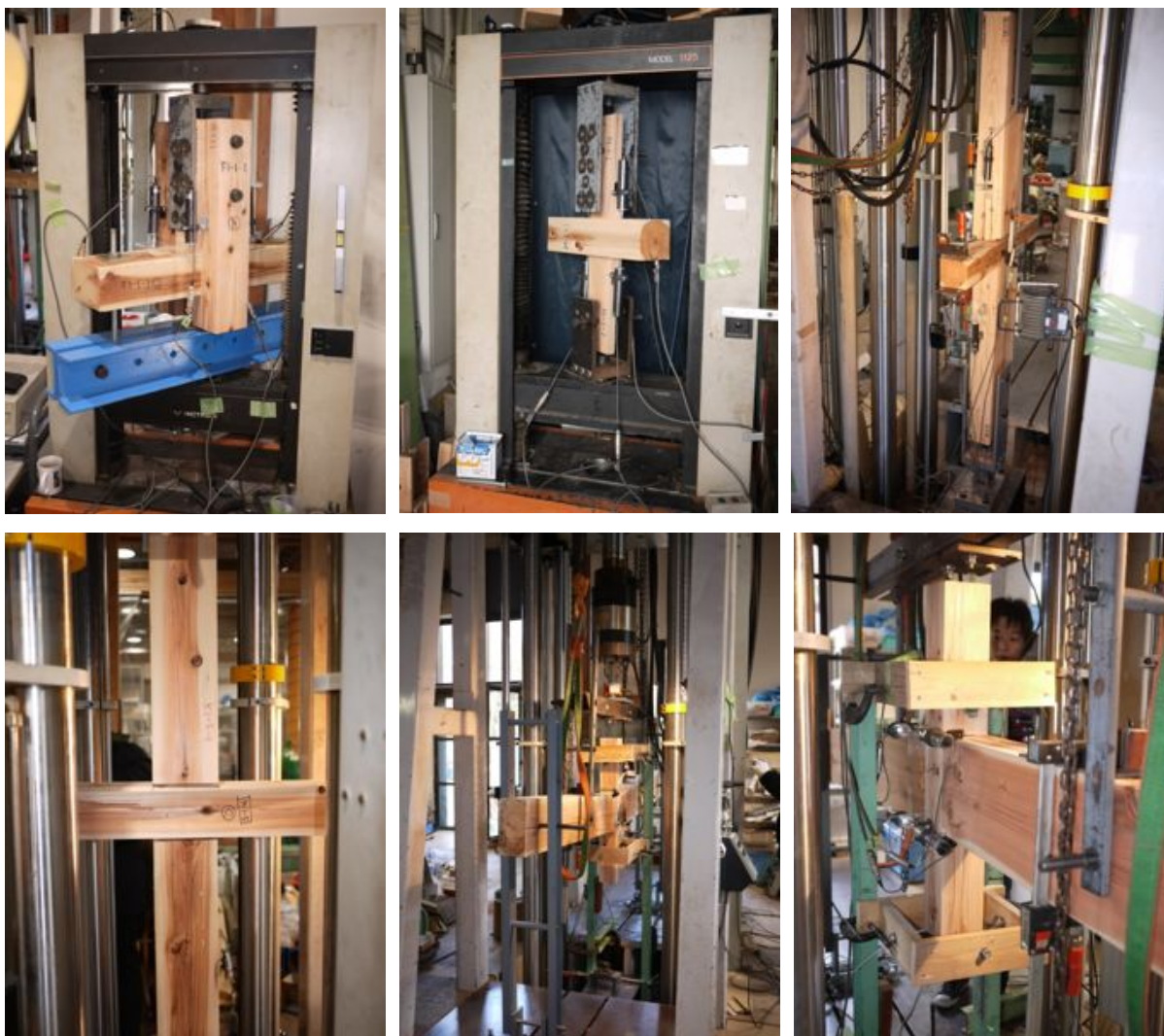


写真3.4.2-1 試験風景 左上：F-1試験、中上：H-1試験、右上：K-1試験全景、左下：K-1試験における仕口のスクリー補強、中下：L-1試験全景、右下：L-1試験変位計配置

2) 試験結果

(a) 変形と破壊の性状

F-1 渡り腮「引張」

写真3.4.2-2に渡り腮仕口（引張）の変形と破壊の様子を示す。引張加力時にはF1-6型を除いて腮部のせん断によって極めて脆性的な破壊が生じた。F1-6試験体では腮部が横架材にめり込み、横架材が横に崩れ落ちるようなローリングシア破壊を生じながら粘り強い変形性状を示した。一方で押し加力時には全ての試験体でめり込みによって降伏が生じ、まためり込み面積の大きな試験条件では試験機の許容量である100kNの耐力に達したため、試験を終了した。横架材の引っかけり部分の横せん断破壊はいずれの条件でも生じなかった。



写真3. 4. 2-2a



写真3. 4. 2-2b



写真3. 4. 2-2c



写真3. 4. 2-2d



写真3. 4. 2-2e



写真3. 4. 2-2f

写真3. 4. 2-2 渡り腮仕口の変形と破壊

H-1 通し貫（略鎌継ぎ）「引張」

写真3.4.2-3に通し貫（略鎌継ぎ）の引張試験における破壊の様子を示す。なお、写真は試験後に仕口部分を切り出して撮影した。全ての試験体で、鎌部分の嵌合部で繊維に沿ったせん断破壊を生じた。貫材の楔方向への開きはほとんど観察されなかった。



写真3. 4. 2-3a



写真3. 4. 2-3b



写真3. 4. 2-3c

写真3. 4. 2-3 通し貫仕口の変形と破壊

K-1 雇い竿車知「引張」

写真3.4.2-4に車知仕口（引張）の変形と破壊の様子を示す。車知仕口引張試験体については、目違の隅角部からの梁の縦割裂もしくは目違による柱の縦割裂の発生が破壊の起点となり、その後梁が開くことによって車知が回転し、最終的に車知が曲げ破断して耐力低下する破壊性状がほとんどの条件で見られた。また車知を通常より扁平にした条件では、車知の圧縮座屈が先行することにより降伏する様子も観察された。雇い竿の導入溝の基部を持つ試験体では、雇い竿を取り巻く梁が開き変形を生じるとともに雇い竿の底にある程度沿った位置で梁側面に割裂が生じた。一方で雇い竿の基部を持たない条件では梁全体が開き変形を生じた。



写真3. 4. 2-4a



写真3. 4. 2-4b



写真3. 4. 2-4c



写真3. 4. 2-4d



写真3. 4. 2-4e



写真3. 4. 2-4f



写真3. 4. 2-4g



写真3. 4. 2-4h



写真3. 4. 2-4i

写真3. 4. 2-4 車知仕口（引張）の変形と破壊

L-1 雇い竿車知「4点曲げ」

写真3.4.2-5に車知仕口（4点曲げ）の変形と破壊の様子を示す。車知仕口曲げ試験体については、車知仕口引張試験と同様に多くは車知の回転に伴い梁が横に押し広げられ、最終的に大きな縦割裂を生じて破壊に至った。その過程で車知が曲げ破壊を生じるものも見られた。また回転に伴い、車知仕口の引張試験の条件ではあまり見られなかった、車知の引っかけり部分より梁端部までのせん断破壊が見られた。このせん断破壊は全体の耐力を急激に低下させるものではなく、徐々に伸展しつつ粘りを生じさせる変形状態であるように観察された。また、一部ではあるが、雇い竿が引張あるいは曲げによる破断を生じる試験体も見られた。



写真3. 4. 2-5a



写真3. 4. 2-5b



写真3. 4. 2-5c



写真3. 4. 2-5d



写真3. 4. 2-5e



写真3. 4. 2-5f

写真3. 4. 2-5 車知仕口（4点曲げ）の変形と破壊

(b) 試験結果の処理

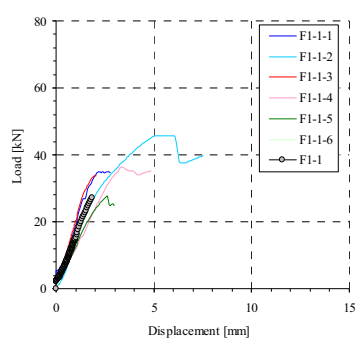
今回の試験体は、仕口の初期支圧力が剛性や耐力性能に与える影響を抑制するため、組み立て時に車知等を強く打ち込むことの無い様に作成した。その結果、試験結果は初期遊びを含むものであったが、そのままでは初期剛性の定義がし難いなど不都合があるため、解析に当たりこの除去を行った。すなわち、①最大耐力（モーメント）の10%、40%を示す包絡線上の点を結ぶ直線を定義する。②その直線のx切片を求める。③包絡線全体をx切片の値だけオフセットする。④オフセットした包絡線を用いてその後の解析（平均曲線、完全弾塑性置換等）を行う。⑤オフセット曲線で完全弾塑性置換ができない場合（初期遊びが非常に大きい場合）は、適宜初期の直線の定義を変更する（最大耐力の20%、50%の点を結ぶ直線など）。⑥その場合は完全弾塑性置換の初期剛性を定める直線域も変更する。

(c) 荷重-変位関係

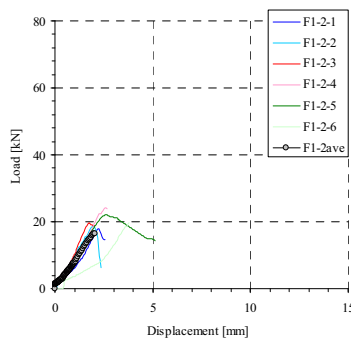
F-1 渡り腮「引張」

図3.4.2-9に渡り腮仕口（引張）の各試験体の荷重-変位関係を示す。

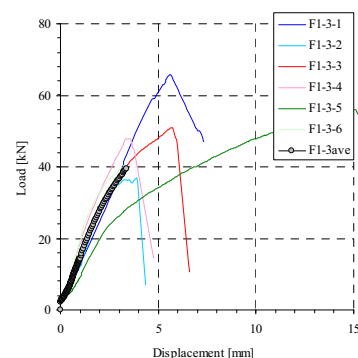
引張性能については、F1-6の条件を除き、腮部の先端がせん断破壊し、脆性的な挙動を示した。一方で、図3.4.2-10に示す、圧縮側の挙動では、鉛直部材の腮部が水平部材にめり込みに伴う、粘り強い荷重-変形関係が見られた。全体的に圧縮側の耐力が大きく、すなわちめり込み耐力がせん断耐力を上回った。



F1-1



F1-2



F1-3

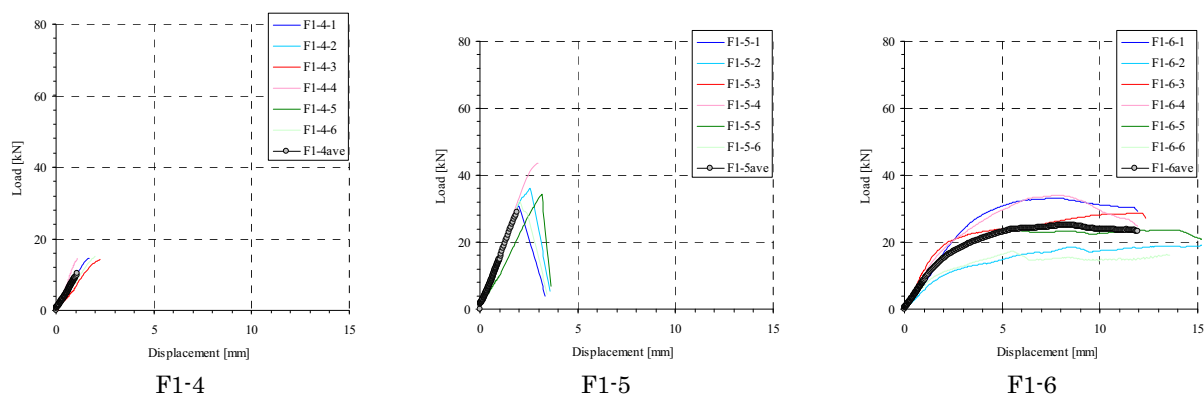


図3.4.2-9 渡り腮仕口各試験体の荷重-変位関係（引き側）

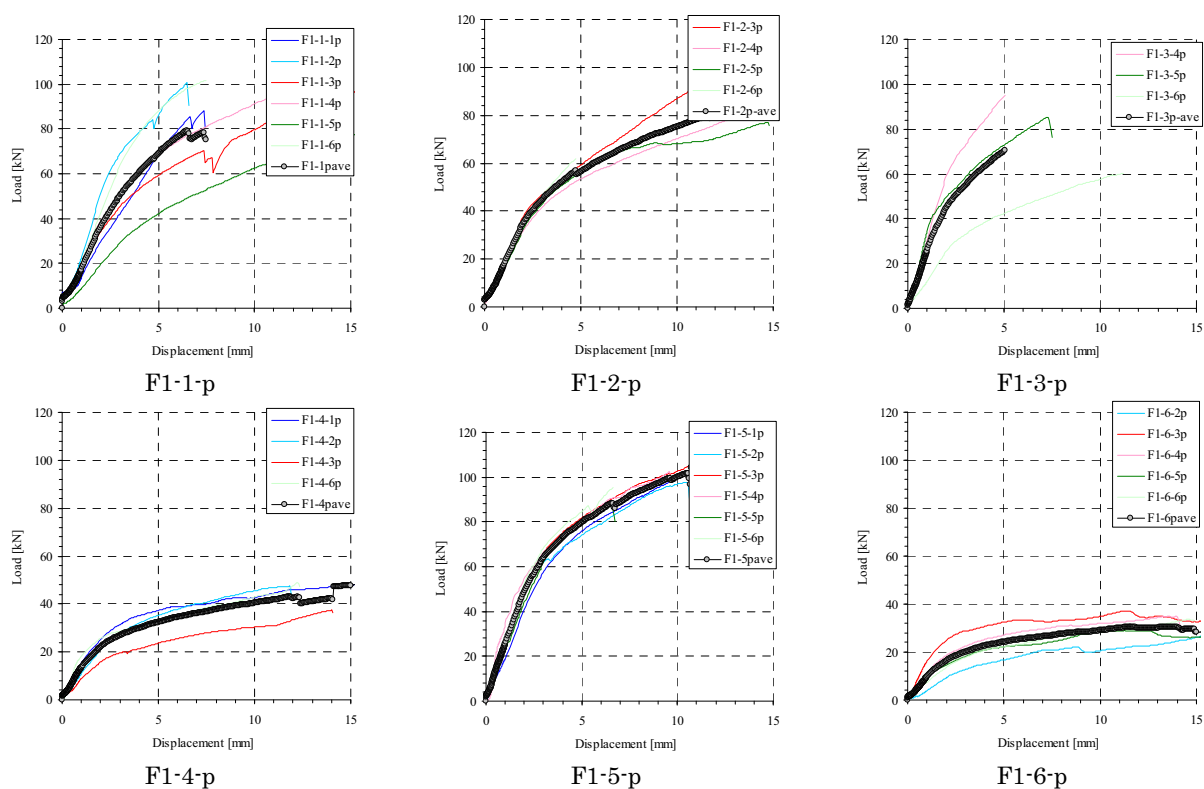


図3.4.2-10 渡り腮仕口各試験体の荷重-変位関係（押し側）

H-1 通し貫（略鎌継ぎ）「引張」

図3.4.2-11に通し貫仕口（引張）の各試験体の荷重-変位関係を示す。

通し貫仕口（略鎌継ぎ）の引張性能では、きわめて脆性的な破壊を生じた。最大耐力も小さく、高い引張性能を期待しうる接合部では無いと考えられる。

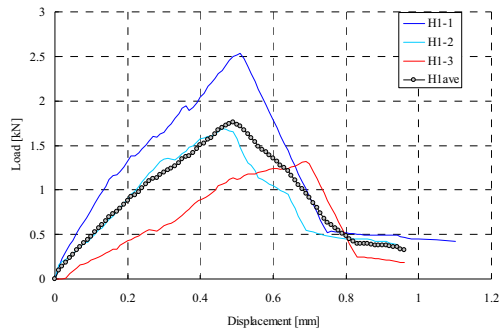
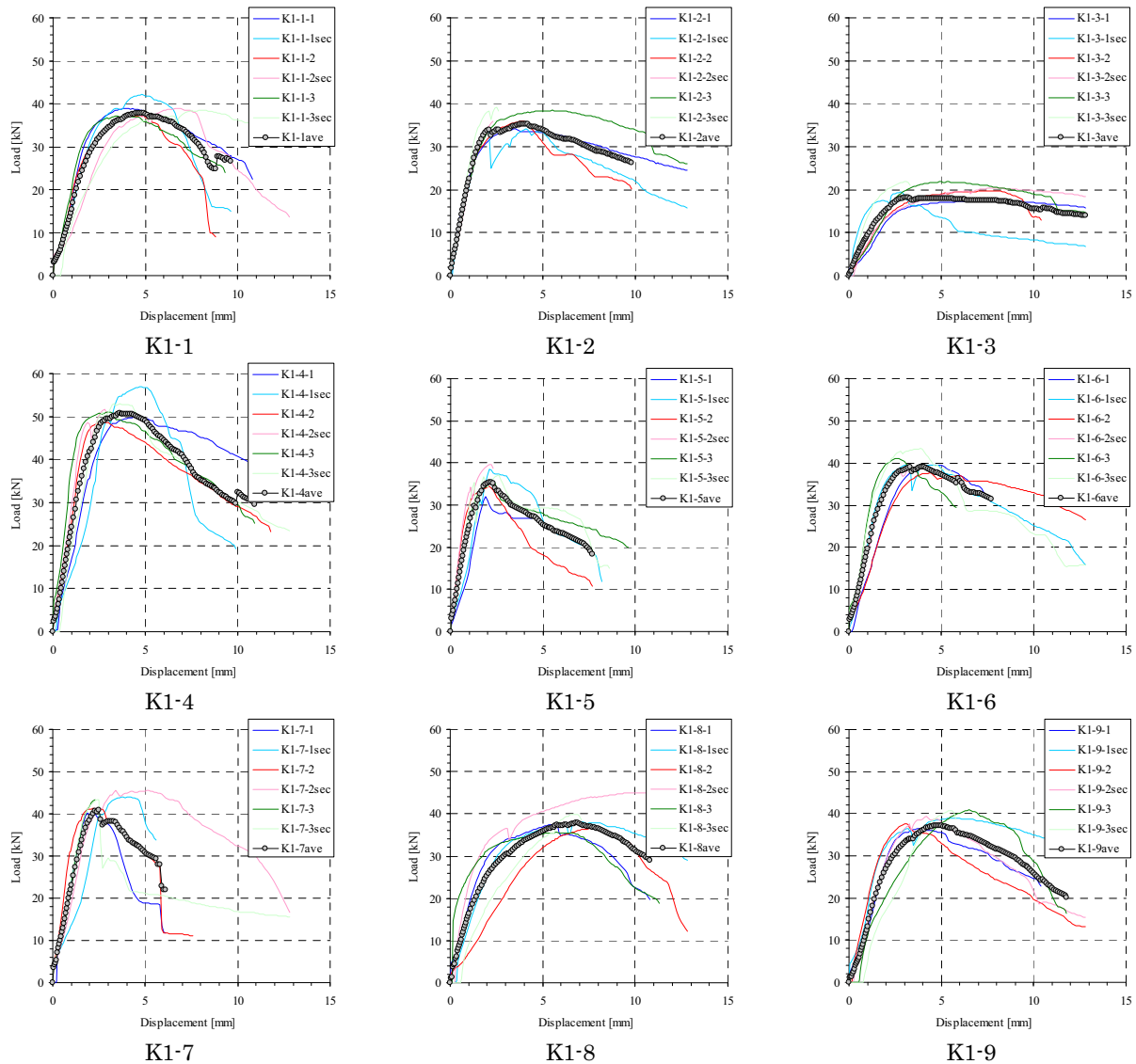


図3.4.2-11 通し貫仕口各試験体の荷重-変位関係

K-1 雇い竿車知「引張」

図3.4.2-12に車知仕口（引張）の各試験体の荷重－変位関係を示す。試験結果はややばらつきが大きかったが、全体としては試験条件ごとに一定の傾向を示した。荷重－変形の履歴性状は弾性域をすぎた後にやや短い降伏後領域があり、最大耐力に達した後は緩やかに耐力低下を生じた。完全弾塑性特性値における $\delta v/\delta y$ は平均で $\delta v/\delta y = 1.44$ 、塑性率 $\mu = \delta u/\delta v = 3.44$ であった。



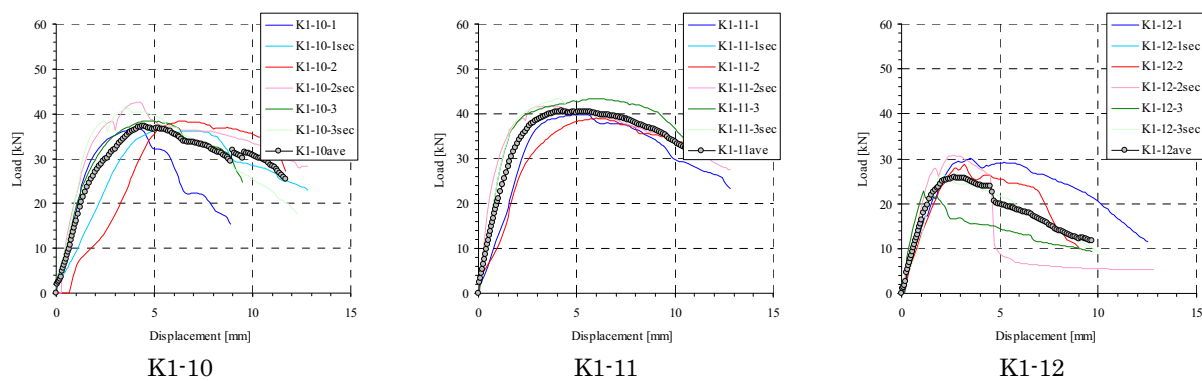
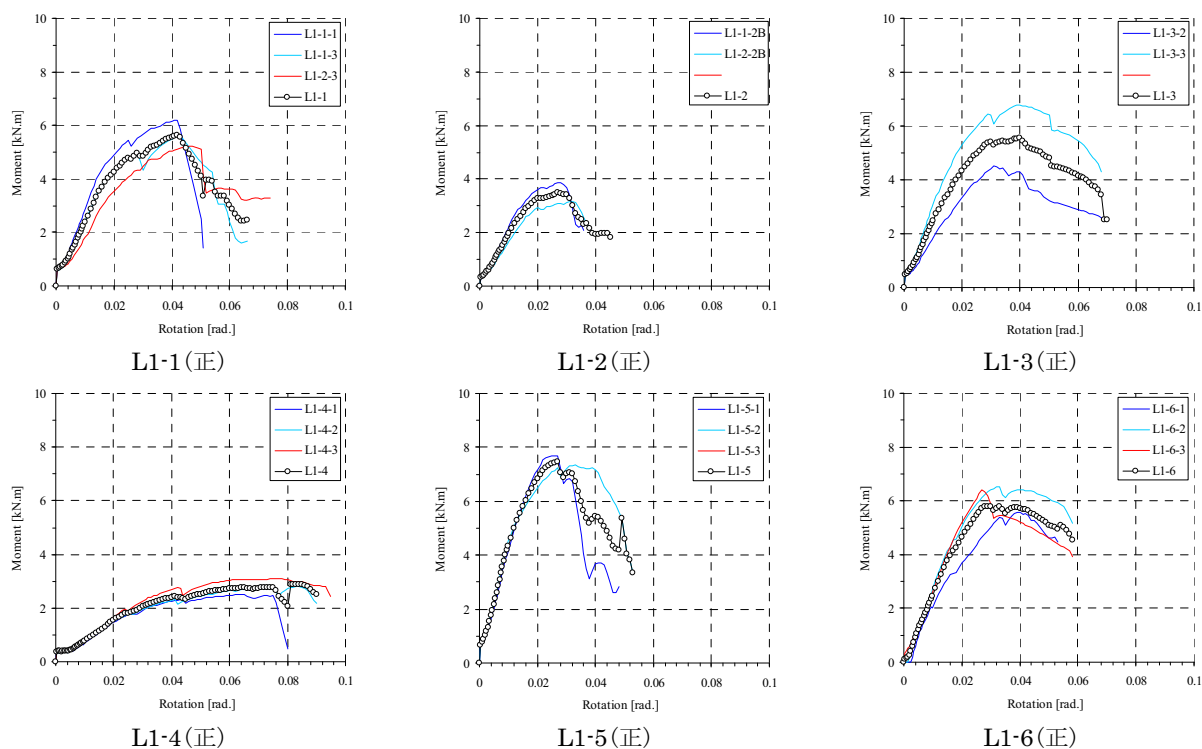
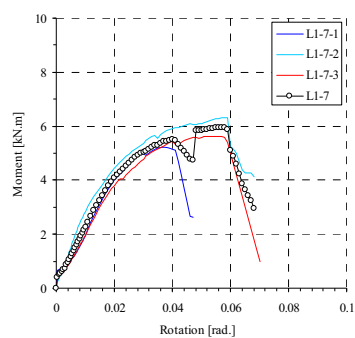


図3.4.2-12 車知仕口（引張）各試験体の荷重-変位関係

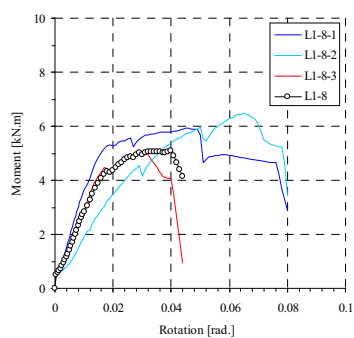
L-1 雇い竿車知「4点曲げ」

図3.4.2-13および14に車知仕口（4点曲げ）の各試験体のモーメント・回転角関係の包絡線を示す。なお、図3.4.2-13は正側（雇いほぞが引張を受ける側）の曲線であり、図3.4.2-14は負側（雇いほぞのある試験体上部が圧縮力を負担する側）の関係である。正側加力時において、引張試験時と同様に、初期弾性域を示した後に降伏後の緩やかな耐力上昇をする領域を示し、最大モーメントに達した後は引張試験時より急激な耐力低下を示した。完全弾塑性置換結果における終局変形角 θ_u は平均で $\theta_u=0.056$ であった。一方で図3.4.2-14に示す、負側の領域においても最大モーメントが例えばL1-6で平均6.00kN.mと正側と比較しても遜色ない耐力性能を示した。一方で初期剛性は正側に比べて小さい値となった。概ね直線的に耐力上昇した後、雇いほぞの曲げ破壊で最大耐力に達する傾向が見られた。

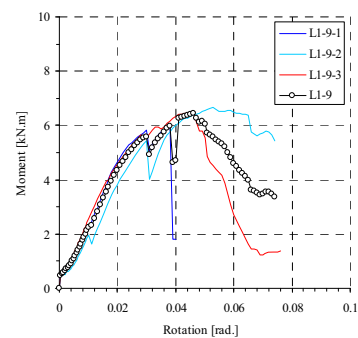




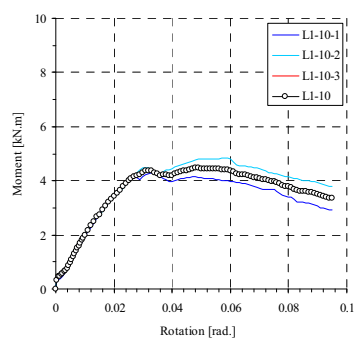
L1-7(正)



L1-8(正)

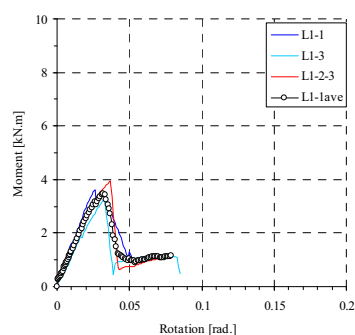


L1-9(正)

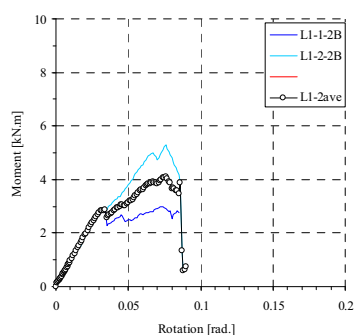


L1-10(正)

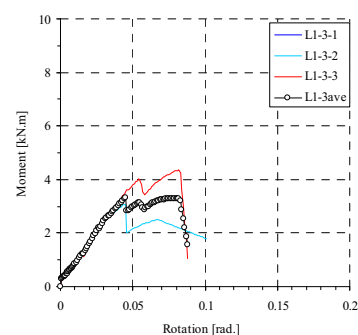
図3.4.2-13 車知仕口（4点曲げ）各試験体の正側モーメント-回転角関係



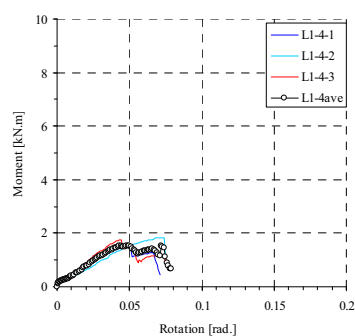
L1-1(負)



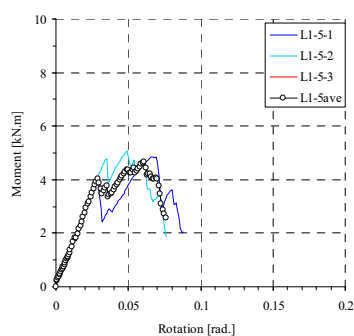
L1-2(負)



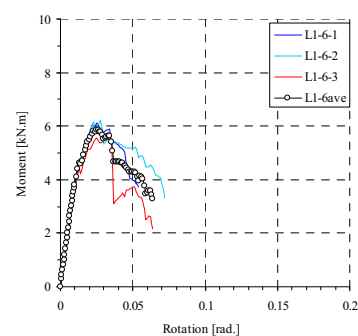
L1-3(負)



L1-4(負)



L1-5(負)



L1-6(負)

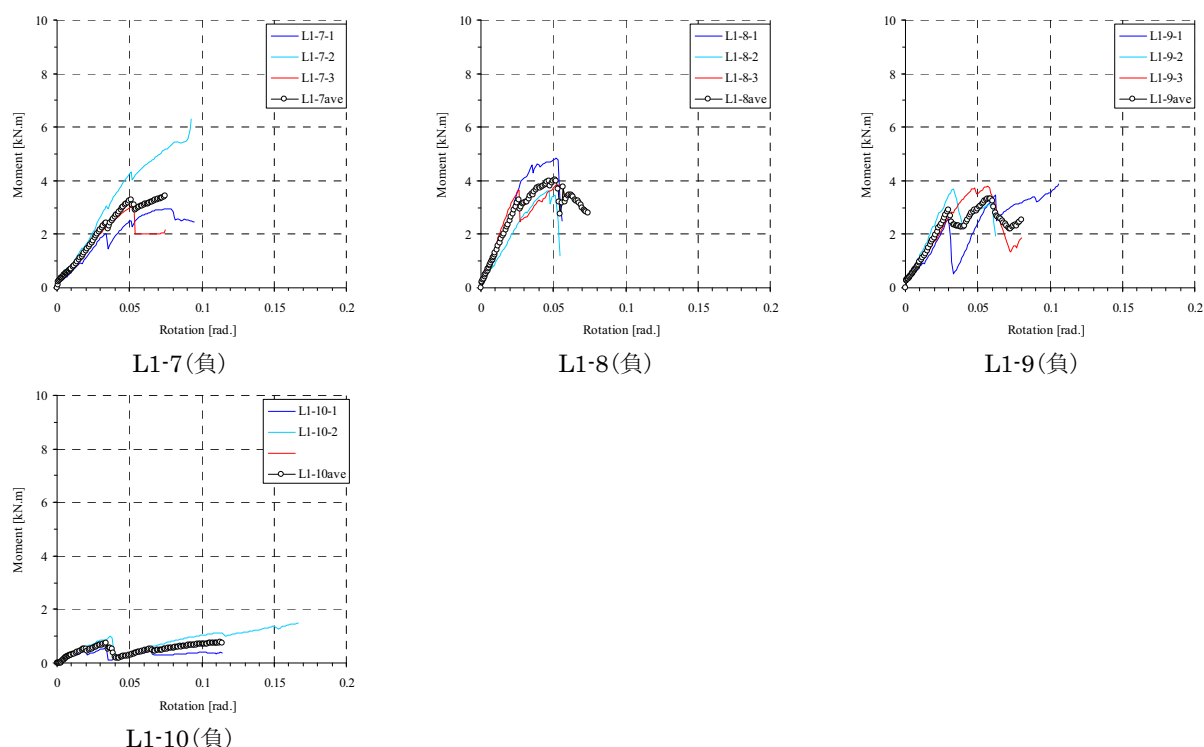


図3.4.2-14 車知仕口（4点曲げ）各試験体の負側モーメント-回転角関係

(d) 完全弾塑性特性値

F-1 渡り腿「引張」

表3.4.2-4に渡り腿仕口の特性値を示す。引張側加力については、脆性的な破壊形態を示したこともあり、完全弾塑性置換が出来ない試験体が多かった。そこで特性値としてはPmaxを示した。圧縮側加力に対しては、めり込みで降伏を生じたため、大きな2次勾配を持つ荷重-変位関係を示し、このため完全弾塑性置換特性値があまり意味をなさないと思われた。そこで、Pyの値に注目して示した。

表3.4.2-4 渡り腿仕口各試験体の特性値

Pull	Pmax kN	S. D kN	C. V	Push	Py kN	S. D kN	C. V
F1-1	34.2	6.9	0.20	F1-1	55.6	6.9	0.12
F1-2	20.5	2.2	0.11	F1-2	42.8	6.0	0.14
F1-3	49.7	10.5	0.21	F1-3	43.8	12.5	0.29
F1-4	14.7	0.4	0.03	F1-4	25.4	4.8	0.19
F1-5	34.7	5.0	0.14	F1-5	58.2	3.6	0.06
F1-6	26.2	6.9	0.26	F1-6	20.3	3.3	0.20

H-1 通し貫（略鎌継ぎ）「引張」

表3.4.2-5に通し貫仕口（引張）の完全弾塑性置換特性値を示す。なお、通し貫仕口については完全弾塑性置換が不可能であったため、Pmaxの値についてのみ示す。また、見かけのせん断面積（幅30mm×せん断長さ30mm=900mm²）で除して求めた、見かけのせん断強度 σ_s を示した。見かけのせん断強度の平均値は2.06N/mm²であり、スギ材の基準せん断強度1.8 N/mm²と比べてやや大きな値を示した。

表3. 4. 2-5 通し貫仕口各試験体の特性値

	Pmax kN	ave kN	σ_s N/mm ²	ave kN
H1-1	2. 54	1. 86	2. 82	2. 06
H1-2	1. 69		1. 88	
H1-3	1. 34		1. 49	

K-1 雇い竿車知「引張」

表3.4.2-6に車知仕口（引張）の完全弾塑性置換特性値を示す。

表3. 4. 2-6 車知仕口（引張）各試験条件の完全弾塑性特性値

	Py kN	2/3Pmax kN	δy mm	$\delta (2/3Pmax)$ mm	δv mm	Pu kN	δu mm	K kN/mm
K1-1	28. 6	25. 9	2. 01	1. 65	2. 56	36. 4	8. 56	15. 1
K1-2	23. 6	24. 2	1. 05	0. 88	1. 50	33. 8	6. 49	22. 5
K1-3	14. 6	13. 4	1. 83	1. 38	2. 31	18. 7	11. 03	9. 5
K1-4	35. 2	34. 6	1. 51	1. 32	2. 22	48. 6	6. 37	24. 0
K1-5	19. 8	24. 2	0. 69	0. 63	1. 12	32. 2	3. 82	31. 9
K1-6	29. 2	26. 7	1. 64	1. 14	2. 08	37. 4	6. 82	19. 2
K1-7	32. 0	28. 7	1. 48	0. 88	1. 99	42. 0	4. 46	22. 9
K1-8	25. 3	25. 9	2. 04	1. 77	2. 85	35. 9	9. 78	17. 6
K1-9	20. 8	26. 1	1. 54	1. 69	2. 82	36. 0	8. 06	14. 1
K1-10	25. 5	26. 0	1. 93	1. 79	2. 93	36. 3	8. 72	15. 5
K1-11	30. 2	27. 7	1. 72	1. 11	2. 11	38. 9	9. 40	21. 7
K1-12	15. 7	18. 6	0. 99	0. 91	1. 63	25. 3	5. 48	17. 0

L-1 雇い竿車知「4点曲げ」

表3.4.2-7に車知仕口（4点曲げ）の完全弾塑性置換特性値を示す。

表3. 4. 2-7 車知仕口（4点曲げ）各試験条件の完全弾塑性特性値（正側）

	My kN. m	2/3Mmax kN. m	θy rad	$\theta (2/3Mmax)$ rad	θv rad	Mu kN. m	θu rad	K kN. m/rad
L1-1	3. 89	3. 79	0. 017	0. 009	0. 023	5. 22	0. 049	229. 7
L1-2	2. 71	2. 35	0. 015	0. 001	0. 019	3. 42	0. 034	183. 6
L1-3	3. 19	3. 77	0. 013	0. 007	0. 022	5. 17	0. 052	239. 9
L1-4	1. 82	1. 87	0. 025	0. 010	0. 035	2. 61	0. 087	73. 7
L1-5	4. 58	5. 03	0. 011	0. 010	0. 016	6. 97	0. 040	433. 2
L1-6	4. 35	4. 13	0. 018	0. 005	0. 024	5. 63	0. 050	238. 2
L1-7	3. 76	3. 82	0. 018	0. 006	0. 025	5. 37	0. 055	215. 1
L1-8	3. 79	3. 88	0. 015	0. 005	0. 022	5. 33	0. 056	268. 7
L1-9	4. 96	4. 28	0. 026	0. 015	0. 032	6. 16	0. 054	206. 4
L1-10	2. 49	3. 06	0. 013	0. 006	0. 022	4. 17	0. 085	191. 7

表3.4.2-8 車知仕口（4点曲げ）各試験条件の完全弾塑性特性値（負側）

	My kN・m	2/3Mmax kN・m	θ_y rad	θ (2/3Mmax) rad	θ_v rad	Mu kN・m	θ_u rad	K kN・m/rad
L1-1	2.27	2.42	0.018	0.009	0.028	3.50	0.036	127.5
L1-2	2.82	2.76	0.031	0.024	0.039	3.57	0.085	90.6
L1-3	2.83	2.49	0.035	0.023	0.045	3.60	0.065	80.2
L1-4	1.28	1.14	0.034	0.010	0.044	1.63	0.060	38.0
L1-5	2.70	3.33	0.020	0.003	0.031	4.25	0.067	135.4
L1-6	4.00	4.00	0.011	0.006	0.014	5.43	0.044	376.4
L1-7	2.83	2.72	0.041	0.024	0.054	3.62	0.081	67.2
L1-8	3.10	2.75	0.025	0.009	0.030	3.74	0.059	130.2
L1-9	2.93	2.54	0.037	0.009	0.042	3.36	0.068	88.6
L1-10	0.72	0.70	0.028	0.023	0.027	0.70	0.101	25.5

3) 考察

F-1 渡り腮「引張」

図3.4.2-15に渡り腮試験体の引張（左）および圧縮（右）の試験結果の荷重・変形関係の平均曲線において、各条件ごとに示した。圧縮側において、腮部のめり込み面積の大きい条件ほど、剛性と降伏耐力が増加している様子が見て取れる。

また、図3.4.2-16に渡り腮試験体の結果の平均曲線を引張側と圧縮側とを比較した。いずれの条件でも、圧縮側の剛性が引張側に対してやや高く、引張加力を受ける際にはめり込み変形以外に、何らかの変形機構が作用している可能性を示唆した。

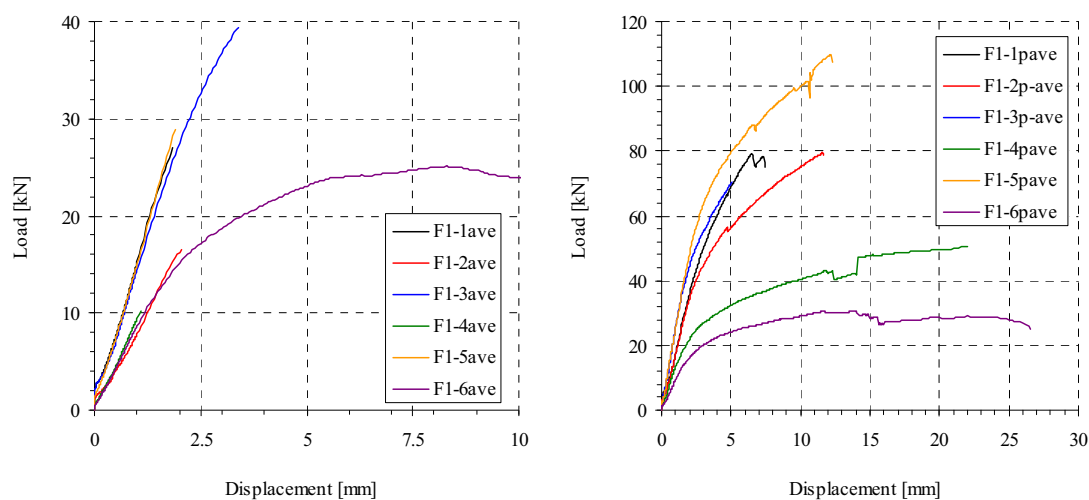


図3.4.2-15 渡り腮試験結果 各条件の比較

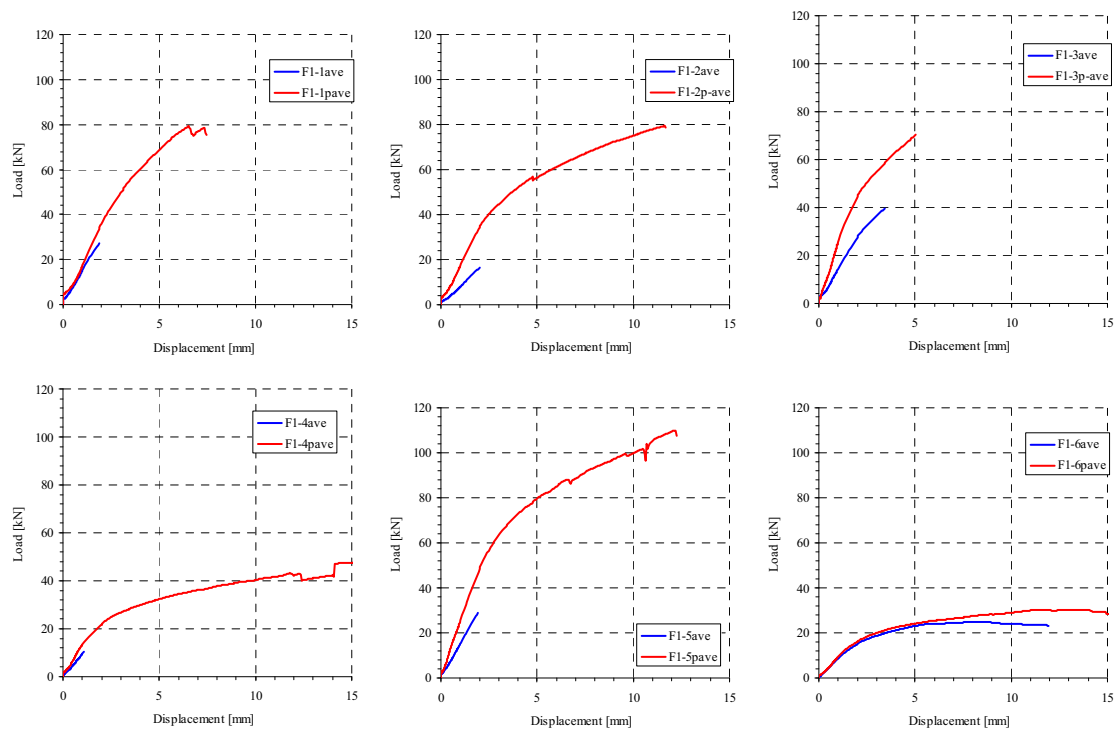


図3. 4. 2-16 渡り臆試験結果 引張と圧縮の比較

K-1 雇い竿車知「引張」

図3.4.2-17に引張試験で得られた、片側接合部の荷重と変形の関係（初期すべりを除外し、3体を平均化したもの）を試験条件間で比較したものを示す。標準試験体（K1-1）では最大耐力約38kN、最大耐力時変位約5mm程度であった。また、全体的に最大耐力に達した後にやや急激に耐力低下する様子が観察された。図3.4.2-17の結果の荷重を試験体の車知の長さで除し、車知の単位長さあたりの耐力に換算したものが図3.4.2-18である。図3.4.2-18左上では梁せいおよび雇い実せいの異なる試験体同士を比較したが、試験体間で最大耐力や変形性能に大きな差は見られず、引張性能では概ね車知長さに比例して耐力が定まると考えられる。ただし、梁幅が大きいときにはやや初期剛性が高くなった。また、車知の位置が異なった（図3.4.2-18右上）としても、車知の耐力発現効率にはほとんど影響が無いことが分かった。一方で、車知の形状は特に初期剛性に影響を及ぼし（図3.4.2-18左下）、車知が厚くなると初期剛性が向上し、また、車知の扁平率が高まると、座屈によって早期に降伏が生じた。ただし、これらは最大耐力にはほとんど影響をもたらさなかった。一方で、雇い実導入溝の基部が無い場合や、目違いが無い場合には最大耐力が大きく低下した（図3.4.2-18右下）。以上より、車知継ぎ手の耐力は梁の縦割裂によるものであり、目違で柱に収まっていることや、梁の溝が三次元的に基部で押さえられていることが梁の縦割裂を抑制する効果があり、車知仕口の引張耐力発現に大きく影響する事が明らかとなった。

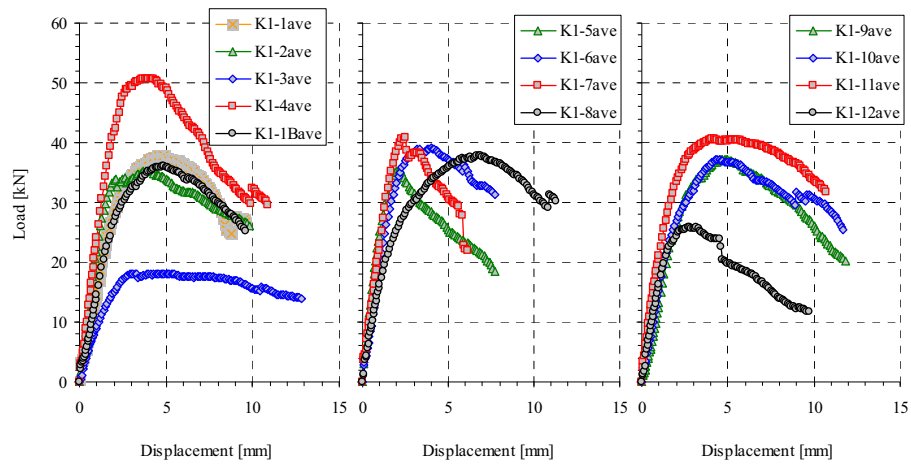


図3.4.2-17 引張試験荷重-変形関係

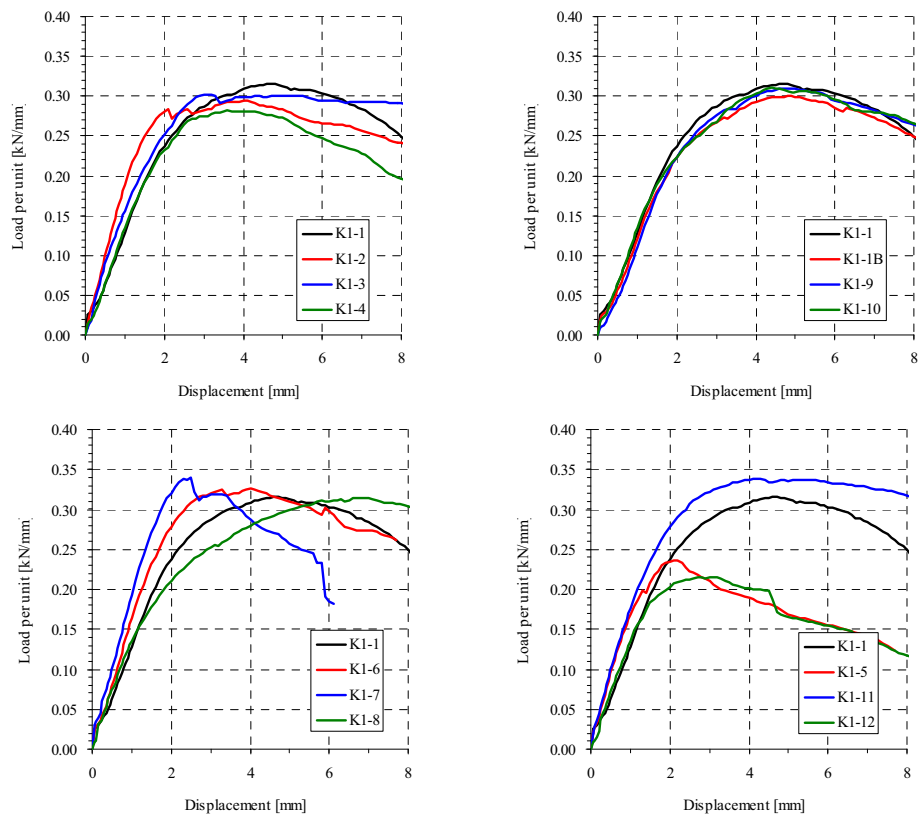


図3.4.2-18 引張試験荷重-変形関係（単位車知長さあたり耐力）

写真3.4.2-6a～fにK1試験体の定点連続写真を示す。



写真3.4.2-6a K1-1試験体連続写真



写真3. 4. 2-6b K1-4試験体連続写真

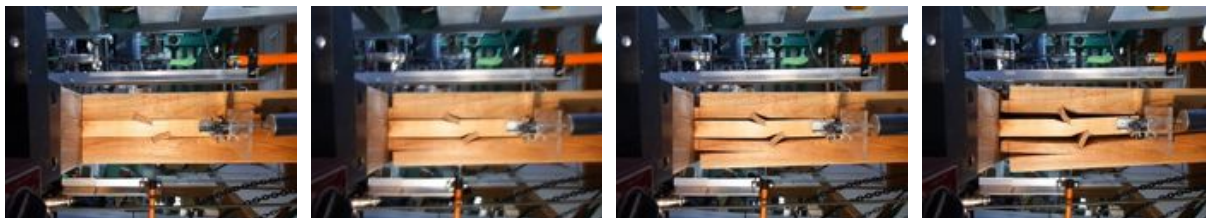


写真3. 4. 2-6c K1-6試験体連続写真



写真3. 4. 2-6d K1-8試験体連続写真



写真3. 4. 2-6e K1-11試験体連続写真

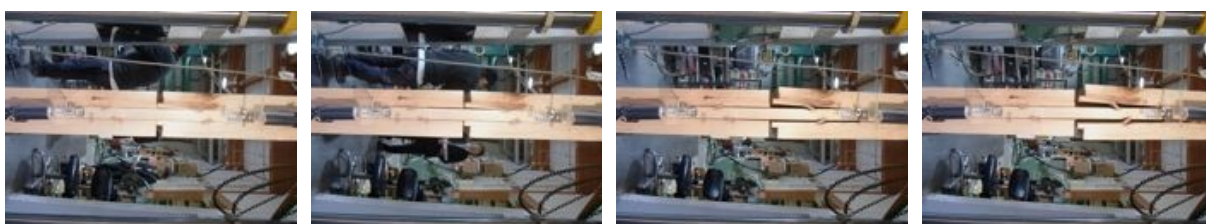


写真3. 4. 2-6f K1-12試験体連続写真

L-1 雇い竿車知「4点曲げ」

曲げ試験における、仕口モーメントと回転角の関係を図3.4.2-19、図3.4.2-20に示す。なお、結果は図3.4.2-15と同様に、初期遊び等を除外した後、同条件3体の結果を平均化したものである。曲げ試験では車知側が引張力を受ける場合と圧縮力を受ける場合でそれぞれ抵抗要素が異なると考えられる。そのため、それぞれの結果を別々に表示した。

図3.4.2-19は車知・雇い実のある側が引張力を受ける場合であり、一般に車知仕口の耐力発現機構として期待される加力方向である。標準型（L1-1）では最大モーメントで約6kN.m、最大モーメント時変形角で1/20radの結果であり、最大モーメント後には急激に耐力低下を示した。梁せいは耐

力性能に最も強く影響し、梁せいが大きくなると耐力が向上するが、反面、変形性能は低下した。その他の各寸法条件の違いにより、若干の耐力性能に違いが見られたが、その影響度合いについては今後の検討課題である。

図3.4.2-20には車知・雇い実のある側が圧縮力を受ける時の結果を示した。図3.4.2-19と図3.4.2-20の結果を比較すると、標準型の寸法条件では、初期剛性については車知圧縮の結果が車知引張と比べて概ね半分程度と柔らかいが、最大耐力については概ね4kN.mと、車知側引張の場合の2/3程度の耐力を有した。車知側圧縮条件では雇い実が肘木のように働き、肘木の先端と梁の小根ほぞとの間で鉛直偶力を生じて耐力発現すると考えられ、最大モーメントは肘木(雇い実)が曲げ折れることで決定された。結果として車知側圧縮条件では急激な耐力低下を生じる履歴性状を示した。

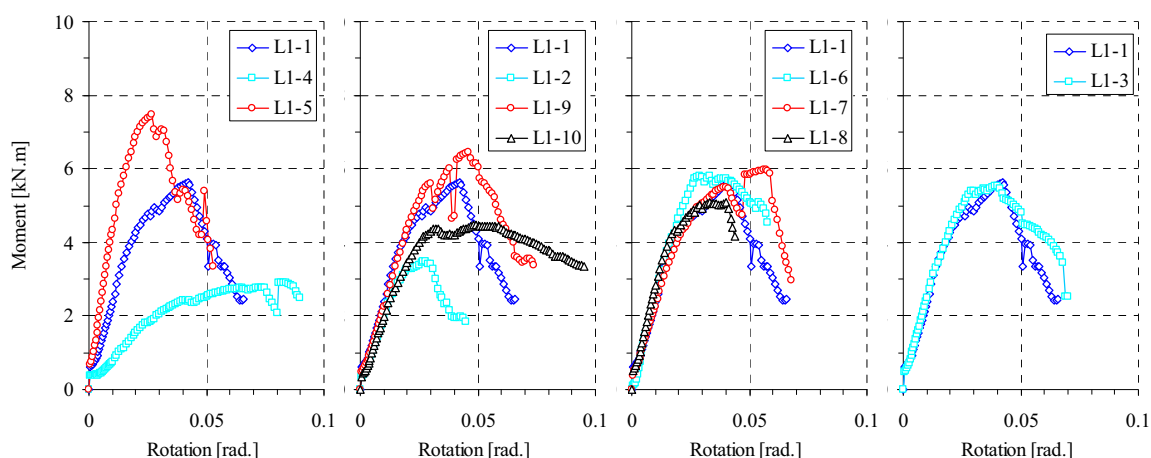


図3.4.2-19 曲げ試験モーメント-回転角関係（車知側引張）

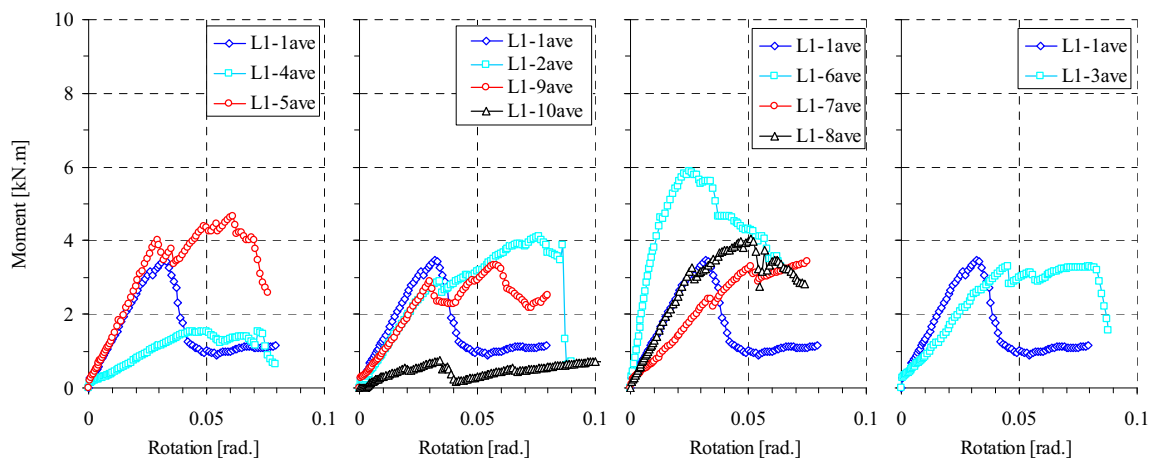


図3.4.2-20 曲げ試験モーメント-回転角関係（車知側圧縮）

写真3.4.2-6a～eにL1試験体の定点連続写真を示す。



写真3. 4. 2-6a L1-1試験体連続写真



写真3. 4. 2-6b L1-2試験体連続写真



写真3. 4. 2-6c L1-4試験体連続写真



写真3. 4. 2-6d L1-6試験体連続写真



写真3. 4. 2-6e L1-10試験体連続写真

4) まとめ

実験の結果得られた知見を以下にまとめる。

- ① 渡り腮仕口について、引張性能は腮部の面積が小さい場合、腮先端部までのせん断破壊によって脆性的に決定される。一方で圧縮性能は腮の横架材へのめり込みによって決定されるため、非常に粘り強い性質を示す。
- ② 渡り腮の引張剛性は、めり込み変形で定まる圧縮剛性に比べて小さい値を示した。
- ③ 通し貫（略鎌）仕口の引張性能では、鎌の嵌合部分で、繊維に沿ったせん断によって破壊を生じた。破壊強度は基準せん断強度と概ね一致した。
- ④ 車知仕口の引張耐力は車知が回転力を受けることによって、終局的には梁が縦に割裂破壊することによって定まる。
- ⑤ 目違や雇い実導入溝の基部は、それぞれ梁の割裂の発生を抑制し、耐力を高める働きをしている。
- ⑥ 車知を厚くしたり扁平率を変えると初期剛性や降伏耐力に影響するが、最大耐力にはほとんど影響が無い。
- ⑦ ほとんどの条件で車知の圧縮破壊が先行することは無かったが、車知が扁平な条件においてのみ、車知の圧縮座屈が梁の割裂に先行し、その結果、その他の条件に比べてややねばり強い引張性能を示した。
- ⑧ 曲げ試験において、梁せいが大きくなると初期剛性は向上するが、半面変形性能が低下した。
- ⑨ 曲げ試験における破壊モードは、引張試験と同様に梁の縦割裂であったが、それを生じる前に、引張試験ではあまり見られなかった車知の引っかかり部より梁先端へと至るせん断破壊が生じることが多かった。
- ⑩ 一方で、上記の破壊は速やかな脆性的破壊をもたらすものではなく、せん断破壊部分が徐々に増加しながらも、仕口性能に粘りを与えるものであると考えられた。
- ⑪ 曲げに対しては、車知側が引張力を受ける場合のみならず、圧縮力を受ける場合においても抵抗機能を持ち、標準型の試験条件においては、初期剛性で1/2程度、最大耐力で2/3程度の耐力性能を有する。なお、この圧縮側の抵抗メカニズムでは梁せいが大きくなってもそれほど性能向上は見られない。
- ⑫ 引張試験の結果からの曲げ性能の評価法については今後の検討課題である。

(2) 試験体番号G1, G2, G3, G4試験体

1) 試験体タイプ

実験対象として相欠・渡り顎・通し・継ぎの4種類とし、図3.4.2-21に各試験体のタイプを示す。

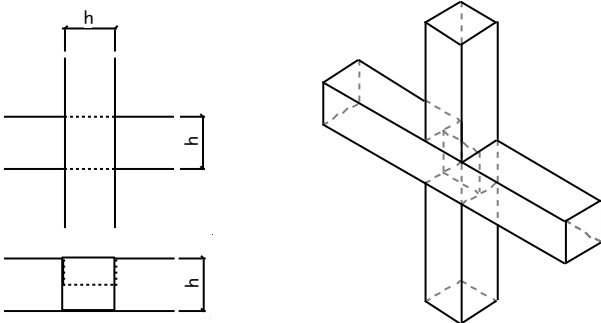
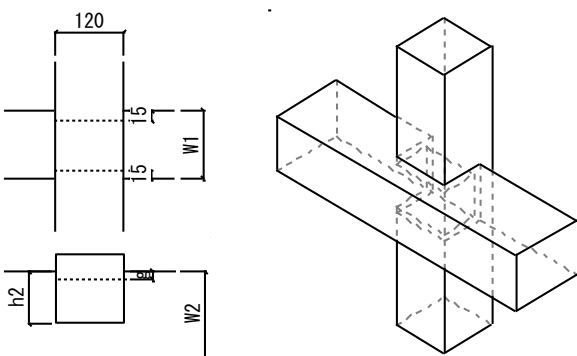
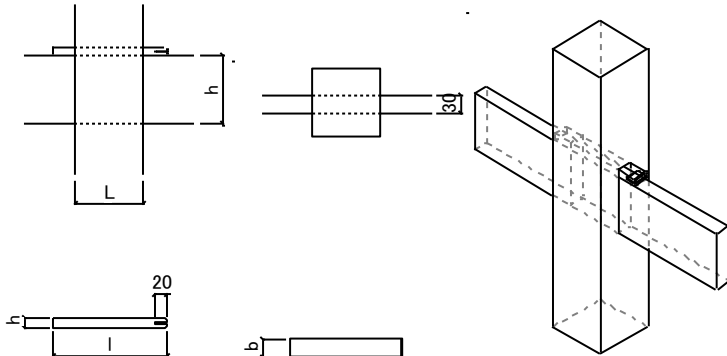
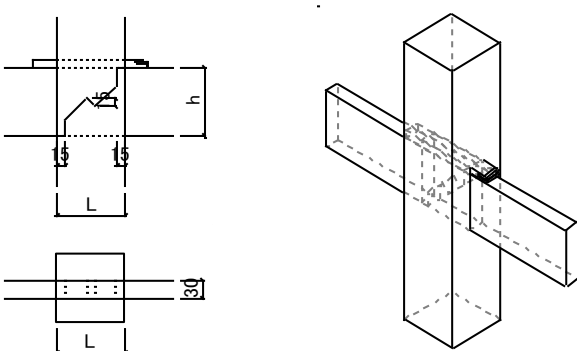
G1 相欠き		部材寸法																																												
		<table><tr><th>No.</th><th>h</th></tr><tr><td>G1-1</td><td>30</td></tr><tr><td>G1-2</td><td>45</td></tr><tr><td>G1-3</td><td>60</td></tr><tr><td>G1-4</td><td>90</td></tr></table>					No.	h	G1-1	30	G1-2	45	G1-3	60	G1-4	90																														
No.	h																																													
G1-1	30																																													
G1-2	45																																													
G1-3	60																																													
G1-4	90																																													
G2 渡り顎																																														
		<table><tr><th>No.</th><th>W1</th><th>W2</th><th>g</th><th>h2</th></tr><tr><td>G2-1</td><td>120</td><td>150</td><td>15</td><td>30</td></tr><tr><td>G2-2</td><td>120</td><td>150</td><td>30</td><td>60</td></tr><tr><td>G2-3</td><td>120</td><td>150</td><td>45</td><td>90</td></tr><tr><td>G2-4</td><td>120</td><td>150</td><td>15</td><td>90</td></tr><tr><td>G2-5</td><td>120</td><td>150</td><td>30</td><td>90</td></tr><tr><td>G2-6</td><td>150</td><td>150</td><td>15</td><td>90</td></tr><tr><td>G2-7</td><td>180</td><td>180</td><td>15</td><td>90</td></tr></table>					No.	W1	W2	g	h2	G2-1	120	150	15	30	G2-2	120	150	30	60	G2-3	120	150	45	90	G2-4	120	150	15	90	G2-5	120	150	30	90	G2-6	150	150	15	90	G2-7	180	180	15	90
No.	W1	W2	g	h2																																										
G2-1	120	150	15	30																																										
G2-2	120	150	30	60																																										
G2-3	120	150	45	90																																										
G2-4	120	150	15	90																																										
G2-5	120	150	30	90																																										
G2-6	150	150	15	90																																										
G2-7	180	180	15	90																																										
G3 通し貫																																														
		<table><tr><th>No.</th><th>W</th><th>h</th><th>L</th></tr><tr><td>G3-1</td><td>15</td><td>105</td><td>120</td></tr><tr><td>G3-2</td><td>30</td><td>120</td><td>120</td></tr><tr><td>G3-3</td><td>45</td><td>120</td><td>120</td></tr><tr><td>G3-4</td><td>60</td><td>120</td><td>120</td></tr><tr><td>G3-5</td><td>30</td><td>120</td><td>150</td></tr><tr><td>G3-6</td><td>30</td><td>120</td><td>180</td></tr></table>					No.	W	h	L	G3-1	15	105	120	G3-2	30	120	120	G3-3	45	120	120	G3-4	60	120	120	G3-5	30	120	150	G3-6	30	120	180												
No.	W	h	L																																											
G3-1	15	105	120																																											
G3-2	30	120	120																																											
G3-3	45	120	120																																											
G3-4	60	120	120																																											
G3-5	30	120	150																																											
G3-6	30	120	180																																											
G4 通し貫 (継ぎ)																																														
		<table><tr><th>No.</th><th>W</th><th>h</th><th>L</th></tr><tr><td>G4-1</td><td>15</td><td>120</td><td>120</td></tr><tr><td>G4-2</td><td>30</td><td>120</td><td>120</td></tr><tr><td>G4-3</td><td>45</td><td>120</td><td>120</td></tr><tr><td>G4-4</td><td>60</td><td>120</td><td>120</td></tr><tr><td>G4-5</td><td>30</td><td>105</td><td>120</td></tr><tr><td>G4-6</td><td>30</td><td>120</td><td>150</td></tr><tr><td>G4-7</td><td>30</td><td>120</td><td>180</td></tr></table>					No.	W	h	L	G4-1	15	120	120	G4-2	30	120	120	G4-3	45	120	120	G4-4	60	120	120	G4-5	30	105	120	G4-6	30	120	150	G4-7	30	120	180								
No.	W	h	L																																											
G4-1	15	120	120																																											
G4-2	30	120	120																																											
G4-3	45	120	120																																											
G4-4	60	120	120																																											
G4-5	30	105	120																																											
G4-6	30	120	150																																											
G4-7	30	120	180																																											

図3.4.2-21 試験体タイプ

G3通し貫、G4通し貫（継ぎ）試験体において、楔の形状を変更するなど仕様調整を適宜行った。

2) 試験概要

伝統的仕口接合部の曲げ（回転）モーメントに対する抵抗性能と、限界変形性能を評価することを目的とし、十字曲げ試験を実施した。なお、加力点は軸力の影響を取り除くため、ローラを用いた。図3.4.2-22に試験の概要を示す。

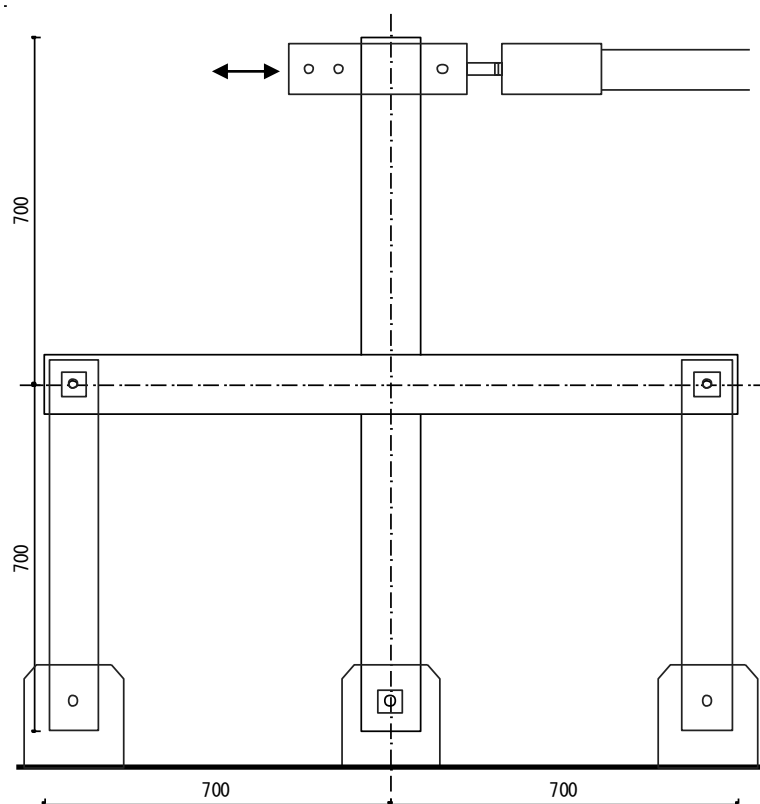


図3.4.2-22 試験概要

加力方法は、試験体柱頂部で変位制御水平繰り返し加力を行い、ロードセルを用いて頂部水平力を計測した。なお、繰り返しスケジュールにおける目標変形角は設置した変位計の計測値を用い、 $1/200$ 、 $1/150$ 、 $1/100$ 、 $1/75$ 、 $1/50$ 、 $1/30$ 、 $1/20$ 、 $1/15$ 、 $1/10$ 、 $1/7\text{rad}$ の正負交番各1回繰り返しの静的加力を行った。また、加力速度は各変形角によって適宜調整している。

3) 試験結果

(a) 試験体材料

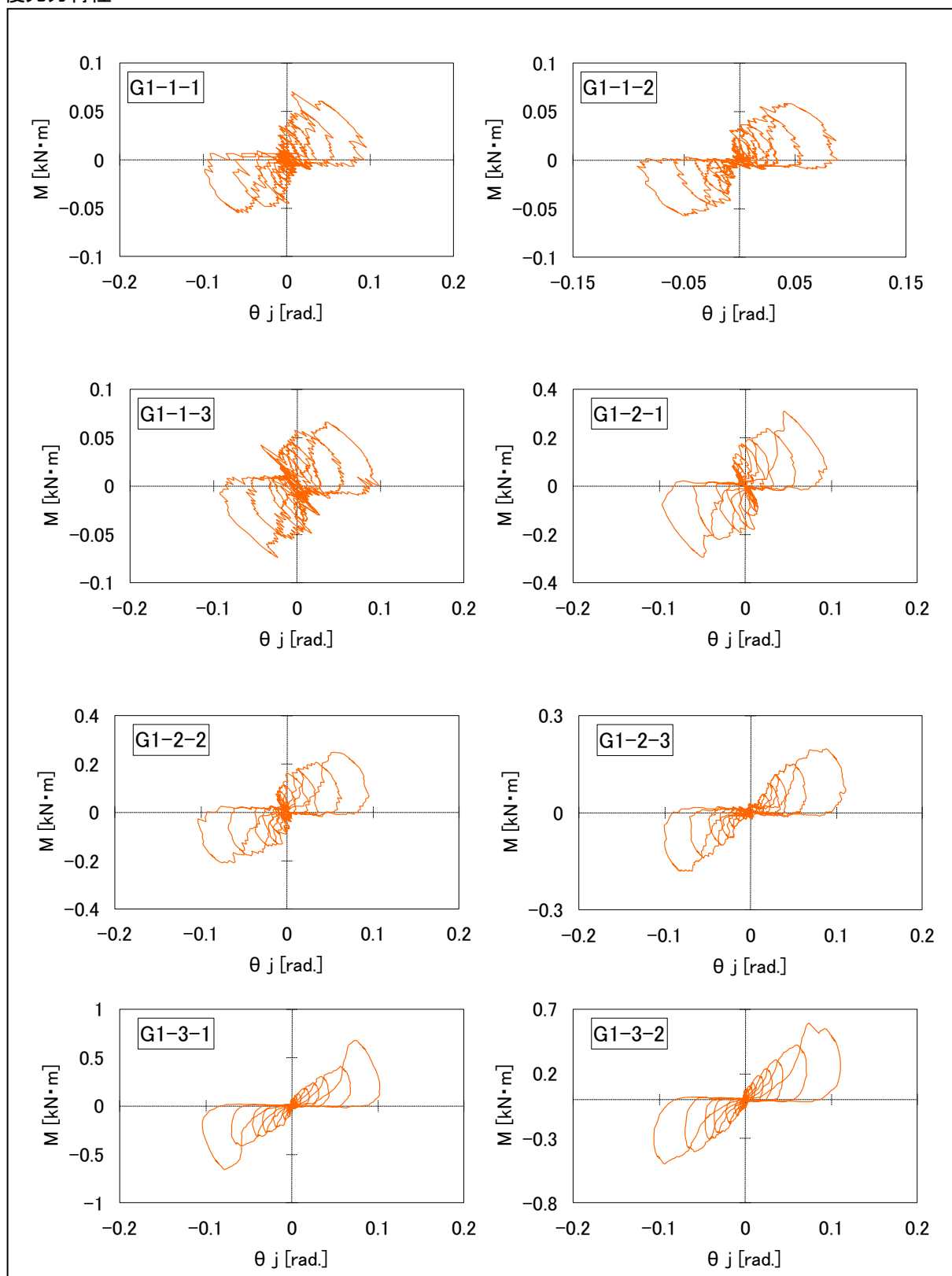
今回の試験体に使用した部材の材料特性を示す。なお等級区分は材料の産地でそれぞれ行ったグレーディングに基づきE90のものを使用した。また、含水率は試験直後に各部材三点で木材水分計を用いて計測した値の平均値である。

(b) 十字曲げ試験

各試験体の復元力特性を表3.4.2-9、傷状況を図3.4.2-23～26、写真3.4.2-7～11に示す。

①G1（相欠き）

復元力特性



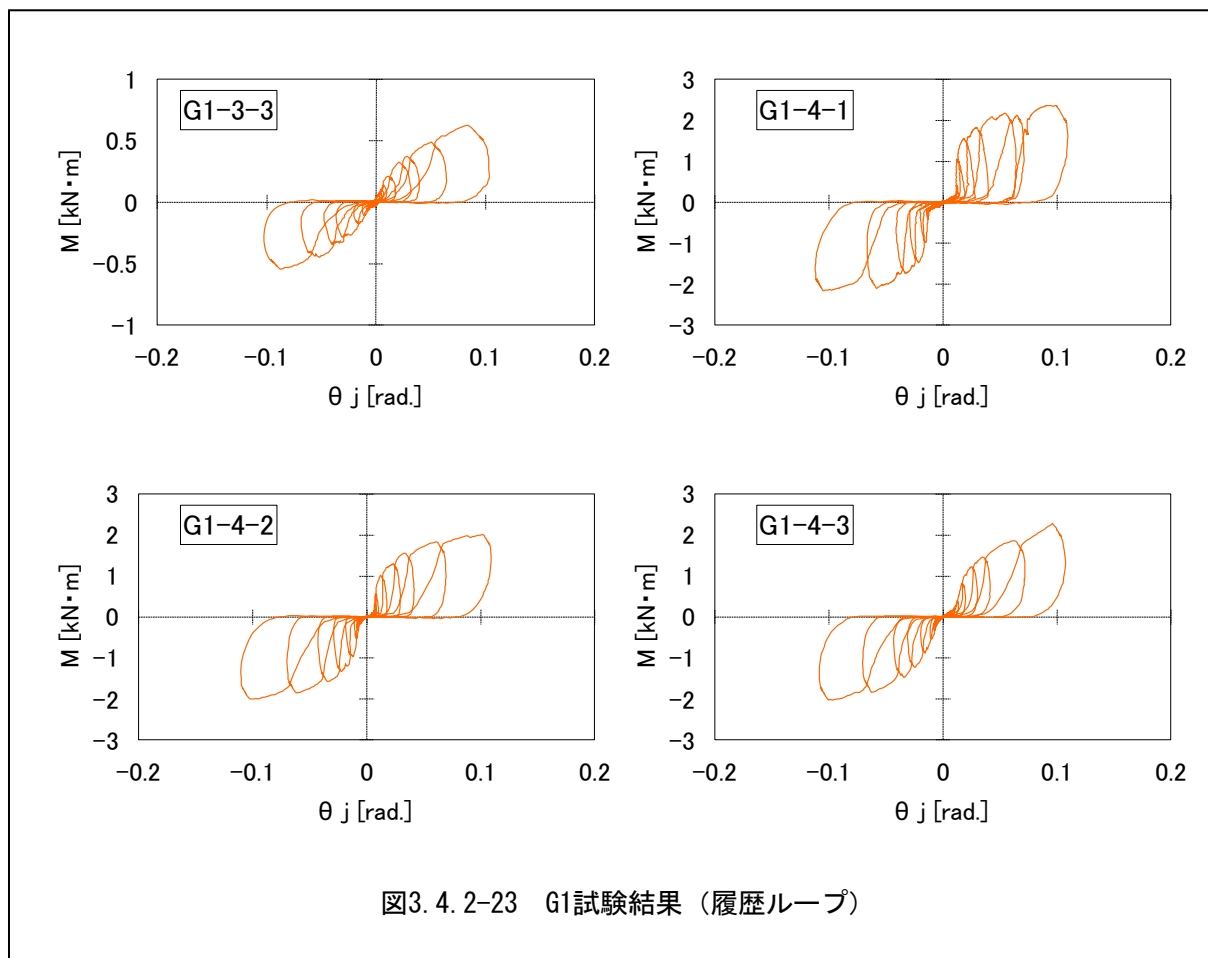


図3.4.2-23 G1試験結果（履歴ループ）

特性値

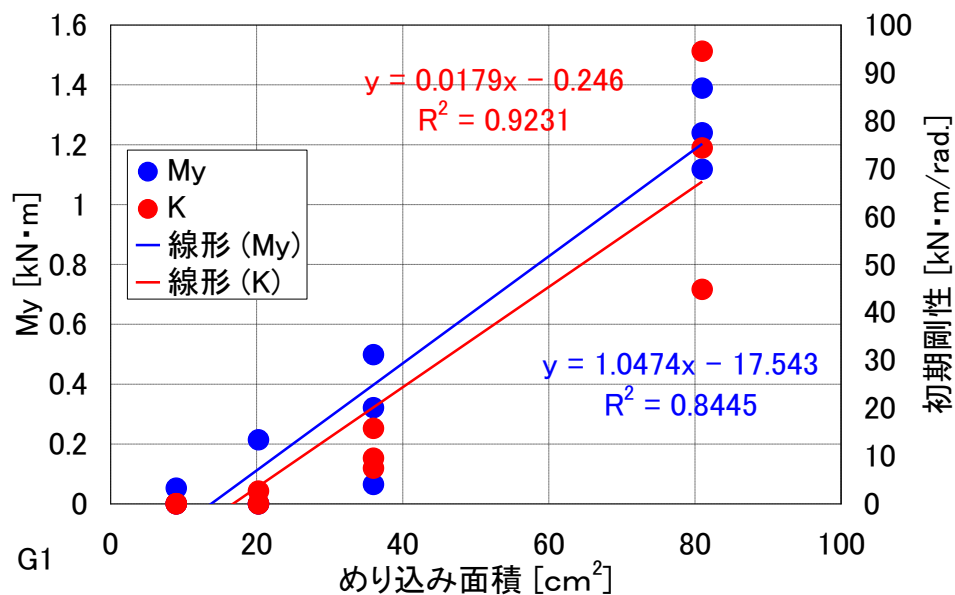


図3.4.2-24 G1最大荷重—めり込み面積関係

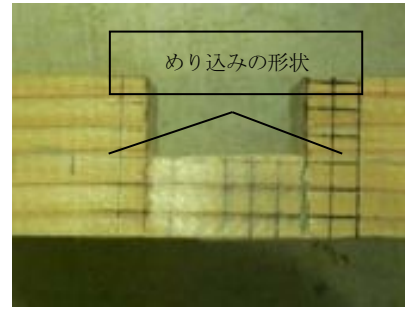
図3.4.2-24よりパラメータの増加に伴い、最大耐力の増加傾向がみられる。大変形角時に、材中央付近に割れが見られた。

損傷状況

G1-1.3

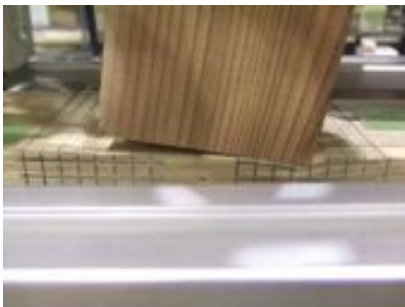


(1) 変形角 $-1/7\text{rad}$

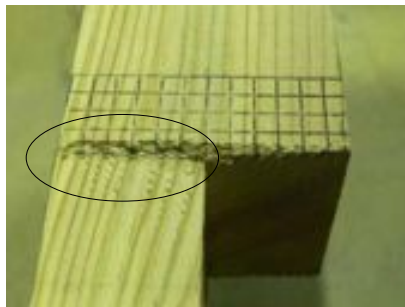


(2) 解体後

G1-3.1



(3) 変形角 $+1/7\text{rad}$

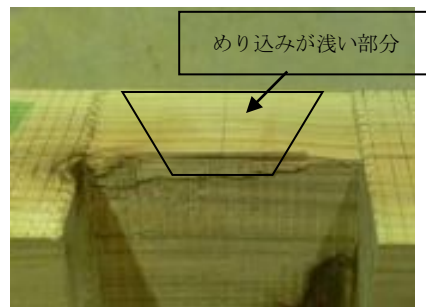


(4) 解体後（下木）

G1-4.1

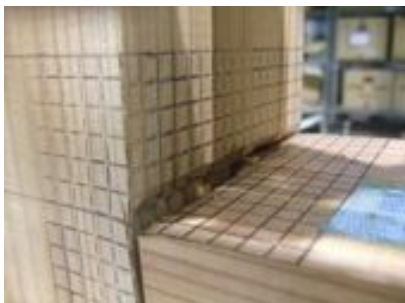


(7) 変形角 $+1/7\text{rad}$

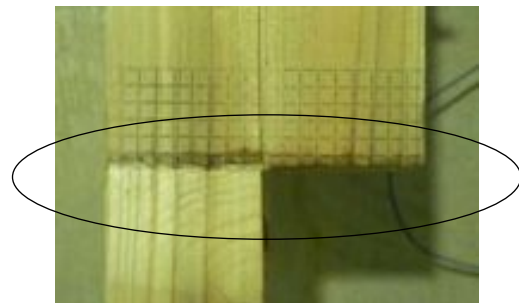


(8) 解体後

G1-4.2



(9) 加力後



(10) 解体後（上木）

写真3.4.2-7 G1-1～4損傷状況

部材断面が最も小さいため柱の曲げが見られるが、そのほかの試験体では顕著には見られなかった。また、めり込みの形状は、接触断面中心が最も高い山形となっている。(2)めり込みの形状は、G1-1同様の接触断面中心が最も高い山形となっている。また、切り欠き部分との境目付近に、割れが見られる。

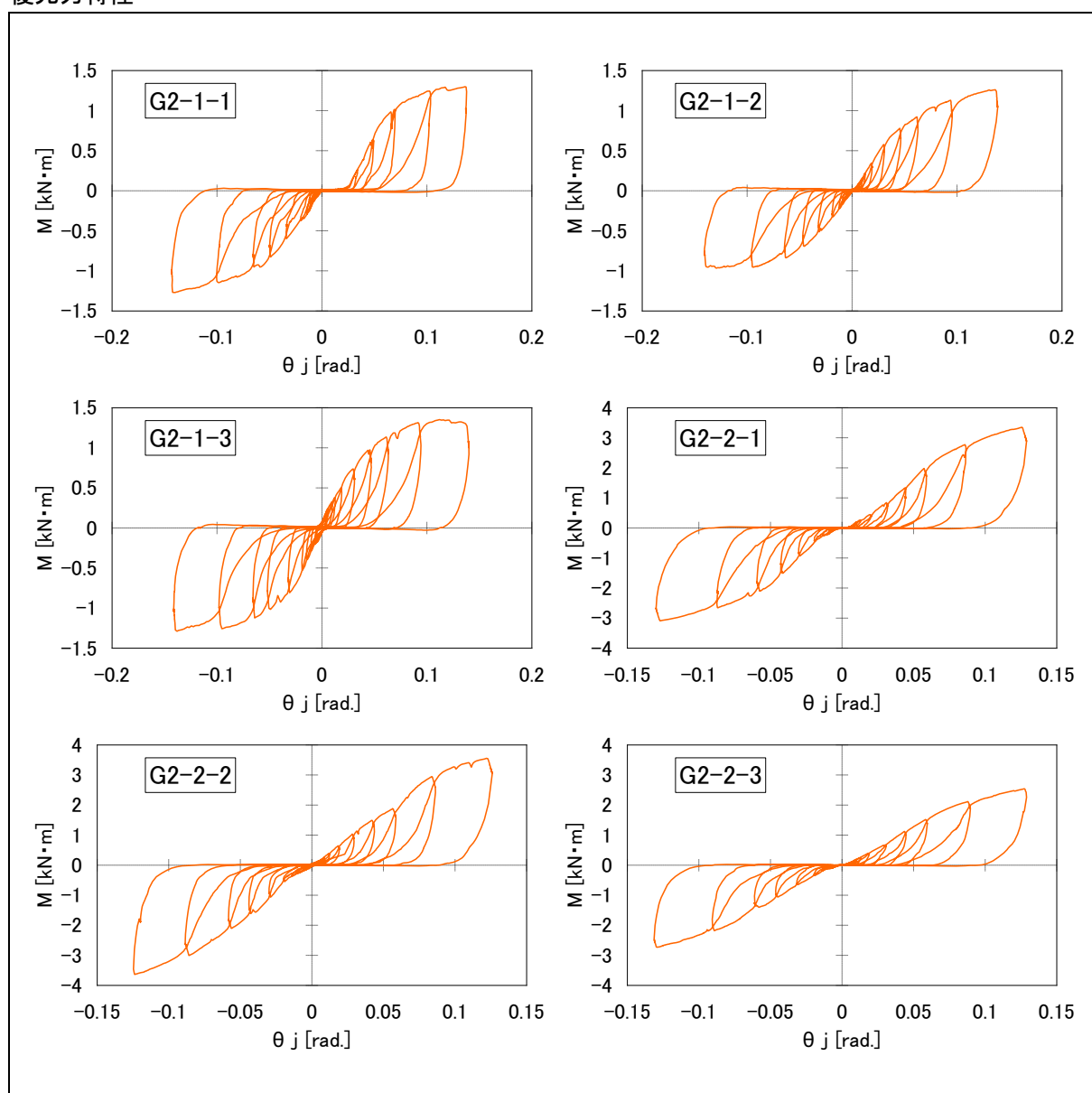
解体後、仕口の内側と外側にめり込み方の差異が見られた。(4)切り欠き部分の境目付近のめり込みが深くなっていることが分かる。

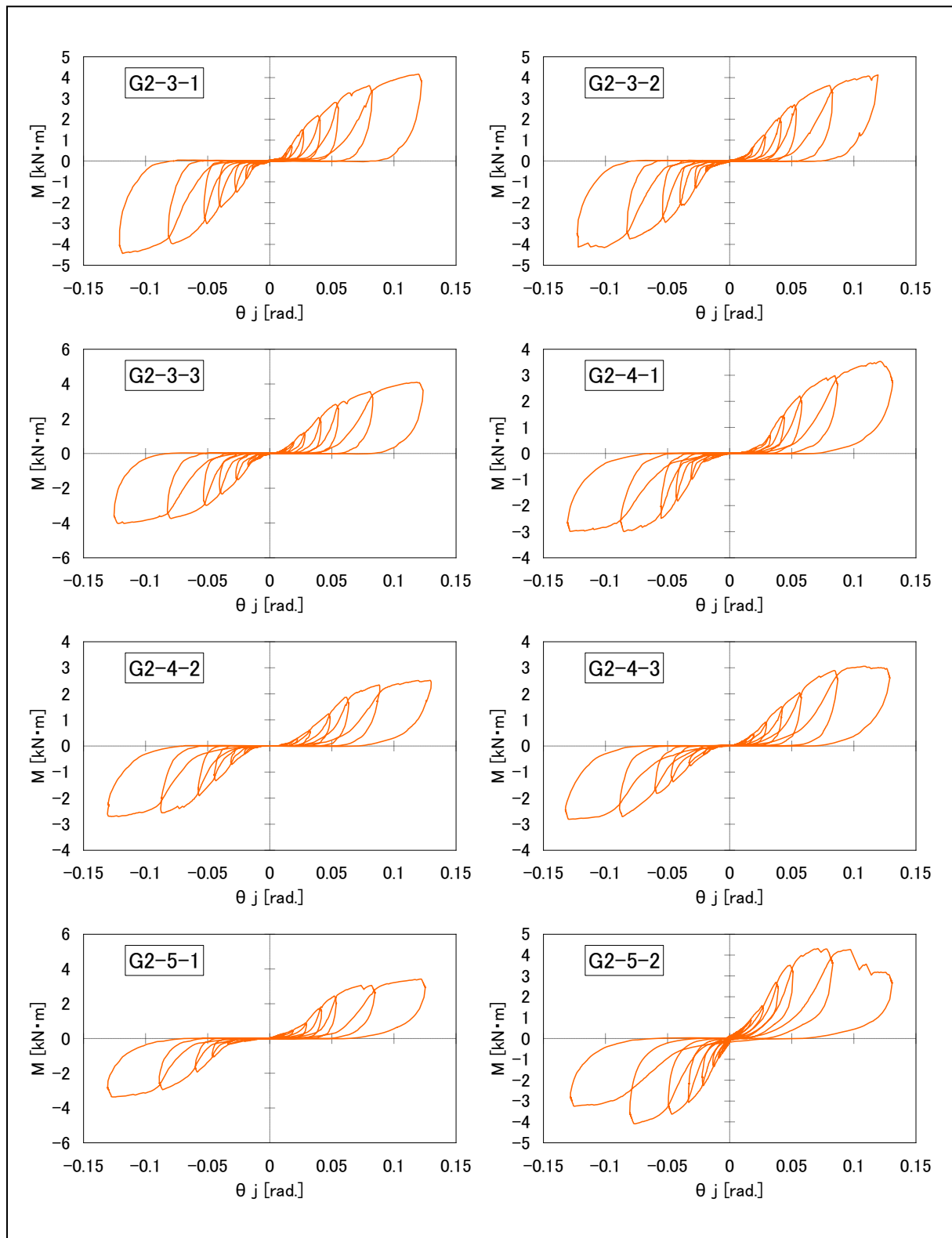
解体後、切り欠き部分との境目から、めり込み方が異なっていた。大変形角時に、材中央付近に割れが見られた。(7)解体後、切り欠き部分との境目から、めり込み方が異なっており、めり込み方の差異より割れが発生したといえる。

また、材内側と外側とでめり込み方が異なっている。(8)これは、部材断面が大きくなったため変形が生じ、仕口内側と外側で応力の偏りが発生したためだと考えられる。

②G2 (渡り顎)

復元力特性





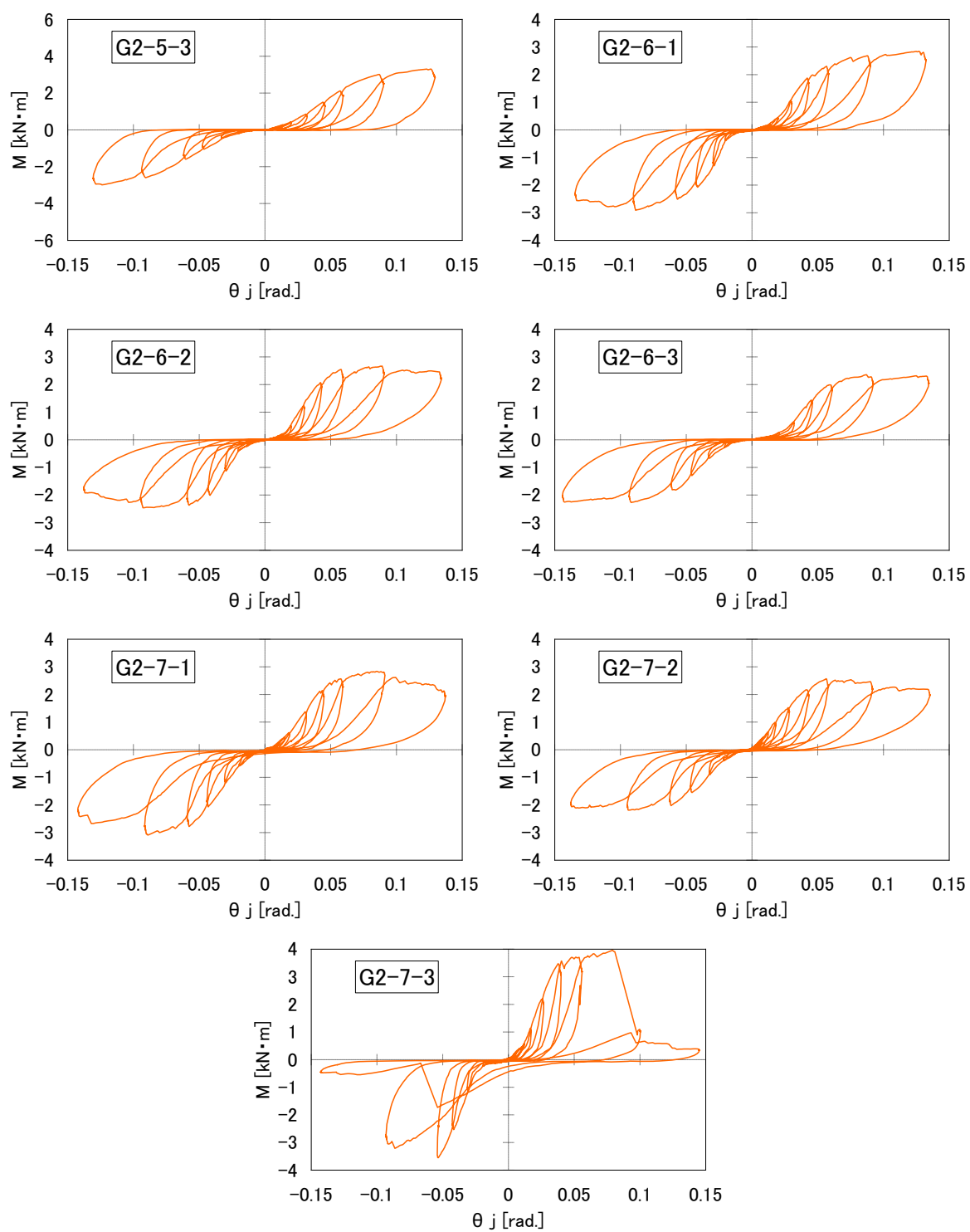


図3. 4. 2-25 G2試験結果（履歴ループ）

特性値

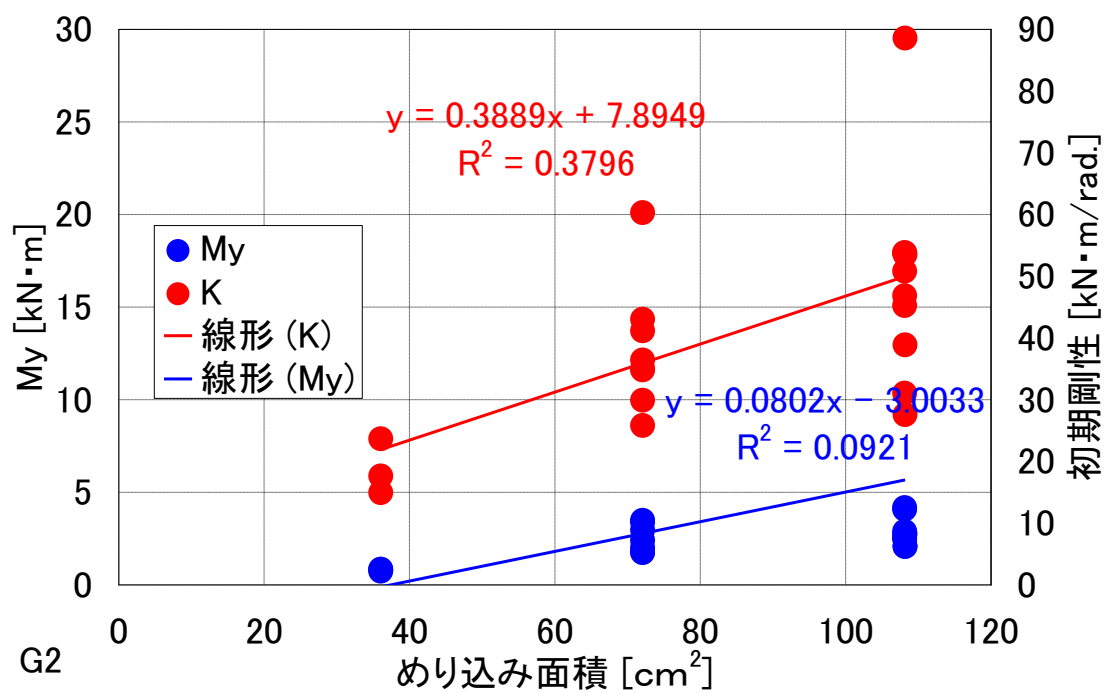


図3. 4. 2-26 G2最大荷重－めり込み面積関係

表3.4.2-9より、最大耐力はG2-3が最も高く、G2-1、次いでG2-7、G2-6が低かった。接触面の増加に伴い最大耐力の増加がみられる。

損傷状況

G2-1. 1



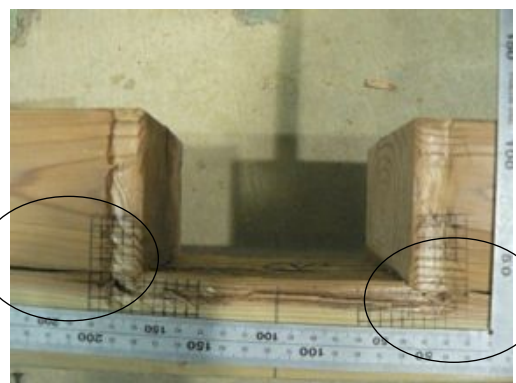
(11) 実験後

G2-4. 2



(12) 変形角+1/7rad

G2-6. 1

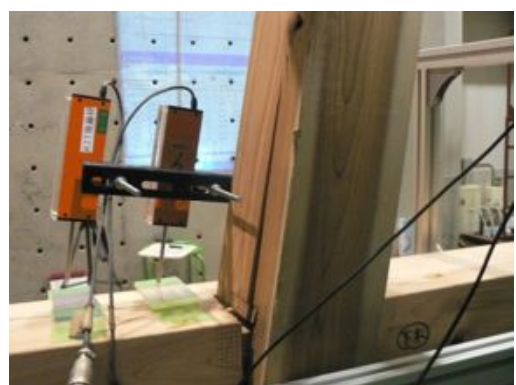


(13) 変形角-1/7rad 柱の割れとめり込み



(14) 解体後（下木）

G2-7. 3



(15) 解体後（上木）柱の損傷



(16) 変形角+1/7rad 柱の変形

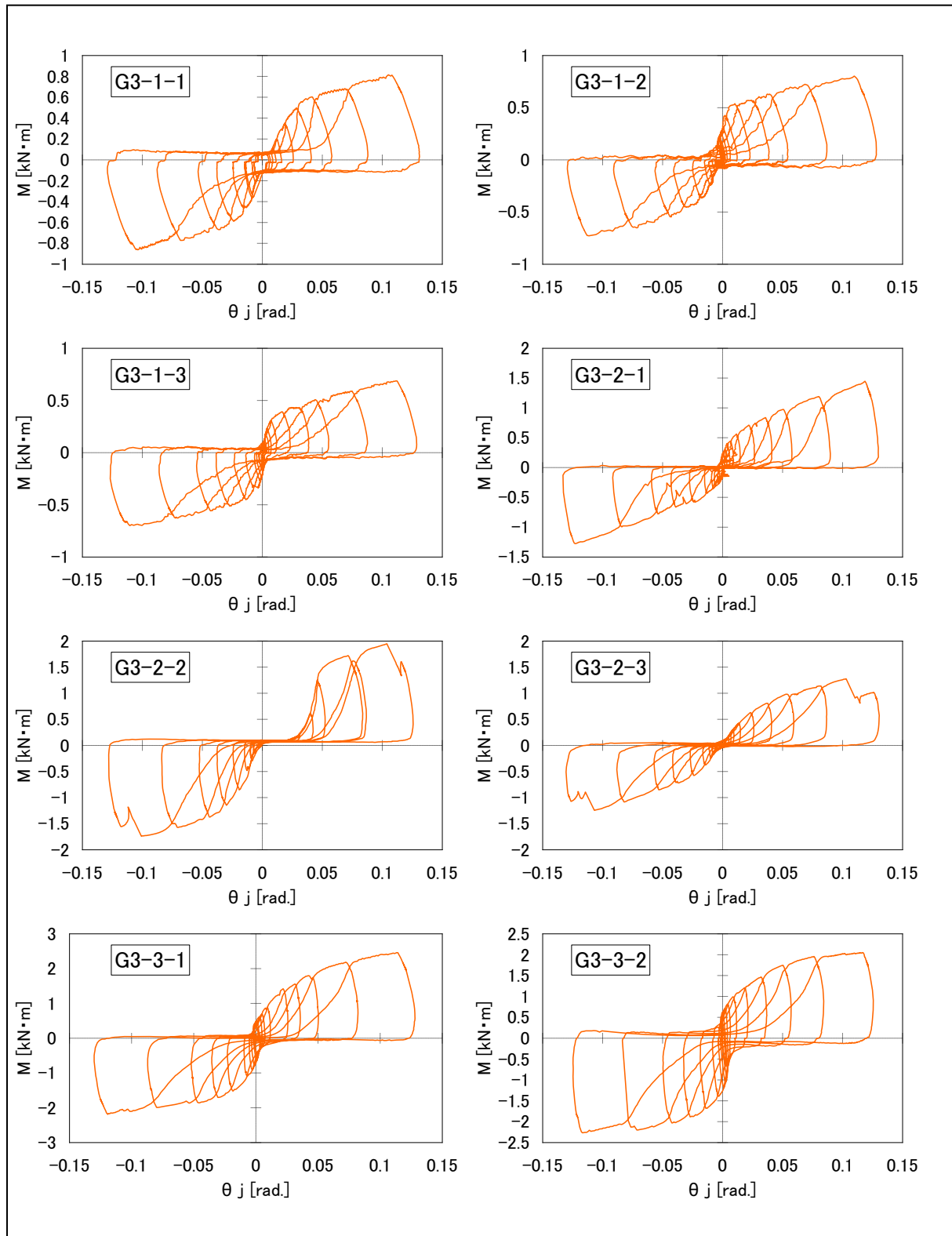
写真3. 4. 2-8 G2-1～7損傷状況

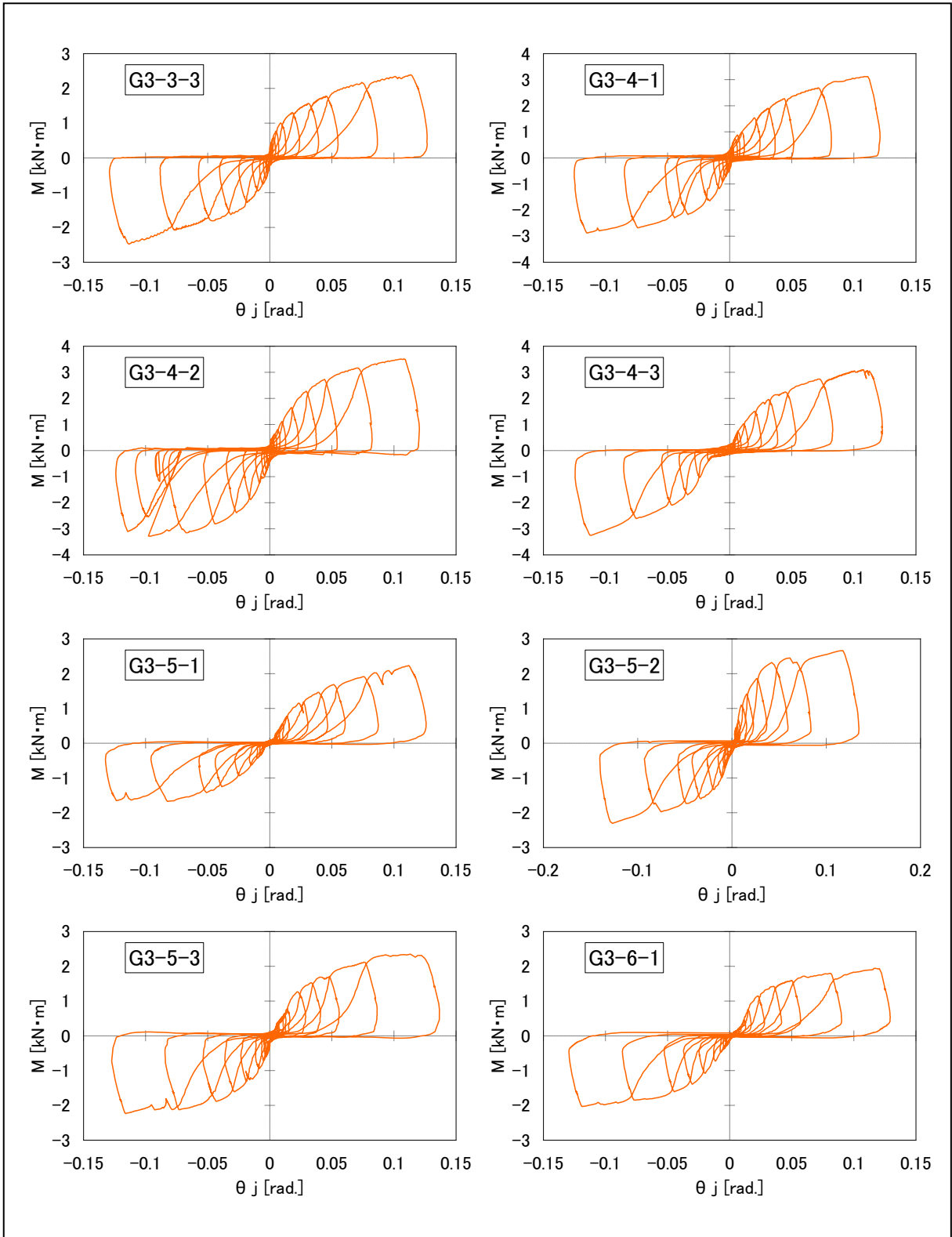
主な損傷は、柱に集中している。横架材の小口面によって圧縮されたことによる、深いめり込み確認できる。また、側面に大きな割裂を確認した。これは、横架材からの圧縮力を受けたことによるせん断破壊でと考えられる。また、柱下木仕口内部のめり込みも確認できた。(14)やや変形しているが分かる。(14)顕著な破損を確認できなかったのは、接合部の回転によって上木が面外方向に変形したためだと考えられる。

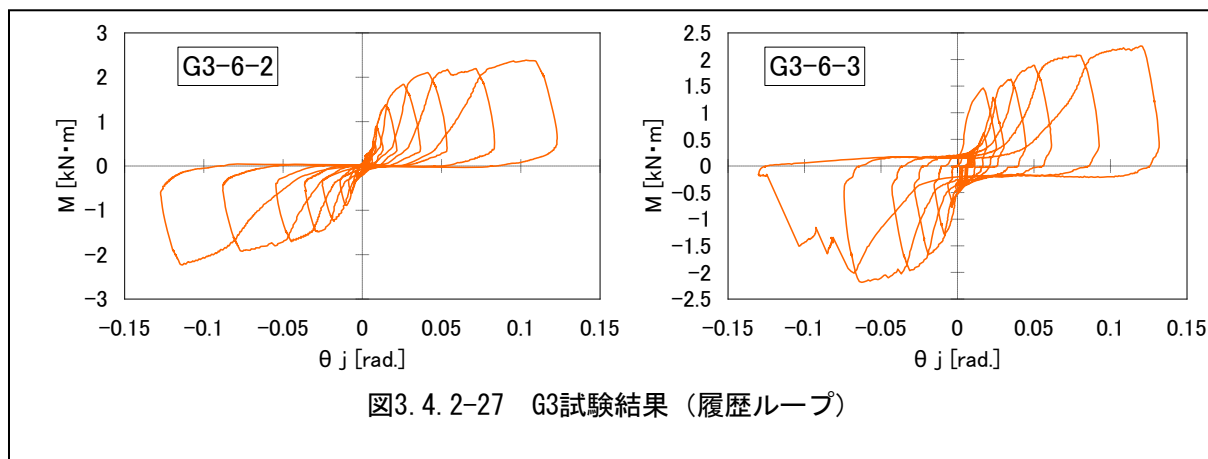
横架材の断面寸法の増加と柱の断面欠損の増加に伴い柱の損傷、捩れ、面外方向への反りが著しくなる。(11)～(13)

③G3（通し貫）

復元力特性

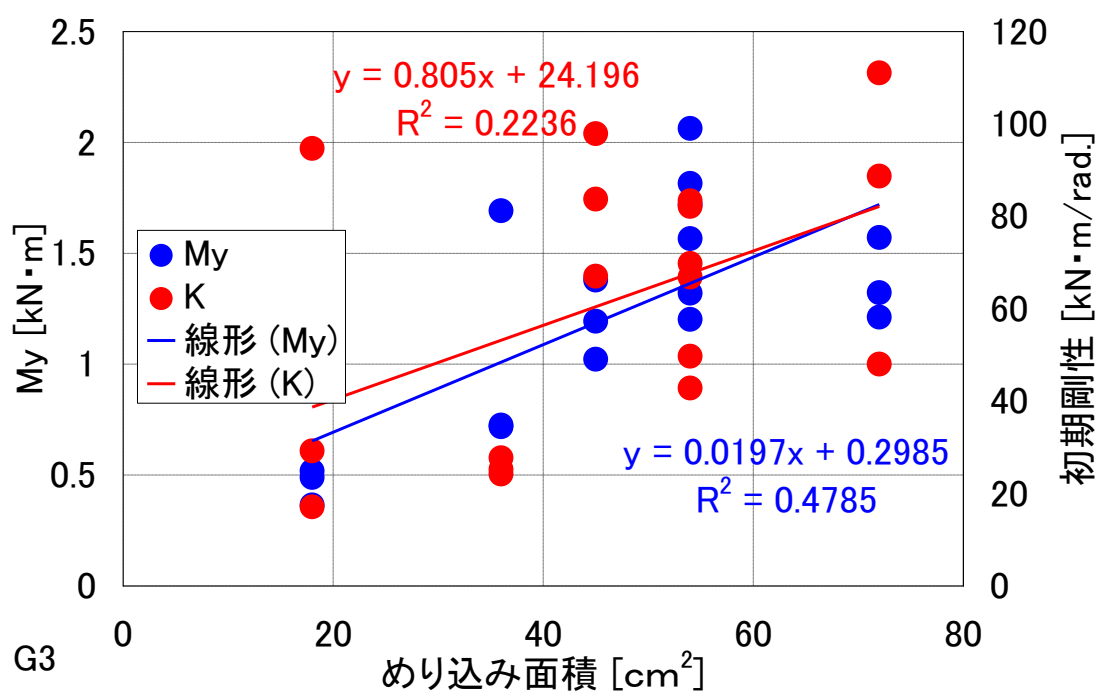






各試験体3体の試験体について、G3-2試験体において履歴ループに差異が見られるが、ほかの試験体においては、最大耐力変形挙動の差は小さかった。G3-2.2はほぞ穴が大きかったため、正負での履歴が異なると考えられる。

特性値



損傷状況

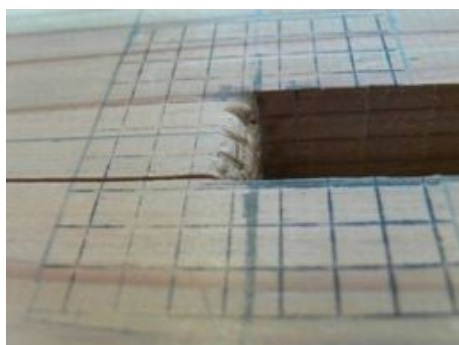
G3-1. 1



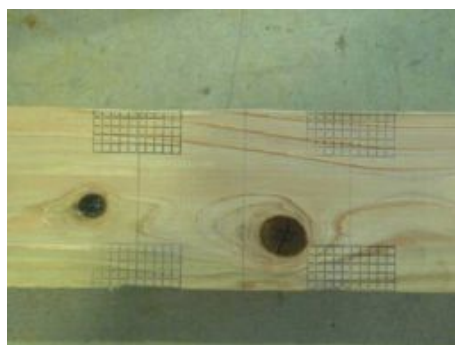
(28) 変形角+1/7rad



(29) 解体後（上端）



(30) 解体後（下端）



(31) 解体後（下木）

G3-6. 1



(31) 解体後



(31) 拡大

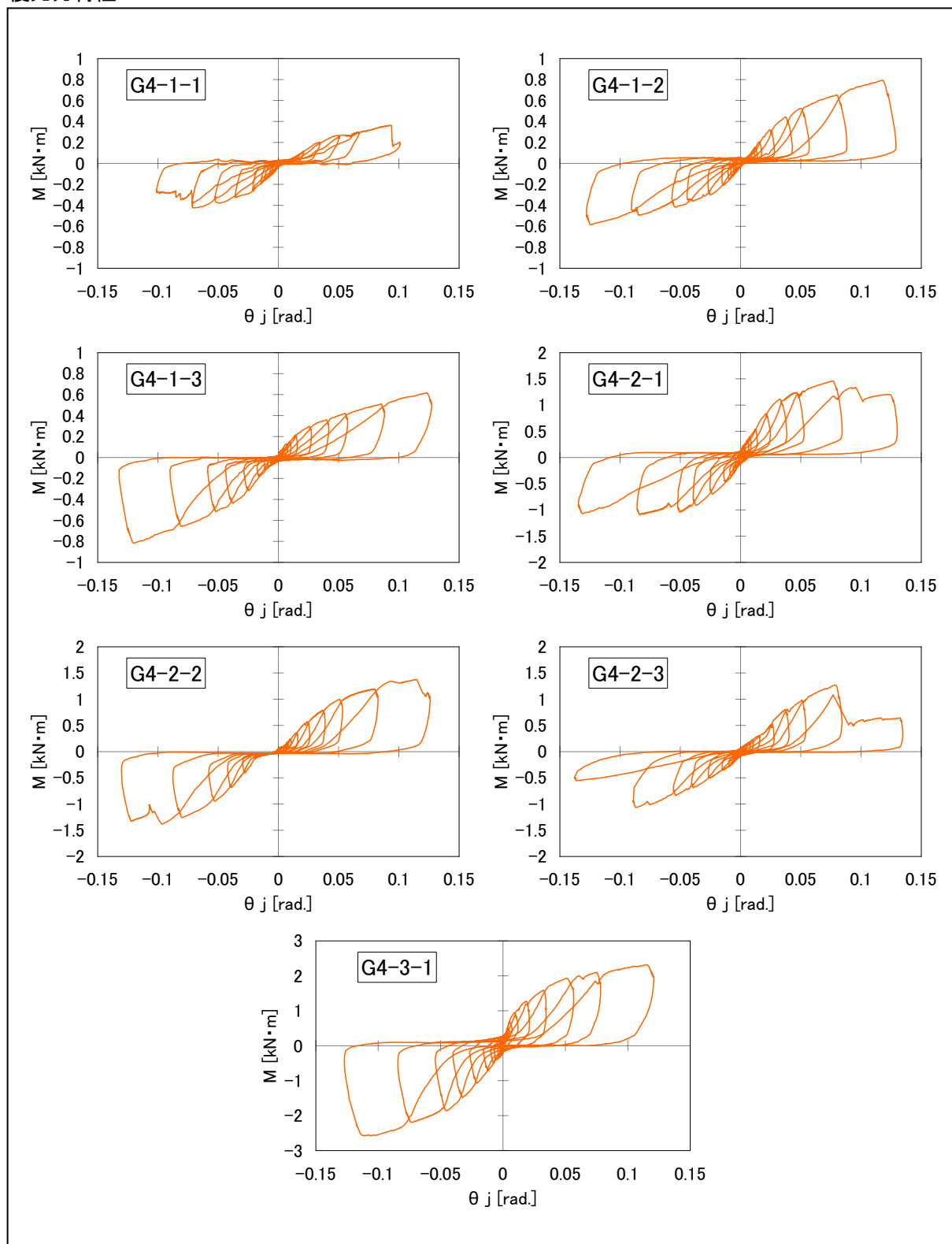
写真3. 4. 2-9 G3-1～6損傷状況

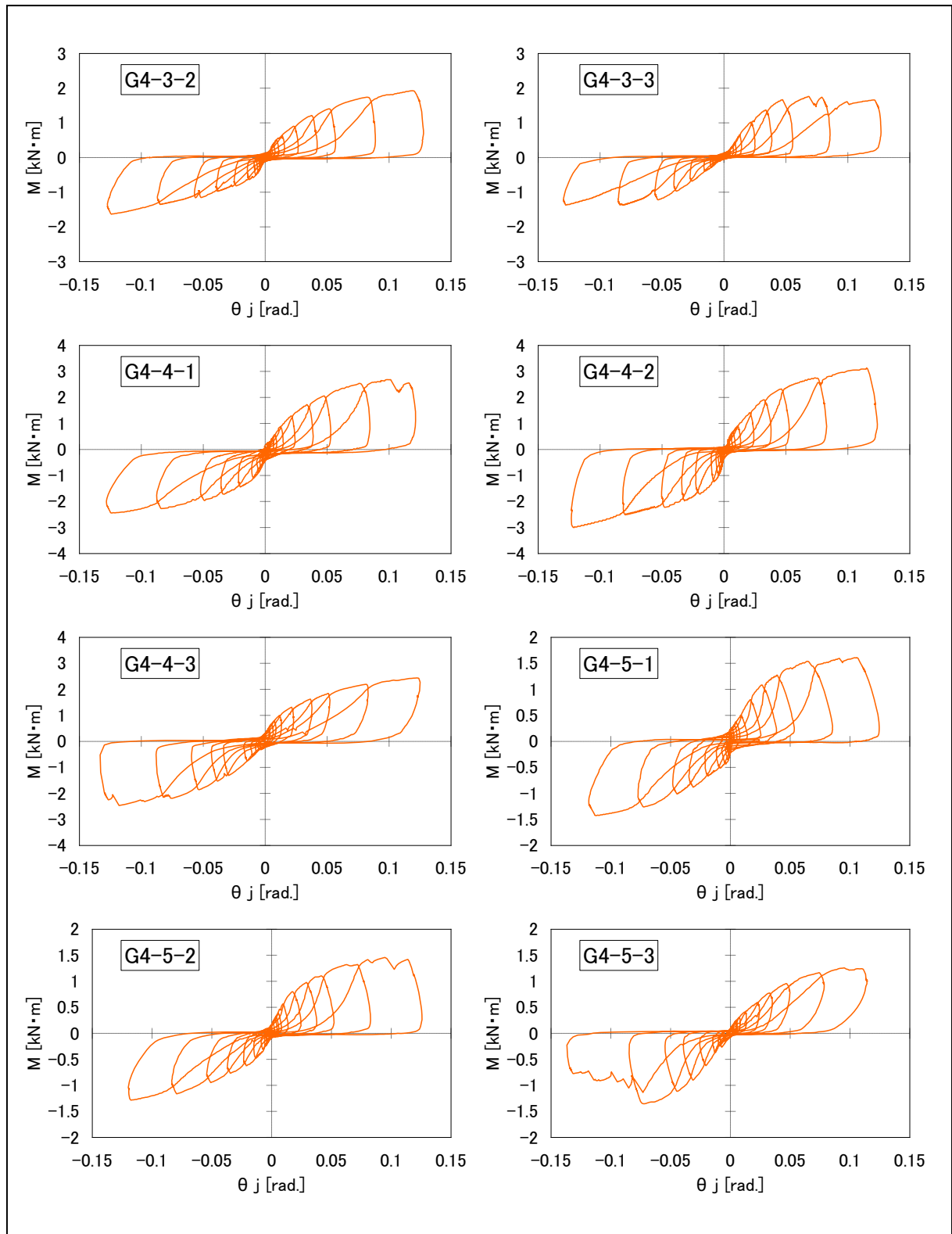
変形角1/50radあたりから、接合部の回転に併せて、楔の移動が確認された。また、大変形角時に、楔の割れが見られた。(28)ほぞ穴上端は楔の移動の影響により、編著なめり込みは見られなかった。(29、30)同様に、貫上端も楔の移動、変形に合わせて波打つようなめり込みが確認できた。(31)

貫断面が大きくなるにつれ、耐力の顕著な増加傾向が見られるが、柱断面の増加による耐力の増加は見られず、むしろ低下している。解体後、柱断面が大きいG3-6において貫の破損が顕著であり、仕口中央付近に曲げによる割裂が見られた。(31)柱断面が増えたことにより、接触部分間の距離が伸びた損傷したと考えられる。

④G4（通し貫（継ぎ））

復元力特性





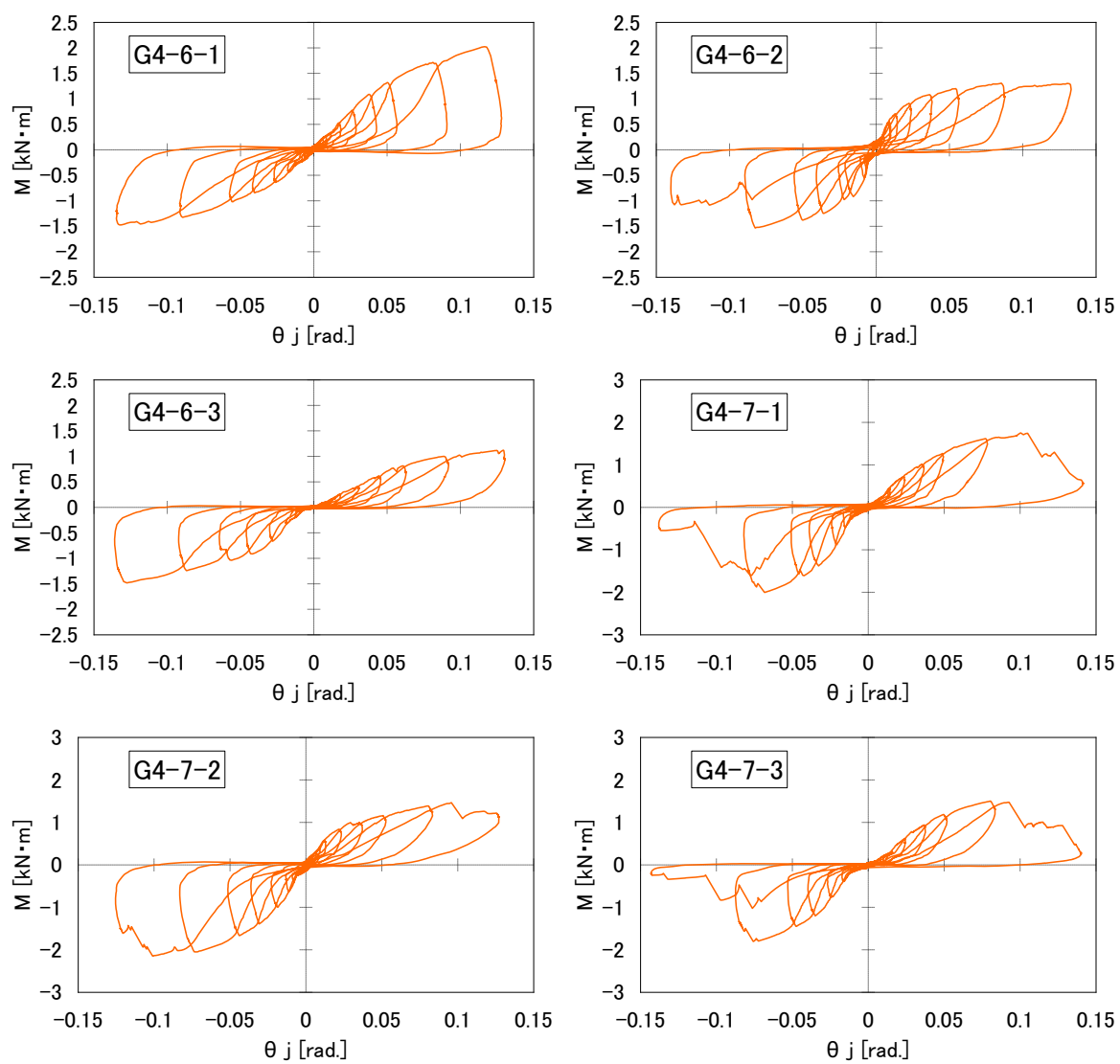


図3.4.2-29 G3試験結果（履歴ループ）

特性値

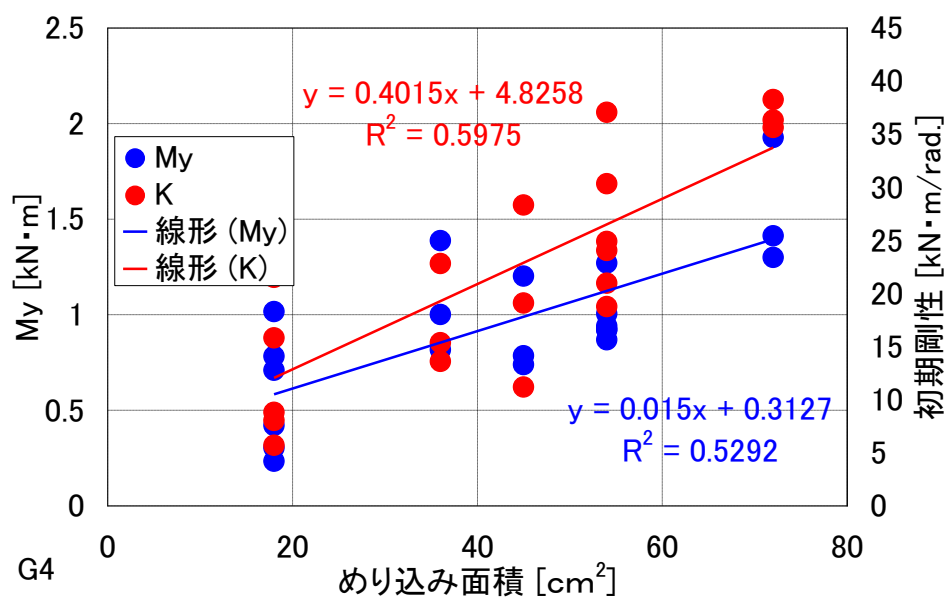


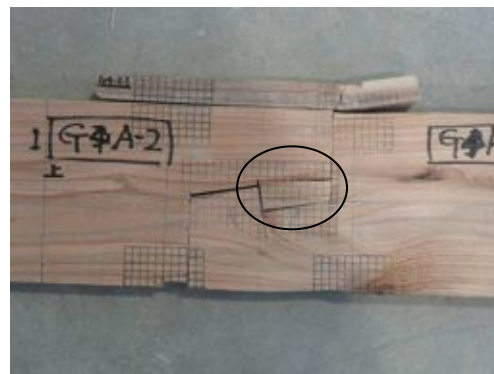
図3. 4. 2-30 G3試験結果（履歴ループ）

損傷状況

G4-2. 1



(32) 変形角+1/10rad



(33) 解体後

写真3. 4. 2-10 G4-2損傷状況

G4-7. 1



(34) 解体後

写真3. 4. 2-11 G4-7損傷状況

G4試験体の損傷の特徴として、貫中央の割れが見られる。(32) 1/30から1/20rad前後から割れを確認した。また、解体後、上鎌のせん断による破損が多く見られた。(33)

また、G3と同様に貫断面が大きくなるにつれ、耐力の顕著な増加傾向が見られるが、柱断面の増加による耐力の低下傾向している。さらに、鎌根本の曲げによる破損が顕著に見られた。(34) この割裂は、大変形角時の下鎌側に荷重を受けたときに見られた。

表3. 4. 2-9

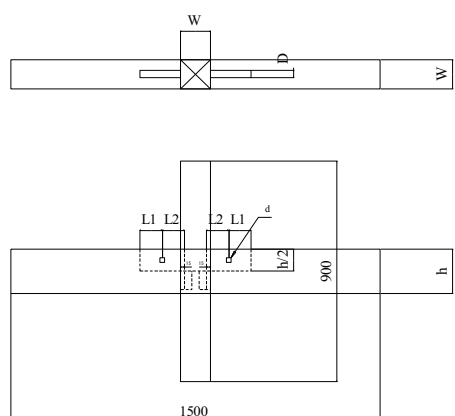
	めり込み面積 (側面のみ)		Mmax	K	My	Mu	μ
	[cm ²]	[cm ²]					
G1-1	9	5	0.06	0.05	0.02	0.00	####
G1-2	20	10	0.25	0.21	2.67	#DIV/0!	####
G1-3	36	18	0.63	0.29	10.91	0.61	1.79
G1-4	81	4	2.22	1.25	71.20	1.85	4.16
G2-1	36	18	1.30	0.80	18.75	1.14	2.26
G2-2	72	36	3.15	2.54	30.18	3.00	1.31
G2-3	108	54	4.13	2.63	52.79	3.58	1.79
G2-5	108	90	3.68	1.77	46.11	3.47	1.60
G2-4	108	72	3.03	2.21	34.29	2.63	1.69
G2-6	135	90	2.62	2.96	39.69	2.34	2.26
G2-7	162	90	3.12	13.26	62.44	2.73	2.46
G3-1	18	—	0.77	0.46	47.01	0.65	8.60
G3-2	36	—	1.56	1.04	25.73	1.23	2.45
G3-5	45	—	2.41	1.36	58.64	2.07	3.43
G3-3	54	—	2.30	1.20	82.89	1.97	5.19
G3-6	54	—	2.19	1.37	82.59	1.85	5.22
G3-4	72	—	3.24	1.87	72.93	2.82	2.94
G4-1	18	—	0.59	0.32	7.52	0.49	1.96
G4-5	18	—	1.44	0.84	19.93	1.30	2.21
G4-2	36	—	1.37	1.07	17.26	1.26	2.19
G4-3	54	—	2.00	1.07	30.77	1.75	2.53
G4-6	45	—	1.48	0.91	19.54	1.34	2.25
G4-7	54	—	1.57	0.91	21.26	1.38	2.03
G4-4	72	—	2.75	1.55	36.74	2.45	2.24

(3) 試験体番号K2, L2, M試験体

1) K2試験体

(a) 試験体の概要

試験体は、伝統構法住宅で用いられる雇いほぞ一込接合部である。梁幅120mm、梁背180mm、柱120mm角、雇いほぞ幅30mm、雇いほぞ高さ90mm、雇いほぞ長さ450mm、込栓18mm角を標準寸法とし、図3.4.2-31に示すパラメータの試験体11種類（各3体）を供試した。図3.4.2-32に接合部の詳細を示す。なお、梁及び柱はスギ人工乾燥材（E70、D20）を用い、雇いほぞはヒノキ、込栓はカシを使用した。試験体の加工は、基本的に熊本市の工務店で行い、K2-1試験体の1体（No.K2-1-1）のみを宮崎県都城市の工務店で行った。このとき、込栓については打ち込む向き（年輪方向）によって結果に違いが出る可能性があったが、今回の試験体作製においてその向きを考慮することはなかった。



試験体	W	D	h	d	L1	L2	備考
K2-1	120	30	180	18角	90	90	標準寸法
K2-2	150	36	180	18角	90	90	雇いほぞ幅 +6mm
K2-3	120	30	240	18角	90	90	雇いほぞ高さ +30mm
K2-4	120	30	300	18角	90	90	雇いほぞ高さ +60mm
K2-5	120	30	180	15角	90	90	込栓 15角
K2-6	120	30	180	24角	90	90	込栓 24角
K2-7	120	30	180	18丸	90	90	込栓 18丸
K2-8	120	30	180	18角	75	90	L1 -15mm
K2-9	120	30	180	18角	120	90	L1 +30mm
K2-10	120	30	180	18角	90	75	L2 -15mm
K2-11	120	30	180	18角	90	120	L2 +30mm

図3.4.2-31 試験体のパラメータ一覧

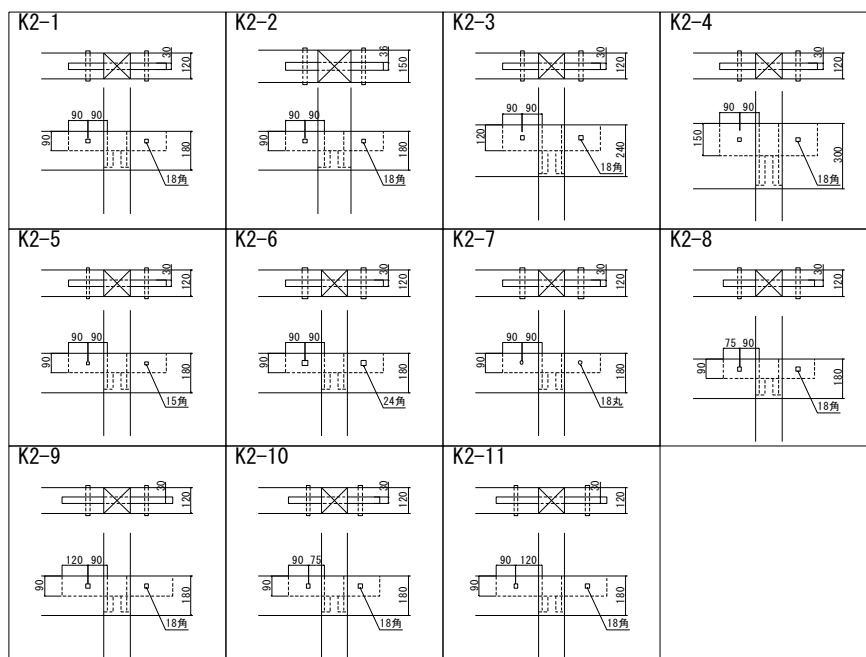


図3.4.2-32 試験体接合部の詳細

(b) 試験方法

本試験は、治具に固定した試験体をアクチュエータシステム（(株)驚宮製作所製ATC-20、最大試験力：圧縮200kN、引張200kN、ピストンストローク：±300mm）を用いて、破壊するまで単調引張加力を行った。ここでの加力は、最大荷重に達した後、荷重が最大荷重の80%以下に低下するまで行った。なお、図3.4.2-33に示すように、梁と雇いほぞの相対変位（D0、D3）、梁と柱の相対変位（D1、D2、D4、D5）を荷重及びヘッド移動量と共に計測し、以下により変形量を算出した。

変形量1（梁－雇いほぞ）： $\delta_1=(D0+D3)/2$

変形量2（梁－柱）： $\delta_2=(D1+D2)/2+(D4+D5)/2$

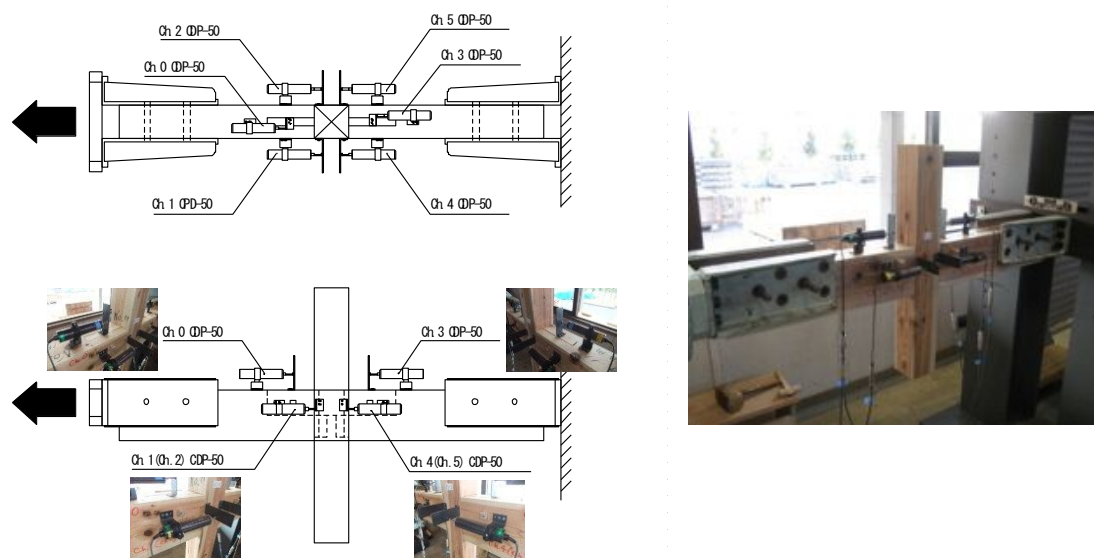


図3. 4. 2-33 センサ取り付け及び引張試験図

(c) 試験結果

①破壊状況

表3.4.2-10に全試験体の破壊状況を示す。いずれの試験体も梁継手部の開きや割裂などの外見上の目立った破壊は確認されず、雇いほぞ先端のせん断破壊あるいは2面せん断を受ける込栓の曲げ破壊によって耐力が決定された。写真3.4.2-12に代表的な破壊例を示す。以下に破壊タイプ毎の状況を示す。

○雇いほぞのせん断破壊－K2-6試験体－

24角込栓を用いたK2-6試験体3体全てにおいて雇いほぞのせん断破壊が生じ、脆性的な破壊性状を示した。写真3.4.2-13にK2-6試験体の破壊状況を示す。

○主に雇いほぞのせん断破壊－K2-8試験体－

込栓穴から雇いほぞ端までの距離が75mm（標準試験体に比べて-15mm）のK2-8試験体については、3体中2体が雇いほぞでのせん断破壊であり、1体が込栓の曲げ破壊であった。写真3.4.2-14にK2-8試験体の破壊状況を示す。

○主に込栓の曲げ破壊－K2-1、K2-10、K2-11試験体－

標準試験体であるK2-1試験体、L2が-15mmのK2-10試験体、L2が+30mmのK2-11試験体については、込栓の曲げ破壊が2体、雇いほぞのせん断破壊が1体確認された。写真3.4.2-15にK2-11試験体の例を示す。なお、雇いほぞがせん断破壊したNo.K2-1-1試験体及びNo.K2-10-1試験体について

は、今回使用した雇いほぞの密度の平均値を下回り、No.K2-11-2試験体については、髓が込栓穴につながり繊維が乱れていたことから、雇いほぞがせん断破壊しやすかった可能性がある。

○込栓の曲げ破壊－K2-2、K2-3、K2-4、K2-5、K2-7、K2-9試験体－

今回の試験で最も多く観察されたのが込栓の曲げ破壊であり、一例としてK2-2試験体の破壊状況を写真3.4.2-16に示す。

表3. 4. 2-10 試験体の破壊状況

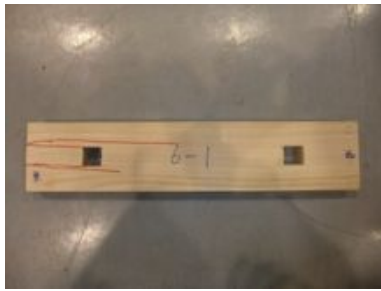
試験体No.	込栓(左)の 曲げ破壊	雇いほぞのせん断破壊		込栓(右)の 曲げ破壊	備 考
		ほぞ穴(左)	ほぞ穴(右)		
K2-1 - 1		○			標準寸法
2	○			○	
3	○				
K2-2 - 1				○	雇いほぞ幅 +6mm
2				○	
3	○			○	
K2-3 - 1	○			○	雇いほぞ高さ +30mm
2	○			○	
3	○			○	
K2-4 - 1	○			○	雇いほぞ高さ +60mm
2	○			○	
3	○			○	
K2-5 - 1	○			○	込栓 15角
2	○			○	
3					
K2-6 - 1		○			込栓 24角
2		○			
3		○			
K2-7 - 1	○			○	込栓 18丸
2	○			○	
3	○				
K2-8 - 1		○		○	L1 -15mm
2			○	○	
3				○	
K2-9 - 1				○	L1 +30mm
2	○			○	
3	○			○	
K2-10 - 1	○		○	○	L2 -15mm
2	○			○	
3	○			○	
K2-11 - 1	○		○	○	L2 +30mm
2				○	
3	○			○	

※“○”は解体後確認した込栓の曲げ破壊、雇いほぞのせん断破壊



写真3. 4. 2-12 破壊状況の代表的な例

左：雇いほぞのせん断破壊 (No. K2-8-2)、右：込栓の曲げ破壊 (No. K2-3-2)



K2-6-1試験体



K2-6-2試験体



K2-6-3試験体

写真3. 4. 2-13 K2-6試験体の破壊状況（雇いほぞ3体）



K2-8-1試験体



K2-8-2試験体



K2-8-3試験体

写真3. 4. 2-14 K2-8試験体の破壊状況（雇いほぞ2体、込栓1体）



K2-11-1試験体



K2-11-2試験体



K2-11-3試験体

写真3. 4. 2-15 K2-11試験体の破壊状況（雇いほぞ1体、込栓2体）



K2-2-1試験体



K2-2-2試験体



K2-2-3試験体

写真3. 4. 2-16 K2-2試験体の破壊状況（込栓3体）

②P- δ 関係

図3.4.2-34に全試験体のP- δ 曲線を示す。ただし、ここでの変位量 δ は梁柱間の相対変位 δ_2 である。

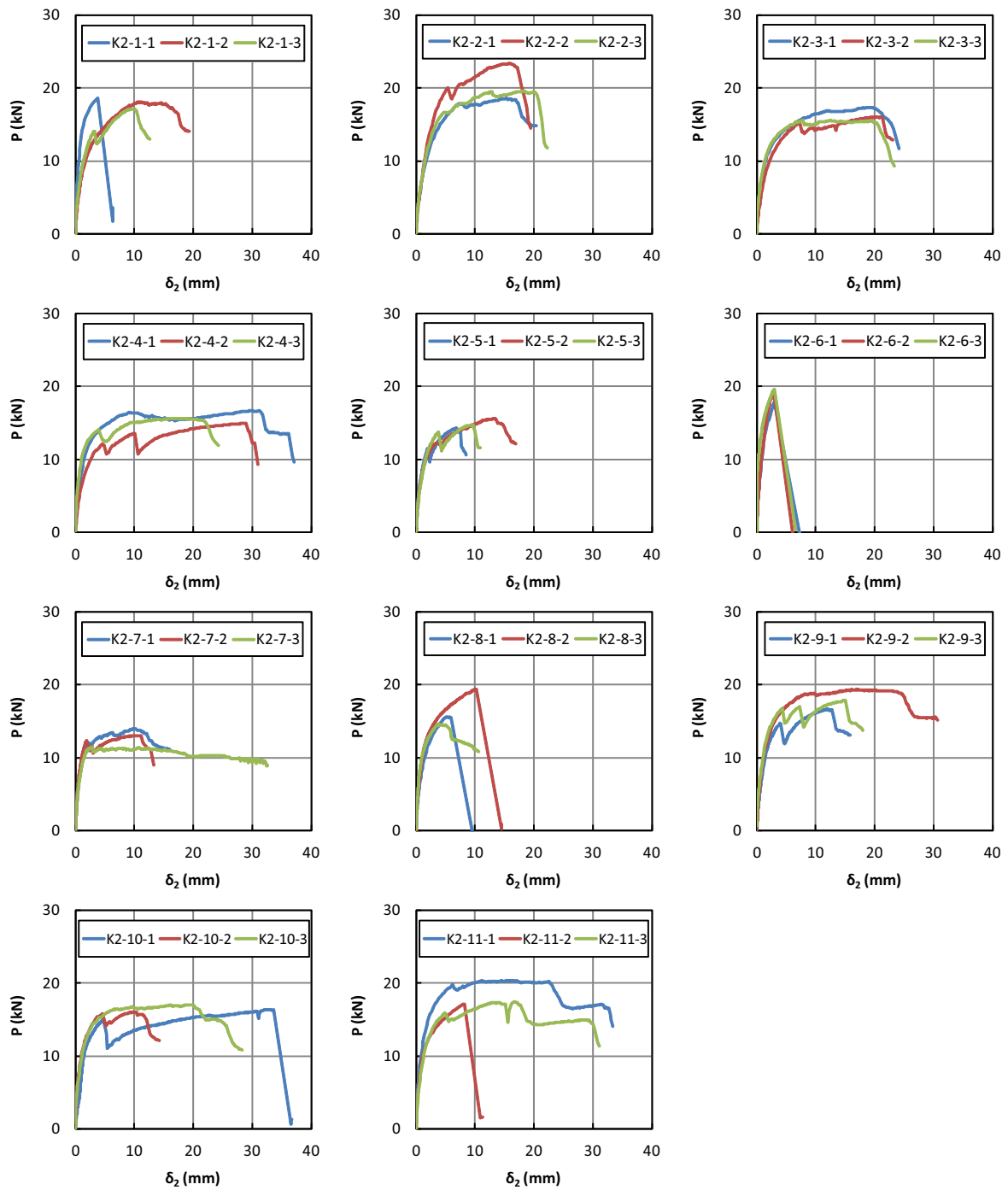


図3. 4. 2-34 全試験体のP- δ 曲線

③特性値

表3.4.2-11にP- δ 曲線を完全弾塑性置換して得られた各特性値を示し、図3.4.2-35に各特性値の平均値比較を示す。なお、算出には荷重変形曲線の特徴点抽出自動化ツールPickPointを使用した。

表3. 4. 2-11 完全弾塑性モデルに基づく特性値

試験体No.	$P_{\max}$ (kN)	$2/3P_{\max}$ (kN)	$\delta_{\max}$ (mm)	P_y (kN)	δ_y (mm)	P_u (kN)	δ_u (mm)	K (kN/mm)	μ	Ds
K2-1-1	18.62	12.42	3.77	10.77	0.48	17.02	1.02	16.67	3.69	0.40
K2-1-2	18.09	12.06	11.03	10.10	1.33	16.61	2.80	5.93	6.52	0.29
K2-1-3	17.15	11.43	9.99	11.16	1.21	15.39	2.37	6.49	4.98	0.33
平均値	17.95	11.97	8.26	10.68	1.01	16.34	2.06	9.70	5.06	0.34
標準偏差	0.75	0.50	3.93	0.54	0.46	0.85	0.93	6.04	1.42	0.05
変動係数	0.04	0.04	0.48	0.05	0.45	0.05	0.45	0.62	0.28	0.16
K2-2-1	18.57	12.38	15.26	10.35	1.47	17.13	2.92	5.86	6.87	0.28
K2-2-2	23.34	15.56	15.69	15.75	2.35	21.72	4.08	5.32	4.50	0.35
K2-2-3	19.57	13.04	18.24	12.25	1.66	18.50	3.24	5.72	6.42	0.29
平均値	20.49	13.66	16.40	12.78	1.83	19.12	3.41	5.63	5.93	0.31
標準偏差	2.51	1.68	1.61	2.74	0.46	2.35	0.60	0.28	1.26	0.04
変動係数	0.12	0.12	0.10	0.21	0.25	0.12	0.18	0.05	0.21	0.13
K2-3-1	17.32	11.54	19.02	10.46	1.18	16.08	2.48	6.49	9.34	0.24
K2-3-2	16.02	10.68	21.12	9.02	1.43	14.64	2.76	5.30	8.34	0.25
K2-3-3	15.54	10.36	7.75	9.26	0.85	14.95	1.80	8.31	12.15	0.21
平均値	16.29	10.86	15.96	9.58	1.15	15.22	2.35	6.70	9.94	0.23
標準偏差	0.92	0.61	7.19	0.77	0.29	0.76	0.49	1.51	1.97	0.02
変動係数	0.06	0.06	0.45	0.08	0.25	0.05	0.21	0.23	0.20	0.10
K2-4-1	16.69	11.13	29.83	10.25	1.22	15.50	2.34	6.63	15.47	0.18
K2-4-2	14.98	9.99	28.78	9.57	1.53	13.45	3.30	4.08	9.22	0.24
K2-4-3	15.63	10.42	18.58	9.49	0.61	14.67	1.46	10.07	16.02	0.18
平均値	15.77	10.51	25.73	9.77	1.12	14.54	2.36	6.93	13.57	0.20
標準偏差	0.86	0.57	6.21	0.42	0.47	1.03	0.92	3.01	3.78	0.03
変動係数	0.05	0.05	0.24	0.04	0.42	0.07	0.39	0.43	0.28	0.17
K2-5-1	14.30	9.53	6.79	9.50	0.92	12.88	1.70	7.60	4.69	0.35
K2-5-2	15.60	10.40	13.25	9.90	1.11	14.11	2.34	6.04	6.82	0.28
K2-5-3	14.72	9.81	9.70	8.30	0.96	13.31	1.80	7.40	5.56	0.31
平均値	14.87	9.91	9.91	9.23	0.99	13.44	1.94	7.01	5.69	0.31
標準偏差	0.66	0.44	3.23	0.83	0.10	0.63	0.35	0.85	1.07	0.03
変動係数	0.04	0.04	0.33	0.09	0.10	0.05	0.18	0.12	0.19	0.10
K2-6-1	17.89	11.92	3.03	10.56	0.80	16.31	1.44	11.33	2.11	0.56
K2-6-2	19.38	12.92	2.83	9.62	0.69	16.79	1.31	12.81	2.16	0.55
K2-6-3	19.56	13.04	2.96	10.13	0.10	16.92	0.49	34.87	6.09	0.30
平均値	18.94	12.63	2.94	10.10	0.53	16.67	1.08	19.67	3.45	0.47
標準偏差	0.92	0.61	0.10	0.47	0.38	0.32	0.52	13.19	2.29	0.15
変動係数	0.05	0.05	0.03	0.05	0.71	0.02	0.48	0.67	0.66	0.31
K2-7-1	14.00	9.33	9.81	9.62	0.75	12.85	1.43	9.00	10.87	0.22
K2-7-2	13.04	8.69	9.96	6.98	0.47	12.08	0.93	12.99	13.68	0.19
K2-7-3	11.43	7.62	2.82	5.98	0.45	10.66	0.93	11.44	34.71	0.12
平均値	12.82	8.55	7.53	7.53	0.56	11.86	1.10	11.14	19.75	0.18
標準偏差	1.30	0.87	4.08	1.88	0.16	1.11	0.29	2.01	13.03	0.05
変動係数	0.10	0.10	0.54	0.25	0.29	0.09	0.26	0.18	0.66	0.29
K2-8-1	15.63	10.42	5.31	8.76	0.92	14.25	1.81	7.86	3.27	0.43
K2-8-2	19.38	12.92	10.13	11.50	1.07	17.25	2.12	8.14	4.82	0.34
K2-8-3	14.64	9.76	3.73	8.61	0.56	13.08	1.02	12.78	8.75	0.25
平均値	16.55	11.03	6.39	9.82	0.85	14.86	1.65	9.59	5.61	0.34
標準偏差	2.50	1.67	3.33	1.63	0.26	2.15	0.57	2.76	2.83	0.09
変動係数	0.15	0.15	0.52	0.17	0.31	0.14	0.34	0.29	0.50	0.27
K2-9-1	16.64	11.09	11.76	11.66	1.37	14.93	2.44	6.12	6.30	0.29
K2-9-2	19.34	12.89	16.99	11.32	1.12	18.00	2.29	7.86	13.27	0.20
K2-9-3	17.85	11.90	14.87	10.28	0.87	16.12	1.71	9.42	10.03	0.23
平均値	17.94	11.96	14.54	11.08	1.12	16.35	2.15	7.80	9.86	0.24
標準偏差	1.35	0.90	2.63	0.72	0.25	1.54	0.39	1.66	3.49	0.05
変動係数	0.08	0.08	0.18	0.06	0.22	0.09	0.18	0.21	0.35	0.20
K2-10-1	16.36	10.91	33.08	10.77	1.59	14.68	2.20	6.68	15.33	0.18
K2-10-2	16.04	10.69	10.08	8.95	0.60	14.98	1.36	11.01	9.42	0.24
K2-10-3	17.02	11.35	18.93	10.19	0.83	16.07	1.80	8.92	14.24	0.19
平均値	16.47	10.98	20.70	9.97	1.00	15.24	1.79	8.87	13.00	0.20
標準偏差	0.50	0.33	11.61	0.93	0.52	0.73	0.42	2.17	3.14	0.03
変動係数	0.03	0.03	0.56	0.09	0.52	0.05	0.23	0.24	0.24	0.14
K2-11-1	20.36	13.57	16.20	11.79	0.89	18.86	1.83	10.31	17.84	0.17
K2-11-2	17.15	11.43	7.91	10.25	0.90	15.16	1.76	8.62	4.63	0.35
K2-11-3	17.46	11.64	16.80	10.11	1.04	15.60	2.02	7.73	14.87	0.19
平均値	18.32	12.21	13.64	10.72	0.94	16.54	1.87	8.89	12.45	0.23
標準偏差	1.77	1.18	4.97	0.93	0.08	2.02	0.13	1.31	6.93	0.10
変動係数	0.10	0.10	0.36	0.09	0.09	0.12	0.07	0.15	0.56	0.42

荷重 $P(P_{\max}, P_y, P_u)$ については、標準試験体K2-1を上回った試験体はK2-2(雇いほぞ幅+6mm)、K2-6(込栓24角)、K2-11(L2+30mm)であり、K2-2試験体が最も高い P を示した。一方で、K2-7(込栓18丸)、K2-5(込栓15角)が低い結果となった。変位量 $\delta(\delta_{\max}, \delta_y, \delta_u)$ については、K2-2(雇いほぞ幅+6mm)やK2-4(雇いほぞ高さ+60mm)が大きく、K2-6(込栓24角)、K2-7(込栓18丸)が小さい傾向を示した。

初期剛性 K はK2-6(込栓24角)が最も高い値を示し、最も低いK2-2(雇いほぞ幅+6mm)及びK2-3(雇いほぞ高さ+30mm)の3倍程度の剛性であった。塑性率 μ については、雇いほぞのせん断破壊を示したK2-6(込栓24角)が最も低く、K2-7(込栓18丸)が最も高い値を示した。

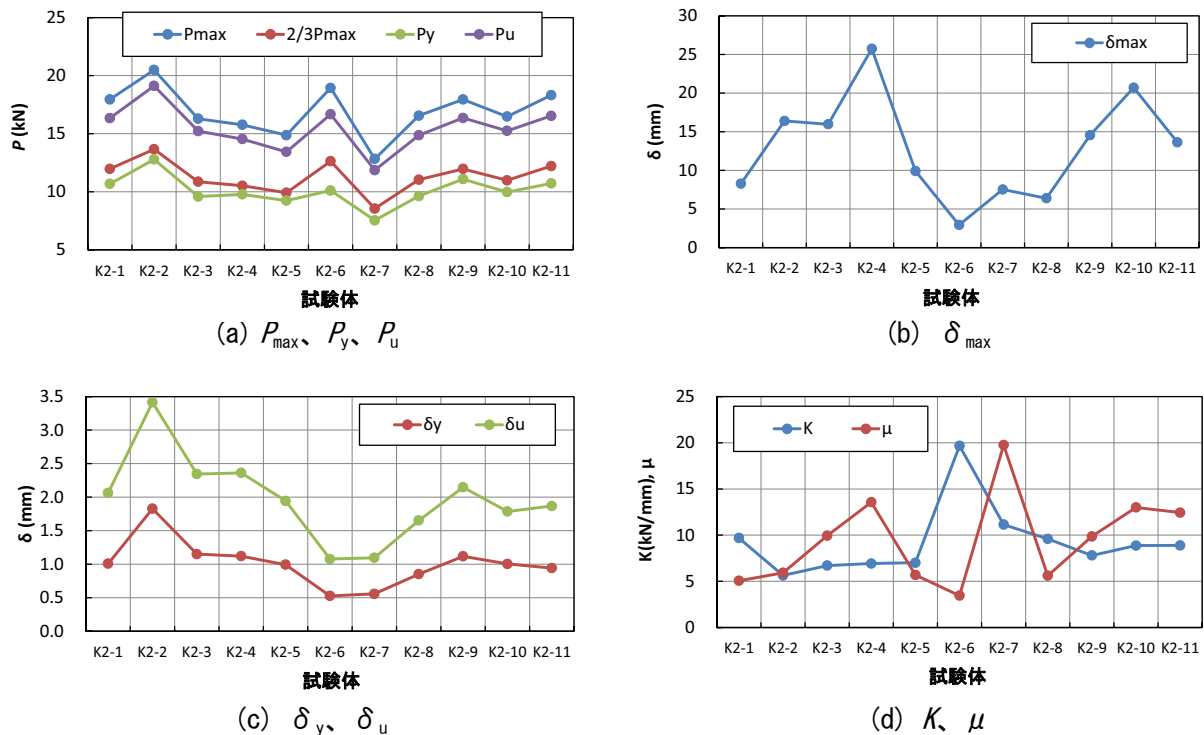


図3.4.2-35 各特性値の平均値比較

(c) 試験結果の考察

① 雇いほぞ幅の影響

雇いほぞ幅による比較を図3.4.2-36に示す。雇いほぞ幅が大きくなるほど $P(P_{\max}, P_y, P_u)$ が高くなる傾向が認められた。 K は、平均値としては大きく下がる傾向を示したが、極端に K が高いK2-1試験体1体(No.K2-1-1)については加工した工務店が異なり、加工精度に違いがあると思われることから、単純に比較するのは問題があると思われる。そこで、この1体を除外して比較すると、 K は僅かに低下する傾向を示した。

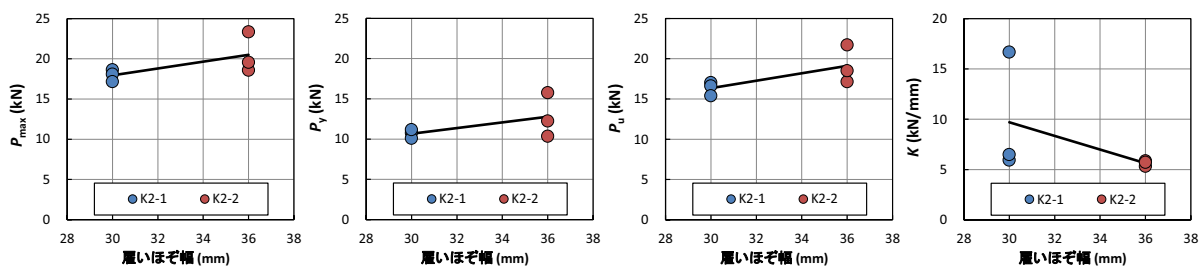


図3.4.2-36 雇いほぞ幅の影響

② 雇いほぞ高さの影響

雇いほぞ高さによる比較を図3.4.2-37に示す。雇いほぞ高さが大きくなるほど、 P は低下する傾向を示した。 K については、No.K2-1-1を除くと、ほとんど違いが認められなかった。

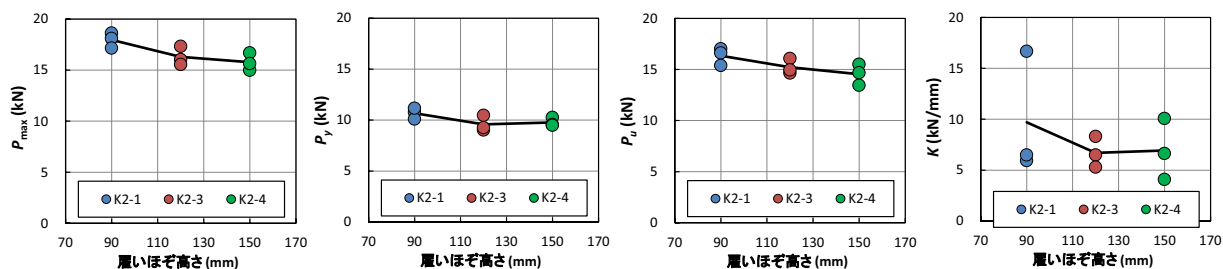


図3. 4. 2-37 雇いほぞ高さの影響

③ 込栓形状の影響

込栓形状による比較を図3.4.2-38に示す。18丸の込栓の場合が最も低い P を示しており、角込栓のみを比較すると、込栓が大きくなるほど高い P を示す傾向にある。 K についても同様であった。

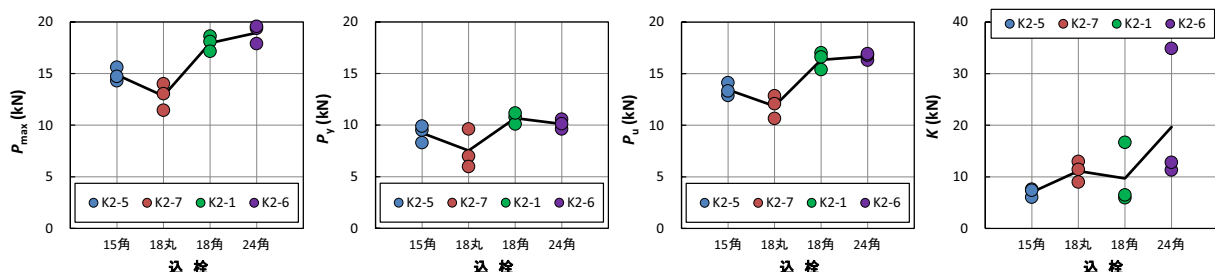


図3. 4. 2-38 込栓の影響

④ L1の影響

L1による比較を図3.4.2-39に示す。端距離が大きくなるほど P が高くなる傾向を示したが、L1が90mmと120mmではほとんど違いが認められなかった。また、端距離が大きいほど K は低下する傾向を示した。

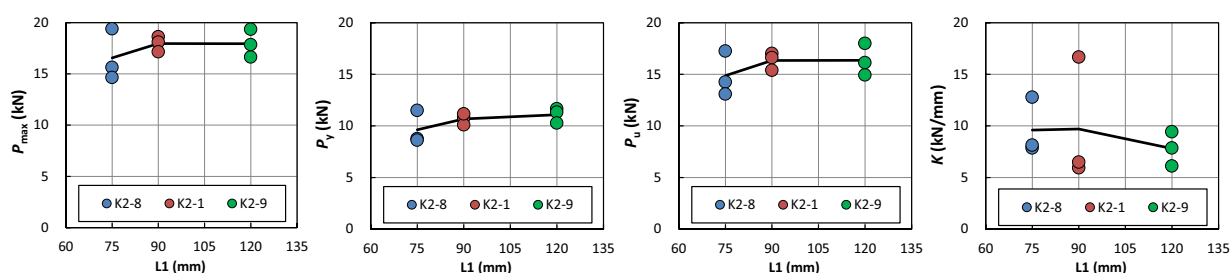


図3. 4. 2-39 L1の影響

⑤ L2の影響

L2による比較を図3.4.2-40に示す。破壊状況から考えるとL2が影響を及ぼすことは考えにくい、僅かに上がる傾向を示しているものの、大きな違いは認められなかった。

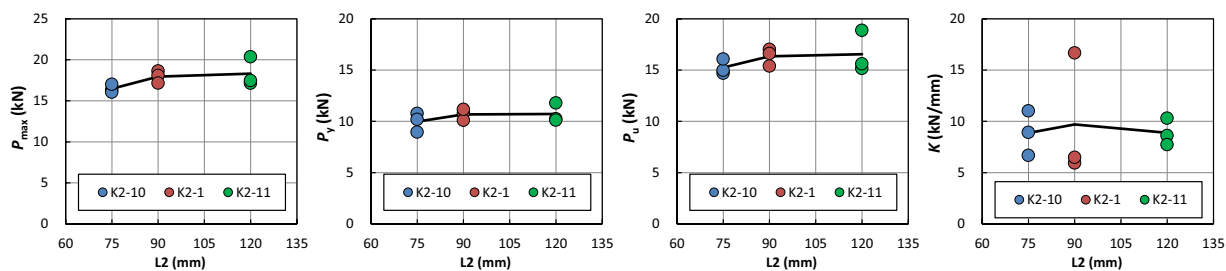


図3. 4. 2-40 L2の影響

⑥供試材料の物性値及び破壊部位の推定

表3.4.2-12に試験終了後の含水率及び密度を示し、写真3.4.2-17に密度試験片の採取位置を示す（なお、密度は試験後のほぞ及び込栓非破壊部から採取した試片の寸法（ノギスで計測）及び重量から求めており、必ずしも精度の高い密度値とはなっていない）。

木質構造接合部設計マニュアルに示される長ほぞ込栓仕口の引張に対する降伏耐力・最大耐力の評価式を参考にして、雇いほぞのせん断耐力と込栓せん断接合の引張降伏耐力を算出した結果を表3.4.2-13に示す。なお、雇いほぞのせん断強さ F_s は、今回の試験体作製に使用した材料の残りを使用して椅子型せん断試験を実施し、その平均値（11.4N/mm²）から求めた。また、込栓の密度は表3.4.2-12の実測値を用い、他の材料定数は以下の通りとした。

雇いほぞ	せん断強さ	$F_s = F_{s-b} \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} \times \frac{2}{3}$	N/mm ²	木質構造設計規準・同解説(1995)掲載の式による F_{s-b} : ブロックせん断強度の平均値(11.4N/mm²)、3/4 : 統計的下限值 1/2 : ブロックせん断強度の水平せん断強度への概算係数 2/3 : 安全係数
込栓	密度	ρ	= 測定値	
	基準強度(曲げ)	F_b	= 8.1+136 ρ	N/mm ²
	めり込み降伏応力	F_{cvf}	= -8.2+35.4 ρ	N/mm ²
	せん断強さ	F_s	= (-7.7+100 ρ) $d^{0.4}$	N/mm ²

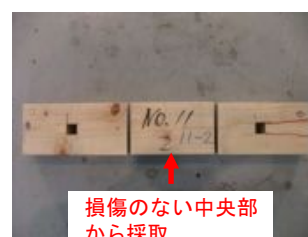
表3.4.2-13に示すように、雇いほぞのせん断耐力が低い計算値となったのはK2-6試験体のみであり、実際の破壊状況と一致した。3体中2体が雇いほぞで破壊したK2-8試験体については、込栓と雇いほぞの耐力（計算値）がほぼ同等であった。表3.4.2-13に示す色付きは実際の破壊状況と一致した試験体であるが、33体中19体が該当した。

表3.4.2-14に雇いほぞ及び込栓の年輪角度を示し、写真3.4.2-18に測定方法を示す。文献（中井孝、山井良三郎：日本産主要35樹種の強度的性質、林試研報、1982）によると、ヒノキは接線方向のせん断（ τ_T ）が高く、シラカシについては半径方向のせん断（ τ_R ）が高い結果が得られている。3体中1体のみが雇いほぞでせん断破壊したK2-1試験体（No.K2-1-1）及びK2-10試験体（No.K2-10-1）は半径方向のせん断に近く、密度も小さいことから、これらのことがせん断破壊の一因になった可能性がある。

表3.4.2-12 試験時の含水率及び密度

		含水率 (%)						密度 (kg/m ³)		
		雇いほぞ	込栓(左)	込栓(右)	柱	梁(左)	梁(右)	雇いほぞ	込栓(左)	込栓(右)
1 - 1	1	16.5	14.0	13.9	17.4	17.4	17.4	456	977	894
	2	15.9	12.4	13.1	17.8	15.7	18.0	502	930	894
	3	14.4	12.7	13.1	16.0	15.9	17.7	461	878	969
2 - 1	1	16.4	14.7	13.9	17.7	17.2	17.9	477	935	964
	2	15.9	14.1	13.0	18.1	16.9	17.3	515	987	939
	3	16.0	14.7	14.9	17.6	18.2	17.0	480	841	959
3 - 1	1	16.3	13.7	12.8	16.1	18.8	18.7	453	904	909
	2	16.7	13.8	13.3	16.6	18.9	15.5	457	863	912
	3	16.6	14.1	13.5	16.6	18.8	15.7	473	894	907
4 - 1	1	16.0	14.1	12.9	11.1	19.9	19.5	492	913	913
	2	15.1	13.7	13.2	16.2	17.7	19.9	474	891	892
	3	15.9	13.8	12.6	16.6	20.5	17.5	490	805	880
5 - 1	1	16.0	13.2	12.0	18.2	17.0	16.9	494	906	881
	2	16.0	13.5	12.4	17.9	16.9	15.5	532	901	896
	3	15.8	12.5	11.9	16.4	15.8	16.7	542	924	922
6 - 1	1	13.9	12.9	13.2	20.5	16.7	16.7	487	987	1002
	2	13.7	12.8	12.7	15.3	16.6	16.4	474	891	941
	3	13.7	12.8	12.6	14.8	16.9	17.4	476	916	861
7 - 1	1	14.7	13.5	12.7	23.3	15.2	17.4	468	868	859
	2	13.5	12.9	13.0	16.8	17.4	16.6	463	853	845
	3	14.6	13.4	12.8	22.4	16.8	17.7	454	888	907
8 - 1	1	13.5	13.8	13.5	18.2	16.7	15.4	474	930	915
	2	14.5	13.6	13.1	17.0	16.9	15.6	456	933	892
	3	13.8	13.4	13.5	20.2	16.9	17.0	459	905	826
9 - 1	1	16.7	13.1	12.4	17.6	15.4	15.3	499	894	866
	2	15.7	12.2	13.1	18.8	15.5	15.3	503	908	943
	3	16.6	12.7	13.3	19.8	15.2	15.4	510	874	898
10 - 1	1	16.2	12.8	12.7	16.1	16.6	18.9	466	929	884
	2	14.8	13.0	12.5	16.3	16.4	16.3	491	1068	835
	3	14.9	11.9	12.7	19.8	16.2	18.8	496	896	868
11 - 1	1	14.7	14.1	13.1	15.8	17.7	17.3	456	912	942
	2	16.0	13.9	13.3	15.6	18.3	18.3	492	918	894
	3	16.0	13.7	13.4	16.0	18.1	18.1	488	871	878

※色付きは雇いほぞのせん断破壊



損傷のない中央部から採取



端部を切り落とし変形の小さい部位から採取

写真3.4.2-17 密度試験片の採取位置

表3. 4. 2-13 雇いほぞと込栓の耐力計算

試験体No.	ほぞせん断耐力 P_{us} (kN)	込栓せん断接合の降伏耐力 P_{yf} (kN)		min. [P_{us}, P_{yf}]	計算上の破壊
		込栓(左)	込栓(右)		
K-2-1	1	11.2	8.5	8.3	込栓
	2	11.2	8.4	8.3	込栓
	3	11.2	8.2	8.2	込栓
K-2-2	1	13.4	9.0	9.0	込栓
	2	13.4	9.2	9.0	込栓
	3	13.4	8.8	8.8	込栓
K-2-3	1	11.2	8.3	8.3	込栓
	2	11.2	8.2	8.2	込栓
	3	11.2	8.3	8.3	込栓
K-2-4	1	11.2	8.3	8.3	込栓
	2	11.2	8.3	8.3	込栓
	3	11.2	8.0	8.0	込栓
K-2-5	1	11.4	6.1	6.0	込栓
	2	11.4	6.1	6.1	込栓
	3	11.4	6.1	6.1	込栓
K-2-6	1	10.8	14.7	10.8	雇いほぞ
	2	10.8	14.0	10.8	雇いほぞ
	3	10.8	14.2	10.8	雇いほぞ
K-2-7	1	11.2	8.2	8.2	込栓
	2	11.2	8.1	8.1	込栓
	3	11.2	8.2	8.2	込栓
K-2-8	1	9.1	8.4	8.3	込栓
	2	9.1	8.4	8.3	込栓
	3	9.1	8.3	8.0	込栓
K-2-9	1	15.3	8.3	8.2	込栓
	2	15.3	8.3	8.3	込栓
	3	15.3	8.2	8.2	込栓
K-2-10	1	11.2	8.4	8.2	込栓
	2	11.2	8.8	8.1	込栓
	3	11.2	8.3	8.2	込栓
K-2-11	1	11.2	8.3	8.3	込栓
	2	11.2	8.3	8.3	込栓
	3	11.2	8.2	8.2	込栓

※色付きは試験体実際の破壊状況と一致したもの

表3. 4. 2-14 雇いほぞ及び込栓の年輪角度

試験体No.	せん断面となす角度 α_1 (deg)	加力方向となす角度 α_2 (deg)	
		込栓(左)	込栓(右)
K-2-1	1	84	34
	2	54	63
	3	18	54
K-2-2	1	90	65
	2	4	90
	3	1	79
K-2-3	1	66	34
	2	73	45
	3	73	34
K-2-4	1	4	37
	2	0	42
	3	4	48
K-2-5	1	33	73
	2	33	88
	3	25	52
K-2-6	1	54	30
	2	54	73
	3	43	60
K-2-7	1	24	63
	2	44	78
	3	23	88
K-2-8	1	84	55
	2	28	56
	3	89	51
K-2-9	1	27	55
	2	13	38
	3	11	53
K-2-10	1	75	86
	2	28	70
	3	15	80
K-2-11	1	27	44
	2	38	45
	3	0	50

※色付きは雇いほぞのせん断破壊

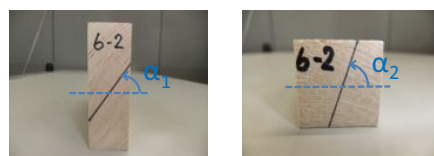


写真3. 4. 2-18 角度測定の方法

左：雇いほぞ、右：込栓

(d) まとめ

雇いほぞー込栓接合部の引張試験を実施した結果、以下の知見が得られた。

- 雇いほぞ先端のせん断破壊あるいは2面せん断を受ける込栓の曲げ破壊によって耐力が決定された。
- K-2-6試験体（込栓24角）及びK-2-8試験体（端距離が75mm（標準試験体に比べて-15mm））が主に雇いほぞでせん断破壊し、その他の試験体は主に込栓の曲げ破壊で耐力が決定された。
- 雇いほぞの幅が大きい条件、端距離 L_1 が大きい条件ほど荷重 P が高くなる傾向にあった。
- 込栓が大きくなるほど P 及び剛性 K が高くなる傾向を示した。
- 雇いほぞ高さが大きい試験体は P が低くなる傾向を示した。
- 木質構造接合部設計マニュアルによる評価式により、破壊部位（雇いほぞ、あるいは込栓）については概ね予測できると考えられた。

2) L2試験体

(a) 試験体の概要

試験体は、雇いほぞー込栓接合によりスギ通し柱に両差しの梁が取り付け付いた接合部である。梁幅120mm、梁背180mm、柱120mm角、雇いほぞ幅30mm、雇いほぞ高さ90mm、雇いほぞ長さ450mm、込み栓18mm角を標準寸法とし、梁幅、梁せい、込み栓径、雇いほぞ端距離、梁の端距離を変化させた11タイプの試験体（各タイプ3体）を供試した（図3.4.2-41）。なお、梁及び柱はスギ人工乾燥材（E70、D20）を用い、雇いほぞはヒノキ、込栓はカシを使用した。

(単位: mm)

No.	W	D	h	d	l1	l2	備考
1	120	30	180	18角	90	90	標準寸法
2	150	36	180	18角	90	90	梁幅 大
3	120	30	240	18角	90	90	梁背 中
4	120	30	300	18角	90	90	梁背 大
5	120	30	180	15角	90	90	込栓 小
6	120	30	180	24角	90	90	込栓 大
7	120	30	180	18丸	90	90	込栓 丸
8	120	30	180	18角	75	90	l1 小
9	120	30	180	18角	120	90	l1 大
10	120	30	180	18角	90	75	l2 小
11	120	30	180	18角	90	120	l2 大

図3. 4. 2-41 L2試験体のパラメーター一覧

(b) 試験方法

曲げ試験の方法は、図3.4.2-4に示す全点ピン支持の3等分点4点荷重方式とし、左支持ピンー接合部ー右支持ピンのスパン1,350mmで左右の梁を基準面から900mmの高さで両端ピンの反力バーで支持して、上部の全点ピンの加力バーにより左右支持ピンから675mmの位置で鉛直方向の繰り返し変形を与えた。

繰り返し加力スケジュールにおける目標変形角は、巻き取り式変位計で計測した試験体中央柱下部の鉛直方向変位を両端支持ピンと試験体中央のスパン（1,350mm）で除して得られる、見かけの片側接合部回転角とし、引き（雇いほぞが引張りを受ける条件）、押し（雇いほぞが圧縮を受ける条件）の順に、それぞれ1/240、1/120、1/90、1/60、1/45、1/30、1/20、1/15radの段階で正負交番1回繰り返し加力を行った。

試験にはアクチュエータ（Instron製、容量1,000kN、ストローク250mm）を用い、変位制御鉛直方向繰り返し加力を行うとともに、50kNのロードセル（東京測器製 TCLM50KN）により鉛直反力を計測した。

計測された荷重の半分を支点反力とし、それに両端支持ピンから加力ピンまでの距離（675mm）を乗じた値を接合部回転モーメントとした。また、左右の梁の上下における柱との相対変位の絶対差を変位計間距離（梁せい）で除すことで接合部回転角を求めた。

なお、試験の際には、柱の上下部に拘束ローラーをセットして試験中の柱の倒れ込みを抑え、最大荷重に達した後最大荷重の80%の荷重に低下するか、試験機の最大ストロークに達した時点で試験を終了した。

また、試験評価は、試験体左右の接合部のうち先に破壊した方の接合部モーメントー回転角の関係を用いて行った。

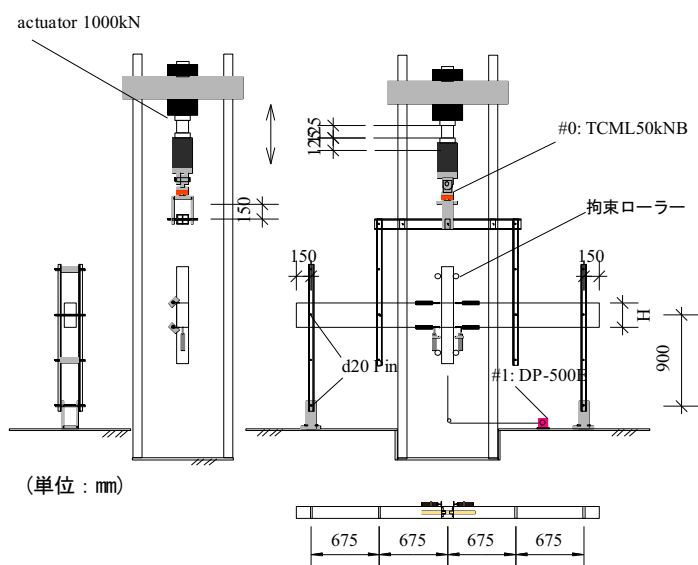


図3. 4. 2-42 試験方法

(c) 試験結果

①破壊状況

○引き方向加力（雇いほぞが引張りを受ける条件）

本試験では、引き-押しの繰り返し加力により、引き方向加力で破壊が先行した。

試験中、梁の木口面と柱、梁のほぞと柱のほぞ孔等でめり込みが生じている様子が観察されたが、引き方向加力における最終的な破壊は、雇いほぞのせん断、割裂が支配的であり（写真3.4.2-19）、K2の引張り試験で込栓の曲げ破壊が多く認められた結果とは対照的であった。

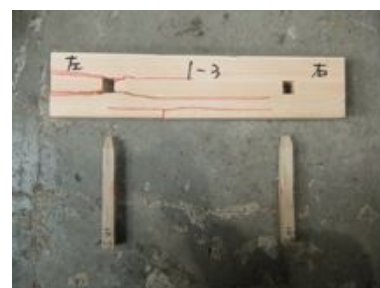
雇いほぞがせん断破壊せずに込栓が曲げ破壊したのはL2-3試験体（梁せい240mm）のみで（写真3.4.2-20）、雇いほぞのせん断破壊と込栓の曲げが伴う破壊はL2-4試験体（梁せい300mm）、L2-5試験体（込栓15mm角）及びL2-7試験体（込栓径18mm丸）の一部で認められた（写真3.4.2-21）。



引き方向加力全体図
L2-1-1[標準寸法]



最大耐力時の状況
L2-1-3[標準寸法]



雇いほぞと込み栓の状況
L2-1-3[標準寸法]

写真3. 4. 2-19 雇いほぞがせん断破壊したケース（引き方向加力）



L2-3-2[梁せい240mm]

写真3. 4. 2-20 込栓が曲げ破壊したケース（引き方向加力）



L2-4-3 [梁せい300mm]



L2-5-1 [込栓15mm角]



L2-7-1[込栓φ18mm]

写真3. 4. 2-21 雇いほぞのせん断破壊と込栓の繊維破断が生じたケース（引き方向加力）

○押し方向加力（雇いほぞが圧縮を受ける条件）

押し方向加力により変形が進んだ段階では、すでに引き方向加力で雇いほぞもしくは込栓が破壊していたが、梁のほぞ下部が柱のほぞ孔にめり込むとともに、雇いほぞの両端下部が梁を押さえつけることにより荷重に抵抗する様子が認められた。最終的には、ほぞが抜け出しながら荷重が低下していく場合（写真3.4.2-22）と、雇いほぞが曲げ破壊する場合（写真3.4.2-23）があった。



L2-4-1[梁せい300mm]

写真3. 4. 2-22 梁のほぞ部の抜け出しながら荷重が低下したケース（押し方向加力）



L2-4-1[梁せい300mm]

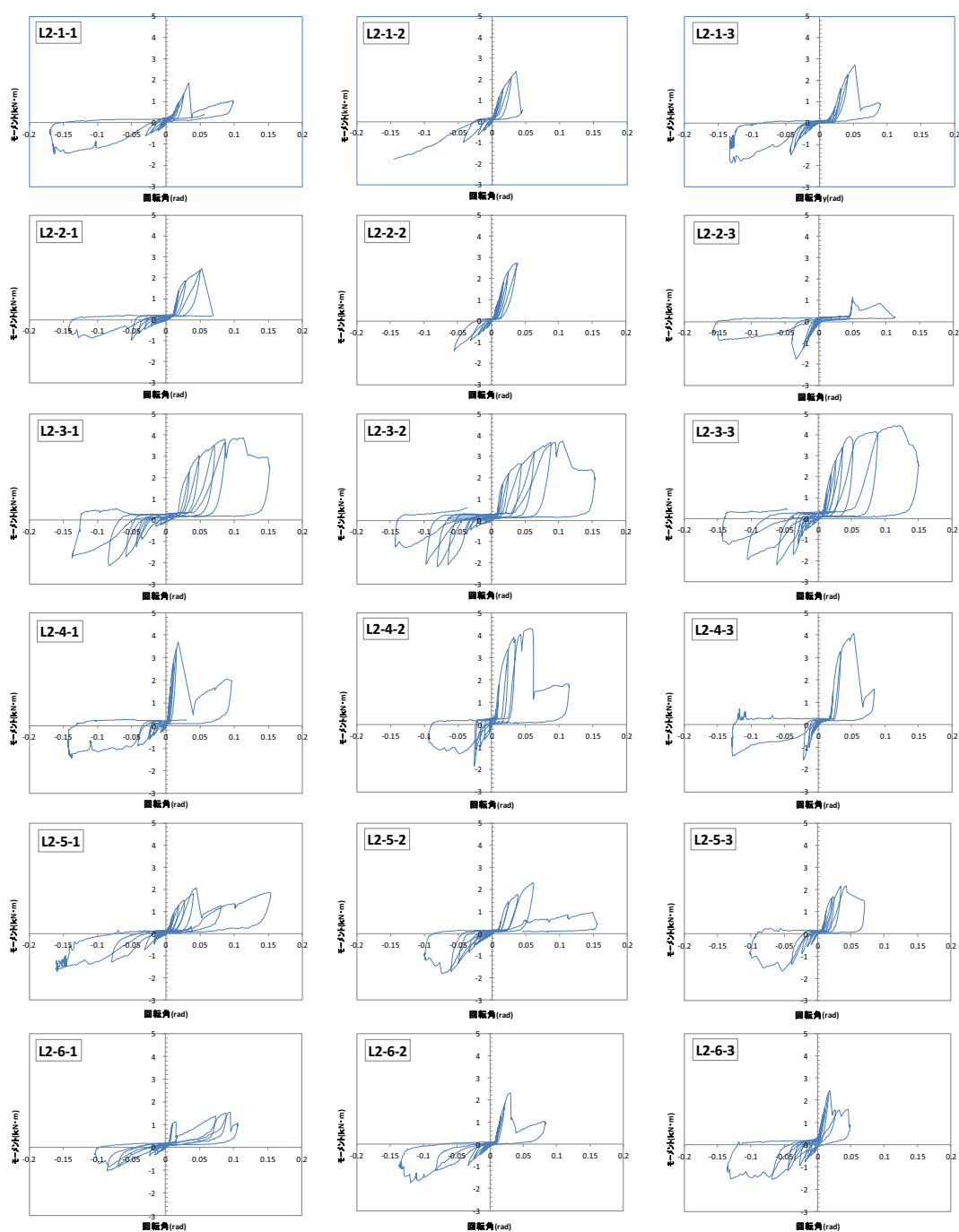
写真3. 4. 2-23 雇いほぞが曲げ破壊したケース（押し方向加力）

②モーメントー回転角関係

図3.4.2-43に接合部モーメントー回転角の関係を示す。全体的に眺めると、今回の試験では初期のあそびが生じたものもあり、あまりきれいな曲線が得られなかった。

引き方向加力（第1象限）では、多くの試験体が雇いほそのせん断や割裂で破壊に至ったため、それほど粘りのある形態は認められなかったが、込栓の曲げ破壊が生じたL2-3試験体やL2-4、L2-5、L2-7試験体では比較的に変形性能が高かった。また、最大耐力に達した後も、最大耐力の1/2～1/3程度の耐力を維持しながら変形が進行するケースが多く認められた。

押し方向加力（第3象限）では、下に凸の曲線となる場合や履歴ループが連続性に欠けるケースが多かったが、引き方向加力と比較すると、曲線の勾配は全体的に緩やかで最大耐力は低く、変形性能は高かった。



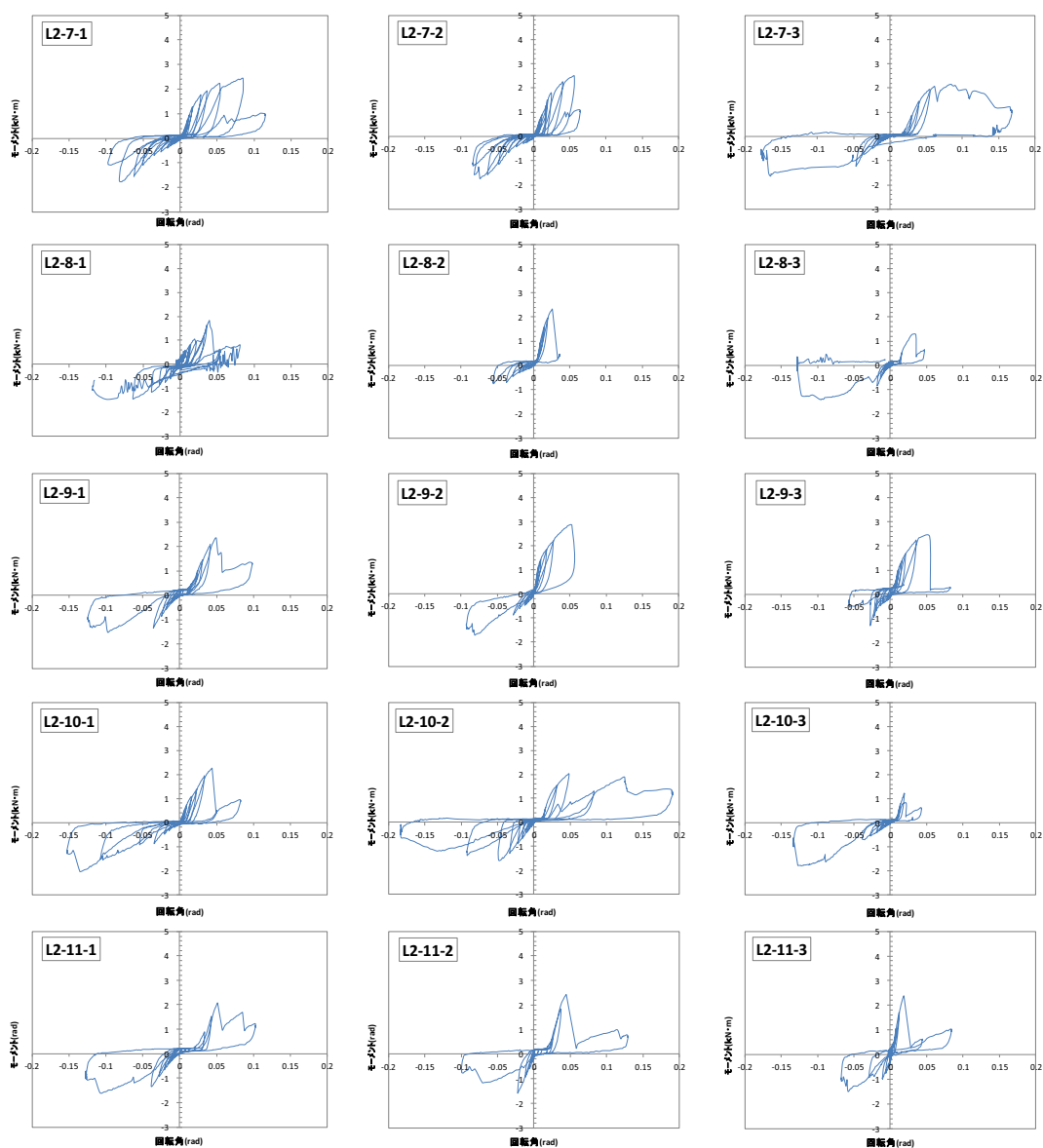


図3.4.2-43 接合モーメントと回転角の関係

③特性値（引き方向加力）

表3.4.2-15に引き方向加力における接合部モーメントー回転角の関係から、完全弾塑性置換して得られた特性値を示す。ただし、完全弾塑性置換が定義できなかった試験体についてはデータを除外した。なお、特性値の算出には荷重変形曲線の特徴点抽出自動化ツールPickPointを用いた。

また、図3.4.2-44に、各試験体グループの特性値（平均値）を比較した結果を示す。全体的にみると、モーメントの特性値はL2-3（梁せい240mm）、L2-4（梁せい300mm）が高く、それ以外のグループは同程度の値を示した。剛性はL2-4（梁せい300mm）が明らかに高い値を示し、L2-7（込栓φ18）の値が最も低かった。変形角の特性値は、最大モーメント時の変形角がL2-3（梁せい240mm）、L2-7（込栓φ18）でやや高い値を示した。塑性率は、L2-6（込栓24角）の値が大きかった。

表3.4.2-15 完全弾塑性モデルに基づく特性値（引き方向加力）

試験体 No.	M_{max} (kN・m)	$\theta - M_{max}$ (rad)	M_y (kN・m)	θ_y (rad)	M_u (kN・m)	$\theta - M_u$ (rad)	K (kN・m/rad)	μ	D_s
L2-1-1	1.88	0.0302	1.11	0.0189	-	-	58.8	-	-
L2-1-2	2.38	0.0366	1.29	0.0131	2.03	0.0205	98.8	1.87	0.604
L2-1-3	2.72	0.0379	2.00	0.0227	2.54	0.0288	88.2	1.39	0.749
AV	2.33	0.0349	1.47	0.0183	2.28	0.0247	81.9	1.63	0.677
SD	0.42	0.0041	0.47	0.0048	0.36	0.0058	20.7	0.34	0.102
CV	0.18	0.12	0.32	0.26	0.16	0.24	0.25	0.21	0.15
L2-2-1	2.44	0.0432	1.44	0.0103	2.11	0.0151	140.1	3.11	0.438
L2-2-2	2.73	0.0359	-	-	-	-	88.5	-	-
L2-2-3	1.14	0.0420	-	-	-	-	-	-	-
AV	2.10	0.0404	1.44	0.0103	2.11	0.0151	114.3	3.11	0.438
SD	0.85	0.0039	-	-	-	-	36.5	-	-
CV	0.40	0.10	-	-	-	-	0.32	-	-
L2-3-1	3.86	0.0934	2.15	0.0167	3.50	0.0271	128.9	3.85	0.386
L2-3-2	3.70	0.0978	1.93	0.0139	3.16	0.0228	138.2	4.75	0.343
L2-3-3	4.44	0.1098	2.96	0.0233	4.09	0.0322	127.0	4.08	0.374
AV	4.00	0.1003	2.35	0.0180	3.58	0.0274	131.4	4.22	0.368
SD	0.39	0.0085	0.54	0.0048	0.47	0.0047	6.0	0.47	0.022
CV	0.10	0.08	0.23	0.27	0.13	0.17	0.05	0.11	0.06
L2-4-1	3.70	0.0165	2.28	0.0068	3.29	0.0098	336.1	2.20	0.543
L2-4-2	4.21	0.0562	2.25	0.0085	3.78	0.0143	263.4	3.94	0.381
L2-4-3	4.07	0.0361	2.65	0.0103	3.67	0.0142	258.4	2.78	0.468
AV	3.99	0.0363	2.39	0.0085	3.58	0.0128	286.0	2.97	0.464
SD	0.26	0.0198	0.22	0.0017	0.25	0.0026	43.5	0.89	0.081
CV	0.07	0.55	0.09	0.20	0.07	0.20	0.15	0.30	0.17
L2-5-1	2.07	0.0430	1.10	0.0125	1.66	0.0189	87.7	2.40	0.514
L2-5-2	2.30	0.0515	1.28	0.0127	1.86	0.0184	100.9	2.91	0.455
L2-5-3	2.17	0.0363	1.29	0.0094	1.85	0.0135	137.6	3.40	0.415
AV	2.18	0.0436	1.22	0.0115	1.79	0.0169	108.8	2.90	0.461
SD	0.11	0.0076	0.11	0.0019	0.12	0.0030	25.8	0.50	0.050
CV	0.05	0.17	0.09	0.16	0.07	0.18	0.24	0.17	0.11
L2-6-1	1.54	0.0889	1.05	0.0064	1.06	0.0064	164.8	14.15	0.191
L2-6-2	2.30	0.0243	1.37	0.0107	2.14	0.0168	127.5	1.47	0.718
L2-6-3	2.44	0.0183	1.16	0.0063	2.09	0.0114	183.6	1.75	0.632
AV	2.09	0.0438	1.19	0.0078	1.76	0.0115	158.6	5.79	0.514
SD	0.48	0.0391	0.16	0.0025	0.61	0.0052	28.6	7.24	0.283
CV	0.23	0.89	0.14	0.32	0.35	0.45	0.18	1.25	0.55
L2-7-1	2.44	0.0825	1.49	0.0201	2.11	0.0286	73.9	2.95	0.452
L2-7-2	2.51	0.0561	1.88	0.0308	2.46	0.0404	60.9	1.42	0.739
L2-7-3	2.16	0.0675	1.26	0.0200	1.94	0.0307	63.0	2.97	0.450
AV	2.37	0.0687	1.54	0.0236	2.17	0.0332	65.9	2.44	0.547
SD	0.19	0.0132	0.31	0.0062	0.27	0.0063	7.0	0.89	0.166
CV	0.08	0.19	0.20	0.26	0.12	0.19	0.11	0.36	0.30
L2-8-1	1.82	0.0464	-	-	-	-	-	-	-
L2-8-2	2.33	0.0217	1.24	0.0070	2.04	0.0116	175.6	2.01	0.576
L2-8-3	1.28	0.0184	0.60	0.0050	1.13	0.0095	119.6	2.49	0.501
AV	1.81	0.0288	0.92	0.0060	1.59	0.0105	147.6	2.25	0.538
SD	0.53	0.0153	0.45	0.0014	0.64	0.0015	39.6	0.34	0.053
CV	0.29	0.53	0.49	0.24	0.41	0.15	0.27	0.15	0.10
L2-9-1	2.35	0.0403	-	-	-	-	-	-	-
L2-9-2	2.84	0.0524	1.43	0.0098	2.42	0.0165	146.8	3.19	0.431
L2-9-3	2.38	0.0503	1.23	0.0095	2.14	0.0166	129.2	3.04	0.443
AV	2.52	0.0477	1.33	0.0097	2.28	0.0165	138.0	3.11	0.437
SD	0.27	0.0065	0.14	0.0002	0.19	0.0001	12.5	0.10	0.008
CV	0.11	0.14	0.11	0.02	0.08	0.01	0.09	0.03	0.02
L2-10-1	2.26	0.0452	1.11	0.0187	2.05	0.0346	59.4	1.34	0.769
L2-10-2	2.03	0.0379	1.14	0.0124	1.76	0.0190	92.2	2.01	0.576
L2-10-3	1.23	0.0119	0.81	0.0072	1.22	0.0108	112.9	1.24	0.820
AV	1.84	0.0317	1.02	0.0128	1.68	0.0215	88.2	1.53	0.722
SD	0.54	0.0175	0.18	0.0058	0.42	0.0121	27.0	0.41	0.129
CV	0.30	0.55	0.18	0.45	0.25	0.56	0.31	0.27	0.18
L2-11-1	2.07	0.0321	0.82	0.0131	1.81	0.0290	62.5	1.19	0.851
L2-11-2	2.42	0.0263	-	-	-	-	-	-	-
L2-11-3	2.38	0.0178	1.91	0.0131	2.36	0.0162	145.7	1.23	0.828
AV	2.29	0.0254	1.37	0.0131	2.09	0.0226	104.1	1.21	0.839
SD	0.19	0.0072	0.77	0.0000	0.39	0.0090	58.8	0.03	0.016
CV	0.08	0.28	0.57	0.00	0.19	0.40	0.57	0.02	0.02

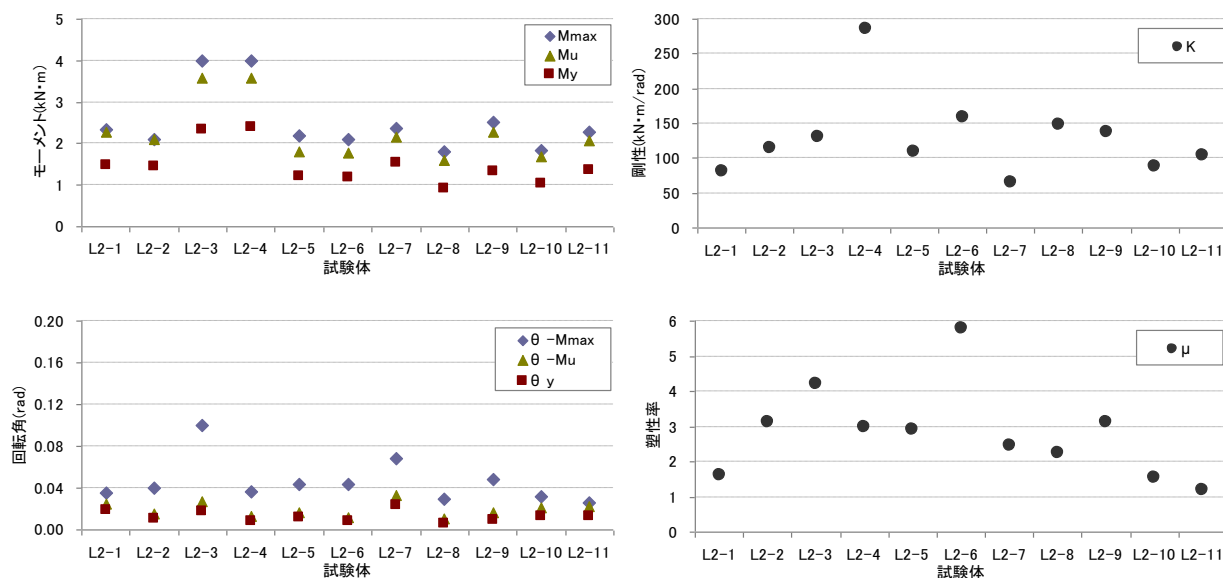


図3.4.2-44 試験体グループごとの特性値の平均値（引き方向加力）

○試験体グループごとの特性値比較（平均値）

・梁幅（雇いほぞ幅）と特性値の関係

図3.4.2-45に梁幅120mm（L2-1、雇いほぞ幅30mm）と150mm（L2-2、雇いほぞ幅36mm）の比較を示す。本試験ではL2-2のデータが1体のみしか得られていないが、梁幅（雇いほぞ幅）が大きい方が剛性、塑性率が高く、モーメント特性値は低い傾向にあった。

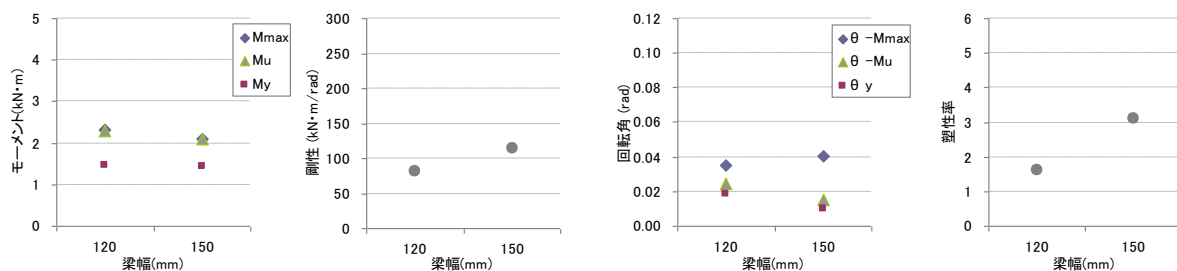


図3.4.2-45 梁幅（雇いほぞ幅）と特性値の関係

・梁せいと特性値の関係

図3.4.2-46に梁せい180mm（L2-1）、240mm（L2-3）及び300mm（L2-4）の比較を示す。モーメント特性値は梁せい180mmが低く、剛性は梁せいが大きいほど明らかに高い値を示した。梁せい240mmの場合には込栓が曲げ破壊したため、変形性能が高かった。

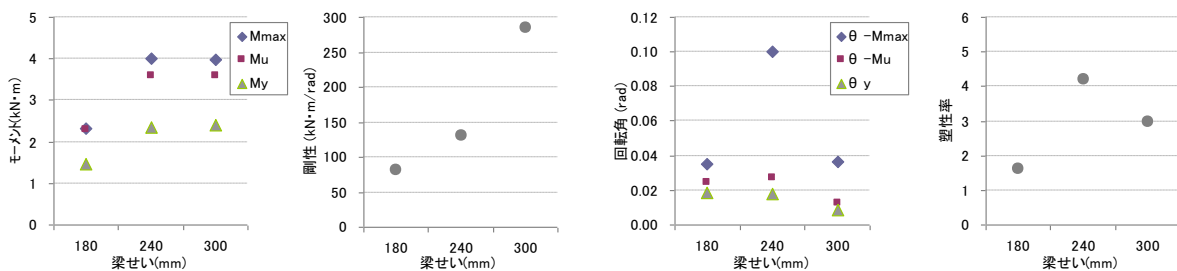


図3.4.2-46 梁せいと特性値の関係

・ 込栓の形状と特性値の関係

図3.4.2-47に込栓15mm角（L2-5）、18mm角（L2-1）、24mm角（L2-6）及びφ18mm（L2-7）の比較を示す。モーメント特性値には明確な傾向は認められなかった。剛性は24mm角が高く、φ18mmが低い値を示した。また、24mm角では変形性能が高い試験体が1体あったため、塑性率が高くなった。

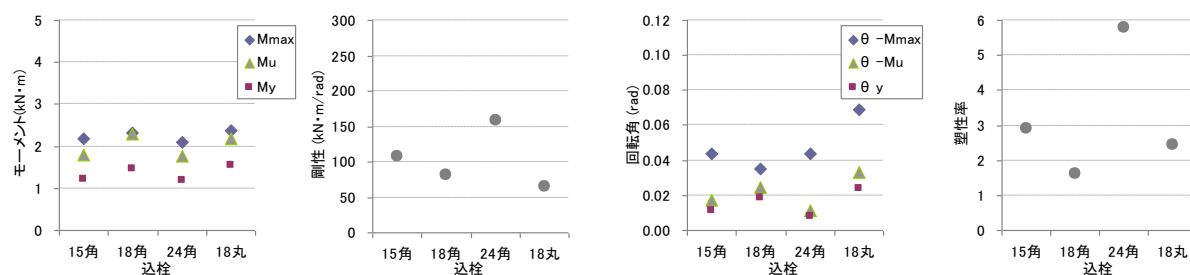


図3.4.2-47 込栓の形状と特性値の関係

・ 雇いほぞの端距離（11）と特性値の関係

図3.4.2-48に雇いほぞの端距離75mm（L2-8）、90mm（L2-1）及び120mm（L2-9）の比較を示す。雇いほぞの端距離が大きいほど最大耐力が大きい傾向を示したが、剛性や塑性率の一定の傾向は認められなかった。

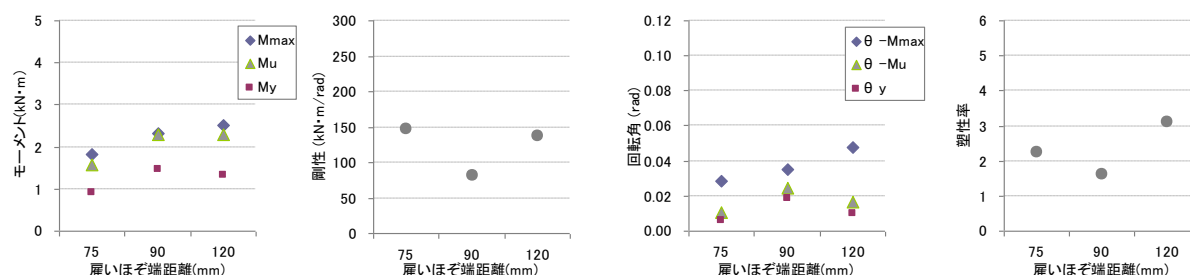


図3.4.2-48 雇いほぞの端距離と特性値の関係

・ 梁の端距離（12）と特性値の関係

図3.4.2-49に梁の端距離75mm（L2-10）、90mm（L2-1）及び120mm（L2-11）の比較を示す。端距離75mmで耐力が低い試験体が1体あったが、その他の特性値との間に明確な傾向は認められなかった。

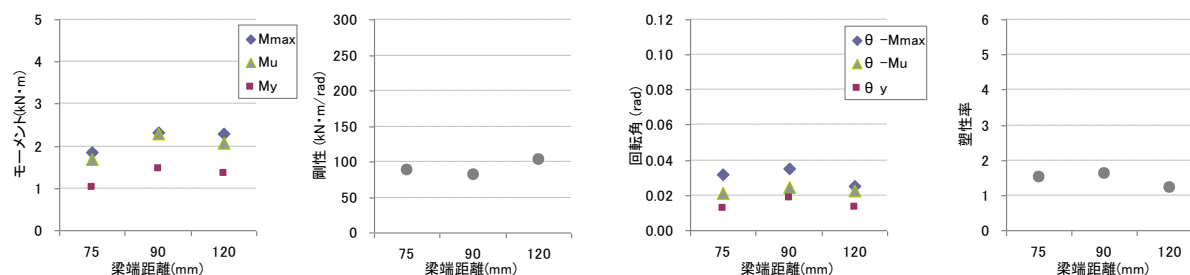


図3.4.2-49 梁の端距離と特性値の関係

④特性値（押し方向加力）

押し方向加力の場合には、モーメントー回転角曲線が下に凸となり完全弾塑性置換が定義できないものが多かったため、表3.4.2-16に最大モーメントのみの結果を示す。

また、図3.4.2-50に、各試験体グループの最大モーメント（平均値）を比較した結果を示す。引き方向加力で雇いほぞがせん断破壊しなかったL2-3試験体のグループで2kN・mを超えているが、全体的に試験体による最大モーメントの違いは少ないように思われる。

表3.4.2-16 最大モーメント一覧（押し方向加力）

試験体 No.	M_{max} (kN・m)	試験体 No.	M_{max} (kN・m)	試験体 No.	M_{max} (kN・m)
L2-1-1	1.45	L2-5-1	1.63	L2-9-1	1.51
L2-1-2	1.79	L2-5-2	1.79	L2-9-2	1.70
L2-1-3	1.86	L2-5-3	1.67	L2-9-3	1.30
AV	1.70	AV	1.69	AV	1.50
SD	0.22	SD	0.08	SD	0.20
CV	0.13	CV	0.05	CV	0.13
L2-2-1	0.98	L2-6-1	1.03	L2-10-1	2.03
L2-2-2	1.42	L2-6-2	1.74	L2-10-2	1.58
L2-2-3	1.75	L2-6-3	1.54	L2-10-3	1.79
AV	1.38	AV	1.44	AV	1.80
SD	0.39	SD	0.36	SD	0.23
CV	0.28	CV	0.25	CV	0.13
L2-3-1	2.12	L2-7-1	1.77	L2-11-1	1.60
L2-3-2	2.19	L2-7-2	1.74	L2-11-2	1.60
L2-3-3	2.19	L2-7-3	1.63	L2-11-3	1.49
AV	2.17	AV	1.71	AV	1.56
SD	0.04	SD	0.07	SD	0.06
CV	0.02	CV	0.04	CV	0.04
L2-4-1	1.44	L2-8-1	1.45		
L2-4-2	1.86	L2-8-2	0.75		
L2-4-3	1.58	L2-8-3	1.42		
AV	1.62	AV	1.21		
SD	0.21	SD	0.40		
CV	0.13	CV	0.33		

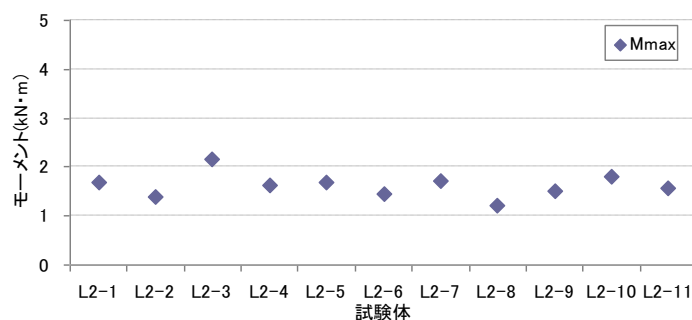


図3.4.2-50 試験体グループごとの最大モーメントの平均値（押し方向加力）

④まとめ

雇いほぞー込み栓接合部の曲げ試験を行った結果、雇いほぞが引張りを受ける条件（引き方向加力）において、雇いほぞのせん断破壊により耐力が決定されたケースが大部分を占めた。これは、込み栓の曲げ破壊が支配的であったK2の引張り試験とは対照的な結果であった。また、梁せいが大きいほどモーメント特性値は増加し、雇いほぞの端距離が大きいほど最大モーメントが増加する傾向にあった。

3) M試験体（込み栓せん断試験）

(a) 試験体の概要

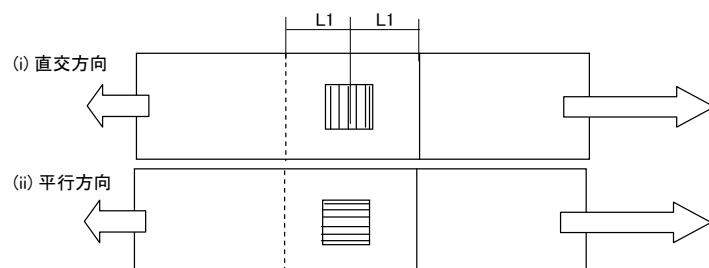
ホゾと込み栓により構成される伝統的な接合部について、その主な耐力発現機構である込み栓のせん断性能を検討するため、ホゾと込み栓のみで構成した部分的な試験体について引張試験を行った。試験体の材料は主要部材をスギとし、込み栓をシラカシとした。試験体の条件として、①一面せん断もしくは二面せん断、②込み栓の形状と寸法、③込み栓穴からホゾ端部までの距離（L1）、④加力方向に対する栓の年輪方向（平行方向もしくは直交方向）を設定した。試験体条件の詳細は表3.4.2-17に示す。また、補足資料（1）および（2）に③込み栓穴からホゾ端部までの距離と④加力方向に対する栓の年輪方向の条件についての概要を示す。試験体の概要図は、表3.4.2-17に示す試験体寸法条件ごとに図3.4.2-51に示す。なお栓の年輪方向について特記のない試験体については、できる限り加力方向に対して平行方向となるようにした。

表3.4.2-17 込み栓せん断試験体のパラメーター一覧

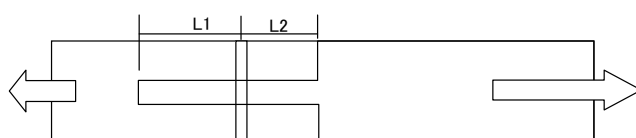
試験体名	継ぎ手の形状	材料寸法 (mm)	栓の径 (mm)	栓の形状	栓の年輪 方向(加 力方向に	端距離		試験体図 参照
						L1	L2	
M1-1-01~03	1面せん断	120x120	15	丸		75		(イ)
M1-2-01~03				角		75		
M1-3-01~03			24	丸	直交	75		
M1-4-01~03				丸	平行	75		
M1-5-01~03				角	直交	75		
M1-6-01~03				角	平行	75		
M2-1-01~03	2面せん断	120x120	15	角		90	90	(ロ-1)
M2-2-01~03			18	丸	直交	90	90	
M2-3-01~03				丸	平行	90	90	
M2-4-01~03				角	直交	90	90	
M2-5-01~03				角	平行	75	90	(ロ-2)
M2-6-01~03				角	直交	45	75	(ロ-3)
M2-8-01~03				角	平行	60	120	(ロ-4)
M2-9-01~03				角	直交	90	90	(ロ-1)
M2-10-01~03			24	角		90	90	(ロ-1)
M2-11-01~03		150x120	18	角		90	90	(ハ)

補足資料：

(1) 栓の年輪方向（加力方向に対して）および一面せん断の端距離L1



(2) 2面せん断端距離L1およびL2



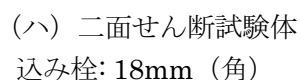
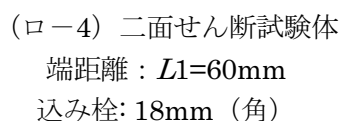
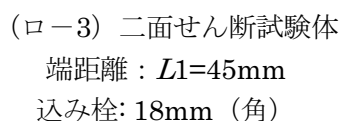
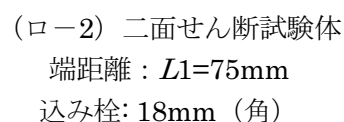
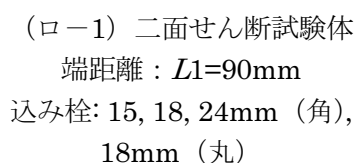
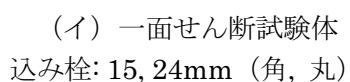


図3.4.2-51 込み栓せん断試験体の詳細

(注) 各試験体のパラメータの詳細は表3.4.2-8を参照

(b) 試験方法

引張試験は、最大容量100kNの縦型万能試験機を用いて単調載荷により実施した。図3.4.2-52に (a) 一面せん断試験体と (b) 二面せん断試験体の試験方法の概要図を示す。込み栓とホゾの間の引張変位量は主材間の相対変位とし、試験体に取り付けた2つの変位計(CDP-50M)の平均値とした。また、引張荷重は試験機上部に取り付けたロードセルにより測定した。引張加力は最大荷重に達した後、荷重が最大荷重の80%以下に低下するまで行った。試験体数は各条件3体とした。

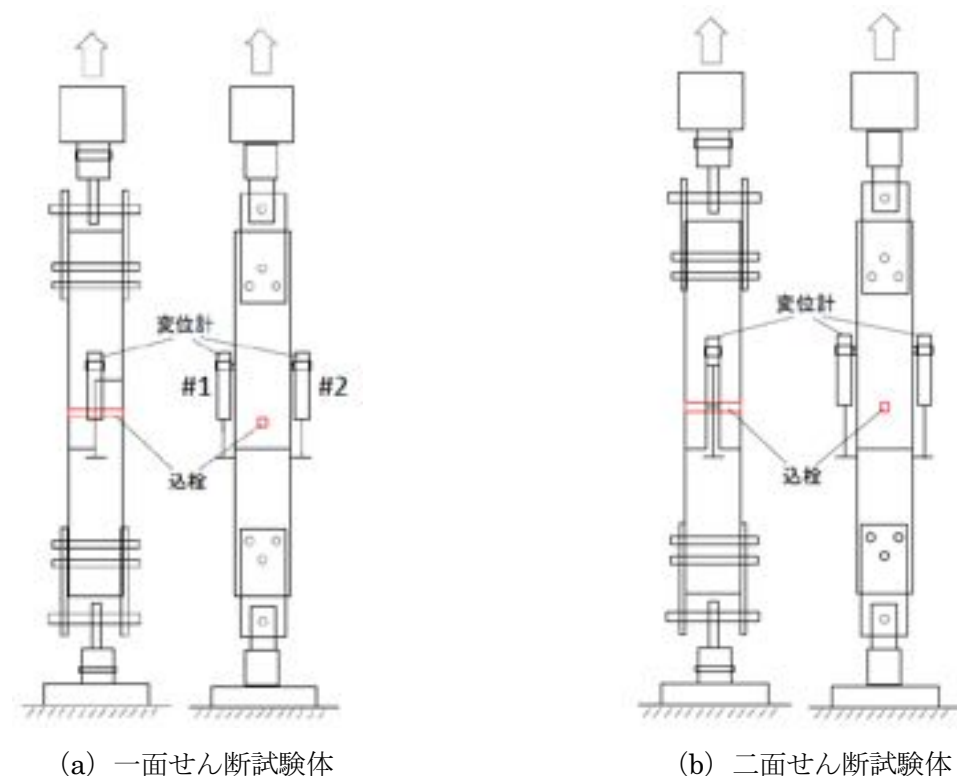


図3.4.2-52 引張試験方法

(c) 試験結果

①破壊状況

本実験条件では、破壊性状として①込み栓の曲げ破壊、②ホゾ（二面せん断試験体）もしくは主材（一面せん断試験体）の破壊が認められた。また直接的な接合部の破壊の原因には至らなかったが、込み栓による主材の込み栓穴のめり込み変形が見られるものもあった。表3.4.2-18に、試験体ごとの破壊性状、込み栓の密度、そして加力方向に対する年輪傾斜の角度詳細な角度を示す。また主な破壊性状の写真を、一面せん断試験体については写真3.4.2-24に、二面せん断試験体については写真3.4.2-25に示す。

一面せん断試験体では、15mmの丸栓（M1-1）と角栓（M1-2）ともに込み栓の曲げ破壊に至った。24mmの丸栓および角栓の試験体において、加力方向に対する込み栓の年輪方向が直交方向のM1-2およびM1-4試験体では、込み栓に曲げ変形が生じる前に全ての試験体において主材の割裂もしくはせん断により破壊に至った。しかし、加力方向に対する込み栓の年輪方向が平行方向のM1-3およびM1-5試験体では、終局的な破壊が主材の破壊であったとしても、全ての試験体で込み栓に曲げ変形が見られた。

二面せん断の試験体では、込み栓の寸法が異なるM2-1（15mm角栓）、M2-5（18mm角栓）、M2-10（24mm角栓）試験体では、M2-1とM2-5試験体が込み栓の曲げ破壊であったのに対し、M2-10試験体ではホゾのせん断で破壊に至った。込み栓穴からホゾ端部までの距離（L1）の影響は、18mm角栓でL1が45mm（M2-8）、60mm（M2-9）、75mm（M2-6）の試験体ではホゾの破壊（ホゾ穴からのせん断破壊、もしくはホゾ穴から端部への割裂破壊）を生じが、端距離L1が90mmのM2-5試験体では込み栓の曲げ破壊を生じた。しかしながら、L1が90mmであるが加力方向に対して込み栓の年輪方向が直交方向のM2-4試験体ではホゾのせん断破壊を生じた。

表3. 4. 2-18 試験体ごとの破壊性状と込栓の密度および年輪傾斜角の一覧

試験体名	破壊性状	込み栓		試験体名	破壊性状	込み栓	
		密度 (g/cm ³)	加力方向と 年輪の角度			密度 (g/cm ³)	加力方向と 年輪の角度
M1-1-01	込栓の曲げ破壊	0.81	78	M2-1-01	込栓の曲げ破壊	0.81	75
M1-1-02	込栓の曲げ破壊	0.88	70	M2-1-02	込栓の曲げ破壊	0.85	80
M1-1-03	込栓の曲げ破壊	0.83	74	M2-1-03	込栓の曲げ破壊	0.80	74
M1-2-01	込栓の曲げ破壊	0.84	26	M2-2-01	込栓の曲げ破壊	0.89	76
M1-2-02	込栓の曲げ破壊	0.81	52	M2-2-02	ほぞのせん断破壊	0.89	88
M1-2-03	込栓の曲げ破壊	0.90	74	M2-2-03	ほぞのせん断破壊	0.75	86
M1-3-01	材の割裂破壊	0.88	83	M2-3-01	込栓の曲げ破壊	0.82	5
M1-3-02	材の割裂破壊	1.00	74	M2-3-02	込栓の曲げ破壊	0.83	10
M1-3-03	材の割裂破壊	0.96	65	M2-3-03	込栓の曲げ破壊	0.80	16
M1-4-01	込栓の曲げ破壊	0.93	16	M2-4-01	ほぞのせん断破壊	0.97	84
M1-4-02	込栓の曲げ破壊	0.96	0	M2-4-02	ほぞのせん断破壊	0.85	90
M1-4-03	材のせん断破壊	1.00	12	M2-4-03	ほぞのせん断破壊	0.77	78
M1-5-01	材のせん断破壊	0.84	87	M2-5-01	込栓の曲げ破壊	0.88	0
M1-5-02	材のせん断破壊	0.86	78	M2-5-02	込栓の曲げ破壊	0.84	18
M1-5-03	材のせん断破壊	0.96	80	M2-5-03	込栓の曲げ破壊	0.84	8
M1-6-01	材のせん断破壊	0.91	8	M2-6-01	ほぞのせん断破壊	0.85	82
M1-6-02	材のせん断破壊	0.94	8	M2-6-02	ほぞの割裂破壊	0.85	8
M1-6-03	材のせん断破壊	0.97	0	M2-6-03	ほぞのせん断破壊	0.84	82
				M2-8-01	ほぞのせん断破壊	0.86	0
				M2-8-02	ほぞの割裂破壊	0.86	0
				M2-8-03	ほぞのせん断破壊	0.85	0
				M2-9-01	ほぞのせん断破壊	0.89	0
				M2-9-02	ほぞのせん断破壊	0.84	10
				M2-9-03	ほぞのせん断破壊	0.91	0
				M2-10-01	ほぞのせん断破壊	0.95	76
				M2-10-02	ほぞのせん断破壊	0.94	84
				M2-10-03	ほぞのせん断破壊	0.89	78
				M2-11-01	ほぞのせん断破壊	0.92	70
				M2-11-02	込栓の曲げ破壊	0.81	90
				M2-11-03	ほぞのせん断破壊	0.87	88



(a) 込み栓の曲げ破壊 (試験体: M1-1-01)



(b) 込み栓の曲げ破壊 (M1-1-01)



(c) 込み栓穴のめり込み変形 (M1-1-02)



(d) 主材の割裂破壊 (M1-3-01)

写真3. 4. 2-24 一面せん断試験体の破壊性状



(a) 込み栓が曲げによる試験体の破壊
試験体：M2-3-01



(b) 込み栓の曲げ破壊
試験体：M2-3-01



(c) ホゾのせん断による試験体の破壊
試験体：M2-10-02



(d) ホゾのせん断破壊①
試験体：M2-10-01



(e) ホゾのせん断破壊②
試験体：M2-8-01, L1=45mm



(f) ホゾのせん断破壊③
試験体：M2-4-01, L1=90mm



ホゾのせん断破壊



ホゾ穴のめり込み変形



込み栓の微小な曲げ変形
(g) 込み栓の年輪方向と破壊性状①
試験体：M2-4-02, 18mm角栓,
加力方向に対する込み栓の年輪が平行方向



込み栓の曲げ破壊
(h) 込み栓の年輪方向と破壊性状②
試験体：M2-5-03, 18mm角栓,
加力方向に対する込み栓の年輪が直交方向

写真3. 4. 2-25 二面せん断試験体の破壊性状

②P- δ 関係

試験体ごとの荷重と変形量の関係を図3.4.2-53と図3.4.2-54に示す。

図3.4.2-53に示す一面せん断試験体の結果より、丸栓と角栓による違いとして、込み栓が曲げ破壊を起こした試験体（M1-1およびM1-2）では、最大荷重は角栓（M1-2）の方が平均で14%程度高い値を示した。主材がせん断もしくは割裂破壊を起こした試験体については、丸栓と角栓に明確な差は見受けられなかった。込み栓の加力方向に対する年輪方向の影響は、平行方向試験体（M1-4とM1-6）が直交方向試験体（M1-3とM1-5）より変形量が増す傾向が見られた。

図3.4.2-54に示す二面せん断試験体の結果より、込み栓の寸法が異なるM2-1（15mm角栓）、M2-5（18mm角栓）、M2-10（24mm角栓）試験体では、M2-10試験体の最大荷重が最も高かったが、他よりも変形性能が乏しくなった。これは、M2-1およびM2-5試験体が込み栓の曲げ破壊であったのに対して、M2-10試験体では脆性的なホゾのせん断破壊が生じたためである。角栓と丸栓による違いは、丸栓試験体（M2-3）が角栓試験体（M2-5）より最大荷重が低いことが分かる。これは両試験体とも込み栓の曲げ破壊により最大荷重が決まったため、曲げ性能の優れた角栓が高い値であったと考えられる。込み栓穴からホゾ端距離（L1）の影響は、L1が最も長いM2-5試験体（L1=90mm）からM2-6試験体（L1=75mm）、M2-9試験体（L1=60mm）、M2-8試験体（L1=45mm）と短くなるに従い、最大荷重が低下することが分かる。また、M2-5試験体は込み栓の曲げ破壊であったため靱性のある変形を示したが、他の試験体はホゾのせん断もしくは割裂破壊であったため脆性的な破壊を示した。込み栓の加力方向に対する年輪方向の影響は、直交方向の試験体（M2-2、M2-4）ではホゾのせん断破壊がほとんどあったのに対し、平行方向の試験体（M2-3、M2-5）は全て込み栓の曲げ破壊であったため比較的靱性のある変形性能を示した。

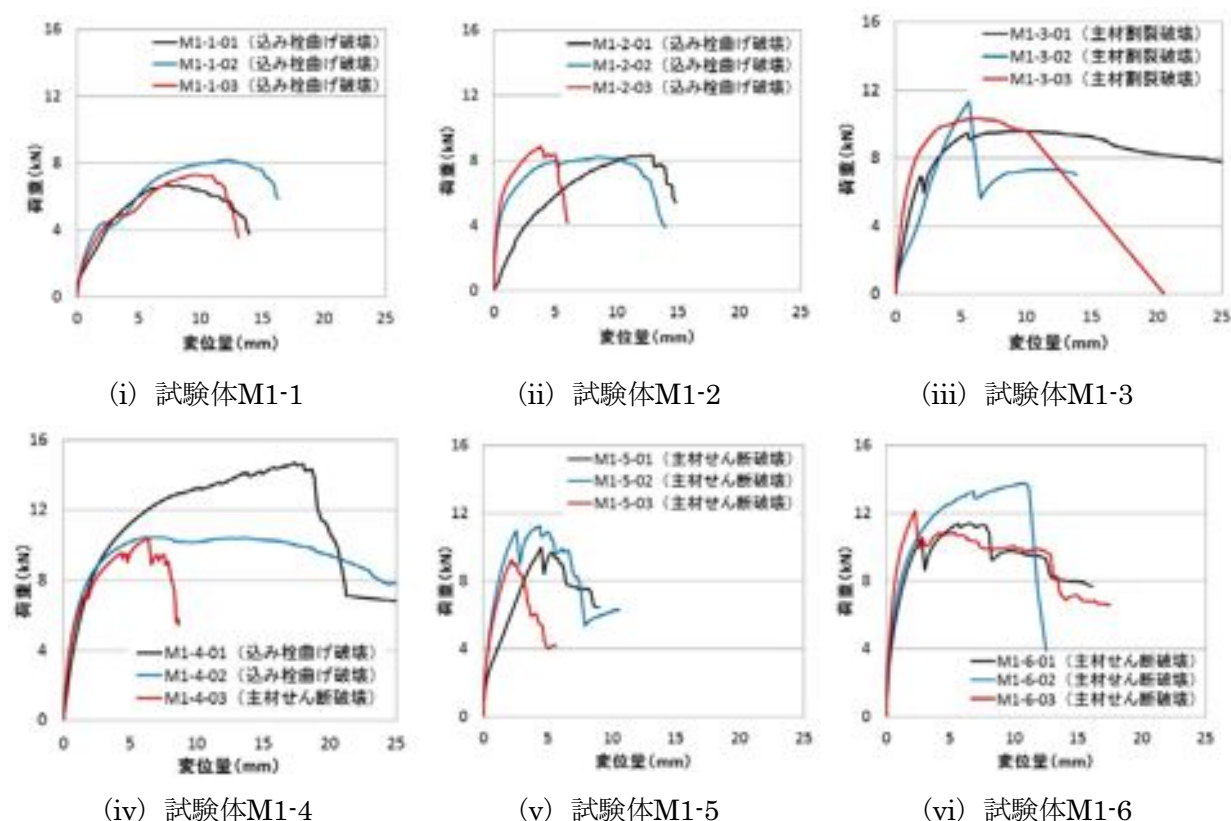
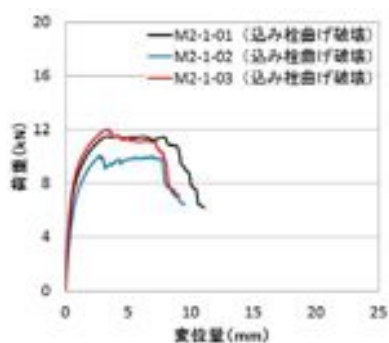
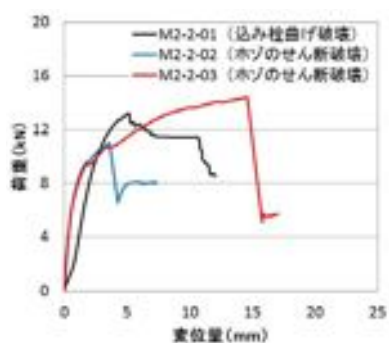


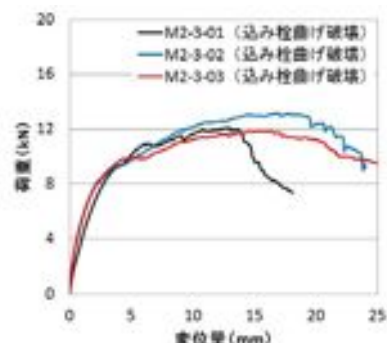
図3.4.2-53 一面せん断試験体の荷重と変位量の関係



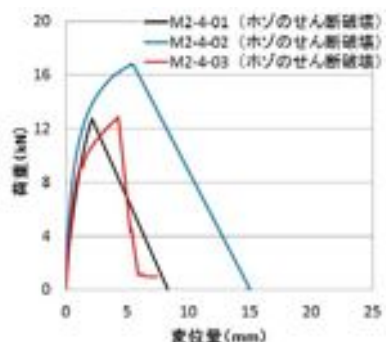
(i) 試験体M2-1



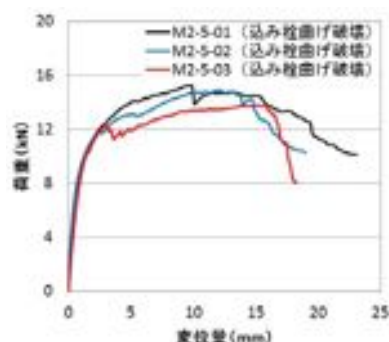
(ii) 試験体M2-2



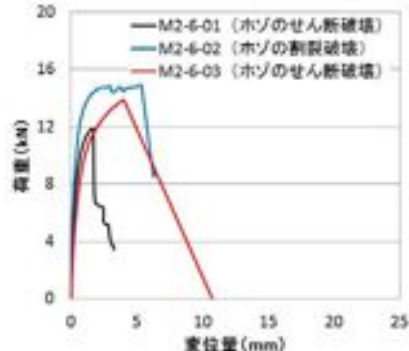
(iii) 試験体M2-3



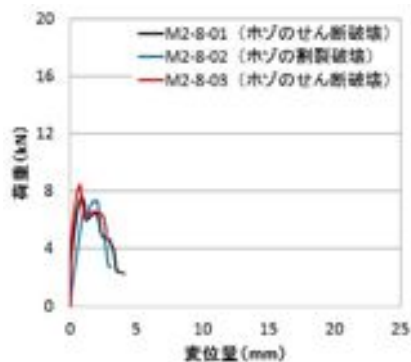
(iv) 試験体M2-4



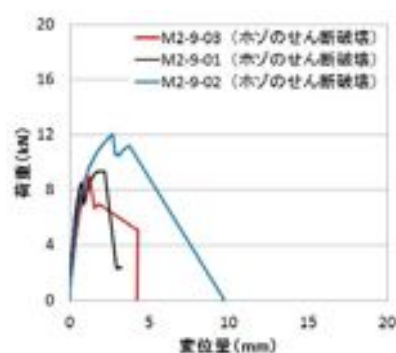
(v) 試験体M2-5



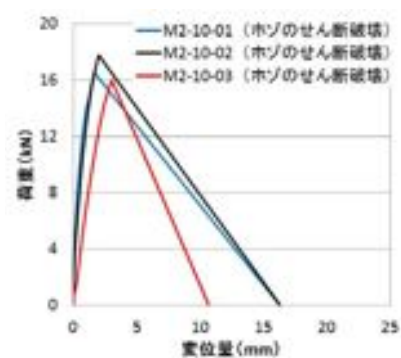
(vi) 試験体M2-6



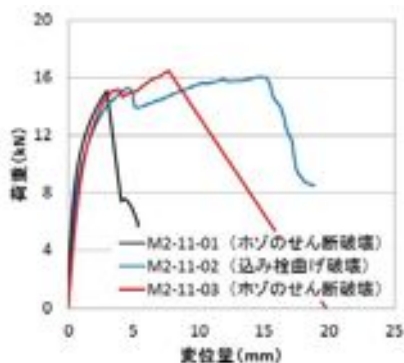
(vii) 試験体M2-8



(viii) 試験体M2-9



(ix) 試験体M2-10



(x) 試験体M2-11

図3.4.2-54 二面せん断試験体の荷重と変位量の関係

③特性値

完全弾塑性解析による解析結果を、一面せん断試験体は表3.4.2-19に、二面せん断試験体は表3.4.2-20に示す。

一面せん断試験体では、込み栓の寸法が15mm（丸栓M1-1、角栓M1-2）から24mm（丸栓M1-4、角栓M1-6）になると、最大荷重 P_{max} 、降伏荷重 P_y また初期剛性 K が増加する傾向が見られた。丸栓と角栓試験体では、角栓の初期剛性 K が大きい傾向を示した。 P_{max} 、 P_y は、込み栓の曲げで破壊に至った丸栓（M1-1）と角栓（M1-2）の試験体では角栓で高い傾向を示したが、主材で破壊に至った試験体では明確な差が認められなかった。加力方向に対する込み栓の年輪方向の影響は、平行方向の試験体（M1-4とM1-6）が直交方向の試験体（M1-3とM1-5）より P_{max} 、 K 、塑性率 μ 、そして最大荷重時の変形量 $\delta_{P_{max}}$ の全てで高い傾向を示した。これは、平行方向試験体の込み栓は曲げ変形することで、主材の変形に追従して割裂破壊の発生を遅らせたことが要因であると考えられる。二面せん断試験体では、込み栓の寸法が15mm（M2-1）、18mm（M2-5）、24mm（M2-10）と大きくなると P_{max} は増加したが、 P_y と塑性率 μ は18mm込み栓より24mm込み栓試験体が低い結果となった。角栓と丸栓による違いは、丸栓試験体（M2-3）が角栓試験体（M2-5）より P_{max} 、初期剛性 K ともに低い結果となった。込み栓穴からホゾ端距離（L1）の影響は、L1=90mm（M2-5）からL1=75mm（M2-6）、L1=60mm（M2-9）、L1=45mm（M2-8）と短くなるに従い、 P_{max} 、 P_y 、 $\delta_{P_{max}}$ が減少した。込み栓の加力方向に対する年輪方向影響は、平行方向の試験体（M2-3、M2-5）で直交方向の試験体（M2-2、M2-4）より塑性率 μ が増加した。

表3.4.2-19 一面せん断試験体の特性値

試験体名		P_y	δ_y	P_{max}	$\delta_{P_{max}}$	$2/3P_{max}$	P_u	δ_u	K	μ
		kN	mm	kN	mm	kN	kN	mm	kN/mm	
M1-1	-01	4.04	2.31	6.69	7.26	4.46	6.28	3.76	1.67	3.35
	-02	3.93	1.30	8.19	12.2	5.46	7.10	2.70	2.63	5.93
	-03	3.81	1.56	7.31	9.75	4.87	6.43	3.15	2.04	3.85
	Ave.	3.93	1.72	7.40	9.73	4.93	6.60	3.20	2.11	4.37
	S.D.	0.11	0.52	0.75	2.46	0.50	0.44	0.53	0.49	1.37
	CV	0.03	0.30	0.10	0.25	0.10	0.07	0.17	0.23	0.31
M1-2	-01	3.93	0.93	8.33	11.9	5.55	7.13	2.19	3.25	6.04
	-02	4.61	0.38	8.23	8.62	5.49	7.61	0.94	8.13	13.6
	-03	5.12	0.30	8.84	3.82	5.89	8.00	0.72	11.0	7.19
	Ave.	4.55	0.54	8.47	8.12	5.64	7.58	1.29	7.47	8.95
	S.D.	0.60	0.34	0.32	4.08	0.22	0.44	0.79	3.94	4.10
	CV	0.13	0.63	0.04	0.50	0.04	0.06	0.62	0.53	0.46
M1-3	-01	6.03	1.31	9.60	9.88	6.40	8.73	2.18	4.01	12.3
	-02	-	-	11.3	5.63	7.55	11.1	4.63	2.40	1.22
	-03	6.03	0.68	10.3	6.35	6.89	9.79	1.35	7.27	7.56
	Ave.	6.03	0.99	10.4	7.29	6.95	9.87	2.72	4.56	7.04
	S.D.	3.48	0.65	0.86	2.28	0.58	1.18	1.71	2.48	5.58
	CV	0.58	0.66	0.08	0.31	0.08	0.12	0.63	0.54	0.79
M1-4	-01	8.67	1.92	14.7	17.4	9.78	13.3	3.78	3.51	5.08
	-02	5.96	0.72	10.5	6.19	6.98	9.90	1.55	6.40	14.9
	-03	5.88	0.76	10.4	6.39	6.92	9.14	1.57	5.82	5.10
	Ave.	6.84	1.13	11.8	9.99	7.89	10.8	2.30	5.24	8.37
	S.D.	1.59	0.68	2.45	6.41	1.64	2.19	1.28	1.53	5.68
	CV	0.23	0.60	0.21	0.64	0.21	0.20	0.56	0.29	0.68
M1-5	-01	4.41	1.24	9.96	4.50	6.64	8.87	2.66	3.34	2.41
	-02	5.75	0.53	11.2	4.38	7.49	10.1	1.11	9.12	6.10
	-03	4.50	0.40	9.21	2.16	6.14	8.14	0.83	9.75	3.98
	Ave.	4.89	0.72	10.14	3.68	6.76	9.05	1.54	7.40	4.16
	S.D.	0.75	0.45	1.03	1.32	0.68	1.01	0.98	3.54	1.85
	CV	0.15	0.63	0.10	0.36	0.10	0.11	0.64	0.48	0.44
M1-6	-01	5.98	0.65	11.4	6.60	7.60	10.2	1.33	7.62	9.38
	-02	7.75	0.73	13.8	10.7	9.17	12.7	1.68	7.55	6.71
	-03	6.72	0.39	12.1	2.24	8.08	10.3	0.74	13.9	16.9
	Ave.	6.82	0.59	12.4	6.51	8.28	11.1	1.25	9.70	11.0
	S.D.	0.89	0.17	1.21	4.23	0.81	1.39	0.47	3.67	5.27
	CV	0.13	0.30	0.10	0.65	0.10	0.13	0.38	0.38	0.48

表3. 4. 2-20 一面せん断試験体の特性値

試験体名		P_y	δy	P_{max}	$\delta_{P_{max}}$	$2/3P_{max}$	P_u	δu	K	μ
		kN	mm	kN	mm	kN	kN	mm	kN/mm	
M2-1	-01	6.89	0.43	11.6	4.14	7.71	11.0	0.84	13.1	11.2
	-02	5.83	0.51	10.1	2.76	6.73	9.67	0.99	9.81	8.02
	-03	7.05	0.38	12.0	3.42	8.02	11.1	0.76	14.5	10.5
	Ave.	6.59	0.44	11.2	3.44	7.49	10.6	0.86	12.5	9.90
	S.D.	0.67	0.07	1.02	0.69	0.68	0.79	0.11	2.42	1.67
	CV	0.10	0.15	0.09	0.20	0.09	0.07	0.13	0.19	0.17
M2-2	-01	8.77	2.16	13.2	5.14	8.82	11.7	2.90	4.05	3.73
	-02	6.64	0.54	11.0	3.59	7.35	9.95	1.00	9.95	3.58
	-03	8.44	0.79	14.4	14.6	9.61	12.73	1.88	6.79	7.78
	Ave.	7.95	1.16	12.9	7.77	8.59	11.5	1.92	6.93	5.03
	S.D.	1.15	0.87	1.72	5.95	1.15	1.41	0.95	2.95	2.38
	CV	0.14	0.75	0.13	0.77	0.13	0.12	0.49	0.43	0.47
M2-3	-01	7.04	1.92	12.1	12.9	8.08	11.1	3.45	3.22	4.35
	-02	7.47	1.38	13.2	16.8	8.77	11.9	2.89	4.11	7.99
	-03	7.61	1.40	11.9	16.4	7.93	10.9	2.78	3.91	9.03
	Ave.	7.37	1.56	12.4	15.4	8.26	11.3	3.04	3.75	7.12
	S.D.	0.29	0.31	0.67	2.13	0.45	0.52	0.36	0.47	2.46
	CV	0.04	0.20	0.05	0.14	0.05	0.05	0.12	0.12	0.35
M2-4	-01	6.40	0.63	12.7	2.12	8.49	11.1	1.18	9.44	1.79
	-02	9.52	0.54	16.8	5.41	11.20	15.2	1.18	12.9	4.66
	-03	7.84	0.63	12.9	4.27	8.59	11.4	1.16	9.80	3.68
	Ave.	7.92	0.60	14.1	3.93	9.43	12.6	1.17	10.7	3.38
	S.D.	1.56	0.05	2.31	1.67	1.54	2.27	0.01	1.87	1.46
	CV	0.20	0.09	0.16	0.43	0.16	0.18	0.01	0.18	0.43
M2-5	-01	8.79	0.57	15.2	9.81	10.2	13.9	1.37	10.2	14.2
	-02	9.79	0.69	14.9	12.2	9.96	13.7	1.62	8.49	10.1
	-03	10.0	0.98	13.8	15.8	9.20	12.9	1.79	7.24	9.58
	Ave.	9.54	0.75	14.7	12.6	9.78	13.5	1.59	8.64	11.3
	S.D.	0.66	0.21	0.76	3.04	0.51	0.51	0.21	1.47	2.54
	CV	0.07	0.28	0.05	0.24	0.05	0.04	0.13	0.17	0.23
M2-6	-01	6.55	0.23	11.9	1.72	7.91	11.0	0.48	23.1	3.81
	-02	8.33	0.18	14.9	5.36	9.94	14.3	0.45	31.9	11.9
	-03	8.25	0.55	13.9	4.02	9.26	12.5	1.04	12.1	3.87
	Ave.	7.71	0.32	13.6	3.70	9.04	12.6	0.65	22.4	6.54
	S.D.	1.00	0.20	1.55	1.84	1.04	1.66	0.33	9.95	4.68
	CV	0.13	0.64	0.11	0.50	0.11	0.13	0.51	0.45	0.72
M2-8	-01	3.46	0.06	7.7	0.87	5.11	6.46	0.17	37.9	11.9
	-02	3.84	0.50	7.4	1.80	4.91	6.87	0.93	7.42	2.22
	-03	4.29	0.04	8.5	0.76	5.64	7.20	0.11	65.0	6.82
	Ave.	3.86	0.20	7.83	1.14	5.22	6.84	0.40	36.8	6.99
	S.D.	0.42	0.26	0.57	0.57	0.38	0.37	0.45	28.8	4.85
	CV	0.11	1.28	0.07	0.50	0.07	0.05	1.13	0.78	0.69
M2-9	-01	4.80	0.20	9.3	1.72	6.22	8.48	0.40	21.0	5.42
	-02	6.78	0.47	12.1	2.70	8.04	11.1	0.93	12.0	10.7
	-03	5.00	0.41	9.0	1.21	6.01	8.07	0.69	11.7	1.75
	Ave.	5.53	0.36	10.1	1.88	6.76	9.22	0.67	14.9	5.96
	S.D.	1.09	0.14	1.68	0.75	1.12	1.64	0.26	5.31	4.50
	CV	0.20	0.39	0.17	0.40	0.17	0.18	0.39	0.36	0.75
M2-10	-01	9.29	0.56	17.8	2.04	11.9	15.9	1.03	15.4	2.00
	-02	8.83	0.33	16.5	1.66	11.0	16.0	0.73	22.0	22.5
	-03	8.29	1.19	16.0	3.04	10.7	14.2	2.12	6.71	1.43
	Ave.	8.80	0.69	16.8	2.24	11.2	15.4	1.29	14.7	8.65
	S.D.	0.50	0.45	0.93	0.71	0.62	0.98	0.73	7.64	12.0
	CV	0.06	0.65	0.06	0.32	0.06	0.06	0.57	0.52	1.39
M2-11	-01	8.26	0.34	15.1	2.95	10.1	13.2	0.73	18.0	4.04
	-02	9.00	0.62	16.1	14.7	10.7	14.9	1.33	11.1	12.4
	-03	9.50	0.90	16.5	7.70	11.0	15.0	1.65	9.07	4.66
	Ave.	8.92	0.62	15.9	8.45	10.6	14.3	1.24	12.7	7.03
	S.D.	0.63	0.28	0.72	5.91	0.48	1.02	0.47	4.70	4.66
	CV	0.07	0.45	0.05	0.70	0.05	0.07	0.38	0.37	0.66

④ 込み栓せん断接合部の評価

込み栓の一面せん断試験および二面せん断試験について、木質構造接合部設計マニュアル¹⁾における木ダボ接合のせん断性能を参考に評価を試みた。

以下の評価式より導いた実験条件ごとの評価値と実験値および降伏の決定要素を表3.4.2-12に示す。一面せん断に関しては全ての試験体条件で解析結果は込み栓による破壊であったのに対して、実験結果は主材の割裂およびせん断破壊がいくつか見られた。二面せん断においては、実験ではホゾのせん断で破壊した試験体条件のいくつかで、解析では込み栓の曲げ降伏が決定要素となった。

一面せん断

木質構造接合部設計マニュアルの一面せん断に関する評価式を参考に、以下の式より降伏モードとPyの算出を試みた。

$$Py = \min. \begin{cases} 1) 2L_1 b F_s \\ 2) db F_{Ecp} (\sqrt{2} - 1) \\ 3) db F_{Ecp} \left(\sqrt{\frac{4My}{3db^2 F_{Ecp}} + \frac{4}{9} - \frac{1}{3}} \right) \\ 4) \sqrt{2d F_{Ecp} My} \\ 5) \frac{A F_{sd}}{k} \end{cases}$$

$$F_{Ecp} = \min. \{F_E, \alpha_F F_{cvf}\}$$

$$My = Z \times F_b$$

ここで、 L_1 ：ホゾ穴からホゾ端部までの長さ、 b ：ホゾの幅、 $F_s=2.77\text{N/mm}^2$ ：ブロックせん断実験より得られた値（ 9.22N/mm^2 ）にばらつき係数、欠点による低減係数（1/2）、安全率（2/3）を乗じた値、 d ：込み栓の幅もしくは直径、 F_E ：主材の面圧降伏応力、 F_{cvf} ：込み栓のめり込み降伏応力、 My ：込み栓の曲げ降伏についての断面係数、 Z ：弾性断面係数、 F_b ：込み栓の曲げ強さ、 A ：込み栓の断面積、 F_{sd} ：込み栓だのせん断強さ、 k ：せん断補正係数（矩形断面3/2、円形断面4/3）

二面せん断

木質構造接合部設計マニュアルの二面せん断に関する評価式を参考に、以下の式より降伏モードとPyの算出を試みた。

$$Py = \min. \begin{cases} 1) 2L_1 b F_s \\ 2) db F_{Ecp} \\ 3) db F_{Ecp} \left(4 \sqrt{\frac{My}{3db^2 F_{Ecp}} + \frac{\alpha^2}{9} - \frac{2\alpha}{3}} \right) \\ 4) \sqrt{8d F_{Ecp} My} \\ 5) \frac{2A F_{sd}}{k} \end{cases}$$

ここで、 α ： b_2/b 、 b_2 ：側材の幅

表3. 4. 2-21 込み栓せん断実験結果と解析結果

試験体名	実験結果		解析結果	
	P_y (kN)	破壊性状 (3体中の破壊性状の発生率)	P_y (kN)	降伏モード
M1-1	3.93	込栓の曲げ破壊	3.64	込栓の繊維方向のクラックによるせん断降伏
M1-2	4.55	込栓の曲げ破壊	4.13	込栓の繊維方向のクラックによるせん断降伏
M1-3	6.03	材の割裂破壊	9.33	込栓の繊維方向のクラックによるせん断降伏
M1-4	6.84	込栓の曲げ破壊(2/3)+材のせん断破壊(1/3)	9.33	込栓の繊維方向のクラックによるせん断降伏
M1-5	4.89	材のせん断破壊	10.6	込栓の繊維方向のクラックによるせん断降伏
M1-6	6.82	材のせん断破壊	10.6	込栓の繊維方向のクラックによるせん断降伏
M2-1	6.59	込栓の曲げ破壊	5.77	ほぞで込栓の曲げ、主材でめり込み降伏
M2-2	7.95	ほぞのせん断破壊(2/3)+込栓の曲げ破壊(1/3)	6.37	ほぞで込栓の曲げ、主材でめり込み降伏
M2-3	7.37	込栓の曲げ破壊	6.37	ほぞで込栓の曲げ、主材でめり込み降伏
M2-4	7.92	ほぞのせん断破壊	8.31	ほぞで込栓の曲げ、主材でめり込み降伏
M2-5	9.54	込栓の曲げ破壊	8.31	ほぞで込栓の曲げ、主材でめり込み降伏
M2-6	7.71	ほぞのせん断破壊(2/3)+ほぞの割裂破壊(1/3)	11.0	ほぞで込栓の曲げ、主材でめり込み降伏
M2-8	3.86	ほぞのせん断破壊(2/3)+ほぞの割裂破壊(1/3)	5.98	ほぞのせん断
M2-9	5.53	ほぞのせん断破壊	8.31	ほぞで込栓の曲げ、主材でめり込み降伏
M2-10	8.80	ほぞのせん断破壊	13.5	ほぞのせん断
M2-11	8.92	ほぞのせん断破壊(2/3)+込栓の曲げ破壊(1/3)	8.31	ほぞで込栓の曲げ、主材でめり込み降伏

⑤まとめ

一面せん断試験体

・丸栓と角栓による影響：込み栓が曲げ破壊を起こした直径15mmの丸栓と15mm角の角栓を用いた試験体では、最大荷重と初期剛性は角栓の方が高い値を示した。しかし、主材がせん断もしくは割裂破壊を起こした24mmの込み栓を用いた試験体は、丸栓と角栓に明確な差は見受けられなかった。

・込み栓の寸法の影響：丸栓と角栓試験体ともに15mmから24mmと大きくなると、最大荷重、降伏荷重また初期剛性ともに増加する傾向が見られた。

・加力方向に対する込み栓の年輪方向の影響：加力方向に対して込み栓の年輪が直交方向の試験体では、込み栓に曲げ変形が生じる前に全ての試験体において主材の割裂もしくはせん断により破壊に至った。しかし、平行方向の試験体では、終局的な破壊が主材の破壊であったとしても、全ての試験体で込み栓に曲げ変形が見られた。平行方向の試験体が直交方向の試験体より最大荷重、初期剛性、塑性率、そして最大荷重時の変形量の全てが増加した。これは、平行方向試験体の込み栓が曲げ変形することで、主材のめり込み変形に追従して割裂破壊の発生を遅らせたことが要因であると考えられる。

二面せん断試験体

・角栓と丸栓による影響：丸栓の試験体が角栓の試験体より最大荷重が低くなった。これは込み栓

の曲げ破壊により最大荷重が決まったため、曲げ性能の優れる角栓が強くなったと考える。

・ 込み栓の寸法の影響：角栓の寸法が15mm角、18mm角、24mm角と大きくに従い、最大荷重は増加した。しかし、降伏荷重と塑性率は18mm試験体より24mm試験体が低い結果となった。これは18mm試験体が込み栓の曲げ破壊であったのに対して、24mm試験体が脆性的なホゾのせん断破壊であったためである。

・ 込み栓穴からホゾ端部までの距離（L1）の影響：同一条件で端距離L1だけが90mmから75mm、60mm、45mmと短くなると最大荷重が低下することが分かった。端距離L1が90mmの試験体はは込み栓の曲げ破壊を生じたが、他の試験体ではホゾ穴からのせん断破壊もしくはホゾ穴から端部への割裂破壊を生じた。

・ 加力方向に対する込み栓の年輪方向影響：18mm丸栓と角栓の試験体ともに、加力方向に対して込み栓の年輪が平行方向の試験体は全て込み栓の曲げ破壊であったが、直交方向の試験体は丸栓の1体を除きホゾのせん断で破壊に至った。最大荷重には大きな違いは認められなかったが、塑性率 μ は平行方向の試験体が直交方向の試験体より大きい傾向を示した。

⑥試験体材料の含水率

一面せん断試験体と二面せん断試験体の含水率を表3.4.2-22および表3.4.2-23に示す。

表3.4.2-22 一面せん断試験体の含水率

試験体名	含水率(%)	
	主材A	主材B
M1-1-01	18.8	18.3
M1-1-02	18.9	19.0
M1-1-03	20.4	21.0
M1-2-01	17.8	17.9
M1-2-02	19.1	19.0
M1-2-03	21.2	21.3
M1-3-01	20.4	18.9
M1-3-02	20.2	18.8
M1-3-03	20.3	20.5
M1-4-01	16.8	17.8
M1-4-02	18.1	21.8
M1-4-03	21.8	19.8
M1-5-01	19.5	17.8
M1-5-02	17.5	19.4
M1-5-03	19.5	20.3
M1-6-01	18.6	16.3
M1-6-02	16.8	20.2
M1-6-03	19.2	19.7

表3.4.2-23 二面せん断試験体の含水率

試験体名	含水率(%)	
	主材	ほぞ材
M2-1-01	18.9	18.5
M2-1-02	19.3	19.8
M2-1-03	20.9	20.1
M2-2-01	20.5	18.6
M2-2-02	20.9	18.3
M2-2-03	21.2	21.0
M2-3-01	20.4	20.5
M2-3-02	18.3	19.3
M2-3-03	16.4	20.4
M2-4-01	18.5	18.7
M2-4-02	18.9	20.9
M2-4-03	19.5	19.7
M2-5-01	18.4	18.6
M2-5-02	20.4	18.2
M2-5-03	17.9	19.1
M2-6-01	21.1	21.7
M2-6-02	20.5	21.0
M2-6-03	17.8	17.8
M2-8-01	21.0	17.9
M2-8-02	19.5	20.3
M2-8-03	20.7	19.7
M2-9-01	18.3	20.5
M2-9-02	20.6	20.8
M2-9-03	19.2	20.0
M2-10-01	17.5	17.5
M2-10-02	17.3	15.5
M2-10-03	17.4	17.4
M2-11-01	16.5	16.3
M2-11-02	16.6	16.3
M2-11-03	16.4	16.3

(4) 試験体番号J1, J5試験体

1) 実験概要

(a) 実験概要

実験期間は12月6日から12月27日までの16日間であり、実験場所は宇都宮大学地域共生開発センター実験室である。

(b) 実験スケジュール（楔打ち込み者・加力者）

実験日時と貫を柱に差し込み楔を打ち込む試験体作成者、油圧ポンプを操作した加力者を表3.4.2-24、表3.4.2-25に示す。1体の試験に要した時間はJ1が31～53分で平均39分、J5が40～53分で平均48分であった。表にある作成者・加力者は、FJ以外は宇都宮大学建築構造研究室の院生・学部生であり、SK・ST・KE・FJは男性、SY・TAは女性である。

表3.4.2-24 下げ鎌(J1)実験概要

試験体名	日	開始時間	終了時間	所要時間（分）	加力者	楔打ち込み
J1						
No1-1	12月21日	13:10	13:46	36	KE	TA
No1-2	12月21日	18:15	18:46	31	KE	TA
No1-3	12月22日	9:25	10:13	53	SK	TA
No2-1	12月21日	8:55	9:47	52	KE	TA
No2-2	12月21日	10:05	10:45	40	KE	TA
No2-3	12月21日	11:05	11:42	37	KE	TA
No3-1	12月20日	13:15	13:51	36	ST	KE
No3-2	12月20日	14:15	14:48	33	ST	KE
No3-3	12月20日	15:05	15:42	37	ST	KE
No4-1	12月19日	15:50	16:35	45	ST	KE
No4-2	12月19日	17:10	17:50	40	ST	KE
No4-3	12月20日	12:25	12:58	33	KE	KE
No5-1	12月19日	11:15	12:08	53	ST	KE
No5-2	12月19日	13:45	14:27	42	ST	KE
No5-3	12月19日	14:45	15:25	40	ST	KE
No6-1	12月22日	10:40	10:30	50	SK	TA
No6-2	12月22日	12:30	13:02	32	SK	TA
No6-3	12月12日	13:15	14:01	46	SK	TA
No7-1	12月22日	14:20	15:05	45	SK	KE
No7-2	12月22日	15:20	16:02	42	SK	KE
No7-3	12月24日	9:20	10:06	46	KE	KE
No8-1	12月24日	10:25	11:07	42	KE	KE
No8-2	12月24日	11:30	12:09	39	KE	KE
No8-3	12月24日	13:45	14:19	34	ST	KE
No9-1	12月24日	14:37	14:11	34	ST	KE
No9-2	12月24日	15:30	16:05	35	ST	KE
No9-3	12月25日	11:30	12:02	32	ST	KE
No10-1	12月25日	15:35	16:09	34	ST	TA
No10-2	12月25日	16:20	16:53	33	ST	TA
No10-3	12月26日	9:45	10:30	45	SK	TA
No11-1	12月25日	12:10	12:40	30	ST	TA
No11-2	12月25日	13:45	14:20	35	ST	TA
No11-3	12月25日	14:35	15:09	34	ST	TA

表3. 4. 2-25 包み込み貫 (J5) 実験概要

試験体名	日	開始時間	終了時間	所要時間 (分)	加力者	楔打ち込み
J5						
No1-1	12月16日	8:45	9:38	53	SK	TA
No1-2	12月16日	10:05	10:48	43	SK	TA
No1-3	12月16日	11:10	11:51	41	SK	TA
No2-1	12月15日	14:10	15:03	53	KE	TA
No2-2	12月15日	15:40	16:33	53	KE	ST
No2-3	12月15日	17:10	18:50	40	KE	KE
No3-1	12月14日	15:00	15:43	43	KE	ST
No3-2	12月15日	9:35	10:28	53	KE	KE
No3-3	12月15日	11:15	11:58	47	KE	TA
No4-1	12月13日	11:25	12:18	53	KE	FJ
No4-2	12月13日	17:00	17:53	53	ST	SY
No4-3	12月14日	9:00	9:53	53	KE	ST
No5-1	12月18日	10:10	11:02	52	SK	ST
No5-2	12月18日	11:25	12:24	49	SK	ST
No5-3	12月19日	9:35	10:25	50	ST	ST
No6-1	12月16日	13:10	14:00	50	SK	ST
No6-2	12月16日	14:30	15:10	40	SK	ST
No6-3	12月16日	17:20	18:13	53	SK	ST
No7-1	12月26日	10:55	11:35	40	SK	TA
No7-2	12月26日	14:20	15:03	43	SK	TA
No7-3	12月26日	15:30	16:13	43	SK	TA

(c) 実験装置

実験装置を図3.4.2-55、計測装置の仕様を表3.4.2-26に示す。

変位測定は、変位計H1、H2で貫上部の水平方向変位、変位計H3で貫下部の水平方向変位、変位計H4で柱の水平方向変位、変位計V1、V2で仕口部の貫の鉛直方向変位を測定する。

測定器は、変位計H1は500mm巻込型変位計、変位計H2は100mm小径高感度変位計、変位計H3は50mm小径高感度変位計、変位計H4、V1、V2は25mm小径高感度変位計を、油圧ジャッキは最大200kN、ストローク500mmのものを用いた。

表3. 4. 2-26 実験使用機器

使用機器			能力範囲	製造会社
変位計	H1	巻込型変位計DP-500E	±250mm	東京測器
	H2	小計高感度変位計CDP-100M	±50mm	東京測器
	H3	小計高感度変位計CDP-50MT	±50mm	東京測器
	H4	小計高感度変位計CDP-25M	±12.5mm	東京測器
	V1	小計高感度変位計CDP-50MT	±50mm	東京測器
	V2	小計高感度変位計CDP-50MT	±50mm	東京測器
データ収集システム			NR-ST04ひずみ計測ユニット	KEYENCE
ロードセル			引張・圧縮型荷重計TCLP-50kNB	50kN 東京測器
油圧ジャッキ			MD2-500	200kN ±250mm 理研精機

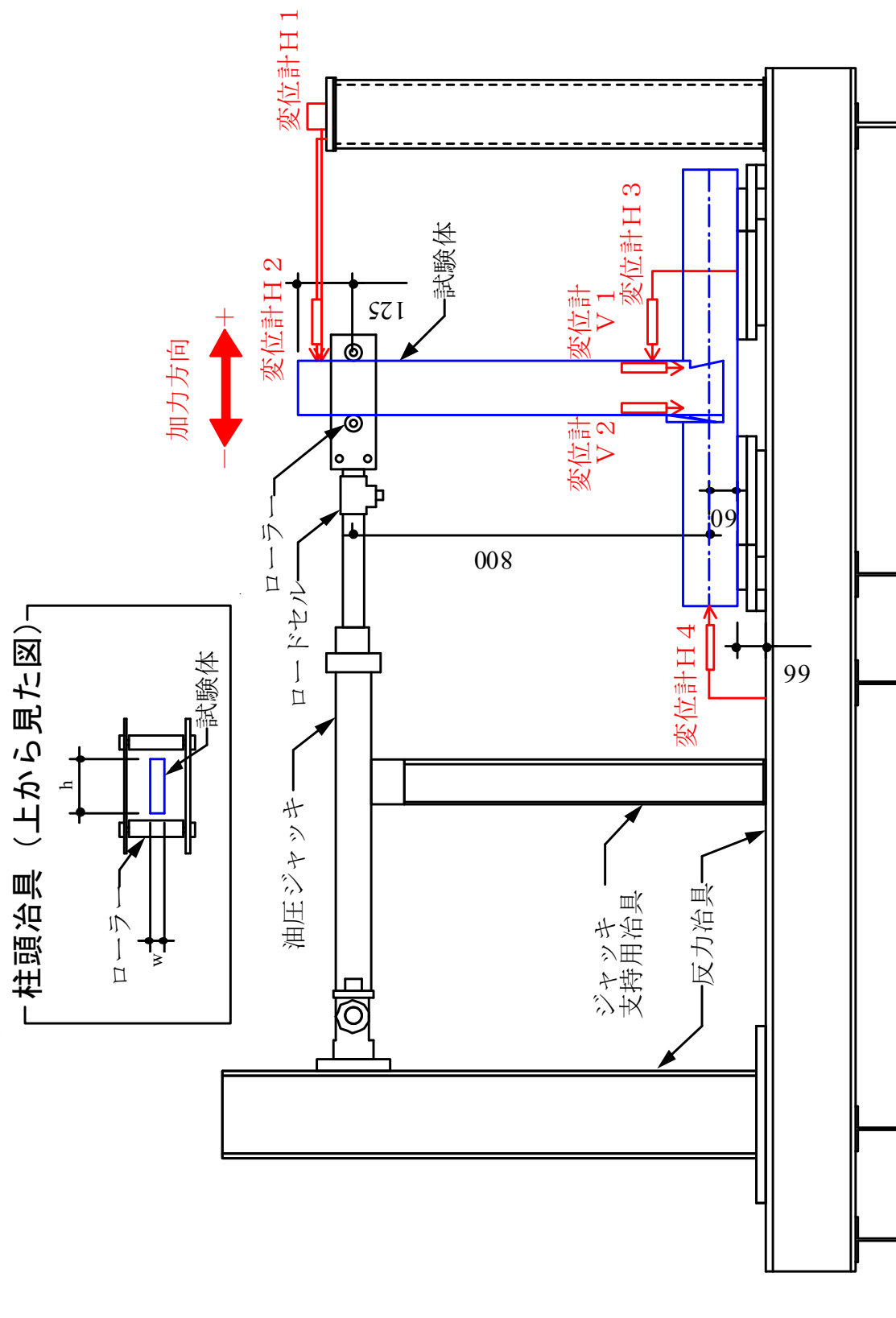


図3.4.2-55 実験装置概要図

(d) 加力方法

加力方法は正負繰り返し加力とし、加力サイクルは貫のせん断変形角が1/150、1/100、1/75、1/50、1/30、1/15、1/10、1/7、1/5radとした。同一変形段階での加力は1回のみとし、繰り返しは行わなかった。最大荷重に達した後、最大荷重の80%の荷重に低下するまで加力する。1/5radを超えても最大荷重の80%に達しない場合は、楔側に変位計の測定できる限界まで加力を行った。

(e) 試験体タイプ

試験体タイプは「下げ鎌」J1の11タイプ、「包み込み貫」J5の7タイプで全部で18タイプである。J1試験体詳細を表3.4.2-27と図3.4.2-51に、J5試験体詳細を表3.4.2-28と図3.4.2-52に示す。

J1のパラメータは、貫厚W、貫幅h、柱寸法L、差込深さL1、切り欠きまでの深さgで、切り欠きの存在しないものが1タイプ（No.11）ある。

J5のパラメータは、貫厚W、貫幅h、柱寸法L、差込深さL1である。これらのパラメータの寸法は、いずれもmmで表記してある。柱は120mmの角材を用いたが、J1のNo.10とJ5のNo.7については、差込深さL1が120mmを超えるため柱寸法を120mm×150mmとした。各タイプにつき試験体を3体作成したので、試験体数は全部で54体である。

(f) 楔の打ち込み量

捨て楔を入れた後、楔を打ち込んだが、打ち込み量については、打ち込む際のかなづちの打撃音に変化した時点で打ち込みを中止した。その後、飛出した楔は、写真に3.4.2-27示すような長さに切り落とした。

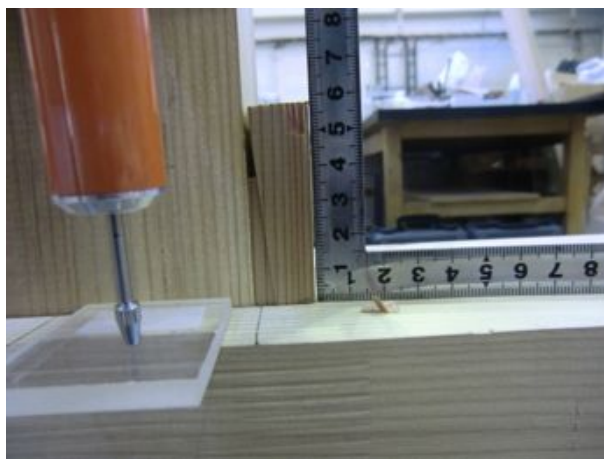


写真3.4.2-26 楔切り落とし前

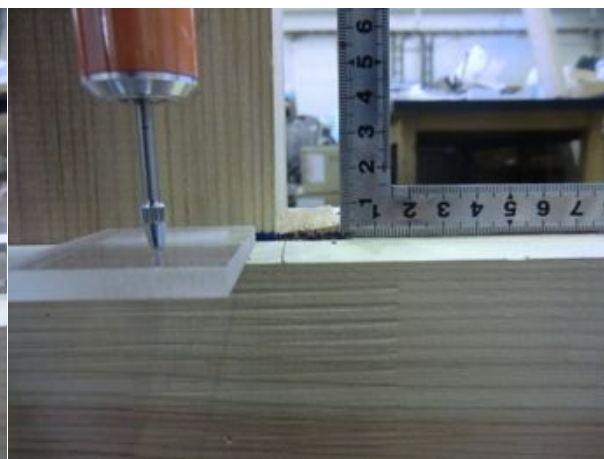


写真3.4.2-27 楔切り落とし後

表3. 4. 2-27 下げ鎌 (J1) 試験体タイプとパラメータ (mm)

No	W	h	L	L1	g
1	15	120	120	90	15
2	30	120	120	90	15
3	45	120	120	90	15
4	60	120	120	90	15
5	30	105	120	90	15
6	30	120	120	45	15
7	30	120	120	60	15
8	30	120	120	75	15
9	30	120	120	105	15
10	15	120	120×150	135	15
11	30	120	120	90	0

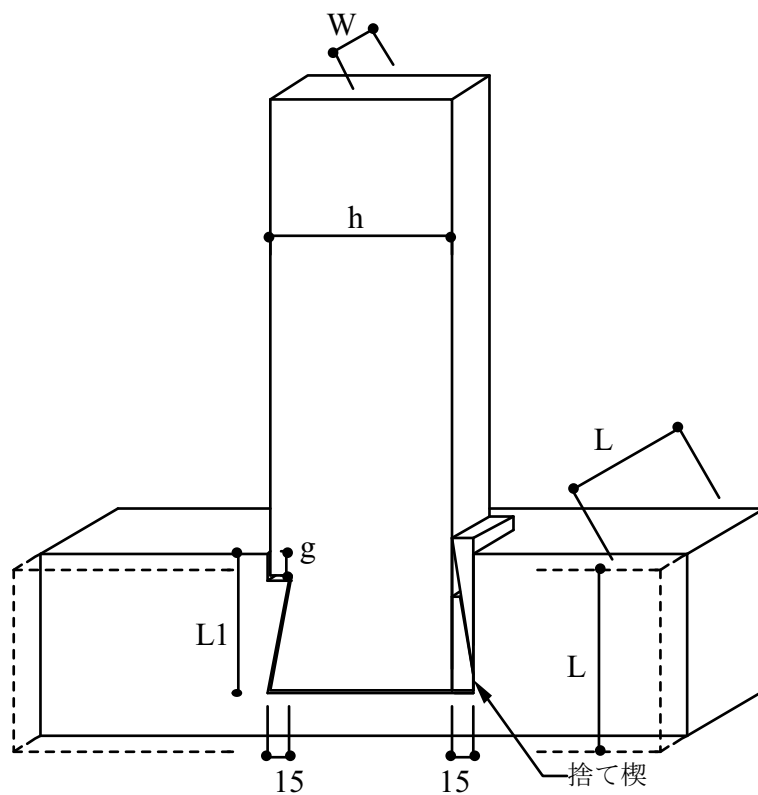


図3. 4. 2-56 下げ鎌 (J1) 試験体概要

表3. 4. 2-28 包み込み貫 (J5) 試験体タイプとパラメータ (mm)

No	W	h	L	L1
1	15	120	120	75
2	30	120	120	75
3	45	120	120	75
4	60	120	120	75
5	30	105	120	75
6	30	120	120	90
7	30	120	120×150	135

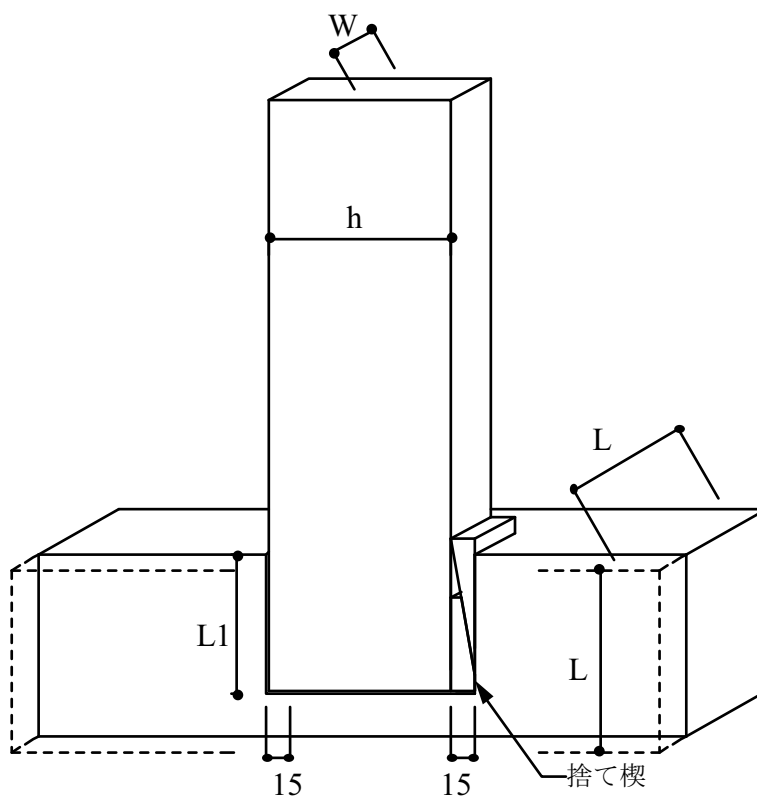


図3. 4. 2-57 包み込み貫 (J5) 試験体概要

(g) 含水率

含水率の測定は、楔を打ち込む前では試験体が破損する恐れがあるため、載荷直後に柱から楔、貫を引き抜いた後で柱、貫の含水率の測定を行った。測定結果を表3.4.2-29、図3.4.2-58、図3.4.2-59に示す。柱、貫の含水率の平均はそれぞれ、J1で15.0%、12.8%、J5で16.8%、12.9%となった。貫の含水率の方が柱のそれより低い値を示した。

表3.4.2-29 下げ鎌(J1)、包み込み貫(J5)含水率

J1	含水率(%)				J5	含水率(%)			
	柱	貫	柱平均	貫平均		柱	貫	柱No平均	貫No平均
No1-1	14.7	11.5	15.5	12.5	No1-1	20	11	18.2	11.9
No1-2	15.3	12.4			No1-2	19	11.5		
No1-3	16.5	13.5			No1-3	15.5	13.1		
No2-1	13.6	13	14.6	12.6	No2-1	20.7	14	17.4	14.0
No2-2	14.8	11.4			No2-2	18.8	12.5		
No2-3	15.5	13.4			No2-3	12.7	15.4		
No3-1	14.8	12.5	15.2	13.4	No3-1	19.7	13.7	17.7	13.7
No3-2	16.5	15			No3-2	17.1	14.8		
No3-3	14.4	12.8			No3-3	16.4	12.7		
No4-1	14.2	13.9	13.5	12.7	No4-1	16.4	12.7	17.3	12.7
No4-2	13.6	12.5			No4-2	18.1	13.5		
No4-3	12.6	11.8			No4-3	17.5	11.8		
No5-1	14.2	14	14.1	13.6	No5-1	16.5	12.5	16.1	12.6
No5-2	13.8	14.2			No5-2	17	12.6		
No5-3	14.2	12.5			No5-3	14.8	12.6		
No6-1	14.5	13.5	15.3	13.8	No6-1	17.5	12.5	17.7	13.3
No6-2	16	14			No6-2	18	13.5		
No6-3	15.5	14			No6-3	17.5	14		
No7-1	25	13.5	18.3	13.5	No7-1	12.7	12	12.9	11.9
No7-2	17	14.5			No7-2	13.5	11.6		
No7-3	12.8	12.6			No7-3	12.5	12		
No8-1	17.5	12.6	14.3	12.3					
No8-2	12.6	12.3							
No8-3	12.7	12							
No9-1	14.2	11.7	13.9	11.9					
No9-2	14.7	11.5							
No9-3	12.7	12.4							
No10-1	12.5	10.8	12.4	11.3					
No10-2	12.7	11.6							
No10-3	12	11.4							
No11-1	19.5	13	17.8	13.0					
No11-2	17.1	12.5							
No11-3	16.8	13.4							

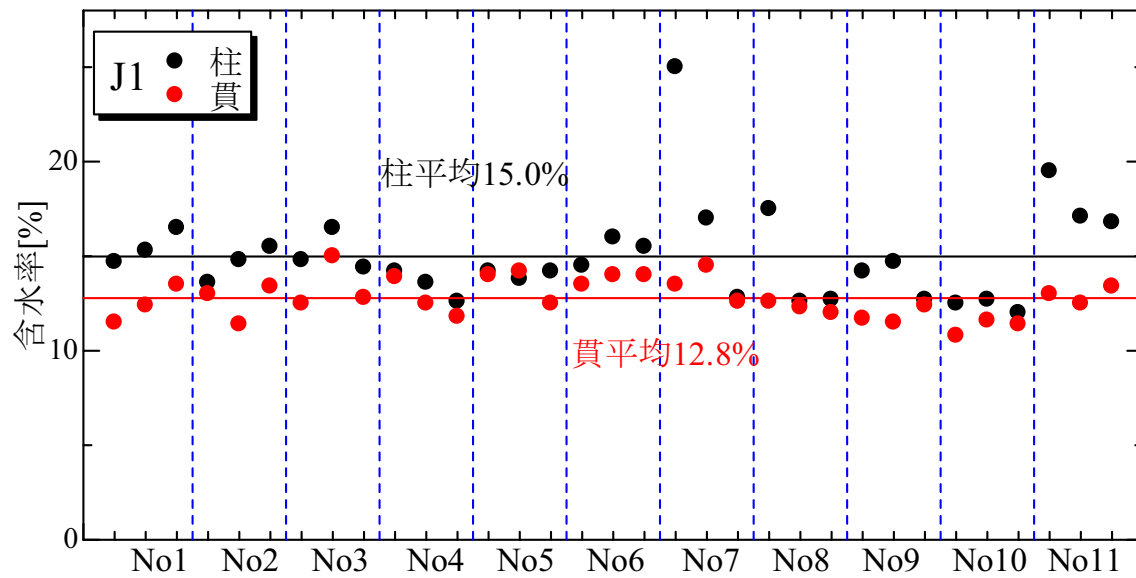


図3. 4. 2-58 下げ鎌 (J1) 含水率

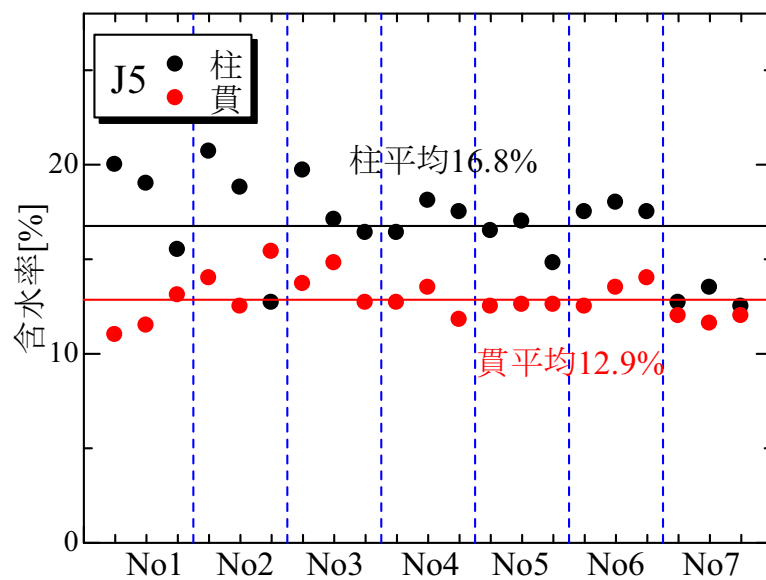


図3. 4. 2-59 包み込み貫 (J5) 含水率

2) 実験結果

(a) 復元力特性（包絡線）

実験によって得られた試験体頂部水平変位と荷重の関係から各加力サイクルの荷重最大値を図3.4.2-60のように取り出した。J1、J5それぞれ試験体タイプごとの復元力特性（水平変位と荷重）の関係を図3.4.2-61から図3.4.2-78に示す。図には、同一タイプ3体の場合を示している。縦軸の正は楔のない側に押した場合、負は楔のある側に引いた場合である。

最大荷重は、楔のある側への押しの中での最も値の大きいもの、楔のない側への引きの中で最も値の大きいものである。

J1の基準ケースであるNo2（図3.4.2-62、貫厚30mm、貫幅120mm、差込深さ90mm）の場合で、正側最大荷重の平均が0.58kN、負側最大荷重の平均が0.88kNである。

J5の基準ケースであるNo2（図3.4.2-72、貫厚30mm、貫幅120mm、差込深さ75mm）の場合で、正側最大荷重の平均が0.50kN、負側最大荷重の平均が0.41kNである。

J1では楔のない側に押した正側の荷重が負側の荷重よりもおおむね小さく、J5では正側と負側の荷重があまり変わらない結果となっている。

J1No6-2（図3.4.2-66）では正側に1/15rad（水平変位で53.3mm）の加力サイクル時で40mm引いたときに大きな割裂音を確認できた。これは負側約40mmでいきなり耐力が低下しているのと同じとする。

またJ1No6-1、J1No6-3でも楔のある側へ引いて約50mm以降は耐力が低下している。これも、No6-1、No6-3ともに1/10rad（水平変位で80mm）の加力サイクルで60mm前後引いた段階で割裂音を確認できた。しかし楔のある側に押したときにはあまり割裂音などは確認できなかった。

J1No9-2（図3.4.2-69）では負側80mm以降で耐力が低下している。これは負側へ1/10rad引く時に途中約75mm変位した時点で木材がめり込む音が聞こえたので、これと関係があるものと考えられる。

J1No10-3（図3.4.2-70）でも同様に、負側に1/7rad（水平変位で114mm）引く途中の変位が100mmを超えたあたりで割裂音を確認できた。

J5No6-3（図3.4.2-77）でも同様に1/10radの加力サイクル時に負側へ80mm引いた前後に大きな割裂音を確認でき、負側80mm付近以降で耐力が低下している。

しかし楔のある側（正側）では割裂音やめり込み音を確認できなかった。

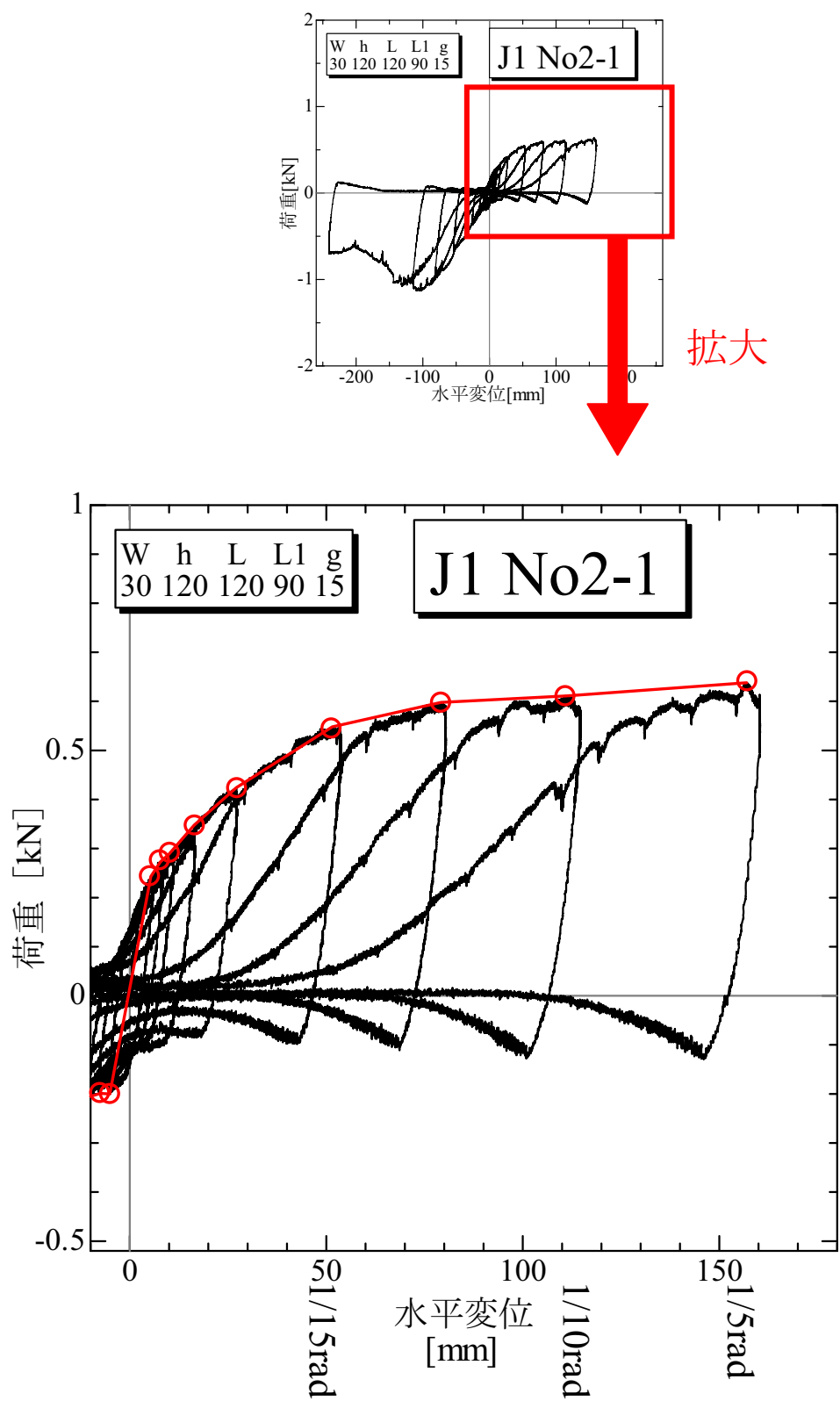


図3. 4. 2-60 復元力特性の最大値の取り方

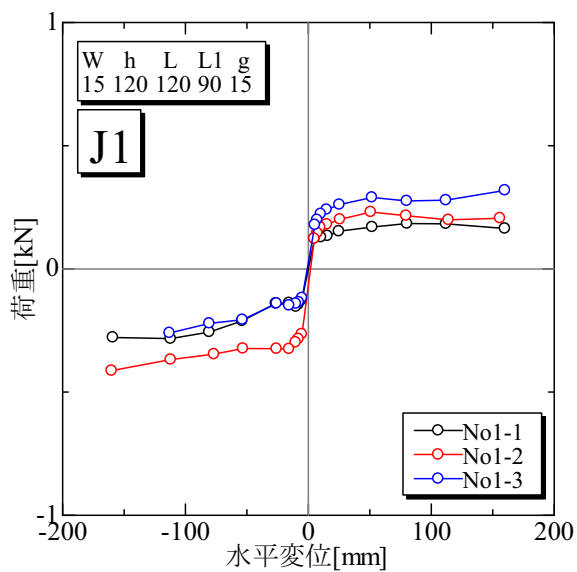


図3.4.2-61 J1No1復元力特性

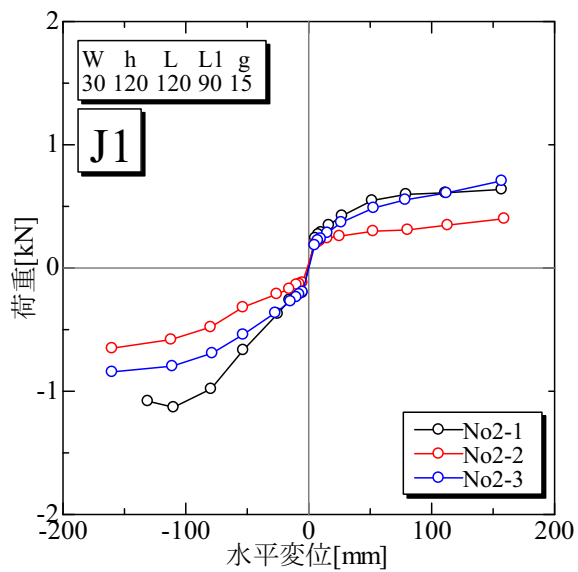


図3.4.2-62 J1No2復元力特性

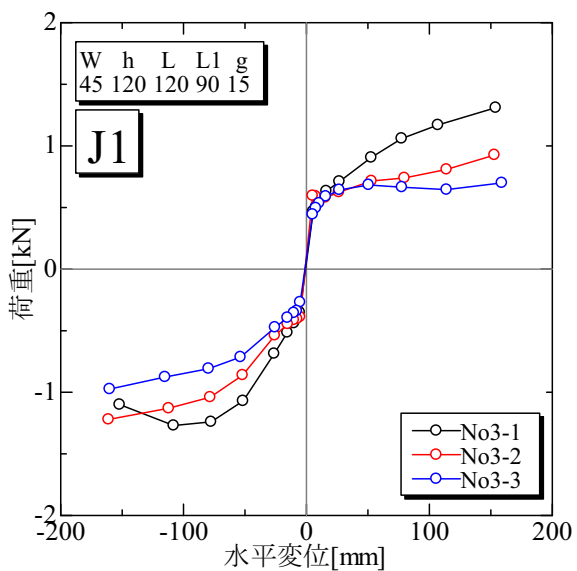


図3.4.2-63 J1No3復元力特性

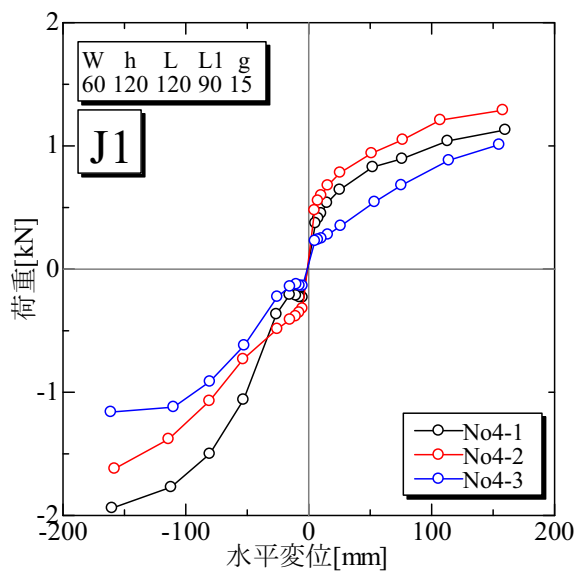


図3.4.2-64 J1No4復元力特性

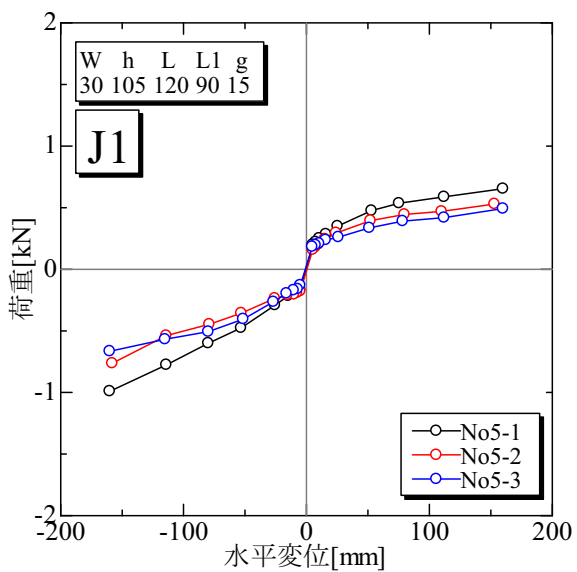


図3.4.2-65 J1No5復元力特性

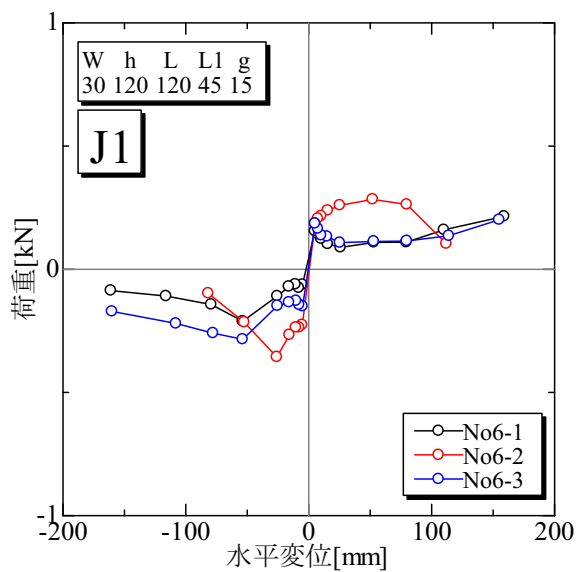


図3.4.2-66 J1No6復元力特性

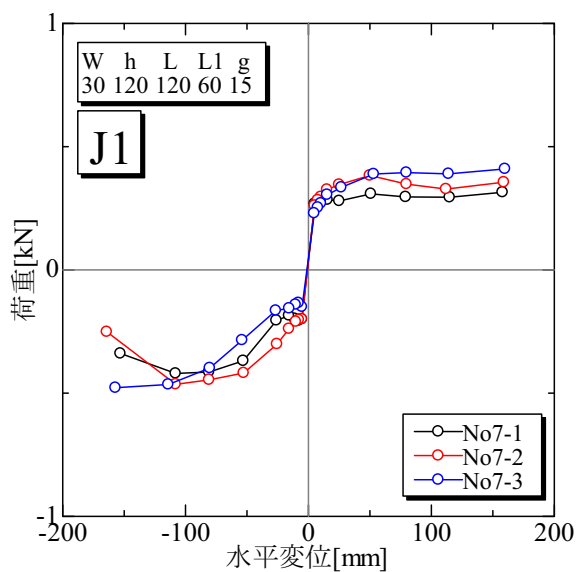


図3.4.2-67 J1No7復元力特性

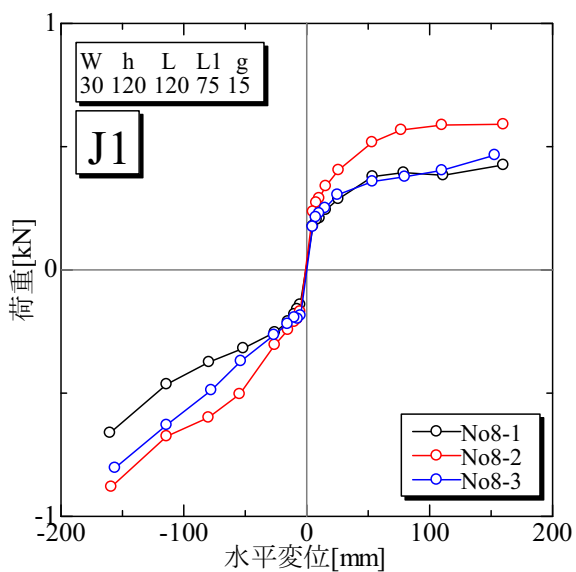


図3.4.2-68 J1No8復元力特性

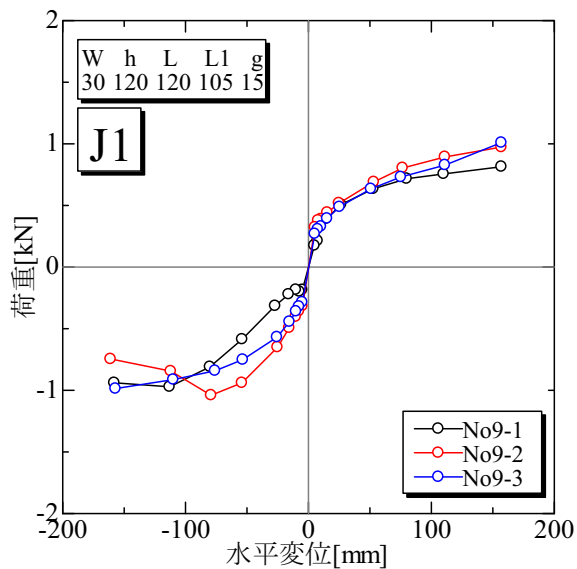


図3.4.2-69 J1No9復元力特性

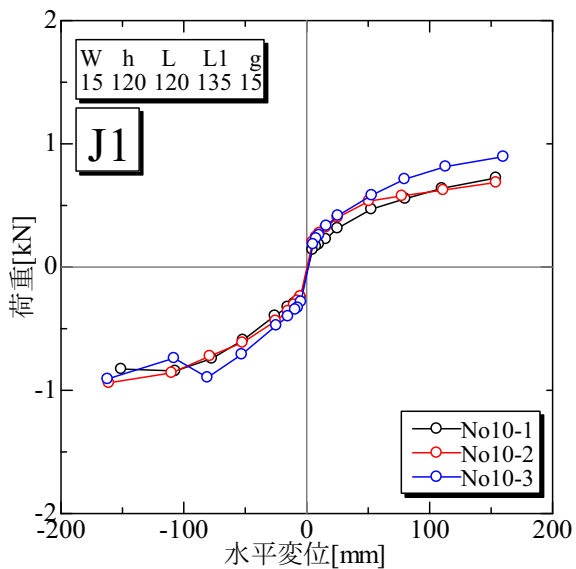


図3.4.2-70 J1No10復元力特性

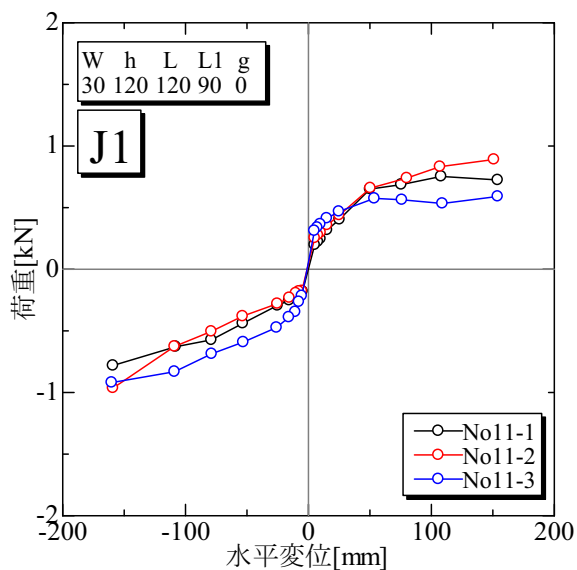


図3.4.2-71 J1No11復元力特性

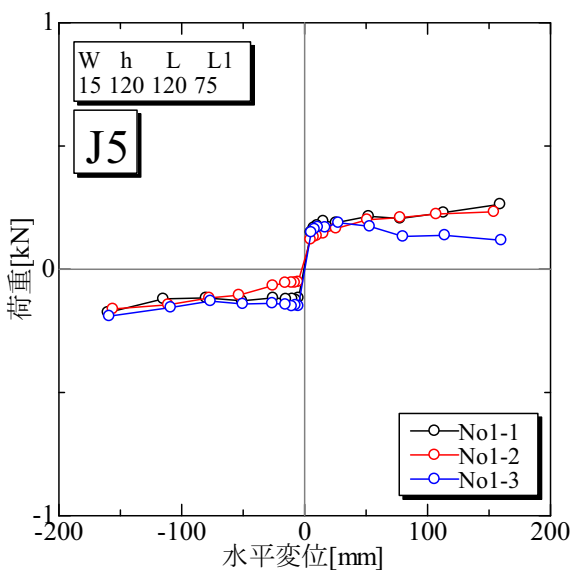


図3.4.2-72 J5No1復元力特性

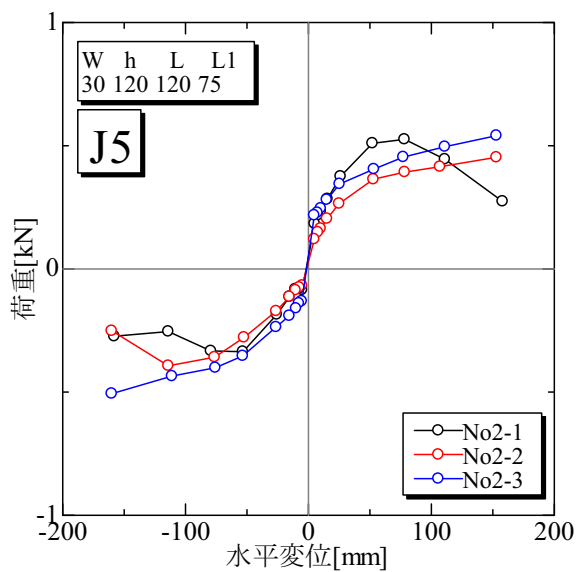


図3.4.2-73 J5No2復元力特性

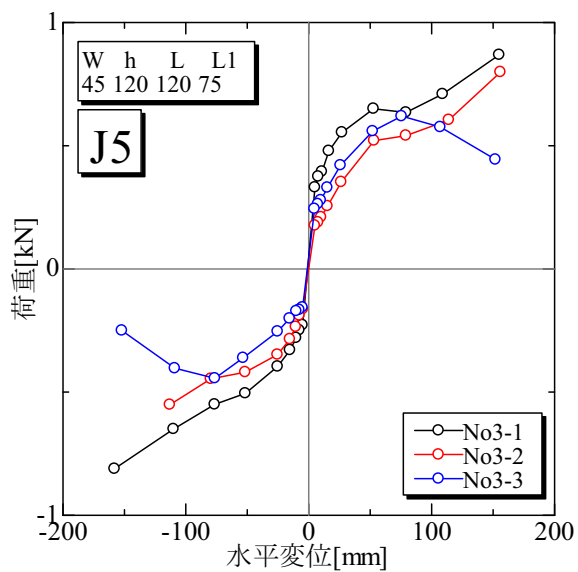


図3.4.2-74 J5No3復元力特性

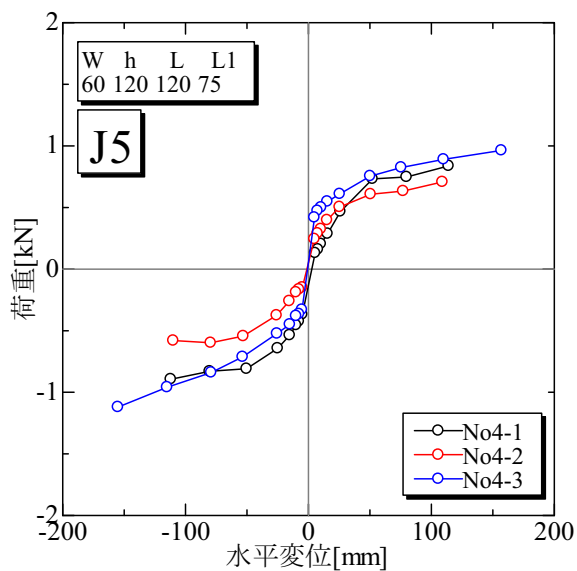


図3.4.2-75 J5No4復元力特性

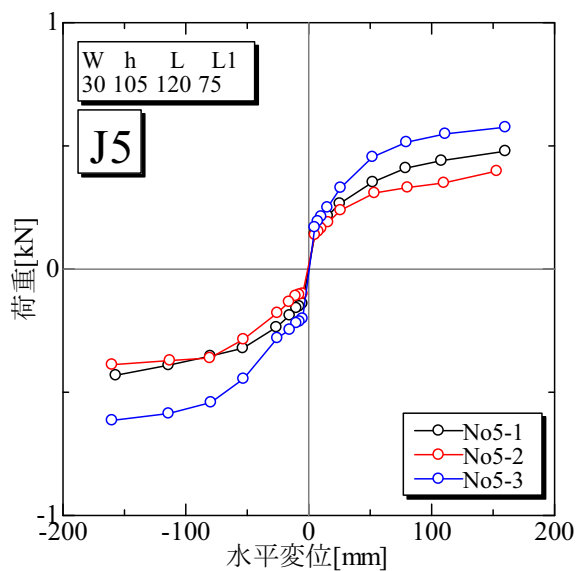


図3.4.2-76 J5No5復元力特性

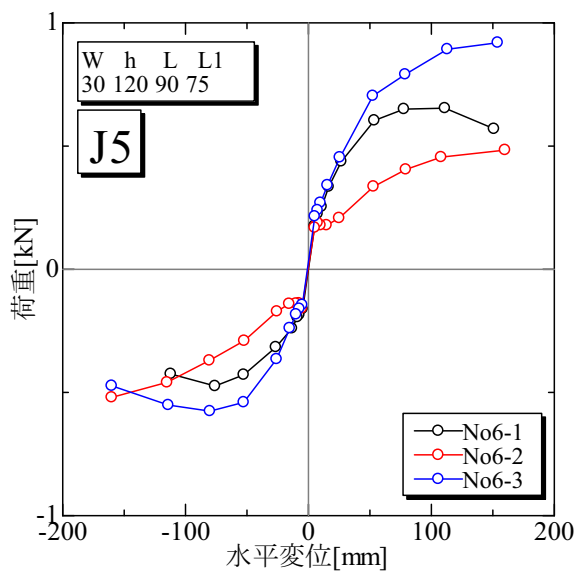


図3.4.2-77 J5No6復元力特性

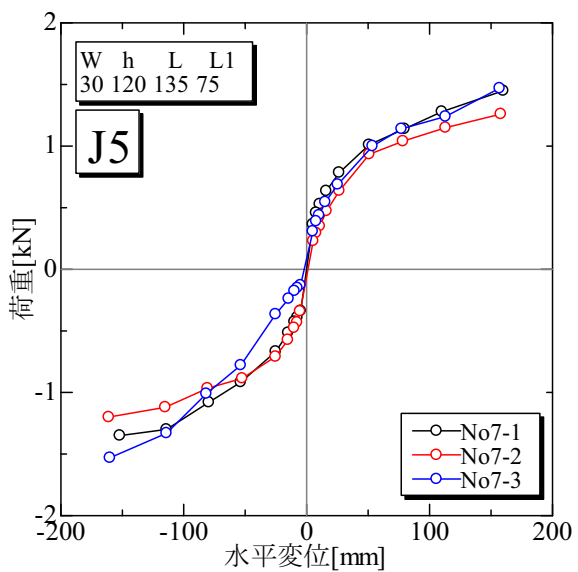


図3.4.2-78 J5No7復元力特性

(b) 楔の抜け出し量

载荷中、 $1/30$ から $1/5\text{rad}$ の各加力サイクル変形時に楔の抜けだし量を図3.4.2-79のように測定した。試験体に打ち込んだ楔は、载荷前に柱の面に合わせて切断しており、その状態を 0mm として測定している。横軸に各加力サイクル相当の水平変位、縦軸に楔抜けだし量（mm）をとったグラフを図3.4.2-80から図3.4.2-96に示す。

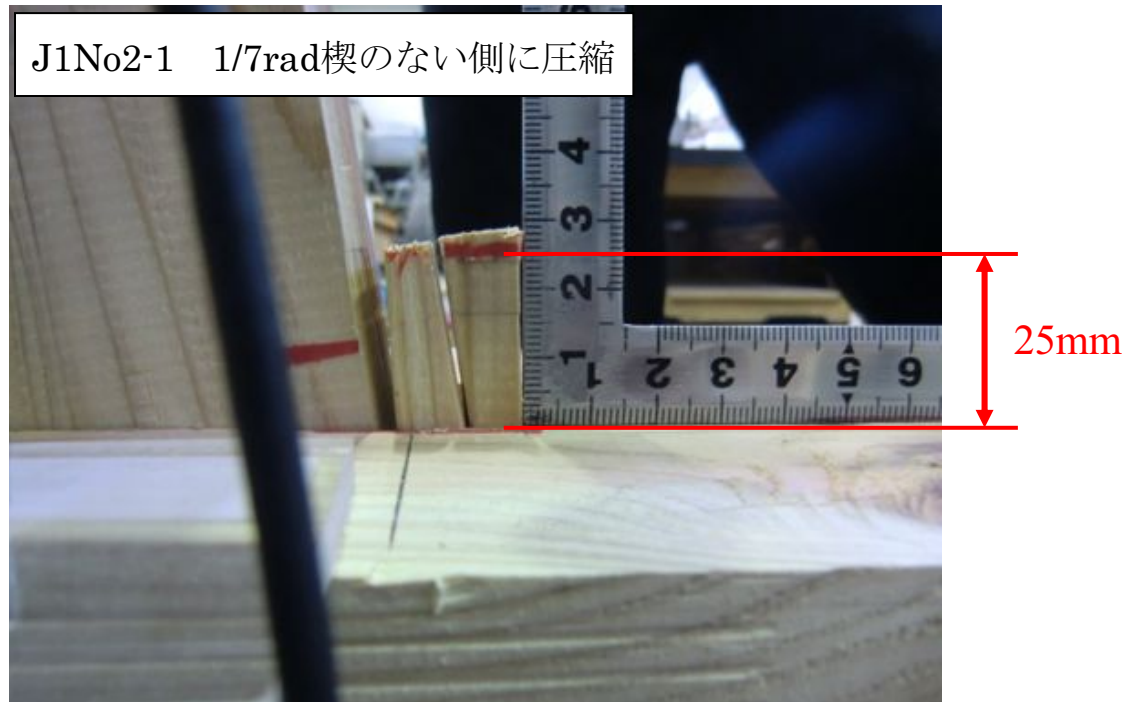


図3.4.2-79 楔の抜け出し量の測定方法

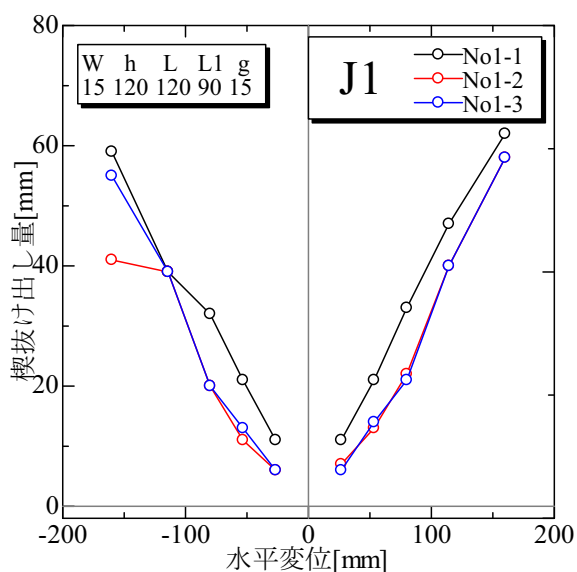


図3.4.2-80 J1No1楔抜け出し量

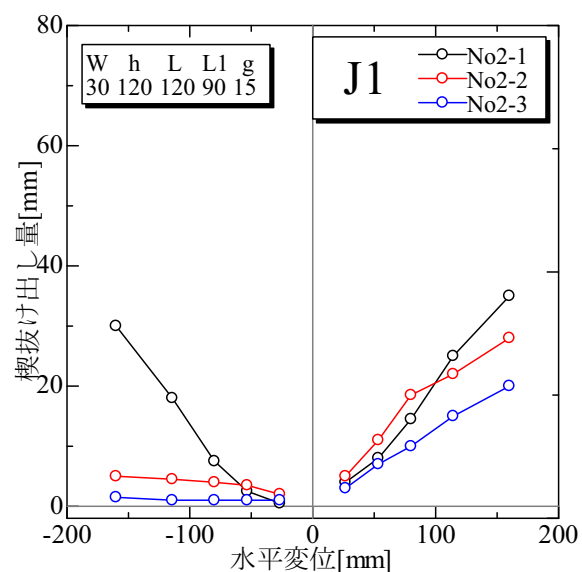


図3.4.2-81 J1No2楔抜け出し量

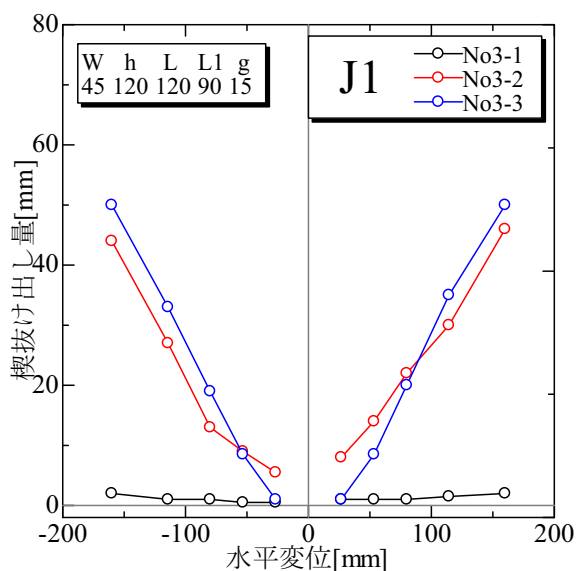


図3.4.2-82 J1No3楔抜け出し量

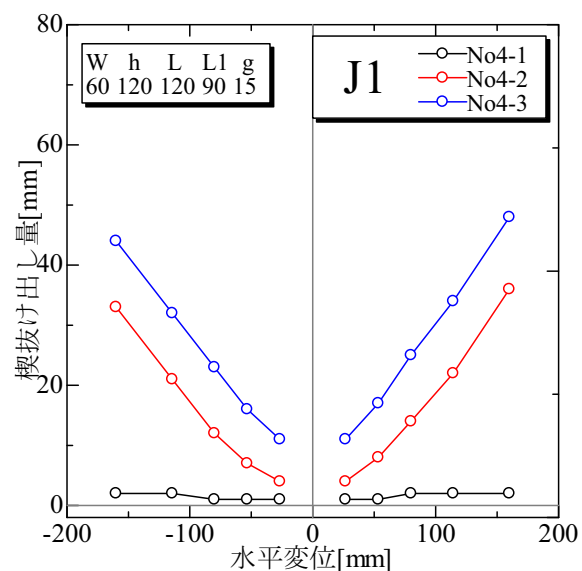


図3.4.2-83 J1No4楔抜け出し量

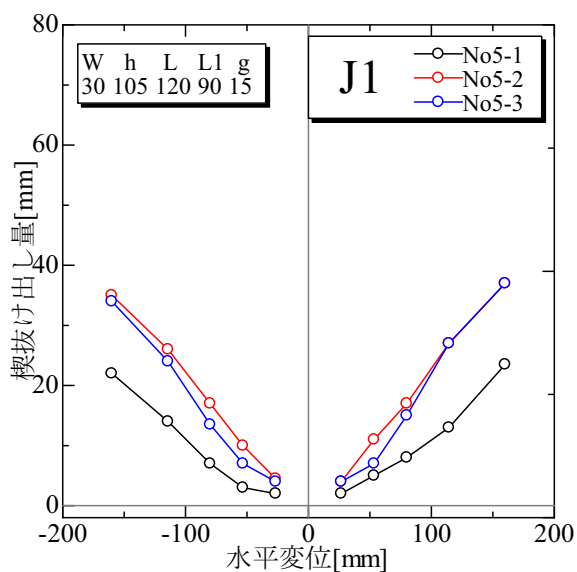


図3.4.2-84 J1No5楔抜け出し量

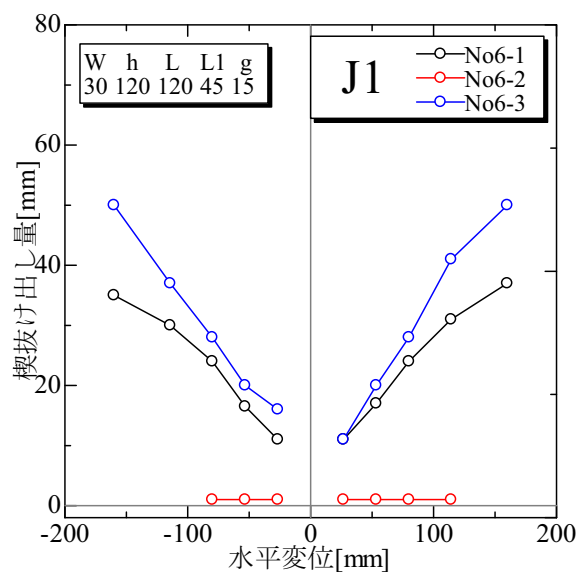


図3.4.2-85 J1No6楔抜け出し量

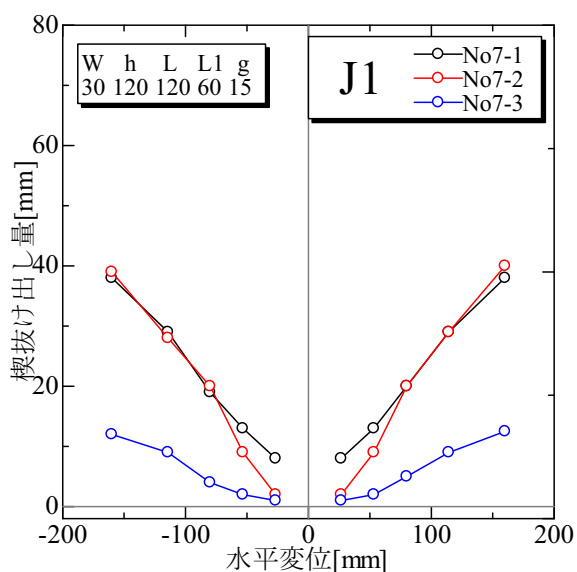


図3.4.2-86 J1No7楔抜け出し量

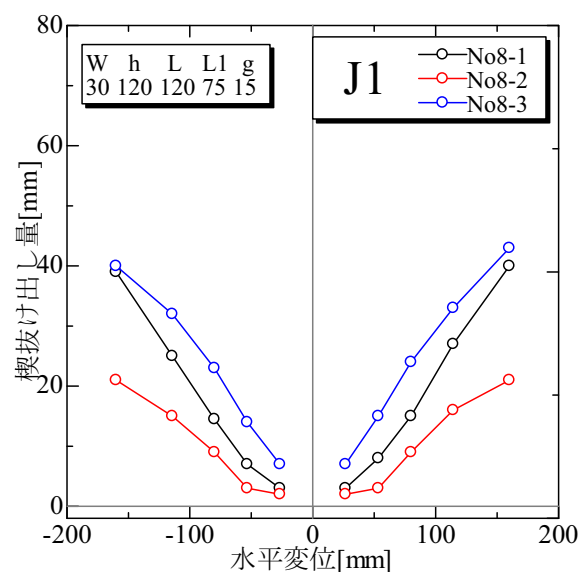


図3.4.2-87 J1No8楔抜け出し量

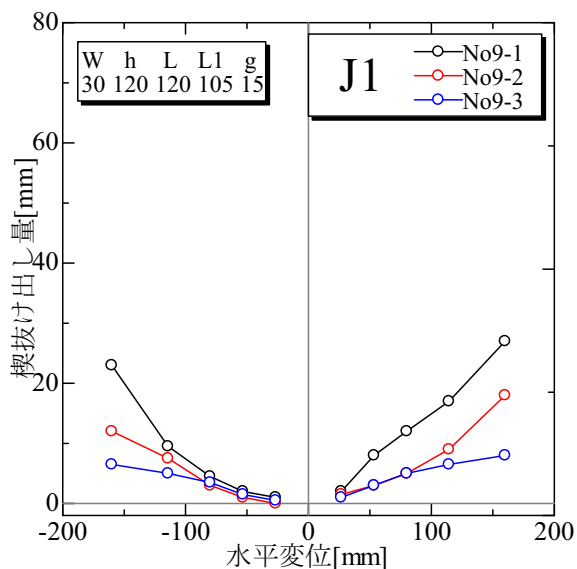


図3.4.2-88 J1No9楔抜け出し量

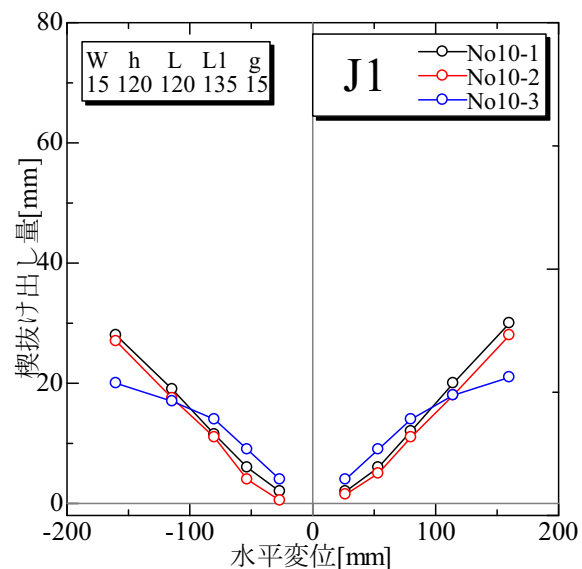


図3.4.2-89 J1No10楔抜け出し量

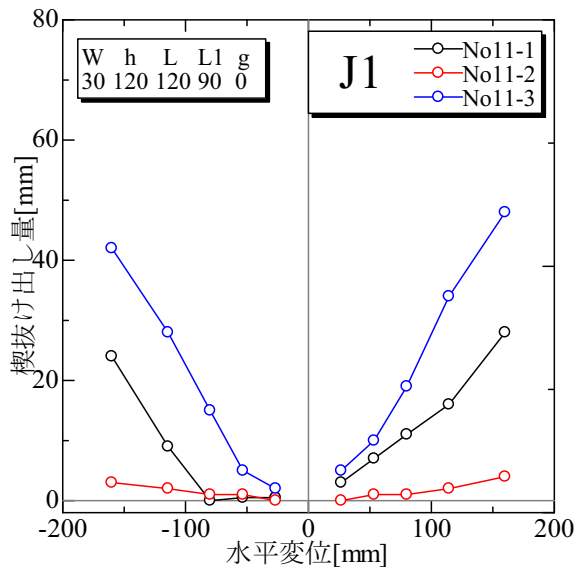


図3.4.2-90 J1No11楔抜け出し量

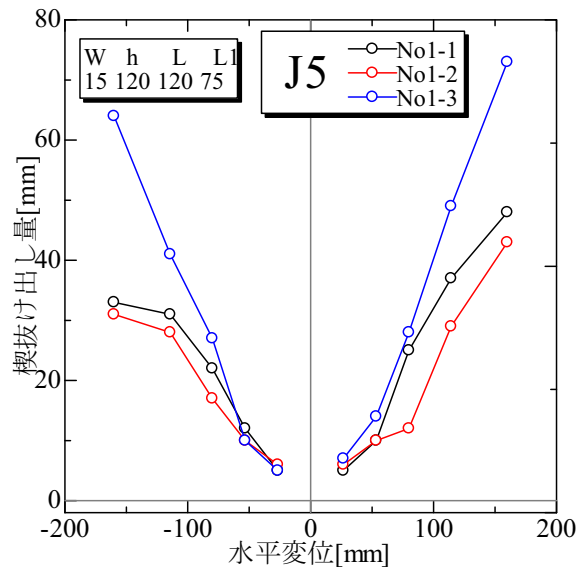


図3.4.2-91 J5No1楔抜け出し量

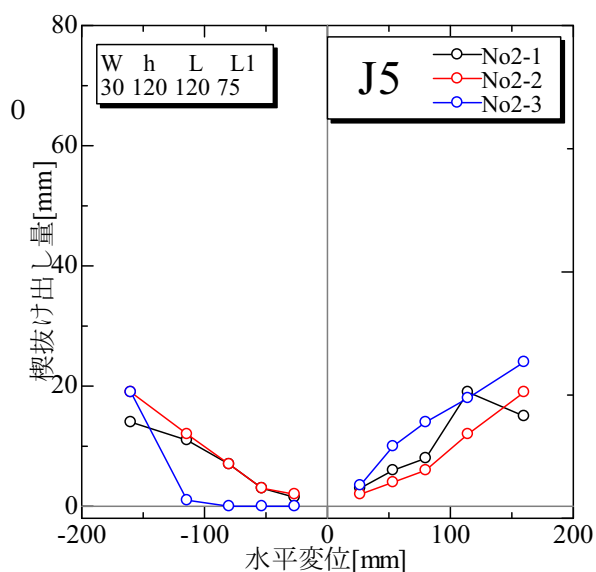


図3.4.2-92 J5No2楔抜け出し量

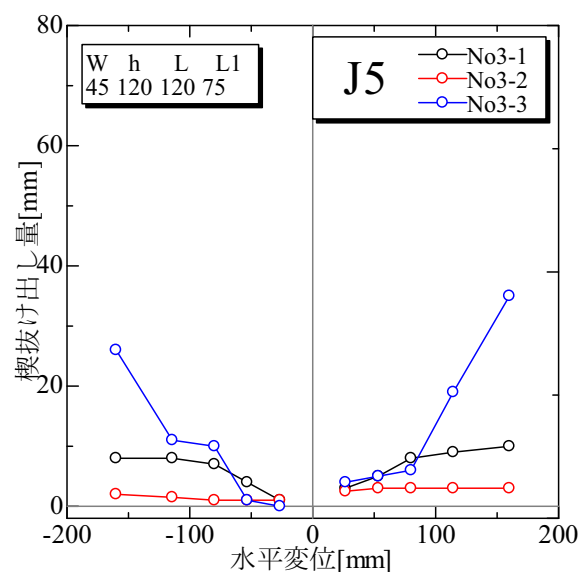


図3.4.2-93 J5No3楔抜け出し量

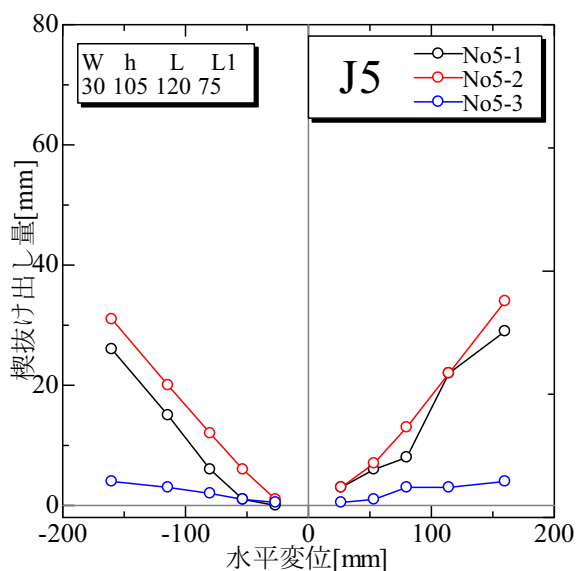


図3.4.2-94 J5No5楔抜け出し量

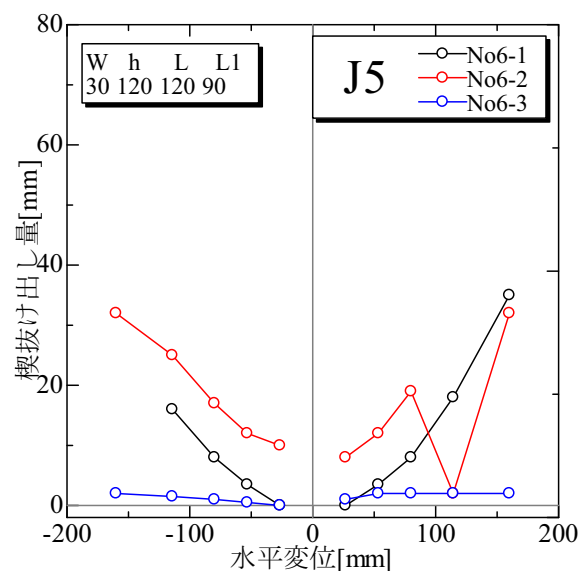


図3.4.2-95 J5No6楔抜け出し量

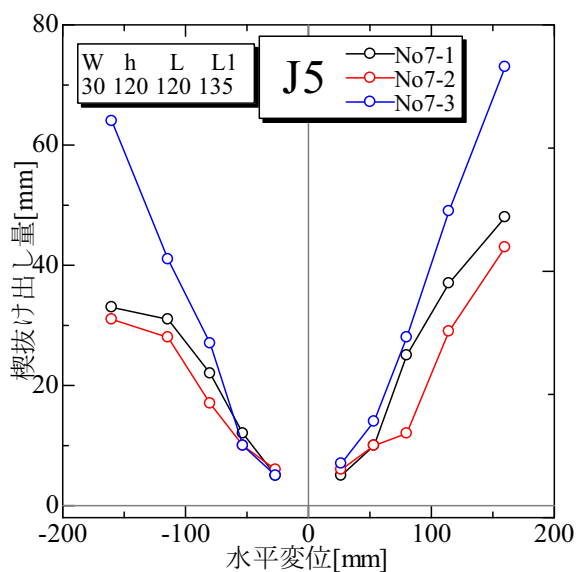


図3.4.2-96 J5No7楔抜け出し量

(c) 加力後の写真

試験体の加力終了後の柱、貫、楔の写真写真3.4.2-28から写真3.4.2-53に示す。その際、実験前の不具合も同時に記載する。

①J1No1について

J1No1-1の貫と楔を間違えてJ1No1-3の柱に完全に打ち込んでしまったので、正しい組み合わせとする為に、楔を引き抜いた。その後、正しい組み合わせで試験体を組み立てなおした。写真3.4.2-28の左が実験前の捨て楔、右が実験前の楔である。打ち込み後に引き抜いたので、楔の下部（楔右側）がひしゃげている。また引き抜く為に楔の上部（楔左側）をペンチでつまんだ為、くぼんでいる。



写真3. 4. 2-28 J1No1-1加力前 楔



写真3. 4. 2-29 J1No1-1加力後 楔



写真3. 4. 2-30 J1No1-1加力後 貫

②J1No2

J1No2-1の楔（写真3.4.2-31の左）は、押しつぶされ曲がっている。また貫の切欠き部分は、貫から完全に取りれてしまった。



写真3. 4. 2-31 J1No2-1加力後 楔



写真3. 4. 2-32 J1No2-1加力後 貫



写真3. 4. 2-33 J1No2-1加力後 切欠き部



写真3. 4. 2-34 J1No2-1加力後 貫底面

J1No2-1には大きな損傷は見られなかった。



写真3. 4. 2-35 J1No2-2加力後 楔



写真3. 4. 2-36 J1No2-2加力後 貫

下げ鎌No2-3では貫の切欠き部分の半分に亀裂が生じた。

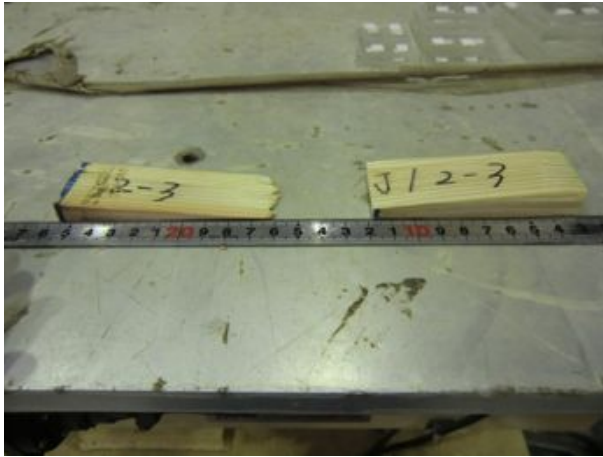


写真3. 4. 2-37 J1No2-3加力後 楔

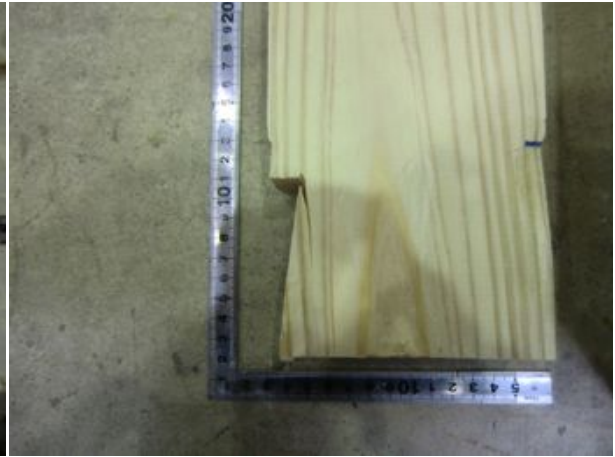


写真3. 4. 2-38 J1No2-3加力後 貫

③J1No6

J1No6-2加力後、柱から楔と貫を引き抜いたが、貫から割れてしまった切欠き部分のみが柱ほぞ孔に残っていた。写真3.4.2-41参照。



写真3. 4. 2-39 J1No6-2加力後 楔



写真3. 4. 2-40 J1No6-2加力後 貫



写真3. 4. 2-41 J1No6-2加力後 柱ほぞ孔

④J1No10

J1No10-3加力後、柱から楔と貫を引き抜いたが、貫から割れてしまった切欠き部分のみが柱ほぞ孔に残っていた。また他の試験体以上に貫の切欠き部分が大きく取れていた。

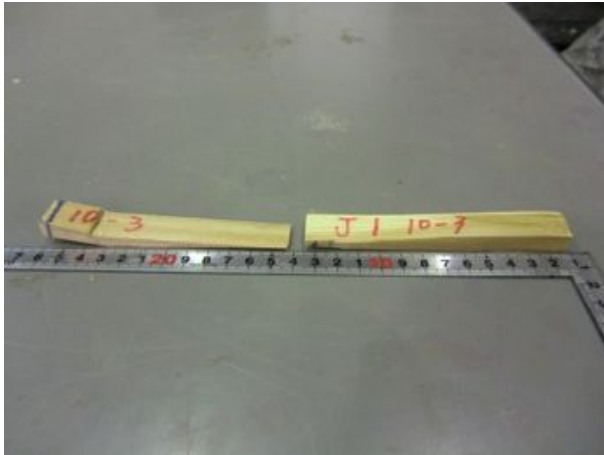


写真3. 4. 2-42 J1No10-3加力後 楔



写真3. 4. 2-43 J1No10-3加力後 貫



写真3. 4. 2-44 J1No10-3加力後 貫裏面



写真3. 4. 2-45 J1No10-3加力後 柱ほぞ孔

⑤J5No2

基準ケースであるJ5No2-1には目立った損傷は見られなかった。



写真3. 4. 2-46 J5No2-1加力後 楔

J5No2-3では楔（写真3.4.2-47の左）が曲がっていることがわかる。

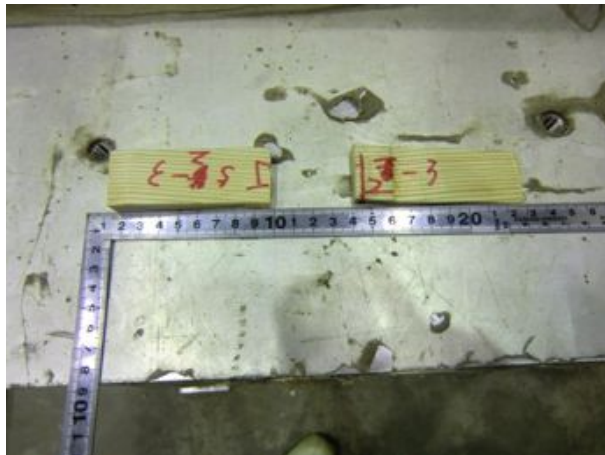


写真3. 4. 2-47 J5No2-1 加力後 楔

⑥J5No7

J5No7-3の柱に貫、楔を打ち込む際、楔を深く打ち込めずかなづちで力強く打ち込んだ為、柱の底側がめくれてしまった。その為、載荷前に底面を押し込みもとに戻した。その後、浮き上がった楔を打ち込み直してから載荷した。

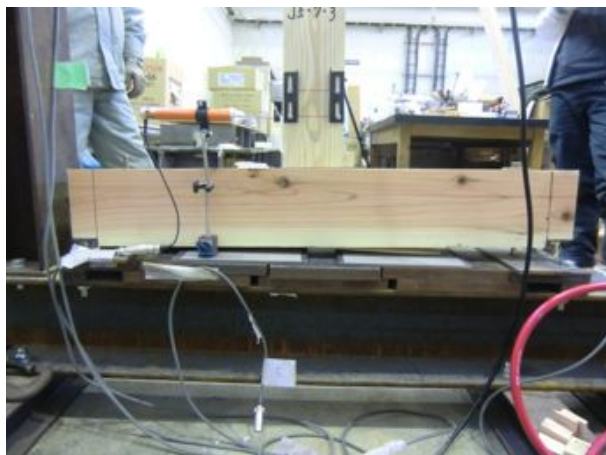


写真3. 4. 2-48 J5No7-3加力前



写真3. 4. 2-49 J5No7-3加力前 柱のめくれ



写真3. 4. 2-50 J5No7-3加力前
柱のめくれ（楔が沈んでいる）



写真3. 4. 2-51 J5No7-3加力後 楔



写真3. 4. 2-52 J5No7-3加力後 貫側面



写真3. 4. 2-53 J5No7-3加力後 柱底面

3) 考察：同一試験体タイプ3体での比較

(a) 同一タイプ内の標準偏差

同一タイプ内3体の標準偏差を求め、ばらつきをみる。各加力サイクルでの、同一タイプ内の標準偏差を求め、図3.4.2-97、図3.4.2-98に示す。

J1ではNo3、No4以外は、およそ標準偏差が0.15kN以内でのばらつきとなっている。

J5ではNo3の1/5rad時、No4の変形角の小さい時、No6以外は、標準偏差が0.1kN以内でのばらつきであることが分かる。

J1、J5ともに最大荷重が約0.5～1.5kN前後であるので、同じ試験体タイプ内でも大きくばらついていることがわかる。

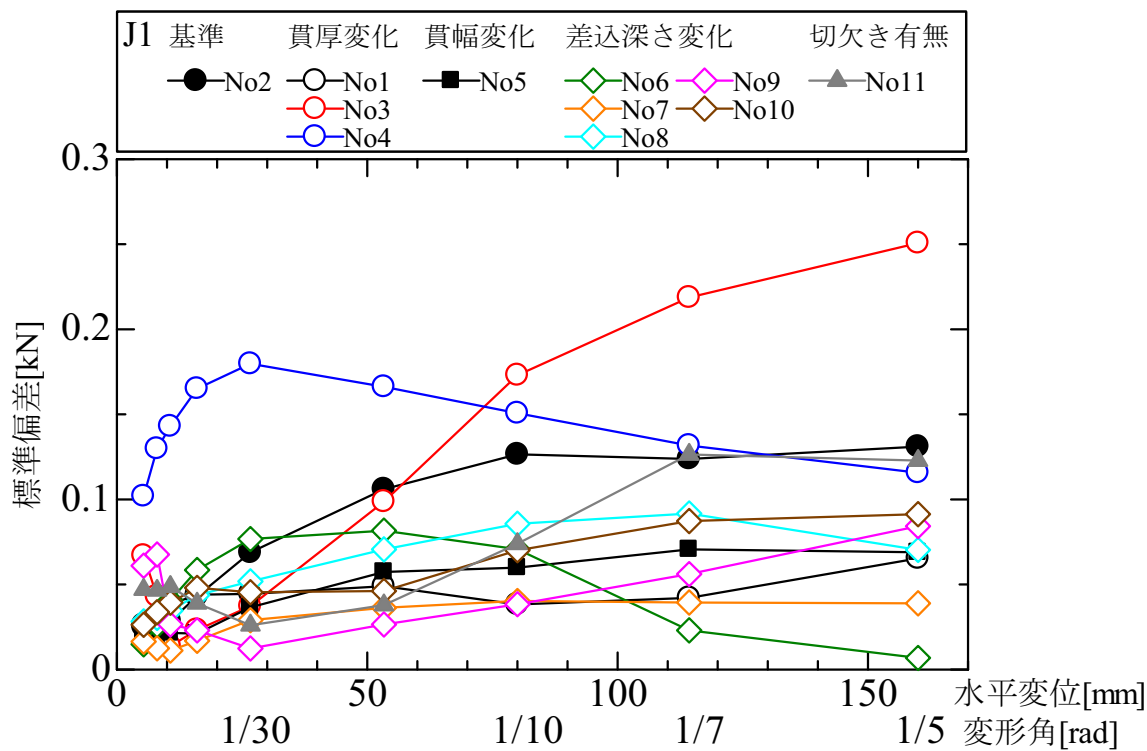


図3. 4. 2-97 J1下げ鎌の標準偏差

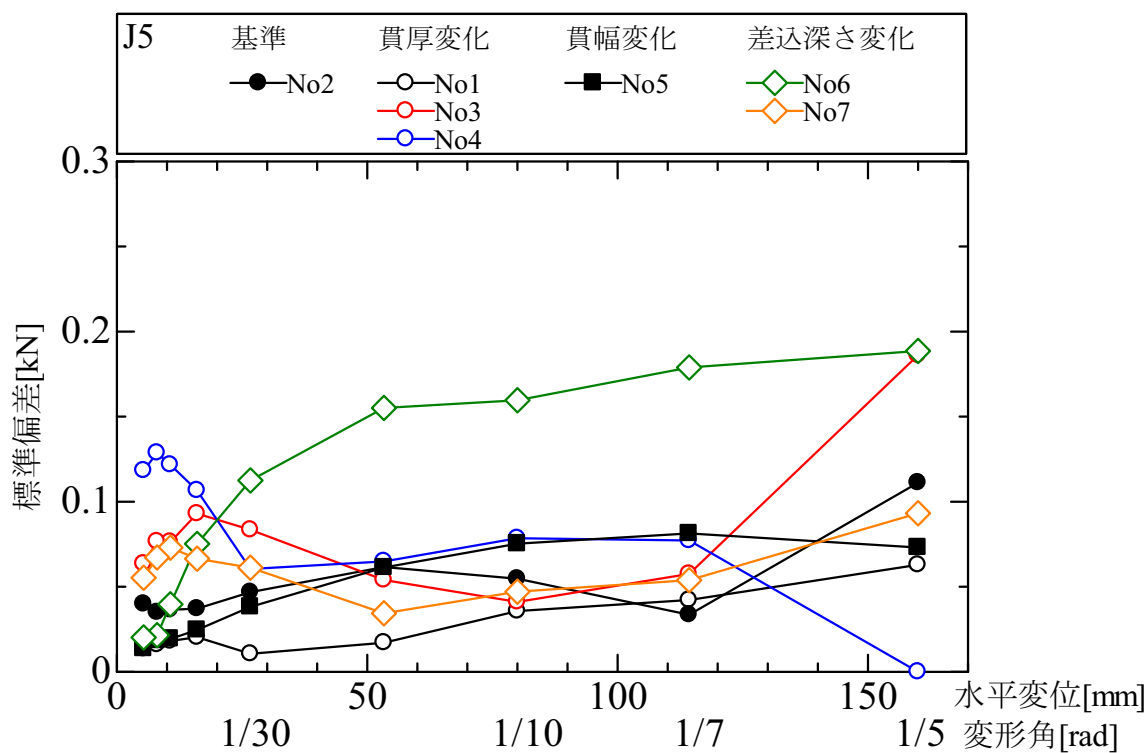


図3. 4. 2-98 J5包み込み貫の標準偏差

(b) 含水率の違いによるばらつき

載荷後に測定した柱、貫の含水率と、最大耐力の関係を見る。最大耐力と、柱含水率、貫含水率、柱と貫の含水率の差の関係をJ1、J5それぞれについて、図3.4.2-99から図3.4.2-101、および図3.4.2-102から図3.4.2-104に示す。負荷重は楔側への引き加力を示す。

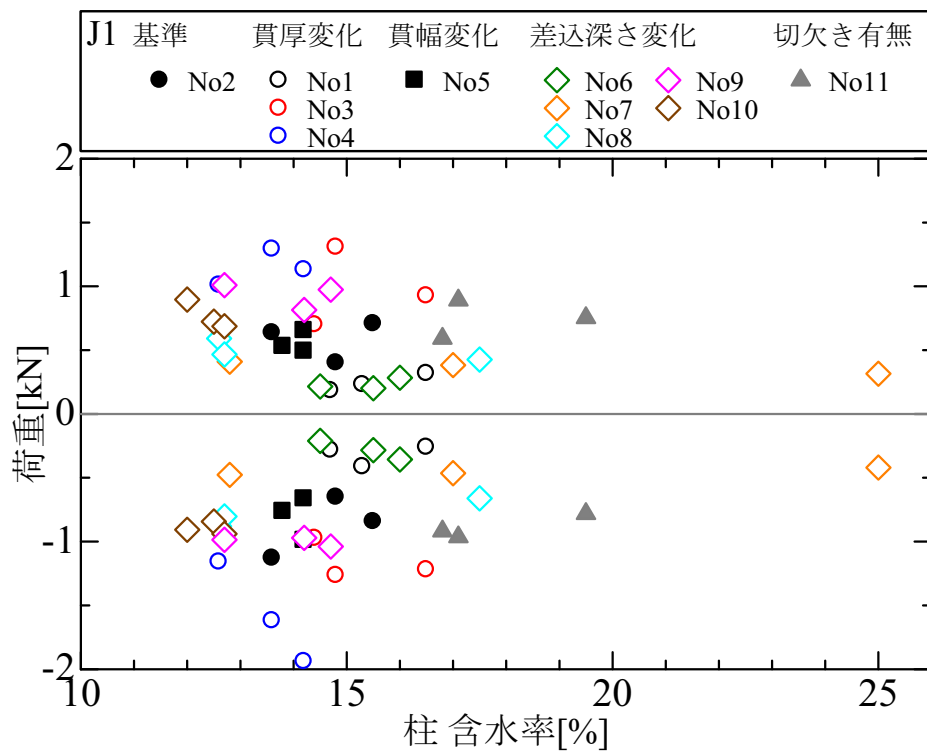


図3. 4. 2-99 J1柱含水率と最大耐力

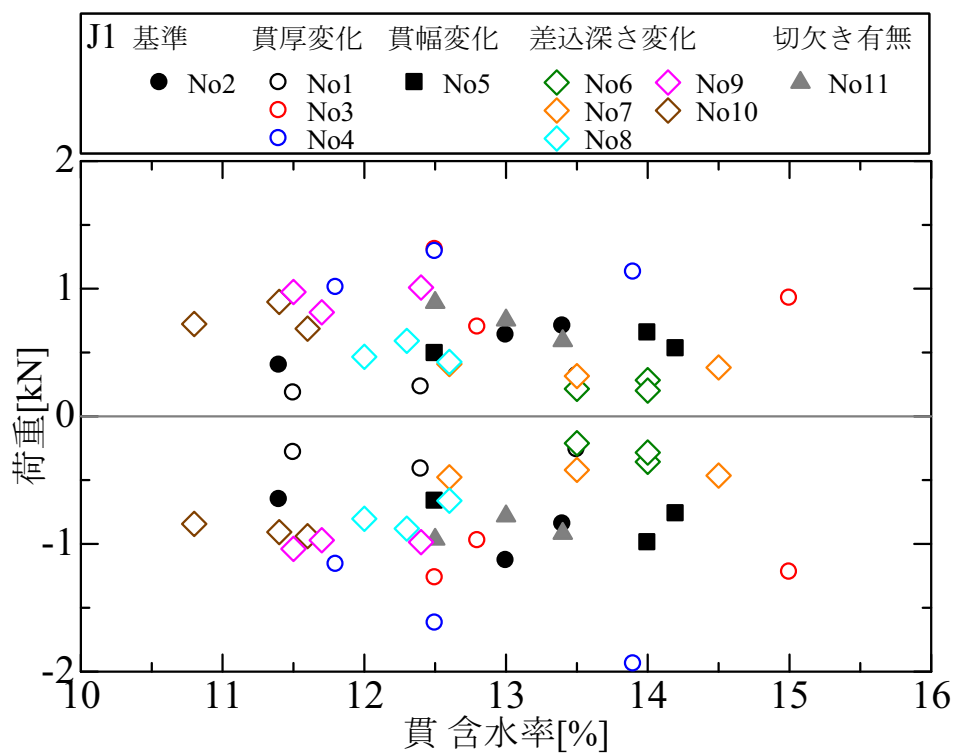


図3. 4. 2-100 J1貫含水率と最大耐力

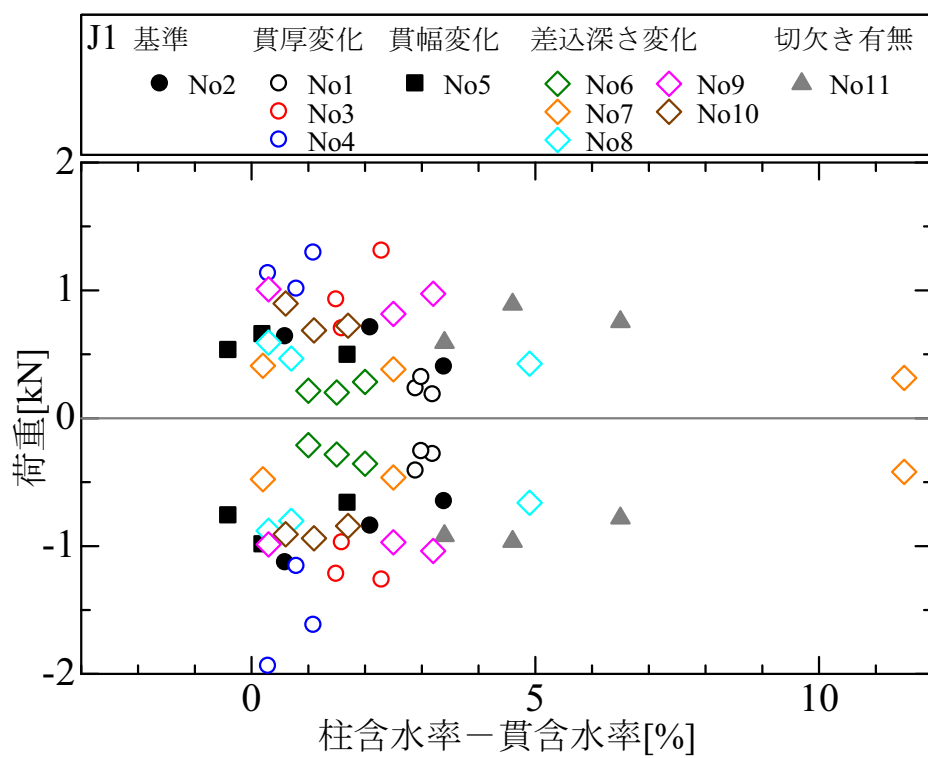


図3. 4. 2-101 J1柱含水率－貫含水率と最大耐力

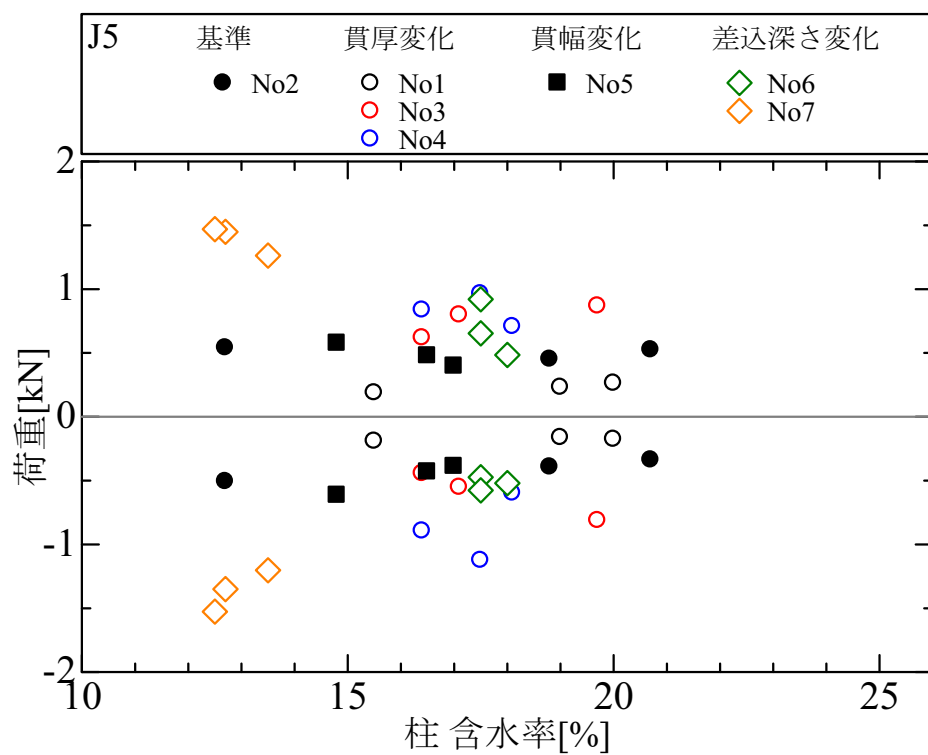


図3. 4. 2-102 J5柱含水率と最大耐力

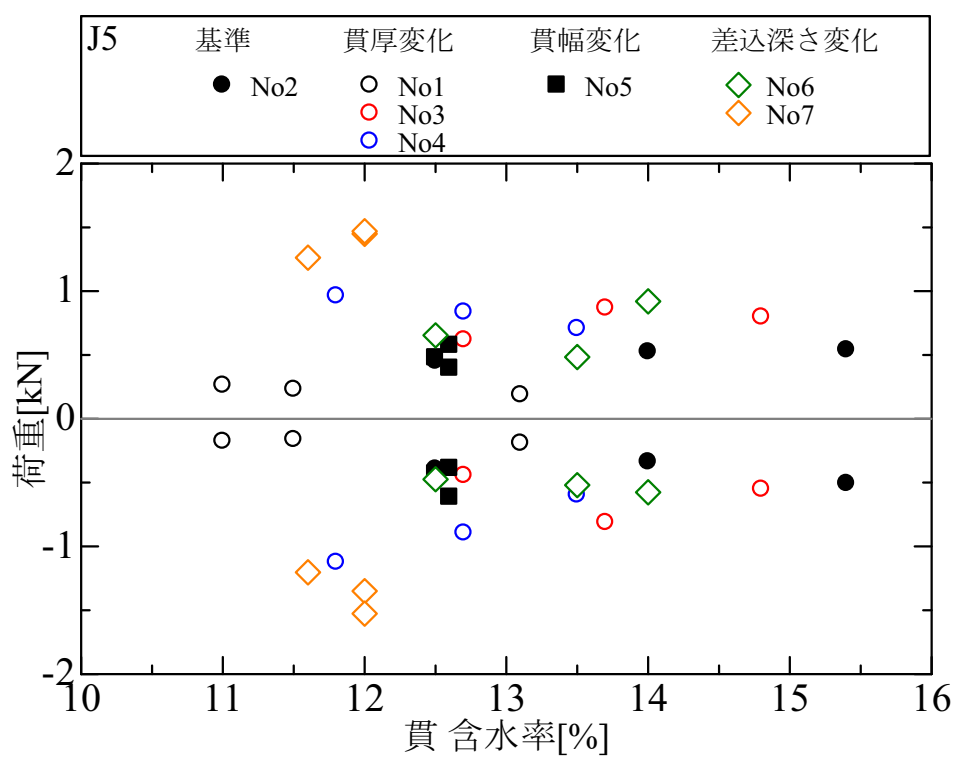


図3. 4. 2-103 J5貫含水率と最大耐力

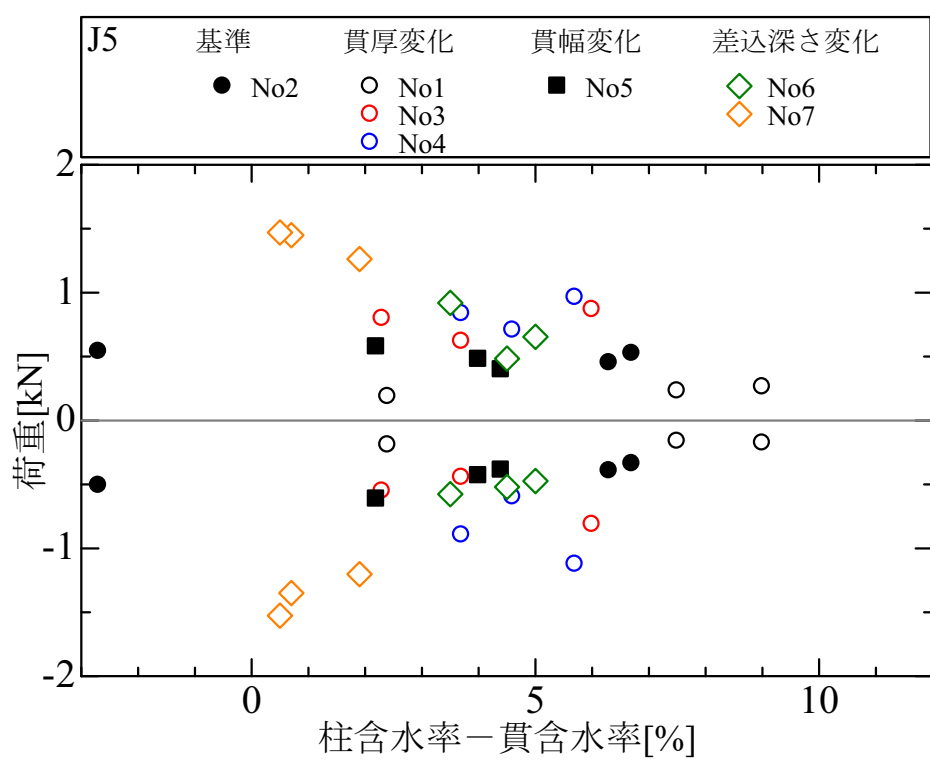


図3. 4. 2-104 J5柱含水率－貫含水率と最大耐力

図3.4.2-99のJ1柱含水率と最大耐力の関係でのNo6のように含水率が高くなるほど最大耐力が大きいものや、図3.4.2-103のJ5貫含水率と最大耐力の関係でのNo4のように含水率が高くなるほど最大耐力が小さいものがみられた。

しかし大半の試験体タイプで、そのどちらにも当てはまらないものばかりであった。J1、J5ともに含水率と最大耐力の関係は認められなかった。

(c) 楔の抜け出し量の違い

各加力サイクルにおける最大耐力と楔の抜け出し量との関係を見る。図3.4.2-105から図3.4.2-121に示す。縦軸が楔の抜け出し量、横軸は荷重で、負は楔側への引き加力、正は楔のない側への押し加力となっている。同タイプの試験が3体あるのでプロットが3個ある。実線は、加力サイクル順に1/150から1/5radまでを順につないだものである。

J1、J5とも共通して楔側（負側）に加力後、楔のない側（正側）に加力したときに楔が抜け出ていて、楔のない側に加力後（正側）、楔側（負側）へ加力したときには若干楔が沈んでいることが確認出来る。

J1No3（図3.4.2-107）、No4（図3.4.2-108）やJ5No5（図3.4.2-119）、No6（図3.4.2-120）で楔が全く抜けていない（プロットが平行に移動している）ものは、他の2体より荷重が大きくなっている。これとは逆に、J1No5（図3.4.2-109）、J1No8（図3.4.2-112）、J1No11（図3.4.2-115）、およびJ5No2（図3.4.2-117）においては、楔の抜け出しが大きく、その場合には荷重が低くなる傾向にある。

J1No1（図3.4.2-105）、J1No6（図3.4.2-110）、J1No7（図3.4.2-111）やJ5No1（図3.4.2-116）のように、初期の1/150、1/100radでの楔の抜け出し量が大きいとその後の耐力の向上が見られないことがわかる。ちなみに、この4タイプの試験体計12体は、すべて女性の手で楔を打ち込んだ試験体であった。

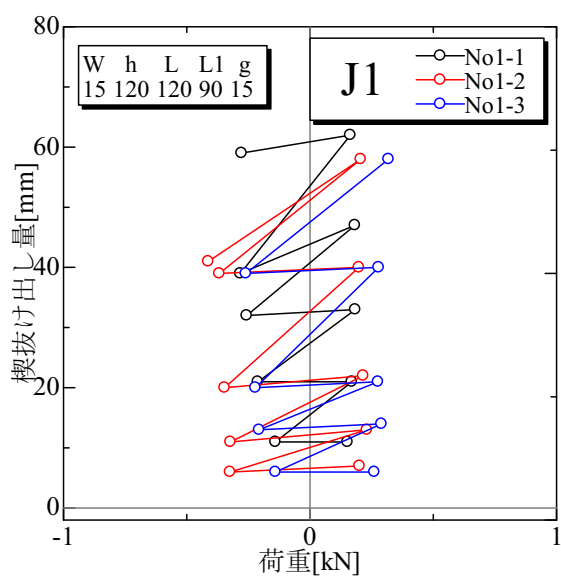


図3.4.2-105 J1No1楔抜け出し量と最大耐力

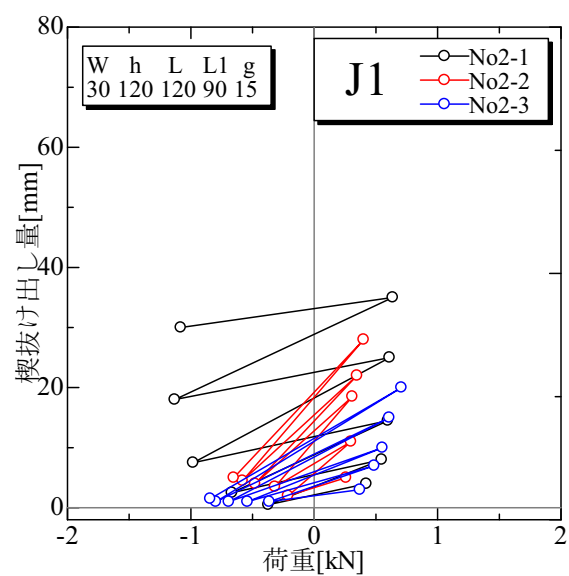


図3.4.2-106 J1No2楔抜け出し量と最大耐力

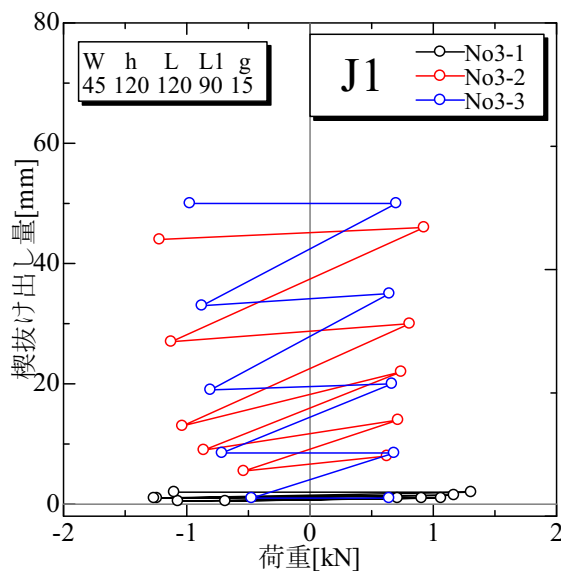


図3.4.2-107 J1No3楔抜け出し量と最大耐力

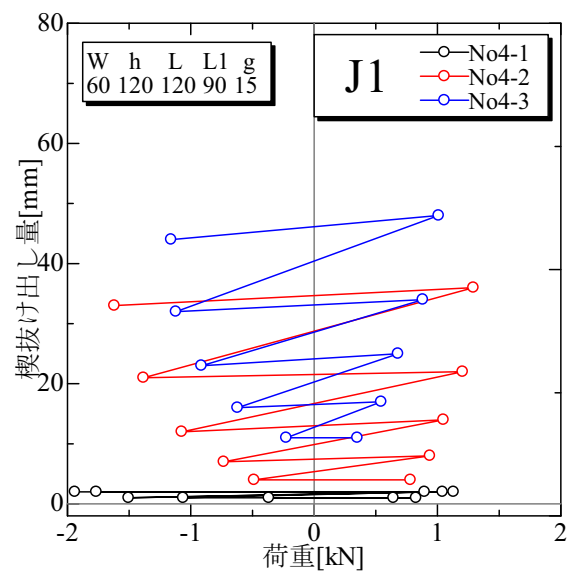


図3.4.2-108 J1No4楔抜け出し量と最大耐力

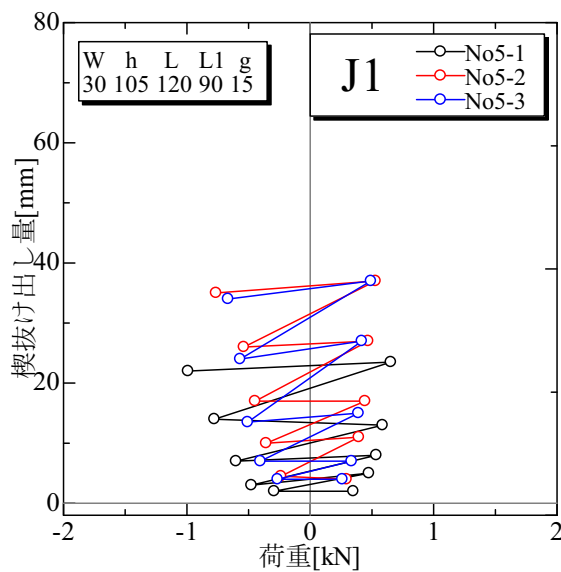


図3.4.2-109 J1No5楔抜け出し量と最大耐力

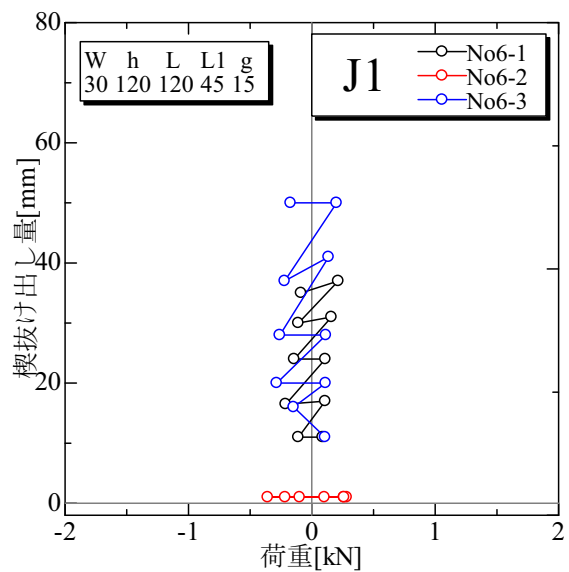


図3.4.2-110 J1No6楔抜け出し量と最大耐力

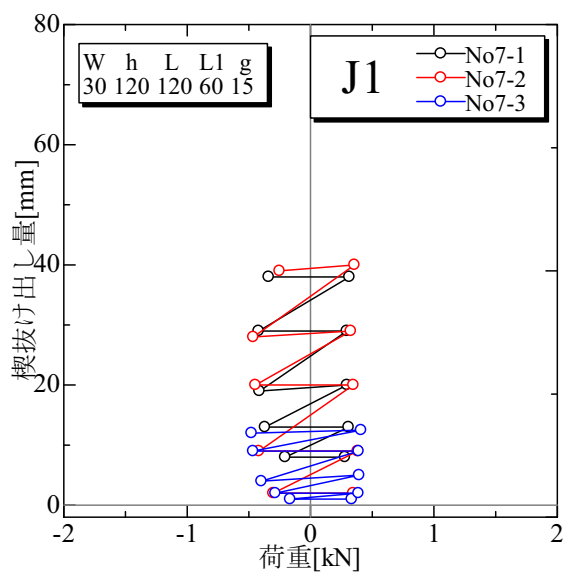


図3.4.2-111 J1No7楔抜け出し量と最大耐力

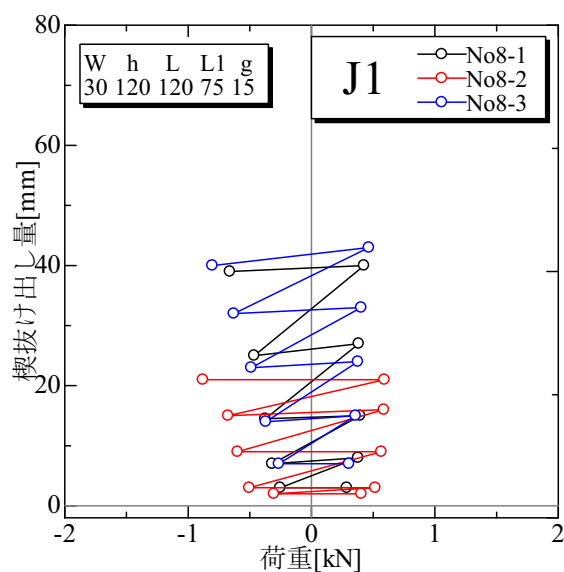


図3.4.2-112 J1No8楔抜け出し量と最大耐力

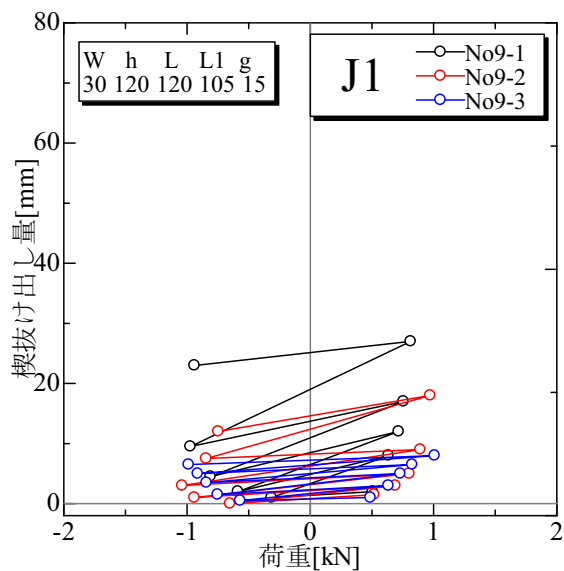


図3.4.2-113 J1No9楔抜け出し量と最大耐力

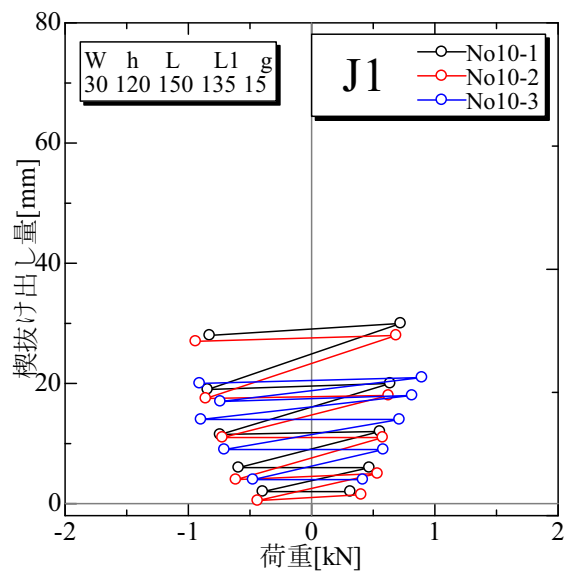


図3.4.2-114 J1No10楔抜け出し量と最大耐力

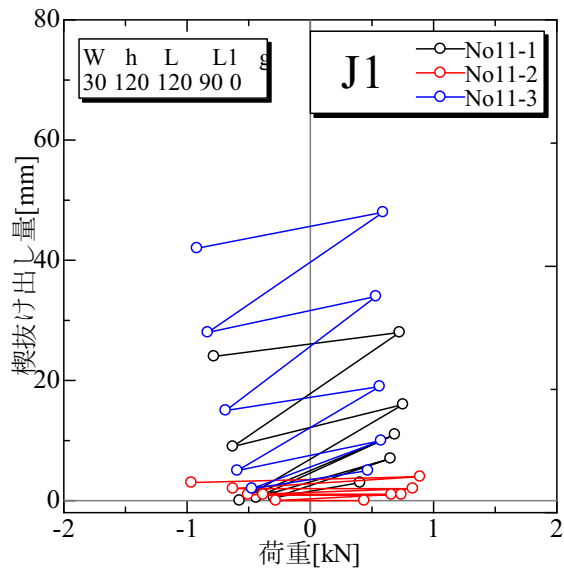


図3.4.2-115 J1No11楔抜け出し量と最大耐力

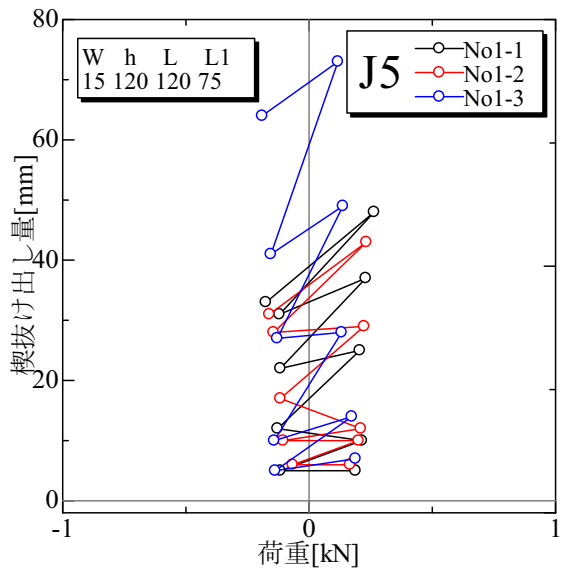


図3.4.2-116 J5No1楔抜け出し量と最大耐力

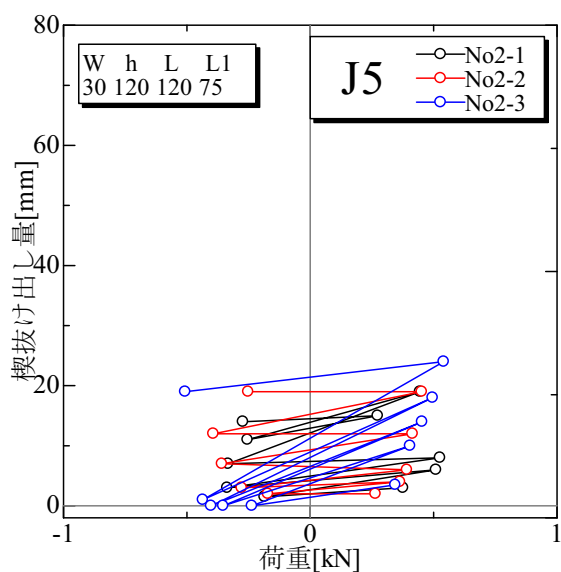


図3.4.2-117 J5No2楔抜け出し量と最大耐力

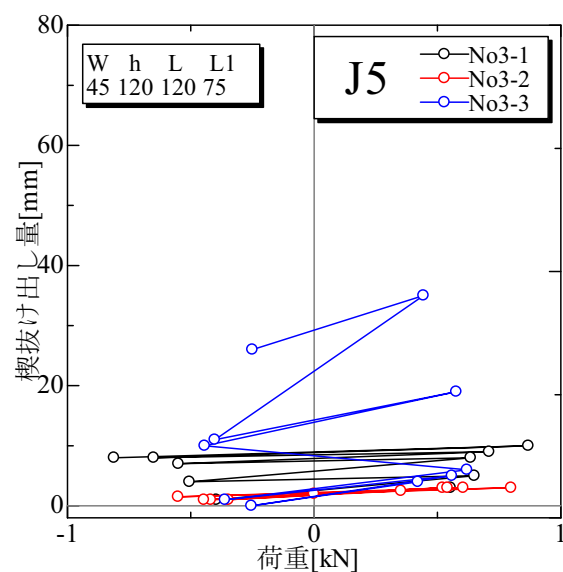


図3.4.2-118 J5No3楔抜け出し量と最大耐力

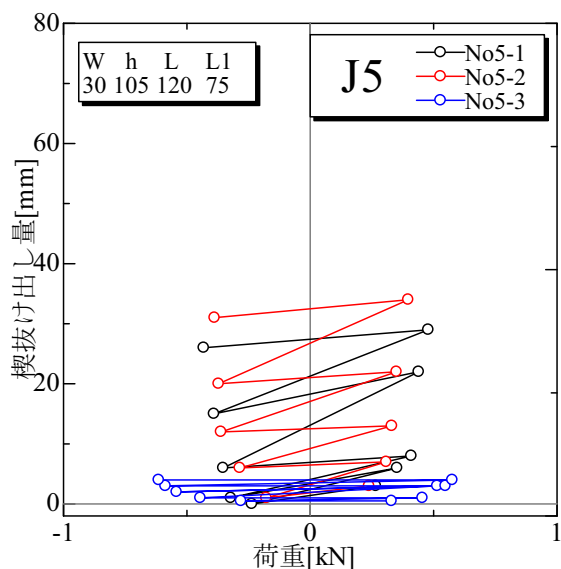


図3.4.2-119 J5No5楔抜け出し量と最大耐力

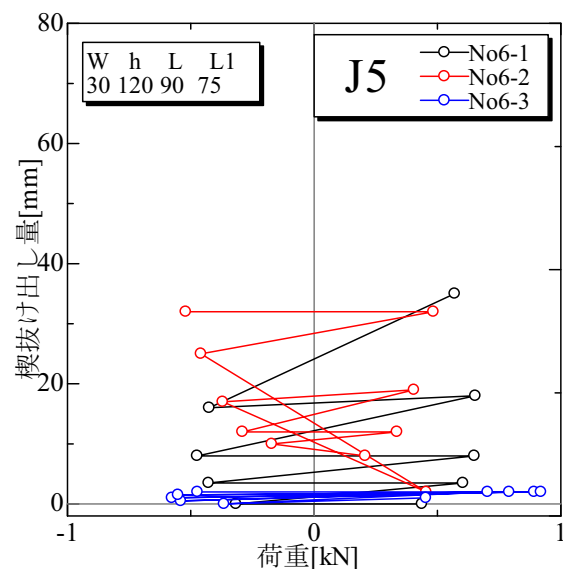


図3.4.2-120 J5No6楔抜け出し量と最大耐力

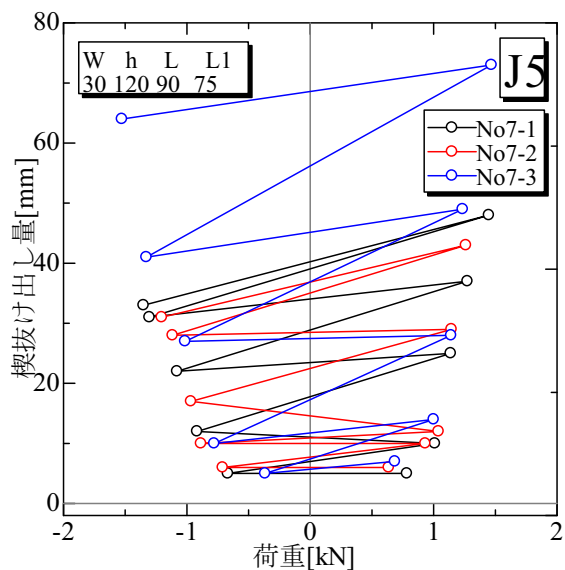


図3.4.2-121 J5No7楔抜け出し量と最大耐力

(d) 貫の浮き上がり量の違い

各加力サイクルにおける貫の浮き上がり量を以下のようにして求めた。貫の浮き上がりは貫の中心で考えるものとし、変位計V1、V2で測定した仕口部の貫の鉛直方向変位の平均値によって決まるとした。そして各加力サイクルにおける浮き上がり量を図3.4.2-122のようにして求めた。その結果を図3.4.2-123から3.4.2-139に示す。縦軸に貫の浮き上がり量、横軸に各加力サイクルにおける最大耐力をとって試験体ごとに加力サイクル順に線をつないでいる。

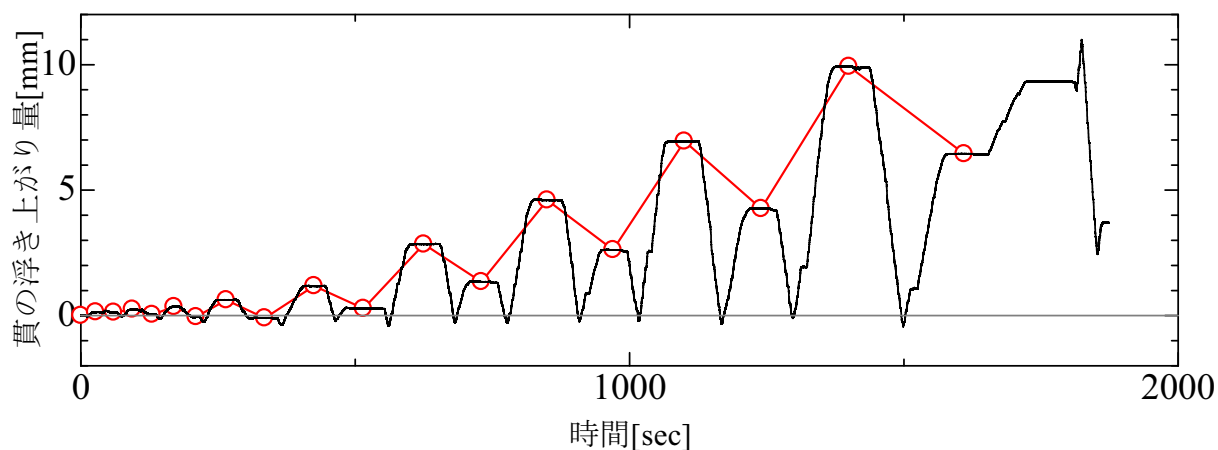


図3. 4. 2-122 貫の浮き上がり量の求め方

J1No3-1 (図3.4.2-125)、J1No4-1 (図3.4.2-126) やJ1No6-2 (図3.4.2-128) では、加力が $1/5\text{rad}$ に近づくにつれ同一タイプ内の他の2体より貫が大きく浮き上がる。ところで、これらの試験体での楔の抜け出し量を見ると、J1No3-1 (図3.4.2-107)、J1No4-1 (図3.4.2-108) やJ1No 6-2 (図3.4.2-110) で示したように楔の抜け出しは全く確認されていない。すなわち、これらの試験体では、楔と貫の抜け出しが異なる動きをしている事がわかる。ところが、J1No9 (図3.4.2-131)、J1No10 (図3.4.2-132) やJ5No6 (図3.4.2-138) では、 $1/5\text{rad}$ での貫の浮き上がりは確認できるが、楔も同じように抜け出していて、同一タイプ内の他の2体との大きな違いは見られないものもある。

貫の浮き上がりは、実験の最終段階では必ず残り、J1、J5ともに最低でも4ミリとなった。ところで、加力の途中段階では、J1において、No1 (図3.4.2-123)、No2 (図3.4.2-124)、No5 (図3.4.2-127)、No7 (図3.4.2-129) で貫は沈みこんでいる（負側の値となっている）ことが確認できる。ちなみに、そのうちNo1、No7試験体は女性の手で楔を打ち込んだ試験体である。

なお、同一タイプ内における浮き上がり量のばらつきは、切欠きを有するJ1より切欠きのないJ5の方が大きい。

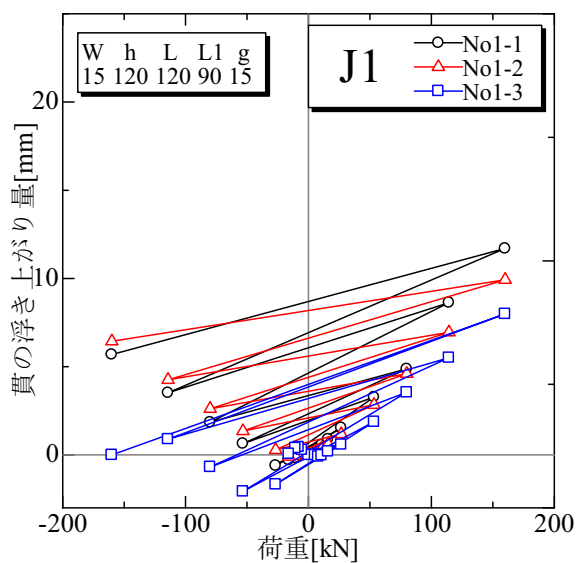


図3. 4. 2-123 J1No1楔抜け出し量と最大耐力

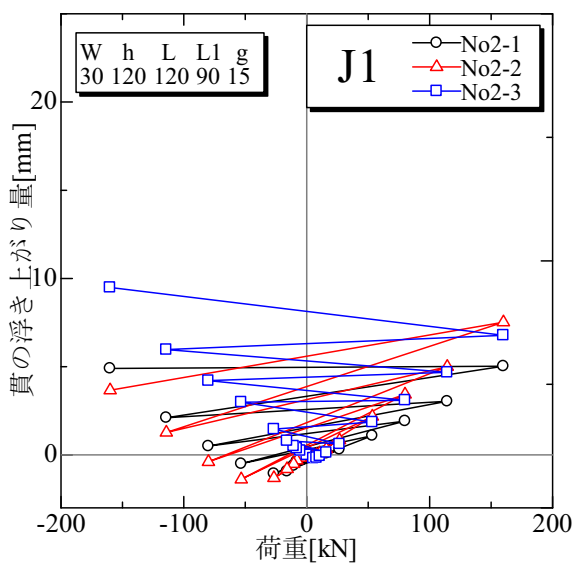


図3. 4. 2-124 J1No2楔抜け出し量と最大耐力

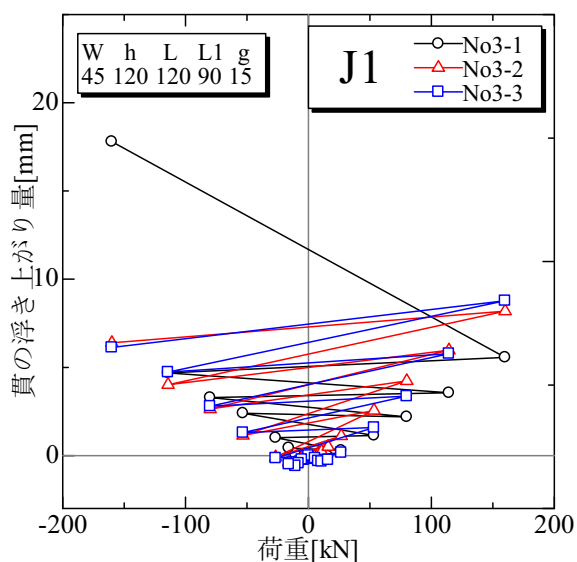


図3. 4. 2-125 J1No3楔抜け出し量と最大耐力

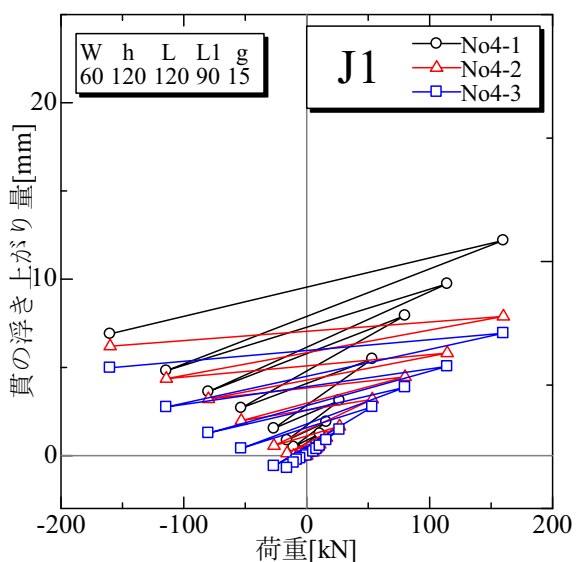


図3. 4. 2-126 J1No4楔抜け出し量と最大耐力

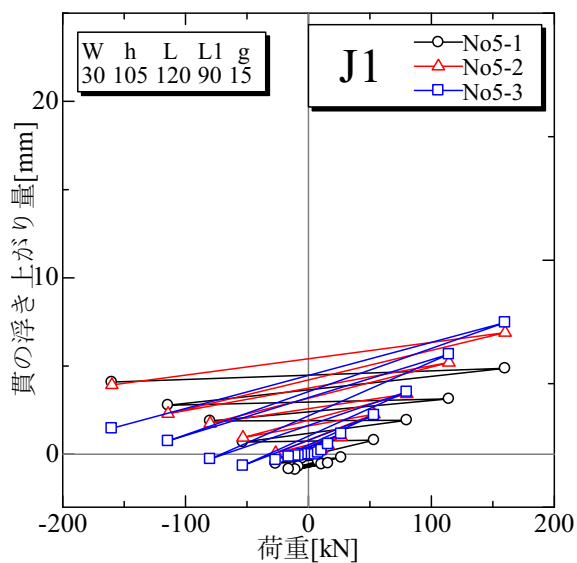


図3. 4. 2-127 J1No5楔抜け出し量と最大耐力

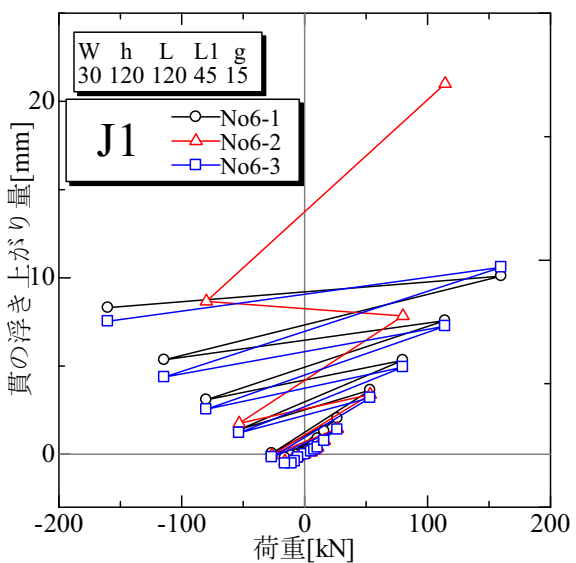


図3. 4. 2-128 J1No6楔抜け出し量と最大耐力

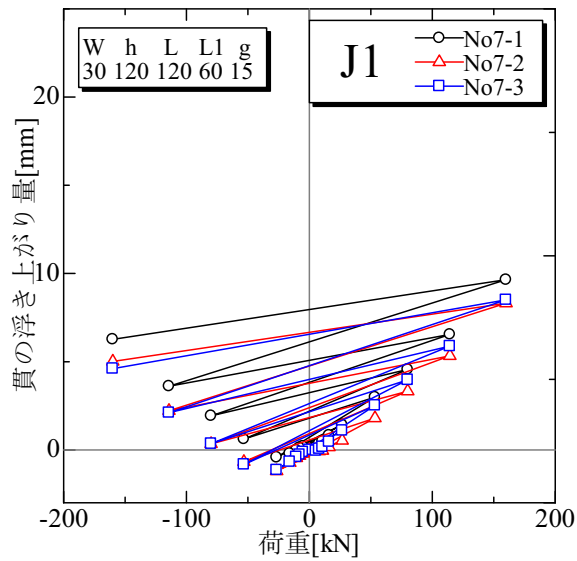


図3.4.2-129 J1No7楔抜け出し量と最大耐力

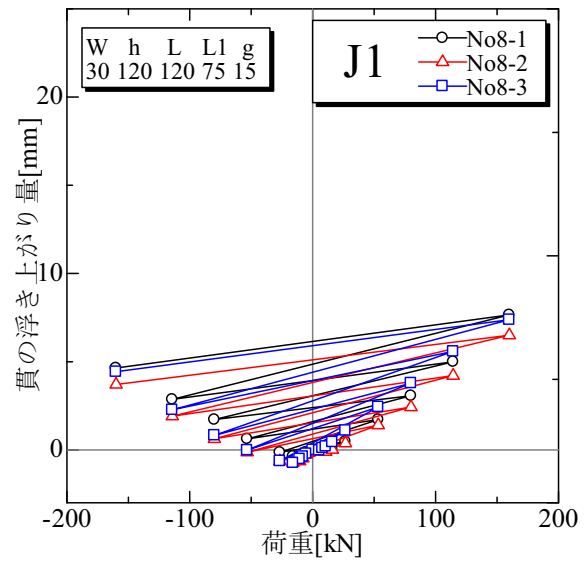


図3.4.2-130 J1No8楔抜け出し量と最大耐力

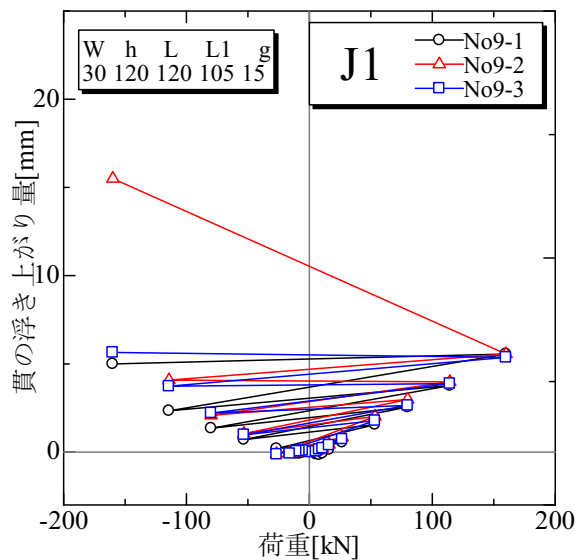


図3.4.2-131 J1No9楔抜け出し量と最大耐力

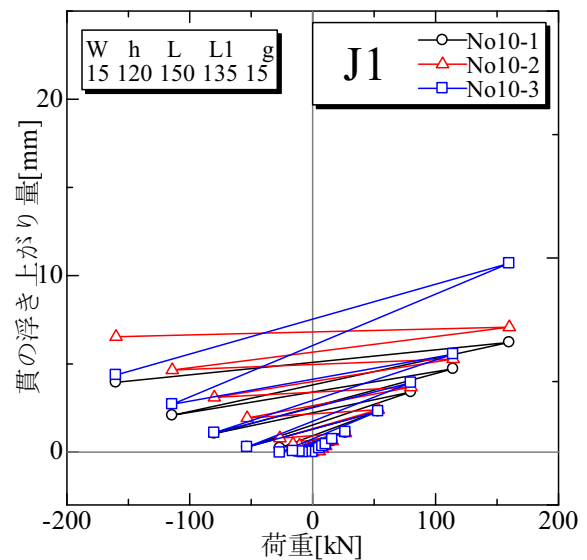


図3.4.2-132 J1No10楔抜け出し量と最大耐力

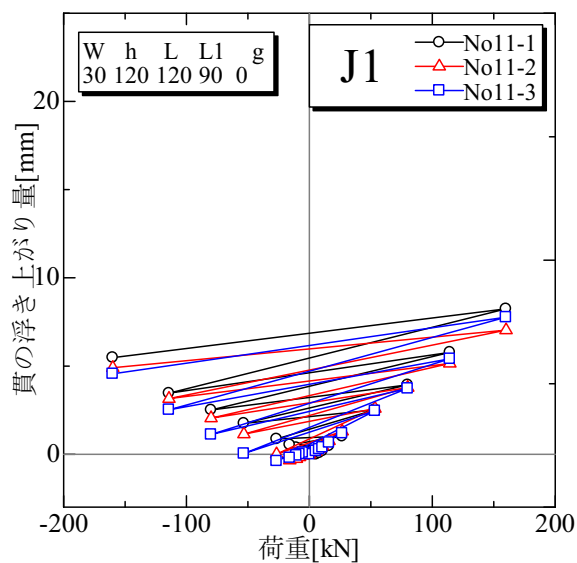


図3.4.2-133 J1No11楔抜け出し量と最大耐力

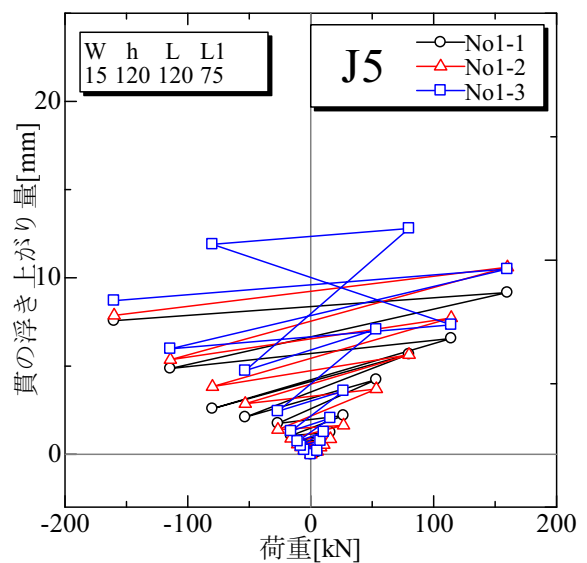


図3.4.2-134 J5No1楔抜け出し量と最大耐力

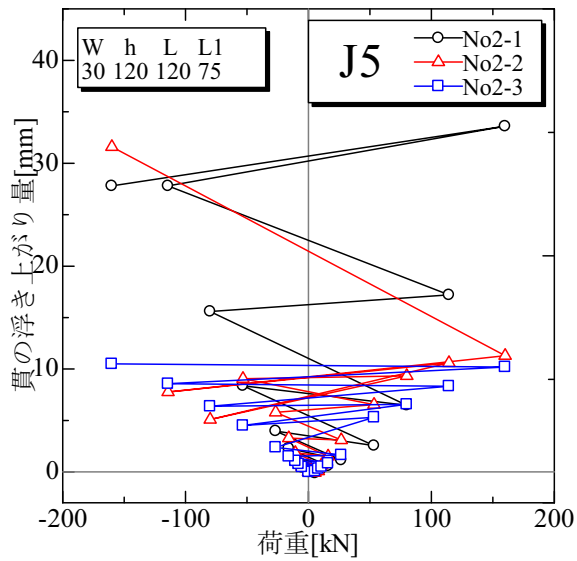


図3.4.2-135 J5No2楔抜け出し量と最大耐力

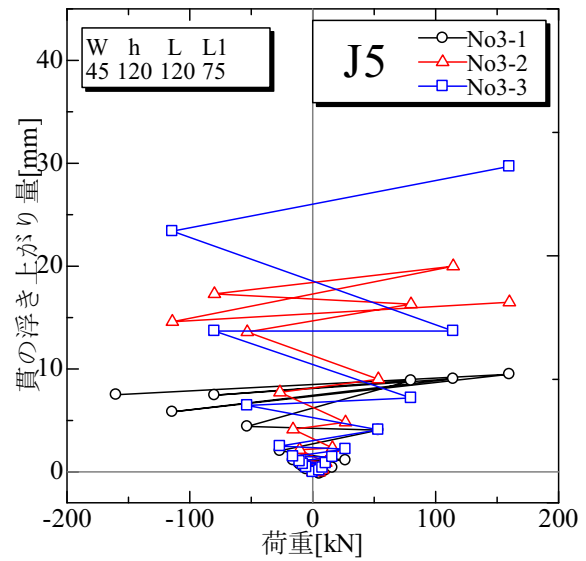


図3.4.2-136 J5No3楔抜け出し量と最大耐力

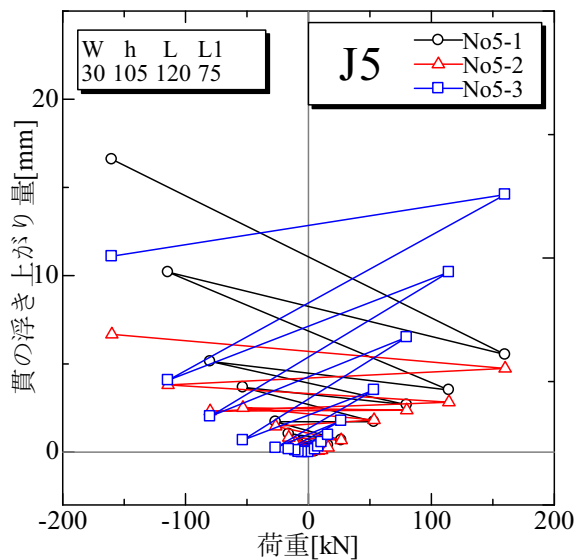


図3.4.2-137 J5No5楔抜け出し量と最大耐力

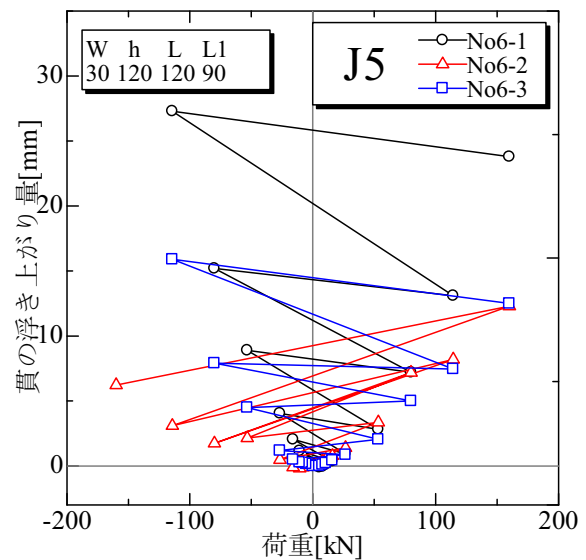


図3.4.2-138 J5No6楔抜け出し量と最大耐力

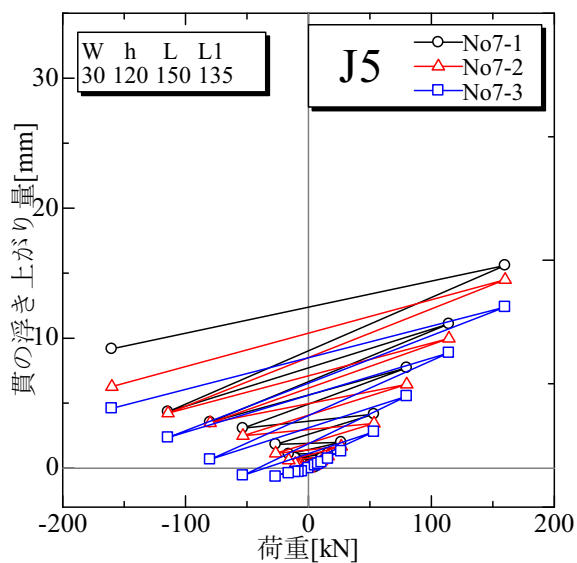


図3.4.2-139 J5No7楔抜け出し量と最大耐力

4) 考察：各種パラメータ（貫厚、貫幅など）による影響

(a) 貫厚による影響

貫厚による影響を見るために、横軸に貫厚（mm）、縦軸に各加力サイクルの最大荷重（kN）をとったグラフをJ1、J5に分けてそれぞれ図3.4.2-140、図3.4.2-141に示す。縦軸が正は楔のない側に貫を押した場合を、負は楔側を引いた場合を示す。同タイプの試験体が3体あるので、同一貫厚としてプロットが3個ある。実線は同一貫厚試験体の結果の平均をつないだものである。

J1では、加力変位が1/15radまでは最大耐力は貫厚45mmで最も大きい値を示し、それ以上貫が厚くなっても耐力は上がらない。加力変位が、1/10、1/7、1/5radと大きい場合には、貫厚が大きくなるほど最大耐力が上がっていることが分かる。

J5では全加力サイクルにおいて貫厚が大きくなるほど最大耐力が上がっていることが分かる。

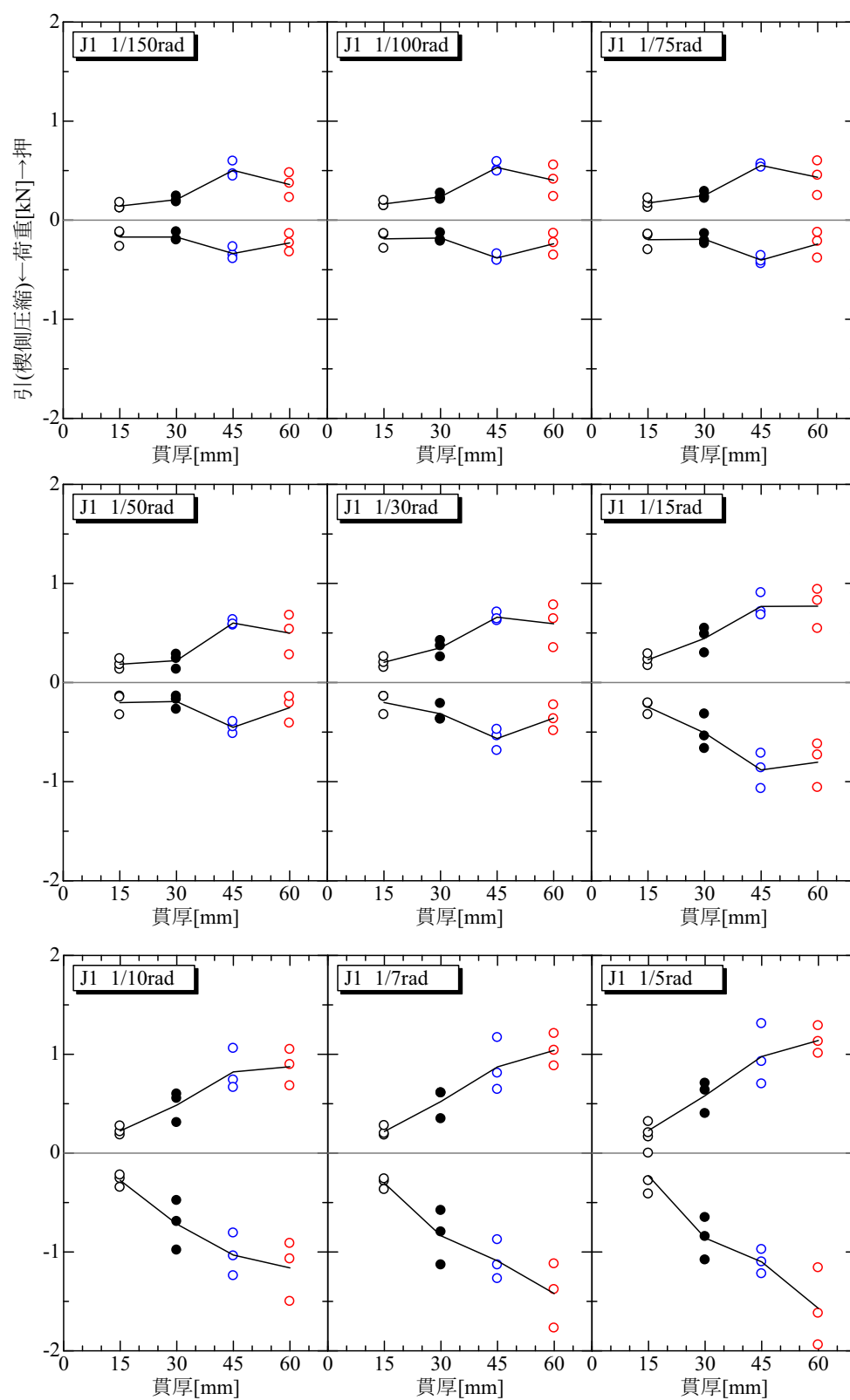


図3. 4. 2-140 J1履歴最大耐力-貫厚

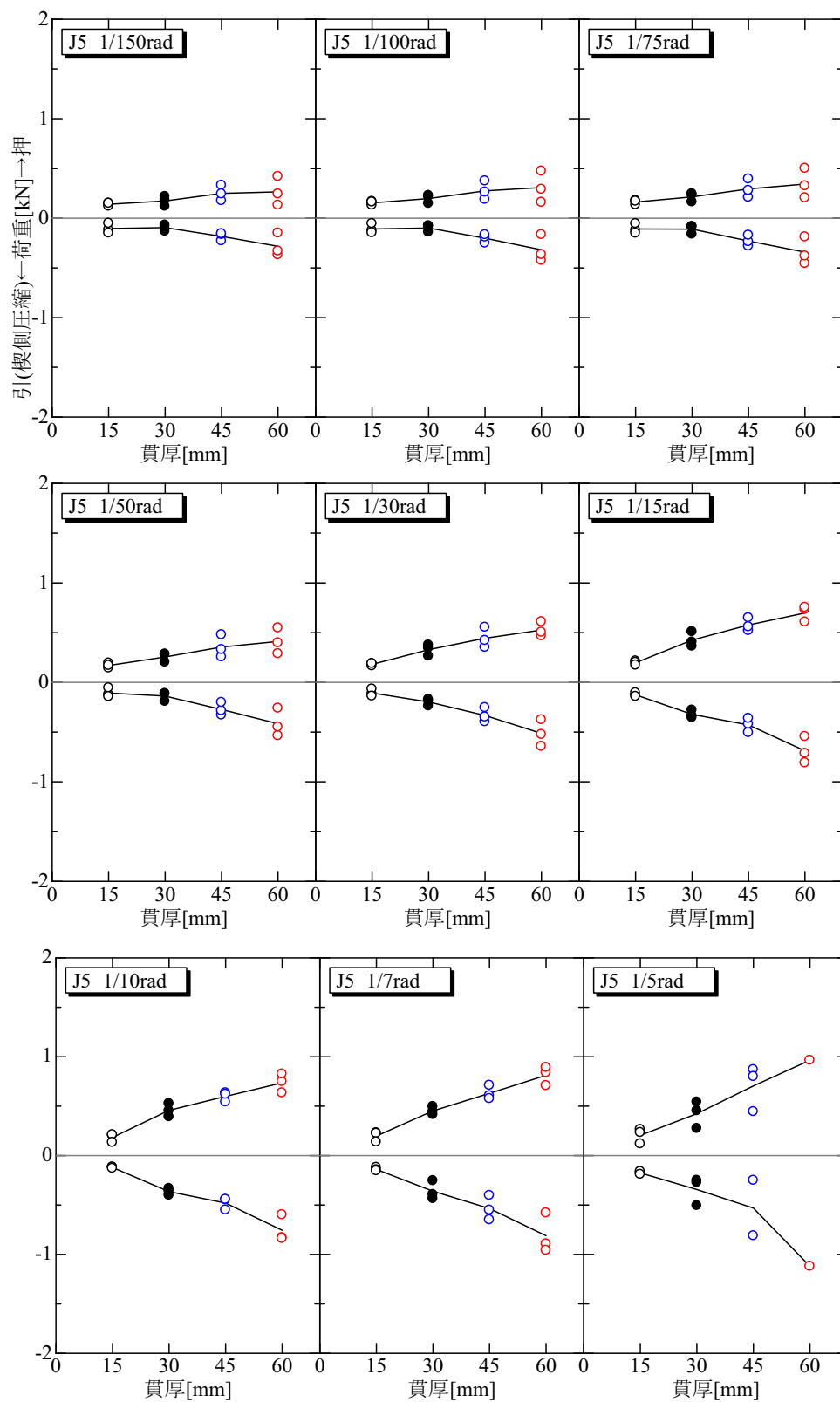


図3. 4. 2-141 J5履歴最大耐力-貫厚

(b) 貫幅による影響

貫幅による影響を見るために、横軸に貫幅 (mm)、縦軸に各加力サイクルの最大荷重 (kN) をとったグラフをJ1、J5に分けて、それぞれ図3.4.2-142、図3.4.2-143に示す。縦軸の＋、プロットおよび実線の意味は図3.4.2-140と同じである。

最大耐力を、J1、J5とも加力サイクルごとに、貫幅105mm、120mmの場合で比較すると、大小関係はまちまちである。

J1については、1/150～1/30rad時には、貫幅の違いによる耐力の差は認められないが、1/15から1/5radになると貫幅が120mmと大きい場合の方が105mmと小さい場合よりも耐力が大きくなる傾向にある。

J5については、楔側に引く場合には、貫幅が大きくなると耐力が小さくなる傾向にある。また楔のない側に押す場合でも、1/5rad時には同様の傾向が見られる。

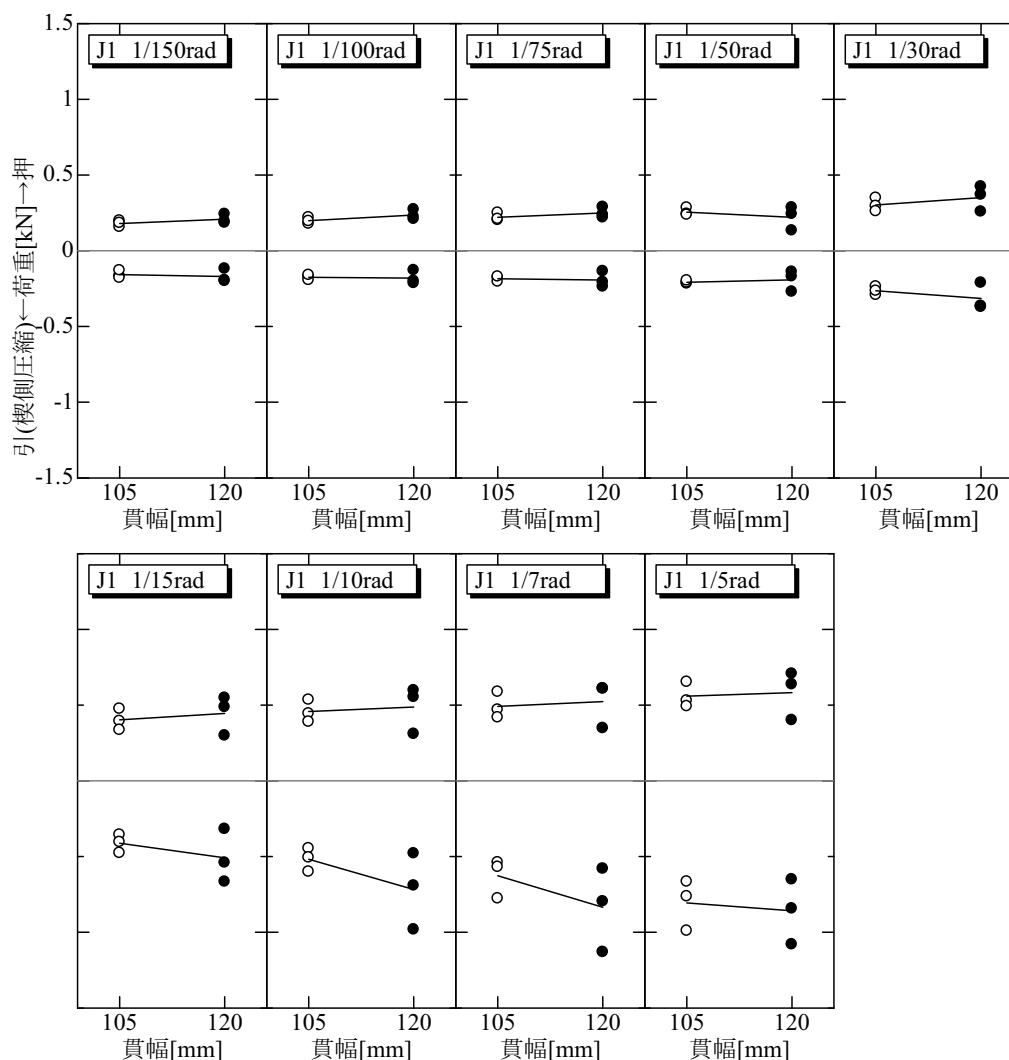


図3.4.2-142 J1履歴最大耐力-貫幅

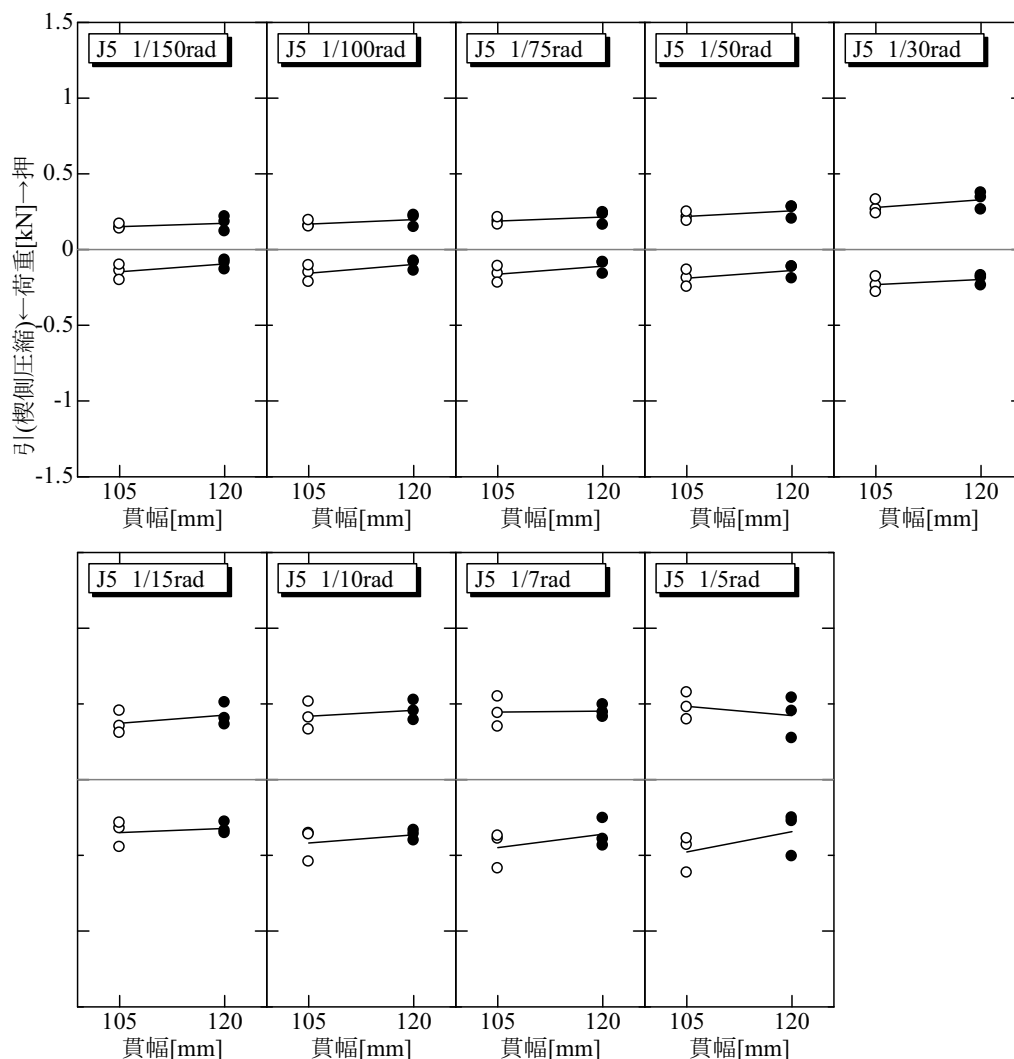


図3.4.2-143 J5履歴最大耐力-貫幅

(c) 差込深さによる影響

貫の柱への差込深さによる影響を見るために、横軸に差込深さ (mm)、縦軸に各履歴の最大荷重 (kN) をとったグラフをJ1、J5に分けて、それぞれ図3.4.2-144、図3.4.2-145に示す。縦軸の正負、プロットおよび実線の意味は図3.4.2-140と同じである。

J1では、差込深さ135mmは貫厚15mmの場合のみで、他の差込深さものは貫厚30mmなので、明確に比較できるものではないが、参考までに同じ図中に示す。J5はすべて貫厚30mmである。

J1では、差込深さによる最大耐力への影響は1/75radまでは明確には見られない。しかし変形角が大きくなるにつれ、差込深さが大きくなるほど、差し込み深さによる最大耐力への影響は大きくなっている。差込深さ135mmの場合に、耐力が落ちているのは、貫厚が15mmと薄いせいと考えられる。

J5では差込深さが大きくなるほど、最大耐力が上がっていることが分かる。また、変形角が大きくなる程その程度は大きくなっている。

なお、J1、J5を比較するとJ5の方が最大耐力がやや大きいことがわかる。

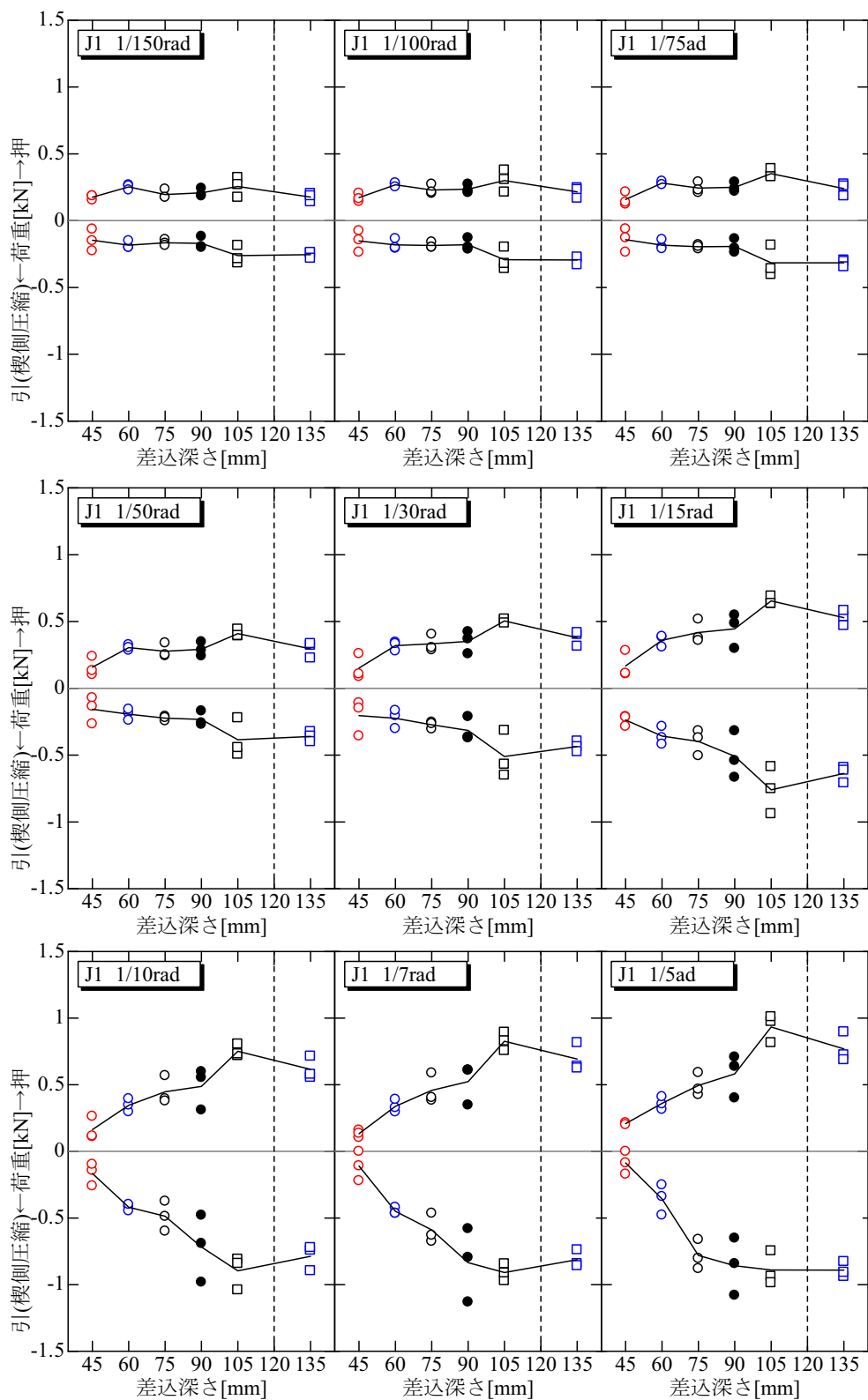


図3.4.2-144 J1履歴最大耐力-貫幅

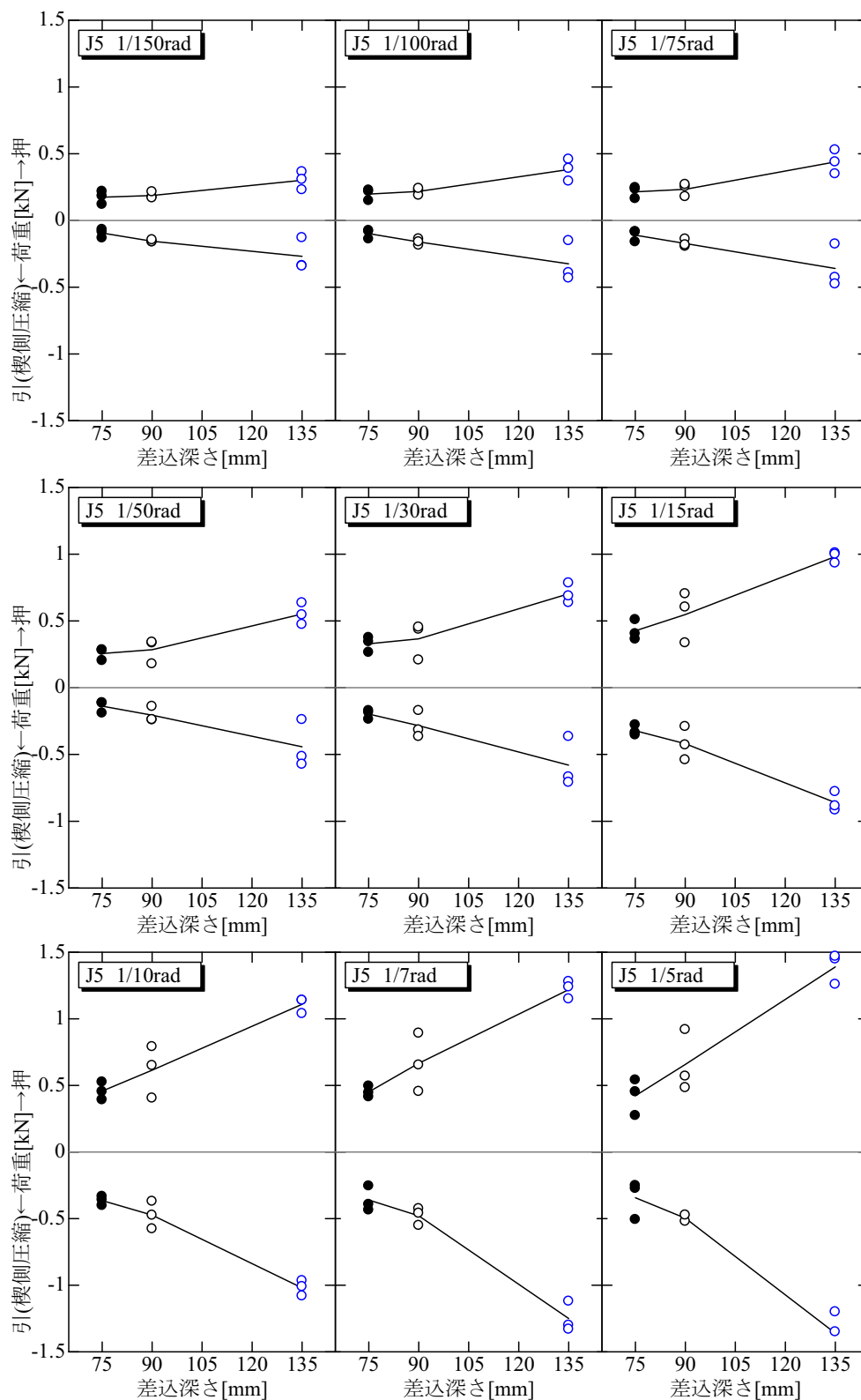


図3.4.2-145 J5履歴最大耐力-貫幅

(d) 切欠きの有無による影響

J1試験体が有する貫の切欠きが最大耐力に及ぼす影響を見るために、横軸に切欠き有無、縦軸に各加力サイクルの最大荷重 (kN) をとったグラフを図3.4.2-146、図3.4.2-147に示す。図3.4.2-146は差込深さ90mm同士のJ1No2 (切欠き有) とJ1No11 (切欠き無)、図3.4.2-147は差込深さ75mm同士のJ1No8 (切欠き有) J5No2 (切欠き無) の比較になっている。縦軸の正負、プロットおよび実線の意味は図3.4.2-140と同じである。

同じパラメータの試験体で比較すると、1/15rad以上では、特に楔側に引く場合には、切欠きを有する方が最大耐力がわずかに大きくなる傾向にある。1/30rad以下では差はみられない。

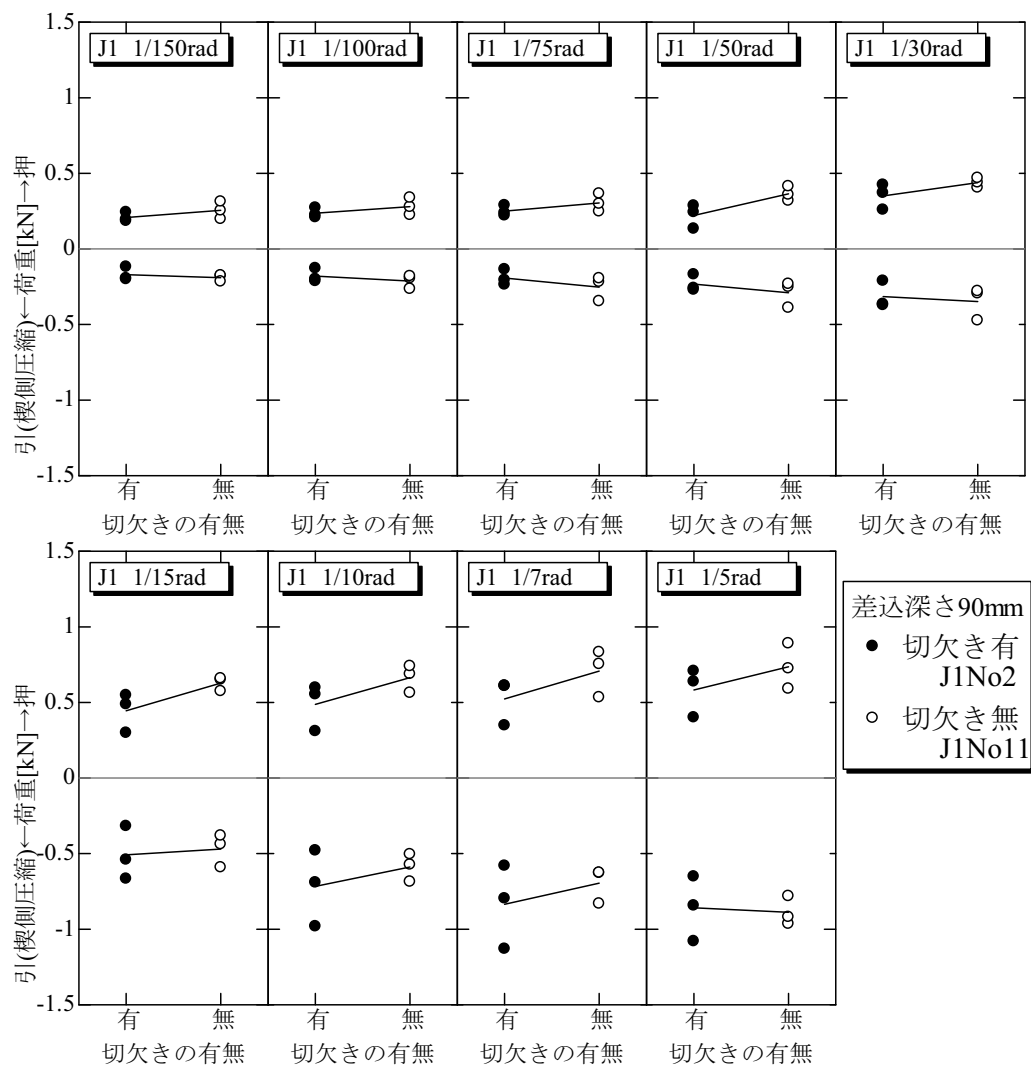


図3. 4. 2-146 履歴最大耐力-切欠きの有無

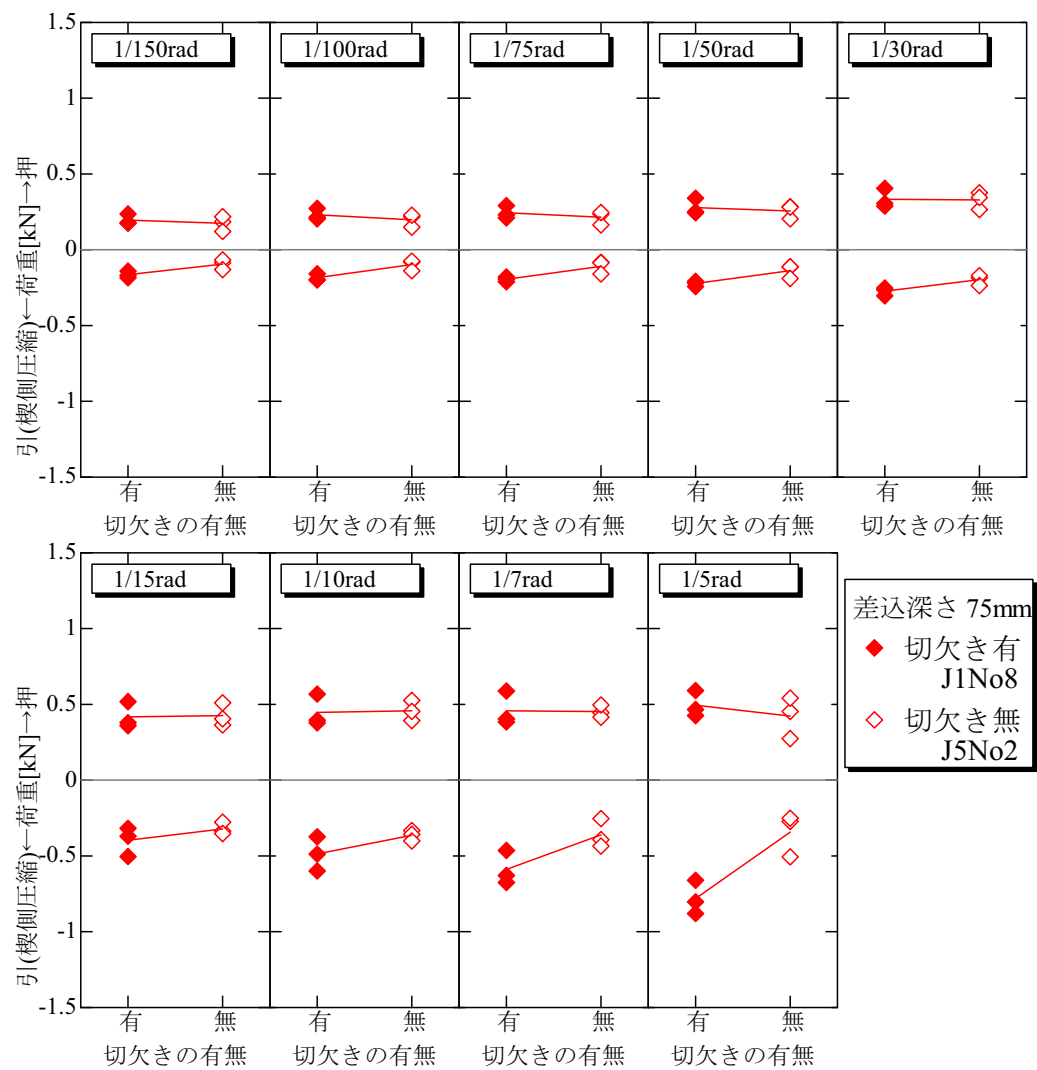


図3. 4. 2-147 履歴最大耐力-切欠きの有無

5) まとめ

下げ鎌 (J1)、包み込み貫 (J5) について、各種パラメータが最大耐力に及ぼす影響をまとめると以下ようになる。

- a) 貫厚が大きくなると、最大耐力は向上する。ただし、J1では、加力変位が1/15radまでは最大耐力は貫厚45mmで最も大きい値を示し、それ以上貫が厚くなっても耐力は上がらない。加力変位が、1/10、1/7、1/5radと大きい場合には、貫厚が大きくなるほど最大耐力は上がる。
- b) 貫幅が大きくなると、最大耐力は向上する。ただし、J5では、楔側に引く場合には、貫幅が大きくなると耐力が小さくなる傾向にある。
- c) 差込深さが深くなると、最大耐力は向上する。変形角が大きいほど、その傾向は顕著である。
- d) 切欠きの影響は、1/15rad以上で楔側に引く場合には、切欠きを有する方が最大耐力はわずかに大きくなる傾向にある。

ただし、以上のまとめは、実験結果に大きなバラツキがある中でのものである。バラツキの原因を明らかにするため、含水率、楔の抜け出し量、貫の浮き上がり量と最大耐力との関係を検討したが明確な結果は得られなかった。

（５）試験体番号J2, J3, J4試験体

1) 試験方法

試験体および試験概要は、図3.4.2-148～153、表3.4.2-30～32に示した通りである。J2試験体は図3.4.2-148に示したように、胴付き小根ホゾ鼻栓止めであり、表3.4.2-30に示した8種類の試験体各3体について試験を行った。試験は、図3.4.2-149に示したように柱部分をボルトで固定、加力ジャッキにより試験体が破壊後荷重が低下するまで加力して行った。加力方法は正負交番1回繰り返し加力とし、その変形角履歴は1/150、1/100、1/75、1/50、1/30、1/15、1/10radであった。また加力位置は、柱心から740mmの位置であった。

J3試験体は図3.4.2-150に示したように、胴付き小根ホゾ込み栓止めであり、表3.4.2-31に示した10種類の試験体各3体について試験を行った。試験は、図3.4.2-151に示したように柱部分をボルトで固定、柱心から800mmの位置を加力して行った。加力方法、変形角履歴はJ2試験体と同じであった。

J4試験体は図3.4.2-152に示したように、胴付き小根ホゾ割り楔締めであり、表3.4.2-32に示した7種類の試験体各3体について試験を行った。図3.4.2-153に示したように柱部分をボルトで固定、柱心から800mmの位置を加力した。加力方法、変形角履歴はJ2試験体と同じであった。

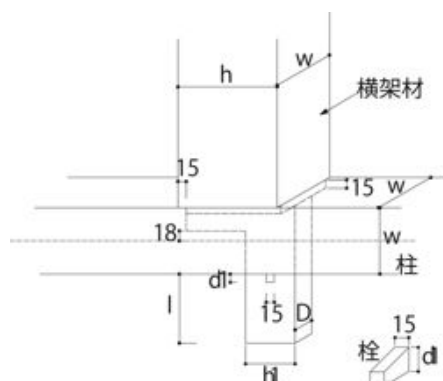


図3. 4. 2-148 胴付き小根ホゾ鼻栓止めの形状 (J2試験体)

表3. 4. 2-30 J2試験体寸法詳細

No	W	h	l	h1	d1	d2	D
J2-1	120	180	120	90	15	15	30
J2-2	150	180	120	90	15	15	30
J2-3	120	240	120	120	15	15	30
J2-4	120	300	120	150	15	15	30
J2-5	120	180	105	90	5	15	30
J2-6	120	180	150	90	15	15	30
J2-7	120	180	120	90	30	15	30
J2-8	120	180	120	90	5	15	36

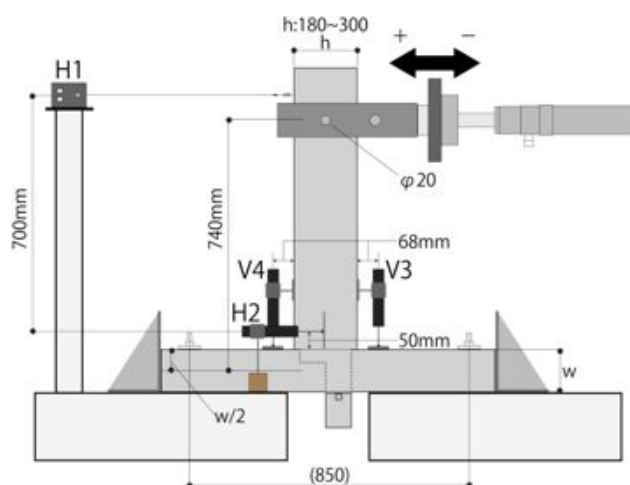


図3. 4. 2-149 試験概要 (J2試験体)

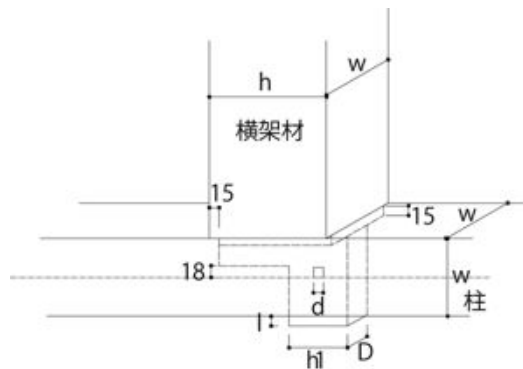


図3. 4. 2-150 胴付き小根ホゾ込み栓止めの形状 (J3試験体)

表3. 4. 2-31 J3試験体寸法詳細

o	W	h	h1	d	l	D
J3-1	120	180	90	15	0	30
J3-2	150	180	90	15	0	30
J3-3	120	240	120	15	0	3
J3-4	120	300	50	15	0	30
J3-5	120	180	90	18	0	30
J3-6	120	180	90	15	0	30
J3-7	120	180	90	18	0	30
J3-8	120	180	90	15	15	30
J3-9	120	180	90	15	30	30
J3-10	120	180	90	15	0	36

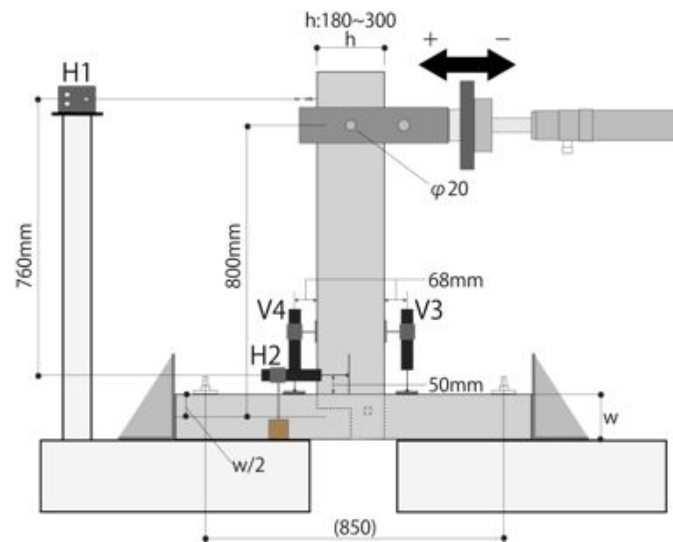


図3. 4. 2-151 試験概要 (J3試験体)

表3. 4. 2-32 J4試験体寸法詳細

No	W	h	e	l	D
J4-1	120	180	6	45	30
J4-2	150	180	6	60	30
J4-3	120	240	6	45	30
J4-4	120	300	6	45	30
J4-5	120	180	3	45	30
J4-6	120	180	9	45	30
J4-7	120	180	6	45	36

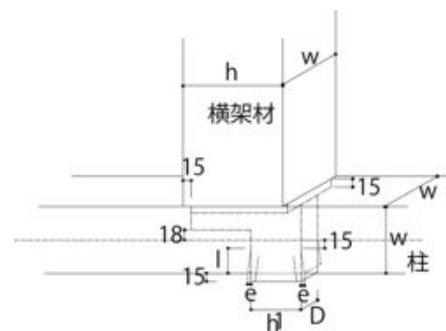


図3. 4. 2-152 胴付き小根ホゾ割り楔締め形状 (J4試験体)

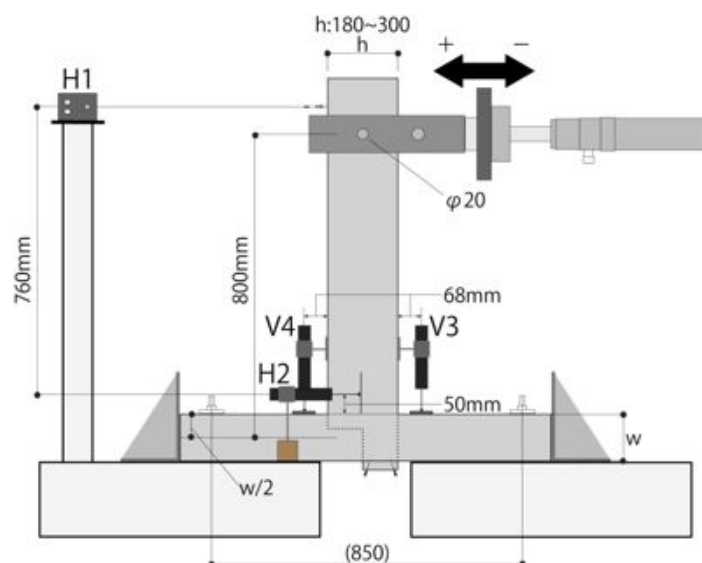


図3. 4. 2-153 試験概要 (J4試験体)

2) 試験結果

(a) J2試験体

J2試験体の各試験体のモーメントー変形角曲線の包絡線に完全弾塑性モデルを適用して算出した特性値の平均値および信頼水準75%における50%下限値はそれぞれ、表3.4.2-33および表3.4.2-34に示した通りであった。モーメントは柱の心をモーメント中心とみなし、加力ジャッキまでの垂直距離を荷重にかけて求めた。変形角は、変形角測定用変位計V3とV4の変形量より算出した。また、代表的な破壊形態は写真3.4.2-54～57に示した通りであった。また、各試験体のモーメントー変形角曲線の包絡線および特性値は、図3.4.2-154～161および表3.4.2-35～3.4.2-42に示した通りであった。破壊形態は、小根ホゾが根元から折れるタイプ（写真3.4.2-54）と鼻栓からホゾが割裂するタイプ（写真3.4.2-55）の2種類に大別されるが、試験体によっては節の影響を受けて破壊したものもあった（写真3.4.2-56）。また、鼻栓は折れたがホゾ側には明確な破壊はおきなかったケースもあった（写真3.4.2-57）。

表3. 4. 2-33 試験体による完全弾塑性モデルの特性値の違い (J2試験体 平均値)

	P_y	δ_y	P_u	Δu	δ_v	D_s	K	P_{max}
J2-1	2.041	0.021	3.315	0.095	0.034	0.464	102.2	3.663
J2-2	2.051	0.018	2.958	0.082	0.026	0.443	113.2	3.516
J2-3	3.359	0.031	4.670	0.177	0.044	0.384	112.5	5.494
J2-4	3.215	0.031	5.251	0.250	0.052	0.338	109.2	6.697
J2-5	2.148	0.020	3.378	0.113	0.030	0.428	118.2	3.850
J2-6	1.813	0.019	2.805	0.087	0.029	0.467	99.8	3.347
J2-7	2.101	0.020	3.123	0.062	0.030	0.564	103.9	3.667
J2-8	2.311	0.027	3.348	0.122	0.039	0.445	92.1	3.755

表3. 4. 2-34 試験体種類による完全弾塑性モデルの特性値の違い
(J2試験体 信頼水準75%における50%下限値*1)

	Py	δ_y	Pu	Δu	δ_v	Ds	K	Pmax
J2-1	1.897	0.019	3.127	0.094	0.031	0.441	88.0	3.488
J2-2	1.879	0.017	2.638	0.073	0.024	0.408	102.9	3.305
J2-3	2.789	0.027	4.120	0.149	0.039	0.358	89.4	4.851
J2-4	3.169	0.026	5.021	0.225	0.042	0.308	96.2	6.460
J2-5	1.938	0.015	3.254	0.084	0.026	0.374	105.5	3.702
J2-6	1.750	0.016	2.683	0.066	0.025	0.438	90.1	3.278
J2-7	1.876	0.019	2.938	0.062	0.029	0.549	97.0	3.397
J2-8	2.246	0.023	3.299	0.098	0.034	0.423	78.3	3.688

*1 信頼水準75%における50%下限値。次式に基づいて算出した

$$50th = avg \times (1 - C. V. \times k) \quad k = 0.471$$



写真3. 4. 2-54 小根ホゾの折れ
(J2-1-1)



写真3. 4. 2-55 鼻栓からホゾが割裂
(J2-1-2)



写真3. 4. 2-56 鼻栓から節へ亀裂が生じて破壊
(J2-5-2)



写真3. 4. 2-57 鼻栓が折れたがホゾは破壊せず
(J2-8-1)

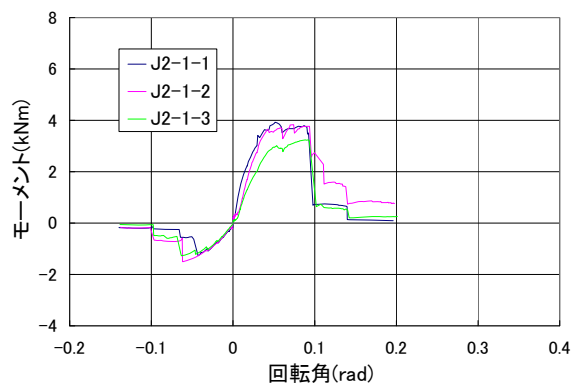


図3. 4. 2-154 モーメント変形角曲線（包絡線）
J2-1

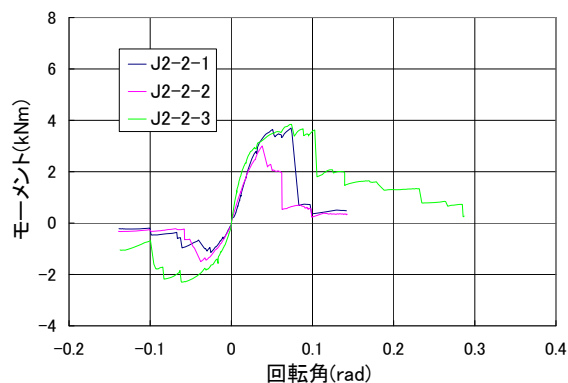


図3. 4. 2-155 モーメント変形角曲線（包絡線）
J2-2

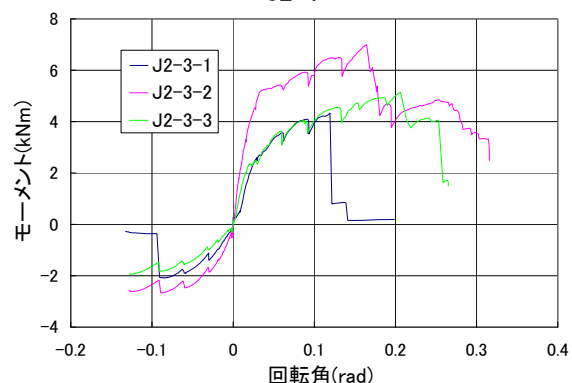


図3. 4. 2-156 モーメント変形角曲線（包絡線）
J2-3

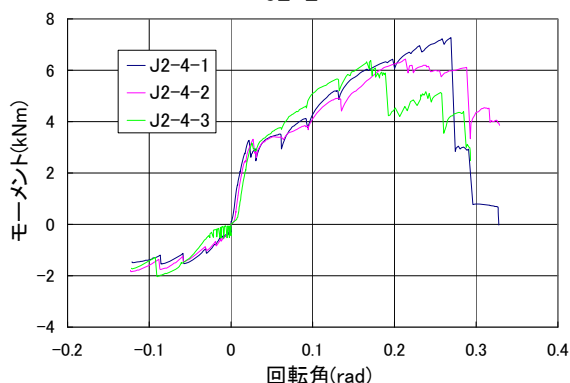


図3. 4. 2-157 モーメント変形角曲線（包絡線）
J2-4

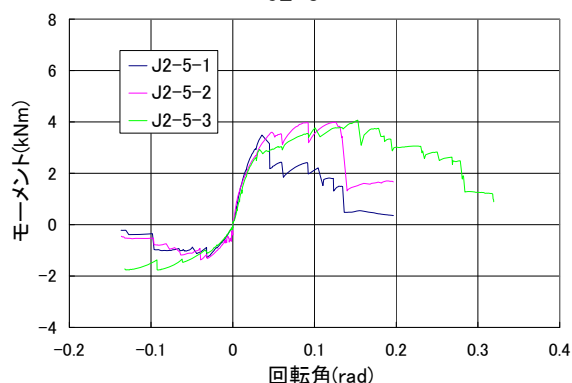


図3. 4. 2-158 モーメント変形角曲線（包絡線）
J2-5

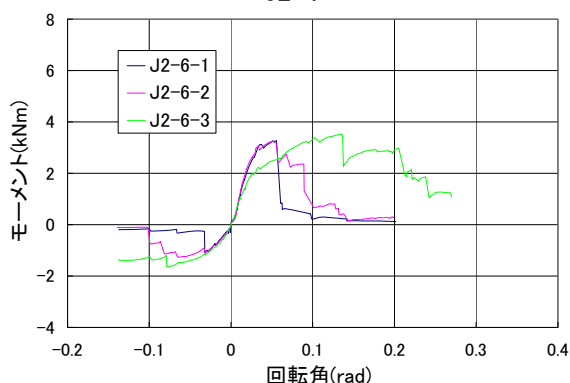


図3. 4. 2-159 モーメント変形角曲線（包絡線）
J2-6

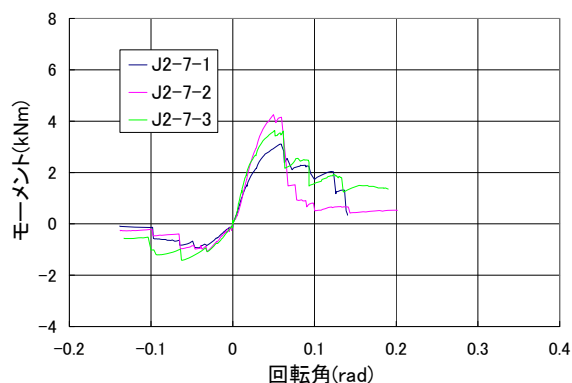


図3. 4. 2-160 モーメント変形角曲線（包絡線）
J2-7

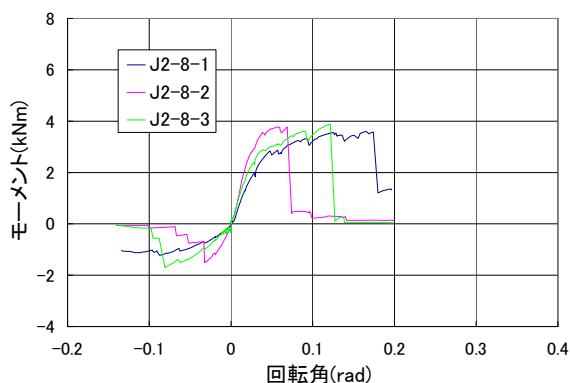


図3. 4. 2-161 モーメント変形角曲線（包絡線）
J2-8

表3. 4. 2-35 完全弾塑性モデルの特性値 J2-1

	Py	δ_y	Pu	Δu	δ_v	Ds	K	Pmax
1	2.172	0.016	3.595	0.093	0.027	0.411	133.5	3.922
2	2.259	0.023	3.492	0.095	0.035	0.475	99.9	3.832
3	1.691	0.023	2.858	0.095	0.039	0.507	73.3	3.236
avg	2.041	0.021	3.315	0.095	0.034	0.464	102.2	3.663
s.d.	0.306	0.004	0.399	0.001	0.006	0.049	30.2	0.373
C.V.	0.150	0.184	0.120	0.012	0.183	0.105	0.295	0.102
50th ^{*1)}	1.897	0.019	3.127	0.094	0.031	0.441	88.0	3.488

表3. 4. 2-36 完全弾塑性モデルの特性値 J2-2

	Py	δ_y	Pu	Δu	δ_v	Ds	K	Pmax
1	2.218	0.022	3.255	0.076	0.032	0.517	101.0	3.699
2	1.633	0.016	2.180	0.067	0.022	0.442	100.1	3.004
3	2.301	0.017	3.438	0.104	0.025	0.369	138.4	3.846
avg	2.051	0.018	2.958	0.082	0.026	0.443	113.2	3.516
s.d.	0.364	0.003	0.680	0.019	0.005	0.074	21.9	0.450
C.V.	0.178	0.173	0.230	0.233	0.204	0.167	0.193	0.128
50th ^{*1)}	1.879	0.017	2.638	0.073	0.024	0.408	102.9	3.305

表3. 4. 2-37 完全弾塑性モデルの特性値 J2-3

	Py	δ_y	Pu	Δu	δ_v	Ds	K	Pmax
1	2.397	0.026	3.683	0.119	0.039	0.444	93.9	4.337
2	4.717	0.028	5.959	0.175	0.035	0.336	168.2	7.000
3	2.963	0.039	4.367	0.238	0.058	0.372	75.6	5.144
avg	3.359	0.031	4.670	0.177	0.044	0.384	112.5	5.494
s.d.	1.210	0.007	1.168	0.059	0.012	0.055	49.1	1.366
C.V.	0.360	0.236	0.250	0.335	0.271	0.143	0.436	0.249
50th ^{*1)}	2.789	0.027	4.120	0.149	0.039	0.358	89.4	4.851

表3. 4. 2-38 完全弾塑性モデルの特性値 J2-4

	Py	δ_y	Pu	Δu	δ_v	Ds	K	Pmax
1	3.307	0.043	5.808	0.269	0.075	0.402	77.4	7.275
2	3.225	0.026	5.048	0.290	0.040	0.273	125.6	6.437
3	3.112	0.025	4.897	0.191	0.039	0.339	124.5	6.378
avg	3.215	0.031	5.251	0.250	0.052	0.338	109.2	6.697
s.d.	0.098	0.010	0.488	0.052	0.020	0.065	27.5	0.502
C.V.	0.030	0.323	0.093	0.209	0.395	0.191	0.252	0.075
50th ^{*1)}	3.169	0.026	5.021	0.225	0.042	0.308	96.2	6.460

表3. 4. 2-39 完全弾塑性モデルの特性値 J2-5

	Py	δ_y	Pu	Δu	δ_v	Ds	K	Pmax
1	1.821	0.013	3.079	0.045	0.022	0.561	143.0	3.490
2	1.968	0.016	3.580	0.134	0.029	0.351	121.9	3.989
3	2.654	0.030	3.476	0.159	0.039	0.373	89.6	4.070
avg	2.148	0.020	3.378	0.113	0.030	0.428	118.2	3.850
s.d.	0.445	0.009	0.264	0.060	0.009	0.115	26.9	0.314
C.V.	0.207	0.458	0.078	0.531	0.289	0.269	0.228	0.082
50th ^{*1)}	1.938	0.015	3.254	0.084	0.026	0.374	105.5	3.702

表3. 4. 2-40 完全弾塑性モデルの特性値 J2-6

	Py	δ_y	Pu	Δu	δ_v	Ds	K	Pmax
1	1.722	0.016	2.510	0.067	0.024	0.464	106.4	3.271
2	1.750	0.015	2.911	0.057	0.025	0.530	116.3	3.254
3	1.967	0.026	2.993	0.137	0.039	0.408	76.6	3.515
avg	1.813	0.019	2.805	0.087	0.029	0.467	99.8	3.347
s.d.	0.134	0.006	0.258	0.044	0.009	0.061	20.6	0.146
C.V.	0.074	0.308	0.092	0.503	0.292	0.131	0.207	0.044
50th ^{*1)}	1.750	0.016	2.683	0.066	0.025	0.438	90.1	3.278

表3. 4. 2-41 完全弾塑性モデルの特性値 J2-7

	Py	δ_y	Pu	Δu	δ_v	Ds	K	Pmax
1	1.675	0.019	2.707	0.063	0.031	0.571	87.5	3.110
2	2.620	0.024	3.489	0.062	0.032	0.594	108.2	4.254
3	2.009	0.017	3.174	0.063	0.027	0.529	115.9	3.637
avg	2.101	0.020	3.123	0.062	0.030	0.564	103.9	3.667
s.d.	0.479	0.004	0.393	0.001	0.003	0.033	14.7	0.573
C.V.	0.228	0.176	0.126	0.009	0.083	0.059	0.141	0.156
50th ^{*1)}	1.876	0.019	2.938	0.062	0.029	0.549	97.0	3.397

表3. 4. 2-42 完全弾塑性モデルの特性値 J2-8

	Py	δ_y	Pu	Δu	δ_v	Ds	K	Pmax
1	2.321	0.034	3.232	0.176	0.048	0.395	68.0	3.602
2	2.169	0.017	3.380	0.070	0.027	0.489	124.9	3.782
3	2.442	0.029	3.432	0.121	0.041	0.452	83.4	3.881
avg	2.311	0.027	3.348	0.122	0.039	0.445	92.1	3.755
s.d.	0.137	0.009	0.104	0.053	0.010	0.047	29.4	0.141
C.V.	0.059	0.320	0.031	0.432	0.271	0.106	0.319	0.038
50th ^{*1)}	2.246	0.023	3.299	0.098	0.034	0.423	78.3	3.688

(b) J3試験体

J3試験体の各試験体のモーメントー変形角曲線の包絡線に完全弾塑性モデルを適用して算出した特性値の平均値および信頼水準75%における50%下限値はそれぞれ、表3.4.2-43および表3.4.2-44に示した通りであった。また、代表的な破壊形態は写真3.4.2-58～-64に示した通りであった。また、各試験体のモーメントー変形角曲線の包絡線および特性値は、図3.4.2-162～3.4.2-171および表3.4.2-45～3.4.2-54に示した通りであった。モーメントは柱の心をモーメント中心とみなし、加力ジャッキまでの垂直距離を荷重にかけて求めた。変形角は、変形角測定用変位計V3とV4の変形量より算出した。破壊形態は、小根ホゾが込み栓から割裂するタイプ（写真3.4.2-58）と込み栓部分からホゾが折れるタイプ（写真3.4.2-59、-61）、小根ホゾが根元から折れるタイプ（写真3.4.2-60）の3種類に大別されたが、梁背の高いJ3-4試験体については、柱の曲げ破壊（写真3.4.2-62）や込み栓から柱端部まで亀裂が進展するタイプの破壊（写真3.4.2-63）が見られた。今回の試験では柱長さを約1mで揃えて試験を行ったため、梁背300mmのJ3-4試験体では柱の長さが短すぎたためと考えられる。また、J3-4試験体では込み栓が先に折れて、ホゾは破壊しないタイプの破壊も見られた（写真3.4.2-64）。

表3. 4. 2-43 試験体種類による完全弾塑性モデルの特性値の違い（J3試験体 平均値）

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
J3-1	1.817	0.014	2.414	0.100	0.020	0.327	135.7	2.996
J3-2	2.197	0.016	1.554	0.054	0.016	0.306	65.6	2.861
J3-3	2.315	0.015	3.439	0.088	0.021	0.418	176.3	3.880
J3-4	2.914	0.022	3.892	0.156	0.029	0.321	135.9	4.290
J3-5	1.368	0.014	2.014	0.058	0.021	0.472	107.6	2.691
J3-6	1.648	0.018	2.425	0.079	0.026	0.443	93.2	2.887
J3-7	1.282	0.014	1.726	0.048	0.019	0.513	92.7	2.305
J3-8	1.315	0.012	1.884	0.059	0.018	0.427	111.8	2.487
J3-9	1.631	0.015	2.442	0.063	0.023	0.469	112.8	3.020
J3-10	2.123	0.021	3.139	0.086	0.031	0.467	106.5	3.520

表3. 4. 2-44 試験体種類による完全弾塑性モデルの特性値の違い
（J3試験体 信頼水準75%における50%下限値）

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
J3-1	1.759	0.012	2.157	0.083	0.016	0.299	113.1	2.967
J3-2	1.651	0.015	0.904	0.025	0.009	0.175	38.5	2.781
J3-3	2.197	0.011	3.204	0.063	0.017	0.353	150.0	3.655
J3-4	2.857	0.020	3.823	0.148	0.027	0.312	125.9	4.202
J3-5	1.193	0.010	1.730	0.048	0.015	0.410	95.0	2.439
J3-6	1.504	0.017	1.967	0.072	0.023	0.416	78.7	2.564
J3-7	1.182	0.013	1.637	0.040	0.018	0.461	87.7	2.159
J3-8	1.266	0.011	1.756	0.053	0.016	0.380	95.4	2.378
J3-9	1.567	0.013	2.280	0.061	0.019	0.423	98.8	2.917
J3-10	2.005	0.018	3.014	0.082	0.027	0.427	95.7	3.395



写真3. 4. 2-58 込み栓から割裂 (J3-1-1)



写真3. 4. 2-59 込み栓から折れ (J3-1-2)



写真3. 4. 2-60 ホゾが根本から折れ (J3-1-3)



写真3. 4. 2-61 込み栓から折れ (J3-2-3)



写真3. 4. 2-62 柱が込み栓部分で曲げ破壊 (J3-4-1)



写真3. 4. 2-63 込み栓から柱端部まで亀裂が進展 (J3-4-1)



写真3. 4. 2-64 込み栓が折れ、ホゾはめり込みのみ (J3-4-2)



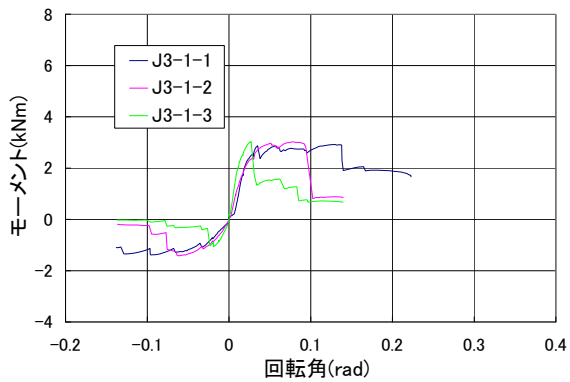


図3.4.2-162 モーメント変形角曲線（包絡線）
J3-1

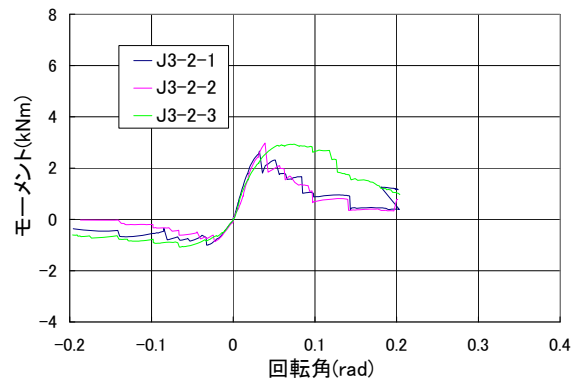


図3.4.2-163 モーメント変形角曲線（包絡線）
J3-2

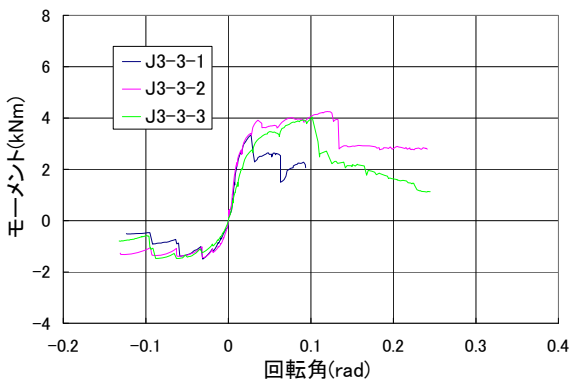


図3.4.2-164 モーメント変形角曲線（包絡線）
J3-3

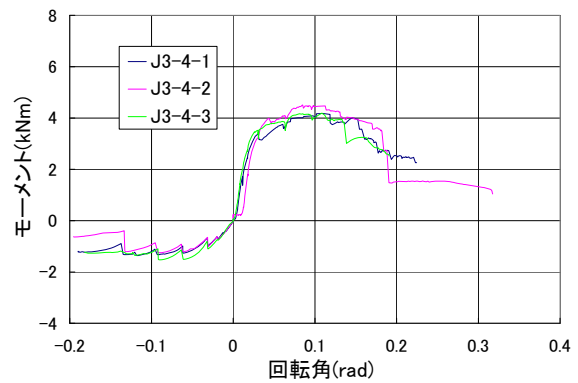


図3.4.2-165 モーメント変形角曲線（包絡線）
J3-4

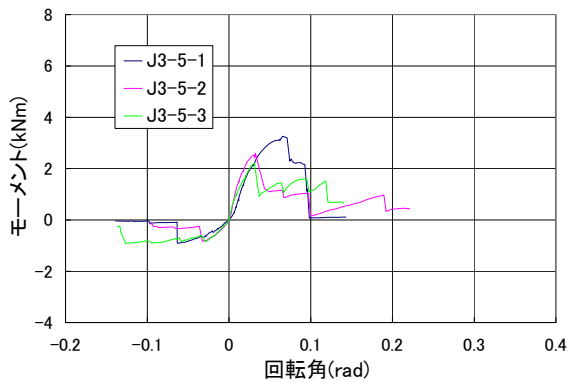


図3.4.2-166 モーメント変形角曲線（包絡線）
J3-5

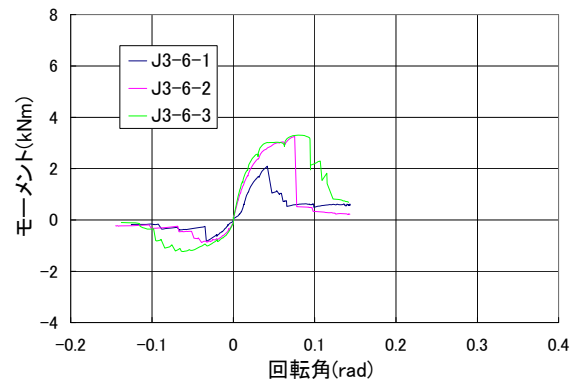


図3.4.2-167 モーメント変形角曲線（包絡線）
J3-6

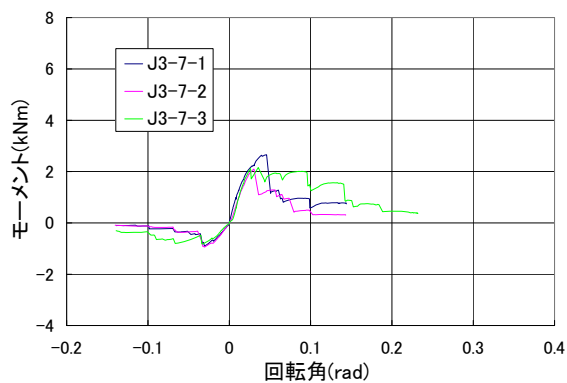


図3. 4. 2-168 モーメント変形角曲線（包絡線）
J3-7

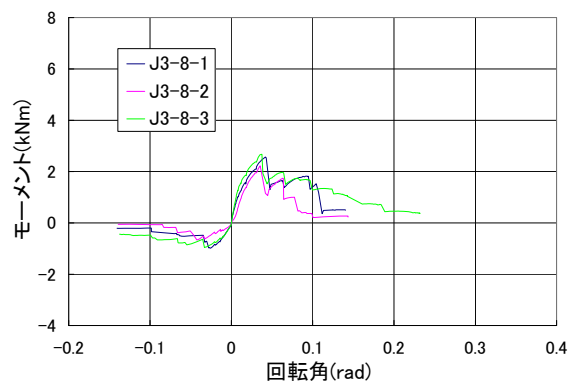


図3. 4. 2-169 モーメント変形角曲線（包絡線）
J3-8

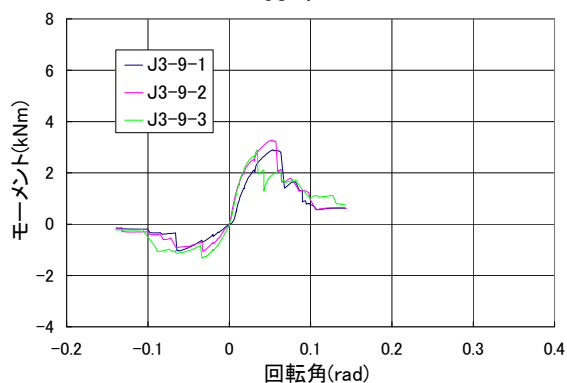


図3. 4. 2-170 モーメント変形角曲線（包絡線）
J3-9

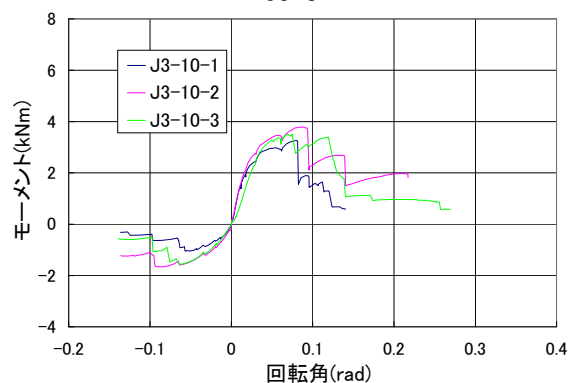


図3. 4. 2-171 モーメント変形角曲線（包絡線）
J3-10

表3. 4. 2-45 完全弾塑性モデルの特性値 J3-1

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
1	1.926	0.018	2.698	0.138	0.025	0.317	107.1	2.925
2	1.684	0.015	2.760	0.096	0.025	0.391	108.9	3.025
3	1.841	0.010	1.784	0.067	0.009	0.274	191.1	3.038
avg	1.817	0.014	2.414	0.100	0.020	0.327	135.7	2.996
s.d.	0.123	0.004	0.546	0.036	0.009	0.059	48.0	0.062
C.V.	0.068	0.298	0.226	0.360	0.461	0.180	0.354	0.021
50th ^{*1)}	1.759	0.012	2.157	0.083	0.016	0.299	113.1	2.967

表3. 4. 2-46 完全弾塑性モデルの特性値 J3-2

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
1	1.578	0.015	2.028	0.041	0.019	0.543	108.1	2.667
2	2.001	0.023	2.391	0.042	0.027	0.693	88.7	2.98
3	1.478	0.017	2.635	0.121	0.03	0.375	88.7	2.935
avg	1.686	0.018	2.351	0.068	0.025	0.537	95.169	2.861
s.d.	0.278	0.004	0.305	0.046	0.006	0.159	11.199	0.169
C.V.	0.165	0.215	0.130	0.678	0.224	0.296	0.118	0.059
50th ^{*1)}	1.555	0.016	2.207	0.046	0.023	0.462	89.894	2.781

表3. 4. 2-47 完全弾塑性モデルの特性値 J3-3

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
1	2.061	0.010	2.880	0.030	0.014	0.547	208.8	3.342
2	2.321	0.011	3.834	0.134	0.018	0.272	208.1	4.253
3	2.563	0.023	3.602	0.101	0.032	0.435	111.9	4.046
avg	2.315	0.015	3.439	0.088	0.021	0.418	176.3	3.880
s.d.	0.251	0.007	0.498	0.053	0.010	0.138	55.7	0.478
C.V.	0.108	0.490	0.145	0.601	0.446	0.331	0.316	0.123
50th ^{*1)}	2.197	0.011	3.204	0.063	0.017	0.353	150.0	3.655

表3. 4. 2-48 完全弾塑性モデルの特性値 J3-4

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
1	2.898	0.021	3.768	0.159	0.028	0.308	136.7	4.174
2	3.043	0.027	4.055	0.171	0.036	0.341	114.2	4.506
3	2.802	0.018	3.854	0.138	0.025	0.313	156.8	4.190
avg	2.914	0.022	3.892	0.156	0.029	0.321	135.9	4.290
s.d.	0.121	0.004	0.147	0.017	0.006	0.018	21.3	0.187
C.V.	0.042	0.203	0.038	0.108	0.193	0.056	0.157	0.044
50th ^{*1)}	2.857	0.020	3.823	0.148	0.027	0.312	125.9	4.202

表3. 4. 2-49 完全弾塑性モデルの特性値 J3-5

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
1	1.745	0.022	2.712	0.073	0.034	0.552	79.2	3.265
2	1.360	0.010	1.648	0.067	0.012	0.321	132.2	2.602
3	1.000	0.009	1.683	0.033	0.015	0.543	111.4	2.206
avg	1.368	0.014	2.014	0.058	0.021	0.472	107.6	2.691
s.d.	0.373	0.007	0.604	0.021	0.012	0.131	26.7	0.535
C.V.	0.272	0.522	0.300	0.372	0.577	0.277	0.248	0.199
50th ^{*1)}	1.193	0.010	1.730	0.048	0.015	0.410	95.0	2.439

表3. 4. 2-50 完全弾塑性モデルの特性値 J3-6

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
1	1.296	0.021	1.305	0.067	0.021	0.438	60.8	2.096
2	1.820	0.019	2.929	0.075	0.030	0.502	96.5	3.259
3	1.828	0.015	3.041	0.095	0.025	0.389	122.4	3.306
avg	1.648	0.018	2.425	0.079	0.026	0.443	93.2	2.887
s.d.	0.305	0.003	0.972	0.014	0.004	0.057	30.9	0.685
C.V.	0.185	0.175	0.401	0.181	0.176	0.128	0.332	0.237
50th ^{*1)}	1.504	0.017	1.967	0.072	0.023	0.416	78.7	2.564

表3. 4. 2-51 完全弾塑性モデルの特性値 J3-7

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
1	1.512	0.014	1.911	0.067	0.018	0.399	104.6	2.661
2	1.094	0.013	1.533	0.033	0.018	0.619	84.3	2.096
3	1.241	0.014	1.733	0.045	0.019	0.522	89.3	2.158
avg	1.282	0.014	1.726	0.048	0.019	0.513	92.7	2.305
s.d.	0.212	0.001	0.189	0.017	0.001	0.110	10.6	0.310
C.V.	0.165	0.054	0.110	0.355	0.037	0.215	0.114	0.134
50th ^{*1)}	1.182	0.013	1.637	0.040	0.018	0.461	87.7	2.159

表3. 4. 2-52 完全弾塑性モデルの特性値 J3-8

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
1	1.282	0.012	2.070	0.045	0.020	0.535	104.3	2.566
2	1.231	0.015	1.572	0.067	0.019	0.412	81.5	2.225
3	1.433	0.010	2.011	0.067	0.013	0.335	149.5	2.671
avg	1.315	0.012	1.884	0.059	0.018	0.427	111.8	2.487
s.d.	0.105	0.003	0.272	0.013	0.004	0.101	34.6	0.233
C.V.	0.080	0.224	0.144	0.215	0.202	0.236	0.310	0.094
50th ^{*1)}	1.266	0.011	1.756	0.053	0.016	0.380	95.4	2.378

表3. 4. 2-53 完全弾塑性モデルの特性値 J3-9

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
1	1.475	0.019	2.460	0.065	0.031	0.563	78.6	2.898
2	1.714	0.013	2.778	0.058	0.022	0.478	127.7	3.271
3	1.704	0.013	2.089	0.067	0.016	0.367	132.2	2.890
avg	1.631	0.015	2.442	0.063	0.023	0.469	112.8	3.020
s.d.	0.135	0.003	0.345	0.004	0.008	0.098	29.8	0.218
C.V.	0.083	0.217	0.141	0.069	0.341	0.210	0.264	0.072
50th ^{*1)}	1.567	0.013	2.280	0.061	0.019	0.423	98.8	2.917

表3. 4. 2-54 完全弾塑性モデルの特性値 J3-10

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
1	1.842	0.015	2.879	0.082	0.024	0.414	120.1	3.259
2	2.201	0.018	3.407	0.094	0.029	0.423	119.1	3.791
3	2.326	0.029	3.130	0.081	0.039	0.565	80.2	3.511
avg	2.123	0.021	3.139	0.086	0.031	0.467	106.5	3.520
s.d.	0.251	0.007	0.264	0.008	0.008	0.085	22.8	0.266
C.V.	0.118	0.342	0.084	0.089	0.253	0.181	0.214	0.076
50th ^{*1)}	2.005	0.018	3.014	0.082	0.027	0.427	95.7	3.395

(c) J4試験体

J4試験体の各試験体のモーメントー変形角曲線の包絡線に完全弾塑性モデルを適用して算出した特性値の平均値および信頼水準75%における50%下限値はそれぞれ、表3.4.2-55および表3.4.2-56に示した通りであった。また、代表的な破壊形態は写真3.4.2-65～3.4.2-70に示した通りであった。また、各試験体のモーメントー変形角曲線の包絡線および特性値は、図3.4.2-172～3.4.2-178および表3.4.2-57～3.4.2-63に示した通りであった。モーメントは柱の心をモーメント中心とみなし、加力ジャッキまでの垂直距離を荷重にかけて求めた。変形角は、変形角測定用変位計V3とV4の変形量より算出した。破壊形態は、楔から割れが生じホゾが折れる（損傷を受ける）タイプ（写真3.4.2-65, -66, -70）とホゾが引き抜けるタイプ（写真3.4.2-68, -69）に大別されたが、ホゾに節があるものについては節で折れるケースも見られた（写真3.4.2-67）。このタイプの試験体については、寸法形状よりも楔の打ち込み程度と楔によるしまり具合の程度の影響が大きく、破壊形態の差違はそれによって生じたものと考えられる。

表3. 4. 2-55 試験体種類による完全弾塑性モデルの特性値の違い（J4試験体 平均値）

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
J4-1	1.570	0.012	2.299	0.083	0.018	0.341	147.4	2.639
J4-2	1.862	0.010	2.333	0.053	0.013	0.395	187.5	2.680
J4-3	1.687	0.012	2.640	0.097	0.018	0.339	155.3	3.021
J4-4	1.599	0.007	2.222	0.100	0.009	0.232	278.9	2.542
J4-5	3.270	0.011	1.058	0.039	0.010	0.258	70.3	1.925
J4-6	1.234	0.009	1.813	0.055	0.014	0.380	149.7	2.183
J4-7	1.306	0.018	1.965	0.084	0.026	0.429	87.8	2.240

表3. 4. 2-56 試験体種類による完全弾塑性モデルの特性値の違い
（J4試験体 信頼水準75%における50%下限値）

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
J4-1	1.412	0.009	2.000	0.074	0.013	0.292	122.7	2.327
J4-2	1.849	0.010	2.139	0.045	0.013	0.355	149.3	2.347
J4-3	1.501	0.010	2.269	0.080	0.015	0.283	130.6	2.612
J4-4	1.507	0.005	2.030	0.083	0.007	0.186	219.3	2.305
J4-5	1.506	0.009	0.623	0.023	0.006	0.151	40.5	1.848
J4-6	1.109	0.008	1.604	0.046	0.011	0.363	116.9	1.964
J4-7	1.297	0.014	1.834	0.076	0.021	0.375	66.4	2.072



写真3. 4. 2-65 楔から割裂、ホゾの根元が折れ
(J4-1-1)



写真3. 4. 2-66 ホゾの折れ (J4-1-2)



写真3. 4. 2-67 節からホゾの折れ (J4-2-2)



写真3. 4. 2-68 ホゾの引き抜け、ホゾには大きな
損傷なし (J4-3-2)



写真3. 4. 2-69 ホゾがめり込み、割れ楔が折れ
(J4-4-3)



写真3. 4. 2-70 楔先端からホゾが損傷 (J4-6-2)

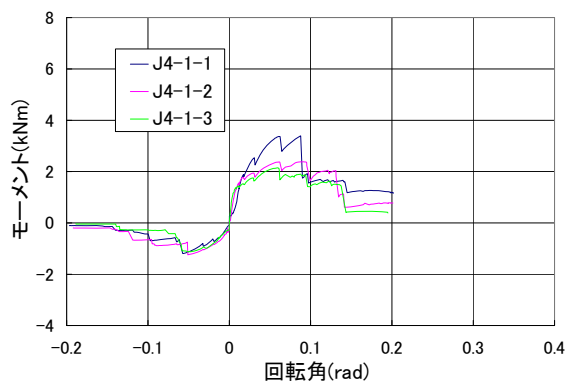


図3.4.2-172 モーメント変形角曲線（包絡線）
J4-1

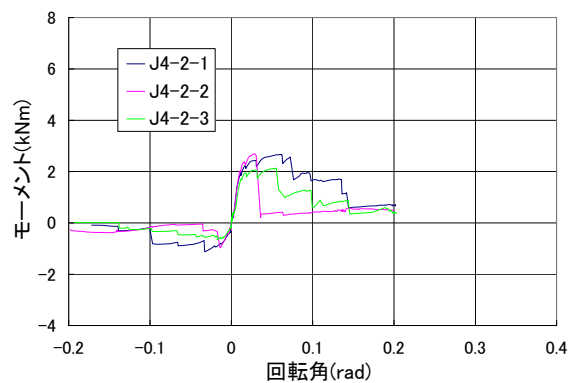


図3.4.2-173 モーメント変形角曲線（包絡線）
J4-2

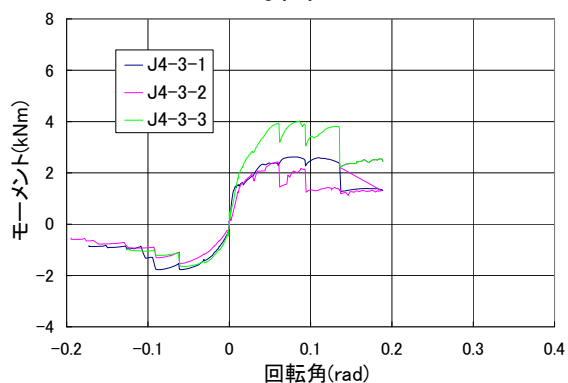


図3.4.2-174 モーメント変形角曲線（包絡線）
J4-3

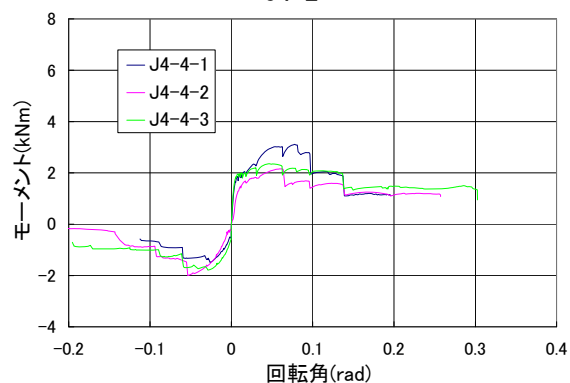


図3.4.2-175 モーメント変形角曲線（包絡線）
J4-4

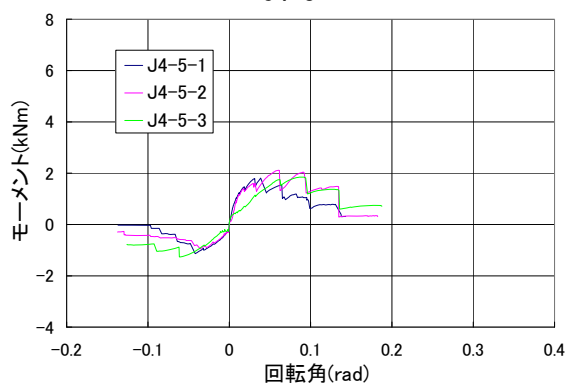


図3.4.2-176 モーメント変形角曲線（包絡線）
J4-5

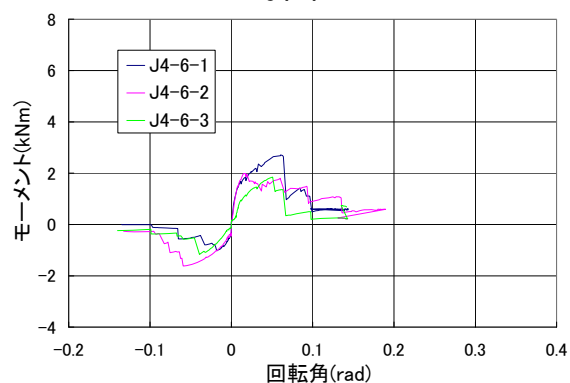


図3.4.2-177 モーメント変形角曲線（包絡線）
J4-6

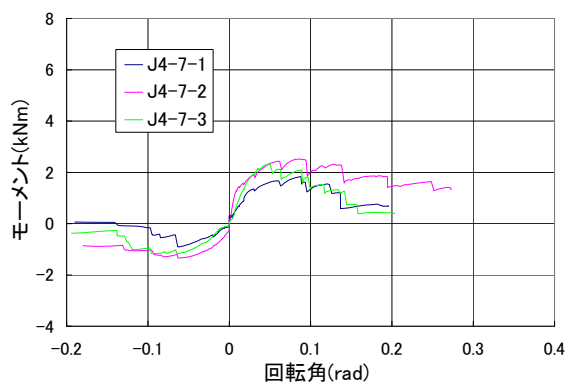


図3.4.2-178 モーメント変形角曲線（包絡線）
J4-7

表3. 4. 2-57 完全弾塑性モデルの特性値 J4-1

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
1	1.930	0.020	3.013	0.088	0.031	0.460	98.4	3.392
2	1.512	0.011	2.089	0.098	0.015	0.287	141.1	2.382
3	1.267	0.006	1.795	0.062	0.009	0.277	202.8	2.143
avg	1.570	0.012	2.299	0.083	0.018	0.341	147.4	2.639
s.d.	0.335	0.007	0.636	0.018	0.011	0.103	52.5	0.663
C.V.	0.214	0.558	0.276	0.221	0.622	0.302	0.356	0.251
50th ^{*1)}	1.412	0.009	2.000	0.074	0.013	0.292	122.7	2.327

表3. 4. 2-58 完全弾塑性モデルの特性値 J4-2

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
1	1.833	0.010	2.371	0.074	0.013	0.313	178.6	2.671
2	1.890	0.010	2.294	0.032	0.012	0.476	196.3	2.689
3	1.864	0.01	2.015	0.060	0.016	0.392	125.3	2.130
avg	1.862	0.01	2.227	0.055	0.014	0.394	166.7	2.497
s.d.	0.029	0.003	0.187	0.021	0.002	0.082	37.0	0.318
C.V.	0.015	0.24	0.084	0.386	0.156	0.207	0.222	0.127
50th ^{*1)}	1.849	0.010	2.139	0.045	0.013	0.355	149.3	2.347

表3. 4. 2-59 完全弾塑性モデルの特性値 J4-3

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
1	1.400	0.007	2.333	0.136	0.011	0.206	211.1	2.620
2	1.524	0.014	2.053	0.062	0.019	0.428	107.5	2.426
3	2.137	0.015	3.534	0.094	0.024	0.383	147.2	4.018
avg	1.687	0.012	2.640	0.097	0.018	0.339	155.3	3.021
s.d.	0.395	0.004	0.787	0.037	0.007	0.118	52.3	0.869
C.V.	0.234	0.378	0.298	0.385	0.362	0.347	0.337	0.287
50th ^{*1)}	1.501	0.010	2.269	0.080	0.015	0.283	130.6	2.612

表3. 4. 2-60 完全弾塑性モデルの特性値 J4-4

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
1	1.721	0.006	2.673	0.097	0.009	0.220	299.0	3.113
2	1.374	0.010	1.877	0.065	0.013	0.334	143.5	2.158
3	1.702	0.004	2.117	0.137	0.005	0.141	394.2	2.356
avg	1.599	0.007	2.222	0.100	0.009	0.232	278.9	2.542
s.d.	0.195	0.003	0.408	0.036	0.004	0.097	126.6	0.504
C.V.	0.122	0.415	0.184	0.362	0.423	0.419	0.454	0.198
50th ^{*1)}	1.507	0.005	2.030	0.083	0.007	0.186	219.3	2.305

表3. 4. 2-61 完全弾塑性モデルの特性値 J4-5

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
1	1.009	0.008	1.478	0.056	0.012	0.346	123.1	1.813
2	1.207	0.014	1.696	0.062	0.019	0.429	87.8	2.112
3	7.594	INF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	1.850
avg	3.270	0.011	1.058	0.039	0.010	0.258	70.3	1.925
s.d.	3.746	0.004	0.923	0.034	0.010	0.228	63.4	0.163
C.V.	1.146	0.358	0.872	0.869	0.934	0.881	0.902	0.085
50th ^{*1)}	1.506	0.009	0.623	0.023	0.006	0.151	40.5	1.848

表3. 4. 2-62 完全弾塑性モデルの特性値 J4-6

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
1	1.504	0.009	2.284	0.065	0.014	0.341	168.6	2.716
2	1.225	0.006	1.754	0.032	0.008	0.388	207.9	1.986
3	0.974	0.013	1.402	0.067	0.019	0.412	72.6	1.848
avg	1.234	0.009	1.813	0.055	0.014	0.380	149.7	2.183
s.d.	0.265	0.004	0.444	0.019	0.005	0.036	69.6	0.466
C.V.	0.215	0.402	0.245	0.354	0.395	0.094	0.465	0.214
50th ^{*1)}	1.109	0.008	1.604	0.046	0.011	0.363	116.9	1.964

表3. 4. 2-63 完全弾塑性モデルの特性値 J4-7

	Py	δ_y	Pu	δ_u	δ_v	Ds	K	Pmax
1	1.323	0.027	1.649	0.094	0.034	0.467	48.8	1.838
2	1.310	0.010	2.170	0.096	0.016	0.300	137.7	2.520
3	1.285	0.017	2.075	0.063	0.027	0.520	76.8	2.362
avg	1.306	0.018	1.965	0.084	0.026	0.429	87.8	2.240
s.d.	0.019	0.009	0.277	0.018	0.009	0.115	45.4	0.357
C.V.	0.015	0.497	0.141	0.216	0.357	0.268	0.518	0.159
50th ^{*1)}	1.297	0.014	1.834	0.076	0.021	0.375	66.4	2.072

2) 負側（引き側）での特性値

包絡線で見ると、正側と負側では大きな差がある。これまでは正側での特性値を解析してきたが、地震は正負繰返しであり、負側での解析も必要である。そこで、第一回目の正のループが除荷されて横軸を通過する点を原点に移動するようにすべての点を移動して、完全弾塑性解析を行い、特性値を求めた。その値を表3.4.2-64～66に示す。avgは平均値を、C.V.は変動係数を表わす。また、灰色に塗りつぶした個所は変動係数が0.4以上のものである。試験体数が3体の結果であるが、かなりばらつきの大きな形状のものも見受けられる。

平均値で正負の特性値を比較すると、J2、J3、J4試験体で正側に比べ、Py、Pu、Pmaxでは約4割に、 δ_y 、 δ_v 、 δ_u ではほぼ同じ値であることが分る。

3) 破壊形態

試験体ごとの破壊形態を、表3.4.2-67に示した。鼻栓、込み栓ではホゾの折れ、割り楔ではホゾの抜けが多いことが分る。

表3. 4. 2-64 完全弾塑性モデルによる特性値 J2試験体

試験体	Py		Pu		Pmax		K		Ds		δ_y		δ_u		δ_v	
	avg	C.V.	avg	C.V.	avg	C.V.	avg	C.V.	avg	C.V.	avg	C.V.	avg	C.V.	avg	C.V.
J2-1	0.85	0.07	1.27	0.08	1.37	0.10	35.05	0.07	0.70	0.19	0.024	0.10	0.058	0.20	0.036	0.03
J2-2	0.85	0.46	1.37	0.45	1.60	0.38	62.69	0.17	0.48	0.33	0.013	0.32	0.061	0.37	0.021	0.33
J2-3	1.32	0.11	2.00	0.20	2.24	0.17	45.71	0.45	0.50	0.17	0.032	0.32	0.118	0.17	0.047	0.28
J2-4	1.25	0.27	1.49	0.03	1.81	0.14	27.27	0.14	0.57	0.19	0.045	0.33	0.116	0.14	0.055	0.13
J2-5	0.78	0.24	1.25	0.24	1.47	0.18	45.92	0.19	0.45	0.04	0.018	0.42	0.087	0.47	0.029	0.43
J2-6	0.99	0.25	1.20	0.24	1.33	0.22	35.42	0.07	0.62	0.20	0.028	0.33	0.066	0.40	0.034	0.32
J2-7	0.70	0.24	0.98	0.19	1.15	0.22	35.87	0.32	0.49	0.13	0.021	0.35	0.075	0.25	0.029	0.28
J2-8	0.88	0.22	1.31	0.18	1.48	0.16	36.36	0.57	0.63	0.24	0.028	0.45	0.085	0.61	0.042	0.42

表3. 4. 2-65 完全弾塑性モデルによる特性値 J3試験体

試験体	Py		Pu		Pmax		K		Ds		δ_y		δ_u		δ_v	
	avg	C.V.	avg	C.V.	avg	C.V.	avg	C.V.	avg	C.V.	avg	C.V.	avg	C.V.	avg	C.V.
J3-1	0.81	0.24	1.14	0.15	1.28	0.16	47.37	0.39	0.51	0.22	0.020	0.58	0.078	0.69	0.027	0.47
J3-2	0.56	0.11	0.83	0.09	0.98	0.10	44.60	0.34	0.43	0.05	0.014	0.36	0.068	0.46	0.020	0.38
J3-3	0.90	0.09	1.33	0.02	1.47	0.03	70.34	0.30	0.37	0.30	0.014	0.30	0.094	0.39	0.020	0.33
J3-4	0.85	0.01	1.19	0.08	1.38	0.10	31.42	0.07	0.36	0.06	0.027	0.07	0.170	0.19	0.038	0.10
J3-5	0.56	0.14	0.79	0.05	0.89	0.05	29.55	0.24	0.55	0.34	0.020	0.32	0.076	0.63	0.028	0.31
J3-6	0.63	0.14	0.86	0.23	0.98	0.23	40.78	0.39	0.55	0.45	0.018	0.56	0.058	0.43	0.023	0.35
J3-7	0.65	0.03	0.77	0.11	0.89	0.07	32.10	0.22	0.62	0.23	0.021	0.21	0.050	0.55	0.024	0.13
J3-8	0.51	0.40	0.75	0.31	0.87	0.20	40.73	0.36	0.56	0.36	0.013	0.21	0.047	0.41	0.019	0.18
J3-9	0.66	0.15	0.93	0.11	1.14	0.13	37.42	0.47	0.54	0.29	0.020	0.39	0.075	0.17	0.029	0.50
J3-10	0.76	0.28	1.27	0.26	1.42	0.23	39.05	0.03	0.51	0.10	0.020	0.27	0.079	0.20	0.032	0.25

表3. 4. 2-66 完全弾塑性モデルによる特性値 J4試験体

試験体	Py		Pu		Pmax		K		Ds		δ_y		δ_u		δ_v	
	avg	C.V.	avg	C.V.	avg	C.V.	avg	C.V.	avg	C.V.	avg	C.V.	avg	C.V.	avg	C.V.
J4-1	0.66	0.05	1.03	0.04	1.19	0.05	50.81	0.25	0.48	0.09	0.014	0.22	0.055	0.07	0.021	0.20
J4-2	0.71	0.29	0.77	0.27	0.92	0.25	75.22	0.04	0.40	0.40	0.008	0.27	0.031	0.43	0.010	0.25
J4-3	0.90	0.08	1.50	0.12	1.66	0.08	65.11	0.41	0.42	0.08	0.015	0.36	0.082	0.22	0.025	0.32
J4-4	1.00	0.15	1.57	0.15	1.75	0.14	88.73	0.35	0.44	0.33	0.013	0.51	0.060	0.06	0.020	0.48
J4-5	0.41	0.66	0.95	0.14	1.11	0.13	35.50	0.36	0.57	0.12	0.017	0.38	0.062	0.46	0.031	0.56
J4-6	0.75	0.14	1.14	0.20	1.27	0.24	61.52	0.44	0.61	0.26	0.015	0.57	0.042	0.50	0.021	0.47
J4-7	0.72	0.21	1.06	0.17	1.14	0.20	29.95	0.56	0.55	0.34	0.028	0.46	0.093	0.31	0.040	0.33

表3. 4. 2-67

試験体	破壊形態	試験体	破壊形態	試験体	破壊形態
J2-1-1	ホゾ全体の折れ	J3-1-1	込み栓部分のホゾのせん断	J4-1-1	ホゾ全体の折れ
J2-1-2	鼻栓部分のホゾのせん断→ホゾ全体の折れ	J3-1-2	込み栓から片側のホゾの折れ	J4-1-2	片側のホゾの折れ
J2-1-3	ホゾ全体の折れ	J3-1-3	ホゾ全体の折れ	J4-1-3	ホゾ全体の折れ
J2-2-1	ホゾ全体の折れ	J3-2-1	ホゾ全体の折れ	J4-2-1	ホゾ全体の折れ
J2-2-2	ホゾ全体の折れ	J3-2-2	ホゾ全体の折れ	J4-2-2	ホゾの節からの折れ
J2-2-3	鼻栓部分のホゾのせん断	J3-2-3	ホゾ全体の折れ	J4-2-3	ホゾ全体の折れ
J2-3-1	ホゾ全体の折れ	J3-3-1	込み栓部分のホゾのせん断	J4-3-1	ホゾの引き抜け
J2-3-2	鼻栓部分のホゾのせん断	J3-3-2	込み栓部分のホゾのせん断	J4-3-2	ホゾの引き抜け
J2-3-3	鼻栓部分のホゾのせん断	J3-3-3	込み栓部分のホゾのせん断とホゾ全体の折れ	J4-3-3	ホゾの引き抜け
J2-4-1	鼻栓から片側のホゾの折れ	J3-4-1	柱の曲げ	J4-4-1	ホゾの引き抜け・めり込みと割り楔の抜け
J2-4-2	鼻栓部分のホゾのせん断	J3-4-2	込み栓の曲げ	J4-4-2	ホゾの節からの割裂
J2-4-3	鼻栓部分のホゾのせん断	J3-4-3	柱の曲げ	J4-4-3	ホゾの引き抜け・めり込みと割り楔の抜け
J2-5-1	鼻栓部分のホゾのせん断→ホゾ全体の折れ	J3-5-1	ホゾ全体の折れ	J4-5-1	ホゾ全体の折れ
J2-5-2	鼻栓から節へき裂→鼻栓から片側のホゾの折れ	J3-5-2	ホゾ全体の折れ	J4-5-2	ホゾの引き抜け・めり込みと割り楔の抜け
J2-5-3	鼻栓から節へき裂→鼻栓から片側のホゾの折れ	J3-5-3	込み栓から片側のホゾの折れ	J4-5-3	ホゾの引き抜け・めり込みと割り楔の抜け
J2-6-1	ホゾ全体の折れ	J3-6-1	ホゾ全体の折れ	J4-6-1	ホゾ全体の折れ
J2-6-2	ホゾ全体の折れ	J3-6-2	ホゾ全体の折れ	J4-6-2	ホゾの節からの折れ
J2-6-3	鼻栓部分のホゾのせん断→ホゾ全体の折れ	J3-6-3	ホゾ全体の折れ	J4-6-3	ホゾの節からの折れ
J2-7-1	鼻栓部分のホゾのせん断→ホゾ全体の折れ	J3-7-1	ホゾ全体の折れ	J4-7-1	ホゾの節からの折れ
J2-7-2	鼻栓からき裂→ホゾ全体の折れ	J3-7-2	ホゾ全体の折れ	J4-7-2	ホゾの引き抜け・めり込みと割り楔の抜け
J2-7-3	鼻栓部分のホゾのせん断	J3-7-3	ホゾ全体の折れ	J4-7-3	ホゾ全体の折れ
J2-8-1	鼻栓が柱へめり込み→鼻栓の折れ	J3-8-1	ホゾ全体の折れ		
J2-8-2	ホゾ全体の折れ	J3-8-2	ホゾ全体の折れ		
J2-8-3	ホゾ全体の折れ	J3-8-3	ホゾ全体の折れ		
		J3-9-1	ホゾ全体の折れ		
		J3-9-2	ホゾ全体の折れ		
		J3-9-3	ホゾ全体の折れ		
		J3-10-1	ホゾ全体の折れ		
		J3-10-2	込み栓部分のホゾのせん断		
		J3-10-3	ホゾ全体の折れ		

(6) 試験体番号A1, A2, C1, C2, C3試験体

1) 試験体番号A1 (蟻継ぎの引張試験)

(a) 試験体

試験体は、表3.4.2-68および図3.4.2-179に示すように、蟻継ぎであり、パラメーターは継手の加工寸法である。木材の樹種はすべてすぎ (E70) を使用した。

表3.4.2-68 試験体 (蟻継ぎ、試験体番号 : A1)

No.	断面寸法 (mm)		加工寸法 (mm)			数量
	w	h	b	e	I	
1	120	120	30	9	30	3体
2				9	45	3体
3				9	60	3体
4				7.5	30	3体
5				15	30	3体

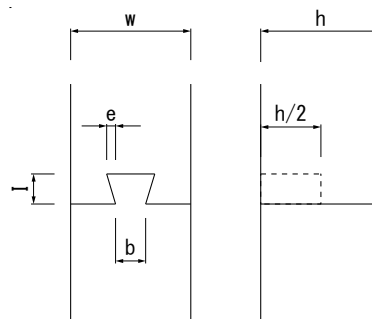


図3.4.2-179 加工寸法 (mm)

(b) 試験方法

試験は、図3.4.2-180および写真3.4.2-71に示すように、試験体両端に加力治具を介して引張力を加える方法により行った。振れ止めローラーを用いて試験体の横方向の移動を拘束した。加力にはオイルジャッキを用い、荷重の検出にはロードセルを用いた。

加力は単調漸増载荷とし、最大荷重に達した後、最大荷重の80%まで荷重が低下するか、変形量 δ が30mmに達するまで行うこととした。変形量 δ は下式を用いて算定した。

$$\delta = \frac{D1+D2}{2} - \frac{D3+D4}{2}$$

ただし、 D_i は変位計D.T.iの読みによる変位量を示す。

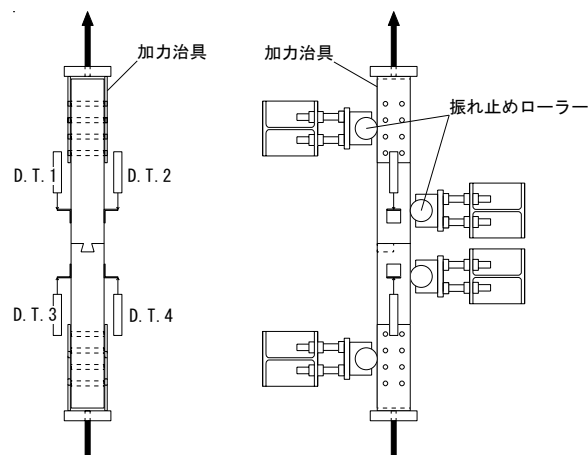


図3.4.2-180 試験方法

(c) 試験結果

①破壊性状

破壊性状は、いずれの試験体とも蟻部分が外側に押し広げられることによる女木の繊維方向の割裂または女木または男木の蟻部分のせん断破壊であった。



蟻部 (女木) のせん断破壊



女木の繊維方向の割裂



蟻部 (男木) のせん断破壊

写真3.4.2-72 破壊状況



写真3.4.2-71 試験方法

②試験結果一覧およびP- δ 曲線

試験結果一覧を表3.4.2-69に、P- δ 曲線を図3.4.2-181に示す。PyおよびPuの下限値は95%下限値を、Kの下限値は50%下限値をそれぞれ示す。

表3.4.2-69 試験結果一覧（蟻継ぎ、試験体番号：A1）

No.	断面寸法 (mm)		加工寸法 (mm)			Pmax (kN) (平均値)	Py (kN)		Pu (kN)		K (kN/mm)	
	w	h	b	e	I		平均値	下限値	平均値	下限値	平均値	下限値
1	120	120	30	9	30	6.28	4.51	2.21	5.94	3.84	1.77	1.16
2				9	45	7.61	4.71	—	6.81	5.14	1.90	1.46
3				9	60	6.40	4.83	2.80	5.85	2.73	0.94	0.87
4				7.5	30	7.03	4.22	3.30	6.43	5.40	8.07	3.13
5				15	30	7.21	3.71	3.19	6.68	5.71	12.86	11.71

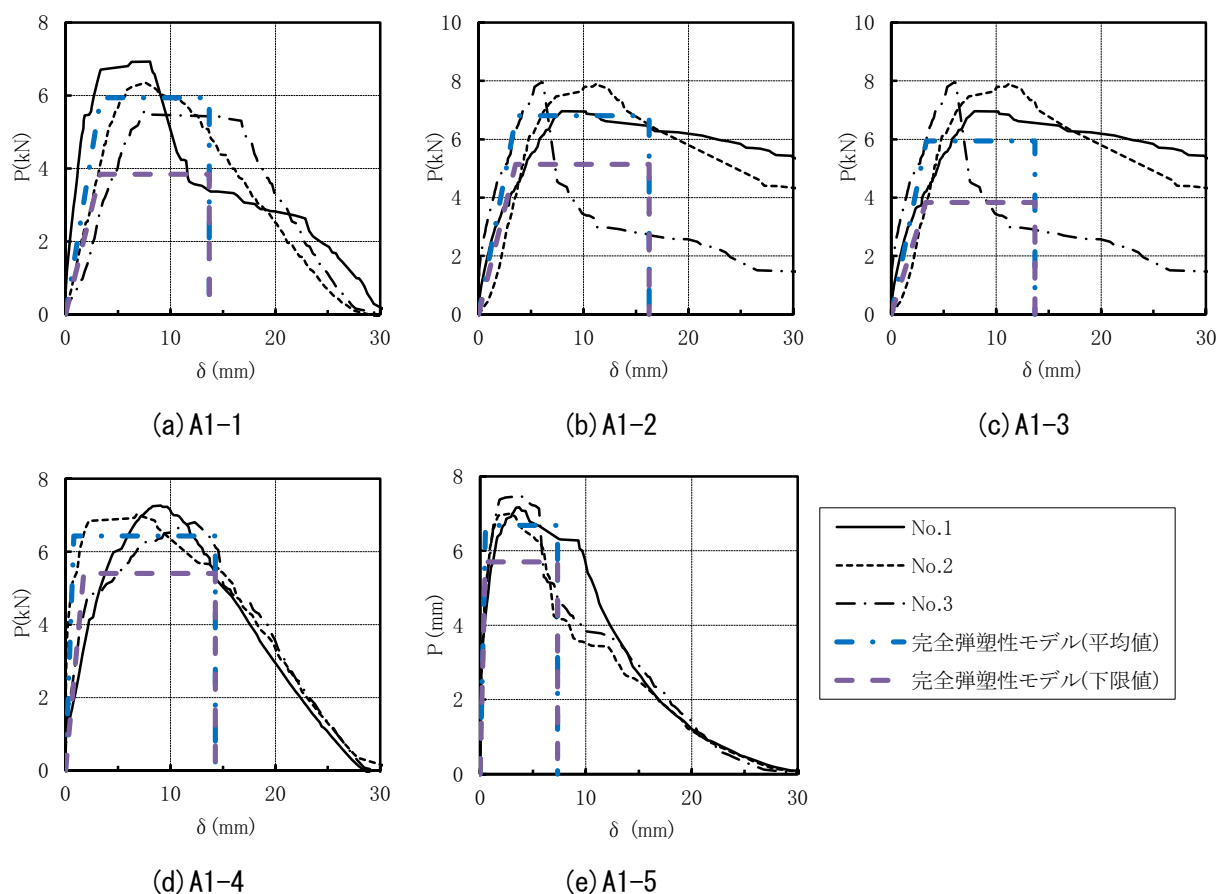


図3.4.2-181 P- δ 関係（試験体：A1-1～A1-5）

(d) 試験結果の考察

①蟻ほぞの長さの影響

蟻ほぞの長さの違いによる比較を図3.4.2-182に示す。同図に示すように、ほぞの長さの違いによる耐力および剛性の明確な違いはみられなかった。

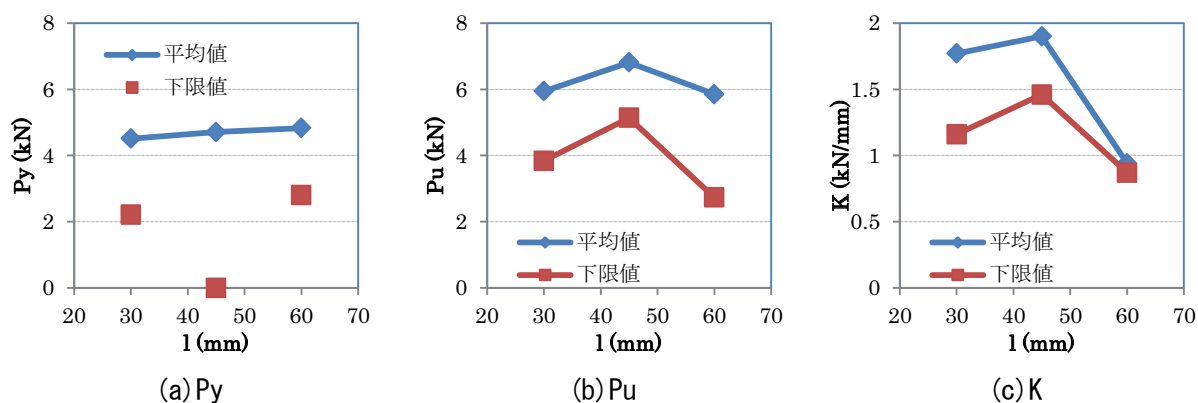


図3.4.2-182 加工寸法の影響（蟻ほぞの長さ： l ）（試験体：A1）

②蟻ほぞ先端の拡張幅の影響

蟻ほぞ先端の拡張幅 e の違いによる比較を図3.4.2-183に示す。同図に示すように、蟻ほぞ先端の拡張幅の違いによる耐力および剛性の明確な傾向はみられなかった。

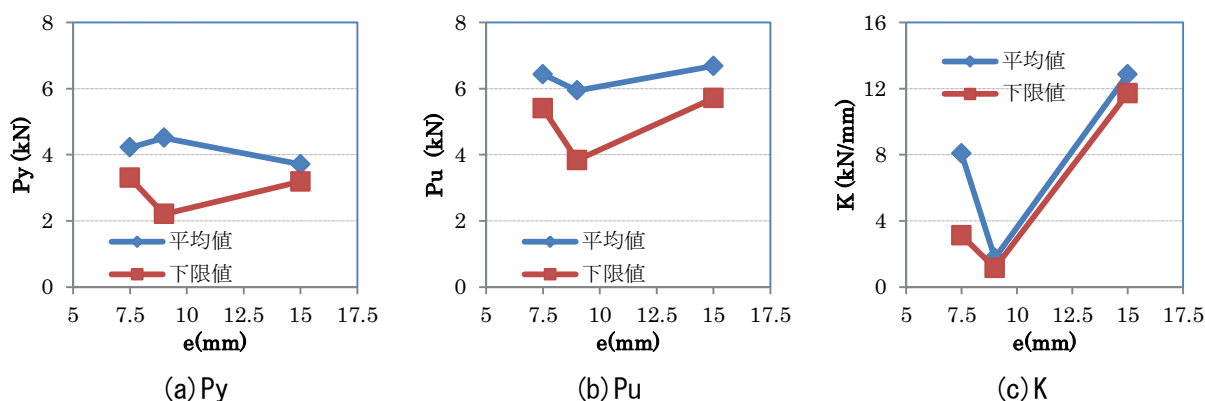


図3.4.2-183 加工寸法の影響（蟻ほぞ先端の拡張幅： e ）（試験体：A1）

2) 試験体番号A2（蟻掛けの引張試験）

(a) 試験体

試験体は、表3.4.2-70および図3.4.2-184に示すように、蟻掛けであり、パラメーターは材のせいおよび継ぎ手の加工寸法である。木材の樹種はすべてすぎ（E70）を使用した。

表3.4.2-70 試験体（蟻掛け、試験体番号：A2）

No.	断面寸法 (mm)		加工寸法 (mm)			数量
	w	h	b	e	l	
1	120	120	30	7.5	30	3体
2			90	7.5	24	3体
3			30	9	30	3体
4			30	15	30	3体
5		180	30	7.5	30	3体
6		240	30	7.5	30	3体
7		300	30	7.5	30	3体

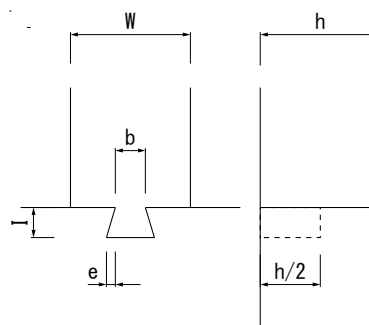


図3.4.2-184 加工寸法 (mm)

(b) 試験方法

試験は、図3.4.2-185および写真3.4.2-73に示すように、試験体両端に加力治具を介して引張力を加える方法により行った。振れ止めローラーを用いて試験体の横方向の移動を拘束した。加力にはオイルジャッキを用い、荷重の検出にはロードセルを用いた。

加力は単調漸増载荷とし、最大荷重に達した後、最大荷重の80%まで荷重が低下するか、変形量 δ が30mmに達するまで行うこととした。変形量 δ は下式を用いて算定した。

$$\delta = \frac{D1+D2}{2} - \frac{D3+D4}{2}$$

ただし、 D_i は変位計D.T.iの読みによる変位量を示す。

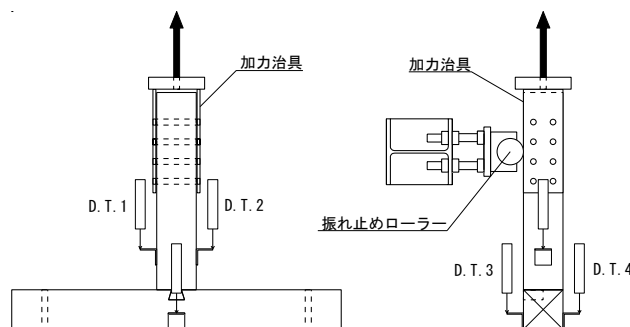


図3.4.2-185 試験方法



写真3.4.2-73 試験方法

(c) 試験結果

①破壊性状

破壊性状は、いずれの試験体とも女木の繊維方向の割裂破壊であった。

②試験結果一覧およびP- δ 曲線

試験結果一覧を表3.4.2-74に、P- δ 曲線を図3.4.2-186に示す。 P_y および P_u の下限値は95%下限値を、 K の下限値は50%下限値をそれぞれ示す。



写真3.4.2-74 破壊状況

表3.4.2-71 試験結果一覧（蟻掛け、試験体番号：A2）

No.	断面寸法 (mm)		加工寸法(mm)			Pmax (kN) (平均値)	P _y (kN)		P _u (kN)		K (kN/mm)	
	w	h	b	e	I		平均値	下限値	平均値	下限値	平均値	下限値
1	120	120	30	7.5	30	5.49	3.12	1.91	4.74	1.48	2.66	1.87
2			90	7.5	24	4.34	2.52	—	4.02	2.65	7.93	4.53
3			30	9	30	5.36	3.88	0.85	4.79	0.83	2.62	2.08
4			30	15	30	4.92	2.83	—	4.55	0.26	13.15	7.22
5		180	30	7.5	30	7.98	4.82	1.22	7.48	4.67	8.79	7.12
6		240	30	7.5	30	7.29	4.60	2.88	6.62	3.73	8.91	5.29
7		300	30	7.5	30	9.08	5.47	3.21	8.15	5.36	7.22	5.50

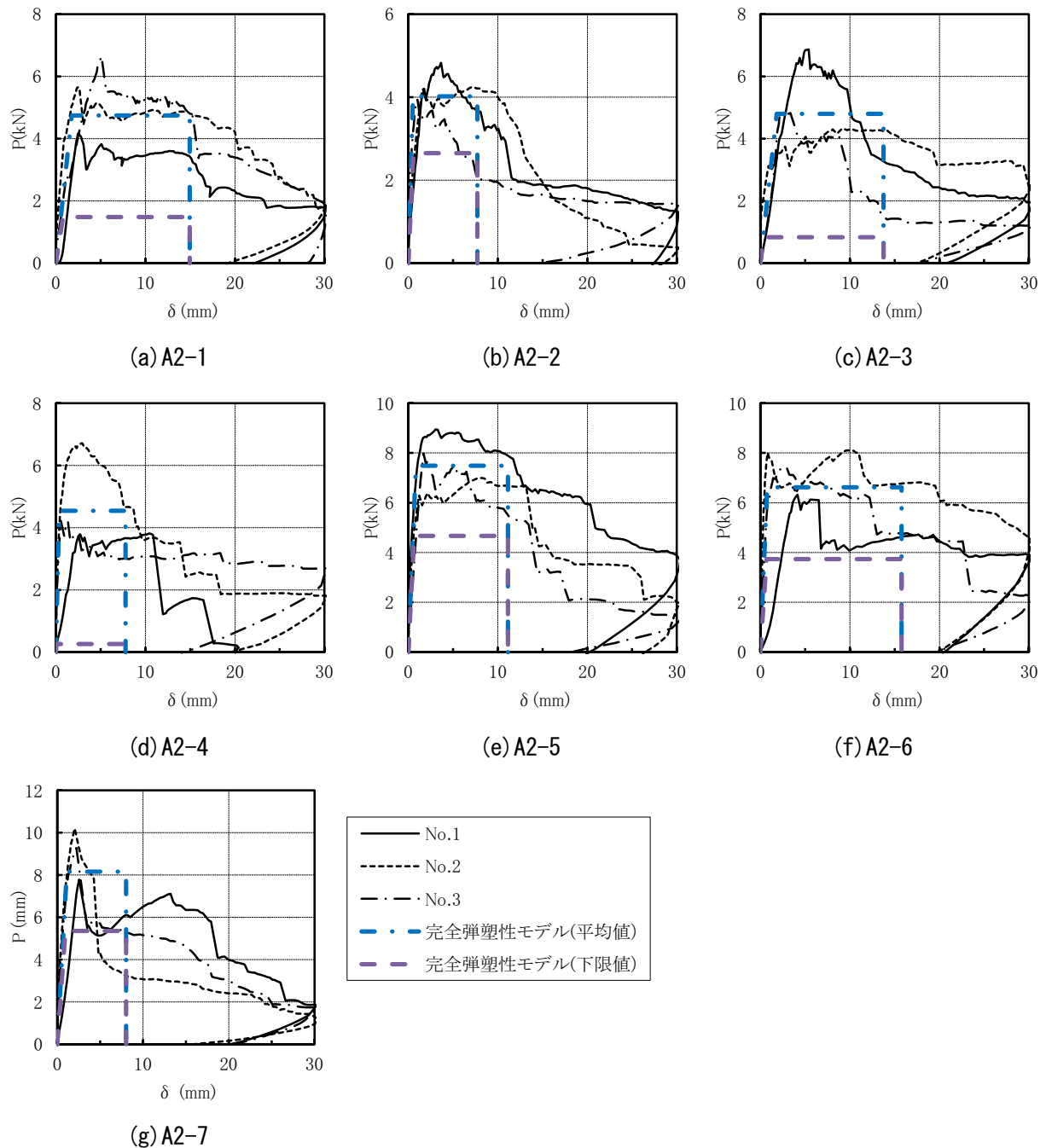


図3.4.2-186 P- δ 関係 (試験体 : A2-1~A2-7)

(d) 試験結果の考察

① 蟻ほぞ先端の拡張幅の影響

蟻ほぞ先端の拡張幅 e の違いによる比較を図3.4.2-187に示す。同図に示すように、 P_y および P_u については蟻ほぞ先端の拡張幅の違いによる明確な傾向はみられなかった。 KI については、蟻ほぞ先端の拡張幅が大きいほど高くなる傾向が見られる。

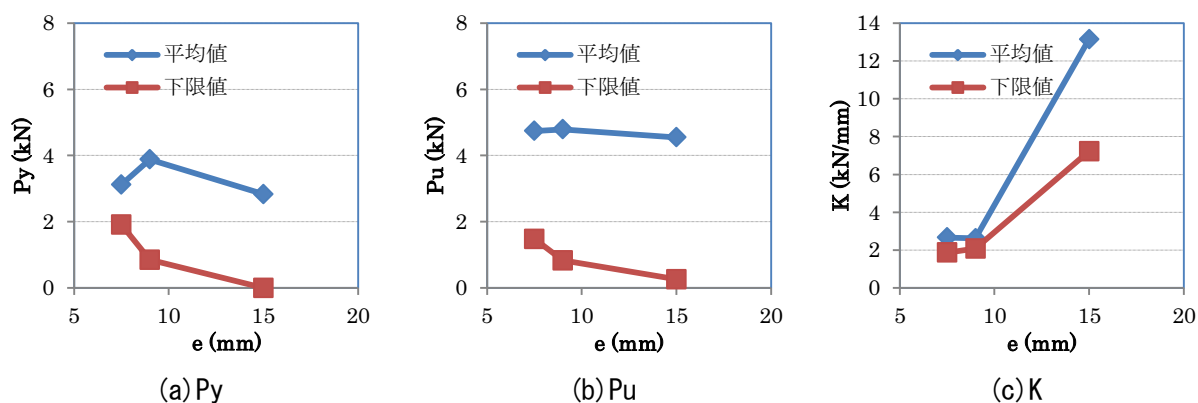


図3.4.2-187 加工寸法の影響（蟻ほぞ先端の拡張幅： e ）（試験体：A2）

②材のせいの影響

材のせい h の違いによる比較を図3.4.2-188に示す。同図に示すように、せいが高いほど P_y および P_u は高くなる傾向が見られるが、 K については明確な傾向は認められなかった。

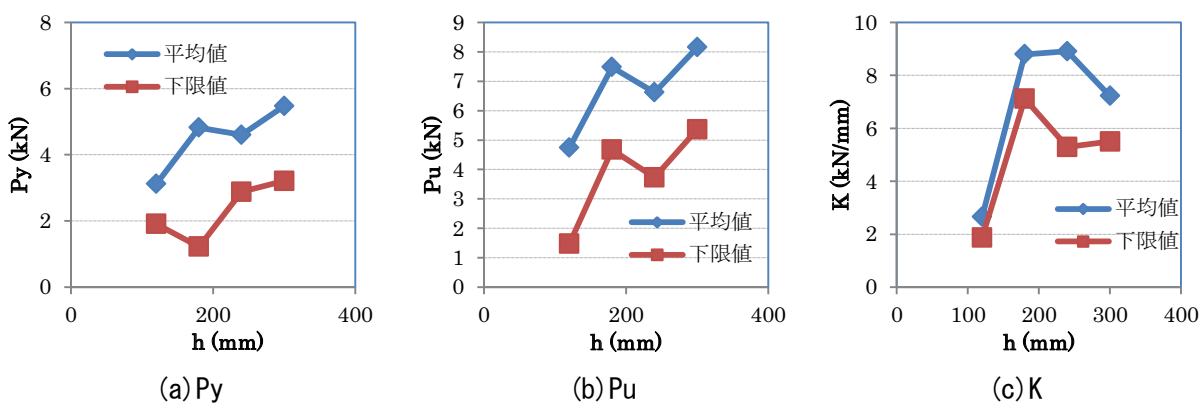


図3.4.2-188 加工寸法の影響（材のせい： h ）（試験体：A2）

③蟻ほぞの根本幅の影響

蟻ほぞの根本幅 b の違いによる比較を図3.4.2-189に示す。同図に示すように、根本幅が大きいほど P_y および P_u は若干低くなる傾向が見られるが、 K については高くなる傾向がみられる。

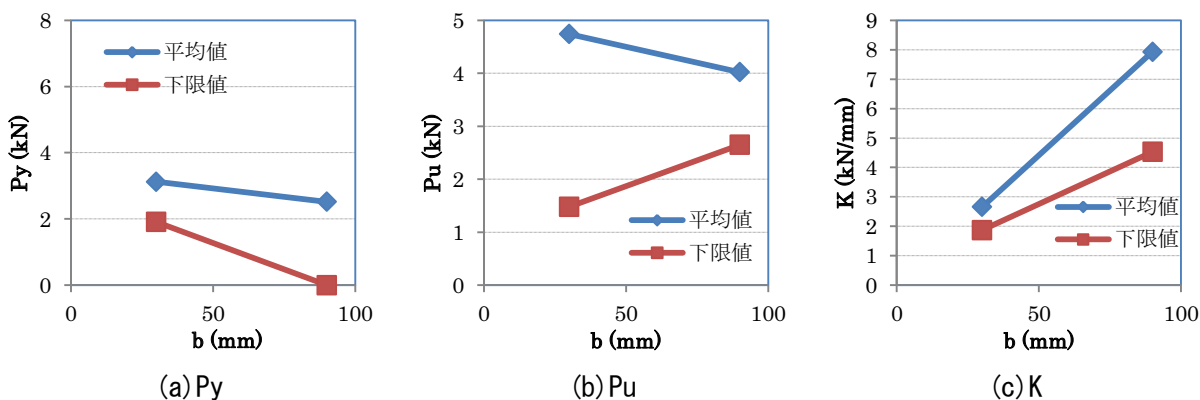


図3.4.2-189 加工寸法の影響（蟻ほぞの根本幅： b ）（試験体：A2）

3) 試験体番号C1（追掛け大栓継ぎの引張試験）

(a) 試験体

試験体は、表3.4.2-72および図3.4.2-190に示すように、追掛け大栓継ぎであり、パラメーターは材のせいおよび継手の加工寸法である。木材の樹種はすべてすぎ（E70）を使用し、栓は白樺を使用した。

表3.4.2-72 試験体（追掛け大栓継ぎ、試験体番号：C1）

No.	断面寸法(mm)		加工寸法(mm)			数量
	w	h	L	e	d	
1	120	180	300	15	込栓 なし	3体
2				30		3体
3				45		3体
4		120		15		3体
5		240		15		3体
6		300		15		3体
7		180	180	15		3体
8		180	450	15		3体
9	150	300	300	30	15角 24角 15丸 24丸	3体
10	150	300	600	30		3体
11	120	180	300	15		3体
12				15		3体
13				15		3体
14				15		3体

(b) 試験方法

試験は、図3.4.2-191および写真3.4.2-75に示すように、試験体両端に加力治具を介して引張力を加える方法により行った。振れ止めローラーを用いて試験体の横方向の移動を拘束した。加力にはオイルジャッキを用い、荷重の検出にはロードセルを用いた。

加力は単調増载荷とし、最大荷重に達した後、最大荷重の80%まで荷重が低下するか、変形量 δ が30mmに達するまで行うこととした。変形量 δ は下式を用いて算定した。

$$\delta = \frac{D1+D2}{2} - \frac{D3+D4}{2}$$

ただし、Diは変位計D.T.iの読みによる変位量を示す。

(c) 試験結果

①破壊性状

破壊性状は、いずれの試験体とも目違いの開きによる割裂き発生後に、顎から先の鎌部分がせん断破壊した。また、込栓がある試験体では孔部分の端抜け破壊や割裂破壊もみられた。

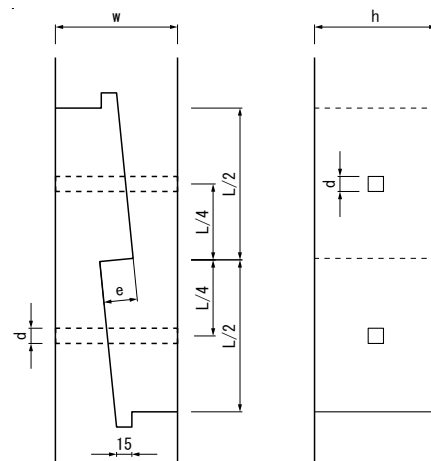


図3.4.2-190 加工寸法(mm)

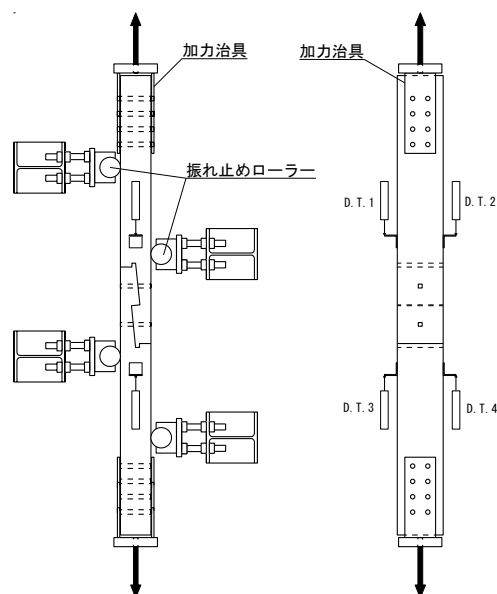


図3.4.2-191 試験方法



写真3.4.2-75 試験方法



鎌部分のせん断破壊



孔部分の端抜け破壊（角栓）



孔部分の割裂破壊（丸栓）

写真3.4.2-76 破壊状況

②試験結果一覧およびP- δ 曲線

試験結果一覧を表3.4.2-73に、P- δ 曲線を図3.4.2-192(1)-(2)に示す。PyおよびPuの下限値は95%下限値を、Kの下限値は50%下限値をそれぞれ示す。

表3.4.2-73 試験結果一覧（追掛け継ぎ、試験体番号：C1）

No.	断面寸法(mm)		加工寸法(mm)			Pmax (kN) (平均値)	Py (kN)		Pu (kN)		K (kN/mm)	
	w	h	L	e	d		平均値	下限値	平均値	下限値	平均値	下限値
1	120	180	300	15	込栓 なし	53.1	29.1	21.3	47.6	28.2	32.17	29.9
2				30		57.9	36.6	19.3	50.0	35.9	18.8	17.5
3				45		36.6	24.0	19.1	32.9	6.8	18.34	13.4
4		120		15		37.6	20.7	15.4	33.9	29.2	17.9	16.3
5		240		15		63.2	35.7	19.8	57.1	38.2	56.1	44.3
6		300		15		79.0	48.8	37.2	72.4	67.5	44.2	39.1
7		180	180	15		36.0	21.0	4.4	32.3	3.4	36.7	32.9
8		180	450	15		59.9	36.3	21.1	54.4	25.7	36.9	31.9
9	150	300	300	30		77.5	44.0	36.7	68.6	64.1	37.6	33.8
10	150	300	600	30		92.5	48.5	37.2	76.5	61.2	38.7	33.9
11	120	180	300	15	15角	65.3	39.9	27.7	59.6	47.2	40.1	28.7
12				15	24角	56.3	30.6	3.2	50.2	22.1	36.6	32.9
13				15	15丸	61.0	33.8	21.9	54.3	38.3	38.6	34.4
14				15	24丸	60.9	37.7	31.8	55.4	41.7	22.2	19.6

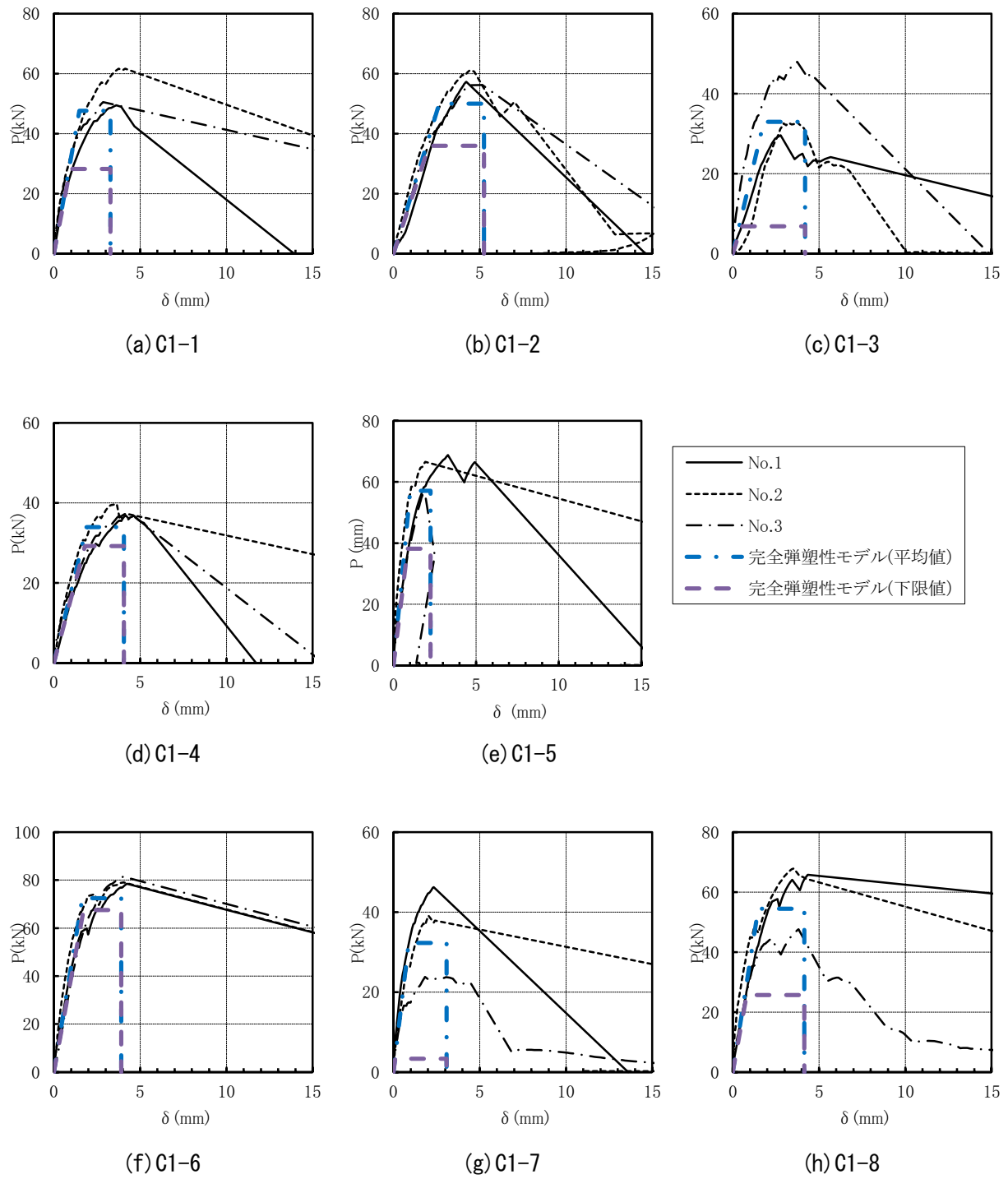


図3.4.2-192(1) P- δ 関係 (試験体 : C1-1~C1-8)

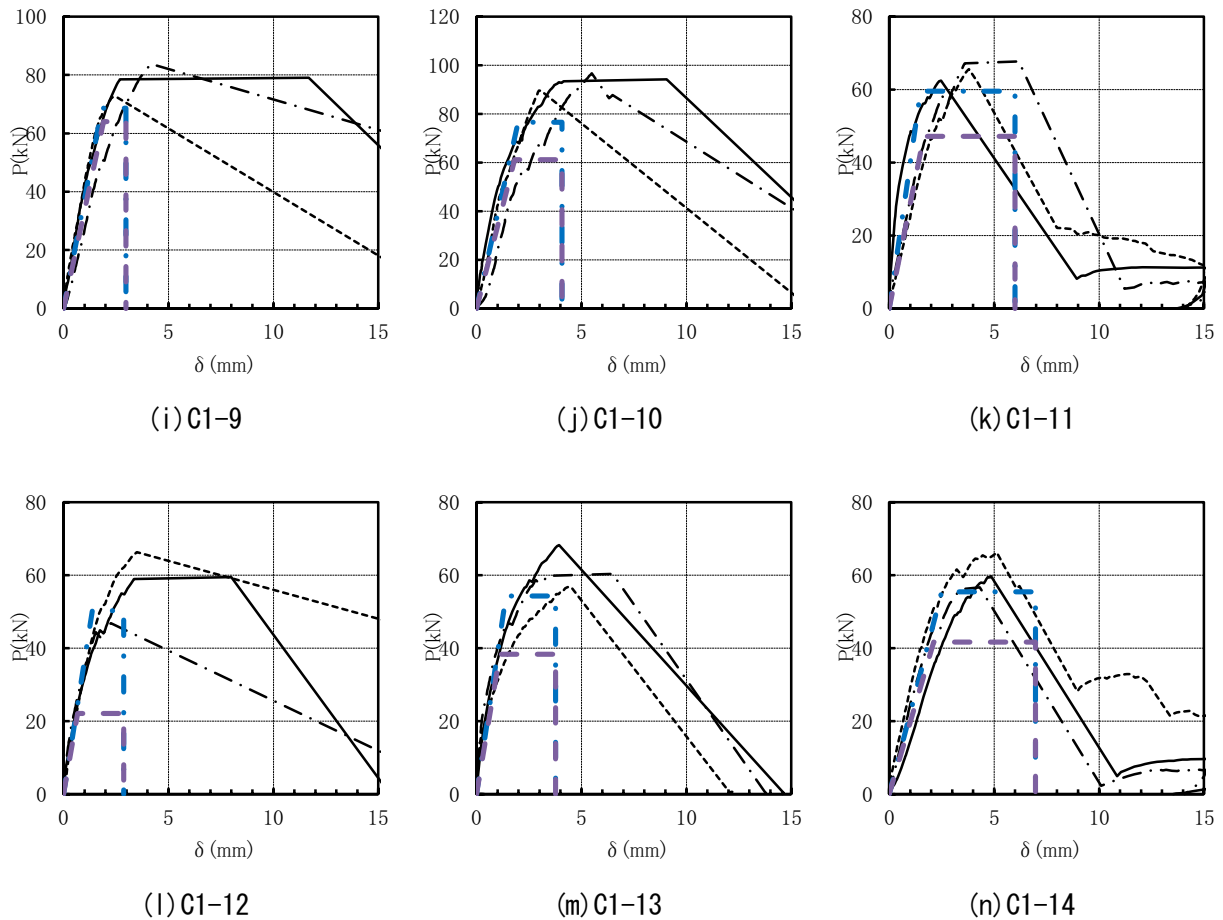


図3.4.2-192(2) P- δ 関係（試験体：C1-9～C1-14）

(d) 試験結果の考察

① 顎寸法の影響

顎寸法 e の違いによる比較を図3.4.2-193に示す。同図に示すように、 P_y および P_u については顎寸法による明確な違いは認められなかったが、 K については顎寸法が大きいほど低下する傾向が見られる。

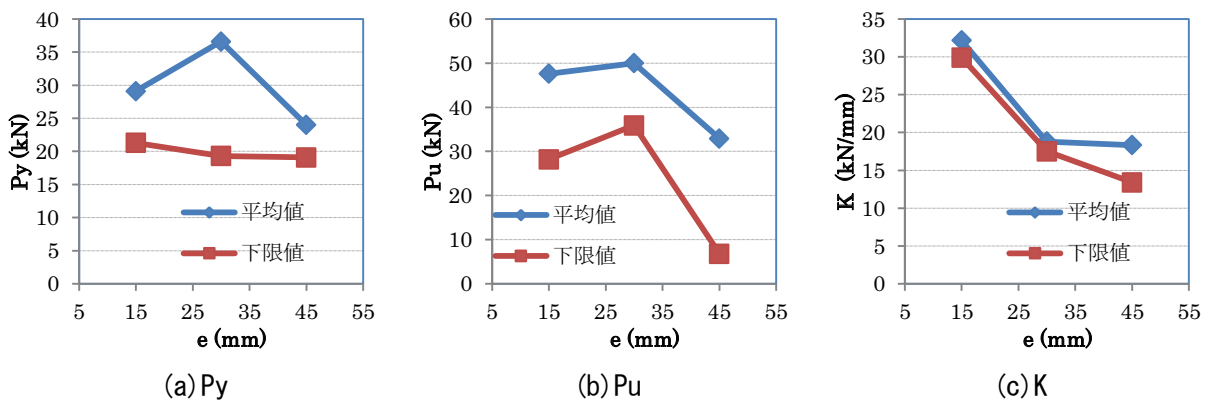


図3.4.2-193 加工寸法の影響（顎寸法： e ）（試験体：C1）

② 材のせいの影響

材のせい h の違いによる比較を図3.4.2-194に示す。同図に示すように、せいが高いほど P_y 、 P_u および K ともに高くなる傾向が見られる。

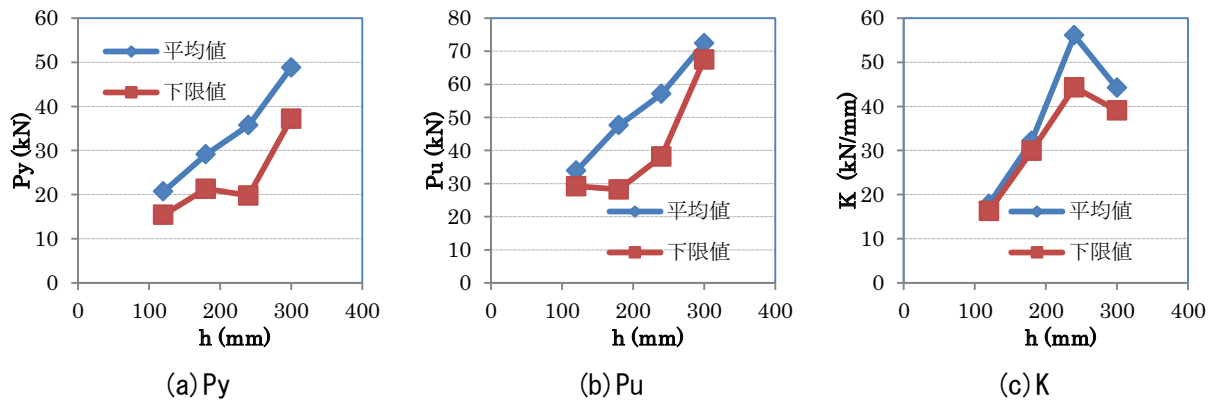


図3.4.2-194 加工寸法の影響（材のせい：h）（試験体：C1）

③接合長さの影響

接合長さLの違いによる比較を図3.4.2-195および図3.4.2-196に示す。図3.4.2-195に示すように、材の幅が120mmの場合は、 P_y および P_u は接合長さがほど高くなる傾向がみられるが、 K についてはすべて同程度であった。図3.4.2-196に示すように、材の幅が150mmの場合は、 P_y 、 P_u および K ともに明確な傾向は見られなかった。

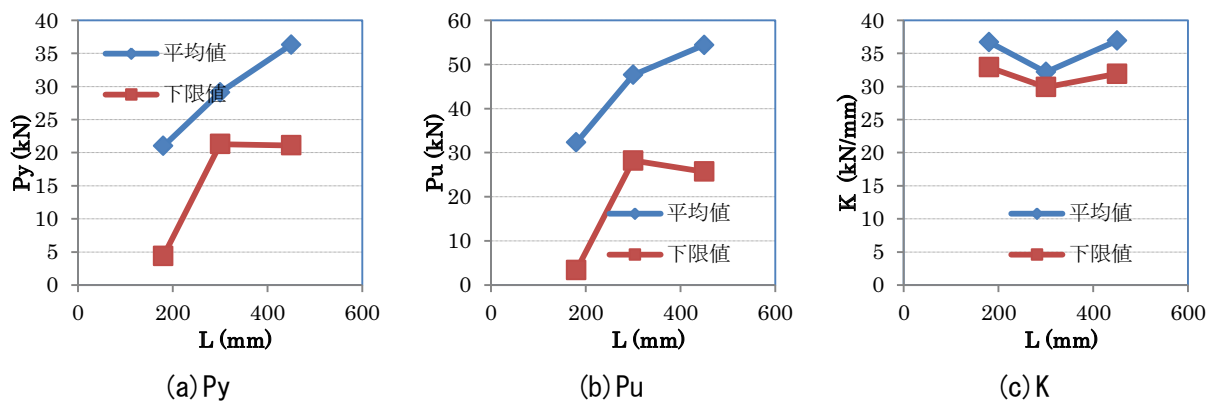


図3.4.2-195 加工寸法の影響（接合長さ：L、幅120mmの場合）（試験体：C1）

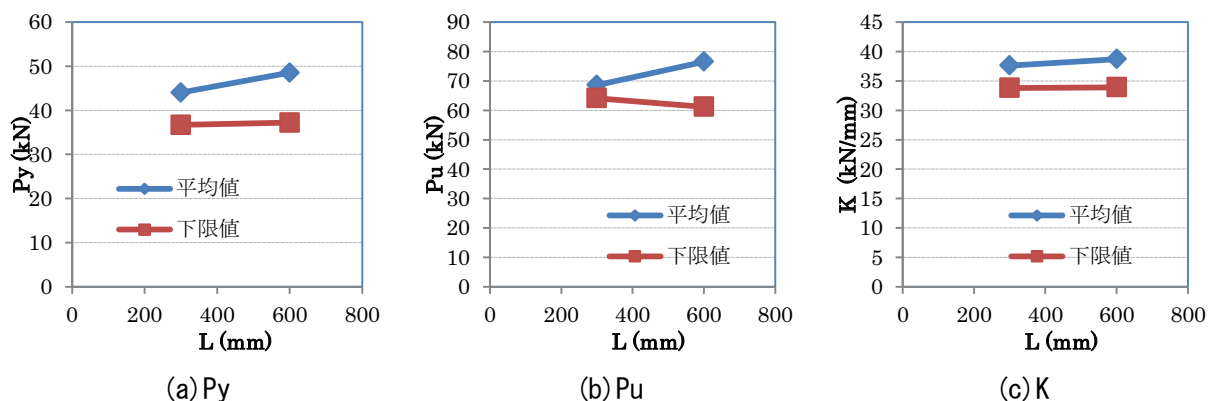


図3.4.2-196 加工寸法の影響（接合長さ：L、幅150mmの場合）（試験体：C1）

④込栓の影響

込栓の有無および形状の違い（角又は丸）による比較を図3.4.2-197に示す。同図に示すように、込栓の有無および形状の違いによる明確な傾向は見られなかった。

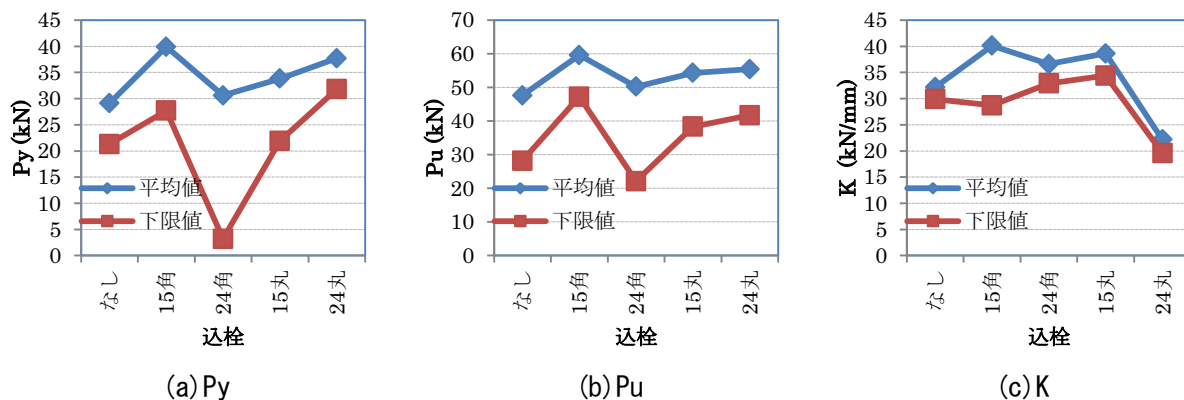


図3.4.2-197 釘栓の有無の影響（試験体：C1）

4) 試験体番号C2（金輪継ぎの引張試験）

(a) 試験体

試験体は、表3.4.2-74および図3.4.2-198に示すように、金輪継ぎであり、パラメーターは継ぎ手の加工寸法および栓の年輪の角度である。木材の樹種はすべてすぎ（E70）を使用し、栓は白樺を使用した。

表3.4.2-74 試験体（金輪継ぎ、試験体番号：C2）

No.	断面寸法 (mm)		加工寸法 (mm)		栓の年輪 の角度	数量
	w	h	L	e		
1	120	180	300	15	90°	3体
2				30	90°	3体
3				45	90°	3体
4				30	0°	3体

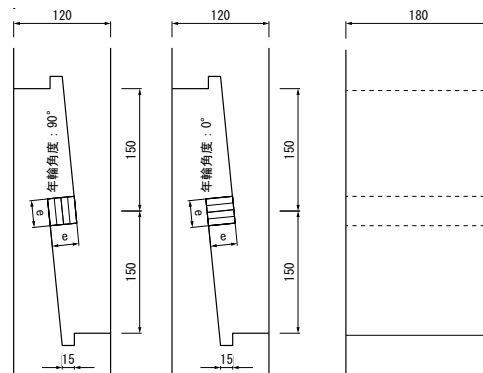


図3.4.2-198 加工寸法 (mm)

(b) 試験方法

試験は、図3.4.2-21および写真3.4.2-77に示すように、試験体両端に加力治具を介して引張力を加える方法により行った。振れ止めローラーを用いて試験体の横方向の移動を拘束した。加力にはオイルジャッキを用い、荷重の検出にはロードセルを用いた。

加力は単調漸増载荷とし、最大荷重に達した後、最大荷重の80%まで荷重が低下するか、変形量 δ が30mmに達するまで行うこととした。変形量 δ は下式を用いて算定した。

$$\delta = \frac{D1+D2}{2} - \frac{D3+D4}{2}$$

ただし、 D_i は変位計D.T.iの読みによる変位量を示す。

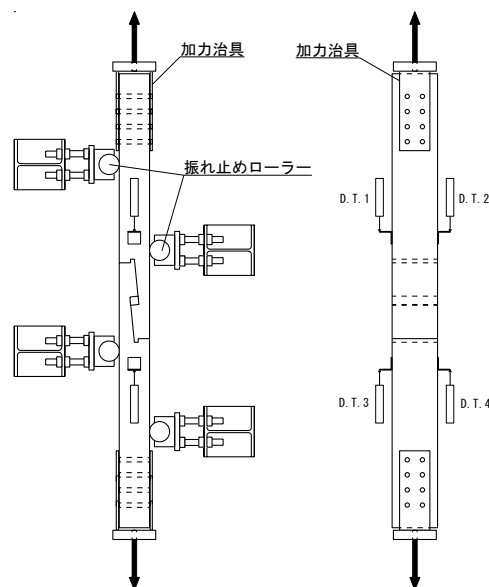


図3.4.2-199 試験方法

(c) 試験結果

①破壊性状

破壊性状は、いずれの試験体とも目違いの開きによる割裂き発生後に、顎から先の鎌部分がせん断破壊した。



目違いの開きによる割裂き破壊



鎌部分のせん断破壊

写真3. 4. 2-78 破壊状況



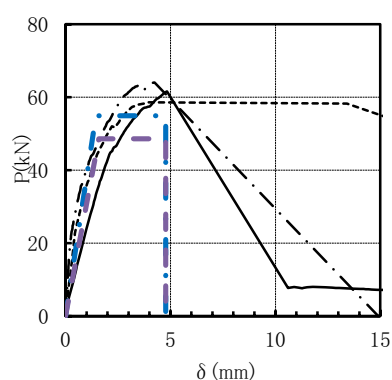
写真3. 4. 2-77 試験方法

②試験結果一覧およびP- δ 曲線

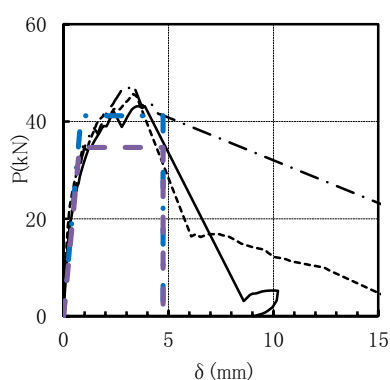
試験結果一覧を表3.4.2-78に、P- δ 曲線を図3.4.2-200(1)-(2)に示す。PyおよびPuの下限値は95%下限値を、Kの下限値は50%下限値をそれぞれ示す。

表3. 4. 2-75 試験結果一覧（金輪継ぎ、試験体番号：C2）

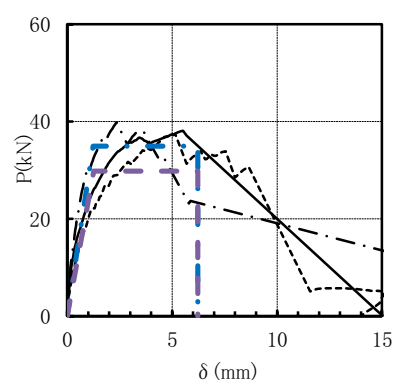
No.	断面寸法 (mm)		加工寸法 (mm)		栓の年輪 の角度	Pmax (kN) (平均値)	Py (kN)		Pu (kN)		K (kN/mm)	
	w	h	L	e			平均値	下限値	平均値	下限値	平均値	下限値
1	120	180	300	15	90°	61.2	34.6	22.2	54.9	48.6	37.8	30.7
2				30	90°	45.4	26.1	18.7	41.2	34.7	49.2	45.3
3				45	90°	38.4	21.5	16.6	34.9	29.8	28.4	23.6
4				30	0°	48.6	27.5	23.9	43.6	33.4	40.2	33.9



(a) C2-1

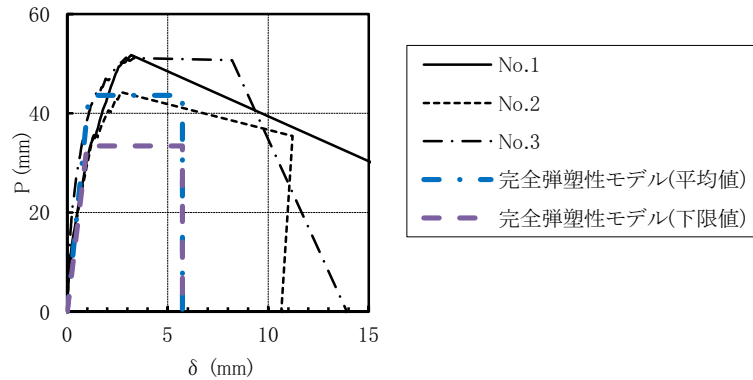


(b) C2-2



(c) C2-3

図3. 4. 2-200 (1) P- δ 関係（試験体：C2-1～C2-3）



(d) C2-4

図3.4.2-200(2) P- δ 関係 (試験体 : C2-4)

(d) 試験結果の考察

① 顎寸法の影響

顎寸法 e の違いによる比較を図3.4.2-201に示す。同図に示すように、 P_y および P_u は顎寸法が大きいほど低下する傾向がみられ、 K については顎寸法による明確な違いはみられなかった。

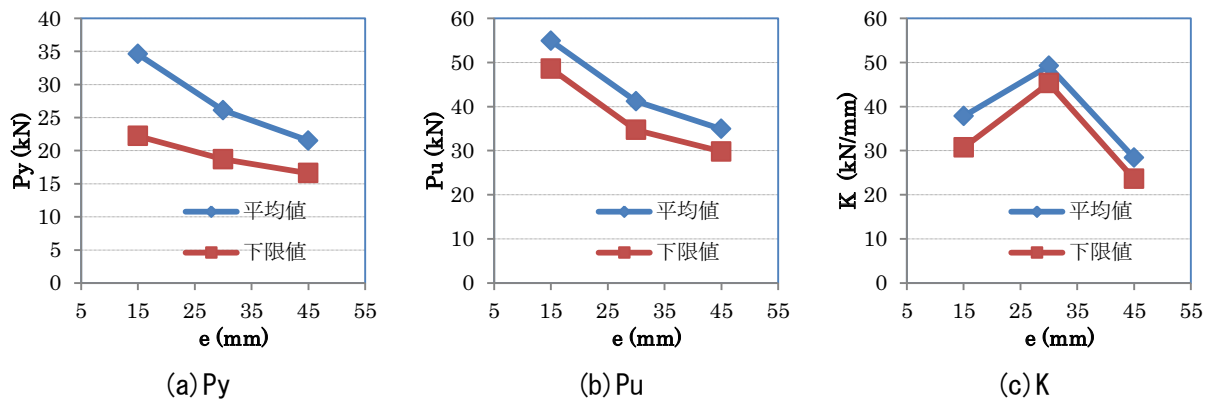


図3.4.2-201 加工寸法の影響 (顎寸法 : e) (試験体 : C2)

② 栓の年輪の角度の影響

栓の年輪の角度の違いによる比較を図3.4.2-202に示す。同図に示すように、 P_y および P_u については角度の違いによる明確な傾向がみられなかったが、 K については年輪の角度が90度の方が高い値になった。

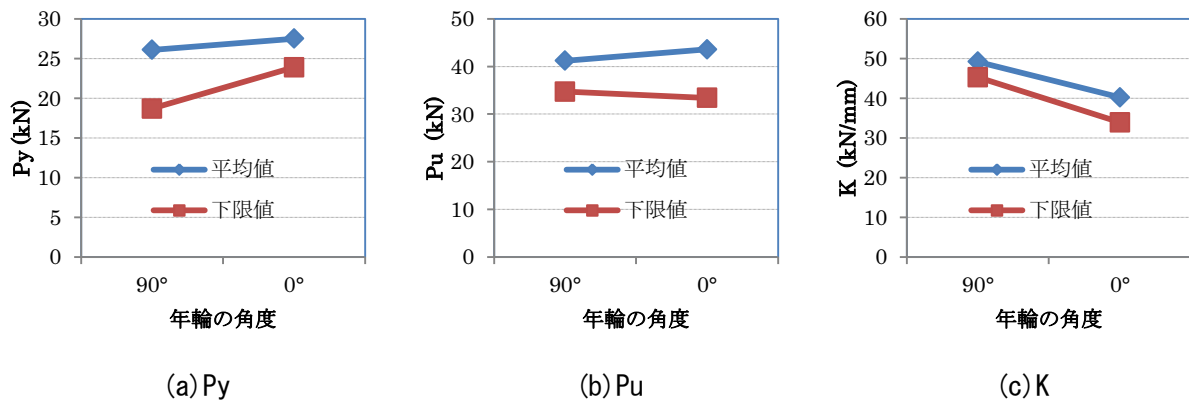


図3.4.2-202 栓の年輪の角度の影響 (試験体 : C1)

③追掛け継ぎと金輪継ぎの比較

同じ断面寸法、同じ継手長さである追掛け継ぎと金輪継ぎの比較を図3.4.2-203に示す。同図に示すように、PyおよびPuについては追掛け継ぎの方が若干高い傾向がみられるが、Kについては金輪継ぎの方が2倍以上高い値となった。

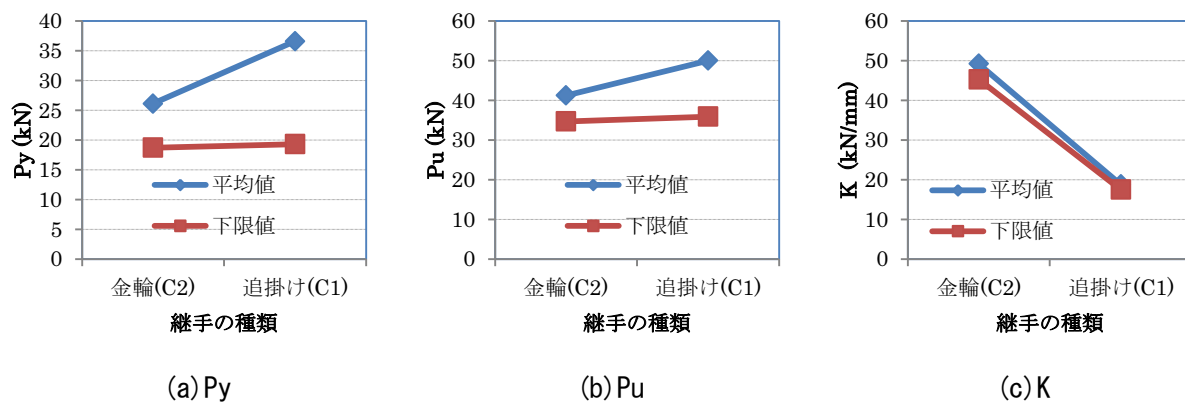


図3. 4. 2-203 継ぎ手の種類の比較（試験体：C1、C2）

5)試験体番号C3（台持ち継ぎの引張試験）

(a) 試験体

試験体は、表3.4.2-76および図3.4.2-204に示すように、台持ち継ぎであり、パラメーターは材のせいである。木材の樹種はすべてすぎ（E70）を使用し、栓は白樺を使用した。

表3. 4. 2-76 試験体（台持ち継ぎ、試験体番号：C3）

No.	断面寸法 (mm)		加工寸法(mm)			栓の長さ	数量
	w	h	L	e	g		
1	150	180	360	15	120	120	3体
2		240	480	30	150	150	3体
3		300	600	45	180	180	3体

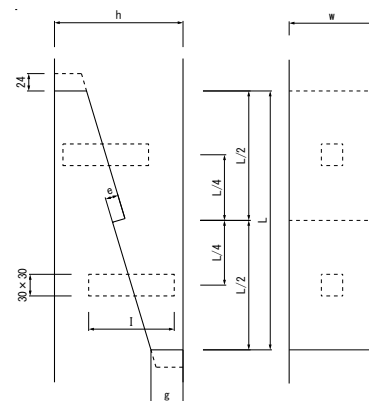


図3. 4. 2-204 加工寸法 (mm)

(b) 試験方法

試験は、図3.4.2-205および写真3.4.2-79に示すように、試験体両端に加力治具を介して引張力を加える方法により行った。振れ止めローラーを用いて試験体の横方向の移動を拘束した。加力にはオイルジャッキを用い、荷重の検出にはロードセルを用いた。

加力は単調漸増载荷とし、最大荷重に達した後、最大荷重の80%まで荷重が低下するか、変形量δが30mmに達するまで行うこととした。変形量δは下式を用いて算定した。

$$\delta = \frac{D1+D2}{2} - \frac{D3+D4}{2}$$

ただし、Diは変位計D.T.iの読みによる変位量を示す。

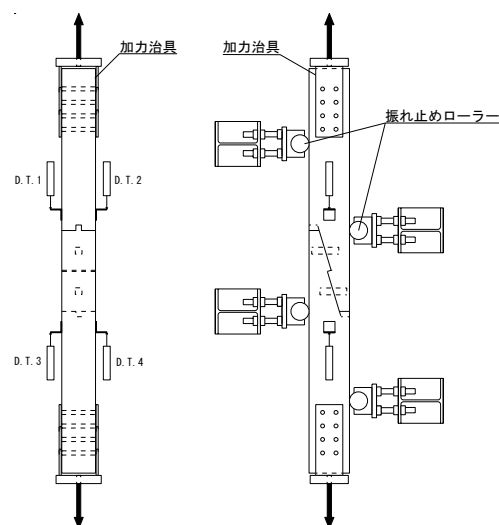


図3. 4. 2-205 試験方法

(c) 試験結果

①破壊性状

破壊性状は、いずれの試験体とも顎から先がせん断破壊して一旦荷重が低下、その後栓の曲げ破壊で再度荷重が低下した。



鎌部分のせん断破壊



栓の曲げ破壊

写真3. 4. 2-80 破壊状況



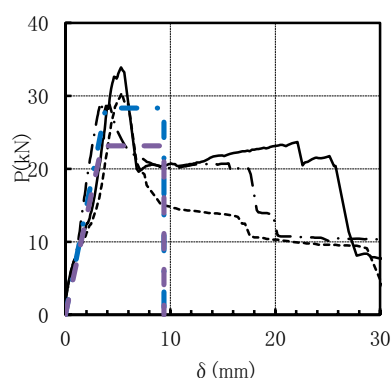
写真3. 4. 2-79 試験方法

②試験結果一覧およびP- δ 曲線

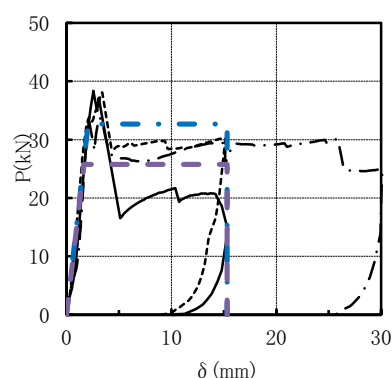
試験結果一覧を表3.4.2-77に、P- δ 曲線を図3.4.2-206(1)-(2)に示す。PyおよびPuの下限値は95%下限値を、Kの下限値は50%下限値をそれぞれ示す。

表3. 4. 2-77 試験結果一覧（台持ち継ぎ、試験体番号：C3）

No.	断面寸法 (mm)		加工寸法 (mm)			栓の 長さ	Pmax (kN) (平均値)	Py (kN)		Pu (kN)		K (kN/mm)	
	w	h	L	e	g			平均値	下限値	平均値	下限値	平均値	下限値
1	150	180	360	15	120	120	31.2	24.4	7.9	28.3	23.1	7.38	6.64
2		240	480	30	150	150	36.8	29.2	23.9	32.7	25.7	15.9	15.4
3		300	600	45	180	180	56.2	39.0	—	51.1	16.2	26.3	21.0

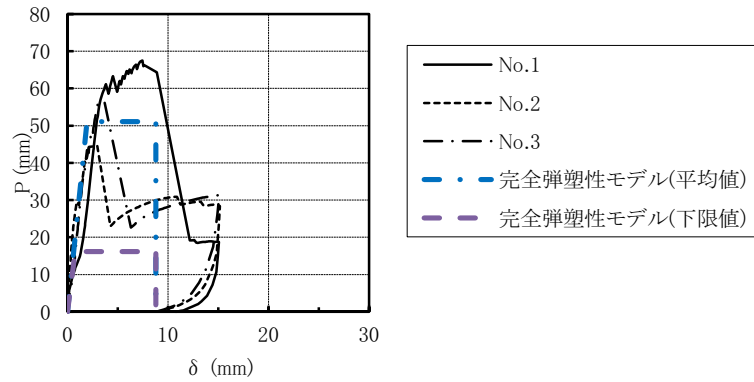


(a) C3-1



(b) C3-2

図3. 4. 2-206(1) P- δ 関係（試験体：C3-1～C3-2）



(d) C3-4

図3.4.2-206 (2) P- δ 関係 (試験体 : C3-3)

(d) 試験結果の考察

②材のせいの影響

材のせい h の違いによる比較を図3.4.2-207に示す。同図に示すように、せいが高いほど P_y 、 P_u および K ともになる傾向が見られる。

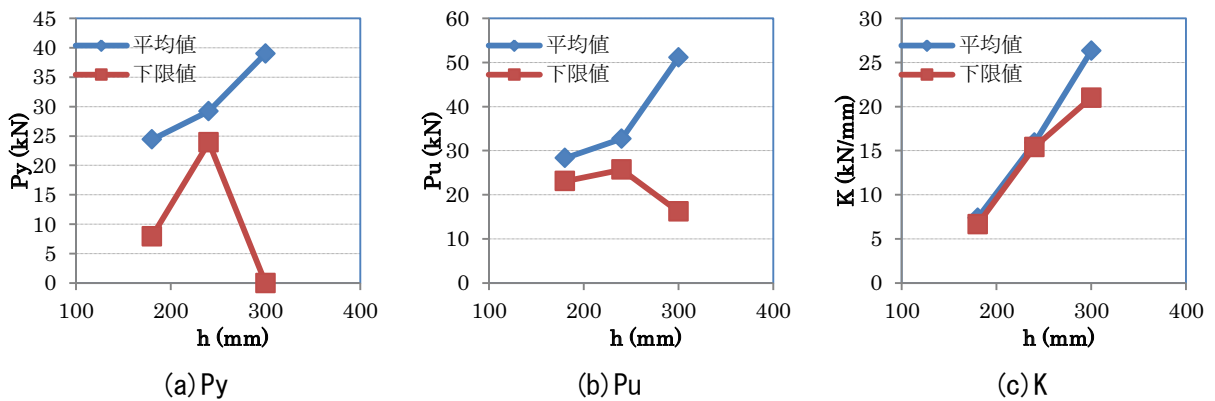


図3.4.2-207 加工寸法の影響 (梁せい : h) (試験体 : C3)

(7) 試験体番号D1, D2, d' 1, E1, E2試験体

1) 追掛け継ぎ・金輪継ぎの4点曲げ試験 (D1、D2)

(a) 試験概要

図3.4.2-208、209および表3.4.2-78、79に示す追掛け継ぎ・金輪継ぎについて、単調増加4点曲げ加力試験を行った。計測器の取り付け位置を図3.4.2-210、写真3.4.2-81に示す。

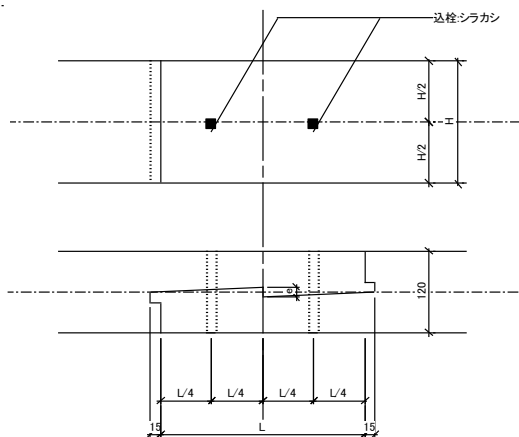


図3. 4. 2-208 追掛け継ぎ詳細図 (D1)

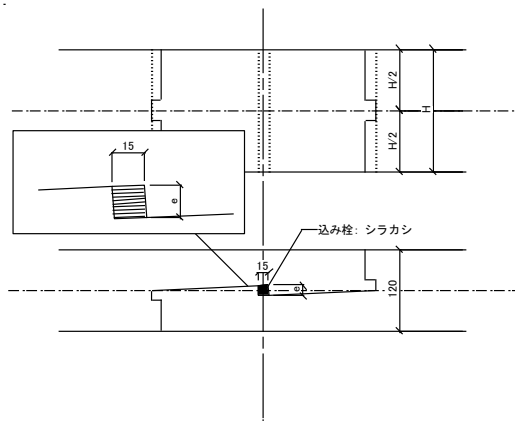


図3. 4. 2-209 金輪継ぎ詳細図 (D2)

表3. 4. 2-78 追掛け継ぎパラメータ (D1)

No.	e	H	L	込栓	数
1	15	120	300	無し	6
2	15	180	300	無し	6
3	15	240	300	無し	6
4	15	300	300	無し	6
5	30	180	300	無し	6
6	45	180	300	無し	6
7	60	180	300	無し	6
8	15	180	180	無し	6
9	15	180	450	無し	6
10	30	300	600	無し	3
11	15	180	300	□15	3
12	15	180	300	□24	3
13	15	180	300	φ 15	3
14	15	180	300	φ 24	3
15	15	180	450	□15	3
16	15	180	180	□15	3

表3. 4. 2-79 金輪継ぎパラメータ (D2)

No.	e	H	L	数
1	15	180	300	3
2	30	180	300	3
3	45	180	300	3
4	30	300	300	3
5	30	180	450	3

※母材は国産杉天然乾燥材
込栓はシラカン

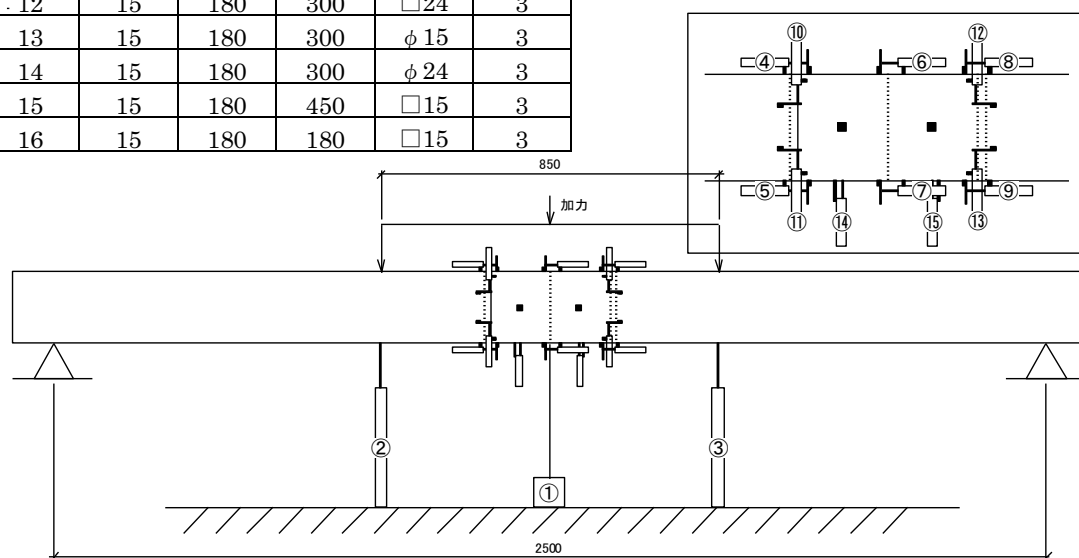


図3. 4. 2-210 実験概要 (D1)



(a) D1全図



(b) D2全図



(c) D1詳細

写真3.4.2-81 実験概要 (D1、D2)

(b) 試験結果

図3.4.2-211～217に追掛け継ぎ (D1) の、図3.4.2-218～222に金輪継ぎ (D2) の、ch1から算出したモーメント-回転角関係を示す。

①追掛け継ぎ (D1)

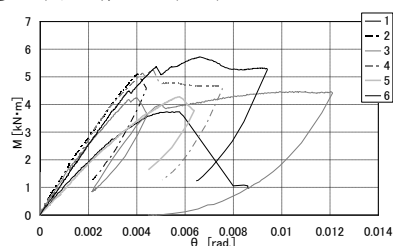


図3.4.2-211 D1-01_M- θ

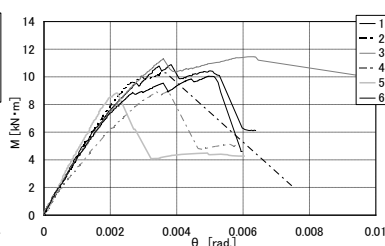


図3.4.2-212 D1-02_M- θ

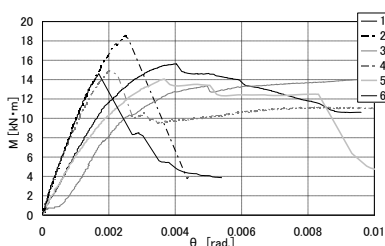


図3.4.2-213 D1-03_M- θ

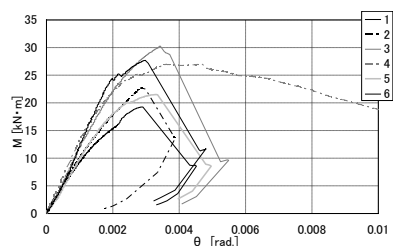


図3.4.2-214 D1-04_M- θ

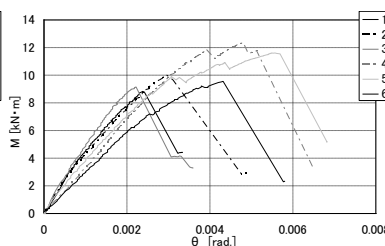


図3.4.2-215 D1-05_M- θ

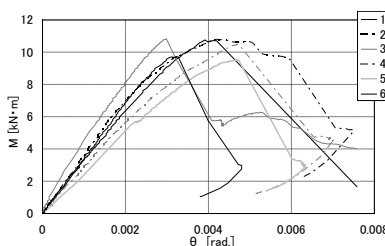


図3.4.2-216 D1-06_M- θ

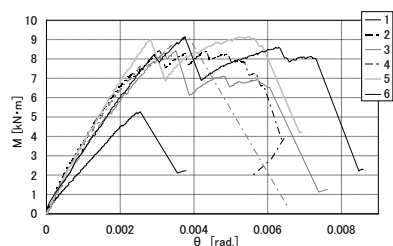


図3.4.2-217 D1-07_M- θ

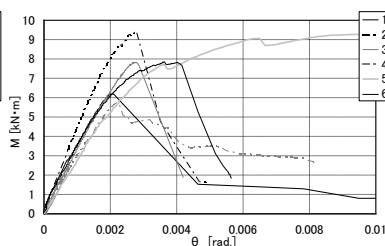


図3.4.2-218 D1-08_M- θ

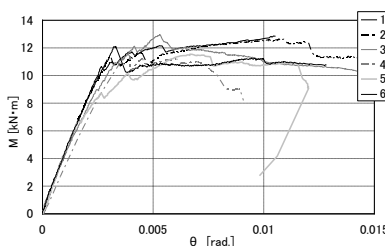


図3.4.2-219 D1-09_M- θ

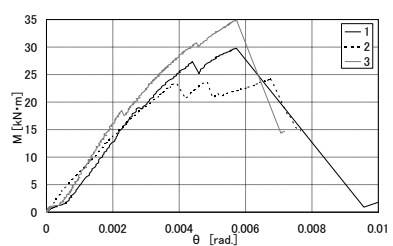


図3.4.2-220 D1-10_M- θ

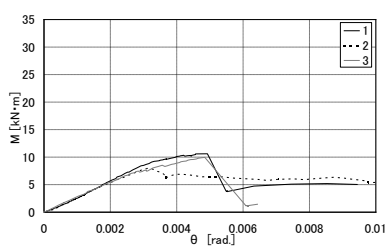


図3.4.2-221 D1-11_M- θ

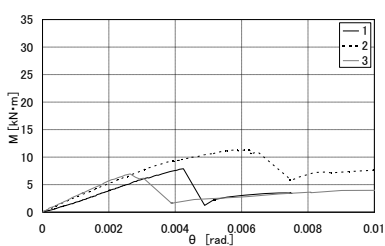


図3.4.2-222 D1-12_M- θ

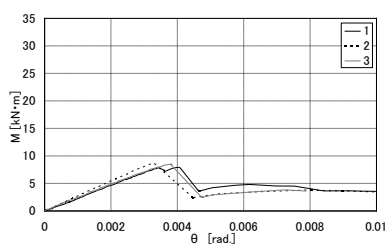


図3. 4. 2-223 D1-13_M- θ

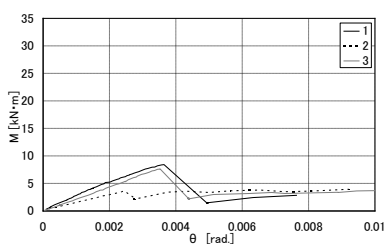


図3. 4. 2-224 D1-14_M- θ

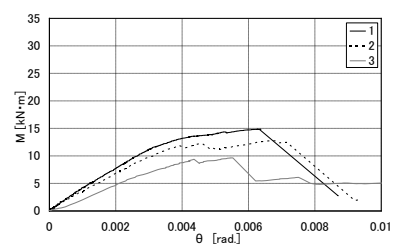


図3. 4. 2-225 D1-15_M- θ

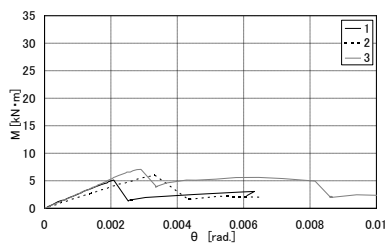


図3. 4. 2-226 D1-16_M- θ

②金輪継ぎ (D2)

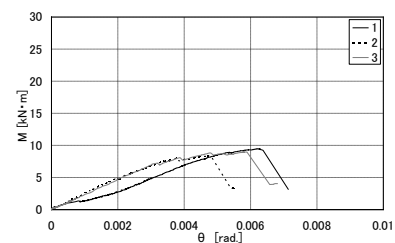


図3. 4. 2-227 D2-1_M- θ

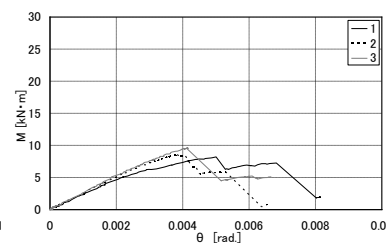


図3. 4. 2-228 D2-2_M- θ

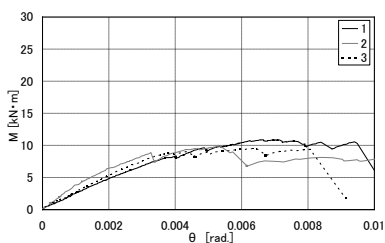


図3. 4. 2-229 D2-3_M- θ

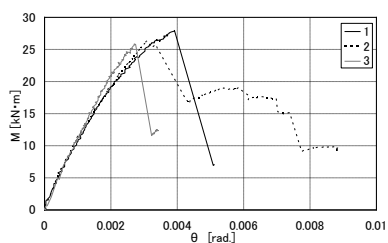


図3. 4. 2-230 D2-4_M- θ

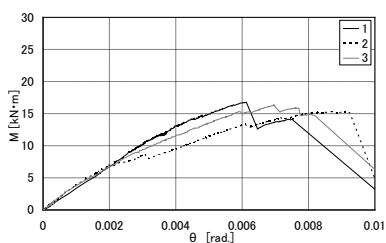


図3. 4. 2-231 D2-5_M- θ

以上の結果の特性値を表3.4.2-80、-81に示す。

表3.4.2-80 追掛け継ぎ (D1) 特性値

(a) D1-01					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	3.7	961.5	2.2	3.5	1.62
2	5.1	1401.6	2.7	4.9	1.26
3	4.5	1140.3		4.3	3.26
4	5.3	1246.0		4.9	1.92
5	4.3	916.3	2.4	3.9	1.47
6	5.7	1240.2	4.1	5.4	2.17
相加平均	4.8	1151.0	2.9	4.5	1.95
標準偏差	0.67	168.77	0.74	0.63	0.65
変動係数	0.140	0.147	0.260	0.141	0.336

(f) D1-06					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	10.8	3125.9	7.2	10.5	1.25
2	10.8	3524.6	6.7	10.1	2.09
3	10.8	4301.2	5.8	10.1	1.38
4	10.5	2783.2	6.3	9.5	1.39
5	9.5	2505.2	6.1	9.0	1.30
6	9.7	3433.4	6.9	9.1	1.23
相加平均	10.4	3278.9	6.5	9.7	1.44
標準偏差	0.53	576.91	0.49	0.53	0.30
変動係数	0.051	0.176	0.076	0.055	0.206

(b) D1-02					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	10.9	3929.3	6.5	10.2	2.04
2	10.3	4062.8	6.9	9.8	1.52
3	11.5	3796.3	6.4	10.8	2.31
4	9.0	3174.8	5.3	8.5	1.41
5	8.8	4743.7	4.2	7.9	1.33
6	10.1	3825.0	6.5	9.4	2.17
相加平均	10.1	3922.0	6.0	9.4	1.80
標準偏差	0.95	461.61	0.92	0.98	0.39
変動係数	0.094	0.118	0.154	0.104	0.216

(g) D1-07					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	5.3	2231.4	4.5	0.0	0.00
2	8.4	3557.5	5.0	7.9	2.57
3	8.4	3219.1	4.4	7.1	2.58
4	9.2	3319.8	5.5	8.4	1.52
5	9.2	3537.0	5.0	8.4	2.46
6	9.1	2891.3	6.5	8.1	2.63
相加平均	8.3	3126.0	5.2	6.7	1.96
標準偏差	1.38	457.67	0.71	3.01	0.96
変動係数	0.167	0.146	0.138	0.452	0.488

(c) D1-03					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	15.6	6088.0	10.1	14.2	3.09
2	18.6	9739.6	10.4	16.9	1.49
3	14.1	4069.4	8.9	13.2	4.90
4	14.9	9117.8	8.1	13.8	1.54
5	14.1	5434.8	8.1	12.8	3.60
6	14.6	9974.4	8.1	13.6	1.24
相加平均	15.3	7404.0	8.9	14.1	2.64
標準偏差	1.56	2299.58	0.96	1.33	1.34
変動係数	0.102	0.311	0.107	0.095	0.506

(h) D1-08					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	6.2	3209.5	5.7	0.0	0.00
2	9.4	4256.7	6.0	9.1	1.31
3	7.8	3331.9	5.5	7.8	1.20
4	5.8	2847.9	4.1	5.1	1.90
5	9.3	2523.1	6.0	8.9	4.17
6	7.8	3337.9	4.6	7.3	1.93
相加平均	7.7	3251.2	5.3	6.4	1.75
標準偏差	1.39	535.34	0.72	3.13	1.26
変動係数	0.181	0.165	0.135	0.491	0.717

(d) D1-04					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	19.2	8960.2	10.8	17.4	1.50
2	22.7	10104.3	12.6	20.8	1.42
3	30.3	11513.4	17.2	27.7	1.54
4	27.0	12405.8	16.0	24.7	4.26
5	21.5	9471.3	14.1	20.4	1.55
6	27.7	11660.6	28.5	27.9	1.28
相加平均	24.7	10685.9	16.6	23.2	1.93
標準偏差	3.85	1250.62	5.73	3.92	1.05
変動係数	0.156	0.117	0.346	0.169	0.543

(i) D1-09					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	12.9	3997.9	10.0	12.1	3.49
2	12.7	4157.3	7.5	11.8	5.11
3	13.0	3784.9	7.6	11.4	4.68
4	11.5	3448.9	6.4	10.8	2.48
5	11.5	3737.4	7.1	10.6	4.21
6	12.1	4228.1	6.1	10.9	4.99
相加平均	12.3	3892.4	7.5	11.3	4.16
標準偏差	0.60	266.54	1.25	0.53	0.93
変動係数	0.049	0.068	0.168	0.047	0.222

(e) D1-05					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	8.8	4733.9	4.4	7.7	1.45
2	10.0	4101.1	5.3	9.2	1.38
3	9.2	4856.9	4.9	8.7	1.25
4	12.4	3304.3	9.2	11.7	1.44
5	11.6	3498.8	8.2	10.9	1.81
6	9.6	2793.0	7.1	8.9	1.37
相加平均	10.3	3881.3	6.5	9.5	1.45
標準偏差	1.29	751.73	1.77	1.37	0.17
変動係数	0.126	0.194	0.271	0.143	0.120

表3.4.2-80 追掛け継ぎ (D1) 特性値

(j) D1-10					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	3.7	6551.3	21.7	26.1	1.44
2	24.1	6734.2	15.8	22.5	2.03
3	34.9	7542.0	19.4	30.8	1.40
相加平均	20.9	6942.5	19.0	26.5	1.62
標準偏差	12.91	430.43	2.44	3.43	0.29
変動係数	0.618	0.062	0.129	0.130	0.178

(k) D1-11					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	10.6	2647.5	9.9	11.2	1.17
2	8.0	2694.9	6.2	6.9	2.07
3	9.9	2682.1	7.0	8.9	1.45
相加平均	9.5	2674.8	7.7	9.0	1.56
標準偏差	1.10	20.04	1.57	1.74	0.38
変動係数	0.116	0.007	0.204	0.194	0.242

(l) D1-12					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	7.9	1919.8	8.1	8.0	1.02
2	11.3	2528.6	7.5	10.6	1.55
3	6.9	2849.0	5.3	6.5	1.33
相加平均	8.7	2432.5	7.0	8.4	1.30
標準偏差	1.88	385.38	1.23	1.69	0.21
変動係数	0.215	0.158	0.177	0.202	0.166

(m) D1-13					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	7.9	2303.6	6.0	7.7	1.23
2	8.7	2730.1	5.4	8.3	1.08
3	8.5	2452.6	4.5	8.0	1.19
相加平均	8.4	2495.5	5.3	8.0	1.17
標準偏差	0.35	176.72	0.60	0.26	0.06
変動係数	0.041	0.071	0.113	0.032	0.053

(n) D1-14					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	8.4	2871.2	4.4	7.6	1.33
2					
3	7.7	2170.9	0.1		
相加平均	8.0	2521.0	2.3	7.6	1.33
標準偏差	0.39	350.15	2.13	0.00	0.00
変動係数	0.048	0.139	0.937	0.000	0.000

(o) D1-15					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	14.8	3833.0	10.1	14.1	1.71
2	12.8	3305.6	9.3	12.0	1.96
3	9.6	2331.5	6.1	8.7	1.51
相加平均	12.4	3156.7	8.5	11.6	1.73
標準偏差	2.14	621.98	1.73	2.25	0.19
変動係数	0.172	0.197	0.204	0.194	0.108

(p) D1-16					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	5.1	2702.2	3.6		
2	6.0	2088.6	3.8	5.8	1.15
3	7.2	2631.5		6.9	1.10
相加平均	6.1	2474.1	3.7	6.3	1.12
標準偏差	0.83	274.11	0.10	0.55	0.02
変動係数	0.135	0.111	0.026	0.086	0.021

表3.4.2-81 金輪継ぎ (D2) 特性値

(a) D2-1					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	9.5	1514.5			
2	8.4	2500.8	4.6	7.6	1.58
3	9.0	2304.2	7.0	8.4	1.62
相加平均	9.0	2106.5	5.8	8.0	1.60
標準偏差	0.43	426.25	1.17	0.39	0.02
変動係数	0.048	0.202	0.201	0.049	0.012

(b) D2-2					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	8.2	2299.9	5.1	7.1	2.21
2	8.4	2500.8	4.6	7.6	1.58
3	9.6	2645.2	5.4	8.6	1.27
相加平均	8.7	2482.0	5.1	7.8	1.69
標準偏差	0.60	141.59	0.32	0.64	0.39
変動係数	0.069	0.057	0.064	0.083	0.232

(c) D2-3					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	10.9	2262.6	6.7	10.2	2.11
2	9.8	3273.2	5.4	8.2	4.08
3	9.5	2614.9	7.1	9.1	2.30
相加平均	10.1	2716.9	6.4	9.1	2.83
標準偏差	0.58	418.84	0.73	0.81	0.89
変動係数	0.057	0.154	0.115	0.089	0.314

(d) D2-4					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	28.0	9641.2	17.6	25.6	1.50
2	26.3	10623.7	13.6	23.7	1.52
3	25.8	11341.5	14.7	23.6	1.29
相加平均	26.7	10535.5	15.3	24.3	1.44
標準偏差	0.91	696.93	1.71	0.90	0.10
変動係数	0.034	0.066	0.112	0.037	0.072

(e) D2-5					
	Mmax	K	My	Mu	μ
1	16.8	3248.5	7.2	13.0	1.68
2	15.3	3254.2	7.2	13.0	2.30
3	16.4	3253.7	8.5	14.6	1.83
相加平均	16.1	3252.2	7.6	13.5	1.93
標準偏差	0.61	2.57	0.58	0.76	0.26
変動係数	0.038	0.001	0.076	0.056	0.137

特性値の相加平均値をまとめ、表3.4.2-82、-83に、各部寸法と比較する。

表3. 4. 2-82 追掛け継ぎ (D1) パラメータ毎特性値平均値

	Mmax	K	My	Mu	μ	e	H	L	込栓
D1-01	4.8	1151.0	2.9	4.5	1.95	15	120	300	無し
D1-02	10.1	3922.0	6.0	9.4	1.80	15	180	300	無し
D1-03	15.3	7404.0	8.9	14.1	2.64	15	240	300	無し
D1-04	24.7	10685.9	16.6	23.2	1.93	15	300	300	無し
D1-05	10.3	3881.3	6.5	9.5	1.45	30	180	300	無し
D1-06	10.4	3278.9	6.5	9.7	1.44	45	180	300	無し
D1-07	8.3	3126.0	5.2	6.7	1.96	60	180	300	無し
D1-08	7.7	3251.2	5.3	6.4	1.75	15	180	180	無し
D1-09	12.3	3892.4	7.5	11.3	4.16	15	180	450	無し
D1-10	20.9	6942.5	19.0	26.5	1.62	30	300	600	無し
D1-11	9.5	2674.8	7.7	9.0	1.6	15	180	300	□15
D1-12	8.7	2432.5	7.0	8.4	1.3	15	180	300	□24
D1-13	8.4	2495.5	5.3	8.0	1.2	15	180	300	φ15
D1-14	8.0	2521.0	2.3	7.6	1.3	15	180	300	φ24
D1-15	12.4	3156.7	8.5	11.6	1.7	15	180	450	□15
D1-16	6.1	2474.1	3.7	6.3	1.1	15	180	180	□15

表3. 4. 2-83 金輪継ぎ (D2) パラメータ毎特性値平均値

	Mmax	K	My	Mu	μ	e	H	L
D2-1	9.0	2106.5	5.8	8.0	1.6	15	180	300
D2-2	8.7	2482.0	5.1	7.8	1.7	30	180	300
D2-3	10.1	2716.9	6.4	9.1	2.8	45	180	300
D2-4	26.7	10535.5	15.3	24.3	1.4	30	300	300
D2-5	16.1	3252.2	7.6	13.5	1.9	30	180	450

(c) 損傷状況

写真3.4.2-82～88に追掛け継ぎ (D1) の、写真3.4.2-89～93に金輪継ぎ (D2) の代表的な損傷を示す。

①追掛け継ぎ



写真3. 4. 2-82 D1-10-2損傷状況

写真3. 4. 2-83 D1-11-1損傷状況

写真3. 4. 2-84 D1-12-2損傷状況



写真3. 4. 2-85 D1-13-1損傷状況



写真3. 4. 2-86 D1-14-3損傷状況



写真3. 4. 2-87 D1-15-2損傷状況



写真3. 4. 2-88 D1-16-3損傷状況

大栓の無いものでは胴付き部上部の割裂→写真3.4.2-87のような破断に至り、大栓のあるものでは加えて大栓上部レベルで胴付き部まで割裂が走るような損傷が見られた。

②金輪継ぎ



写真3. 4. 2-89 D2-1-2損傷状況



写真3. 4. 2-90 D2-2-2損傷状況



写真3. 4. 2-91 D2-3-3損傷状況



写真3. 4. 2-92 D2-4-2損傷状況



写真3. 4. 2-93 D1-14損傷状況

金輪継ぎにおいても、追掛け継ぎと同様の損傷が見られた、追掛け継ぎにおける大栓の上部に沿った割裂は、金輪継ぎでは側面の目違いの上部もしくは下部に沿って生じた。

2) 追掛け継ぎ大栓部に関する込み栓の一面せん断試験 (d'1)

(a) 試験概要

図3.4.2-232および表3.4.2-84に示す試験体について込み栓の一面せん断試験を、万能試験機による単調増加加力（目標30mm程度）で行った。計測器の取り付け位置を図3.4.2-233に示す。

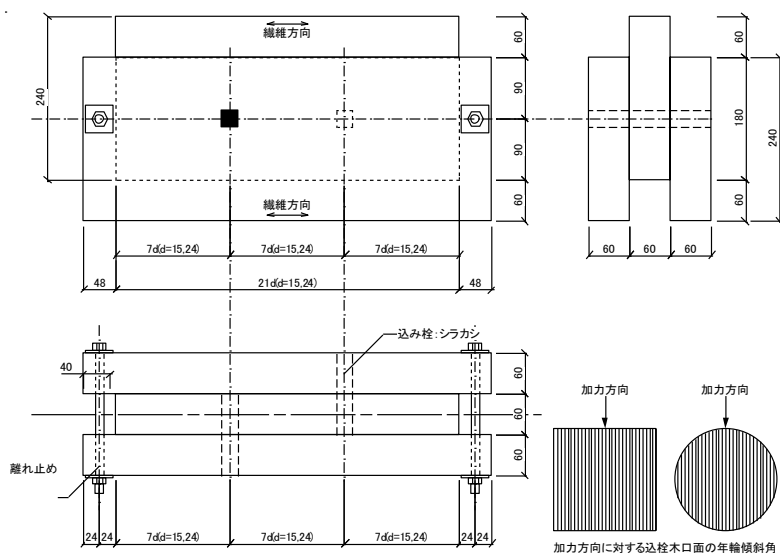


図3.4.2-232 d'1試験体詳細

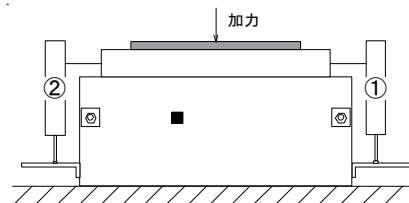


図3.4.2-233 実験概要 (d'1)

表3.4.2-84 d'1パラメータ

No.	形状	d	数
1	丸	15	6
2	丸	24	6
3	角	15	6
4	角	24	6

※母材は国産杉天然乾燥材

込み栓はシラカシ

(b) 試験結果

図3.4.2-234～237に、ch1とch2の平均変位とした、荷重-変位関係を示す。

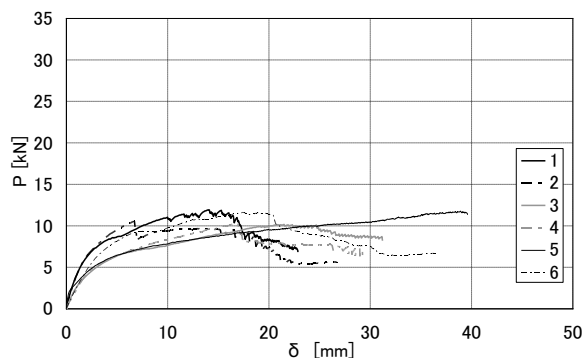


図3.4.2-234 d'1-1_P-δ

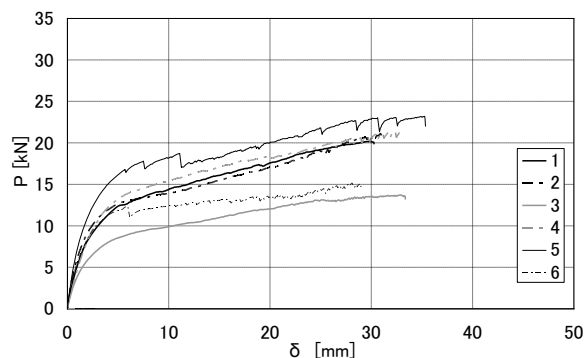


図3.4.2-235 d'1-2_P-δ

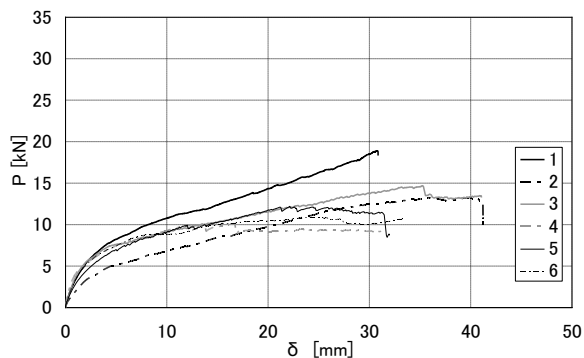


図3.4.2-236 d'1-3_P-δ

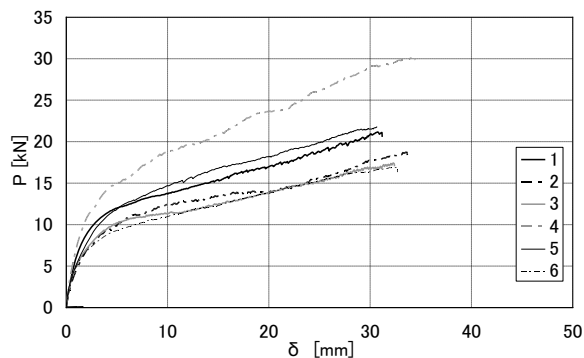


図3.4.2-237 d'1-4_P-δ

各試験体の特性値を表3.4.2-85に、パラメータ毎のまとめと比較を表3.4.2-86に示す。

表3.4.2-85 d' 1特性値

(a) d'1-1						(c) d'1-3					
	Mmax	K	My	Mu	μ		Mmax	K	My	Mu	μ
1	11.9	2.9	6.7	10.5	4.74	1	18.9	1.5	8.6	14.5	3.25
2	10.6	3.5	5.7	9.2	6.97	2	13.3	0.8	5.8	11.3	3.03
3	10.2	1.5	5.7	8.9	5.18	3	14.7	1.8	7.1	11.9	6.25
4	10.3	1.7	5.4	8.6	3.42	4	10.1	2.6	5.4	9.1	8.98
5	11.8	1.2	6.6	10.0	4.82	5	12.2	1.5	6.7	10.8	4.36
6	11.6	1.9	7.1	10.4	4.19	6	10.9	1.9	6.5	10.0	6.29
相加平均	11.1	2.1	6.2	9.6	4.89	相加平均	13.3	1.7	6.7	11.3	5.36
標準偏差	0.73	0.81	0.65	0.73	1.09	標準偏差	2.90	0.53	1.04	1.70	2.07
変動係数	0.066	0.385	0.105	0.076	0.223	変動係数	0.217	0.315	0.156	0.151	0.385

(b) d'1-2						(d) d'1-4					
	Mmax	K	My	Mu	μ		Mmax	K	My	Mu	μ
1	20.2	2.9	11.3	17.1	5.05	1	21.2	2.8	10.8	16.6	5.72
2	21.1	3.3	11.5	16.7	6.09	2	18.8	2.0	10.1	15.0	4.42
3	13.7	2.1	7.8	11.8	5.93	3	17.4	2.4	9.6	13.9	5.50
4	21.5	2.9	12.6	18.2	5.21	4	30.2	3.1	15.0	24.3	4.32
5	23.2	3.7	15.2	20.4	6.38	5	21.8	2.5	11.5	18.0	4.34
6	15.2	2.9	11.0	13.4	6.36	6	16.9	2.3	9.5	13.7	5.56
相加平均	19.2	3.0	11.5	16.3	5.84	相加平均	21.0	2.5	11.1	16.9	4.98
標準偏差	3.47	0.48	2.19	2.88	0.53	標準偏差	4.46	0.36	1.88	3.65	0.62
変動係数	0.181	0.163	0.190	0.177	0.090	変動係数	0.212	0.144	0.169	0.216	0.124

表3.4.2-86 d' 1パラメータ毎特性値平均値

	Mmax	K	My	Mu	μ
d'1-1	11.1	2.1	6.2	9.6	4.89
d'1-2	19.2	3.0	11.5	16.3	5.84
d'1-3	13.3	1.7	6.7	11.3	5.36
d'1-4	21.0	2.5	11.1	16.9	4.98

(c) 損傷状況

写真3.4.2-94～97に代表的な損傷を示す。



写真3.4.2-94 d' 1-1損傷状況



写真3.4.2-95 d' 1-3損傷状況



写真3.4.2-96 d' 1-3損傷状況



写真3.4.2-97 d' 1-4損傷状況

径の小さな込み栓では、込み栓の曲げが顕著に見られ、半数が終局時に破断していた。径の大きな込み栓はほとんど変形が見られず、母材へのめり込みが卓越していた。丸栓の形状の1体のみ、破断が生じた。

3)腰掛け継ぎ、腰掛け部分（男木・女木）のせん断試験（E1、E2）

(a) 試験概要

図3.4.2-238、-239および表3.4.2-87、-88に示す腰掛け継ぎ腰掛け部分（男木・女木）について、万能試験機による単調増加せん断加力試験を行った。計測器の取り付け位置を図3.4.2-240、3.4.2-241に示す。

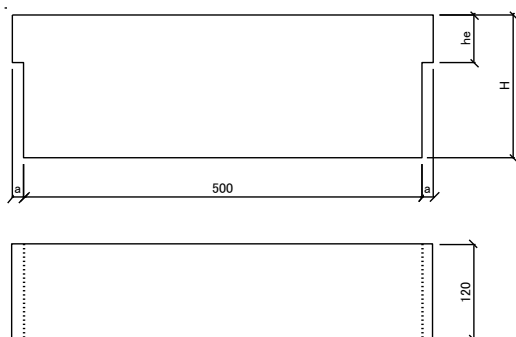


図3. 4. 2-238 E1試験体詳細（男木）

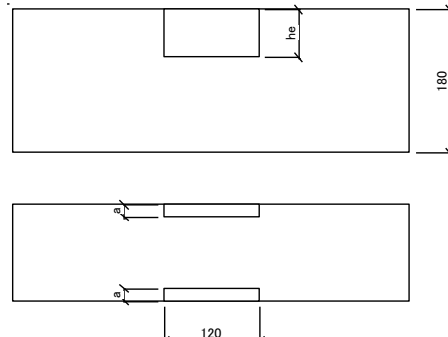


図3. 4. 2-239 E2試験体詳細（女木）

表3. 4. 2-87 男木パラメータ（E1）

No.	H	he	a	数
1	120	60	15	6
2	180	90	15	6
3	240	120	15	6
4	300	150	15	6
5	180	30	15	6
6	180	60	15	6
7	180	90	30	6
8	180	120	30	6
9	180	150	30	6
10	180	90	15	6
11	180	90	45	6
12	180	90	60	6
13	180	90	75	6

表3. 4. 2-88 女木パラメータ（E2）

No.	he	a	数
1	30	15	6
2	45	15	6
3	60	15	6
4	75	15	6
5	90	15	6
6	90	30	6

※母材は国産杉天然乾燥材

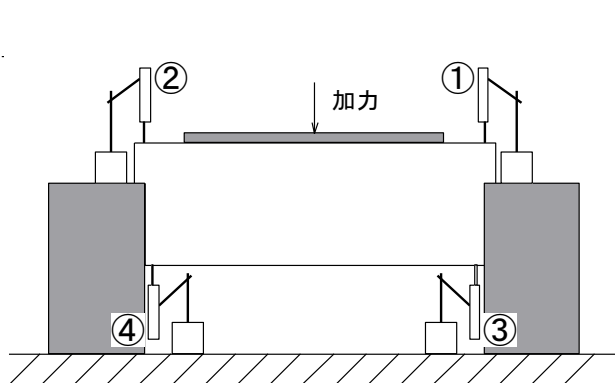


図3. 4. 2-240 E1実験概要（男木）

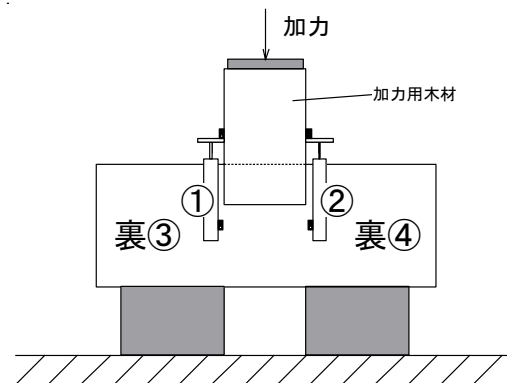


図3. 4. 2-241 E2実験概要（女木）

(b) 試験結果（荷重-変位関係）

図3.4.2-232～-245にE1試験体の上下の変位差の平均変位（ $\{(ch3-ch1)+(ch4-ch2)\}/2$ ）の、図3.4.2-246～-251にE2試験体のch1～ch4の平均変位の、荷重-変位関係を示す。また、荷重-変位曲線において、上下の変位差が急激に変化する部分で割裂が発生したとみなし、写真との突き合わせにより確認し、表3.4.2-89にその時の荷重をまとめる。パラメータ毎の比較を表3.4.2-90に示す。

①男木のせん断（E1）

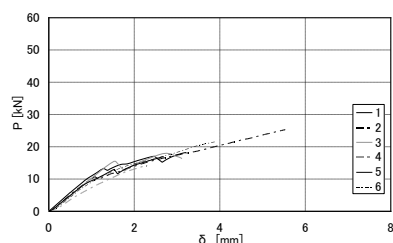


図3.4.2-242 E1-1_P- δ

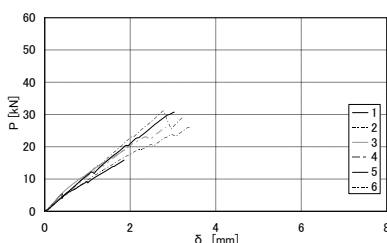


図3.4.2-243 E1-2_P- δ

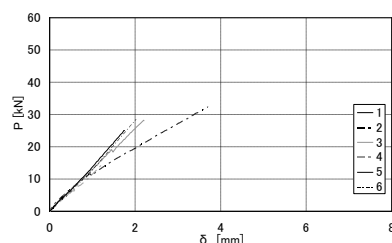


図3.4.2-244 E1-3_P- δ

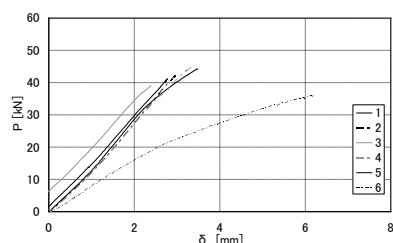


図3.4.2-245 E1-4_P- δ

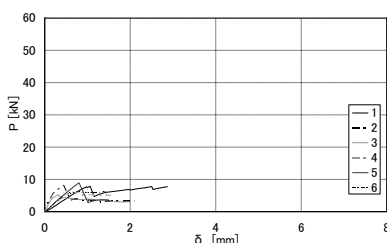


図3.4.2-246 E1-5_P- δ

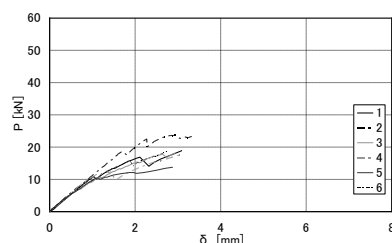


図3.4.2-247 E1-6_P- δ

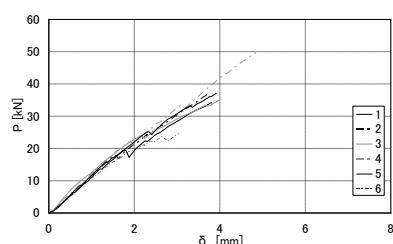


図3.4.2-248 E1-7_P- δ

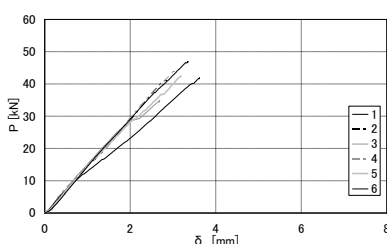


図3.4.2-249 E1-8_P- δ

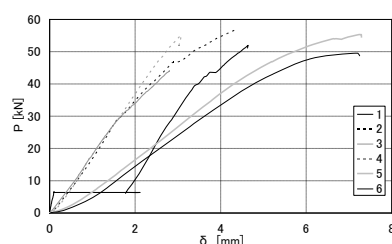


図3.4.2-250 E1-9_P- δ

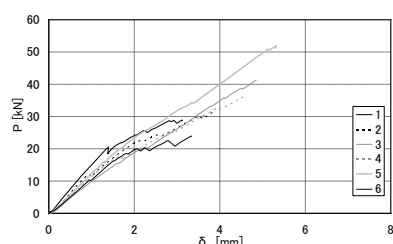


図3.4.2-251 E1-10_P- δ

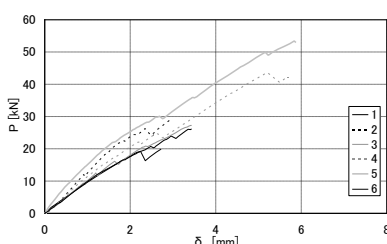


図3.4.2-252 E1-11_P- δ

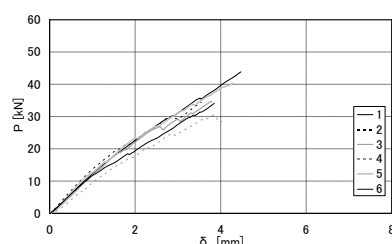


図3.4.2-253 E1-10_P- δ

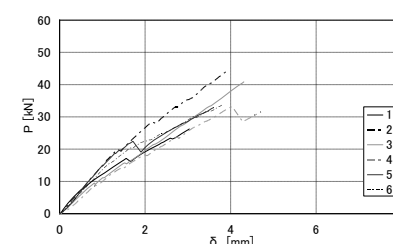


図3.4.2-254 E1-13_P- δ

表3. 4. 2-89 E1割裂荷重

	前	後	min.	割裂	「有」数	平均値
E1-01-1	17.06	13.30	13.30	○	5	13.13
E1-01-2		10.73	10.73	○		
E1-01-3		15.50	15.50	○		
E1-01-4				×		
E1-01-5	13.00		13.00	○		
E1-01-6				○		
E1-02-1	5.53	9.23	5.53	○	5	13.50
E1-02-2	31.16	14.70	14.70	○		
E1-02-3				×		
E1-02-4	14.27		14.27	○		
E1-02-5	12.27		12.27	○		
E1-02-6		20.73	20.73	○		
E1-03-1				×	5	9.22
E1-03-2	11.53		11.53	○		
E1-03-3		19.13	19.13	○		
E1-03-4	5.67	6.93	5.67	○		
E1-03-5	4.53		4.53	○		
E1-03-6		5.23	5.23	○		
E1-04-1				×	2	21.99
E1-04-2				×		
E1-04-3				×		
E1-04-4				×		
E1-04-5	13.87		13.87	○		
E1-04-6	30.10		30.10	○		
E1-05-1	7.70	7.77	7.70	○	6	7.06
E1-05-2		8.20	8.20	○		
E1-05-3		5.20	5.20	○		
E1-05-4		6.10	6.10	○		
E1-05-5	8.93		8.93	○		
E1-05-6	6.23		6.23	○		
E1-06-1	10.90		10.90	○	6	12.18
E1-06-2	18.66	22.53	18.66	○		
E1-06-3	10.77		10.77	○		
E1-06-4		12.63	12.63	○		
E1-06-5	10.50		10.50	○		
E1-06-6	9.60	15.73	9.60	○		
E1-07-1	19.60		19.60	○	6	20.12
E1-07-2	17.80		17.80	○		
E1-07-3		24.03	24.03	○		
E1-07-4		22.30	22.30	○		
E1-07-5	15.77	25.23	15.77	○		
E1-07-6	21.23	22.23	21.23	○		
E1-08-1				×	1	16.86
E1-08-2				×		
E1-08-3				×		
E1-08-4				×		
E1-08-5		16.86	16.86	○		
E1-08-6				×		
E1-09-1				×	0	
E1-09-2				×		
E1-09-3				×		
E1-09-4				×		
E1-09-5				×		
E1-09-6				×		
E1-10-1		20.53	20.53	○	6	10.09
E1-10-2	12.17		12.17	○		
E1-10-3			0.00	○		
E1-10-4	17.56		17.56	○		
E1-10-5			0.00	○		
E1-10-6	10.30		10.30	○		
E1-11-1		20.73	20.73	○	6	19.46
E1-11-2	22.53	12.03	12.03	○		
E1-11-3		12.50	12.50	○		
E1-11-4		22.20	22.20	○		
E1-11-5	30.10		30.10	○		
E1-11-6	19.20		19.20	○		
E1-12-1		25.23	25.23	○	6	21.40
E1-12-2		21.40	21.40	○		
E1-12-3		26.90	26.90	○		
E1-12-4		20.40	20.40	○		
E1-12-5	16.00	23.33	16.00	○		
E1-12-6		18.46	18.46	○		
E1-13-1	17.13		17.13	○	6	17.23
E1-13-2	19.90		19.90	○		
E1-13-3	9.50	15.73	9.50	○		
E1-13-4	23.83	14.03	14.03	○		
E1-13-5		22.43	22.43	○		
E1-13-6		20.40	20.40	○		

表3. 4. 2-90 E1パラメータ毎割裂荷重

No.	H	he	a	割裂荷重（平均値）
1	120	60	15	13.13
2	180	90	15	13.50
3	240	120	15	9.22
4	300	150	15	21.99
5	180	30	15	7.06
6	180	60	15	12.18
7	180	90	30	20.12
8	180	120	30	16.86
9	180	150	30	
10	180	90	15	10.09
11	180	90	45	19.46
12	180	90	60	21.40
13	180	90	75	17.23

②女木のせん断 (E2)

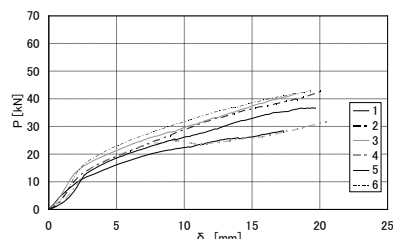


図3. 4. 2-255 E2-1_P- δ

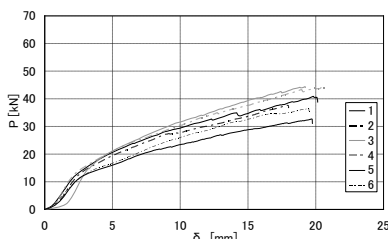


図3. 4. 2-256 E2-2_P- δ

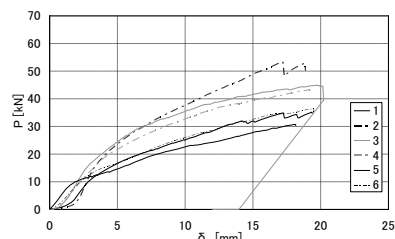


図3. 4. 2-257 E2-3_P- δ

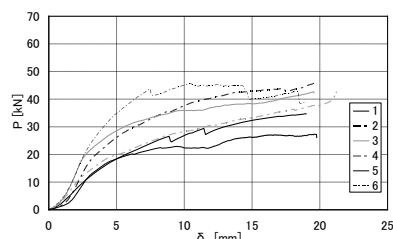


図3. 4. 2-258 E2-4_P- δ

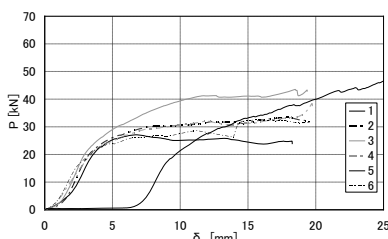


図3. 4. 2-259 E2-5_P- δ

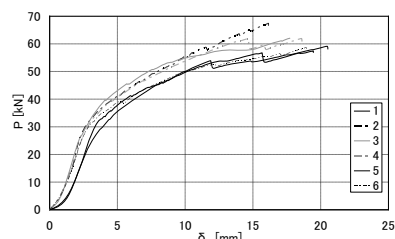


図3. 4. 2-260 E2-6_P- δ

(c) 損傷状況

写真3.4.2-98～-110に男木のせん断 (E1) の、写真3.4.2-111～-116に女木のせん断 (E2) の代表的な損傷を示す。

①男木のせん断 (E1)



写真3. 4. 2-98 E1-1損傷状況



写真3. 4. 2-99 E1-2損傷状況



写真3. 4. 2-100 E1-3損傷状況



写真3. 4. 2-101 E1-4損傷状況



写真3. 4. 2-102 E1-5損傷状況



写真3. 4. 2-103 E1-6損傷状況



写真3. 4. 2-104 E1-7損傷状況



写真3. 4. 2-105 E1-8損傷状況



写真3. 4. 2-106 E1-9損傷状況



写真3. 4. 2-107 E1-10損傷状況



写真3. 4. 2-108 E1-11損傷状況



写真3. 4. 2-109 E1-12損傷状況



写真3. 4. 2-110 E1-13損傷状況

②女木のせん断 (E2)



写真3. 4. 2-111 E2-1-1損傷状況



写真3. 4. 2-112 E2-2-3損傷状況



写真3. 4. 2-113 E2-3-5損傷状況



写真3. 4. 2-114 E2-4-2損傷状況



写真3. 4. 2-115 E2-5-6損傷状況



写真3. 4. 2-116 E2-6-4損傷状況

(8) 試験体番号B1, B2, I1, I2, I3, I4試験体

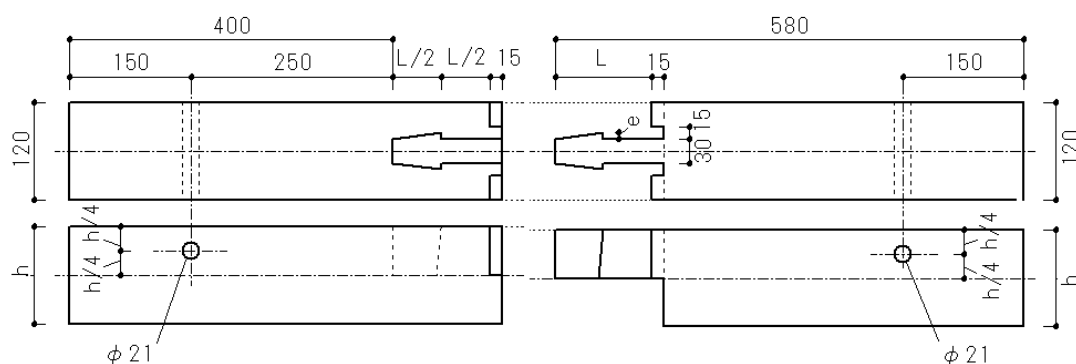
1) 腰掛鎌継ぎ 引張 (目違いあり (B1)、目違いなし (B2))

(a) 実験概要

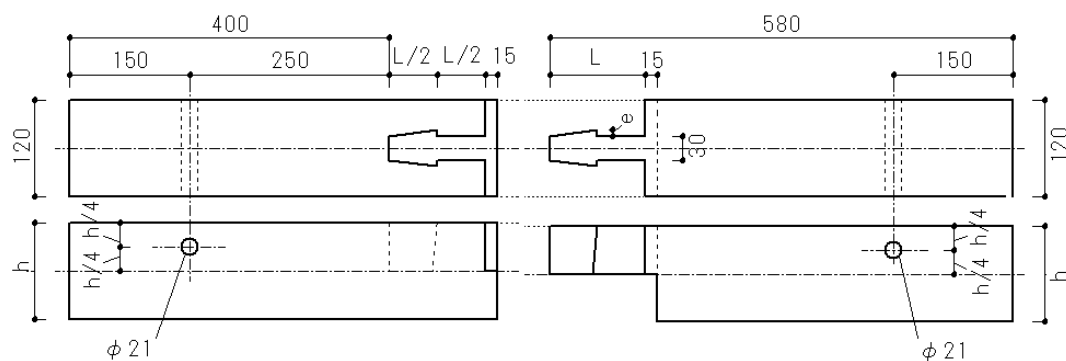
腰掛鎌継ぎに単調な引張力を載荷する実験を行った。試験体のパラメータは、目違いの有無、継手長さ、材せいおよびあごの幅であり、各パラメータ3体ずつとした。目違いは、女木の開きを抑制することを目的として設けられるもので、目違いなしの結果と比較することで、その効果を検証する。

(b) 試験体および加力方法

図3.4.2-261に「目違いあり」および「目違いなし」の試験体図を示す。試験体の樹種は全てスギである。男木、女木ともに、図3.4.2-262のように、材端の $\phi 21\text{mm}$ の穴で治具と鋼製のピンで接続し、上端から材せいの1/4の位置に引張力が作用するようにした。変位計は、加力の軸とあわせるように、上端から材せいの1/4の位置で、試験体の両側に1台ずつ計2台設置し、男木と女木の相対変位を計測した。表3.4.2-91にパラメータの一覧を示す。「目違いあり」、「目違いなし」とともに、あご幅(e)は7.5mm、継手長さ(L)は150mm、材せい(h)は120mmを基準とし、それぞれのパラメータを変動させた試験体を「目違いあり」で計7種類、「目違いなし」で計5種類とした。各種類3体ずつ実験を行ったため、合計で36体であった。表3.4.2-92は試験体の密度および含水率であり、密度は概ね0.4～0.5程度、含水率は15%～20%程度であった。



(a) 目違いあり



(b) 目違いなし

図3.4.2-261 腰掛鎌継ぎ試験体

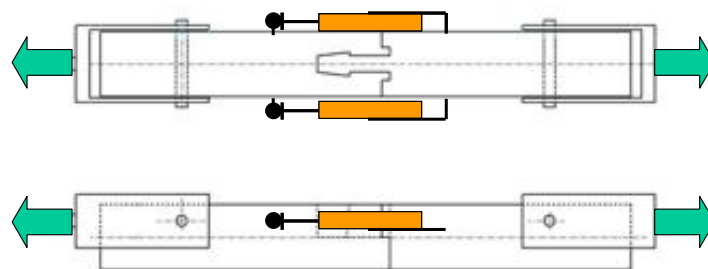


図3.4.2-262 加力方法および変位計測位置

表3.4.2-91 腰掛鎌継ぎ試験体のパラメーター一覧

(a) 目違いあり

(b) 目違いなし

No.	e	L	h
1	7.5	<u>120</u>	120
2	<u>15</u>	150	120
③	7.5	150	120
4	7.5	<u>180</u>	120
5	7.5	150	<u>180</u>
6	7.5	150	<u>240</u>
7	7.5	150	<u>300</u>

No.	e	L	h
1	7.5	<u>120</u>	120
2	<u>15</u>	150	120
③	7.5	150	120
4	7.5	<u>180</u>	120
5	7.5	150	<u>180</u>

表3.4.2-92 腰掛鎌継ぎ試験体の密度および含水率一覧

(a) 密度 (g/cm³)

		男木				女木			
		1	2	3	平均	1	2	3	平均
目違いあり	B1-1	0.51	0.52	0.54	0.52	0.52	0.55	0.53	0.53
	B1-2	0.52	0.52	0.54	0.53	0.52	0.50	0.53	0.52
	B1-3	0.47	0.45	0.47	0.46	0.47	0.46	0.48	0.47
	B1-4	0.49	0.49	0.41	0.46	0.48	0.41	0.42	0.43
	B1-5	0.43	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.47	0.45
	B1-6	0.43	0.43	0.43	0.43	0.44	0.43	0.44	0.44
	B1-7	0.48	0.41	0.42	0.44	0.45	0.47	0.42	0.44
目違いなし	B2-1	0.45	0.47	0.48	0.47	0.45	0.47	0.47	0.47
	B2-2	0.47	0.48	0.41	0.45	0.46	0.42	0.41	0.43
	B2-3	0.46	0.46	0.51	0.47	0.46	0.49	0.50	0.48
	B2-4	0.37	0.39	0.43	0.40	0.36	0.42	0.43	0.40
	B2-5	0.47	0.47	0.45	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46

(b) 含水率 (%)

		男木				女木			
		1	2	3	平均	1	2	3	平均
目違いあり	B1-1	21.5	21.8	24.4	22.6	20.7	23.0	22.2	22.0
	B1-2	44.4	26.1	31.3	33.9	18.6	17.4	18.7	18.2
	B1-3	18.4	19.5	23.5	20.5	17.6	18.1	20.8	18.9
	B1-4	20.9	21.4	23.4	21.9	20.1	19.0	21.7	20.3
	B1-5	16.0	16.2	16.3	16.1	16.2	15.5	16.0	15.9
	B1-6	15.9	15.5	16.4	15.9	15.7	16.5	15.7	16.0
	B1-7	18.9	19.7	18.6	19.1	18.9	19.1	17.9	18.6
目違いなし	B2-1	22.6	23.1	23.5	23.1	23.0	21.1	22.2	22.1
	B2-2	22.8	22.2	20.7	21.9	22.2	20.3	19.6	20.7
	B2-3	20.5	21.1	20.3	20.6	20.5	20.5	20.1	20.4
	B2-4	19.1	19.4	22.8	20.4	19.2	22.6	23.1	21.6
	B2-5	17.7	17.9	17.6	17.8	17.7	17.3	16.7	17.2

(c) 実験結果

図3.4.2-263と図3.4.2-264に、「目違いあり」の場合および「目違いなし」の場合の荷重－変位関係を示す。変位は、試験体の両側に設置した変位計の計測値の平均とした。表3.4.2-93には破壊形式の一覧を示す。男木の鎌部分で、写真3.4.2-117のようなせん断破壊が生じた場合は、耐力が急激に低下した。男木の鎌のあご部分や、女木で鎌のあごと接触する部分で圧壊が生じるような場合は、最大耐力後に比較的緩やかに耐力が低下した。男木の鎌部分でせん断破壊が生じても、鎌首部より外側の部分が、男木の鎌首と女木との間に挟まり、楔のような効果を発揮して、急激な耐力低下を生じなかった場合もあった。

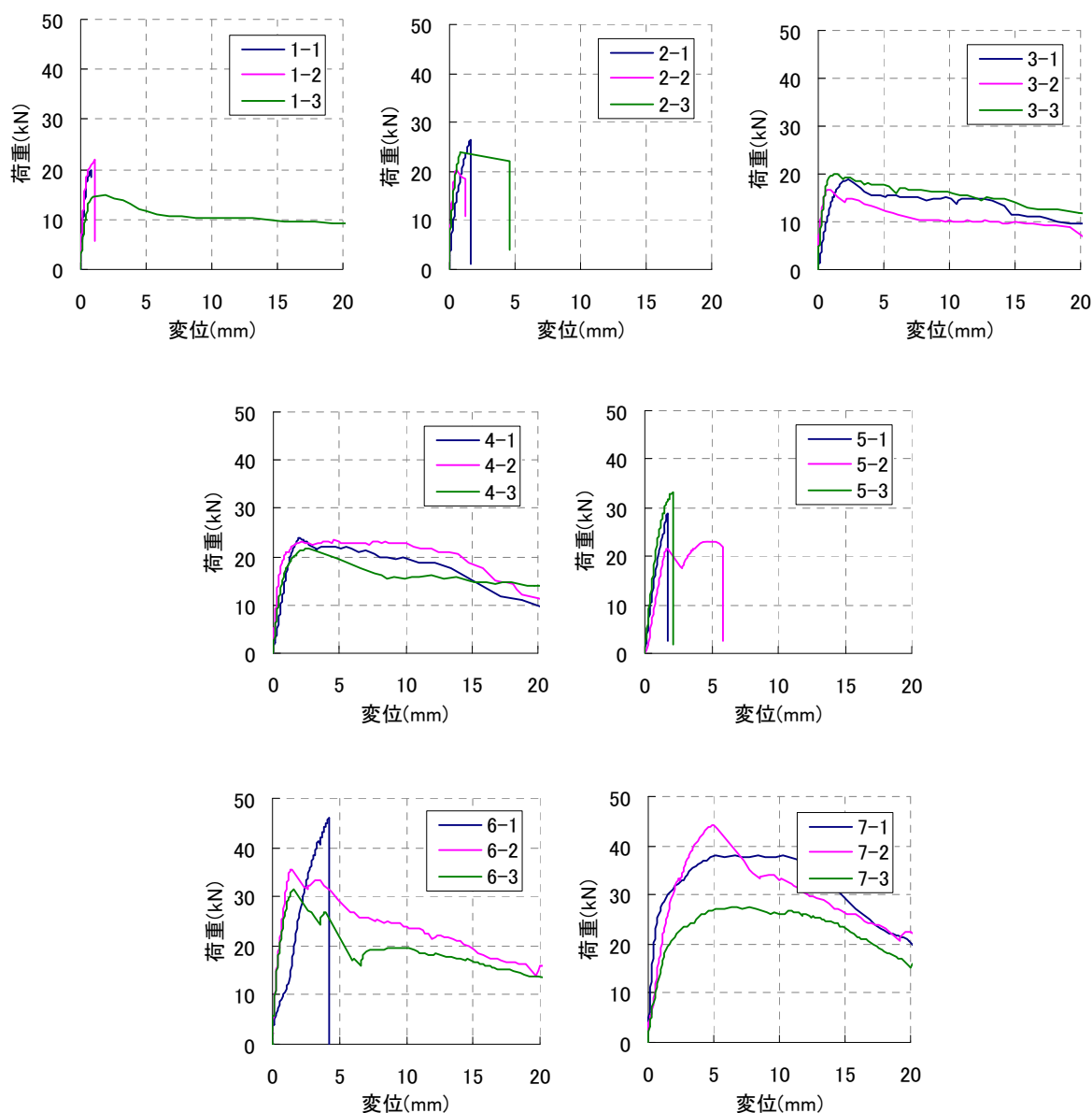


図3.4.2-263 目違いありの腰掛鎌継ぎ試験体の荷重－変位関係

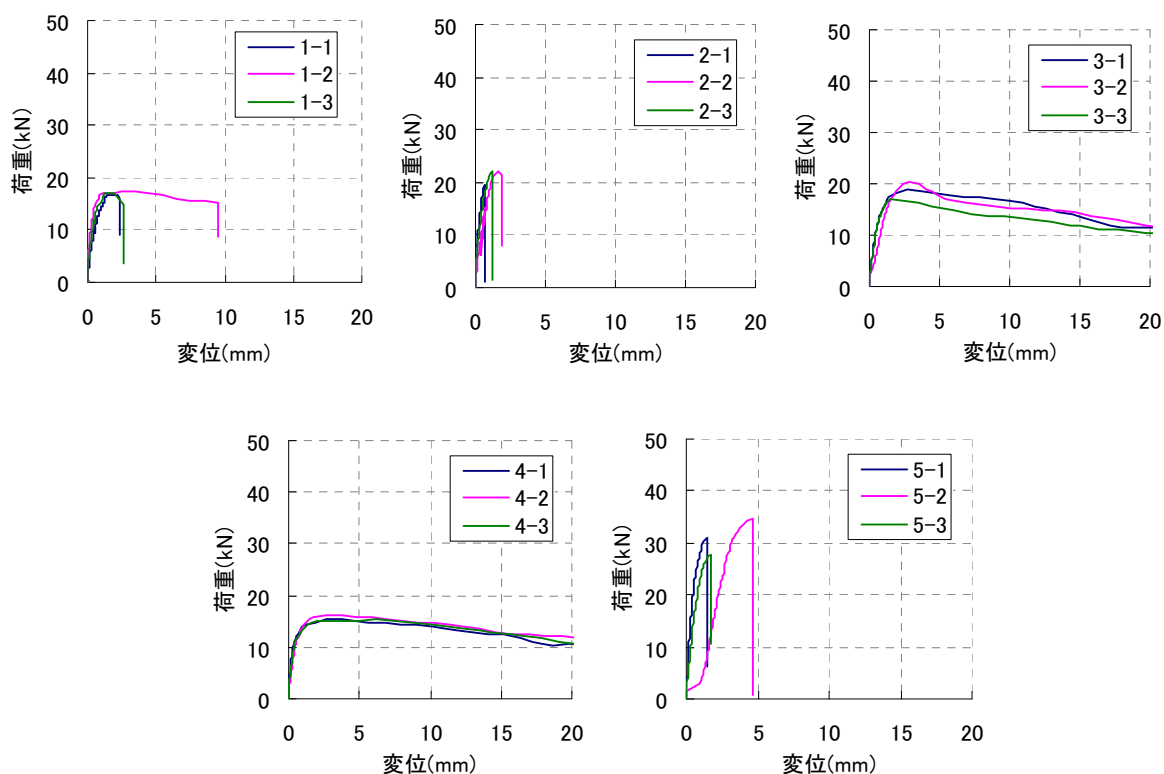


図3. 4. 2-264 目違いなしの腰掛鎌継ぎ試験体の荷重－変位関係

表3. 4. 2-93 腰掛鎌継ぎ試験体の破壊形式一覧

		男木				女木			
		1	2	3	最多破壊	1	2	3	最多破壊
目違いあり	B1-1	せん断	せん断	せん断 めり込み	せん断	—	—	めり込み	—
	B1-2	せん断	せん断	せん断	せん断	—	—	—	—
	B1-3	せん断 めり込み	せん断 めり込み	めり込み	せん断 めり込み	めり込み 開き	開き	めり込み 開き	めり込み 開き
	B1-4	せん断 めり込み	めり込み	めり込み	めり込み	めり込み 開き	めり込み 開き	めり込み 開き	めり込み 開き
	B1-5	せん断(破断)	せん断 めり込み	せん断	せん断	—	—	—	—
	B1-6	せん断(破断)	せん断 めり込み	せん断 めり込み	せん断 めり込み	軽微な めり込み	めり込み 開き	めり込み 開き	めり込み 開き
	B1-7	めり込み	せん断 めり込み	めり込み	めり込み	めり込み 開き	めり込み 開き	めり込み	めり込み 開き
目違いなし	B2-1	せん断	せん断	せん断	せん断	めり込み	せん断	—	せん断 めり込み
	B2-2	せん断	せん断	せん断(破断)	せん断	—	せん断	開き	せん断 開き
	B2-3	めり込み	めり込み	めり込み	めり込み	めり込み	—	めり込み	めり込み
	B2-4	めり込み	めり込み	めり込み	めり込み	めり込み	めり込み 開き	めり込み 開き	めり込み 開き
	B2-5	せん断	せん断	せん断	せん断	—	—	—	—



写真3.4.2-117 男木のせん断破壊

(d) 結果の考察

図3.4.2-265に各パラメータと最大耐力との関係を示す。また、「木質構造接合部設計マニュアル」による計算値も併記した。継手長さ(L)と最大耐力との相関はあまりみられない。これは、継手長さ(L)が小さいと男木のせん断破壊が顕著であるが、継手長さ(L)が大きくなると、鎌のあご部分での圧壊が顕著になり、耐力が増加しないためと考えられる。材せい(h)は最大耐力への影響は大きく、材せい(h)が大きくなるに従って、最大耐力も増加している。しかし、材せい(h)が240mmと300mmの場合の最大耐力には、顕著な差はみられなかった。これは、材せいが大きくなると、鎌のあご部分の加工精度が悪くなり、男木と女木で実質的に接して応力を伝達できる部分の面積がh=240mmとh=300mmとで差がなかったためではないかと考えられる。鎌のあごの幅(e)については、標準の7.5mmの2倍の15mmにしたほうが、若干の最大耐力の上昇がみられた。これは、標準のe=7.5mmの場合には、女木で鎌のあごと接する部分のめり込みがみられたのに対し、2倍のe=15mmではめり込みがみられなかったことから、男木と女木との間で伝達された応力が大きかったためと考えられる。計算値は、繊維方向のヤング率を7000N/mm²、圧縮強度を17.7N/mm²、せん断強度を1.8N/mm²とした場合であり、低減係数Cも考慮されている。概ね実験値の下限值と同程度であり、実験結果の傾向をとらえているといえる。

図3.4.2-266に各パラメータと初期剛性との関係を示す。ここで初期剛性は、0.1Pmaxの点と0.4Pmaxの点を通る直線の傾きとした。ばらつきが大きいので、各パラメータと初期剛性との関係は読み取れないが、鎌のあご幅(e)については、大きいほど初期剛性が高い傾向がある。初期剛性に関しても、計算値は実験値の概ね下限値程度である。

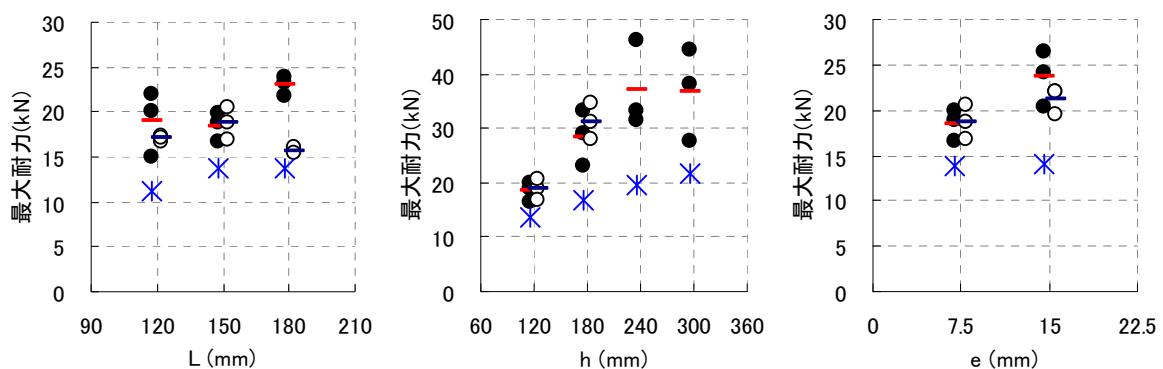


図3.4.2-265 各パラメータと最大耐力との関係

(● : 目違いあり、○ : 目違いなし、- : 3体の平均、* : 計算値)

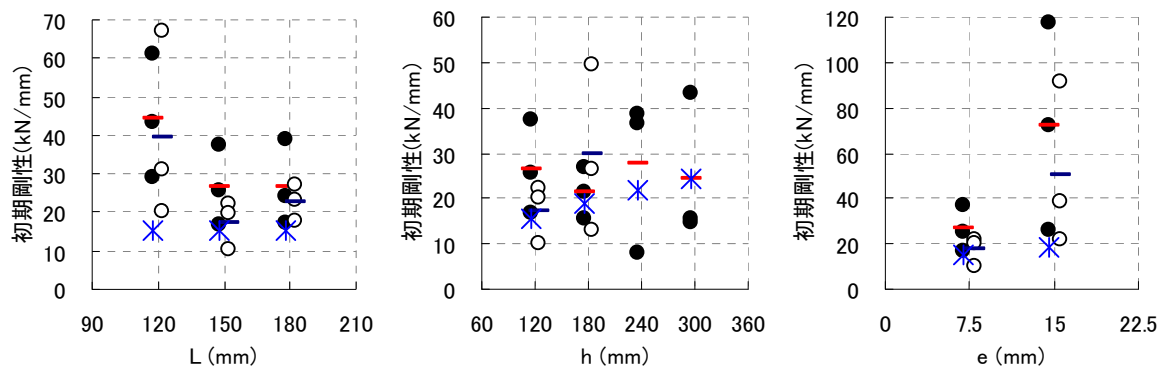


図3.4.2-266 各パラメータと初期剛性との関係
(●：目違いあり、○：目違いなし、—：3体の平均、*：計算値)

2) 下げ鎌 引張 (I1)

(a) 実験概要

下げ鎌仕口試験体の柱に相当する部材（以下、柱と略す）を固定し、貫に相当する部材（以下、貫と略す）に単調な引抜き力を載荷する実験を行った。試験体のパラメータは、貫の厚さと鎌の長さであり、柱の径と貫のせいはいずれも120mmである。各パラメータの試験体は3体ずつとした。

(b) 試験体および加力方法

図3.4.2-267に試験体図を示す。柱および貫はスギ、楔はシラカシである。柱は、図3.4.2-268のように、両端のφ17mmの穴にM16の全ネジ棒を通して治具に固定し、貫はφ21mmの穴に鋼製ピンを通して治具と接続し、引張力を載荷した。貫の両側には1台ずつ変位計（CDP-100M）を取り付け、柱の貫が取り付く側と反対側の面との相対変位を測定した。

表3.4.2-94に下げ鎌試験体のパラメータ一覧を示す。貫の厚さ(W)は30mmが標準であり15mmと45mmを設定した。貫が柱に入る深さ(L1)は90mmを標準とし、60mmと105mmを設定し、計6種類とした。表3.4.2-95は試験体の密度および含水率である。柱の密度は0.39～0.47、貫の密度は0.33～0.46であり、含水率は15%～20%程度であった。

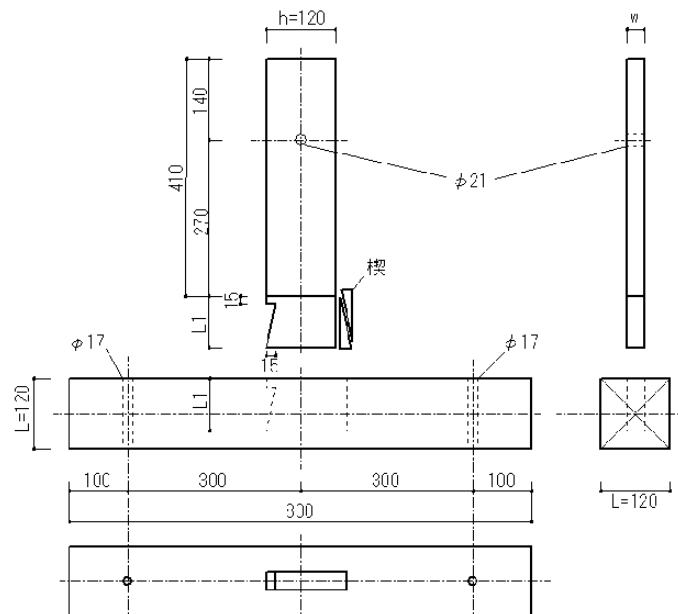


図3.4.2-267 下げ鎌試験体

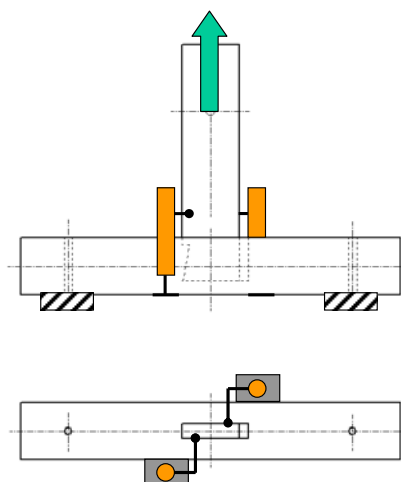


図3. 4. 2-268 加力方法および変位計測位置

表3. 4. 2-94 下げ鎌試験体のパラメーター一覧

No.	W	h	L	L1
1	15	120	120	90
②	30	120	120	90
3	45	120	120	90
4	30	120	120	45
5	30	120	120	60
6	30	120	120	105

表3. 4. 2-95 下げ鎌試験体の密度および含水率一覧

(a) 密度 (g/cm³)

	柱				貫				楔1				楔2			
	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
I1-1	0.40	0.39	0.46	0.42	0.34	0.37	0.36	0.35	0.44	0.39	0.46	0.43	0.58	0.49	0.62	0.56
I1-2	0.40	0.40	0.47	0.42	0.36	0.37	0.33	0.36	0.40	0.54	0.41	0.45	0.55	0.52	0.52	0.53
I1-3	0.40	0.39	0.46	0.42	0.39	0.43	0.40	0.41	0.39	0.41	0.41	0.40	0.51	0.52	0.50	0.51
I1-4	0.47	0.43	0.46	0.45	0.46	0.38	0.36	0.40	0.46	0.48	0.45	0.46	0.43	0.46	0.46	0.45
I1-5	0.47	0.42	0.46	0.45	0.46	0.38	0.36	0.40	0.39	0.46	0.50	0.45	0.47	0.46	0.56	0.50
I1-6	0.47	0.42	0.47	0.45	0.36	0.39	0.39	0.38	0.47	0.45	0.45	0.46	0.52	0.45	0.50	0.49

(b) 含水率 (%)

	柱				貫				楔1				楔2			
	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
I1-1	17.0	19.5	19.1	18.5	14.0	13.9	14.6	14.1	12.9	14.5	15.5	14.3	13.8	14.3	14.5	14.2
I1-2	18.2	19.2	17.4	18.3	15.0	15.4	15.0	15.1	14.6	15.5	15.7	15.3	14.4	15.5	14.3	14.7
I1-3	16.7	18.9	17.9	17.8	14.5	15.3	14.5	14.8	14.4	14.8	14.8	14.7	13.5	14.9	14.0	14.2
I1-4	19.1	19.5	17.0	18.6	15.4	16.3	15.6	15.8	14.5	14.9	14.6	14.7	12.9	13.8	13.4	13.4
I1-5	16.5	18.3	16.6	17.1	15.0	14.8	14.6	14.8	14.4	14.0	13.9	14.1	13.5	13.7	13.6	13.6
I1-6	17.3	18.1	15.8	17.0	14.6	14.9	14.4	14.6	14.7	14.4	14.2	14.4	13.4	13.4	13.9	13.6

(c) 実験結果

図3.4.2-269に下げ鎌試験体の荷重－変位関係を示す。変位は、貫に取り付けた2台の変位計の平均とした。荷重が2kN程度で変位が生じはじめ、10mm～30mm程度で最大耐力となり、その後は緩やかに荷重が低下した。最終的な破壊形式は、表3.4.2-96に示すように、鎌部のせん断破壊（写

真3.4.2-118(a)) と、柱で鎌部が掛かる部分の割れ (写真3.4.2-118(b)) が顕著であった。同じ仕様の試験体3体のなかで最大耐力に2倍程度の差がある場合もみられた。なお楔については、貫の引抜けと共に抜け出てくる場合と、楔の抜けはほとんどなく、貫のみが抜け出る場合とがあったが、耐力性状への影響はみられなかった。

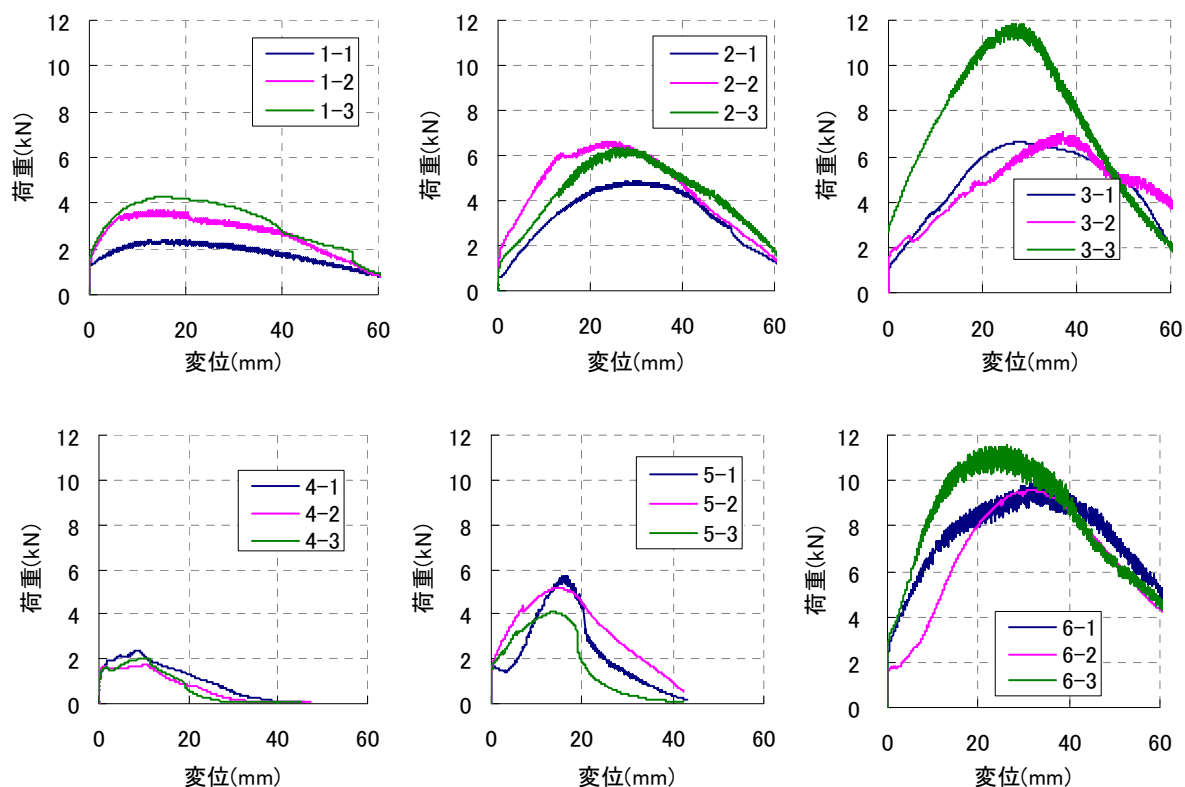


図3. 4. 2-269 下げ鎌試験体の荷重－変位関係

表3. 4. 2-96 下げ鎌試験体の破壊形式一覧

	1	2	3	最多破壊
I1-1	鎌部せん断破壊	鎌受け部割れ	鎌部せん断破壊	鎌部せん断破壊
I1-2	鎌部せん断破壊 鎌受け部割れ	鎌受け部割れ	鎌受け部割れ	鎌受け部割れ
I1-3	鎌受け部割れ	鎌受け部割れ	鎌部せん断破壊 鎌受け部割れ	鎌受け部割れ
I1-4	鎌部せん断破壊 鎌受け部割れ	鎌部せん断破壊 鎌受け部割れ	鎌部せん断破壊 鎌受け部割れ	鎌部せん断破壊 鎌受け部割れ
I1-5	鎌部せん断破壊 鎌受け部割れ	鎌部せん断破壊 鎌受け部割れ	鎌部せん断破壊 鎌受け部割れ	鎌部せん断破壊 鎌受け部割れ
I1-6	鎌部せん断破壊 鎌受け部割れ	鎌部せん断破壊 鎌受け部割れ	鎌部せん断破壊 鎌受け部割れ	鎌部せん断破壊 鎌受け部割れ



(a) 鎌部せん断破壊

(b) 鎌を受ける部分の割れ

写真3.4.2-118 実験後の破壊状況

(d) 結果の考察

図3.4.2-270に貫の厚さ(W)および貫が柱に入る深さ(L1)と最大耐力との関係を示す。貫の厚さ(W)と最大耐力とは比例関係にあるといえる。また、貫が柱に入る深さ(L1)と最大耐力との関係も比例関係に近いが、 $L1=60\text{mm}$ と 90mm の差は顕著ではなかった。

図3.4.2-271は各パラメータと初期剛性との関係を示す。初期剛性は、 $0.1P_{\text{max}}$ の点と $0.4P_{\text{max}}$ の点を通る直線の傾きとした。最大耐力とは逆に、貫の厚さ(W)や貫が柱に入る深さ(L1)が大きいほど、初期剛性は小さくなる傾向である。

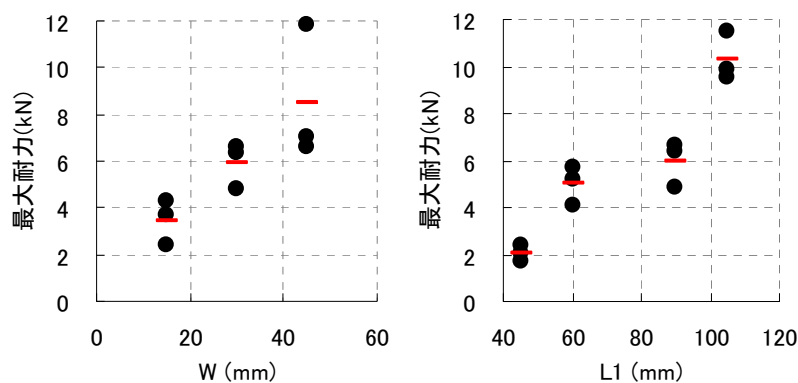


図3.4.2-270 各パラメータと最大耐力との関係

(●：各試験体の最大耐力、—：3体の平均)

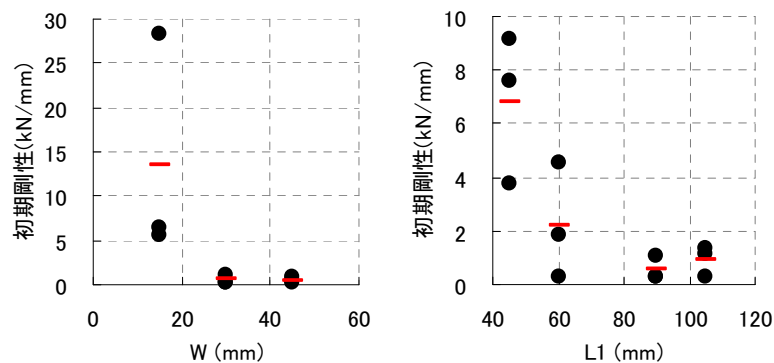


図3.4.2-271 各パラメータと初期剛性との関係

(●：各試験体の最大耐力、—：3体の平均)

3) 長ホゾ鼻栓打ち 引張 (I2)

(a) 実験概要

柱－横架材の長ホゾ鼻栓打ち仕口の柱に相当する部材（以下、柱と略す）を固定し、横架材に相当する部材（以下、横架材と略す）に単調な引張力を載荷する実験を行った。試験体のパラメータは、柱の径、ほぞの長さ、鼻栓のせいおよびほぞの厚さである。各パラメータの試験体は3体ずつとした。

(b) 試験体および加力方法

図3.4.2-272に試験体図を示す。柱および横架材はスギ、鼻栓はシラカシである。柱は、図3.4.2-273のように、両端の $\phi 17\text{mm}$ の穴にM16の全ネジ棒を通して治具に固定し、横架材は $\phi 21\text{mm}$ の穴に鋼製ピンを通して治具と接続し、引張力を載荷した。横架材の両側には1台ずつ変位計 (CDP-100M) を取り付け、柱の横架材が取り付く側と反対側の面との相対変位を測定した。

表3.4.2-97に長ホゾ鼻栓打ち試験体のパラメーター一覧を示す。柱の径(h)は120mm、ほぞの長さ(l)は120mm、鼻栓のせい(d1)は15mm、ほぞの厚さ(D)は30mmが標準である。柱の径(h)は150mm、ほぞの長さ(l)は75mmと105mm、鼻栓のせい(d1)は30mm、ほぞの厚さ(D)は24mmと36mmのパラメータを設定し、計7種類とした。表3.4.2-98は試験体の密度および含水率である。柱の密度は0.39～0.53、横架材の密度は0.36～0.53であり、含水率は13%～20%程度であった。

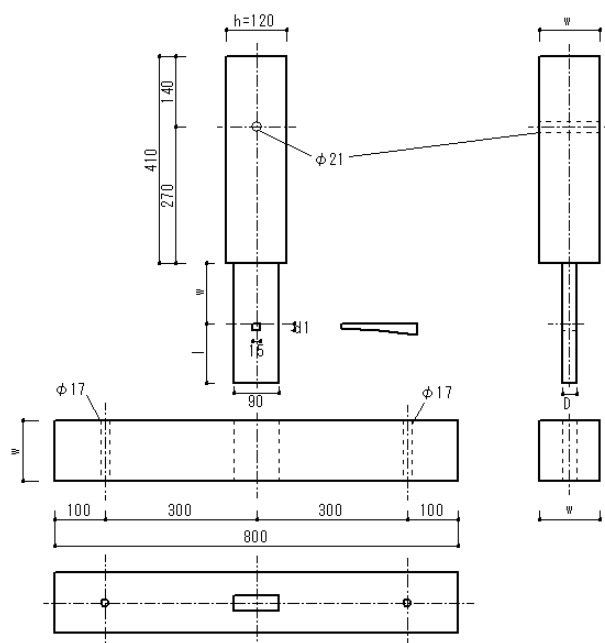


図3. 4. 2-272 長ホゾ鼻栓打ち試験体

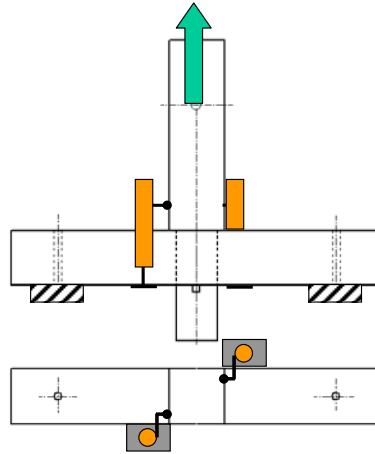


図3. 4. 2-273 加力方法および変位計測位置

表3. 4. 2-97 長ホゾ鼻栓打ち試験体のパラメーター一覧

No.	W	h	l	d1	D
①	120	120	120	15	30
2	150	120	120	15	30
3	120	120	105	15	30
4	120	120	75	15	30
5	120	120	120	30	30
6	120	120	120	15	36
7	120	120	120	15	24

表3. 4. 2-98 長ホゾ鼻栓打ち試験体の密度および含水率一覧

(a) 密度 (g/cm^3)

	柱				横架材				栓			
	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
I2-1	0.45	0.49	0.46	0.47	0.41	0.51	0.50	0.48	1.01	0.92	0.90	0.94
I2-2	0.39	0.41	0.44	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.93	1.03	0.92	0.96
I2-3	0.46	0.45	0.52	0.47	0.53	0.45	0.41	0.46	1.04	0.93	0.98	0.99
I2-4	0.44	0.43	0.49	0.46	0.38	0.46	0.36	0.40	1.02	1.02	1.02	1.02
I2-5	0.47	0.46	0.48	0.47	0.48	0.41	0.44	0.45	0.77	0.77	0.73	0.76
I2-6	0.48	0.50	0.44	0.47	0.40	0.48	0.40	0.43	1.01	0.89	0.90	0.93
I2-7	0.53	0.49	0.53	0.52	0.51	0.37	0.48	0.45	0.94	0.94	0.91	0.93

(b) 含水率 (%)

	柱				横架材				栓			
	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
I2-1	18.4	20.0	18.1	18.8	13.8	14.7	14.0	14.1	12.7	10.3	12.0	11.7
I2-2	15.4	15.5	16.6	15.8	14.1	14.1	14.0	14.1	12.2	12.4	11.9	12.2
I2-3	16.9	17.5	18.3	17.6	14.8	13.9	13.8	14.2	12.6	12.5	12.5	12.5
I2-4	16.3	17.8	16.7	16.9	13.2	13.9	13.6	13.5	12.0	11.7	12.0	11.9
I2-5	17.0	18.0	15.5	16.8	13.7	13.8	13.6	13.7	11.7	11.9	12.0	11.8
I2-6	17.8	17.9	18.4	18.1	13.9	13.6	14.2	13.9	12.4	12.7	12.4	12.5
I2-7	16.7	17.7	18.5	17.6	12.9	13.3	14.2	13.5	12.4	12.3	12.5	12.4

(c) 実験結果

図3.4.2-274に長ホゾ鼻栓打ち試験体の荷重－変位関係を示す。変位は、貫に取り付けた2台の変位計の平均とした。多くの試験体では、まず鼻栓に曲げ破壊が生じて耐力が一時的に低下するが、その後、「へ」形になった鼻栓がほぞとほぞ穴との接触面に引き込まれていき、鼻栓がほぞの表面にめり込みながら摩擦力が生じるため、耐力が再上昇して、ほぞが完全に引抜けるまで、10kN程度

の耐力を保持していた。ほぞの長さ(l)が比較的短い試験体や、鼻栓のせい(d1)の大きな試験体などでは、ほぞが引抜けるまでに、ほぞの繊維に沿って割れが生じたり、せん断破壊が生じた試験体もあった。表3.4.2-99に、最大耐力の決定要因になったと思われる破壊形式の一覧を示す。写真3.4.2-119には実験後に観察された試験体の損傷例を示す。

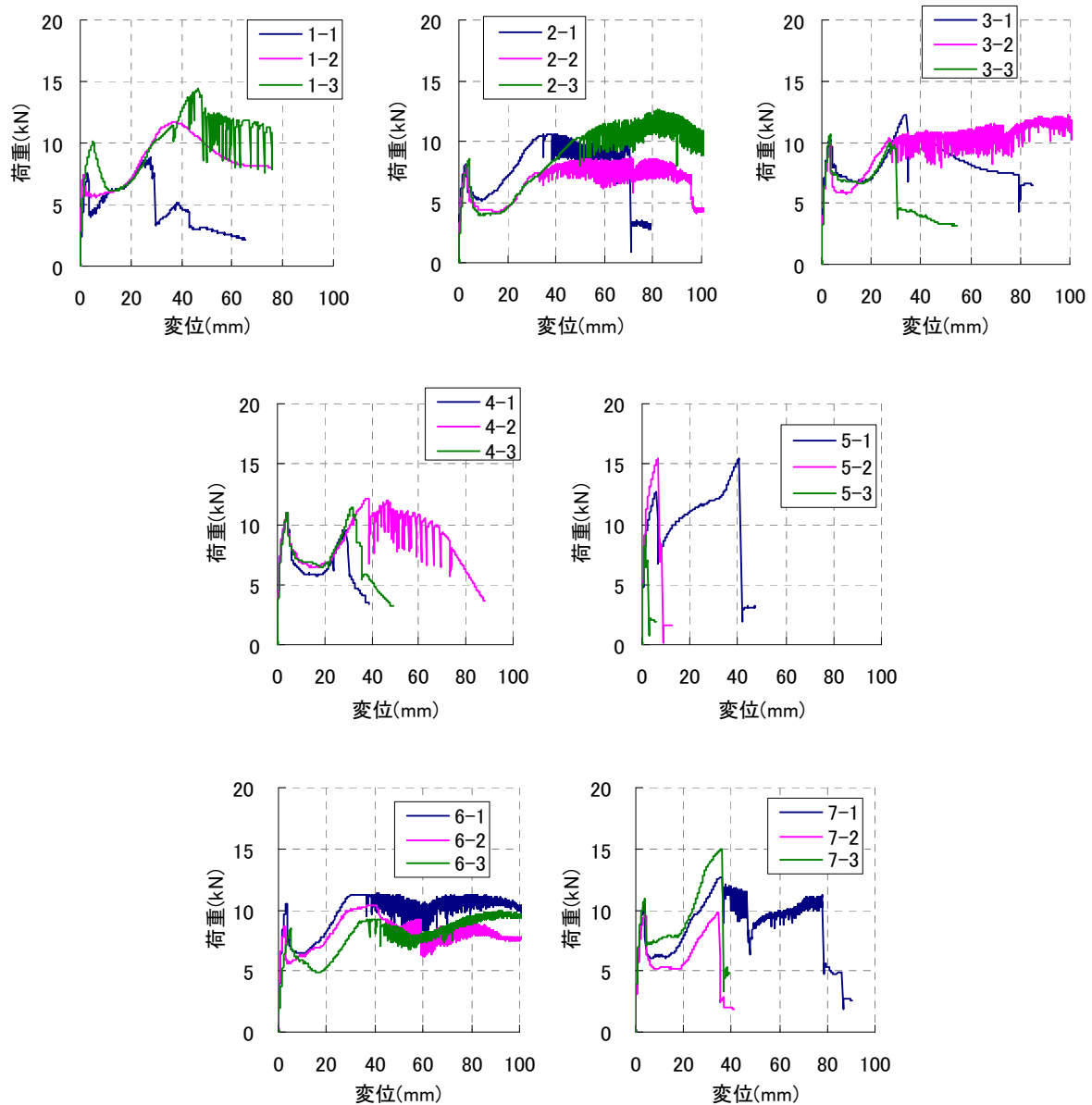


図3. 4. 2-274 長ホゾ鼻栓打ち試験体の荷重－変位関係

表3. 4. 2-99 長ホゾ鼻栓打ち試験体の破壊形式一覧

	1	2	3	最多破壊形式
I2-1	ほぞのせん断破壊	栓のほぞへのめり込み	栓のほぞへのめり込み	栓のほぞへのめり込み
I2-2	ほぞのせん断破壊	栓のほぞへのめり込み	栓のほぞへのめり込み	栓のほぞへのめり込み
I2-3	栓のほぞへのめり込み	栓のほぞへのめり込み	ほぞのせん断破壊	栓のほぞへのめり込み
I2-4	ほぞのせん断破壊	栓のほぞへのめり込み	ほぞのせん断破壊	ほぞのせん断破壊
I2-5	ほぞのせん断破壊	ほぞのせん断破壊	ほぞのせん断破壊	ほぞのせん断破壊
I2-6	栓のほぞへのめり込み	栓のほぞへのめり込み	栓のほぞへのめり込み	栓のほぞへのめり込み
I2-7	ほぞのせん断破壊	ほぞの破断	ほぞの割れ	ほぞのせん断破壊



(a) 加力終了時の試験体



(b) 折れた鼻栓がほぞ表面へめり込んだ跡



(c) 2つに折れた鼻栓



(d) 折れた込栓がほぞ穴の縁にめり込んだ跡



(e) ほぞのせん断破壊

写真3. 4. 2-119 実験後の破壊状況

(d) 結果の考察

図3.4.2-275に各パラメータと最大耐力との関係を示す。柱の径(W)、ほぞの長さ(l)、鼻栓のせい(d1)の各パラメータが変化しても、最大耐力の平均値には顕著な影響はみられないが、ほぞの厚さ(D)については、Dが大きくなるに従って、最大耐力は低下する傾向がみられた。

図3.4.2-276は、各パラメータと初期剛性との関係である。初期剛性は、0.1Pmaxの点と0.4Pmaxの点を通る直線の傾きとした。これに関しては、ばらつきが大きいため有意な傾向は読み取れなかった。

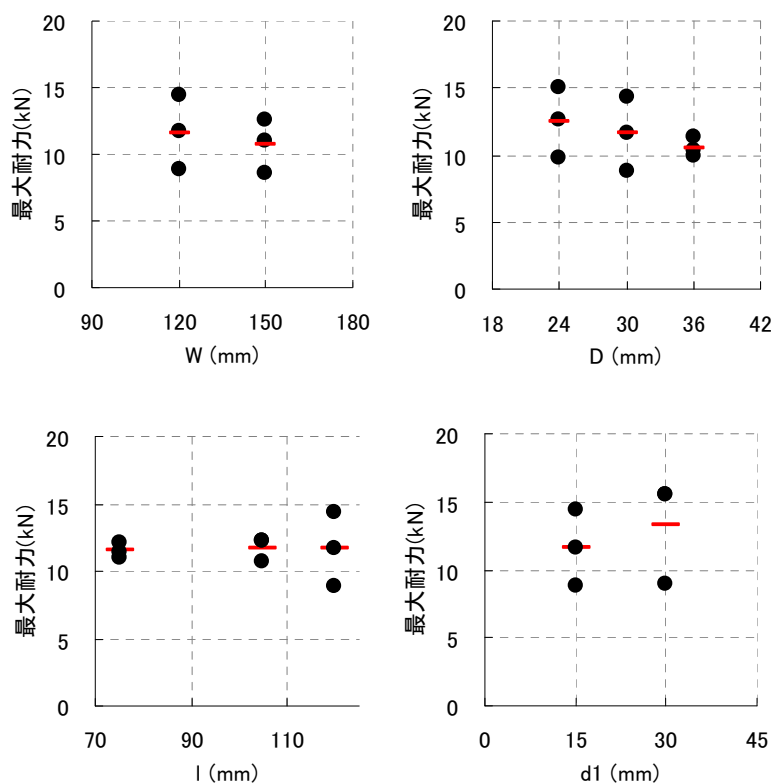


図3.4.2-275 各パラメータと最大耐力との関係

(● : 各試験体の最大耐力、— : 3体の平均)

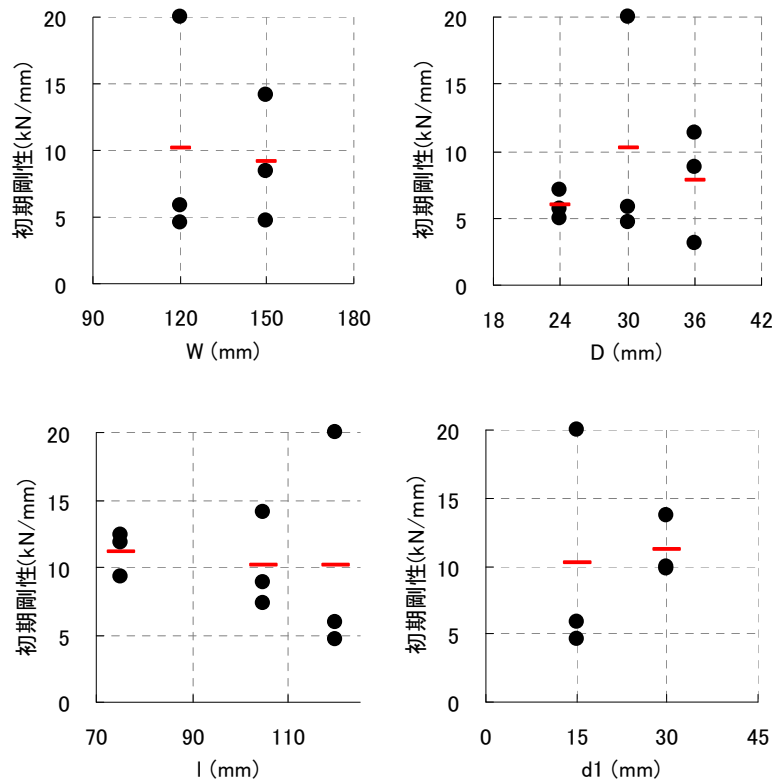


図3.4.2-276 各パラメータと初期剛性との関係
(●：各試験体の最大耐力、－：3体の平均)

4) 長ホゾ込み栓打ち 引張 (I3)

(a) 実験概要

長ホゾ込み栓打ち形式の柱脚—土台仕口を想定し、土台に相当する部材（以下、土台と略す）を固定し、柱に相当する部材（以下、柱と略す）に単調な引抜き力を載荷する実験を行った。パラメータは、土台の径、込栓の径と形状（角および丸）およびほぞの厚さである。各パラメータとも、3体ずつ実験を行った。

(b) 試験体および加力方法

図3.4.2-277に試験体図を示す。柱および土台はスギ、込栓はシラカシである。また、図3.4.2-278に加力方法および変位計測位置を示す。土台は両端で治具に固定し、柱のφ21mmの穴に鋼製のピンを通して治具と接続し、土台から引き抜くように引張力を載荷した。柱と土台との相対変位は、柱の両側に1台ずつ取り付け変位計（SDP-50C）で測定した。表3.4.2-100に長ホゾ込み栓打ち試験体のパラメータの一覧を示す。土台の径は120mm、込栓は15mm角、ほぞの厚さは30mmを基本としている。なお、込栓の位置については、込栓の下端が土台の芯と一致しており、基本の試験体の場合は、栓の中心が土台の芯より7.5mm上端寄りである。従って、ほぞの端距離は60mmとなる。丸栓の場合は、栓の中心からの端距離が角栓と同じ60mmとした。表3.4.2-101に密度および含水率の一覧を示す。柱の密度は0.37～0.56、土台の密度は0.36～0.50であった。含水率は、概ね13%～20%であった。

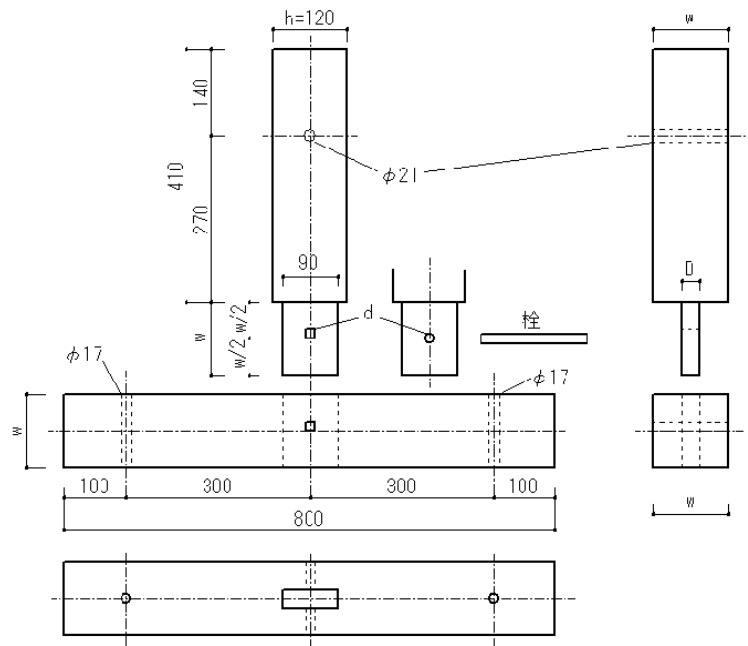


図3. 4. 2-277 長ホゾ込み栓打ち試験体

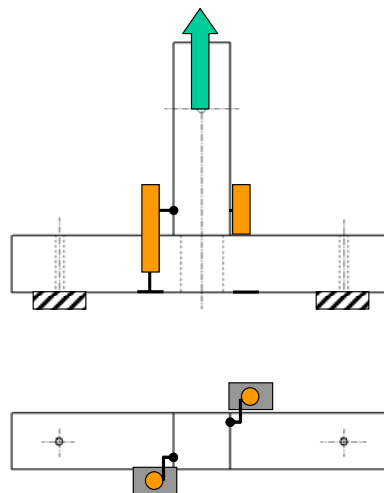


図3. 4. 2-278 加力方法および変位計測位置

表3. 4. 2-100 長ホゾ込み栓打ち試験体のパラメーター一覧

No.	W	h	d	D
①	120	120	15角	30
2	<u>150</u>	120	15角	30
3	120	120	<u>18角</u>	30
4	120	120	<u>15丸</u>	30
5	120	120	<u>18丸</u>	30
6	120	120	15角	<u>36</u>
7	120	120	15角	<u>24</u>

表3.4.2-101 長ホゾ込み栓打ち試験体の密度および含水率一覧
(a) 密度 (g/cm³)

	柱				土台				込栓			
	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
I3-1	0.39	0.37	0.41	0.39	0.36	0.46	0.45	0.43	0.74	0.60	0.66	0.66
I3-2	0.41	0.42	0.41	0.42	0.40	0.45	0.47	0.44	0.88	0.83	0.89	0.87
I3-3	0.39	0.40	0.43	0.41	0.38	0.49	0.48	0.45	0.88	0.88	0.80	0.85
I3-4	0.40	0.39	0.44	0.41	0.38	0.47	0.44	0.43	0.68	0.65	0.67	0.67
I3-5	0.39	0.37	0.50	0.42	0.42	0.48	0.48	0.46	0.84	0.52	0.70	0.69
I3-6	0.39	0.42	0.50	0.44	0.43	0.49	0.50	0.47	0.68	0.70	0.69	0.69
I3-7	0.39	0.42	0.56	0.45	0.44	0.50	0.47	0.47	0.90	0.91	0.92	0.91

(b) 含水率 (%)

	柱				土台				込栓			
	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
I3-1	13.4	13.2	13.4	13.3	14.4	16.9	15.8	15.7	11.0	11.6	11.9	11.5
I3-2	13.6	13.5	13.4	13.5	15.8	15.9	15.9	15.9	12.3	12.4	12.2	12.3
I3-3	16.1	16.1	19.8	17.3	18.5	20.2	20.7	19.8	13.6	13.6	16.7	14.6
I3-4	13.4	13.2	13.4	13.3	15.6	16.2	15.9	15.9	11.9	11.8	10.8	11.5
I3-5	13.6	13.5	13.5	13.5	15.0	15.8	15.4	15.4	12.0	11.9	11.8	11.9
I3-6	13.6	13.8	13.8	13.7	14.9	16.1	15.8	15.6	12.1	12.0	12.3	12.1
I3-7	15.9	16.3	17.2	16.5	17.4	19.0	18.9	18.4	14.0	14.3	14.9	14.4

(c) 実験結果

図3.4.2-279に荷重－変位関係を示す。変位は、2台の変位計による測定値の平均で、柱と土台下端との相対変位である。変位が2～3mm程度で込栓の曲げ破壊が生じ、その後剛性が低下するものの耐力はさらに上昇し、ほとんどの試験体で写真3.4.2-120(a)に示すような、ほぞのせん断破壊が生じた。写真3.4.2-120(b)は、実験後の込栓の一例で、曲げ破壊の生じた後、ほぞのせん断破壊が生じるまでに、せん断変形が生じている。また、栓の径が18mmの場合には、写真3.4.2-120(c)に示すような、土台の割裂もみられた。表3.4.2-102に、破壊形式の一覧を示す。

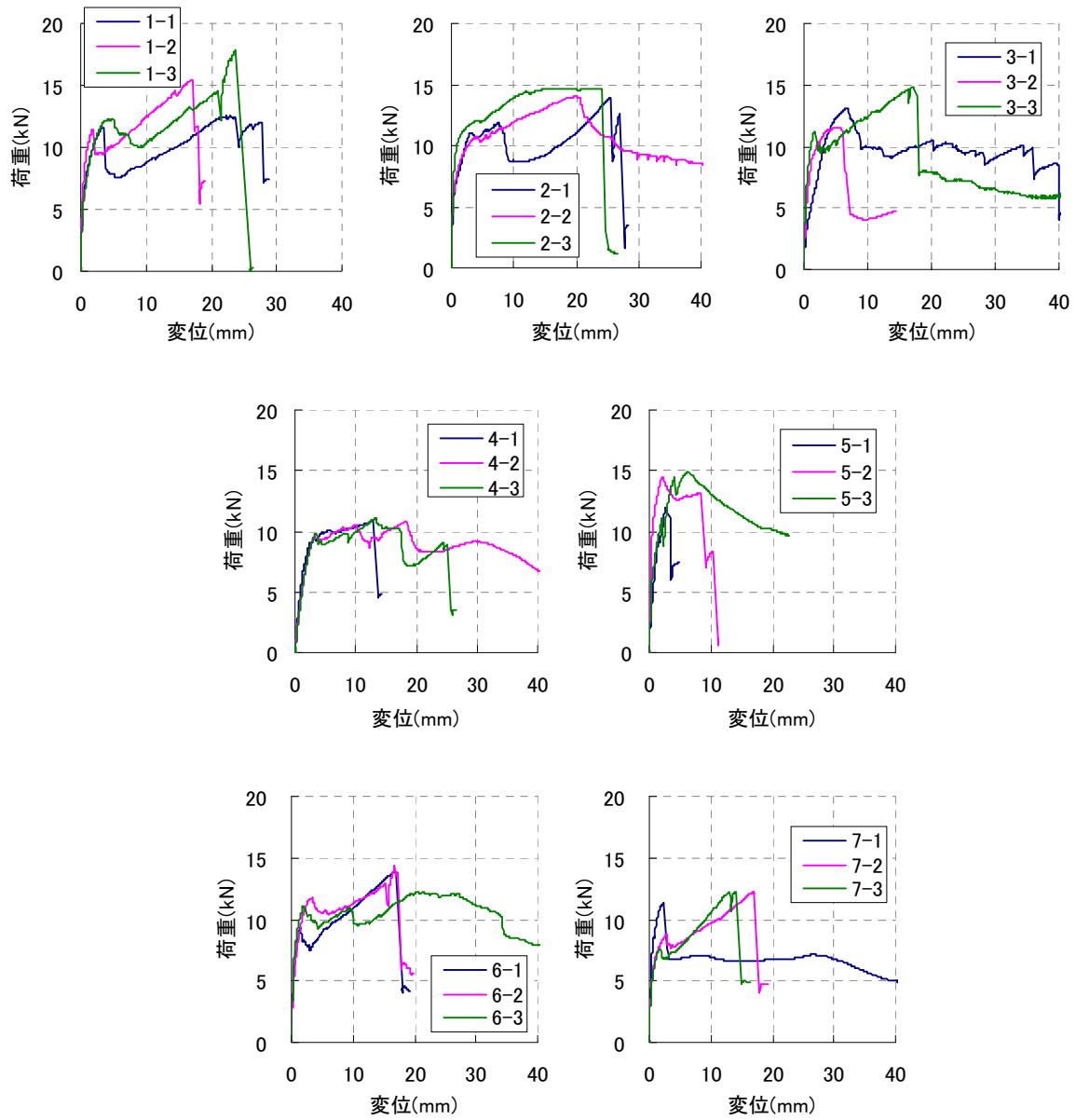


図3. 4. 2-279 長ホゾ込み栓打ち試験体の荷重－変位関係



(a) せん断破壊が生じたほぞ (b) 曲げ破壊後せん断変形した込栓



(c) 割裂が生じた土台

写真3. 4. 2-120 実験後の破壊状況

表3. 4. 2-102 長ほぞ鎌継ぎ試験体の破壊形式一覧

	1	2	3	最多破壊形式
I3-1	栓の曲げ →ほぞのせん断	栓の曲げ →ほぞのせん断	栓の曲げ →ほぞのせん断	栓の曲げ →ほぞのせん断
I3-2	栓の曲げ →ほぞのせん断	栓の曲げ →栓のせん断	栓の曲げ →ほぞのせん断	栓の曲げ →ほぞのせん断
I3-3	栓の曲げ →土台の割裂	ほぞのせん断	栓の曲げ →ほぞのせん断	栓の曲げ →ほぞのせん断
I3-4	栓の曲げ →ほぞのせん断	栓の曲げ →ほぞのせん断	栓の曲げ →栓のせん断	栓の曲げ →ほぞのせん断
I3-5	ほぞのせん断	栓の曲げ →ほぞのせん断	ほぞのせん断	ほぞのせん断
I3-6	栓の曲げ →ほぞのせん断	栓の曲げ →ほぞのせん断	栓の曲げ →栓のせん断	栓の曲げ →ほぞのせん断
I3-7	ほぞのせん断	栓の曲げ →ほぞのせん断	栓の曲げ →ほぞのせん断	栓の曲げ →ほぞのせん断

(d) 結果の考察

図3.4.2-280は、土台の径(W)、ほぞの厚さ(D)および込栓の径(d)と最大耐力との関係である。また、「木質構造接合部設計マニュアル」による計算値も併記した。土台の径(W)が大きくなるとほぞの端距離も大きくなり、最大耐力にも影響すると考えられたが、平均値で比較すると顕著な差ではない。ほぞの厚さの違いについても、最大耐力には顕著な差となって表れていない。栓の形状と径について、15mmの丸栓は同じ径の角栓より最大耐力は低くなったが、18mmの丸栓は同じ径の角栓との間に顕著な差は生じなかった。破壊形式や材料強度も考慮し、詳細な検証が必要と考えられる。計算に際しては、スギの繊維方向のヤング率を7000N/mm²、せん断強度を1.8N/mm²、繊維

方向および繊維直交方向の面圧降伏応力度を 19.4N/mm^2 と 9.7N/mm^2 とし、込栓については、実測した密度 0.76 から材料定数を求めた。計算値は、実験で得られた最大耐力の概ね $1/2$ であり、降伏耐力に近い値と考えられる。

図3.4.2-281は、各パラメータと初期剛性との関係である。初期剛性は、 $0.1P_{\max}$ の点と $0.4P_{\max}$ の点を通る直線の傾きとした。土台の径(W)が大きいと初期剛性がやや高い傾向であるが、ほぞの厚さ(D)や込栓の径(d)の違いの影響はみられない。計算による初期剛性は、実験値に比べてかなりの過小評価であるように見えるが、計算による初期剛性は、ゼロと降伏耐力の点との割線剛性であることを考慮すると、大幅な過小評価ではないと考えられる。

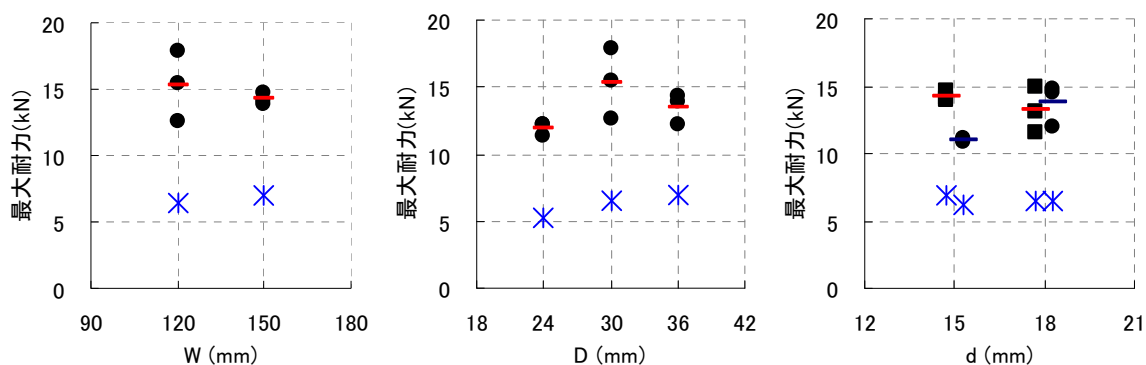


図3.4.2-280 各パラメータと最大耐力との関係

(●：丸栓を有する各試験体の最大耐力、■：角栓を有する試験体の最大耐力、—：3体の平均、
*：計算値)

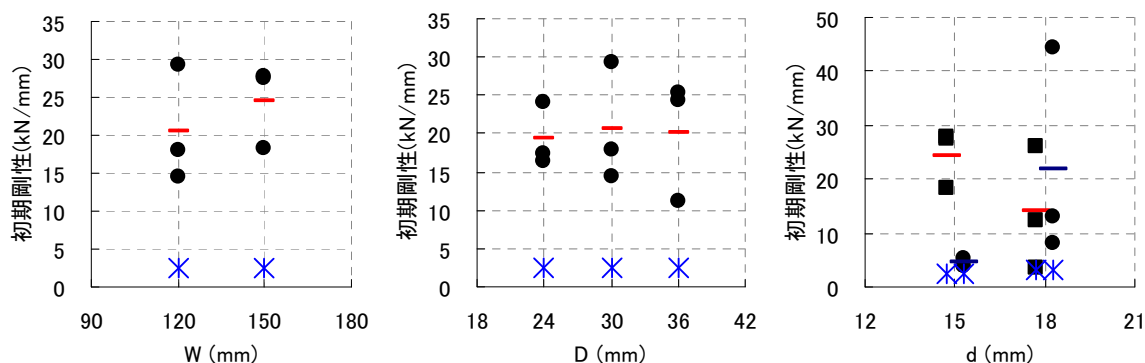


図3.4.2-281 各パラメータと初期剛性との関係

(●：丸栓を有する各試験体の最大耐力、■：角栓を有する試験体の最大耐力、—：3体の平均、
*：計算値)

5) 長ホゾ割り楔締め 引張 (I4)

(a) 実験概要

柱—横架材の長ホゾ割り楔締め仕口の柱に相当する部材（以下、柱と略す）を固定し、横架材に相当する部材（以下、横架材と略す）に単調な引張力を载荷する実験を行った。試験体のパラメータは、柱の径、横架材のせい、ほぞの切り込みから外側の縁距離およびほぞの厚さである。各パラメータの試験体は3体ずつとした。

(b) 試験体および加力方法

図3.4.2-282に試験体図を示す。柱および横架材はスギ、楔はシラカシとした。柱は、図3.4.2-283のように、両端の $\phi 17\text{mm}$ の穴にM16の全ネジ棒を通して治具に固定し、横架材は $\phi 21\text{mm}$ の穴に鋼製ピンを通して治具と接続し、引張力を载荷した。横架材の両側には1台ずつ変位計(CDP-100M)を取り付け、柱の横架材が取り付け側と反対側の面との相対変位を測定した。

表3.4.2-103に長ホゾ割り楔締め試験体のパラメータ一覧を示す。柱の径(w)は120mm、横架材のせい(h)は120mm、ほぞの切り込みから外側の縁距離(e)は6mm、ほぞの厚さ(D)は30mmが標準である。柱の径(w)は150mm、横架材のせい(h)は180mm (150mmも計画されていたが、誤った寸法で製作された)、ほぞの切り込みから外側の縁距離(e)は3mmと9mm、ほぞの厚さ(D)は24mmと36mmのパラメータを設定し、計8種類とした。表3.4.2-104は試験体の密度および含水率である。柱の密度は0.37~0.50、横架材の密度は0.36~0.50であり、含水率は15%~17%程度であった。

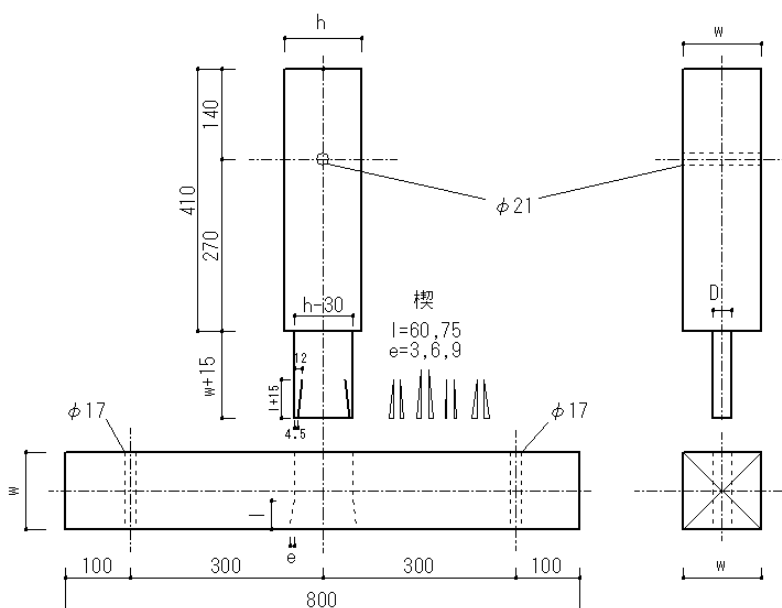


図3. 4. 2-282 長ホゾ割り楔締め試験体

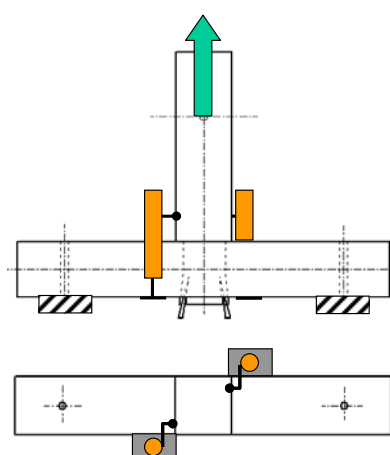


図3. 4. 2-283 加力方法および変位計測位置

表3.4.2-103 長ホゾ割り楔締め試験体のパラメーター一覧

No.	W	h	e	l	D
①	120	120	6	60	30
2	150	120	6	75	30
3	120	150	6	60	30
4	120	180	6	60	30
5	120	120	3	60	30
6	120	120	2	60	30
7	120	120	6	60	36
8	120	120	6	60	24

表3.4.2-104 長ホゾ割り楔締め試験体の密度および含水率一覧

(a) 密度 (g/cm³)

	柱				横架材				楔1				楔2			
	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
I1-1	0.39	0.44	0.37	0.40	0.44	0.40	0.41	0.42	0.78	0.82	0.81	0.80	0.84	0.82	0.85	0.84
I1-2	0.45	0.47	0.46	0.46	0.40	0.36	0.45	0.40	0.82	0.78	0.78	0.80	0.77	0.81	0.79	0.79
I1-3	0.50	0.47	0.43	0.47	0.41	0.40	0.40	0.41	0.83	0.86	0.79	0.83	0.82	0.84	0.82	0.82
I1-4	0.50	0.42	0.42	0.45	0.46	0.45	0.46	0.46	0.79	0.81	0.87	0.83	0.82	0.82	0.85	0.83
I1-5	0.39	0.44	0.38	0.40	0.46	0.40	0.42	0.43	0.87	0.85	0.88	0.87	0.91	0.92	0.96	0.93
I1-6	0.39	0.44	0.38	0.40	0.47	0.42	0.42	0.44	0.82	0.79	0.82	0.81	0.82	0.81	0.85	0.83
I1-7	0.40	0.44	0.45	0.43	0.50	0.42	0.43	0.45	0.85	0.87	0.78	0.83	0.90	0.84	0.82	0.85
I1-8	0.40	0.45	0.40	0.42	0.50	0.41	0.40	0.44	0.91	0.87	0.83	0.87	0.90	0.83	0.83	0.86

(b) 含水率 (%)

	柱				横架材				楔1				楔2			
	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
I1-1	15.5	16.0	15.7	15.7	15.0	15.1	14.9	15.0	14.0	14.2	13.4	13.9	13.7	13.3	13.6	13.5
I1-2	16.4	17.2	16.9	16.9	15.2	14.8	14.2	14.7	13.6	13.3	13.1	13.3	13.6	13.3	13.3	13.4
I1-3	16.5	16.3	17.1	16.7	14.6	14.9	14.7	14.7	13.1	13.0	13.8	13.3	12.4	12.6	13.3	12.8
I1-4	15.6	16.4	16.1	16.0	13.9	13.9	13.7	13.8	12.8	12.5	13.0	12.8	12.3	12.4	13.3	12.7
I1-5	15.4	17.1	16.7	16.4	14.9	14.8	15.0	14.9	13.5	12.6	13.6	13.3	12.9	12.8	12.1	12.6
I1-6	17.6	17.5	17.2	17.4	24.8	15.3	6.8	15.6	13.5	13.3	13.5	13.4	13.4	12.9	14.4	13.6
I1-7	17.1	17.4	16.7	17.1	15.4	15.2	15.2	15.3	12.3	12.8	13.6	12.9	13.7	13.2	12.7	13.2
I1-8	17.3	16.0	17.4	16.9	14.8	14.1	14.4	14.4	13.4	13.0	12.8	13.1	12.4	13.5	12.4	12.7

(c) 実験結果

図3.4.2-284に荷重－変位関係を示す。変位は、2台の変位計による測定値の平均で、柱と土台下端との相対変位である。ほぞがほぞ穴から抜け出すまで、楔はほぞの切り込みに入ったまま抜けることはなかった。ほぞの側面にはめり込みが生じ、ほぞがほぞ穴から抜け出す際には、ほぞ穴の縁には割れが生じた。楔には顕著な損傷はなく、ほぞがほぞ穴を通る際に狭められたことで、若干曲がりが生じた楔もあった。表3.4.2-105に、破壊形式の一覧を示す。写真3.4.2-121は、試験終了後の各部の損傷状況である。

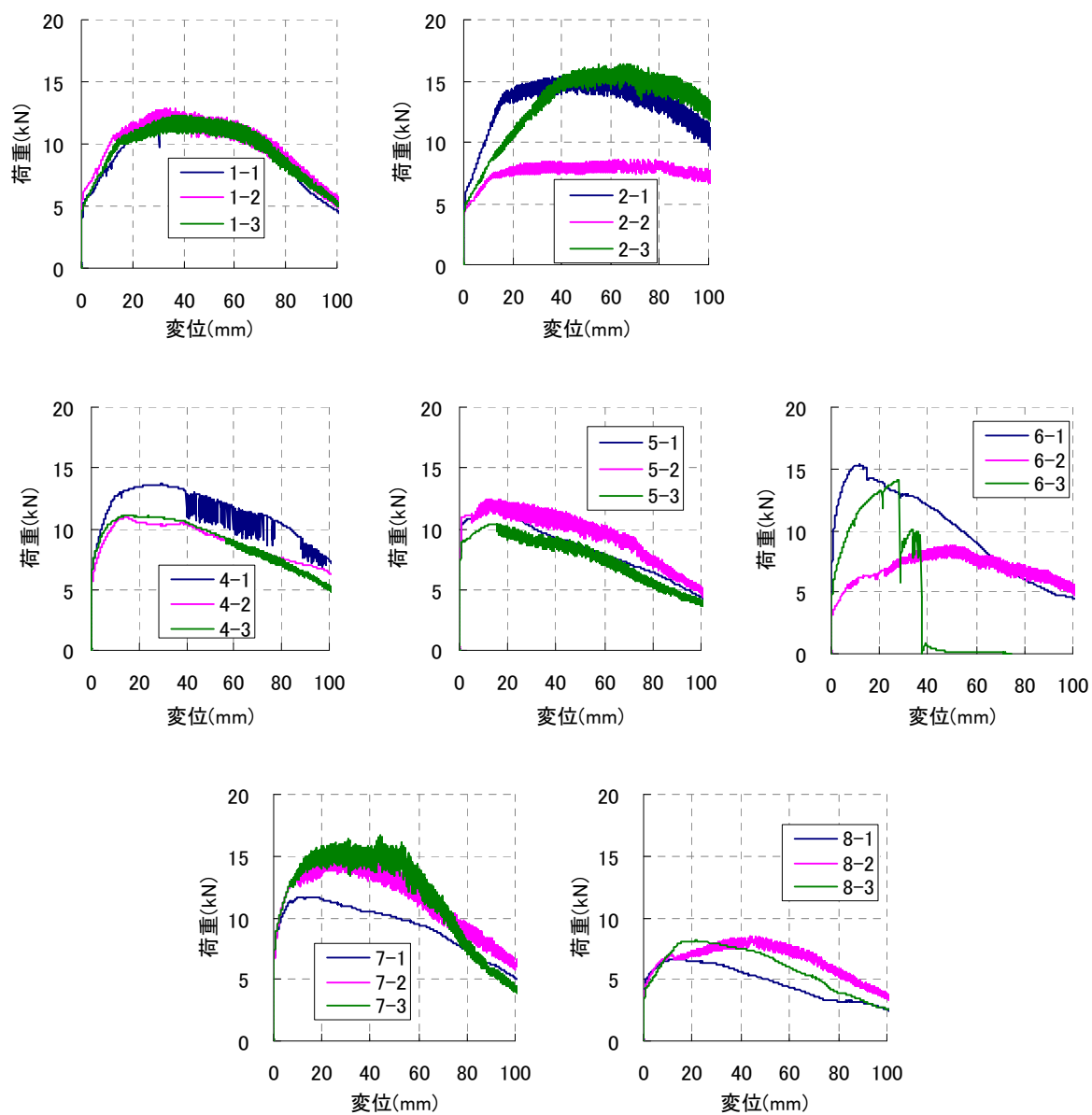


図3. 4. 2-284 長ホゾ割り楔締め試験体の荷重－変位関係

表3. 4. 2-105 長ホゾ割り楔締め試験体の破壊形式一覧

	1	2	3	最多破壊形式
I4-1	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ
I4-2	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ
I4-3	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み 軽微なほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ
I4-4	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ
I4-5	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ
I4-6	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ破断 軽微なほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ
I4-7	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ
I4-8	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ	ほぞ側面のめり込み ほぞ穴縁の割れ



(a) 加力終了時の試験体



(b) 加力終了後の楔



(c) ほぞ側面のめり込み



(d) ほぞ穴縁の割れ

写真3. 4. 2-121 実験後の破壊状況

(d) 結果の考察

図3.4.2-285は、柱の径(W)、ほぞの厚さ(D)、横架材のせい(h)、ほぞの切り込みから外側の縁距離(e)と最大耐力との関係である。ほぞの厚さ(D)については、大きくなるにしたがって、最大耐力も増加する傾向がみられた。その他のパラメータについては、最大耐力との間に顕著な相関関係はみられなかった。

図3.4.2-286は、各パラメータと初期剛性との関係である。初期剛性は、 $0.1P_{max}$ の点と $0.4P_{max}$ の点を通る直線の傾きとした。バラツキが大きいため、はっきりした傾向が読み取れないが、横架材のせい(h)については、大きいほど、初期剛性も高い傾向がみられた。

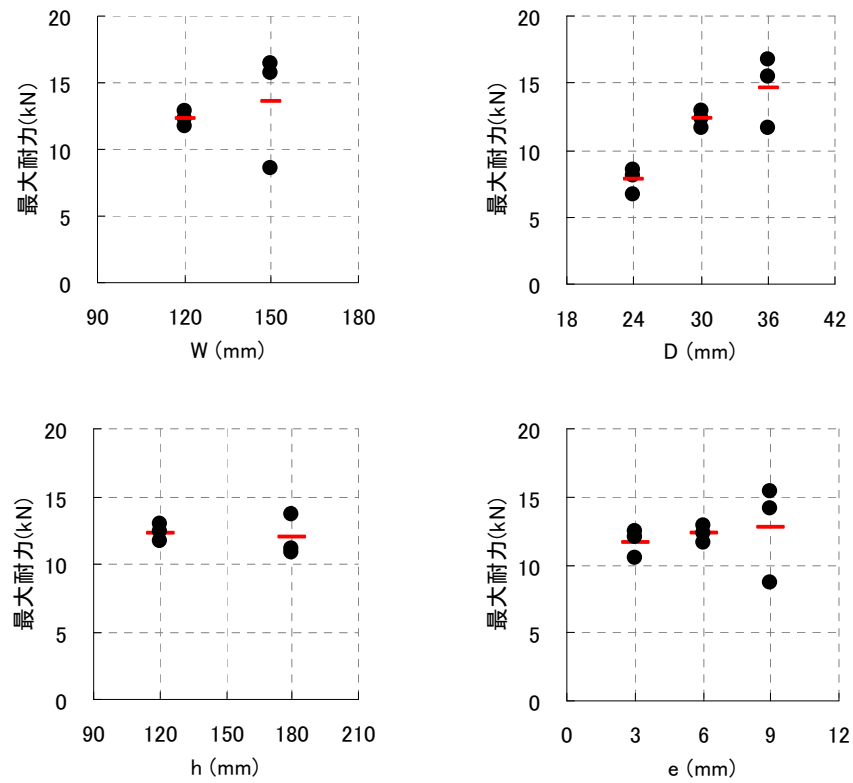


図3.4.2-285 各パラメータと最大耐力との関係
(●：各試験体の最大耐力、－：3体の平均)

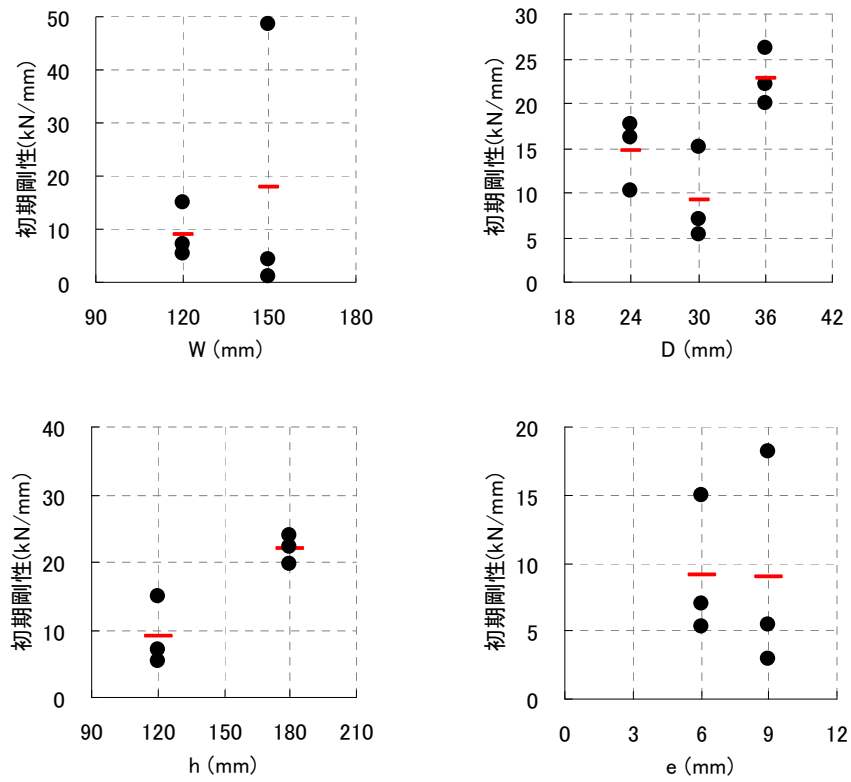


図3.4. 2-286 各パラメータと初期剛性との関係
(●：各試験体の最大耐力、－：3体の平均)

3. 5 土壁に関する実験

3. 5. 1 地域産土の材料特性

(1) 実験概要

本実験は、地域で使用されている壁土用原土の基本的性質について調べている。

1) 使用材料

図3.5.1-1に採取地域および原土の写真を示す。

試料は各地域で用いられている壁土を使用した。また、届けられた試料で量の少ない場合は砂原土比（以後、S/Cと表記する）0%およびせん断供試体を作製していない。表3.5.1-1に地域と用途名称を示す。また、スサは、供試体へのスサ混入率に差が生じないようにもみスサを用いた。

原土の色は赤みを帯びたもの、焦げ茶、白みを帯びたものがあり、スサや小指大の石が混入しているものもある。

表3. 5. 1-1 地域と用途

産地	用途名称	見目	備考
基準			京都産の土を基準に用とする
荒井家	荒壁	焦げ茶色、スサ入り	粉体、試験済み、S/C85%、曲げ
那須町	荒壁	白みを帯びた色、スサ入り	粉体、試験済み、S/C85%、曲げ
徳島県徳島市 八万町大坪	荒壁土	茶色	粉体
徳島県美馬市 脇町馬木	荒壁土	白みを帯びた色	粉体、曲げのみ、
荒井家	中塗り壁	焦げ茶色、スサ入り	粉体、試験済み、S/C85%、曲げ
那須町	中塗り壁	白みを帯びた色、スサ入り	粉体、試験済み、曲げのみ
徳島県徳島市 八万町大坪	中塗り土	茶色	粉体
徳島県美馬市 脇町馬木	中塗り土	白みを帯びた色	粉体、せん断なし
琴浦町	原土	茶色、小石あり、粘土質	水含み、塊あり
倉吉市	原土	茶色、スサ入り、砂入り	水合せ
栃木市室町	原土	茶色、スサ入り、粘土質	塊あり、せん断なし

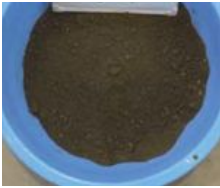
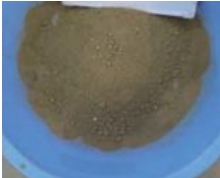
備考の用語

用途名称: 配送元が明記したもの

試験済み: 配送元が一度壁土として試験したもの

粉体: 乾燥状態で届き粉末のもの

水合せ: 配送元が水合せして送付してきたもの

産地	用途名称	写真
基準		—
荒井家	荒壁土	
那須町	荒壁土	
徳島県徳島市八万町大坪	荒壁土	
徳島県美馬市脇町馬木	荒壁土	
荒井家	中塗り土	
那須町	中塗り土	
徳島県徳島市八万町大坪	中塗り土	
徳島県美馬市脇町馬木	中塗り土	

琴浦町	原土	
倉吉市	原土	
栃木市室町	原土	

図3. 5. 1-1 原土の写真

(3) 実験方法

1) 供試体の作製 (φ20×40mm)

供試体の作製は、以下に示す。なお、荒井家荒壁および中塗りと那須町荒壁および中塗りに関しては、3本ずつ作製する。図3.5.1-2にふるい分け方法を示す。

- ①土は、JIS A 1204 (土の粒度試験) に従い試験を行った。土は2.5mm (2500μm) ふるいを通過したものをそれぞれ150g採取した。
- ②採取した土に水を重さの大略3割加え、ペースト状にする。
- ③内径2mm、高さ40mmのアクリルパイプ (シリンダー) の内側に薄くグリースを塗り、自由に収縮できるようにする。
- ④アクリルパイプ4本に試料を流し込む。予備実験より、ペースト状で流し込まないと供試体に空隙が多く、途中で破損することから決定した。
- ⑤供試体乾燥後に2本の丸棒で平行になるように挟み、上下部の変形部分にやすりをかけて平行にする。
- ⑥4本の試験体は直径、高さを揃えるためにJIS A 1107 (コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮試験方法) を参考に補正している。



図3.5.1-2 ふるい分け方法

2) 養生方法および脱型

供試体の養生は、自然乾燥とし実験室内で温度、湿度に関わらず気中養生とした。脱型は供試体作製後7日目を目安とした。

3) 試験方法

(a) 粒度分布

粒度分布試験は、レーザー回折式粒度分布測定装置SALD-3000S (株式会社 島津製作所) を用い、測定値が安定するまで行った。

攪拌水槽に投入する試料は、原土約3gを50g程度の水に溶かした。原土 (以後、粉体と表記する) の場合は粒径の大きなものを避け、粒の小さな粉体試料を投入した。これは、粒の大きな試料を投入すると装置内のガラスに傷がつく恐れからである。尚、水に溶かした試料は粒度が安定するまで繰り返し試験したが、原土 (粉体) の場合、1～3回で終了した。

(b) 圧縮試験

試験はJIS A 1216 (土の一軸圧縮試験) に従い、載荷速度は0.5mm/minとした。圧縮強度 σ_c はJIS A 1107 (コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮試験方法) に従い、補正係数Sを乗じて求めた。表3.5.1-2に補正係数を示す。

$$\sigma_c = N/A$$

ここに、 σ_c : 圧縮強度 (N/mm²)、N : 最大荷重 (N)、S : 補正係数 A : 断面積 (cm²)

表3.5.1-2 補正係数 (JIS A 1107)

高さ と 直径 と の 比 h/d	補正係数	備考
2.00	1.00	h/d がこの表に表す値の中間に有る場合、補正係数は、補間して求める。
1.75	0.98	
1.50	0.96	
1.25	0.93	
1.00	0.87	

4) 基礎実験

(a) 基本調合

基本調合を表3.5.1-3に示す。

調合は、絶対容積調合を基本とし、目標フロー 135 ± 10 とした。調合方法は以下に示す。また、実施調合で満足しない場合は加水調整して供試体の作製を行った。

表3.5.1-3 基本調合

砂原土比 S/C (%)	材料 (g/l)			
	原土 (C)	砂 (S)	水 (W)	スサ (St)
0	1096.1	0.0	449.4	27.4
85	710.1	603.6	394.8	19.3

(b) 各原土の調合

表3.5.1-4および5に、目標フロー値 135 ± 10 、S/C別の各原土の調合を示す。また、目標フロー値が得られない場合は加水調整を行った。

表3.5.1-4 各原土の調合 (S/C0%)

地域	用途	材料 (g)				
		原土 (C)	砂 (S)	水 (W)	スサ (St)	加水量
基準		1096.1	0.0	449.4	27.4	—
徳島県徳島市八万町大坪	荒壁土	1096.1	0.0	449.4	27.4	—
徳島県美馬市脇町馬木	荒壁土	1096.1	0.0	449.4	27.4	—
那須町	中塗り土	1096.1	0.0	449.4	27.4	—
徳島県徳島市八万町大坪	中塗り土	1096.1	0.0	449.4	27.4	—
徳島県美馬市脇町馬木	中塗り土	1096.1	0.0	449.4	27.4	—
琴浦町	原土	1096.1	0.0	0.0	27.4	600g
栃木市室町	原土	1096.1	0.0	449.4	27.4	—

表3.5.1-5 各原土の調合 (S/C85%)

地域	用途	材料 (g)				
		原土 (C)	砂 (S)	水 (W)	スサ (St)	加水量
基準		710.1	621.3	385.0	19.3	—
荒井家	荒壁土	710.1	621.3	385.0	19.3	—
那須町	荒壁土	710.1	621.3	385.0	19.3	50
徳島県徳島市八万町大坪	荒壁土	710.1	621.3	385.0	19.3	—
徳島県美馬市脇町馬木	荒壁土	710.1	621.3	385.0	19.3	—
荒井家	中塗り土	710.1	621.3	385.0	19.3	20
那須町	中塗り土	710.1	621.3	385.0	19.3	—
徳島県徳島市八万町大坪	中塗り土	710.1	621.3	385.0	19.3	—
徳島県美馬市脇町馬木	中塗り土	710.1	621.3	385.0	19.3	—
琴浦町	原土	710.1	621.3	0.0	19.3	700g
倉吉市	原土	6000	0.0	0.0	0.0	500g
栃木市室町	原土	710.1	621.3	385.0	19.3	—

5) 壁土試料の作製

壁土の練混ぜには、公称容量5ℓのオムニミキサを用い、材料はスサ、砂、土および水の順に投入し、表3.5.1-6に従い所定時間練混ぜた。また、加水を行うたびに回転記号6.5で30秒練り混ぜた。

表3.5.1-6 壁土の練混ぜ時間 (オムニミキサを使用)

回転記号	回転数 (r/min)	時間 (秒)
5.5～	330～	15
6.0	380	15
6.5	380	30
6.5	425	60
練混ぜ時間		120

6) 供試体の作製

型枠は、モルタル供試体成形用型三連型枠 (□40×40×160mm) を使用し、練混ぜ後の壁土試料を、三連型枠 (ようかん) に詰める前にセメントペースト練混ぜ用 (手練り用) さじでかき混ぜ、容器に取り出した。

壁土試料は、型枠に二層に分けて詰め、モルタル供試体作製用型の突き棒 (□35×35mm) で各層5回突きを4回繰り返す (20回)、仕上げは上端をならし成形した。

強度試験用供試体は、曲げ、圧縮およびせん断試験用に2個、引張試験用に1個を作製した。原土の量が少ないものに関しては、曲げ、圧縮およびせん断試験用に1個、引張試験用に1個を作製した。

7) 養生方法および脱型

供試体は、自然乾燥とし実験室内で温度、湿度に関わらず気中養生とした。脱型は供試体作製後7日目を目安とした。

(3) 実験結果および考察

1) 粒度分布

図3.5.1-3(a)、(b)、(c)および(d)に粒子径と頻度の関係を示す。粉体とは原土試料で、それ以外は水に溶かした試料について調べている。

粒径頻度分布は、(a)は荒壁および中塗り土でそれぞれ類似し、一部例外はあるものの大略3~100 μm の粒子が多くを占めている。(b)および(c)では、100 μm 以上が多数あり荒壁および中塗りでは差はあるが両者の地域では差異はないことから、同じ性質の土であることが考えられる。(d)は、地域に違いはなく1~75 μm の粒子が多くを占めている。

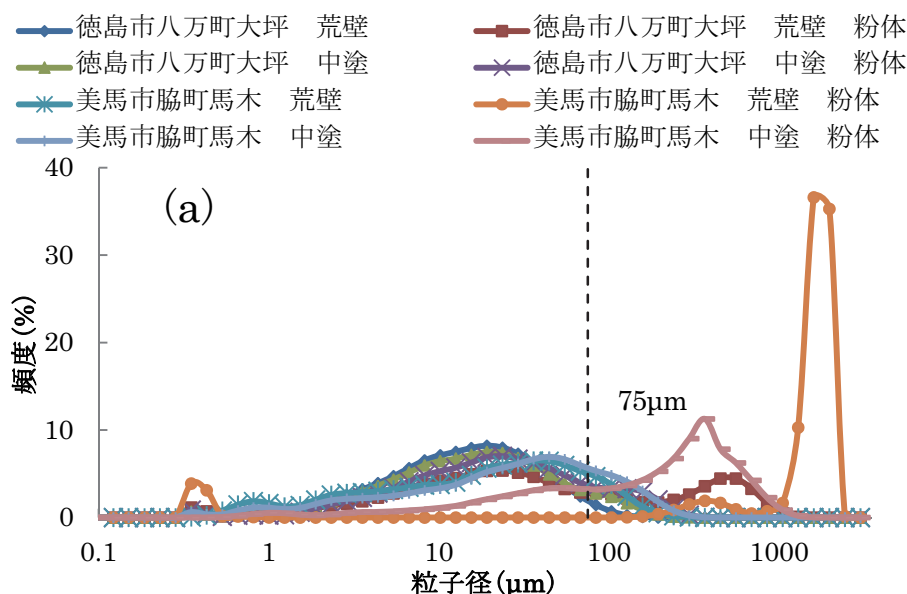
分布形状は、水に溶かした試料の荒壁土および中塗り土で類似するのに対し、原土の粉体では異なる。水に溶かした試料は緩やかな山形をしているものが多いのに対し、粉体は1000 μm 以上で急激に増加する傾向が多くみられる。

図3.5.1-4(a)、(b)、(c)および(d)に粒子径と積算の関係を示す。

粒径加積曲線は(a)より、傾きに一部例外もあるが徳島市および美馬市で同様な傾向が見られ、75 μm 以下の粒子が大半を占めている。しかし、粉体は僅かに異なり前者が緩やかなのに対し、後方で75 μm 以上が多く含まれている。(b)および(c)は、中塗り以外粗粒子が多い。また、分布形状が両者とも酷似している。(d)は、75 μm 以下で100%を占める微粒な土であることが確認できる。

分布形状は、荒壁土および中塗り土でほとんどの試料は75 μm の線より小さいのに対し、粉体では75 μm より大きい値を得る傾向が見られる。また、試験済みの粉体試料の荒井家および那須町と倉吉市および琴浦町は、別途試料として送付されたが加積曲線からは同じ土と見なして差し支えない。

レーザー回折式粒度分布測定装置においては、粉体よりも液体の方が測定しやすいが、いずれも試料採取に注意が必要である。



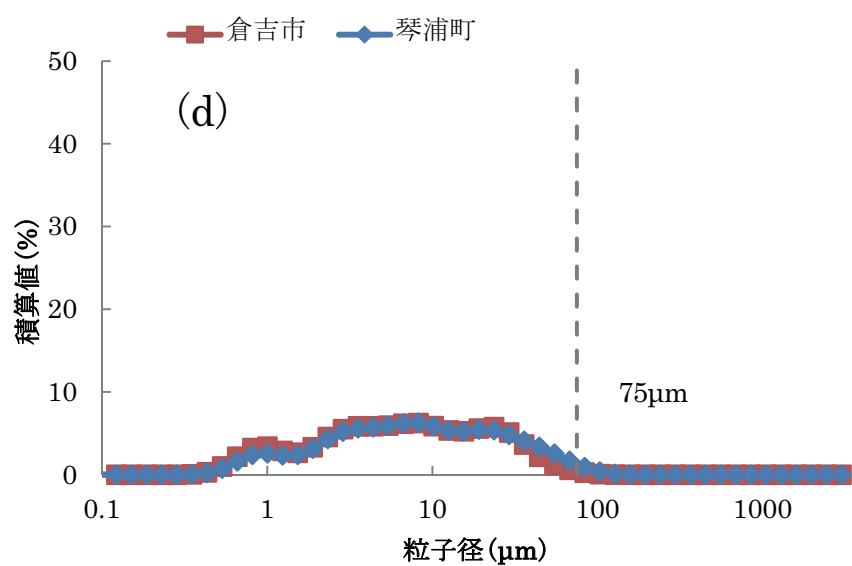
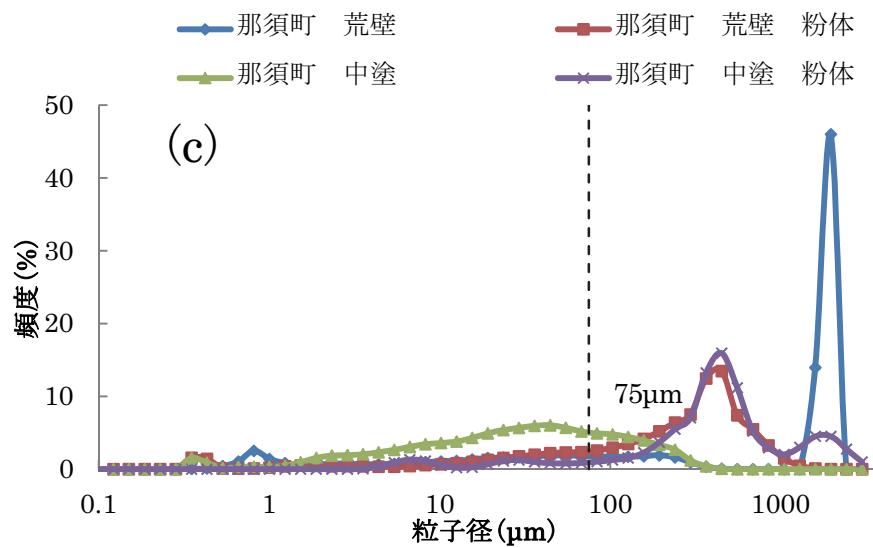
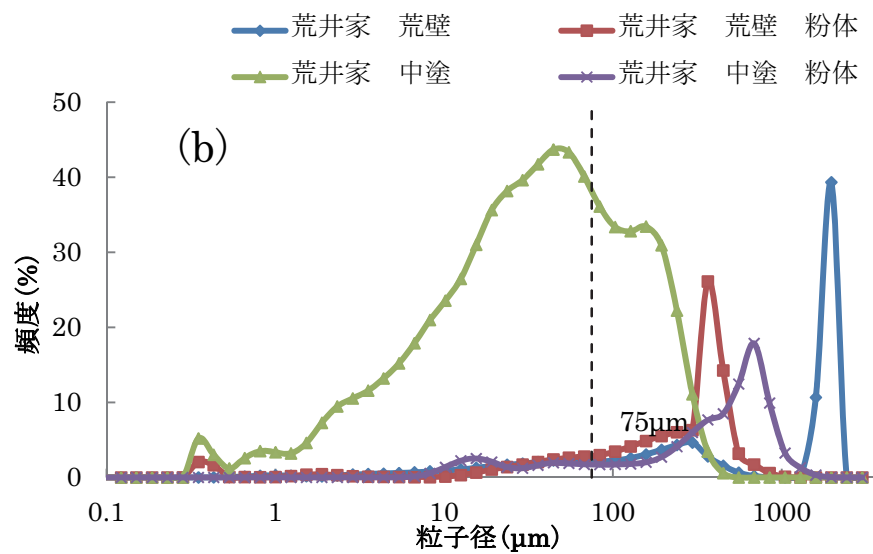
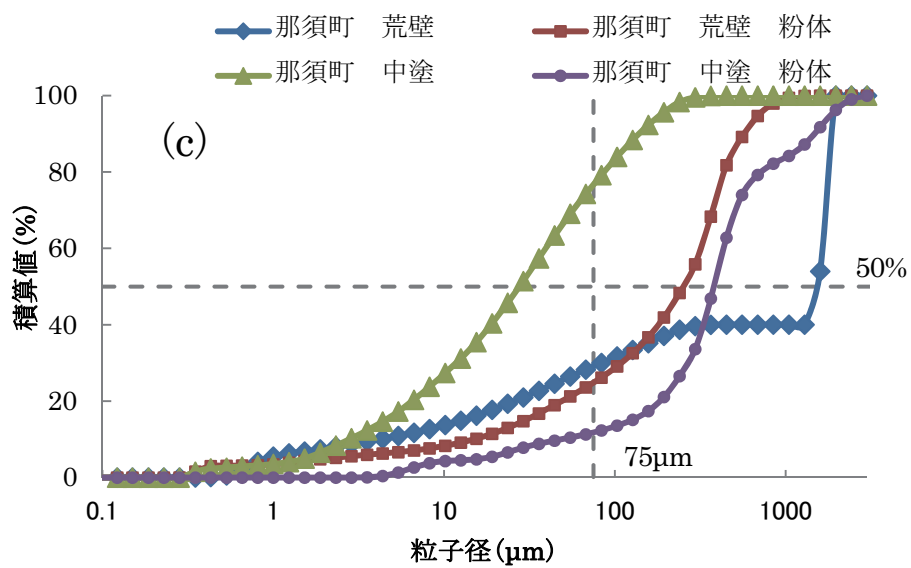
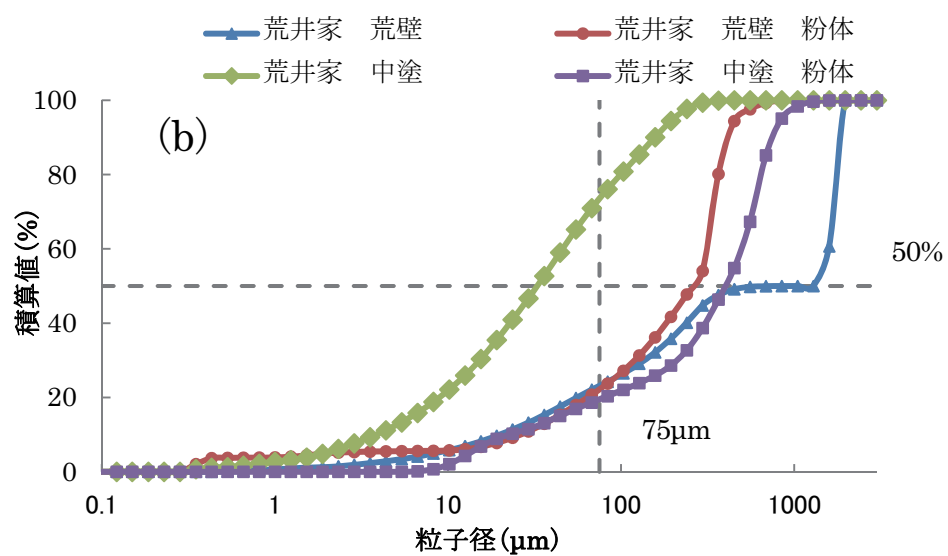
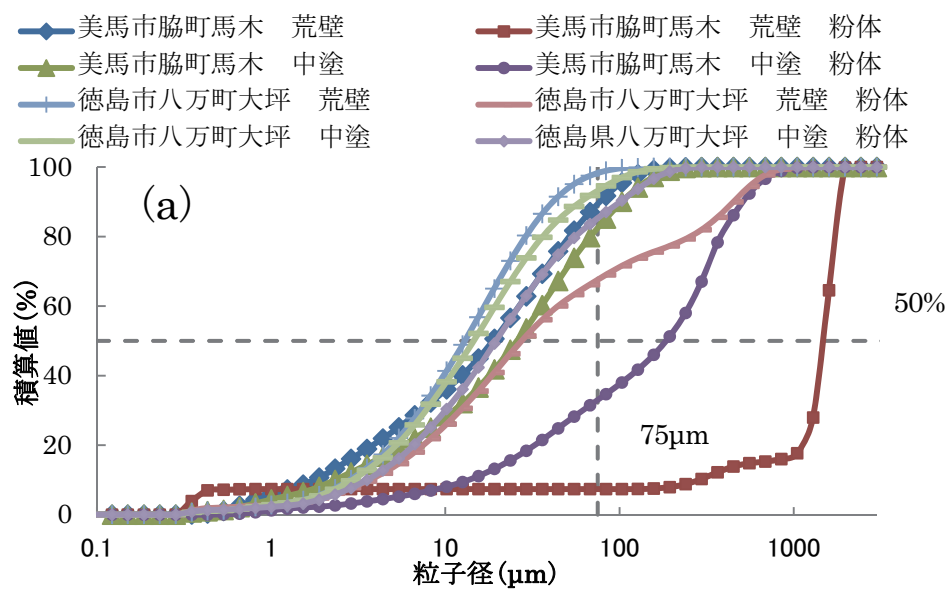


図3.5.1-3 原土別の粒度分布 (SALD)



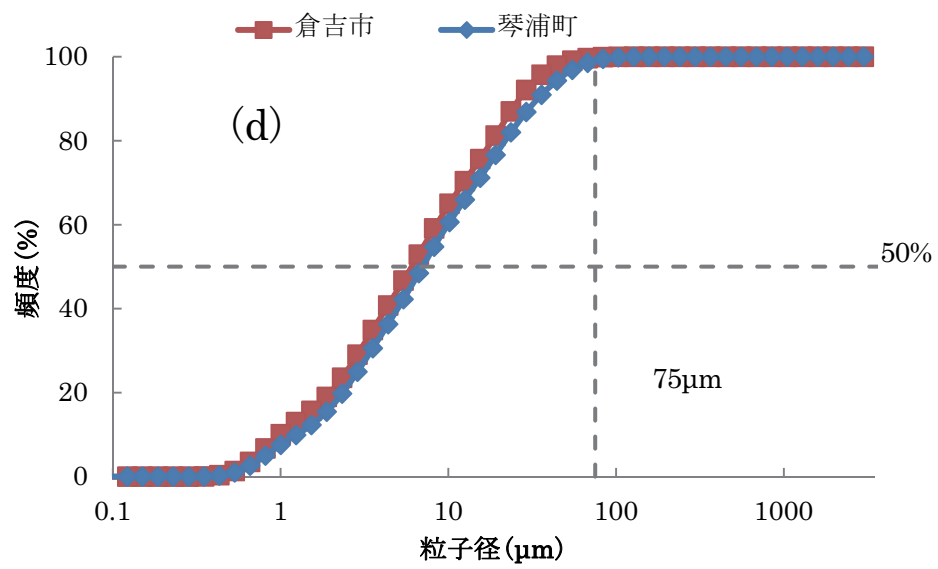


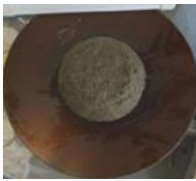
図3.5.1-4 原土別の加積曲線 (SALD)

2) フロー

図3.5.1-5および図3.5.1-6に、フローおよびフロー値を示す。

荒壁土および中塗り土は地域によって様々な色をしているが、茶色を帯びた原土が多くS/Cについてみると、85%よりも0%で壁土が流動性に富む試料が多く認められる。また、壁土は、徳島Aより徳島Bの方がフローテーブル上で広がらないことが確認でき、同じ県内でも使用している土でフロー値に差が出るのが明らかである。したがって、徳島AおよびBを壁土に使用する際は、水を少なく調合する必要があると言える。

試料は、粉状で送られてきた場合、目標フロー値 135 ± 10 の基本調合で水を加えなかったが、試験済みの試料は加水した。加水を必要としたのは、混入しているスサ等が水を吸ったことも一因と考える。

使用原土	S/C=0%	S/C=85%
徳島A 荒壁土		
徳島A 中塗り土		
徳島B 荒壁土		
徳島B 中塗り土		
荒井家 荒壁土	—	
荒井家 中塗り土	—	

那須町 荒壁土	—	
那須町 中塗り土		
琴浦町		
倉吉市		

図3. 5. 1-5 フロー

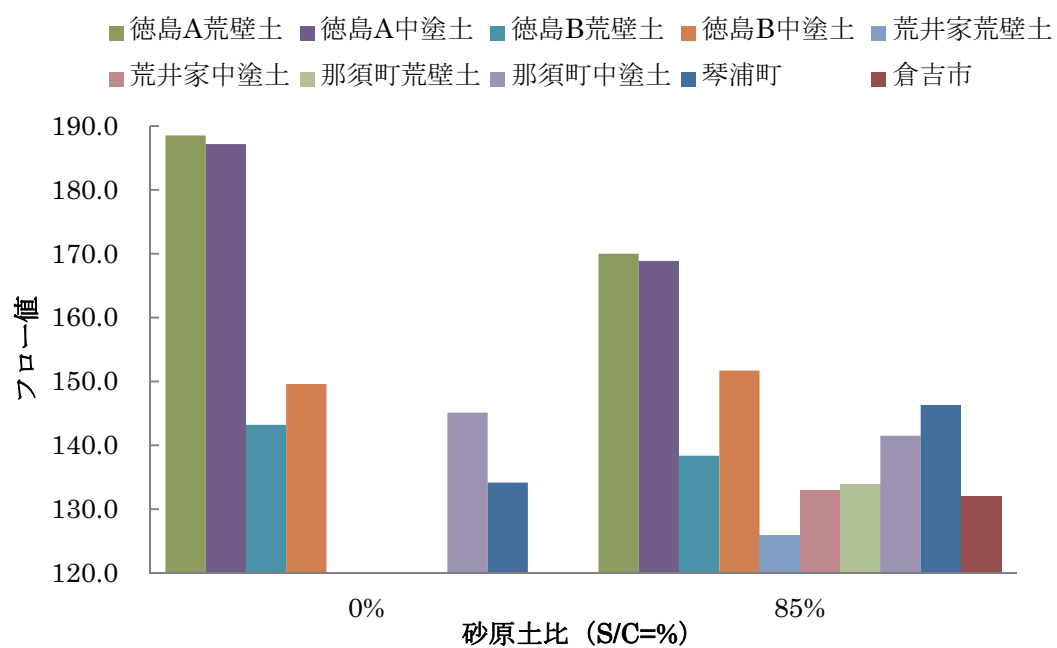


図3. 5. 1-6 フロー値

注) 徳島A:徳島市八万町大坪、徳島B:美馬市脇町馬木

3) 質量変化

(a) 徳島県産原土の比較

図3.5.1-7に質量変化を示す。

質量変化は、徳島の地域に関係なくS/Cで異なり、0%で14日、85%は7日前後でほぼ一定した後、緩慢に低下する。また、質量変化が安定するまでに約1週間の差があるのは、10月の不安定な天候が関係していると考ええる。その値は、前者で18~20%、後者は12~17%を与え、後者が小さくなる。

以上のように、質量変化はS/C0および85%で異なり、それぞれ大略14および7日前後でほぼ一定した後、緩慢に低下する。また、質量変化率はS/C0%で大略18~20%、85%は12~17%となり、後者が小さくなる。

徳島県産における、質量変化はS/Cによる違いは認められない。

(b) 荒井家および那須町

図3.5.1-8に質量変化を示す。

質量変化は、地域に関係なくS/Cで異なり、0%で7日、85%は5日前後でほぼ一定した後、緩慢に低下する。その値は、前者で18%、後者の場合12~15%を与え、後者が小さくなる。

以上のことから、質量変化はS/C0および85%で異なり、それぞれ大略7および5日前後でほぼ一定した後、緩慢に低下する。また、質量変化率はS/C0%で大略18%、85%は12~15%を与え、後者が小さくなる。

(c) 琴浦および倉吉

図3.5.1-9に質量変化を示す。

質量変化は、地域に関係なくS/Cで異なり、0%で7日、85%は5日前後でほぼ一定した後、緩慢に低下する。その値は、前者で23%、後者の場合18%程度を与え、後者が小さくなる。

以上のことから、質量変化はS/C0および85%で異なり、それぞれ大略7および5日前後でほぼ一定した後、緩慢に低下する。また、質量変化率はS/C0%で大略23%、85%は18%を与え、後者が小さくなる。

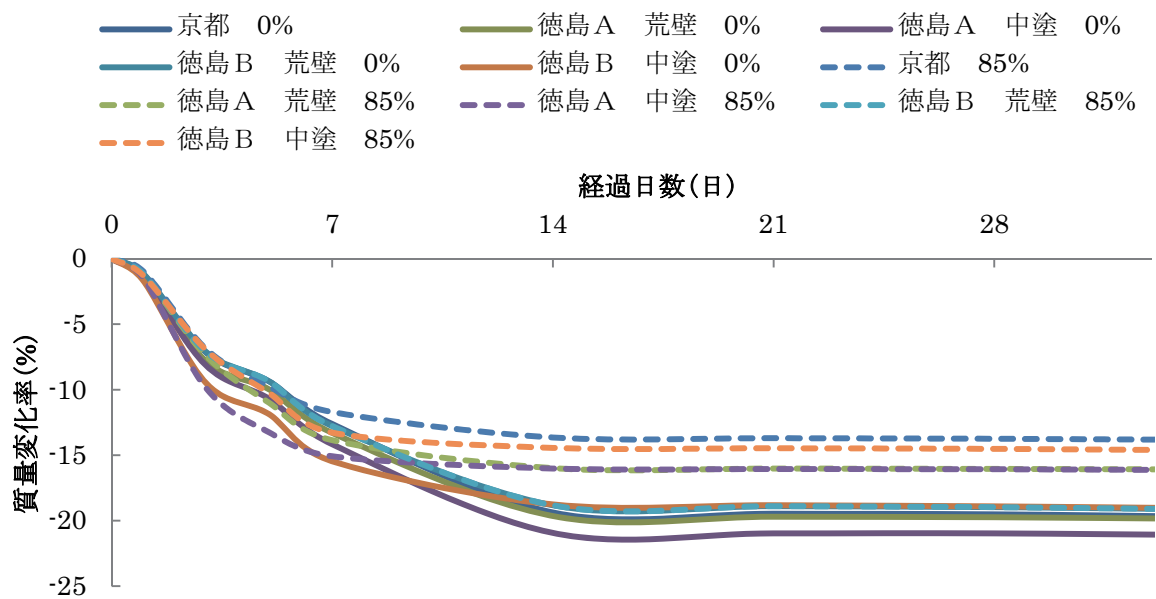


図3. 5. 1-7 経過日数と質量変化の関係（徳島）

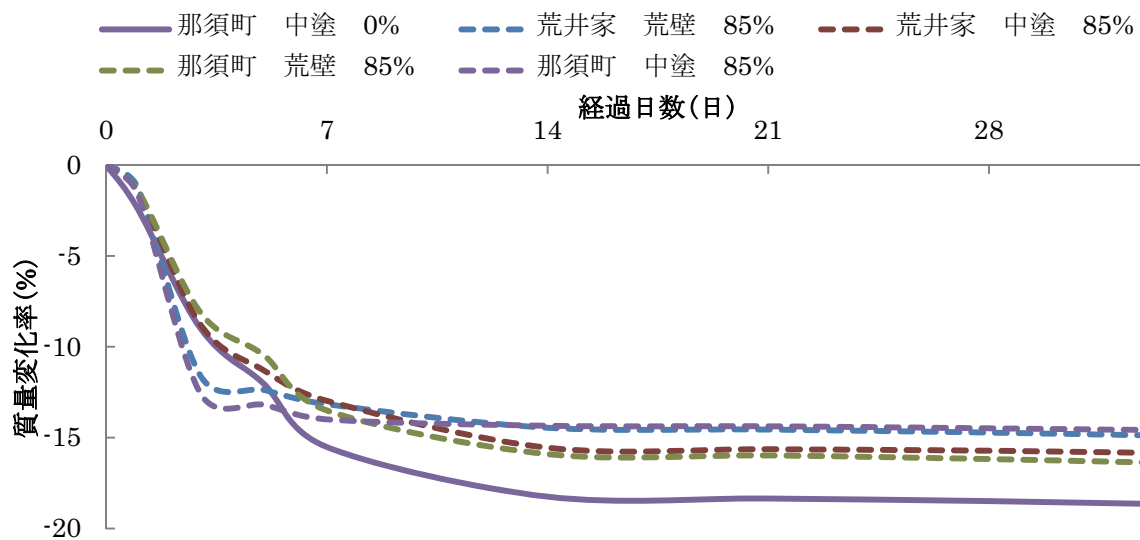


図3. 5. 1-8 経過日数と質量変化の関係（荒井家および那須町）

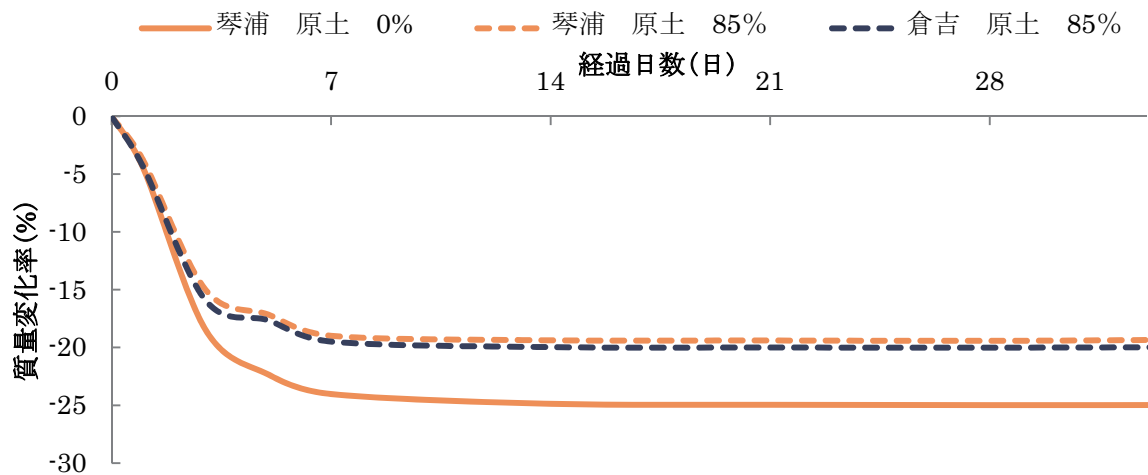


図3. 5. 1-9 経過日数と質量変化の関係（琴浦および倉吉）

4) 曲げ、圧縮、せん断および引張強さ

(a) 圧縮強さ (φ20×40円柱供試体)

図3.5.1-10に圧縮応力とひずみの関係を示す。徳島A (徳島市八万町大坪)、徳島B (美馬市脇町馬木) を表している。

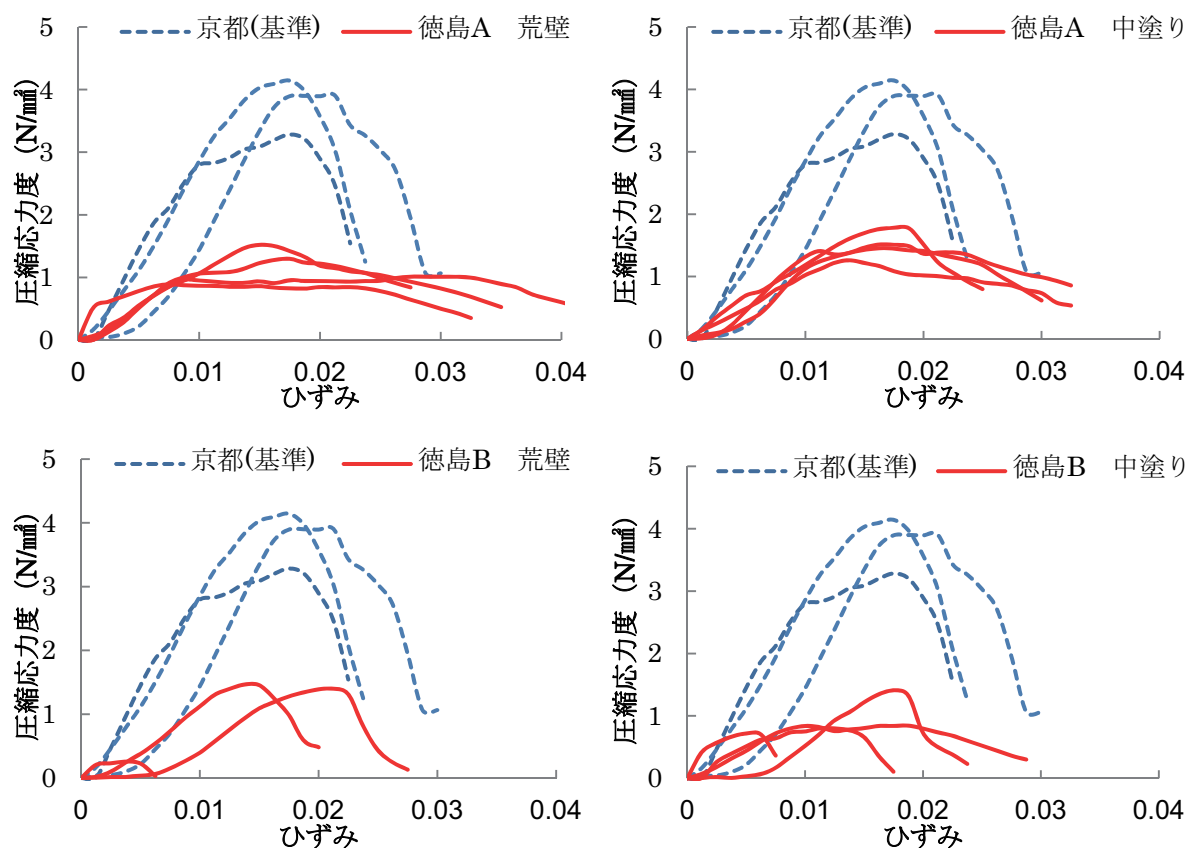
参考までに、圧縮強さは平成22年度の京都 (基準) で 1.7N/mm^2 であるのに対し、今年度は 3.7N/mm^2 を与え、大略2倍となることから、試料の購入年度によるばらつきがある。したがって、他地域の原土は極めて低い値になることを明らかにしている。

圧縮応力ひずみ曲線は、使用用途に関わらず地域によって異なる。徳島Aおよび徳島Bの場合、ひずみ0.02および0.01前後で最大応力に達し、その後は緩慢に低下する。低下後を比べると、前者の方が後者より粘りがあることが確認できる。荒井家および那須町は、両者ともひずみ0.01程度で最大応力に達し、その後は緩慢に低下するが後者の方が横ばいであるが、傾向は似ており同じ土であることが推察できる。琴浦および倉吉はひずみ0.015程度で最大応力に達し、その後低下割合は大きくなる。また、荷重初期の立ち上がりは、京都 (基準) と比べ緩やかである。

圧縮強さは、一部例外もあるが使用用途に関係なく地域で異なる。徳島A、徳島B、荒井家、那須町、琴浦および倉吉は、1.5、1.3、0.8、0.5、1.3および 1.8N/mm^2 を与える。また、京都 (基準) を1とすると、徳島A、徳島B、荒井家、那須町、琴浦および倉吉で0.4、0.3、0.2、0.1、0.3および0.5倍となる。

以上のことから、圧縮応力ひずみ曲線は使用用途に関係なく地域によって異なる。徳島A、徳島B、荒井家、那須町、琴浦および倉吉は、ひずみ0.02、0.01、0.01、0.01および0.015程度で最大応力度1.5、1.3、0.8、0.5、1.3および 1.8N/mm^2 に達し、その後は緩慢に低下する。また、圧縮強さは京都 (基準) を1とすると、0.4、0.3、0.2、0.1、0.3および0.5倍となる。

このことから、地域による差は確認できるが使用用途による違いは認められない。



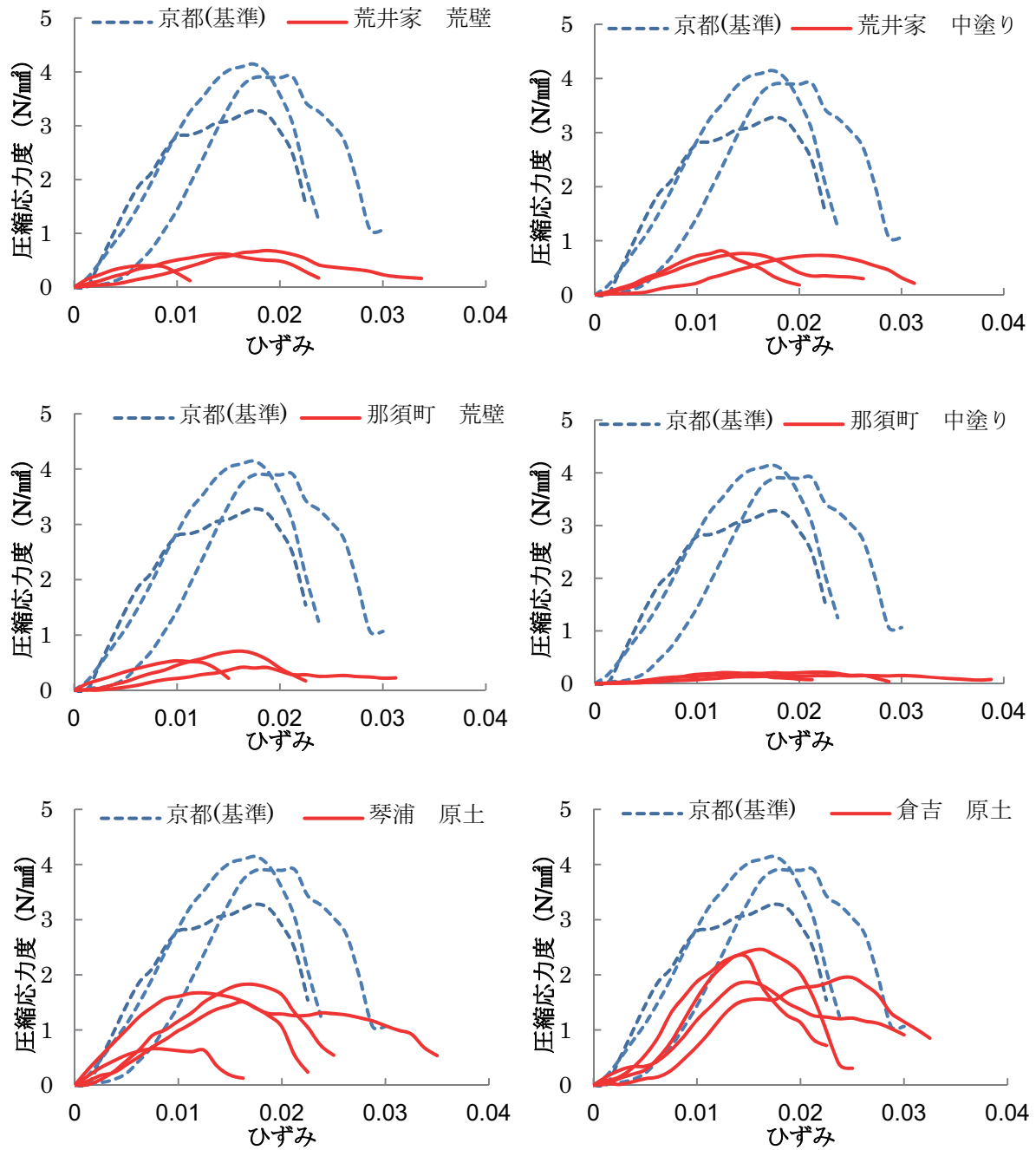


図3. 5. 1-10 圧縮応力とひずみの関係

(b) 曲げ強さ

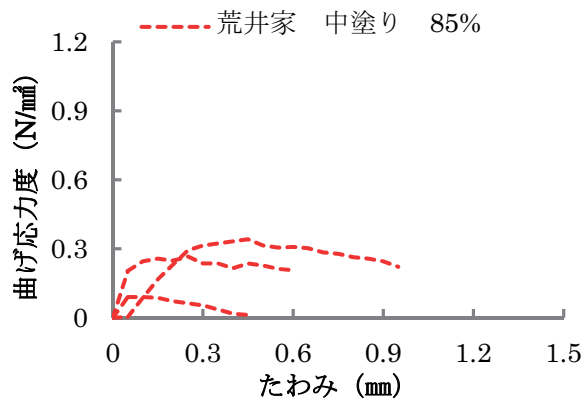
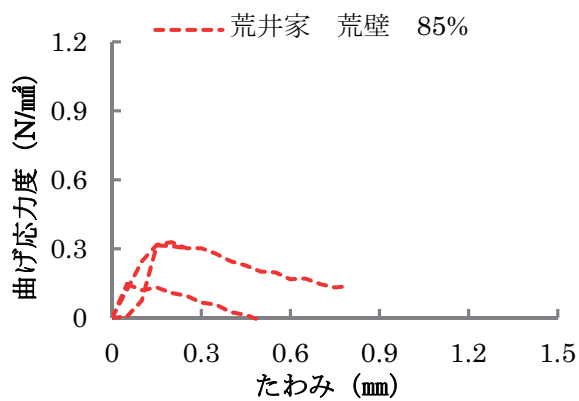
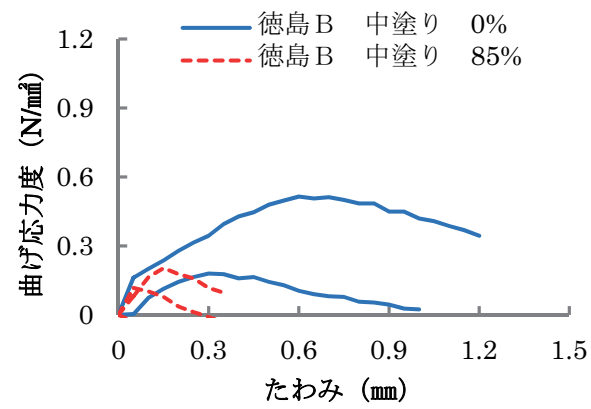
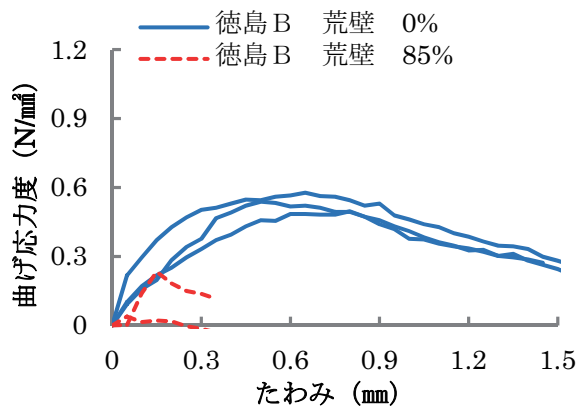
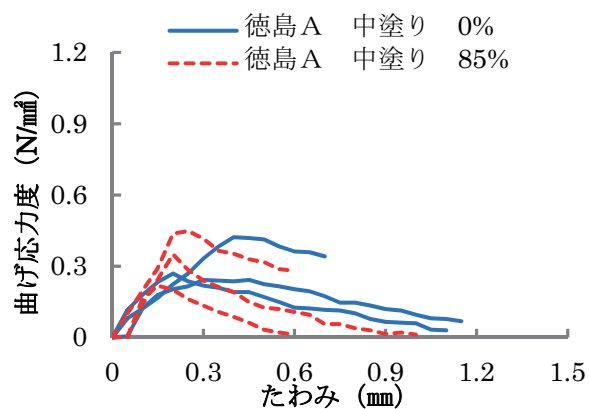
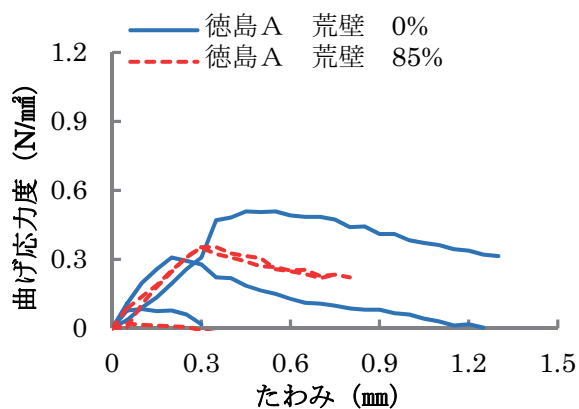
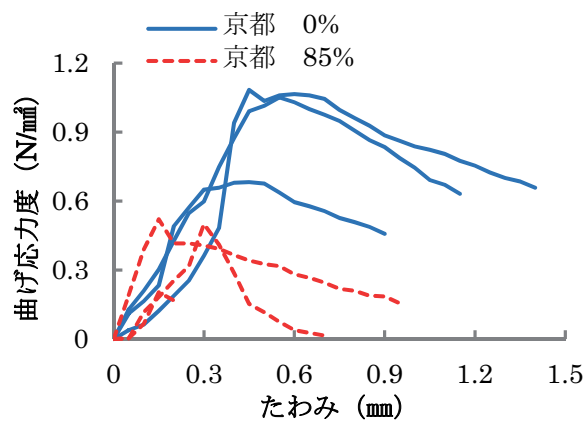
図3.5.1-11に曲げ応力とたわみの関係、表3.5.1-7に曲げ強さを示す。荒井家荒壁、那須町荒壁および倉吉は土の量が不足していたため、0%を作製していない。また、琴浦および那須町は使用用途がなく原土である。

曲げ応力たわみ曲線は、S/Cによって傾向は異なるが地域による差は見られない。徳島A、B荒壁および中塗りは、0%でたわみ0.5mm程度、85%は0.2前後で最大応力に達し、その後は前者で緩慢に、後者は急激に低下する。荒井家および那須町は、S/Cに関係なく同じ傾向を示し、たわみ0.3mm前後で最大応力達し、その後ゆっくりと低下する。琴浦および倉吉は、たわみ0.5mm程度で最大応力に達し、その後前者は急激に、後者は緩慢に減少する。荷重初期の立ち上がりは、一部例外もあるが地域および使用用途に関わらずS/C0<85%となる。

曲げ強さは、徳島Aおよび徳島Bで使用用途に関わらずS/Cによって異なり、0%は0.2~0.5、85%で0.1~0.3N/mm²を与え、前者は後者の大略2倍大きくなる。同様に、荒井家の場合0.3N/mm²程度、那須町はS/Cで異なり、0%で0.2N/mm²、85%は0.05N/mm²前後を得る。琴浦および倉吉は、0%で0.3N/mm²、85%の場合0.08および0.3N/mm²を与える。京都（基準）を1としたとき、荒壁の徳島A、徳島B、荒井家および那須町でS/C0%は大略0.4および0.6倍、85%の場合0.5、0.3、0.8および0.1倍となる。同様に、中塗りの場合0%で0.3、0.2および0.2倍、85%は0.8、0.2、0.5および0.1倍を与える。原土の琴浦および倉吉は、0%で0.3倍、85%の場合0.2および0.7倍を得る。

以上のことから、曲げ応力たわみ曲線は、S/Cによって傾向は異なるが地域による差は見られない。曲げ強さは京都（基準）を1としたとき、荒壁の徳島A、徳島B、荒井家および那須町で0%は大略0.4および0.6倍、85%の場合0.5、0.3、0.8および0.1倍となり、原土の琴浦および倉吉は、0%で0.3倍、85%の場合0.2および0.7倍を得る。

したがって、曲げ強さは一部例外もあるが、使用用途によって異なることは無いと言える。



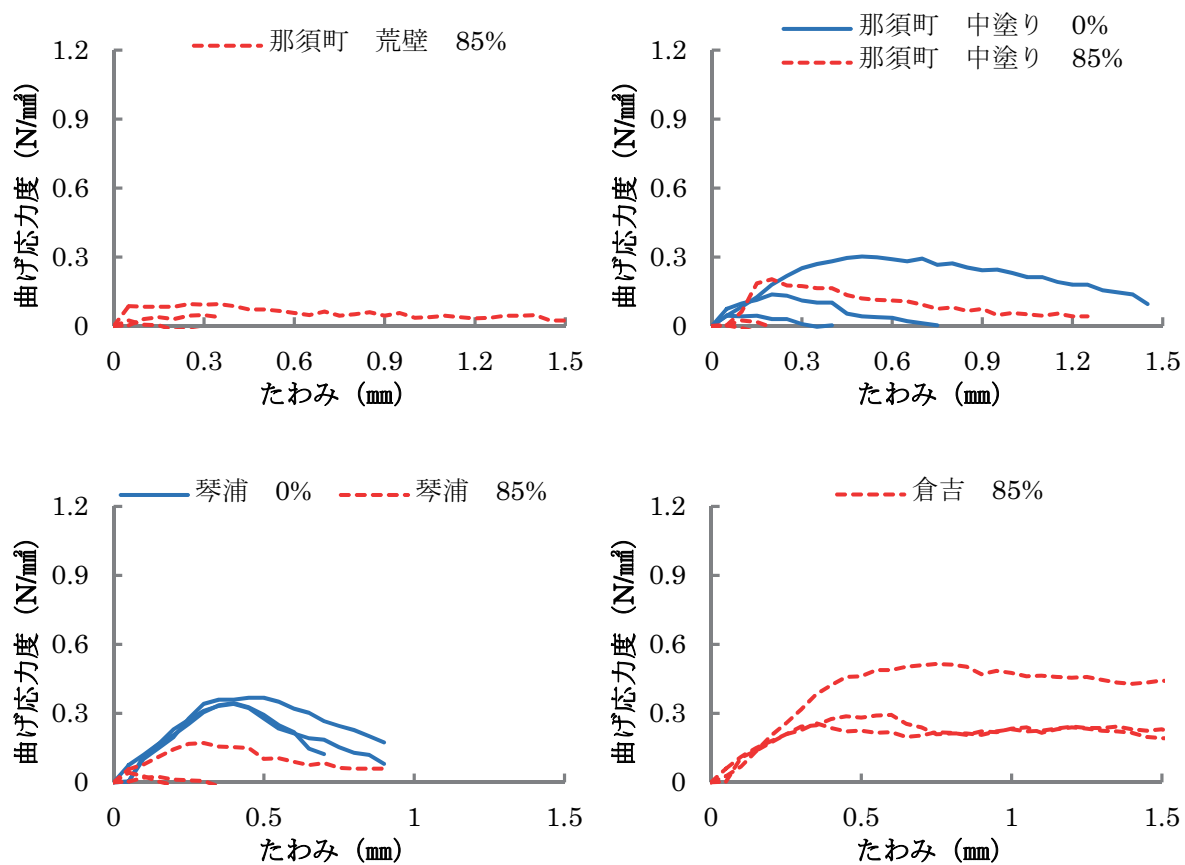


図3. 5. 1-11 曲げ応力とたわみの関係

表3. 5. 1-7 曲げ強さ

	S/C	
	0%	85%
京都(基準)	0.94	0.41
徳島A荒壁土	0.41	0.19
中塗り土	0.31	0.34
徳島B 荒壁土	0.56	0.14
中塗り土	0.23	0.11
荒井家 荒壁	—	0.32
中塗り	—	0.23
那須町 荒壁	—	0.06
中塗り	0.16	0.08
琴浦 原土	0.35	0.08
倉吉 原土	—	0.38

注) 値はN/mm²である。

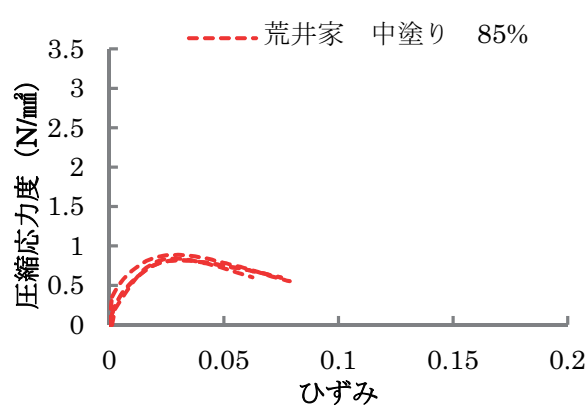
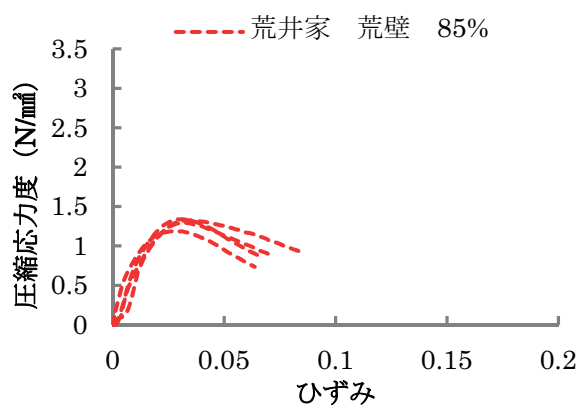
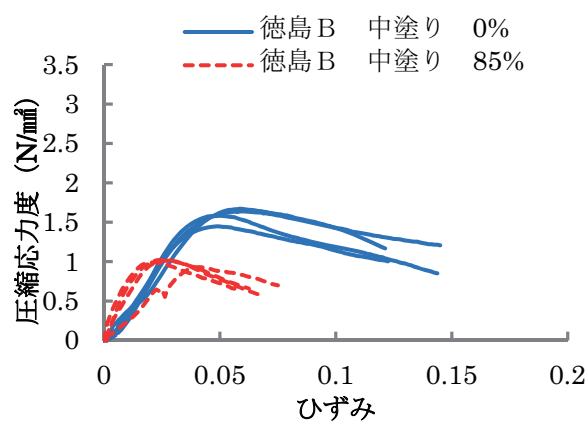
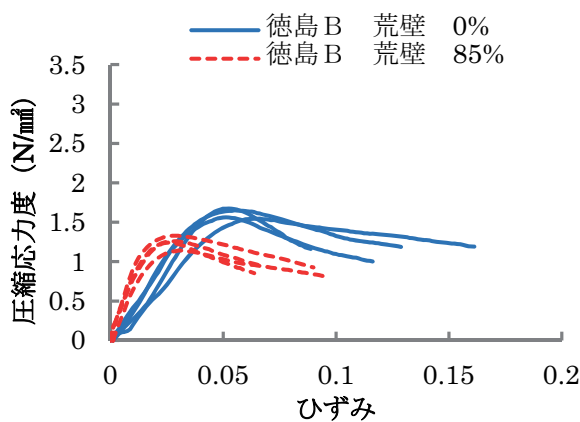
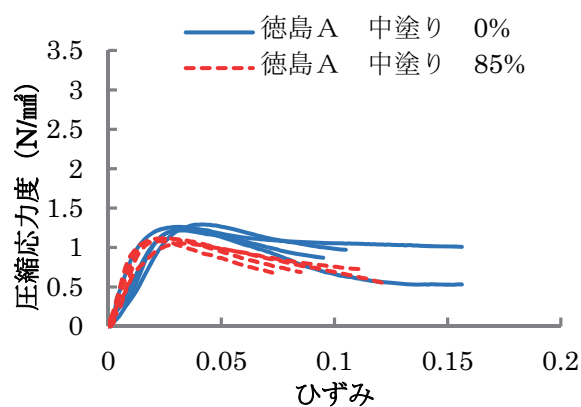
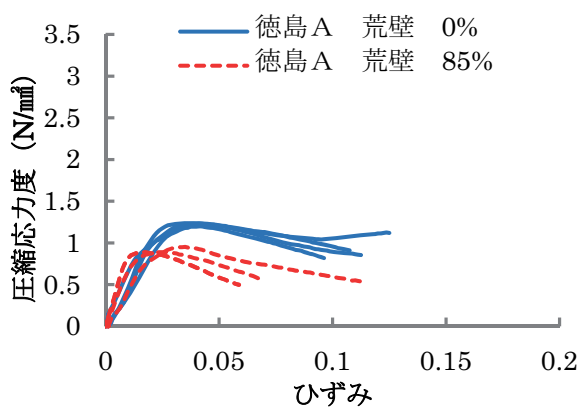
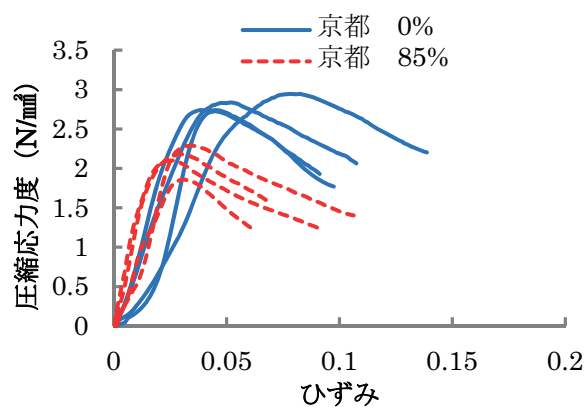
(c) 圧縮強さ (40×40×160)

図3.5.1-12に圧縮応力とひずみの関係、表3.5.1-8に圧縮強さを示す。荒井家荒壁、那須町荒壁および倉吉は土の量が不足していたため、0%を作製していない。また、琴浦および那須町は使用用途がなく原土である。

圧縮応力ひずみ曲線は、地域および使用用途に関わらずS/Cで異なる。徳島Aおよび徳島Bは、0%でひずみ0.03および0.05前後に最大応力1.3～1.5N/mm²に達し、その後は緩慢に低下する。85%の場合、両者ともひずみ0.02程度で最大応力1.0～1.2N/mm²を得た後、前者より低下割合は大きくなる。荒井家および那須町は、ひずみ0.03前後で最大応力に達し、その後はゆっくりと低下する。琴浦および倉吉の場合、S/Cに関わらずひずみ0.07程度で最大応力に達した後、徐々に低下する。

圧縮強さは、徳島産の場合使用用途に関わらずS/Cで異なる。徳島Aおよび徳島Bは、S/C0%で1.2および1.6N/mm²、85%は1.0および1.1N/mm²前後を与え後者の方が小さく、徳島Aと徳島Bでは差異が認められない。荒井家および那須町は使用用途によって違いが確認できる。S/C85%の荒井家および那須町は、荒壁で1.3および1.0N/mm²、中塗りの場合0.8および0.5N/mm²を与え、前者が後者より1.6倍程度大きくなる。琴浦および那須町の場合、S/C0%は1.8N/mm²、85%で0.8および1.5N/mm²を得る。京都（基準）の強さを1としたとき、安全側に見ると荒壁の徳島A、徳島B、荒井家および那須町で、S/C0%は大略0.4および0.5倍、85%の場合0.5、0.3、0.8および0.1倍となる。同様に、中塗りの場合0%で0.4、0.5および0.3倍、85%は0.5、0.4、0.3および0.2倍を与える。原土の琴浦および倉吉は、0%の場合0.6倍、85%で0.4および0.7倍を得る。

以上のことから、圧縮応力ひずみ曲線は地域および使用用途に関わらずS/Cで異なる。徳島Aおよび徳島Bは、0%で最大応力後は緩慢に低下するが、85%の場合低下割合は大きくなる。圧縮強さは、徳島産の場合使用用途に関わらずS/Cで異なるが、荒井家および那須町は使用用途によって違いが確認できる。また、京都（基準）の強さを1としたとき、安全側に見ると荒壁の徳島A、徳島B、荒井家および那須町で、0%は大略0.4、0.6および0.2倍、85%の場合0.5、0.3、0.8および0.1倍となる。同様に、中塗りの場合0%で0.4、0.5および0.3倍、85%は0.5、0.4、0.3および0.2倍を与える。



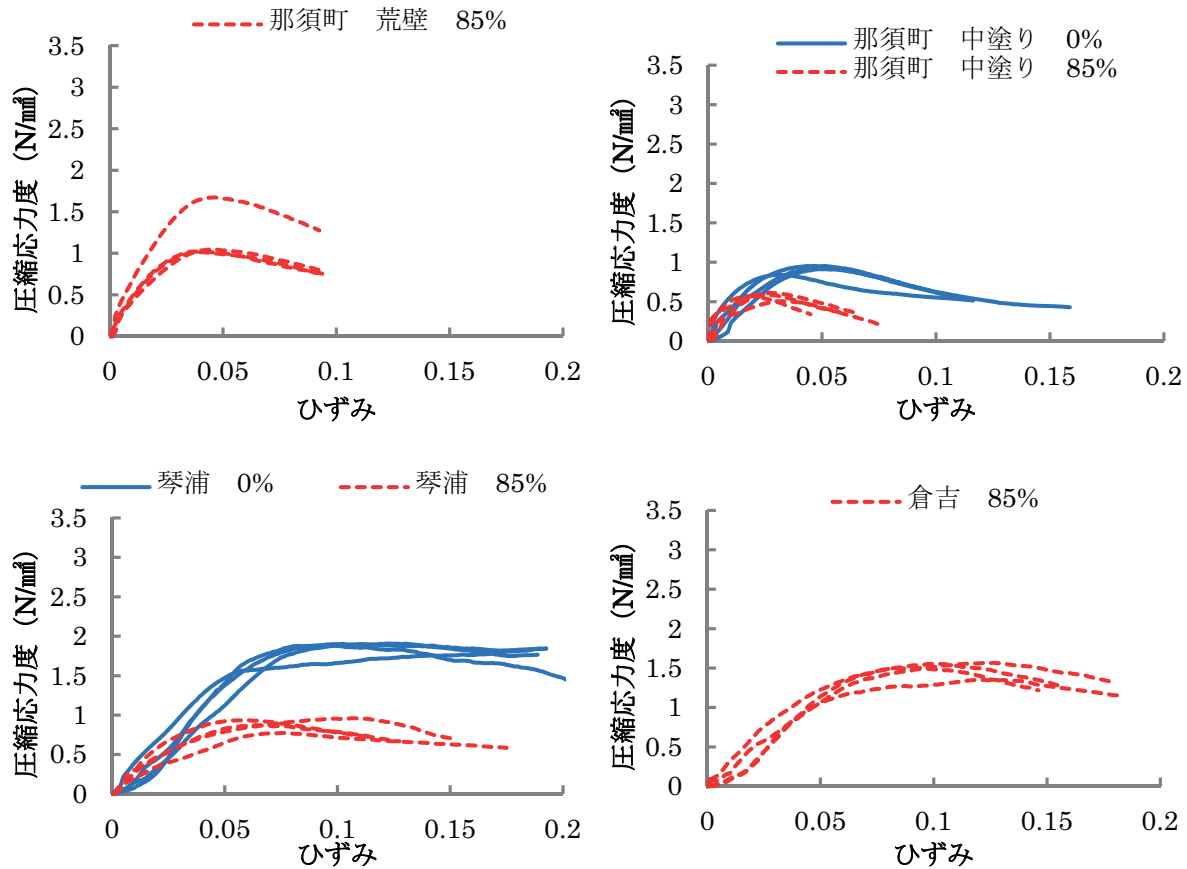


図3. 5. 1-12 圧縮応力とひずみの関係

表3. 5. 1-8 圧縮強さ

	S/C	
	0%	85%
京都(基準)	2.81	2.11
徳島A荒壁土	1.22	0.90
中塗り土	1.25	1.10
徳島B 荒壁土	1.61	1.24
中塗り土	1.59	0.99
荒井家 荒壁	—	1.30
中塗り	—	0.84
那須町 荒壁	—	1.04
中塗り	0.91	0.57
琴浦 原土	1.88	0.88
倉吉 原土	—	1.49

注) 値はN/mm²である。

(d) せん断強さ

図3.5.1-13にせん断応力とひずみの関係、表3.5.1-9にせん断強さを示す。徳島B、荒壁および那須町は原土が不足したことから、作製していない。

せん断応力ひずみ曲線は、使用用途に関係なくS/Cによって異なる。徳島Aは、S/C0%でひずみ2.5前後、85%の場合ひずみ1.0程度で最大応力に達し、その後は両者とも緩慢に低下する。詳細にみると、最大応力からの低下割合は前者より後の方が大きくなる。琴浦および倉吉は、S/Cで傾向が異なり、0%でひずみ3.0、85%の場合2.0程度で最大応力を与えた後、徐々に低下する。

せん断強さは、使用用途に関わらずS/C0%が85%より大きくなる。その値は、前者の荒壁および中塗りで0.43および0.51N/mm²、後者は0.41および0.42N/mm²となる。また、強さは荒壁より中塗りの方が強くなる。同様に、原土の琴浦および倉吉の場合、S/C0%で0.57N/mm²、85%は0.33および0.45N/mm²を得る。京都（基準）の強さを1としたとき、荒壁および中塗りでS/C0%は0.4および0.5倍、85%の場合0.5および0.6倍を得る。原土の場合、0%で0.6倍、85%は0.4および0.6倍となる。

以上のことから、せん断応力ひずみ曲線は、使用用途に関係なくS/Cによって異なる。せん断強さは、S/Cで見ると0%>85%、使用用途で見ると荒壁<中塗りとなる。、荒壁および中塗りでS/C0%は0.4および0.5倍、85%の場合0.5および0.6倍を得る。原土の場合、0%で0.6倍、85%は0.4および0.6倍となり、使用用途および地域では差がみられない。

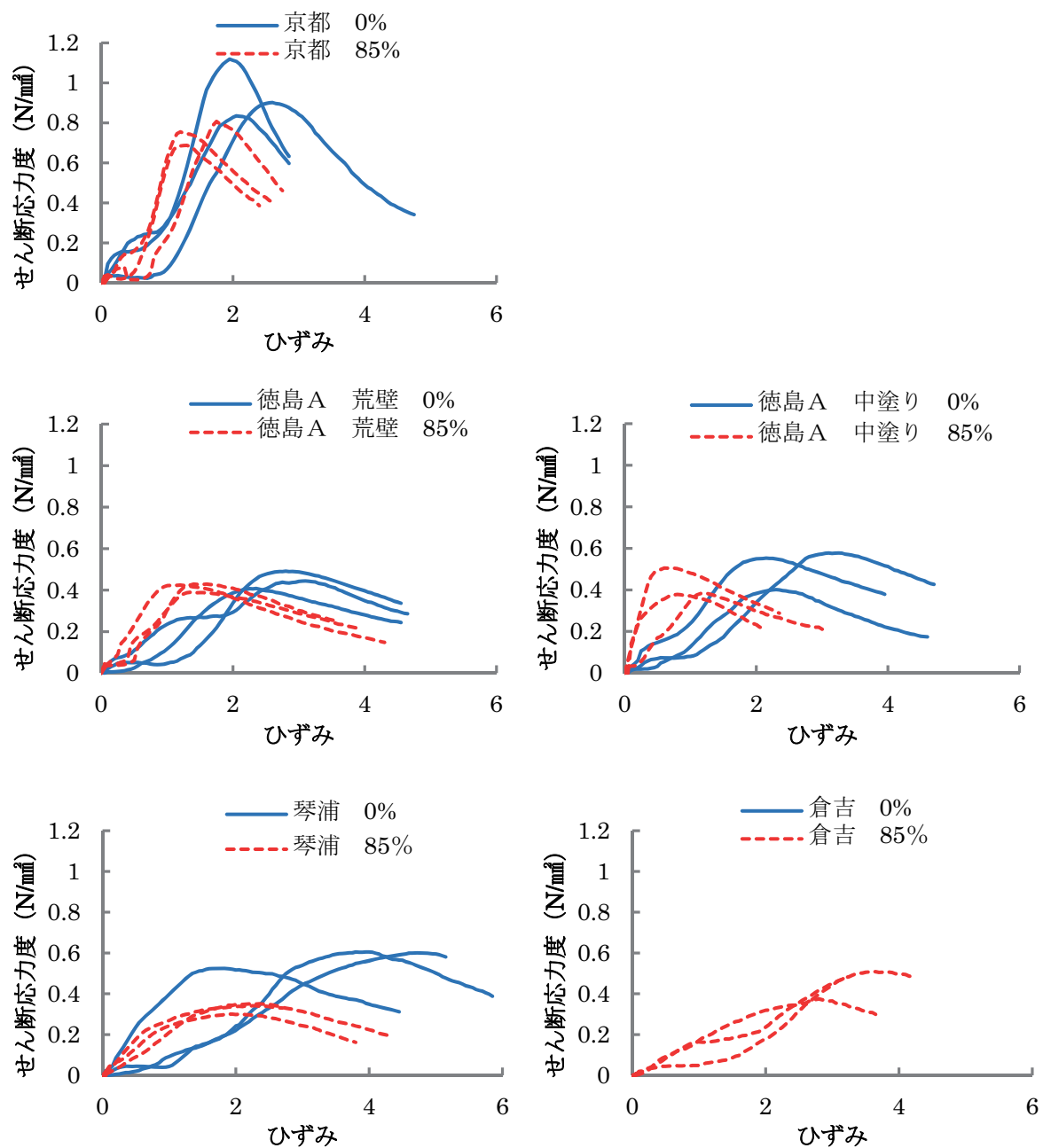


図3. 5. 1-13 せん断応力とひずみの関係

表3. 5. 1-9 せん断強さ

	S/C	
	0%	85%
京都(基準)	0.95	0.75
徳島A荒壁土	0.43	0.41
中塗り土	0.51	0.42
琴浦 原土	0.57	0.33
倉吉 原土	—	0.45

注) 値はN/mm²である。

(e) 引張強さ

図3.5.1-14に引張応力とひずみの関係、表3.5.1-10に引張強さを示す。

引張応力ひずみ曲線は、使用用途に関係なく地域とS/Cで異なる。徳島Aは0%でひずみ0.2前後、85%の場合0.1程度で両者とも最大応力 0.2N/mm^2 に達し、その後破断する。徳島Bは前者でひずみ0.1、後者の場合0.2程度に最大応力 0.1 および 0.2N/mm^2 を与えた後、切断される。荷重初期の立ち上がりは、S/C0%より85%の方が急である。

引張強さは、使用用途に関わらずS/Cで異なる。徳島Aの荒壁および中塗りは、S/C0%で 0.25 および 0.2N/mm^2 、85%の場合 0.2 および 0.17N/mm^2 を得る。同様に徳島B中塗りは、0%で 0.1N/mm^2 、85%は 0.2N/mm^2 を与え、徳島Aで $0\% > 85\%$ 、徳島Bは $0\% < 85\%$ となり地域による違いが見られる。原土の琴浦および倉吉の場合、S/C0%で 0.2N/mm^2 、85%は両者とも 0.1N/mm^2 を得る。京都（基準）の強さを1としたとき、徳島A、徳島B、琴浦および倉吉の0%は 0.4 、 0.3 、 0.2 および 0.3 倍、85%で 0.4 、 0.3 、 0.3 、 0.2 および 0.2 倍であることから、基準の半分も強さを与えないことが確認できる。

以上のことから、引張応力ひずみ曲線は、使用用途に関係なく地域とS/Cで異なるり、荷重初期の立ち上がりは、S/C0%より85%の方が急である。引張強さは、地域および使用用途に関わらずS/Cで異なる。京都（基準）の強さを1としたとき、徳島A、徳島B、琴浦および倉吉の0%は 0.4 、 0.3 、 0.2 および 0.3 倍、85%で 0.4 、 0.3 、 0.3 、 0.2 および 0.2 倍であることから、強さは期待できない。

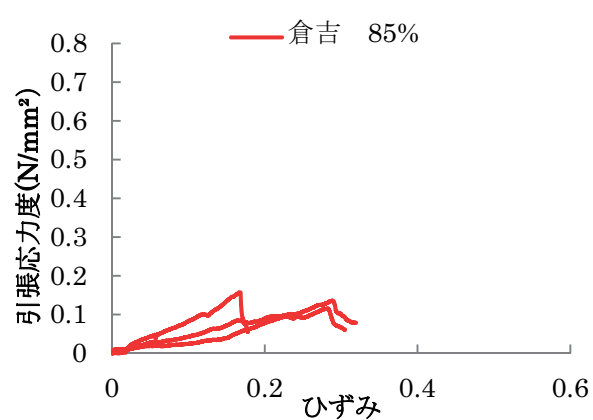
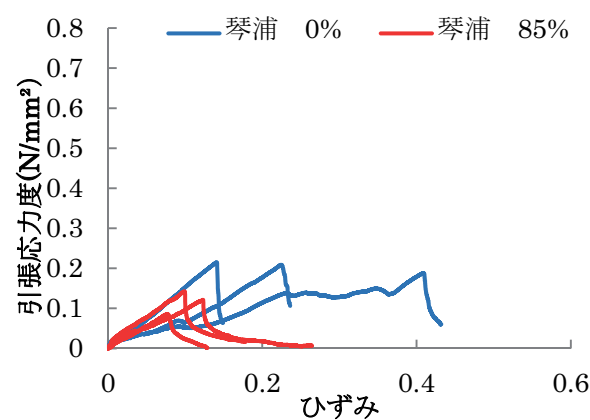
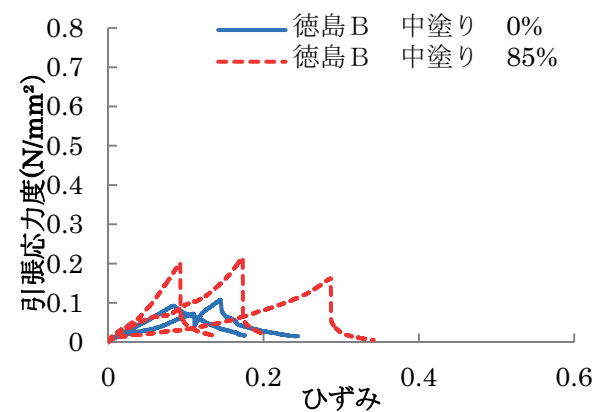
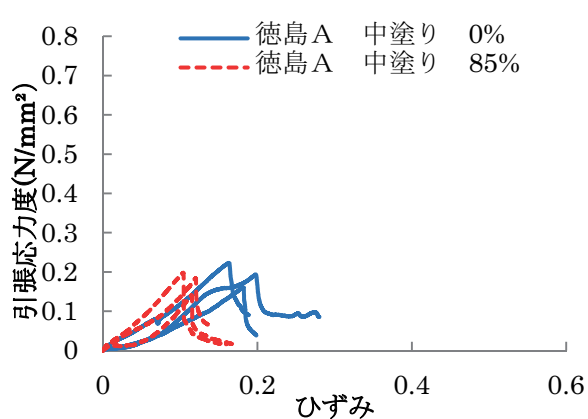
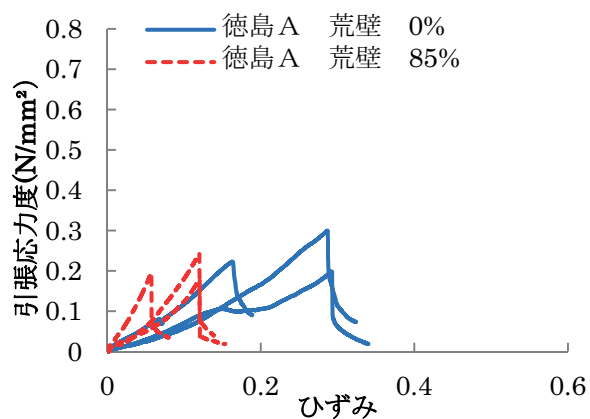
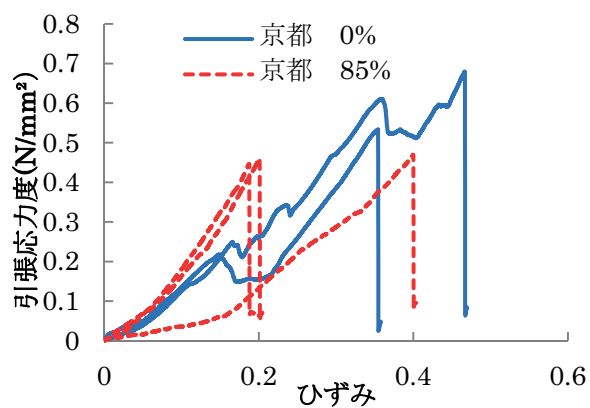


図3.5.1-14 引張応力とひずみの関係

表3.5.1-10 引張強さ

	S/C	
	0%	85%
京都(基準)	0.61	0.50
徳島A 荒壁土	0.26	0.21
中塗り土	0.20	0.17
徳島B 中塗り土	0.10	0.19
琴浦 原土	0.20	0.13
倉吉 原土	—	0.14

注) 値はN/mm²である。

5) $\phi 20 \times 40$ 圧縮強度、粒径 $75 \mu\text{m}$ 以下の積算値および密度の関係

(a) $\phi 20 \times 40$ 圧縮強度と粒径 $75 \mu\text{m}$ 以下の積算値の関係

図3.5.1-15に $\phi 20 \times 40$ 圧縮強度と粒径 $75 \mu\text{m}$ 以下の積算値の関係を示す。

積算値は、地域によるばらつきはみられるが、美馬市および徳島市は近い値を示し、徳島県の地域がある積算値に集まることも確認できる。また、積算値が20、80および100%程度で、圧縮強度は0.5、1.0および 1.5 N/mm^2 を確保できると考える。 $75 \mu\text{m}$ 以下の積算値は、一部例外もあるが大略80~100%を得る。すなわち、 $75 \mu\text{m}$ 以下の積算値が大きくなれば圧縮強度が増すことを表している。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$y = 0.0135x + 0.0099 \quad (r = 0.666 \quad n = 9)$$

ここに、 y : $\phi 20 \times 40$ 圧縮強度 (N/mm^2)

x : 粒径 $75 \mu\text{m}$ 以下の積算値 (%)

式からも明らかなように、相関係数 r は $r = 0.66$ を示すことから、粒径 $75 \mu\text{m}$ 以下の積算値と圧縮強度は関係していることが認められる。

以上のように、圧縮強度は $75 \mu\text{m}$ 以下の積算値が大きくなるのに伴い強くなる。しかし、今後は他の粒径の積算値も検討することで土壁用原土の評価法を確立できる可能性があることを示唆している。

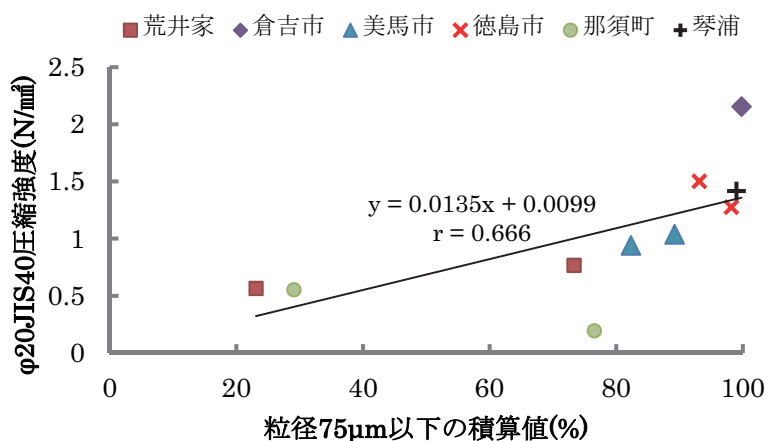


図3. 5. 1-15 $\phi 20 \times 40$ 圧縮強度と粒径 $75 \mu\text{m}$ 以下の積算値の関係

(b) 密度と粒径 $75 \mu\text{m}$ 以下の積算値の関係

図3.5.1-16に密度と粒径 $75 \mu\text{m}$ 以下の積算値の関係を示す。密度JISの値を使用する。

密度との関係は、一部例外もあるが美馬市および徳島市でほぼ同じ値を得ることから、地域性があることが認められる。密度と粒径 $75 \mu\text{m}$ 以下の積算値の関係は、前者が大きくなるのに伴い後者も増加する。

参考までに、両者の関係を一次式と見做し以下に示す。

$$y = 0.0013x + 2.6012 \quad (r = 0.542 \quad n = 9)$$

ここに、 y : 密度 (g/cm^3)

x : 粒径 $75 \mu\text{m}$ 以下の積算値 (%)

式からも明らかなように、相関係数 r は $r = 0.54$ を示すことから、密度と粒径 $75 \mu\text{m}$ 以下の積算値は関係

していることが認められる。

以上のように、密度は75 μm 以下の積算値が大きくなるのに伴い増加する。また、地域産土は両者の関係から、地域性があると言える。今後は、JIS土質試験法とレーザー回折式粒度分布測定装置SALDの関係を検討することで壁土用原土の特性が明らかになることを示唆している。

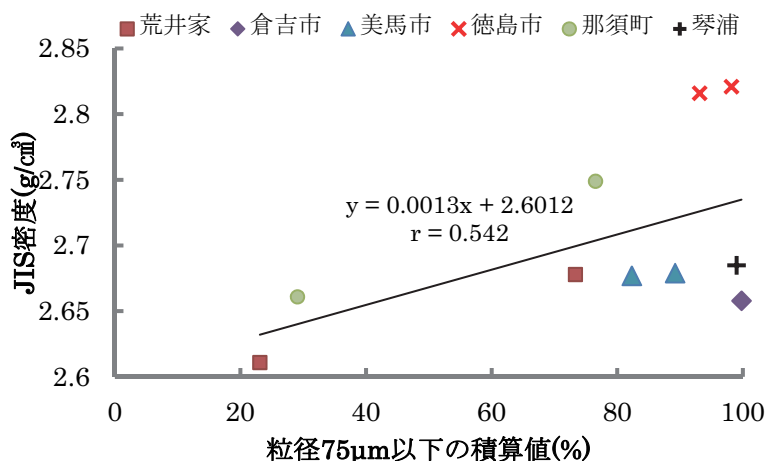


図3.5.1-16 密度と粒径75 μm 以下の積算値の関係

(c) 密度と粒径75 μm 以下の積算値の関係

図3.5.1-17に密度と $\phi 20 \times 40$ 圧縮強度の関係を示す。

圧縮強度は、一部例外もあるが密度2.6g/cm³より大きければ0.8N/mm²以上を確保できる。また、那須町は、試験済み試料ということもあり、微細なスサが混入しているため他の試料よりばらつきが生じたと考える。密度と $\phi 20 \times 40$ 圧縮強度の関係は、前者が大きくなるのに伴い後者も増加する。

参考までに、両者の関係および那須町を除いた関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\text{すべての関係} : y = 0.0198x + 2.6829 \quad (r = 0.162 \quad n = 9)$$

$$\text{那須町を除いた} : y = 0.0516x + 2.6434 \quad (r = 0.364 \quad n = 7)$$

ここに、y : 密度 (g/cm³)

x : $\phi 20 \times 40$ 圧縮強度 (N/mm²)

式からも明らかなように、相関係数rはr=0.16～0.36を示すことから、密度と $\phi 20 \times 40$ 圧縮強度は僅かに関係していることが認められる。

以上のように、 $\phi 20 \times 40$ 圧縮強度は密度が大きくなるのに伴い増加する。那須町を除くことで相関係数は大きくなったが、関係性は低いことがわかる。今後は、SALDで求めた積算値を有効に利用することで、壁土用原土の特性評価が可能と考える。特に、積算値を粒径75 μm 未満についても検討することで微細粒子が原土に及ぼす影響を明らかにできると考える。

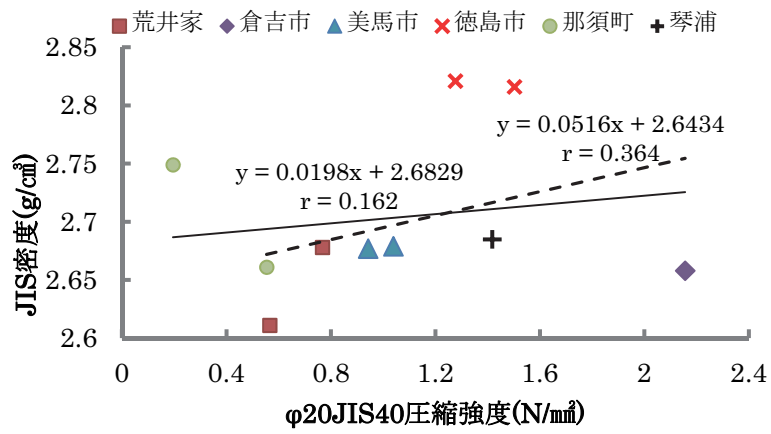


図3. 5. 1-17 密度とφ20×40圧縮強度の関係

(4) まとめ

以上のことを総括すると次のようになる。特に、京都産（基準）の圧縮強さ（φ20×40）は、平成22年度で1.7N/mm²であるのに対し、今年度は3.7N/mm²を与え、大略2倍となることから、試料の購入年度によるばらつきがある。表3.5.1-11に作製した供試体一覧を示す。

表3.5.1-11 作製した供試体一覧

	強度試験	曲げ		圧縮		せん断		引張	
	S/C	0%	85%	0%	85%	0%	85%	0%	85%
荒井家	荒壁	—	○	—	○	—	—	—	—
那須町	荒壁	—	○	—	○	—	—	—	—
徳島県徳島市 八万町大坪	荒壁土	○	○	○	○	○	○	○	○
徳島県美馬市 脇町馬木	荒壁土	○	○	○	○	—	—	—	—
荒井家	中塗り壁	—	○	—	○	—	—	—	—
那須町	中塗り壁	○	○	○	○	—	—	—	—
徳島県徳島市 八万町大坪	中塗り土	○	○	○	○	○	○	○	○
徳島県美馬市 脇町馬木	中塗り土	○	○	○	○	—	—	○	○
琴浦町	原土	○	○	○	○	○	○	○	○
倉吉市	原土	—	○	—	○	—	○	—	○

1) 粒度分布

粒径頻度分布は、徳島県産の荒壁土および中塗り土でそれぞれ類似し、一部例外はあるものの大略0.5～500μmを得る。荒井家および那須町は、100μm以上が多くを占めている。

粒径加積曲線は、傾きに一部例外もあるものの徳島産の荒壁および中塗り土で同様な傾向が見られるが、粉体では僅かに異なる。前者は緩やかなのに対し、後者は75μmから1000μmに近づくに伴い、急激に増加する。また、試験済みの粉体試料の荒井家および那須町は、別途試料として送付されたが、加積曲線からは同じ土と見なして差し支えない。

2) フロー値

荒壁土および中塗り土は地域によって様々な色をしているが、茶色を帯びた原土が多くS/Cについてみると、85%よりも0%で壁土が流動性に富む試料が多く認められる。また、壁土は、徳島Aより徳島Bの方がフローテーブル上で広がらないことが確認でき、同じ県内でも使用している土でフロー値に差が出るのが明らかである。

3) 質量変化

(a) 徳島県産原土の比較

質量変化はS/C0および85%で異なり、それぞれ大略14および7日前後でほぼ一定した後、緩慢に低下する。また、試験直前の質量変化率はS/C0%で大略18～20%、85%は12～17%となり、後者が小さくな

る。徳島県産における、質量変化はS/Cによる違いは認められない。

(b) 荒井家および那須町

質量変化はS/C0および85%で異なり、それぞれ大略7および5日前後でほぼ一定した後、緩慢に低下する。また、試験直前の質量変化率はS/C0%で大略18%、85%は12～15%を与え、後者が小さくなる。

(c) 琴浦および倉吉

質量変化はS/C0および85%で異なり、それぞれ大略7および5日前後でほぼ一定した後、緩慢に低下する。また、試験直前の質量変化率はS/C0%で大略23%、85%は18%を与え、後者が小さくなる。

4) 強度試験（曲げ、圧縮、せん断および引張）

(a) 圧縮強さ（ $\phi 20 \times 40$ ）

圧縮応力ひずみ曲線は、地域によって異なる。徳島A、徳島B、荒井家および那須町は、ひずみ0.02、0.01、0.01および0.01程度で最大応力度1.5、1.3、0.8および0.5N/mm²に達し、その後は緩慢に低下する。地域による差は確認できるが使用用途による違いは認められない。

(b) 曲げ強さ（ $40 \times 40 \times 160$ ）

曲げ応力たわみ曲線は、S/Cによって傾向は異なるが地域による差は見られない。

曲げ強さは、徳島Aおよび徳島Bで使用用途に関わらずS/Cによって異なり、0%は0.2～0.5、85%で0.1～0.3N/mm²を与え、前者は後者の大略2倍大きくなる。同様に、荒井家の場合0.3N/mm²程度、那須町はS/Cで異なり、0%で0.2N/mm²、85%は0.05N/mm²前後を得る。琴浦および倉吉は、0%で0.3N/mm²、85%の場合0.08および0.3N/mm²を与え、曲げ強さは使用用途によって大差ない。

(c) 圧縮強さ（ $40 \times 40 \times 160$ ）

圧縮応力ひずみ曲線は地域および使用用途に関わらずS/Cで異なる。徳島Aおよび徳島Bは、0%で最大応力後は緩慢に低下するが、85%の場合低下割合は大きくなる。

圧縮強さは、徳島Aおよび徳島Bは、S/C0%で1.2および1.6N/mm²、85%は1.0および1.1N/mm²前後を与え後者的方が小さくなるが、徳島Aと徳島Bでは差異が認められない。荒井家および那須町は使用用途によって違いが確認できる。S/C85%の荒井家および那須町は、荒壁で1.3および1.0N/mm²、中塗りの場合0.8および0.5N/mm²を与え、前者が後者より1.6倍程度大きくなる。琴浦および那須町の場合、S/C0%は1.8N/mm²、85%で0.8および1.5N/mm²を得る。徳島産の場合、圧縮強度はS/Cで異なるが、荒井家および那須町は使用用途によって違いが確認できる。

(d) せん断強さ（ $40 \times 40 \times 160$ ）

せん断応力ひずみ曲線は、使用用途に関係なくS/Cによって異なる。

せん断強さは、使用用途に関わらずS/C0%が85%より大きくなる。その値は、荒壁および中塗りで0.43および0.51N/mm²、後者は0.41および0.42N/mm²となる。同様に、原土の琴浦および倉吉の場合、S/C0%で0.57N/mm²、85%は0.33および0.45N/mm²を与え、S/Cで見ると0%>85%、使用用途は荒壁<中塗りととなる。

(e) 引張強さ

引張応力ひずみ曲線は、使用用途に関係なく地域とS/Cで異なり、荷重初期の立ち上がりはS/C0%より85%の方が急である。

引張強さは、徳島Aの荒壁および中塗りは、S/C0%で0.25および0.2N/mm²、85%の場合0.2および

0.17N/mm²を得る。同様に徳島B中塗りは、0%で0.1N/mm²、85%は0.2N/mm²を与え、徳島Aで0%>85%、徳島Bは0%<85%となり地域による違いが見られる。原土の琴浦および倉吉の場合、S/C0%で0.2N/mm²、85%は両者とも0.1N/mm²で強さは期待できない。

5) φ20×40圧縮強度、粒径75μm以下の積算値および密度の関係

(a) φ20×40圧縮強度と粒径75μm以下の積算値の関係

積算値は、地域によるばらつきは見られるが、美馬市および徳島市は近い値を示し、徳島県の地域がある積算値に集まる。また、圧縮強度は積算値20、80および100%程度で、0.5、1.0および1.5N/mm²を確保でき、75μm以下の積算値が大きくなるのに伴い強くなる。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$y=0.0135x+0.0099 \quad (r=0.666 \quad n=9)$$

ここに、y：φ20×40圧縮強度 (N/mm²) x：粒径75μm以下の積算値 (%)

(b) 密度と粒径75μm以下の積算値の関係

密度と粒径75μm以下の積算値の関係は、一部例外もあるが美馬市および徳島市でほぼ同じ値を得ることから、地域性があることが認められる。密度と粒径75μm以下の積算値の関係は、前者が大きくなるのに伴い後者も増加する。

参考までに、両者の関係を一次式と見做し以下に示す。

$$y=0.0013x+2.6012 \quad (r=0.542 \quad n=9)$$

ここに、y：密度 (g/cm³) x：粒径75μm以下の積算値 (%)

(c) 密度とφ20×40圧縮強度の関係

圧縮強度は、一部例外もあるが密度2.6g/cm³より大きければ0.8N/mm²以上を確保できる。また、那須町は、試験済み試料ということもあり、微細なスサが混入しているため他の試料よりばらつきが生じる。密度とφ20×40圧縮強度の関係は、前者が大きくなるのに伴い後者も増加する。

参考までに、両者の関係および那須町を除いた関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\text{すべてとの関係：} y=0.0198x+2.6829 \quad (r=0.162 \quad n=9)$$

$$\text{那須町を除いた：} y=0.0516x+2.6434 \quad (r=0.364 \quad n=7)$$

ここに、y：密度 (g/cm³) x：φ20×40圧縮強度 (N/mm²)

以上のことから、土壁用原土の土壁としての特性は、JISによる土質試験結果とレーザー回折式粒度分布測定装置SALDの粒度分布の積算値を併用することで、明らかにできる可能性を示唆している。

スサと壁土の性質

(1) 実験概要

本実験では、6種類のスサを用いた壁土の性質について調べている。

1) 使用材料、基本調合および紙スサ調合

(a) 使用材料

スサは、荒壁土用の京都産、金沢産および麦、中塗および仕上げ用のもみ、微塵および紙スサを用いた。図3.5.1-17に使用材料を示す。

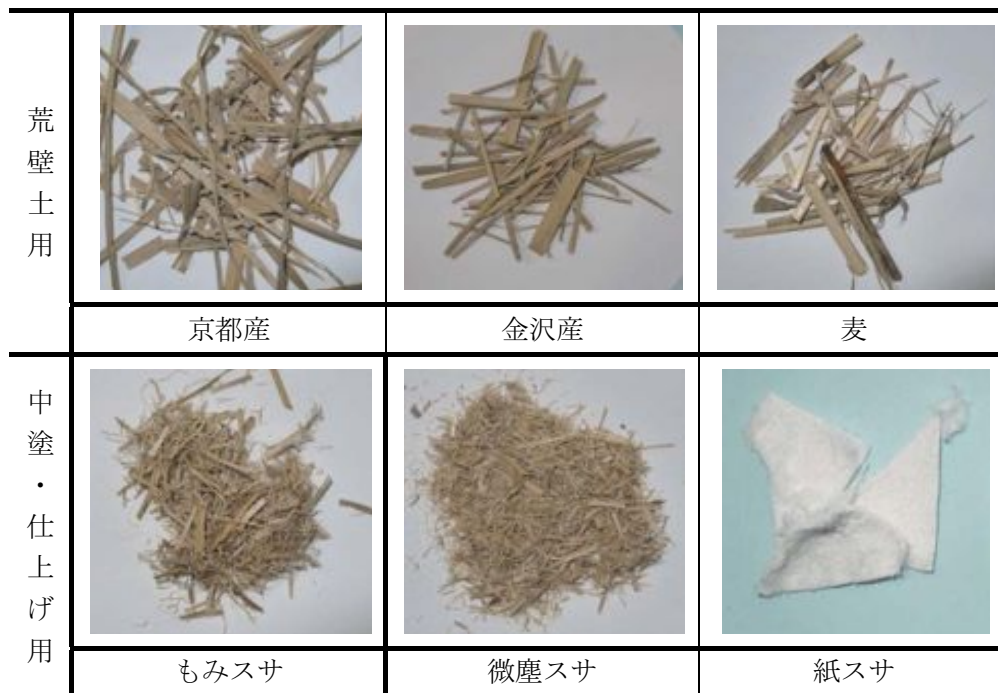


図3.5.1-17 使用材料

(b) 基本調合

表3.5.1-12にS/C別の稲スサを用いた調合を示す。調合は、砂原土比（以後、S/Cと表記する）0および85%とした。また、スサ量はスサ種類に関係なく同じ量を加えた。

表3.5.1-12 基本調合（稲スサ）

砂原土比 S/C (%)	質量調合 (g/l)			
	原土 (C)	砂 (S)	水 (W)	スサ (St)
0	1096.1	0	449.4	27.4
85	730.9	621.3	385.0	19.3

注) 砂原土比 (S/C) は質量比である。

(c) 紙スサの調合

表3.5.1-13および14に紙スサの計画調合および実施調合を示す。紙スサはS/C0%の基本調合を紙の密度 (0.7g/cm^3) に換算して計画調合を作製したが、実用上から紙スサ混入率が増加すると絶対容積が減少する実施調合とした。方法は、130、150、200および300%の4種類で、紙スサは量が少

ないこともありS/C0%のみ作製した。微塵スサおよび紙スサは、中塗および仕上げ用ということから、水合せ0日のみとした。計画調合は以後に示す。

図3.5.1-18に紙スサを水に溶かした様子を示す。

表3.5.1-13 紙スサ[※]の計画調合

スサ 混入率 (%)	質量調合 (g/l)			
	原土 (C)	砂 (S)	水 (W)	スサ (St)
100 (基準)	1215.0	0	498.1	30.4
130	1198.1	0	491.2	39.5
150	1187.1	0	486.7	45.6
200	1159.7	0	475.5	60.8
300	1104.1	0	452.7	91.2

表3.5.1-14 紙スサ[※]の実施調合

スサ 混入率 (%)	質量調合 (g/l)			
	原土 (C)	砂 (S)	水 (W)	スサ (St)
100 (基準)	1215.0	0	498.1	8.7
130	1198.1	0	491.2	11.3
150	1187.1	0	486.7	13.1
200	1159.7	0	475.5	17.4
300	1104.1	0	452.7	26.1

※紙の密度は平成22年理科年表p.物22 (372) 紙による



※左側に紙スサ

右側は水に溶かした状態。図中の中央下は、スサを集め溶けた状態を表す。

図3.5.1-18 紙スサを水に溶かした様子

2) 壁土試料の作製

表3.5.1-15に壁土の練り混ぜ時間を示す。

壁土の練混ぜには、公称容量5lのオムニミキサを用い、材料はスサ、土、砂および水の順に投入し、表3.5.1-14に従い所定時間練混ぜた。水合せ58日は、期間が長いいため練混ぜ時間を短くした。紙スサは、オムニミキサに投入する1時間前に水に浸した。

表3. 5. 1-15 壁土の練混ぜ時間

回転記号	回転数 (r/min)	時間 (秒)		
		0日	7日	58日
5.0～	300～	15	15	—
5.5	330	15	15	—
6.0	380	30	30	30
6.5	425	60	60	60
練混ぜ時間		120	120	90

(2) 実験方法

1) 供試体の作製

型枠は、モルタル供試体成形用型三連型枠（□40×40×160mm）を使用し、練混ぜ後の壁土試料を、三連型枠（ようかん）に詰める前にセメントペースト練混ぜ用（手練り用）さじでかき混ぜ、容器に取り出した。

壁土試料は、型枠に二層に分けて詰め、モルタル供試体作製用型の突き棒（□35×35mm）で各層5回突きを4回繰り返し（20回）、仕上げは上端をならし成形した。

強度試験用供試体は、曲げ、圧縮およびせん断試験用に2枠、引張試験用に1枠用いて作製した。

2) 養生方法および脱型

供試体は、実験室内で温度、湿度に関わらず気中養生とした。脱型は供試体作製後3日目に側面、7日目に完全脱型を目標とした。

3) 水合せ

水合せは荒壁用の京都産、金沢産、麦およびもみスサの場合、0、7および58日で、18ℓバケツに入れ屋外に置いた。また、仕上げ用の微塵スサと紙スサは、0日のみとした。試料は所定材齢7および58日後、水を切りオムニミキサで表3.5.1-15に従い練混ぜを行った。

(3) 実験結果および考察

1) 荒壁用のスサ形状について

図3.5.1-19に荒壁用スサの断面形状および実験後のスサの詰まり方を示す。

スサは、京都の場合、長さ100mm前後が多数を占め、潰れて軟らかく水を吸いやすい状態である。練り混ぜでは原土、水および砂と混ざりやすいと言える。一方、金沢産は、京都産の半分以下の50mm前後が多く筒状で硬いことから、練り混ぜ後は、フローテーブル上でスサが目立つ。したがって、スサは地域によって形状が異なることが明らかである。

麦スサは、中が空洞でパイプ状になっている。長さは、金沢産に合わせて作製したことから、50mm前後が多くを占めている。練り混ぜ後は、金沢産と同様にスサが硬く立ち空洞部に壁土が詰まっているのが目立つことを、試験後の供試体を破壊し確認している。また、麦スサはパイプおよび潰れたものに関わらず折り曲げたものを逆に戻すと2つに切れるが、稲スサは形状を保ち切れることはない。

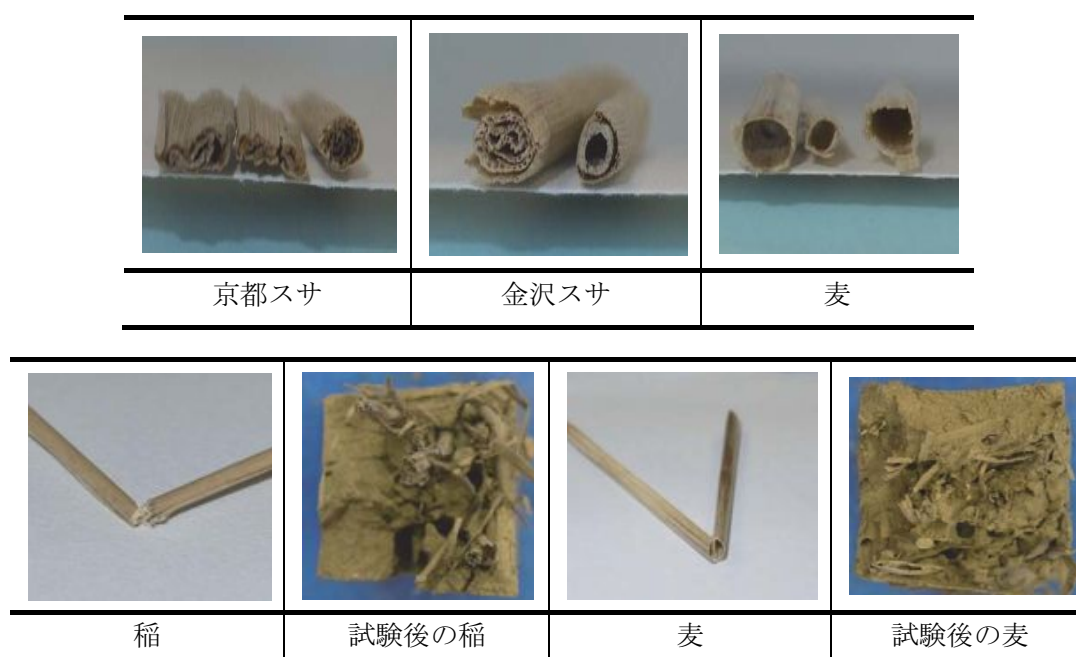


図3.5.1-19 スサの断面形状および試験後のスサ

2) フロー値

図3.5.1-20にフローを、図3.5.1-21にフロー値を示す。

壁土の色は、荒壁および中塗スサに関わらず水合せ0および7日の黄土色に比べて、58日になると水合せしたことで灰色に変化することが確認できる。この色の変化は、水合せ2年以上でも濃い灰色になることに変わりがない。

壁土は、一部を除いて水合せ期間に関係なくS/C0%よりも85%がフローテーブル上でよく伸びる事が確認される。また、中塗および仕上げ用のスサは、フローテーブル上で滑らかに広がることも認められる。紙スサは、スサ量が少ないと土のペーストであるが、300%になると和紙の繊維も目立ちフローテーブル上では広がらず、稲スサを用いた基本調合の目標フロー値 135 ± 10 を得る。

荒壁スサの京都、金沢および麦はフロー値140.2、144.1および137.9であるが、中塗のもみスサは155.6と荒壁スサよりも10程度上回る。また、フロー値は、金沢スサより京都スサの方が高いことから、前者は後者より筒状で硬く、壁土と馴染みにくいことを表している。フロー値は、例外も一部あるが水合せ期間に関係なくS/C0%より85%の方が高くなる。

また、本実験で参考にした基本調合は、荒壁用の市販スサ（金沢：20～100mm前後が混在）を用いた調合設計である。しかし、もみスサ、微塵スサおよび紙スサは中塗および仕上げ用スサで、基本調合のスサと異なることから、フロー値に影響をしたと言える。

以上のことから、フロー値は荒壁用で 135 ± 10 、中塗および仕上げ用は 150 ± 10 を得る。また、スサ種類に関係なくフロー値は、S/C0%<85%、水合せ7日<58日<0日となる。

使用 スサ	水合せ0日		水合せ7日		水合せ58日	
	S/C=0%	S/C=85%	S/C=0%	S/C=85%	S/C=0%	S/C=85%
京都 (荒)						
金沢 (荒)						
麦 (荒)						
もみ (中)						
微塵 (仕)			—	—	—	—
水合せ 0日のみ	スサ混入率					
	100%	130%	150%	200%	300%	
紙 (仕)						

注) 図中の (荒) は荒壁スサ、(中・仕) を中塗および仕上げ用スサとする。

図3.5.1-20 フロー

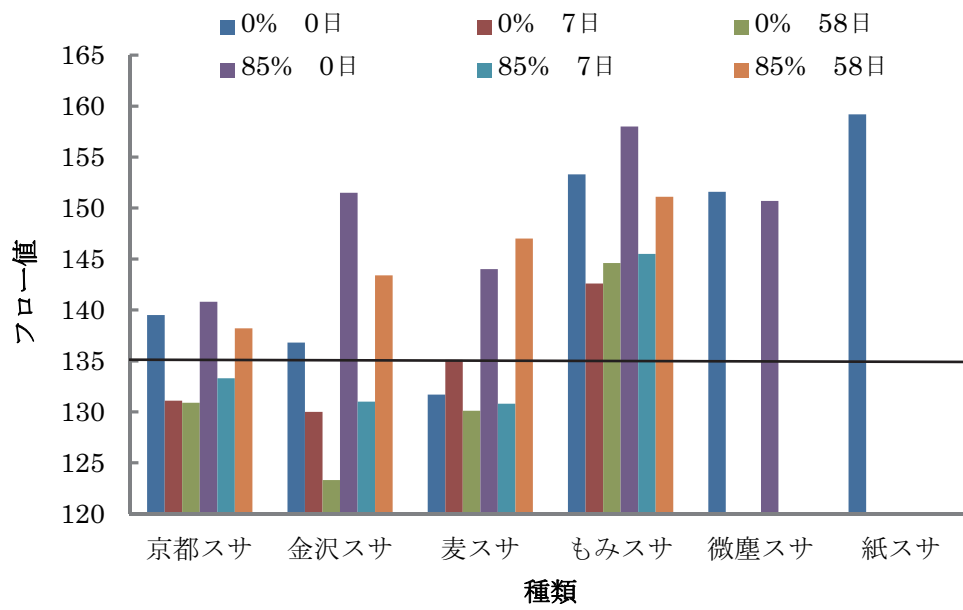


図3.5.1-21 水合せフロー値

3) 紙スサについて

(a) 紙スサの調査

表3.5.1-16-aおよびbに紙スサの実施調査の絶対容積および実施調査を示す。表3.5.1-17-aおよびbに計画調査の絶対容積および計画調査を示す。

基本調査を元に、紙の密度（0.7g/cm³）に従いスサの調査補正を計画した。実施調査は、紙スサの混入率が増加すると絶対容積が減少する。その値は、100～300%で969～907mlでスサ量は、実施調査と計画調査を比較すると約3倍異なる。

実験結果から、スサ混入率はフロー値および強さと密接な関係があることが明らかになった。このことを、今回の実験結果に当てはめた場合、混入率300%の結果が計画調査の100%の結果あたりになると推察される。しかし、計画調査から見ると、スサ量を考慮し150%が適切であると推察する。

実施調査は、絶対容積が1ℓではないことから、今後は、絶対容積1ℓにおける計画調査について検討する必要がある。

考察は、実施調査について行う。

表3.5.1-16-a 実施調査の絶対容積（紙スサ）

スサ 混入率 (%)	絶対容積 (mℓ)				
	原土 (C)	砂 (S)	水 (W)	スサ (St)	合計
100 (基準)	458.5	0	498.1	12.4	969.0
130	452.1	0	491.2	16.1	959.4
150	448.0	0	486.7	18.7	953.4
200	437.6	0	475.5	24.9	938.0
300	416.6	0	452.7	37.3	906.6

表3.5.1-16-b 実施調査（紙スサ）

スサ 混入率 (%)	質量調査 (g/ℓ)			
	原土 (C)	砂 (S)	水 (W)	スサ (St)
100 (基準)	1215.0	0	498.1	8.7
130	1198.1	0	491.2	11.3
150	1187.1	0	486.7	13.1
200	1159.7	0	475.5	17.4
300	1104.1	0	452.7	26.1

表3.5.1-17-a 計画調査の絶対容積（紙スサ）

スサ 混入率 (%)	絶対容積 (mℓ)				
	原土 (C)	砂 (S)	水 (W)	スサ (St)	合計
100 (基準)	458.5	0	498.1	43.4	1000
130	452.1	0	491.2	56.4	999.7
150	448.0	0	486.7	65.1	999.8
200	437.6	0	475.5	86.9	1000
300	416.6	0	452.7	130.3	999.6

表3.5.1-17-b 計画調合（紙スサ）

スサ 混入率 (%)	質量調合 (g/l)			
	原土 (C)	砂 (S)	水 (W)	スサ (St)
100 (基準)	1215.0	0	498.1	30.4
130	1198.1	0	491.2	39.5
150	1187.1	0	486.7	45.6
200	1159.7	0	475.5	60.8
300	1104.1	0	452.7	91.2

(b) スサ混入率とフロー値の関係

図3.5.1-22に紙スサ混入率とフロー値の関係を示す。

紙スサは、スサ混入率200%までほとんど水に溶けたが、300%では紙スサの繊維が目立つようになりフロー値は低下する。しかし、基本調合の目標フロー値 135 ± 10 を満足しているのは混入率200および300%である。

スサ混入率とフロー値の関係は、前者が大きくなるのに伴い後者は低くなる傾向が見られる。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$y = -0.1261x + 169.75 \quad (r = -0.983 \quad n = 5)$$

ここに、 y ：フロー値

x ：スサ混入率 (%)

式からも明らかなように、相関係数 r は $r = -0.98$ を示すことから、スサ混入率とフロー値は密接に関係していることが認められる。

以上のように、紙スサの場合200%以上の混入率になると壁土はわずかに白くなり、スサ繊維が目立つようになる。壁土は、フロー値から見ると基本調合の目標フロー値 135 ± 10 を満足するのは混入率300%前後であるが、実際の仕上げ塗りの現場は、フロー値が大きい方が広がり、塗り易いと考える。

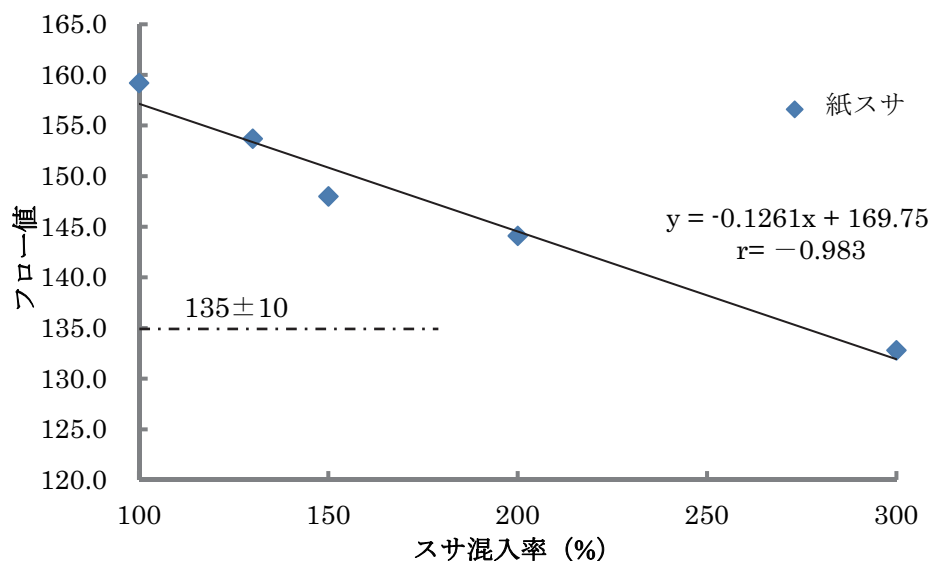


図3.5.1-22 紙スサとフロー値の関係

(c) スサ混入率と曲げ、圧縮、せん断および引張強さの関係

図3.5.1-23にスサ混入率と個々の強さの関係を示す。

個々の強さは、スサ混入率とほぼ比例している。しかし、詳細にみるといずれの強さも混入率130%で一旦低下するが、200%で最大値を得る。

スサ混入率と個々の強さの関係は、前者が大きくなるのに伴い後者も高くなる傾向が見られる。参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

曲 げ： $y=0.0018x+0.8457$ ($r=0.780$ $n=5$)

圧 縮： $y=0.0026x+4.083$ ($r=0.723$ $n=5$)

せん断： $y=0.0019x+0.8835$ ($r=0.741$ $n=5$)

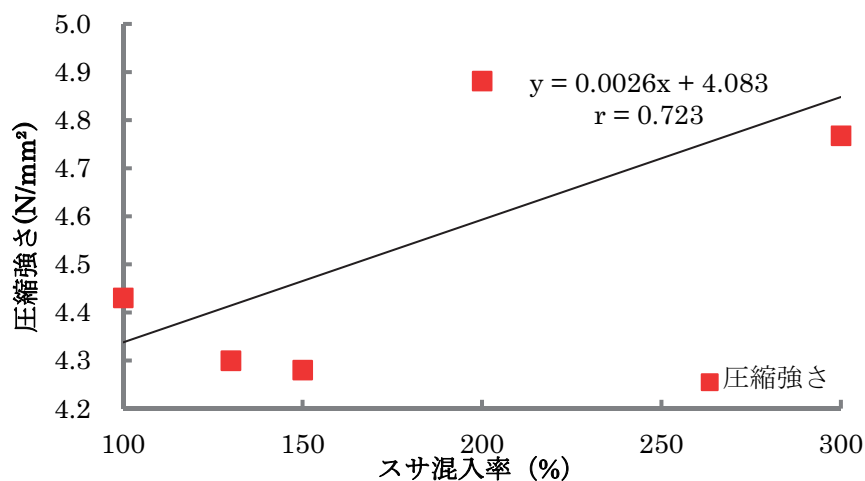
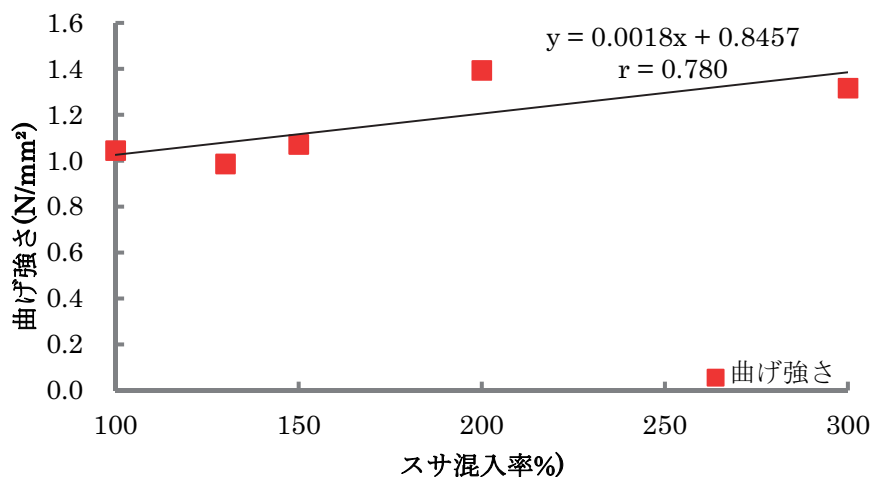
引 張： $y=0.0003x+0.537$ ($r=0.535$ $n=5$)

ここに、 y ：各強さ (N/mm^2)

x ：スサ混入率 (%)

式からも明らかなように、相関係数 r は $r=0.50\sim0.78$ を示すことから、スサ混入率とフロー値は密接に関係していることが認められる。

以上のように、個々の強さはスサ混入率の増加に伴い大きくなるが、逆にフロー値は低下する。したがって、実際の現場では、スサ混入率200%前後で加水し、フロー値を大きくすることで塗り易くすることも一つの方法と考える。



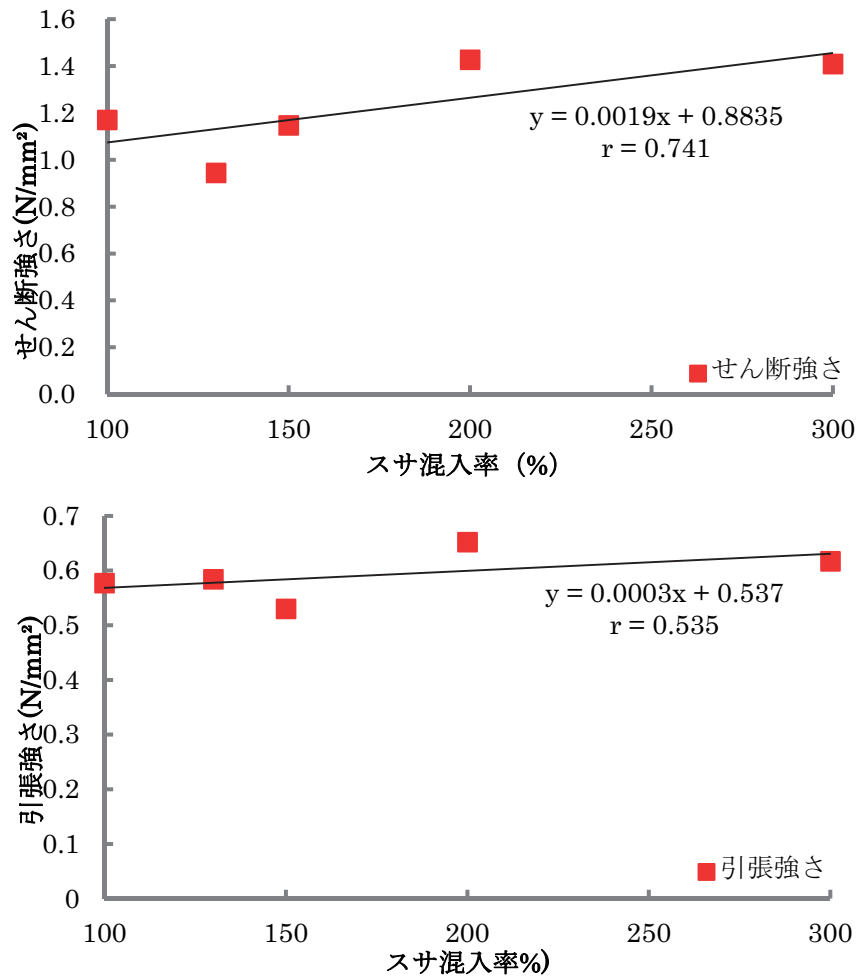


図3.5.1-23 スサ混入率と各強さの関係

(b) フロー値と曲げ、圧縮、せん断および引張強さの関係

図3.5.1-24にフロー値と各強さの関係を示す。調査は、紙スサの基本調査に紙スサの密度を考慮して調査設計を行っている。

個々の強さは、一部例外はあるがフロー値が小さいほど強さは大きくなる。このことは、紙スサの混入率が少ないと土のみの特性を表しているとも考えられる。したがって、紙スサの混入率が増すことで原土に強さが付与され壁土として効果的に働いたとも言える。

フロー値と各強さの関係は、前者が大きくなるのに伴い後者は弱くなる傾向が見られる。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

曲 げ : $y = -0.0138x + 3.1991$ ($r = -0.768$ $n = 5$)

圧 縮 : $y = -0.0184x + 7.2449$ ($r = -0.668$ $n = 5$)

せん断 : $y = -0.0144x + 3.3473$ ($r = -0.718$ $n = 5$)

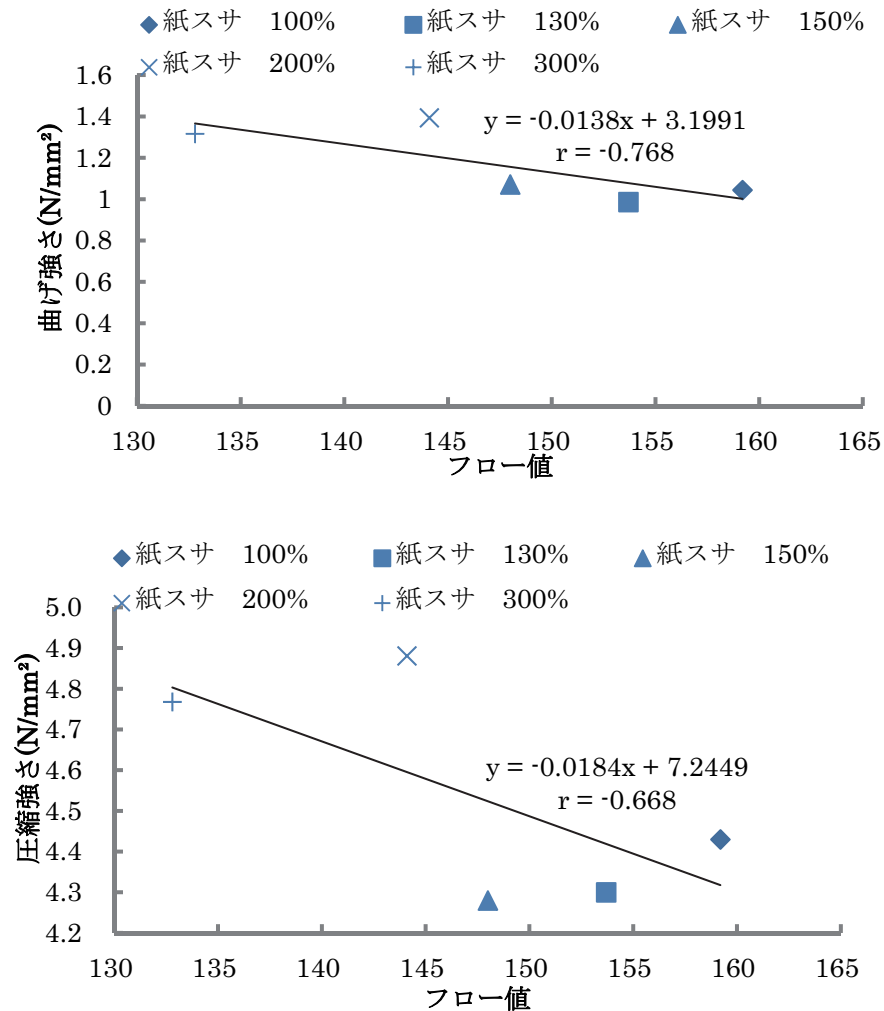
引 張 : $y = -0.0021x + 0.8949$ ($r = -0.451$ $n = 5$)

ここに、 y : 各強さ (N/mm^2)

x : フロー値

式からも明らかなように、相関係数 r は一部 $r = 0.45$ もあるが大略 $r = 0.70$ を示すことから、フロー値と各強度は密接に関係していることが認められる。

以上のことから、フロー値は小さくなると個々の強さが大きくなる。セメントコンクリートではスランプとコンシステンシーは密接に関係しているが、強さとの間で存在しないと考えられている。しかし、壁土の場合、フロー値と強さとの関係性を明らかにした。しかし、今回の調査は、スサ混入率によって変化させ907mlの調査になっており絶対容積が10ないことから、基本調査と異なり、稲では同じことが言えるとは限らない。このことから、稲において検討する必要がある。



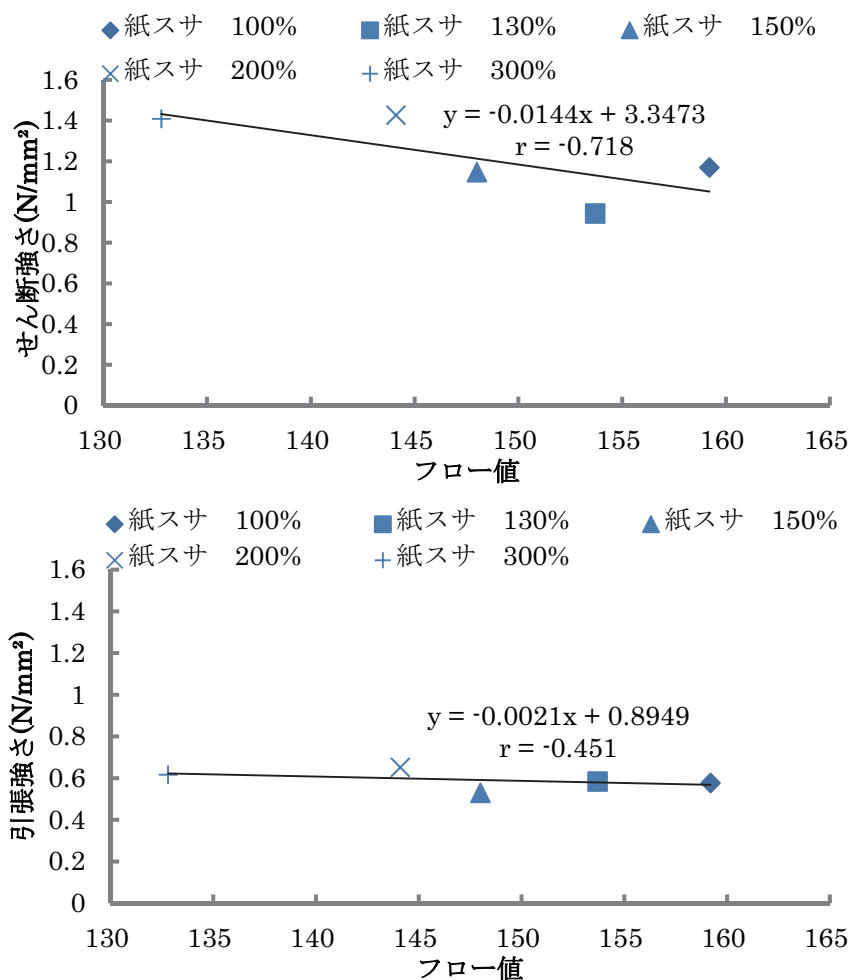


図3.5.1-24 フロー値と各強さの関係

(e) 曲げ強さと圧縮、せん断および引張強さの関係

図3.5.1-25に曲げ強さと各強さの関係を、表3.5.1-18に各強さと比を示す。

各強さは、曲げ、圧縮、せん断および引張で、1.04～1.40、4.2～4.8、0.9～1.4、および0.5～0.6N/mm²を与え、曲げを1として、安全側で見ると圧縮で4.1～4.6、せん断は0.9～1.3、引張で0.5～0.6倍の強さとなる。したがって、個々の強さは曲げを1とすると圧縮4、せん断1、引張0.5となる。

曲げと各強さの関係は、前者が大きくなると後者も大きくなる傾向が見られる。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

圧 縮 : $y = 1.4799x + 2.8122$ ($r = 0.967$ $n = 5$)

せん断 : $y = 1.0598x - 0.012$ ($r = 0.949$ $n = 5$)

引 張 : $y = 0.2037x + 0.3553$ ($r = 0.804$ $n = 5$)

ここに、y : 各強さ (N/mm²)

x : 曲げ強さ (N/mm²)

式からも明らかなように、相関係数 r は $r = 0.80 \sim 0.96$ を示すことから、フロー値と各強度は密接に関係していることが認められる。

以上のことから、各強さは、曲げ強さを1とした時、安全側で見ると圧縮、せん断および引張で4、1および0.5倍となる。

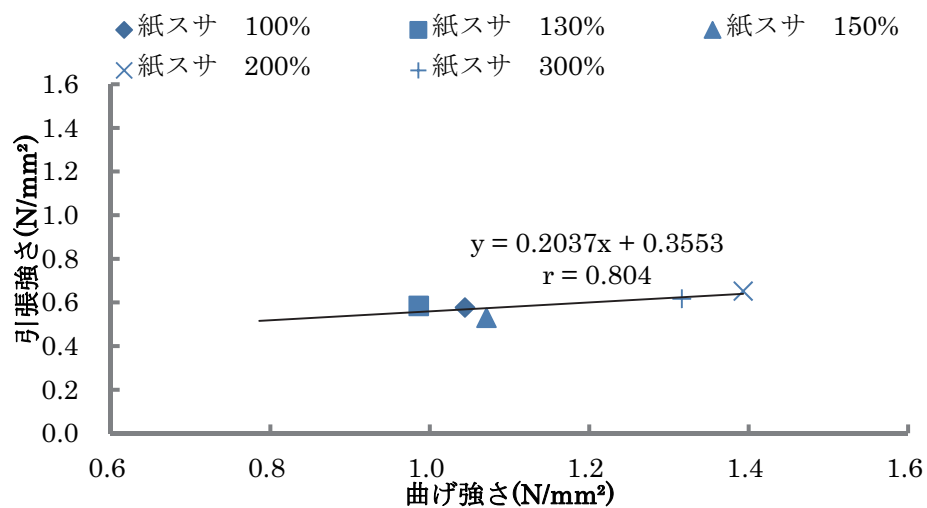
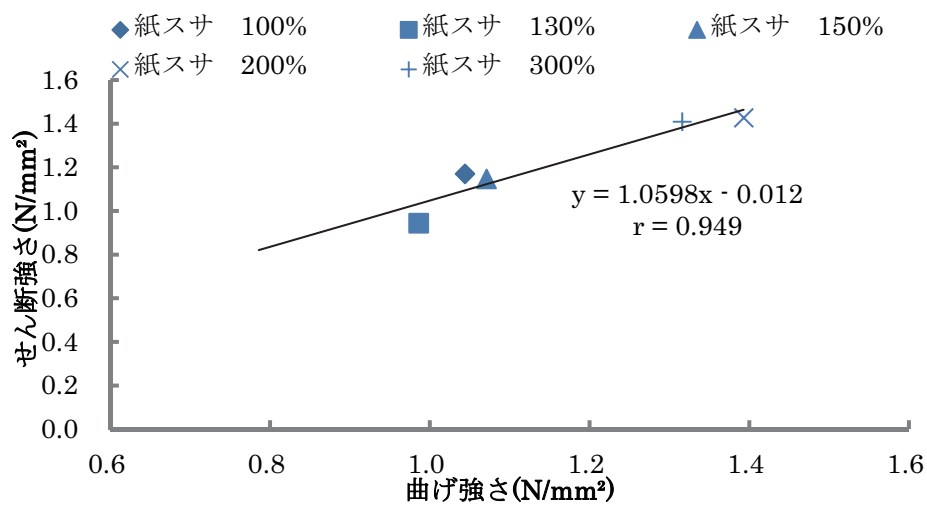
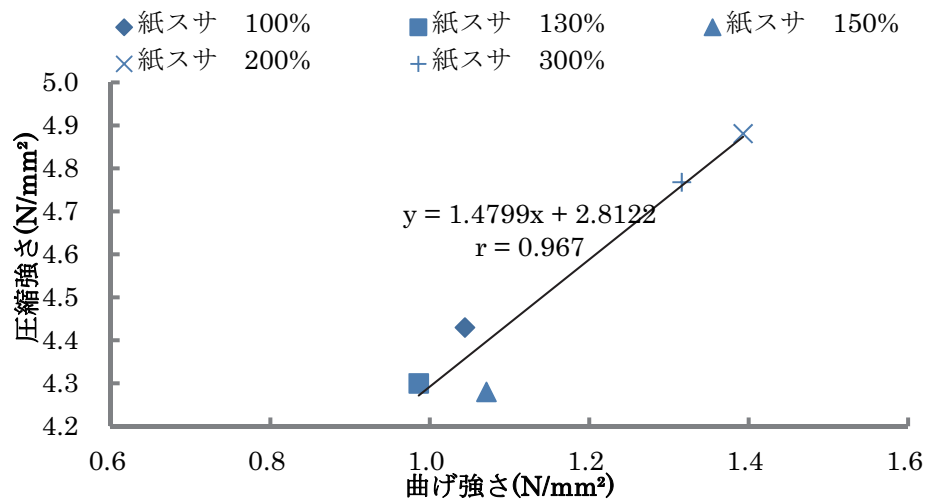


図3.5.1-25 曲げ強さと各強さの関係

表3. 5. 1-18 曲げ強さと個々の強さの比較

項目 混入率 (%)	強さ (N/mm ²)							
	曲げ		圧縮		せん断		引張	
	結果	割合	結果	割合	結果	割合	結果	割合
紙スサ 100	1.04	1.00	4.43	4.24	1.17	1.12	0.58	0.56
130	0.99	0.95	4.30	4.13	0.94	0.90	0.58	0.56
150	1.07	1.03	4.28	4.12	1.15	1.11	0.53	0.51
200	1.40	1.35	4.88	4.69	1.43	1.38	0.65	0.63
300	1.32	1.27	4.77	4.59	1.41	1.10	0.62	0.60

注) 割合：スサ100%の曲げ強さを1とした時の割合である。

4) 質量変化

(a) 京都産、金沢産、麦およびもみスサ

図3.5.1-26にスサ別の経過日数と質量変化率の関係を示す。

質量変化は、S/Cに関係なく水合せ期間によって異なり、水合せ0日で7日、7日は15日前後でほぼ一定した後、緩慢に低下するが、安定までに約1週間の差がある。これは、10月の不安定な天候が関係していると考えるが、その値は水合せ期間に関係なく、S/C 0%で大略18%、85%は14%となり後者が小さくなる。

したがって、地域によっては、10月以後における土塗り壁作業の場合、水合せ期間の影響を考慮すると、仕上げまでの日程を長く見る必要があることが推察される。気候の不安定な地域における左官業は、土塗り期間が限定されることを示唆している。

以上のように、質量変化率はS/C0%で大略16~18%、85%は11~14%を与え、後者が小さくなる。また、質量変化はS/Cに関係なく水合せ期間によって異なり、水合せ0および7日で、それぞれ大略7および15日前後でほぼ一定した後、緩慢に低下する。

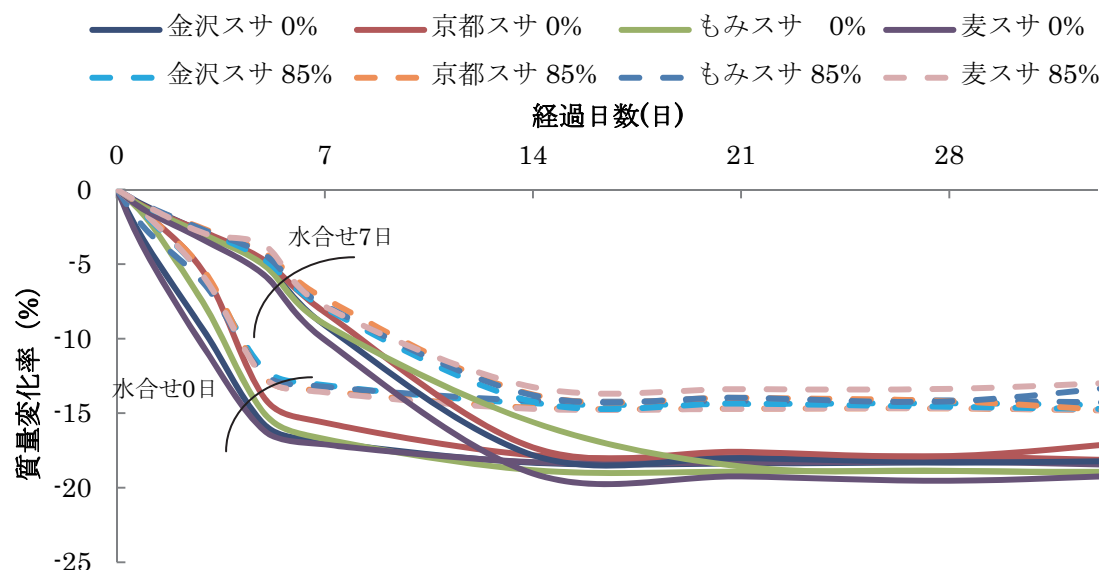


図3.5.1-26 経過日数と質量変化率の関係

(b) 微塵および紙スサ

図3.5.1-27に微塵スサおよび紙スサの経過日数と質量変化率の関係を示す。再掲すれば、紙スサはS/C0%のみ作製した。

質量変化はスサ種類に関係なく15日前後で一定した後、緩慢に低下する。また、微塵スサは質量変化率はS/C0%で18~20%、85%は15%を与え、後者が小さくなる。

紙スサは、スサ混入率に関係なく質量変化率は大略20%を得る。したがって、中塗りおよび仕上げ用スサは乾燥するまでに最低でも15日はかかることになる。

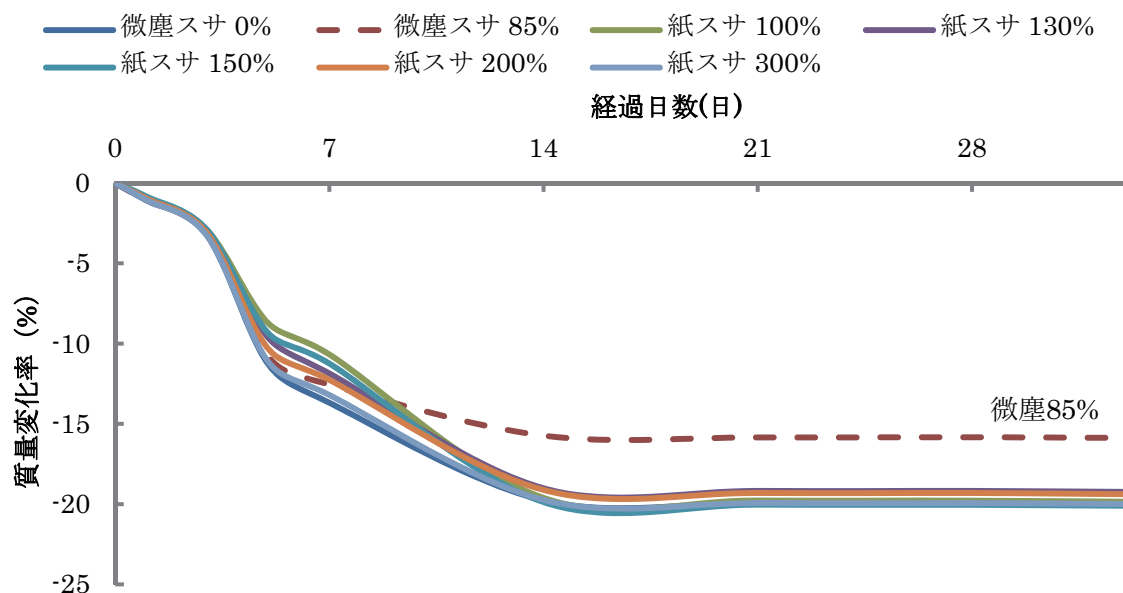


図3.5.1-27 微塵および紙スサの経過日数と質量変化率の関係

5) 曲げ、圧縮、せん断および引張強さ

(a) 曲げ強さ

図3.5.1-28(a)、(b)に曲げ応力とたわみの関係を、表3.5.1-19および図3.5.1-29に曲げ強さを示す。

曲げ応力たわみ曲線は、スサの形状および水合せ期間で傾向が異なる。荒壁用スサについてみると、水合せ0日の場合、応力は京都および金沢の地域による差は少なく、たわみ0.5~1.0mm程度で最大応力0.6~0.8N/mm²に達し、その後は緩慢に低下する。しかし、荷重初期の立ち上がりはS/C0%より85%の方が大きく現れる。水合せ7日は、たわみ0.3mm前後で最大応力0.3N/mm²に達した後、0%の低下は小さいが85%は大きくなる。稲と麦スサを比べた場合、S/Cおよび水合せで顕著な違いが認められない。

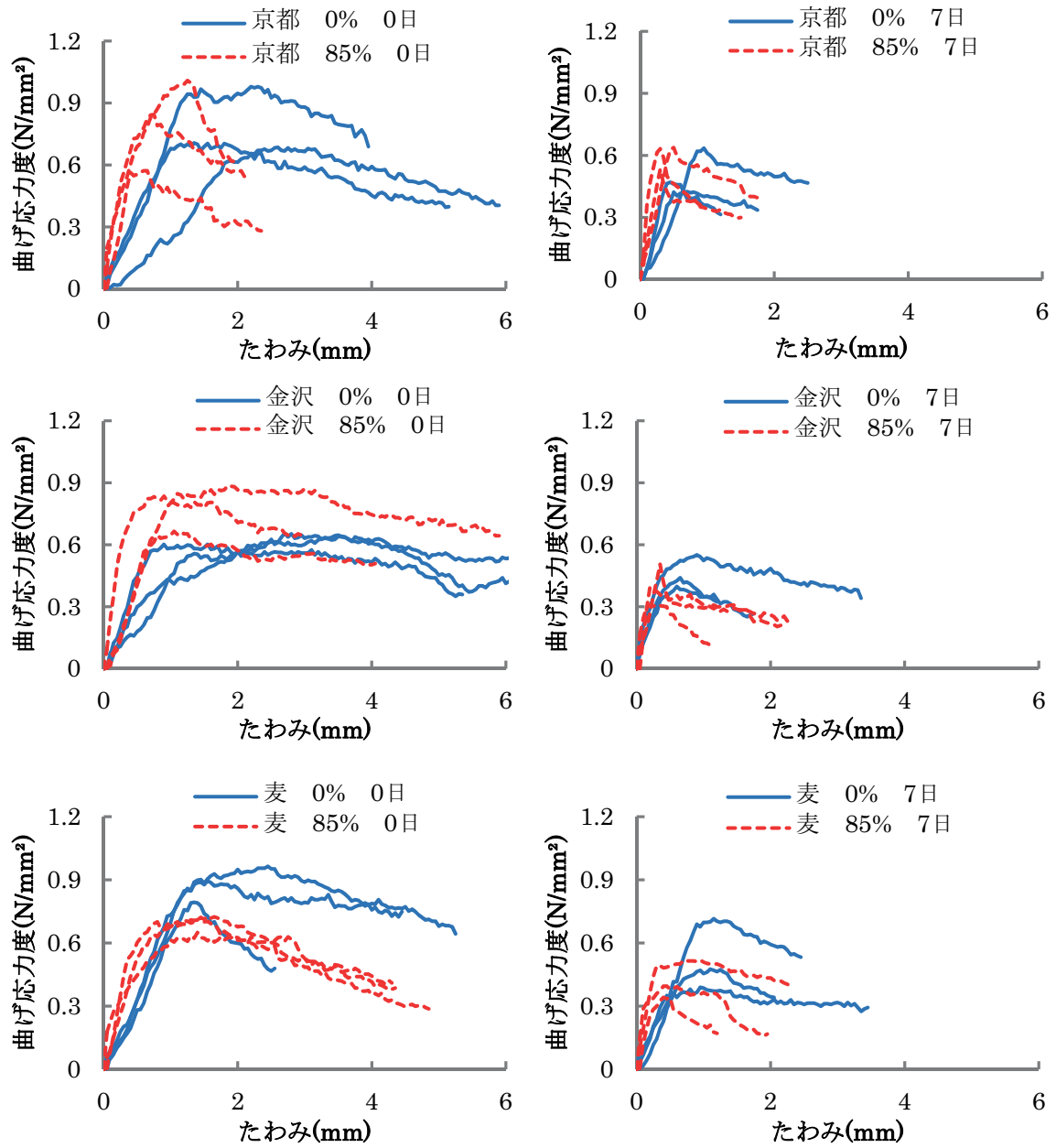
中塗および仕上げ用スサは、たわみ0.3mm前後まで線形で増加するが、その後はS/Cで異なり0%で緩慢に、85%は急激に低下する。

曲げ強さは、一部例外もあるがスサおよびS/Cに関わらず、水合せ期間で異なり0日>7日となる。前者0日は京都産、金沢産、麦およびもみで、0.5~0.7、0.6~0.7、0.7~0.8、および0.5~0.8N/mm²、後者7日は0.5~0.6、0.4、0.4~0.5および0.2~0.6N/mm²を与える。

以上のことから、応力たわみ曲線は水合せ期間による違いが顕著に現れ、曲げ強さはS/Cに関係なく0日>7日で、最大応力からの低下はスサ用途で異なる。荒壁用は緩慢、仕上げ用で急激、中塗はその中間の低下を示し、使用しているスサの長さが関係していると推察する。

実際の現場で考えた場合、荒壁用スサは地域の違いが少く曲げ強さ、入手し易さおよび切断の手間暇から考えると袋詰め市販の京都産スサが適している。しかし、中塗および仕上げ用スサは袋詰め市販スサを使用したことから差が認められない。

荒壁用スサ(a)



中塗および仕上げ用スサ (b)

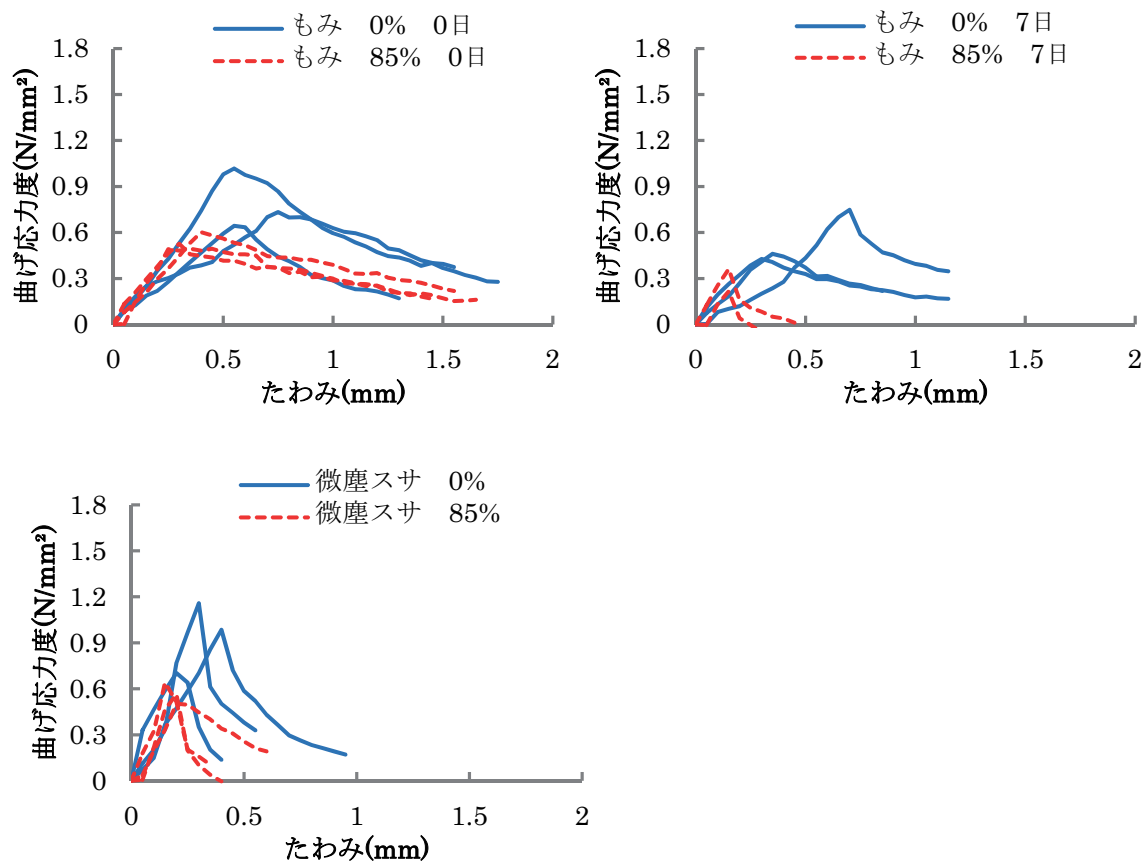


図3.5.1-28 曲げ応力とたわみの関係(a)、(b)

表3.5.1-19 曲げ強さ

	S/C			
	0%		85%	
	0日	7日	0日	7日
水合せ				
京都産スサ	0.79	0.51	0.51	0.60
金沢産スサ	0.65	0.47	0.75	0.45
麦スサ	0.88	0.53	0.70	0.42
もみスサ	0.80	0.61	0.54	0.29
微塵スサ	0.95	—	0.57	—

注) 値はN/mm²である。

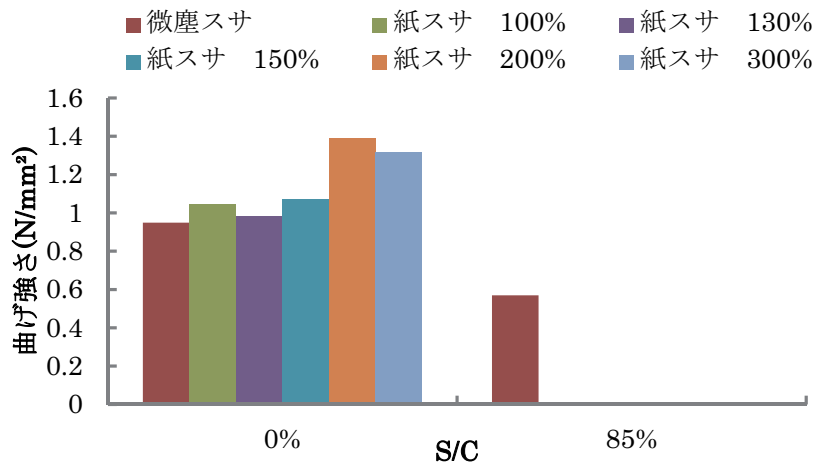
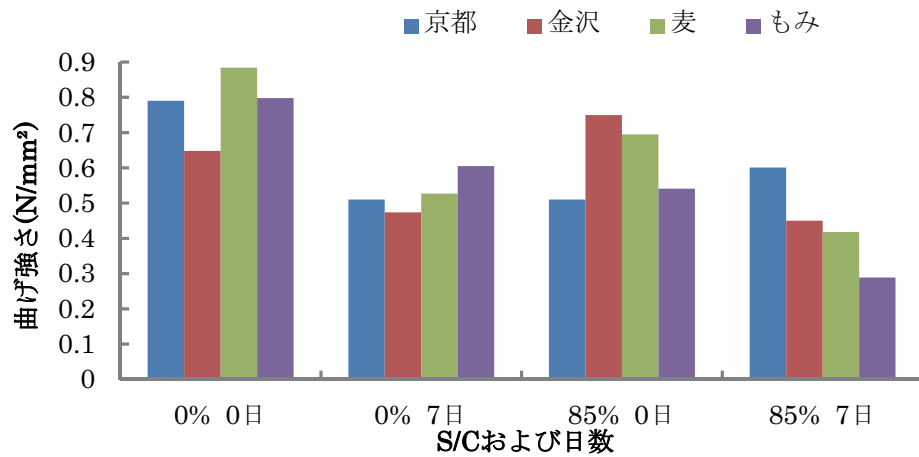


図3.5.1-29 曲げ強さ

(b) 圧縮強さ (40×40×160)

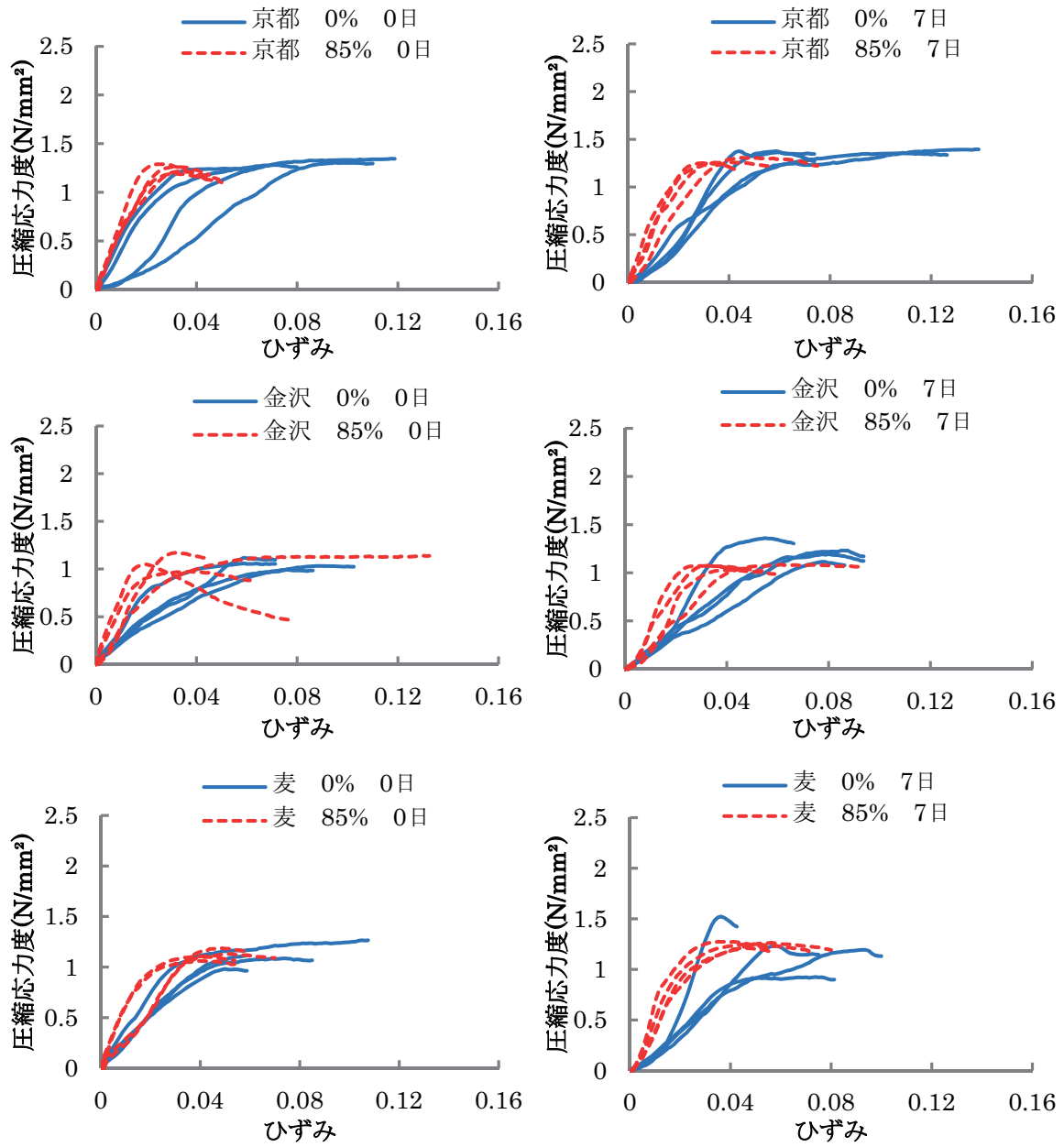
図3.5.1-30(a)、(b)に圧縮応力とひずみの関係を、表3.5.1-20および図3.5.1-31に圧縮強さを示す。

圧縮応力ひずみ曲線についてみると、スサ用途、水合せ期間およびS/Cに関係なくほとんど同様の傾向を示す。その傾向は、荒壁スサの場合、0%でひずみ0.04～0.06まで緩やかに線形で増え、85%は0.02～0.03で急激に増加し、両者とも最大応力に達した後、緩慢に低下する。中塗および仕上げ用スサは、S/C0%の場合ひずみ0.04前後まで緩慢に、85%は0.02程度まで線形で増え、最大応力後は両者とも緩慢に低下する。

圧縮強さは、荒壁用スサで差は小さく、S/Cおよび水合せ期間に関係なく京都産、金沢産、および麦スサで、2.0、1.7および1.8N/mm²前後を得る。中塗および仕上げ用スサは、水合せに関係なくS/Cで異なり0%で3.3および5.3、85%は2.0および3.8N/mm²を与え、前者が後者の1.6および1.3倍となる。また、強さはスサ用途で比べると、荒壁用スサより中塗および仕上げ用スサがS/Cに関係なく大略2倍大きくなる。

以上のことから、圧縮応力ひずみ線図の傾向は、スサおよび水合せ期間に関係なくS/C0%より85%の方が立ち上がりが急で、その後緩慢に低下する。圧縮強さは、荒壁用スサに比べ中塗および仕上げ用スサの方が強く、S/Cに関わらず大略2倍大きくなる。

荒壁用スサ(a)



中塗および仕上げ用スサ (b)

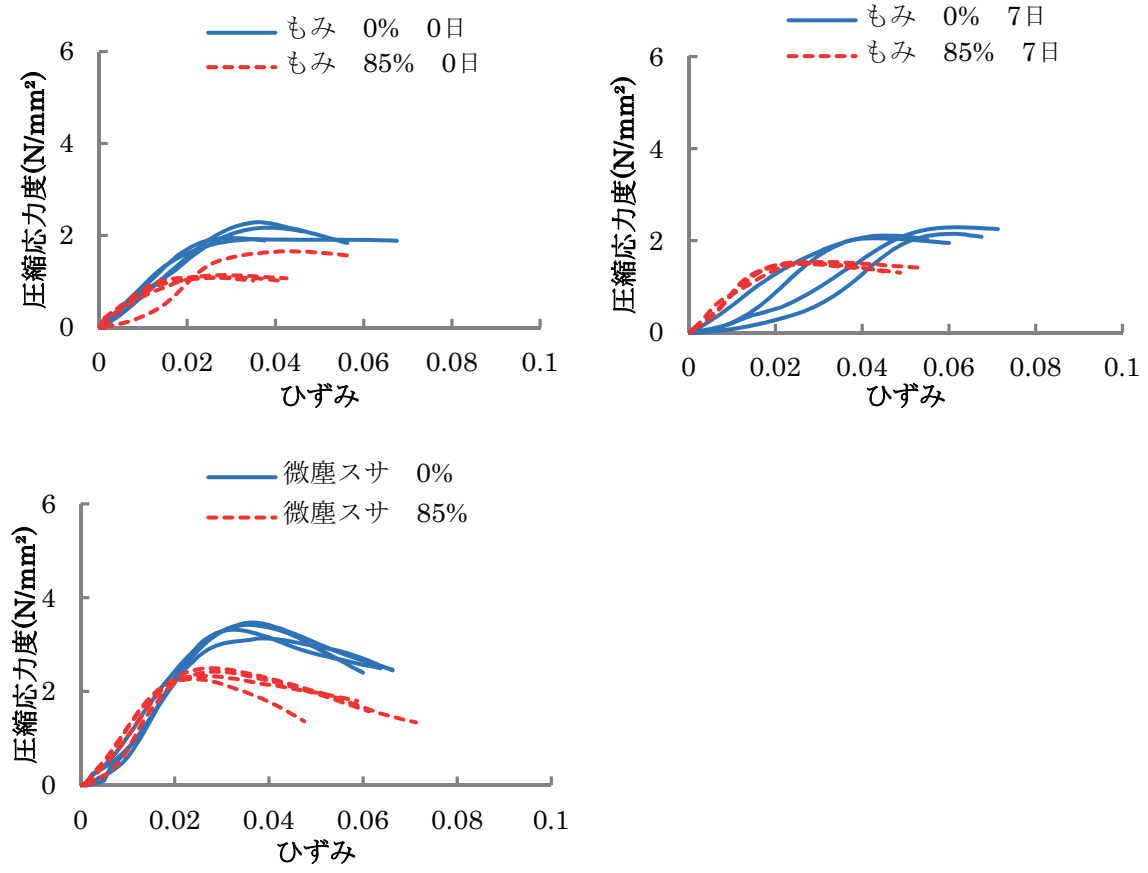


図3. 5. 1-30 圧縮応力とひずみの関係 (a)、(b)

表3.5.1-20 圧縮強さ

	S/C			
	0%		85%	
水合せ	0日	7日	0日	7日
京都産スサ	2.07	2.20	1.98	2.03
金沢産スサ	1.68	1.96	1.74	1.70
麦スサ	1.78	1.95	1.79	2.00
もみスサ	3.33	3.44	1.99	2.43
微塵スサ	5.34	—	3.81	—

注) 値はN/mm²である。

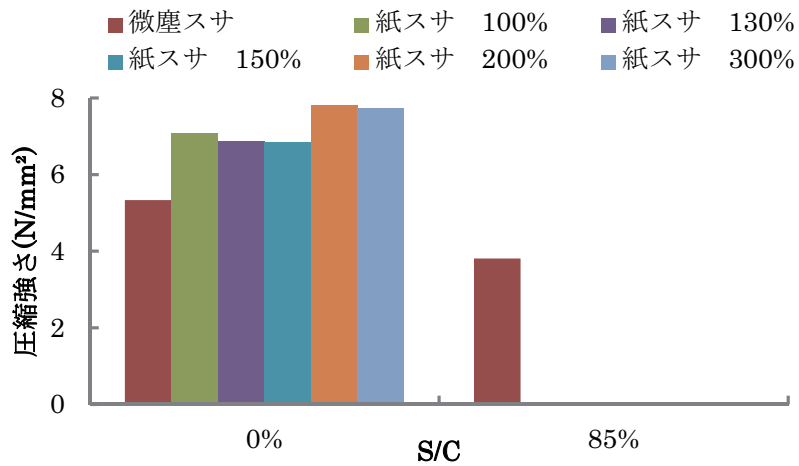
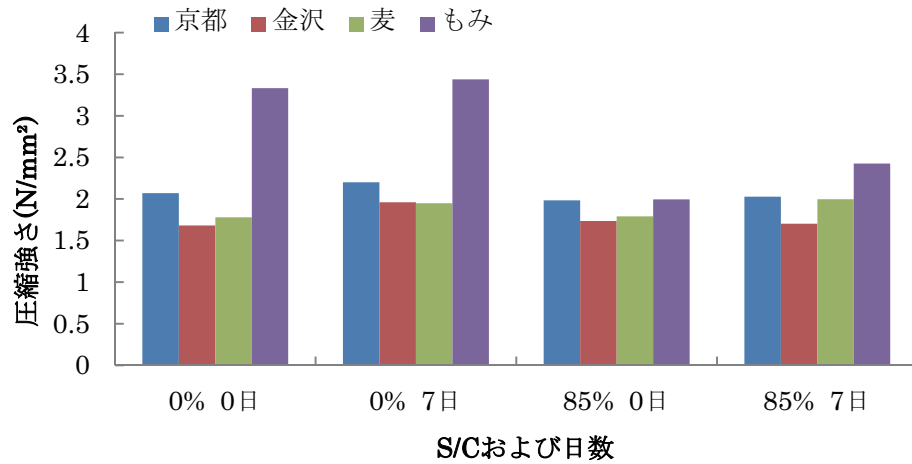


図3.5.1-31 圧縮強さ

(c) せん断強さ

図3.5.1-32(a)、(b)にせん断応力とひずみの関係を、表3.5.1-21および図3.5.1-33にせん断強度を示す。

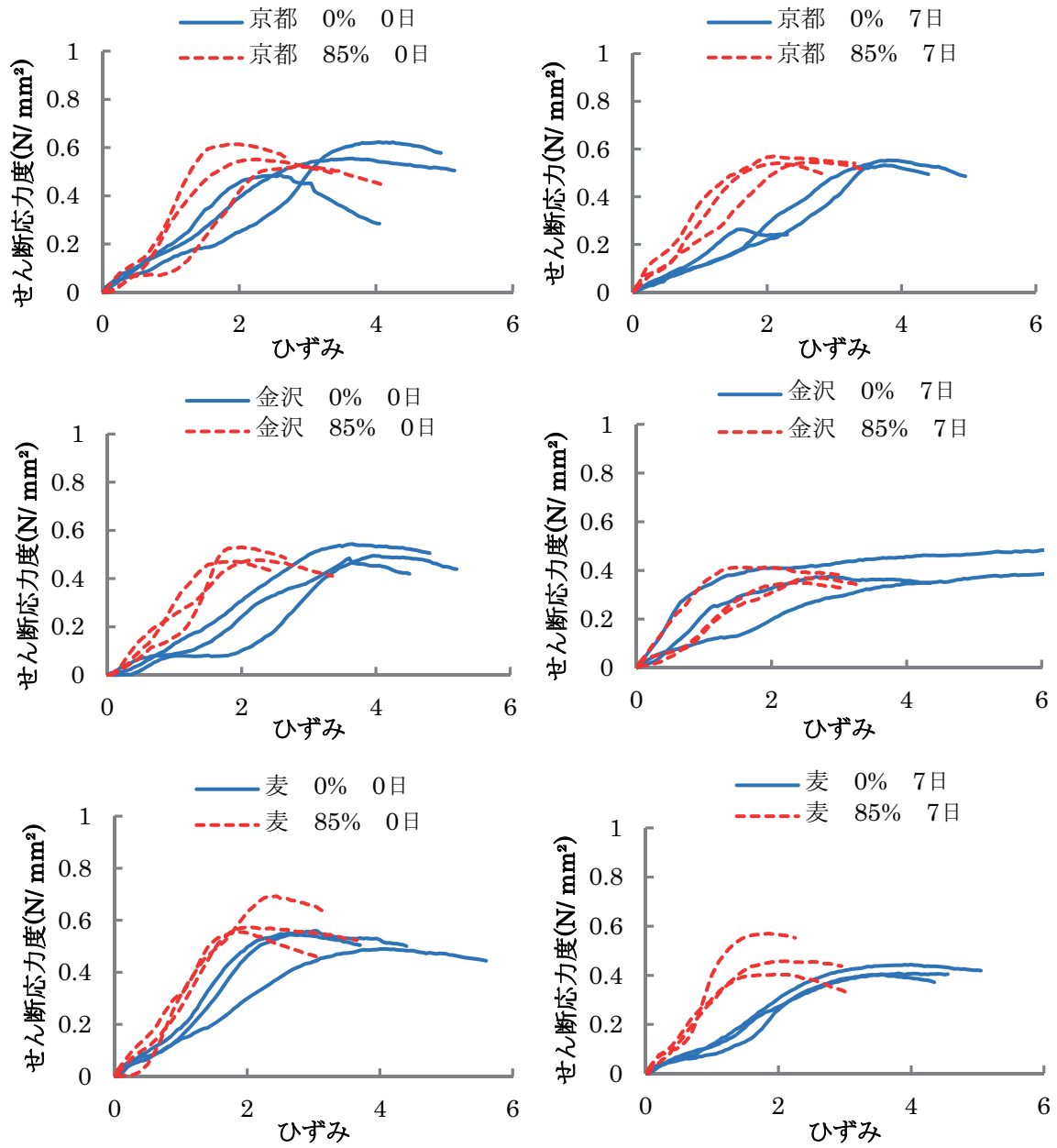
せん断応力ひずみ曲線についてみると、スサ用途でほとんど似た傾向を示す。荒壁用スサは水合せに関係なくS/Cで異なり、0%でひずみ3.0程度まで緩慢に増加するが、85%の場合2.0前後まで線形に増え、その後は両者ともゆっくりと低下する。また、粘り強さは前者が後者より大きくなる。

中塗および仕上げ用スサは、初めの線形個所で供試体の局所的な凸に載荷され、それが潰れることで全面載荷となり直線的に伸びたと考える。立ち上がりは、S/Cに関わらず初めの線形個所で緩慢に増加し、ひずみ1.5程度3.0まで線形に増え、その後急激に低下する。

せん断強さは、スサおよび水合せ期間に関係なくS/C85%より0%の方が大きくなる。その値は荒壁用スサの場合、京都産、金沢産および麦スサで、0%は3.6、3.3および3.3N/mm²、85%で3.0、2.8および3.0N/mm²前後を与え、大略1.2倍となる。中塗および仕上げ用スサのもみおよび微塵スサは、水合せに関係なくS/Cで異なり0%で5.3および1.0、85%は3.1および0.7N/mm²程度となり、大略1.5倍を与える。

以上のことから、応力はスサ用途とS/Cで異なり、荒壁用スサは0%は緩慢に85%で線形に増加し、その後は両者ともゆっくりと低下する。中塗および仕上げ用スサは、S/C0および85%は線形で増加し、その後は両者とも急激に減少する。また、せん断強さは水合せに関係なくS/C0%>85%となり、荒壁用スサで1.2、中塗および仕上げ用スサで1.5倍程度を与える。

荒壁用スサ(a)



中塗および仕上げ用スサ (b)

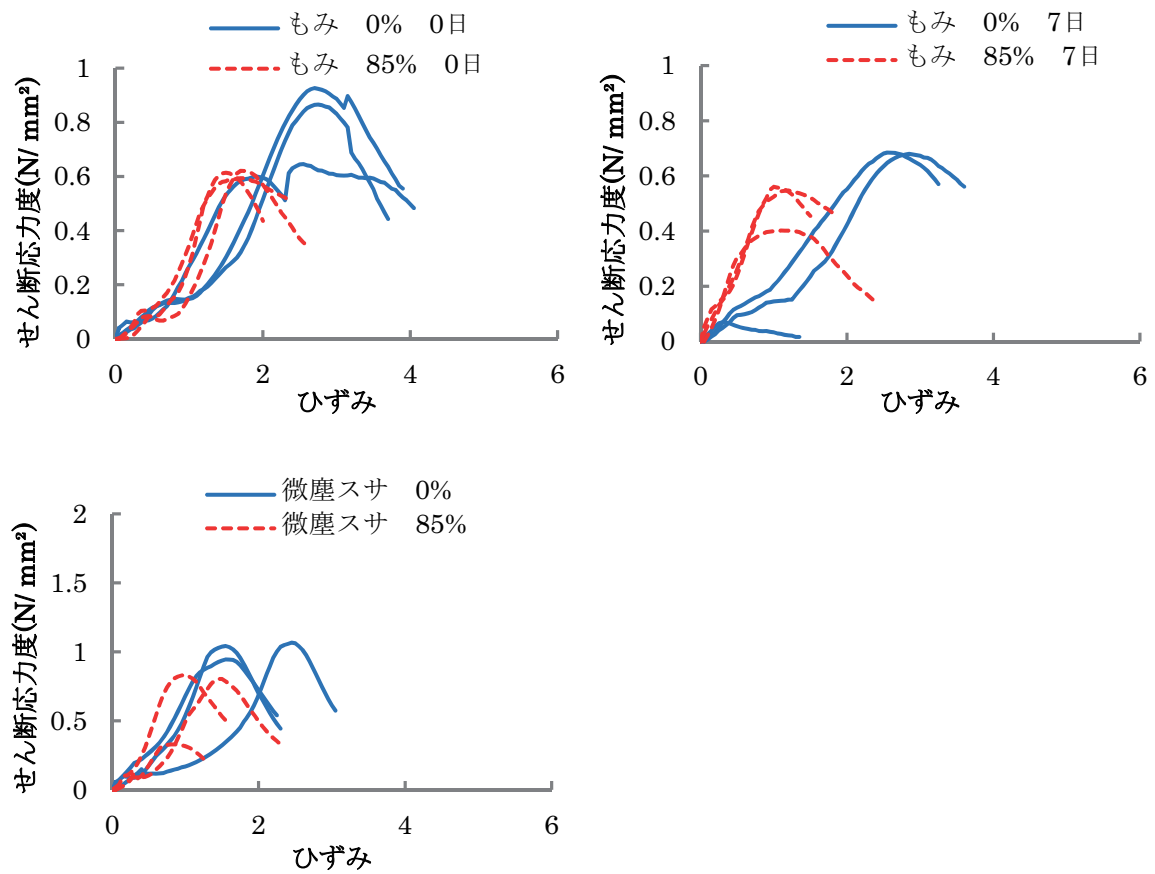


図3.5.1-32 せん断応力とひずみの関係(a)、(b)

表3.5.1-21 せん断強さ

	S/C			
	0%		85%	
水合せ	0日	7日	0日	7日
京都産スサ	3.64	3.69	2.95	3.62
金沢産スサ	3.33	3.29	2.81	2.50
麦スサ	3.30	3.98	2.74	3.13
もみスサ	5.33	4.00	3.14	3.63
微塵スサ	1.02	—	0.66	—

注) 値はN/mm²である。

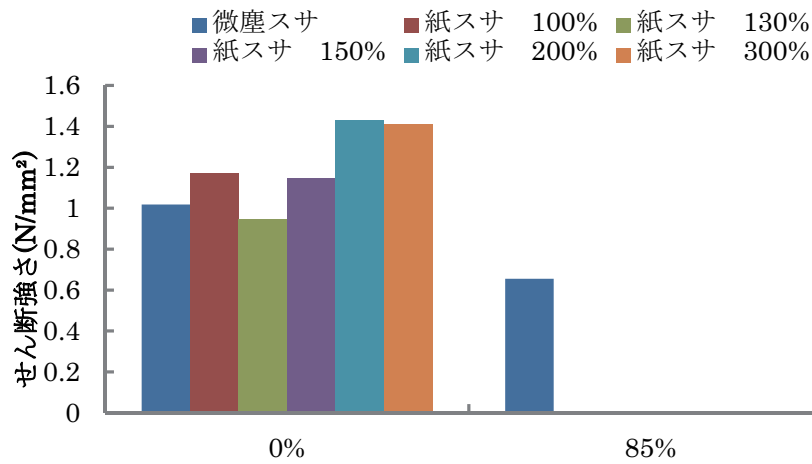
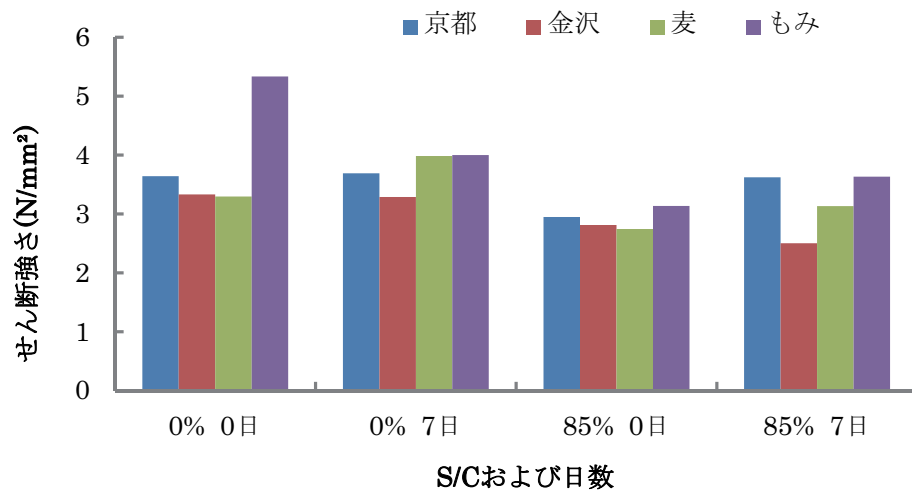


図3.5.1-33 せん断強さ

(d) 引張強さ

図3.5.1-34(a)、(b)に引張応力とひずみの関係を、表3.5.1-22および図3.5.1-35に引張強度を示す。

引張応力ひずみ線図についてみると、荒壁用スサは京都産および麦で似た傾向を示すが、金沢産の場合S/Cに関係なく水合せによって異なる。京都産および麦は、ひずみ0.3前後まで線形で増加し、その後はS/Cおよび水合せに関係なく急激に低下する。金沢産は、水合せ期間で異なり、0日でひずみ0.5程度まで緩慢に増加し、一部例外はあるが最大応力からはゆっくりと減少する。7日は、ひずみ0.3前後まで線形で増加し、その後急激に低下する。

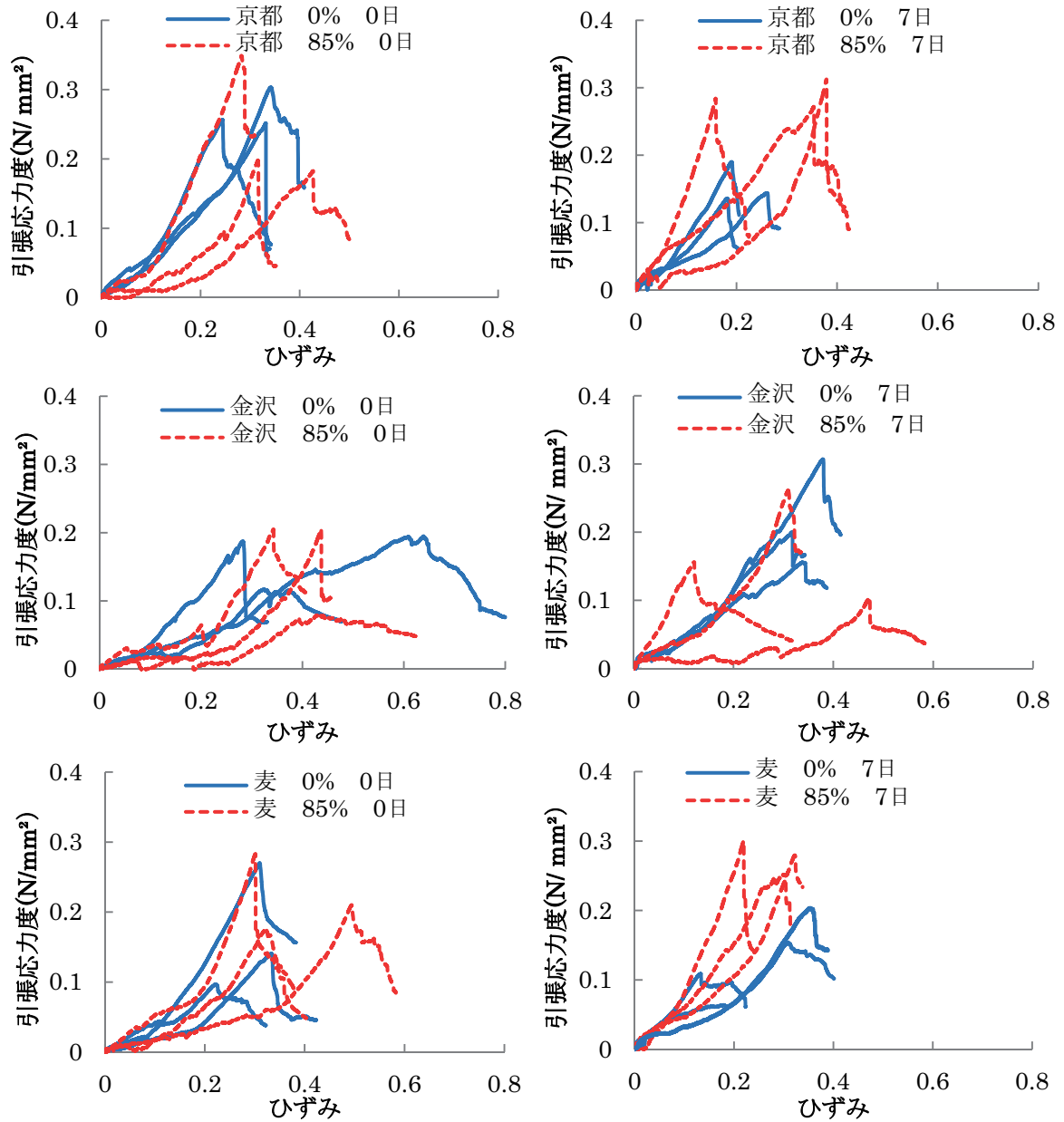
中塗および仕上げ用スサは、S/Cで異なり0%はひずみ0.2程度、85%で0.3前後まで線形で増加し、その後両者とも急激に低下する。

引張強さは、荒壁用スサの水合せ0日で大差ないが、7日は0%<85%となる。その値は、京都産、金沢産および麦で前者は0.16、0.23および0.16N/mm²、後者で0.29、0.21および0.28N/mm²を与え、0.13、0.02および0.12N/mm²の差が生じる。

最大応力からの傾向は、スサ用途、S/Cおよび水合せでほとんど差異がなく最大応力に達した後、急激に低下する。これは、引張力に対してスサが壁土内で絡み合うが、効果的に働かないことを示している。

以上のことから、引張応力ひずみ線図についてみると、荒壁用スサは京都産および麦で似た傾向を示すが、金沢産の場合S/Cに関係なく水合せによって異なる。引張強さは、スサ用途および水合せ期間に関係なくS/C0%より85%の方が強くなる。水合せ期間で見ると、S/Cで異なり0日は0%>85%、7日で0%<85%となる。

荒壁用スサ(a)



中塗および仕上げ用スサ (b)

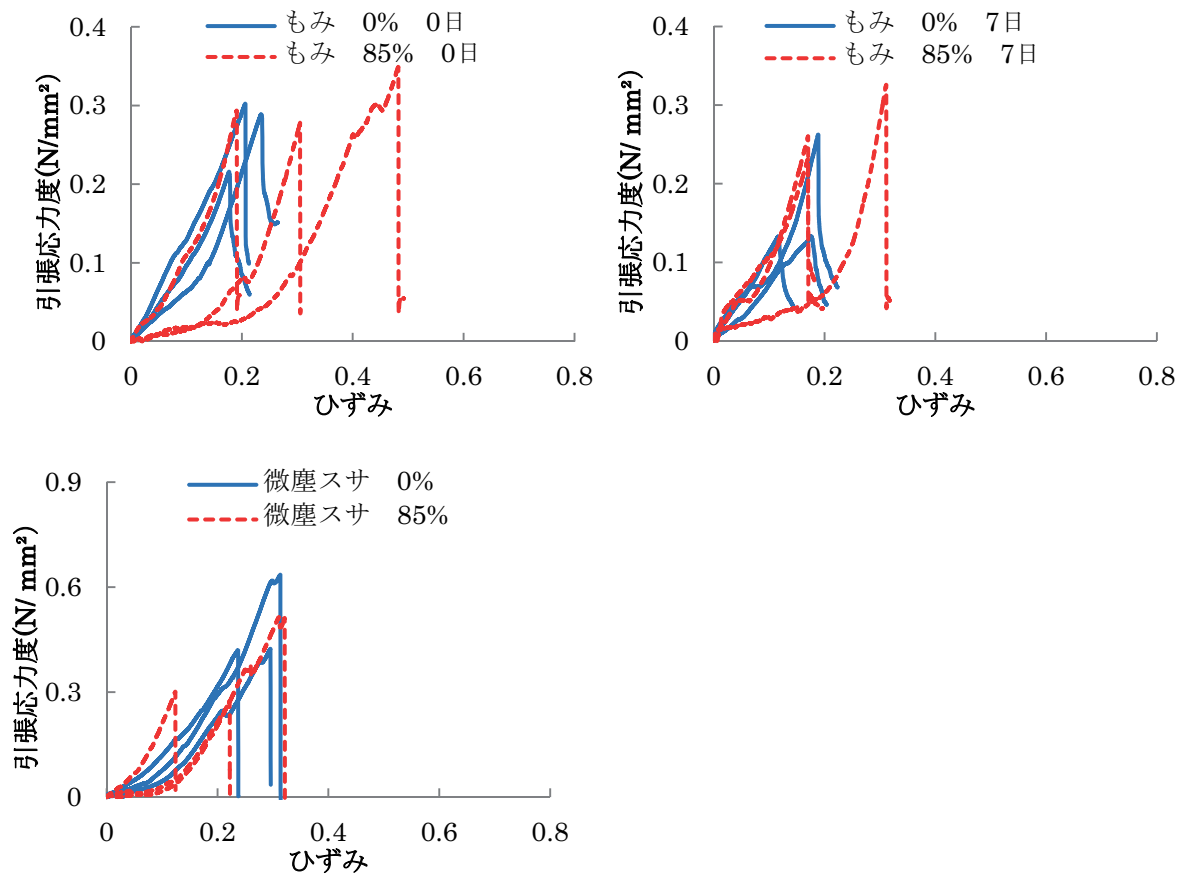


図3.5.1-34 引張応力度とひずみの関係(a)、(b)

表3.5.1-22 引張強さ

	S/C			
	0%		85%	
	0日	7日	0日	7日
水合せ				
京都産スサ	0.27	0.16	0.27	0.29
金沢産スサ	0.19	0.23	0.14	0.21
麦スサ	0.17	0.16	0.22	0.28
もみスサ	0.27	0.20	0.31	0.27
微塵スサ	0.49	—	0.36	—

注) 値はN/mm²である。

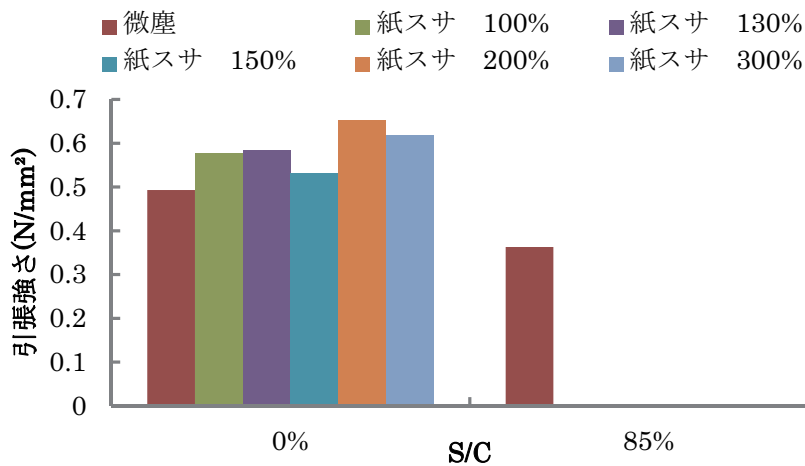
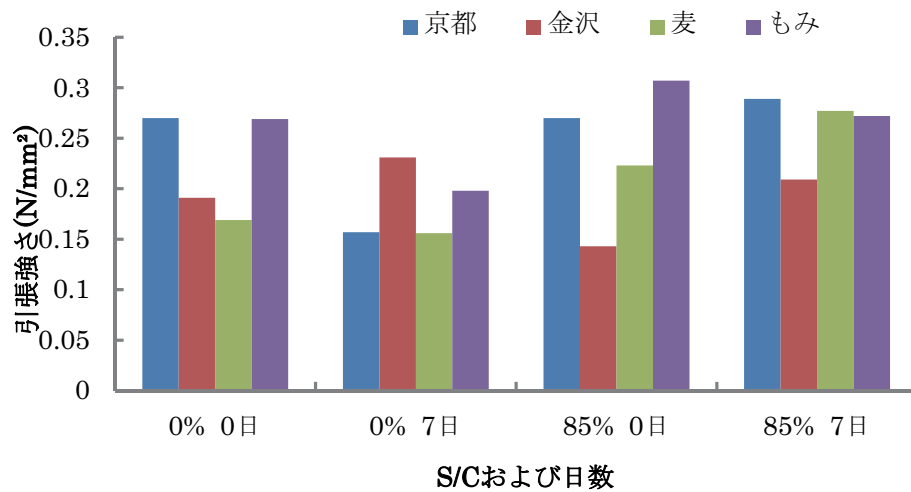


図3.5.1-35 引張強さ

(e) 曲げ強さと圧縮、せん断および引張強さの関係

図3.5.1-36に曲げ応力と個々の強さの関係、表3.5.1-23に個々の強さの比較を示す。また、図内の(a)および(b)は、荒壁用および中塗および仕上げ用スサを表わしている。

0%0日についてみると、荒壁用スサの強さは、曲げ強さを1として、安全側で見ると圧縮、せん断および引張で、2.0～2.6、3.7～5.1および0.1～0.3倍の強さとなる。0%7日は、3.7～4.3、6.9～7.5および0.3～0.4倍、85%0日で2.3～3.8、3.7～5.7および0.1～0.5倍、7日は3.3～4.7、5.5～7.4および0.4～0.6倍を示す。同様に中塗および仕上げ用スサの場合、4.1～5.6、1.0～6.6および0.3～0.5倍、5.6、6.6および0.3倍、3.6～6.6、1.1～5.8および0.5～0.6倍、8.3、12.5および0.9倍の強さとなる。

強さについて詳細にみると、荒壁用スサは、曲げ強さに比べせん断強さが大きくなるが引張強さに対しては0.5倍程度弱くなる。中塗りおよび仕上げ用スサは、圧縮およびせん断強さに対して有効に働くが引張強さは0.3～0.5倍と弱く、土壁の荒壁用に用いると効果が認められないことを示している。

曲げと圧縮および引張強さは前者が強くなるに伴い後者も増加するが、せん断強さは低下する。参考までに、曲げ強さと個々の強さの関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\text{圧縮(a)} : y = -0.3338x + 2.1088 \quad (r = -0.302 \quad n = 12)$$

$$(b) : y = 4.0172x + 0.8772 \quad (r = 0.780 \quad n = 6)$$

$$\text{せん断(a)} : y = 0.1676x + 3.1477 \quad (r = 0.057 \quad n = 12)$$

$$(b) : y = -1.3708x + 3.82 \quad (r = -0.173 \quad n = 6)$$

$$\text{引張(a)} : y = -0.0887x + 0.269 \quad (r = -0.206 \quad n = 12)$$

$$(b) : y = 0.2498x + 0.1608 \quad (r = 0.559 \quad n = 6)$$

ここに、y : 各強さ (N/mm²)

x : 曲げ強さ (N/mm²)

式からも明らかなように、相関係数rは荒壁用および中塗および仕上げ用でr=0.05～0.30およびr=0.17～0.78を示すことから、曲げ強さと個々の強さは少なくとも関係していることが認められる。

以上のことから、荒壁用スサは、曲げ強さに比べせん断強さが大きくなるが引張強さに対しては0.5倍程度となる。中塗りおよび仕上げ用スサは、圧縮およびせん断に対して有効的に働くが引張強さは0.3～0.5倍を与える。

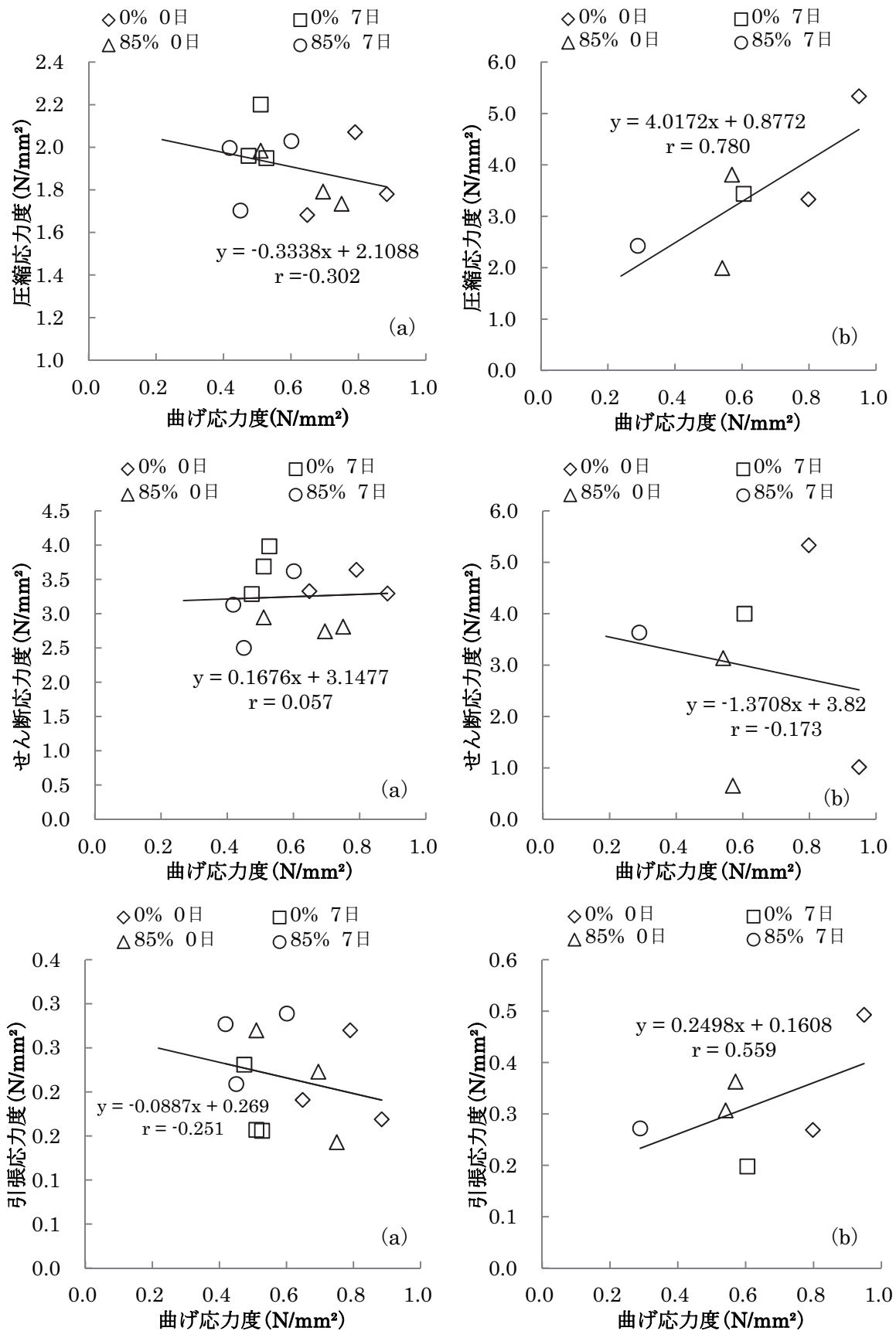


図3.5.1-36 曲げ応力と圧縮、せん断および引張応力の関係

表3.5.1-23 個々の強さの比較

項目 スサ	0% 0日							
	曲げ		圧縮		せん断		引張	
	結果	割合	結果	割合	結果	割合	結果	割合
京都産	0.79	1.00	2.07	2.62	3.64	4.61	0.27	0.34
金沢産	0.65	1.00	1.68	2.60	3.33	5.14	0.19	0.29
麦	0.88	1.00	1.78	2.01	3.30	3.73	0.17	0.19
もみ	0.80	1.00	3.33	4.18	5.33	6.68	0.27	0.34
微塵	0.95	1.00	5.34	5.62	1.02	1.07	0.49	0.52

項目 スサ	0% 7日							
	曲げ		圧縮		せん断		引張	
	結果	割合	結果	割合	結果	割合	結果	割合
京都産	0.51	1.00	2.20	4.32	3.69	7.24	0.16	0.31
金沢産	0.47	1.00	1.96	4.14	3.29	6.94	0.23	0.49
麦	0.53	1.00	1.95	3.70	3.98	7.56	0.16	0.30
もみ	0.61	1.00	3.44	5.68	4.00	6.61	0.20	0.33
微塵	—	—	—	—	—	—	—	—

項目 スサ	85% 0日							
	曲げ		圧縮		せん断		引張	
	結果	割合	結果	割合	結果	割合	結果	割合
京都産	0.51	1.00	1.98	3.89	2.95	5.78	0.27	0.53
金沢産	0.75	1.00	1.74	2.31	2.81	3.75	0.14	0.19
麦	0.70	1.00	1.79	2.58	2.74	3.95	0.22	0.32
もみ	0.54	1.00	1.99	3.69	3.14	5.80	0.31	0.57
微塵	0.57	1.00	3.81	6.68	0.66	1.15	0.36	0.64

項目 スサ	85% 7日							
	曲げ		圧縮		せん断		引張	
	結果	割合	結果	割合	結果	割合	結果	割合
京都産	0.60	1.00	2.03	3.38	3.62	6.02	0.29	0.48
金沢産	0.45	1.00	1.70	3.78	2.50	5.56	0.21	0.46
麦	0.42	1.00	2.00	4.78	3.13	7.49	0.28	0.66
もみ	0.29	1.00	2.43	8.39	3.63	12.57	0.27	0.94
微塵	—	—	—	—	—	—	—	—

注) 割合：各スサの曲げ強さを1とした時の割合である。

(4) まとめ

以上を総括すると次のようになる。

1) 荒壁用のスサ形状について

スサは、京都の場合、長さ100mm前後が多数を占め、潰れて軟らかく水を吸いやすい状態であるが、金沢産は京都産の半分以下の50mm前後が多く筒状で硬いことから、練り混ぜ後は、フローテーブル上でスサが目立ち、地域によって形状が異なる。

麦スサは、中が空洞でパイプ状になっている。また、形状はパイプおよび潰れたものに関わらず折り曲げたものを逆に戻すと2つに切れるが、稲スサは形状を保ち切れることはない。

2) フロー値

壁土の色は、荒壁および中塗スサに関わらず水合せ0および7日の黄土色に比べて、58日になると水合せしたことで灰色に変化することが確認できる。

フロー値は荒壁用で 135 ± 10 、中塗および仕上げ用は 150 ± 10 を得、スサ種類に関係なく、 $S/C0\% < 85\%$ 、水合せ7日 < 58 日 < 0 日となる。

3) 紙スサについて

(a) 紙スサの調合

基本調合を元に、紙の密度 (0.7g/cm^3) に従いスサの調合補正を計画した。実施調合は、紙スサの混入率が増加すると絶対容積が減少し、100~300%混入で969~907mlとなり、スサ量を実施調合と計画調合を比較すると前者が約1/3倍の調合であるから、絶対容積が10ではないため、絶対容積1lにおける計画調合について検討する必要がある。

(b) スサ混入率とフロー値の関係

紙スサは、スサ混入率200%までほとんど水に溶けたが、300%では紙スサの繊維が目立つようになりフロー値は低下する。

参考までに両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$y = -0.1261x + 169.75 \quad (r = -0.983 \quad n = 5)$$

ここに、y：フロー値 x：スサ混入率 (%)

(c) スサ混入率と曲げ、圧縮、せん断および引張強さの関係

個々の強さは、スサ混入率とほぼ比例している。しかし、詳細にみるといずれの強さも混入率130%で一旦低下するが、200%で最大値を得る。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\text{曲 げ: } y = 0.0018x + 0.8457 \quad (r = 0.780 \quad n = 5)$$

$$\text{圧 縮: } y = 0.0026x + 4.083 \quad (r = 0.723 \quad n = 5)$$

$$\text{せん断: } y = 0.0019x + 0.8835 \quad (r = 0.741 \quad n = 5)$$

$$\text{引 張: } y = 0.0003x + 0.537 \quad (r = 0.535 \quad n = 5)$$

ここに、y：各強さ (N/mm^2) x：スサ混入率 (%)

(d) フロー値と曲げ、圧縮、せん断および引張強さの関係

個々の強さは、一部例外はあるがフロー値が小さいほど強さは大きくなる。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

曲 げ : $y = -0.0138x + 3.1991$ ($r = -0.768$ $n = 5$)

圧 縮 : $y = -0.0184x + 7.2449$ ($r = -0.668$ $n = 5$)

せん断 : $y = -0.0144x + 3.3473$ ($r = -0.718$ $n = 5$)

引 張 : $y = -0.0021x + 0.8949$ ($r = -0.451$ $n = 5$)

ここに、 y : 各強さ (N/mm^2) x : フロー値

(e) 曲げ強さと圧縮、せん断および引張強さの関係

各強さは、曲げ、圧縮、せん断および引張で、1.04～1.40、4.2～4.8、0.9～1.4、および0.5～0.6 N/mm^2 を与え、曲げを1として、安全側で見ると圧縮で4.1～4.6、せん断は0.9～1.3、引張で0.5～0.6倍の強さとなる。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

圧 縮 : $y = 1.4799x + 2.8122$ ($r = 0.967$ $n = 5$)

せん断 : $y = 1.0598x - 0.012$ ($r = 0.949$ $n = 5$)

引 張 : $y = 0.2037x + 0.3553$ ($r = 0.804$ $n = 5$)

ここに、 y : 各強さ (N/mm^2) x : 曲げ強さ (N/mm^2)

4) 質量変化

(a) 京都産、金沢産、麦およびもみスサ

質量変化はS/Cに関係なく水合せ期間によって異なる。水合せ0および7日で、それぞれ大略7および15日前後でほぼ一定した後、緩慢に低下しS/C0%で大略16～18%、85%は11～14%を与える。

(b) 微塵および紙スサ

質量変化はスサ種類に関係なく15日前後で一定した後、緩慢に低下する。また、微塵スサは質量変化率はS/C0%で18～20%、85%は15%を与え、後者が小さくなる。

紙スサは、スサ混入率に関係なく質量変化率は大略20%を得る。したがって、中塗りおよび仕上げ用スサは乾燥するまでに最低でも15日はかかることになる。

5) 曲げ、圧縮、せん断および引張強さ

(a) 曲げ強さ

曲げ応力たわみ曲線は、スサの形状および水合せ期間で傾向が異なり、荒壁でたわみ0.5～1.0mm程度まで線形で増え最大応力0.6～0.8 N/mm^2 に達し、その後は緩慢に低下する。稲と麦スサを比べた場合、S/Cおよび水合せで顕著な違いが認められない。中塗りおよび仕上げ用スサは、S/Cで異なり0%で緩慢に、85%は急激に減少する。

曲げ強さは、水合せ0日の場合京都産、金沢産、麦およびもみで、0.5～0.7、0.6～0.7、0.7～0.8、および0.5～0.8 N/mm^2 、7日は0.5～0.6、0.4、0.4～0.5および0.2～0.6 N/mm^2 を与える。

(b) 圧縮強さ

圧縮応力ひずみ線図の傾向は、スサおよび水合せ期間に関係なくS/C0%より85%の方が立ち上がりが急で、その後緩慢に低下する。

圧縮強さは、荒壁用スサで差は小さく、S/Cおよび水合せ期間に関係なく京都産、金沢産、および麦スサで、2.0、1.7および1.8 N/mm^2 前後を得る。また、荒壁用スサに比べ中塗りおよび仕上げ用スサの方が強く、S/Cに関わらず大略2倍大きくなる。

(c) せん断強さ

せん断応力ひずみ線図はスサ用途とS/Cで異なり、荒壁用スサは0%は緩慢に85%で線形に増加し、その後は両者ともゆっくりと低下する。中塗および仕上げ用スサは、S/C0および85%は線形で増加し、その後は両者とも急激に減少する。

せん断強さは、荒壁用スサの場合、京都産、金沢産および麦スサで、S/C0%は3.6、3.3および3.3N/mm²、85%で3.0、2.8および3.0N/mm²前後を与え、大略1.2倍となる。中塗および仕上げ用スサのもみおよび微塵スサは、水合せに関係なくS/Cで異なり0%で5.3および1.0、85%は3.1および0.7N/mm²程度となり、大略1.5倍を与える。

(d) 引張強さ

引張応力ひずみ線図についてみると、荒壁用スサは京都産および麦で似た傾向を示すが、金沢産の場合S/Cに関係なく水合せによって異なる。引張強さは、荒壁用スサの水合せ0日で大差ないが、7日は0%<85%となる。その値は、京都産、金沢産および麦で前者は0.16、0.23および0.16N/mm²、後者で0.29、0.21および0.28N/mm²を与え、0.13、0.02および0.12N/mm²の差が生じる。

(e) 曲げ強さと圧縮、せん断および引張強さの関係

荒壁用スサは、曲げ強さに比べせん断強さが大きくなるが引張強さに対しては0.5倍程度となる。中塗および仕上げ用スサは、圧縮およびせん断強さに対して有効に働くが引張強さは0.3~0.5倍を与え、土壁の荒壁用に用いると効果が認められない。

参考までに、曲げ強さと個々の強さの関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\text{圧縮(a)} : y = -0.3338x + 2.1088 \quad (r = -0.302 \quad n = 12)$$

$$(b) : y = 4.0172x + 0.8772 \quad (r = 0.780 \quad n = 6)$$

$$\text{せん断(a)} : y = 0.1676x + 3.1477 \quad (r = 0.057 \quad n = 12)$$

$$(b) : y = -1.3708x + 3.82 \quad (r = -0.173 \quad n = 6)$$

$$\text{引張(a)} : y = -0.0887x + 0.269 \quad (r = -0.206 \quad n = 12)$$

$$(b) : y = 0.2498x + 0.1608 \quad (r = 0.559 \quad n = 6)$$

ここに、y : 各強さ (N/mm²) x : 曲げ強さ (N/mm²)

壁土の品質改良

(1) 実験概要

本実験では、粒度に差のある壁土用原土について簡易な改善方法を検討している。

1) 使用材料、基本調合および混合割合

(a) 使用材料

図3.5.1-37に粒度分布を示す。改善する土は、粒度分布より京都および鳥取荒壁以外で、粒子径0.6~100 μ m前後を加積曲線より75 μ m以下の値を与えた。このことから、改良土に鳥取産荒壁を使用することを決定した。原土は京都産土を使用した。スサは、供試体内のスサ混入率に差が生じないようにもみスサを用いた。

(b) 基本調合

表3.5.1-24にS/C別の調合を示す。調合は、砂原土比（以後、S/Cと表記する）0および85%とし、稲スサの基本調合を参考にした。

表3.5.1-24 基本調合（稲スサ）

砂原土比 S/C (%)	質量調合 (g/l)			
	原土 (C)	砂 (S)	水 (W)	スサ (St)
0	1096.1	0	449.4	27.4
85	730.9	621.3	385.0	19.3

注) 砂原土比 (S/C) は質量比である。

(c) 改良方法

改良方法は、粒度分布より確認し京都産：鳥取産土で10：0、7：3、5：5、3：7および0：10（以後、10：0、7：3、5：5、3：7および0：10と表記する）とし、原土の重さに対して混合を行う。なお、3：7に関しては、原土の不足によりS/C0%の供試体と ϕ 20×40mmの供試体を作製した。

2) 壁土試料の作製

表3.5.1-25に壁土の練り混ぜ時間を示す。壁土の練混ぜには、公称容量5lのオムニミキサを用い、材料はスサ、土、砂および水の順に投入し、表3.5.1-25に従い所定時間練混ぜた。

表3.5.1-25 壁土の練混ぜ時間

回転記号	回転数 (r/min)	時間 (秒)
		0日
5.5~	330~	15
6.0	380	15
6.0	380	30
6.5	425	60
練混ぜ時間		120

(2) 実験方法

1) 供試体の作製 (ϕ 20×40mm)

供試体の作製は、以下に示す。

①土は、JIS A 1204（土の粒度試験）に従い試験を行った。土は2.5mm (2500 μ m) ふるいを通過

したものそれぞれ150g採取した。

②採取した土に水を重さの大略3割加え、ペースト状にする。

③内径2mm、高さ40mmの亚克力パイプ（シリンダー）の内側に薄くグリースを塗り、自由に収縮できるようにする。

④亚克力パイプ4本に試料を流し込む。予備実験より、ペースト状で流し込まないと供試体に空隙が多く、途中で破損することから決定した。

⑤供試体乾燥後に2本の丸棒で平行になるように挟み、上下部の変形部分にやすりをかけて平行にする。

⑥4本の試験体は直径、高さを揃えるためにJIS A 1107（コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮試験方法）を参考に補正している。

2) 供試体の作製（□40×40×160mm）

型枠は、モルタル供試体成形用型三連型枠（□40×40×160mm）を使用し、練混ぜ後の壁土試料を、三連型枠（ようかん）に詰める前にセメントペースト練混ぜ用（手練り用）さじでかき混ぜ、容器に取り出した。

壁土試料は、型枠に二層に分けて詰め、モルタル供試体作製用型の突き棒（□35×35mm）で各層5回突きを4回繰り返し（20回）、仕上げは上端をならし成形した。

強度試験用供試体は、曲げおよび圧縮試験用に1枠、引張試験用に1枠を作製した。また、試料は鳥取産原土の量が少なく、せん断試験用は作製していない。

3) 試験方法

(a) 粒度分布

粒度分布試験は、レーザー回折式粒度分布測定装置SALD-3000S（株式会社 島津製作所）を用い、測定値が安定するまで行った。

試料は、原土約3gを50g程度の水に溶かし攪拌水槽に投入した。原土（粉体）の場合、粒径の大きな小石等を避け、粒の小さな粉体試料を投入した。これは、小石等の試料を投入すると装置内のガラスに傷がつく恐れからである。尚、水に溶かした試料は粒度が安定するまで繰り返し試験したが、原土（粉体）の場合、2回程度で終了した。

(b) 圧縮試験

試験はJIS A 1216（土の一軸圧縮試験）に従い、載荷速度は0.5mm/minとした。圧縮強度 σ_c はJIS A 1107（コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮試験方法）に従い、補正係数Sを乗じて求めた。表3.5.1-26に補正係数を示す。

$$\sigma_c = N/A$$

ここに、 σ_c ：圧縮強度（N/mm²）、N：最大荷重（N）、S：補正係数 A：断面積（cm²）

表3.5.1-26 補正係数（JIS A 1107）

高さ と 直径 と の 比 h/d	補正係数	備考
2.00	1.00	h/dがこの表に表す値の間にある場合、補正係数は、補間して求める。
1.75	0.98	
1.50	0.96	
1.25	0.93	
1.00	0.87	

4) 養生方法および脱型

試験体の養生は、自然乾燥とし実験室内で温度、湿度に関わらず気中養生とした。脱型は供試体作製後7日目を目安とした。

(3) 実験結果および考察

1) 粒度分布

図3.5.1-37に地域別の、図3.5.1-38に混合別の粒径と頻度、積算値の関係を示す。

図3.5.1-37の粒度分布から、京都および鳥取県荒壁以外は粒径 $75\mu\text{m}$ より小さい粒径が多数を占める。しかし、鳥取県荒壁は $1000\mu\text{m}$ 前後を多く占める粗粒な原土であることから、改良土に使用することを決定した。

図3.5.1-38より粒径頻度分布は、混合の種類に関係なく粒径 $75\mu\text{m}$ 前後の値を得る。分布形状は、水溶液と粉体に関係なく同じ傾向がみられる。したがって、水溶液での測定は適切と考える。

粒径加積曲線は、京都産および鳥取産で傾きが少し異なる。前者は緩やかなのに対し、後者は急である。分布は、京都産試料で $75\mu\text{m}$ 程度が多数を占めるのに対し、鳥取産は $1000\mu\text{m}$ 前後が多い。また、京都産に鳥取産を混合すると京都単体の粒度分布に近づくことを確認できるが、後者を増やしても京都単体の分布を超えないことが確認できる。

粒度分布および加積曲線は、水に溶かした試料と原土の粉体は、絶対値に差はあるがほぼ似た傾向を与える。したがって、水に溶かした試料について検討している。

以上のことから、混合割合に関係なく粒径は粒径 $75\mu\text{m}$ 前後で積算値50%を得る。また、分布形状は水溶液と粉体に関係なく同じ傾向が見られることから、水に溶かした試料での検討は適切である。

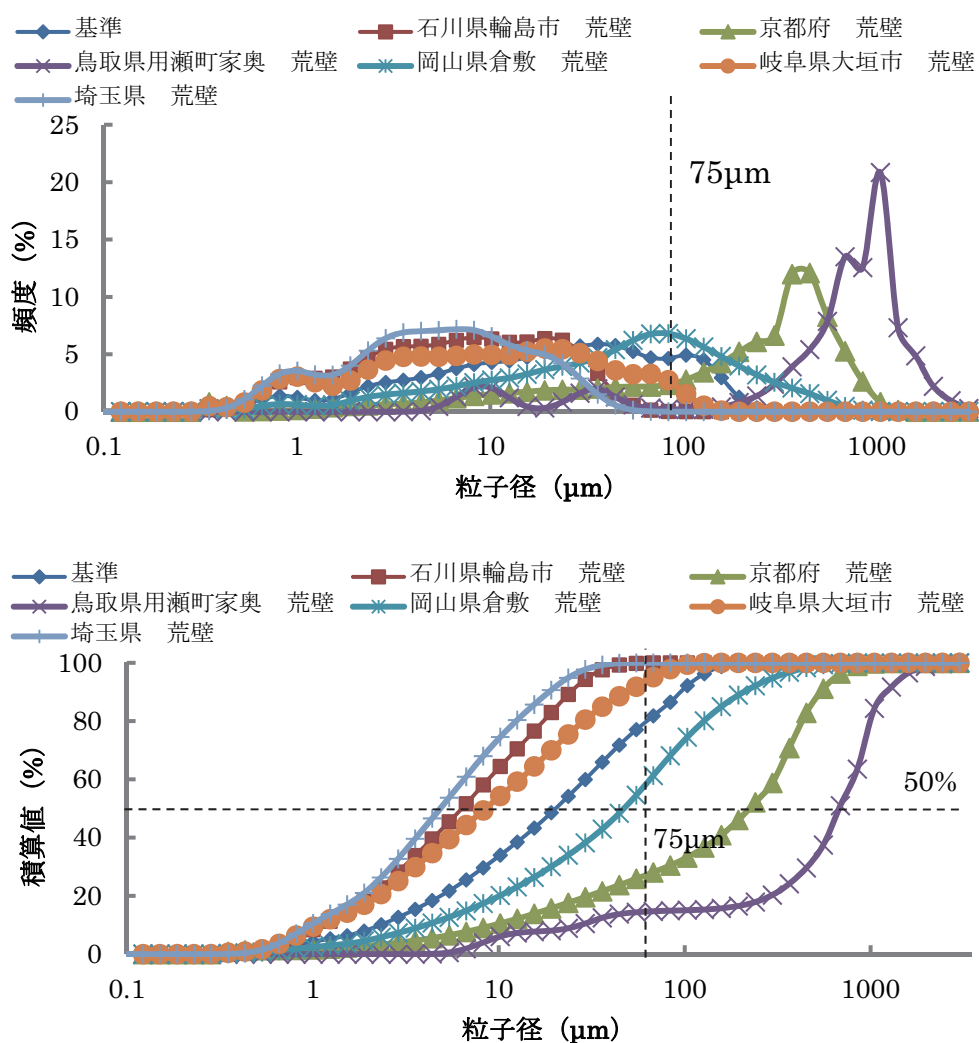


図3.5.1-37 地域の粒度分布および加積曲線

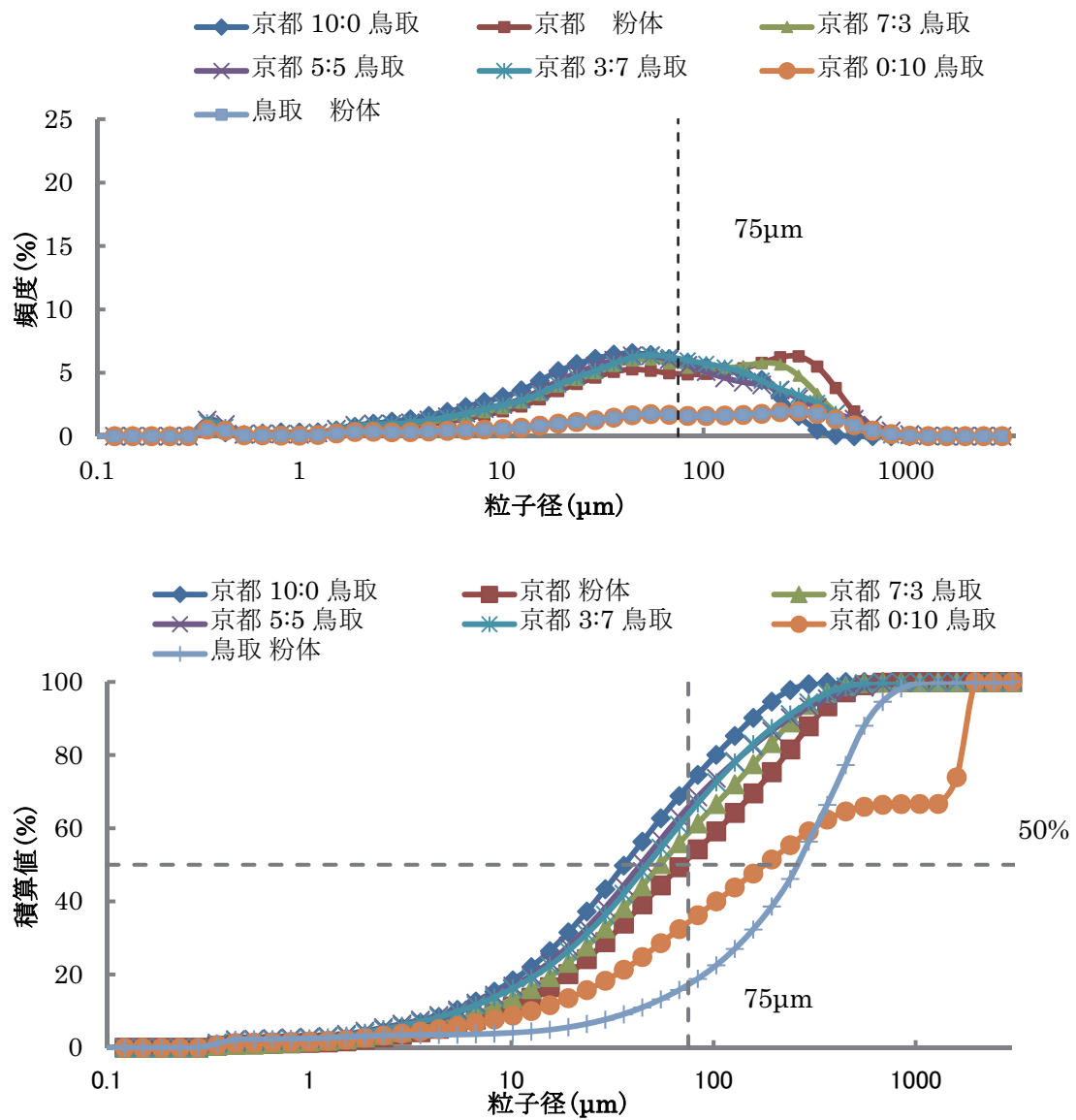


図3.5.1-38 混合別の粒度分布および加積曲線
 注) 粉体：原土を水に投入攪拌した物

2) フロー値

図3.5.1-39および図3.5.1-40にフローの写真および混合と地域ごとのフロー値を示す。

フロー値は、京都産100%の混合割合10 : 0で133となり、フローテーブル上での広がりが小さい。しかし、鳥取産100%の0 : 10で144を与え前者より大きくなり、鳥取産の混合割合が多くなるのに伴い、フロー値は硬から軟の状態になる。フロー値の違いは、両者の粒度分布からも示されるように、後者は粒径500 μm 以上が多くを占めることから明らかである。したがって、他の混合割合のフロー値は、10 : 0と0 : 10の間を示す。

混合割合とフロー値の関係は、前者が大きくなるのに伴い後者も増加する傾向がS/Cに関係なく見られる。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\text{S/C } 0\% : y=2.7x+135.48 \quad (r=0.758 \quad n=5)$$

$$85\% : y=1.4x+132.29 \quad (r=0.449 \quad n=5)$$

ここに、y : フロー値

x : 混合割合 (%)

式からも明らかなように、相関係数rはS/C0および85%で $r=0.76$ および 0.45 を示すことから、混合割合とフロー値は前者で密接に、後者は少なくとも関係していることが認められる。

以上のように、鳥取産に京都産を混合すると、フロー値が 135 ± 10 に近づくとともに、壁土に色の変化が現れる。

混合割合	S/C=0%	S/C=85%
京都：鳥取 10：0		
京都：鳥取 7：3		
京都：鳥取 5：5		
京都：鳥取 3：7		—
京都：鳥取 0：10		

図3.5.1-39 フロー

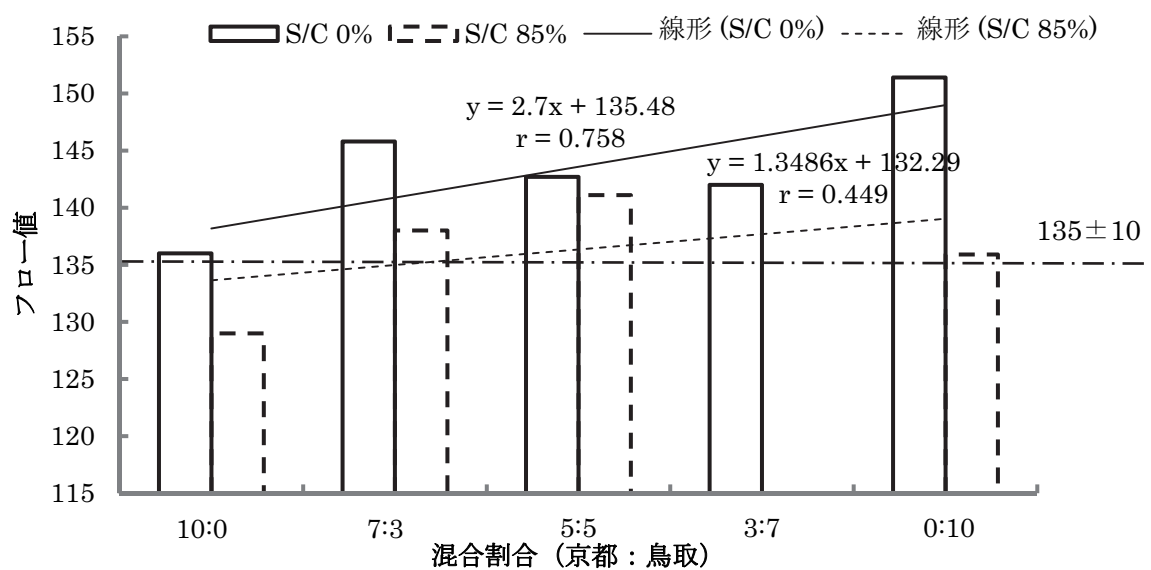


図3.5.1-40 S/C別フロー値 (京都：鳥取)

3) 質量変化

図3.5.1-41に質量変化を示す。

質量変化はS/Cで異なり0%で9日、85%は6日前後でほぼ一定した後、緩慢に低下する。また、質量変化が安定するまでに3日の差がある。質量変化率は、S/Cおよび85%に関係なく、材齢7日前後まで急激に低下するが、その後は両者の違いが顕著に現れ、所定材齢まで緩慢に低下する。その値は、前者で18～20%、後者は12～15%を与え、0%＞85%を得る。

質量変化率はS/Cで異なり0%で18～20%、85%は12～15%を与え、後者が小さくなる。

以上のように、質量変化率はS/C0%で18～20%、85%は12～15%でほぼ一定する。

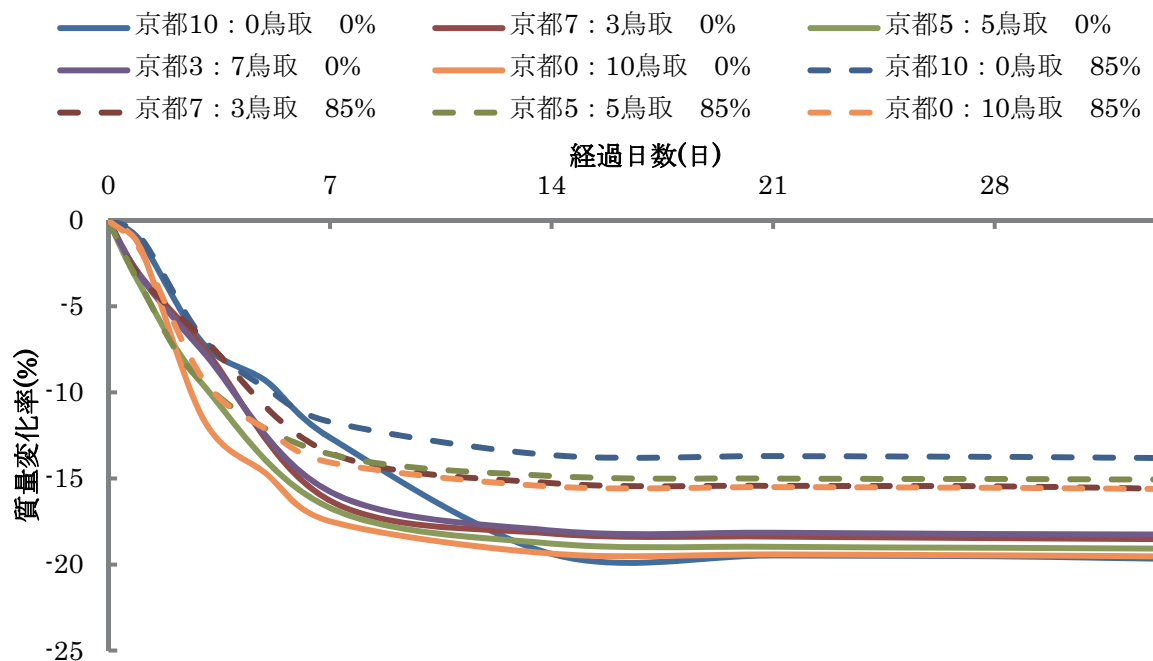


図3. 5. 1-41 混合別の質量変化率と材齢の関係

4) 圧縮強度（φ20×40）、曲げ、圧縮（40×40×160）、せん断および引張強度

(a) 圧縮強度（φ20×40）

図3.5.1-42および図3.5.1-43に圧縮応力とひずみおよび圧縮強度と混合割合の関係を示す。

ひずみ曲線は混合割合によって顕著な違いが認められる。詳細にみると、立ち上がりは混合割合10：0で急激な増加を見せるが、0：10は極めて緩慢である。また、原土が占める割合で傾向は偏る。しかし、最大応力度は混合割合10：0、7：3、5：5、3：7および0：10で、それぞれ大略4.0、2.5、1.5、1.0および0.5N/mm²を得るが、ひずみは0.015～0.02で大差がない。

圧縮強度は、参考までに混合割合10：0を1とすると、それぞれ0.6、0.3、0.2および0.1倍となる。しかし、混合割合を多くすると10：0に強度は近づくが、最大応力度を超えることはない。

圧縮強度と混合割合の関係は、後者が大きくなるのに伴い前者は低くなる傾向が見られる。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$y = -0.818x + 4.328 \quad (r = -0.970 \quad n = 5)$$

ここに、y：フロー値

x：スサ混入率（%）

式からも明らかなように、相関係数 $r = 0.97$ を示すことから、圧縮強度と混合割合は密接に関係していることが認められる。

以上のことから、ひずみ曲線は、混合割合によって顕著な違いが認められ、圧縮強度は10：0を1とすると、それぞれ0.6、0.3、0.2および0.1倍となるが、ひずみは0.015～0.02で大差がない。

粒度分布の大きな原土には、微粒分の多い原土を混合することで改良できると言える。

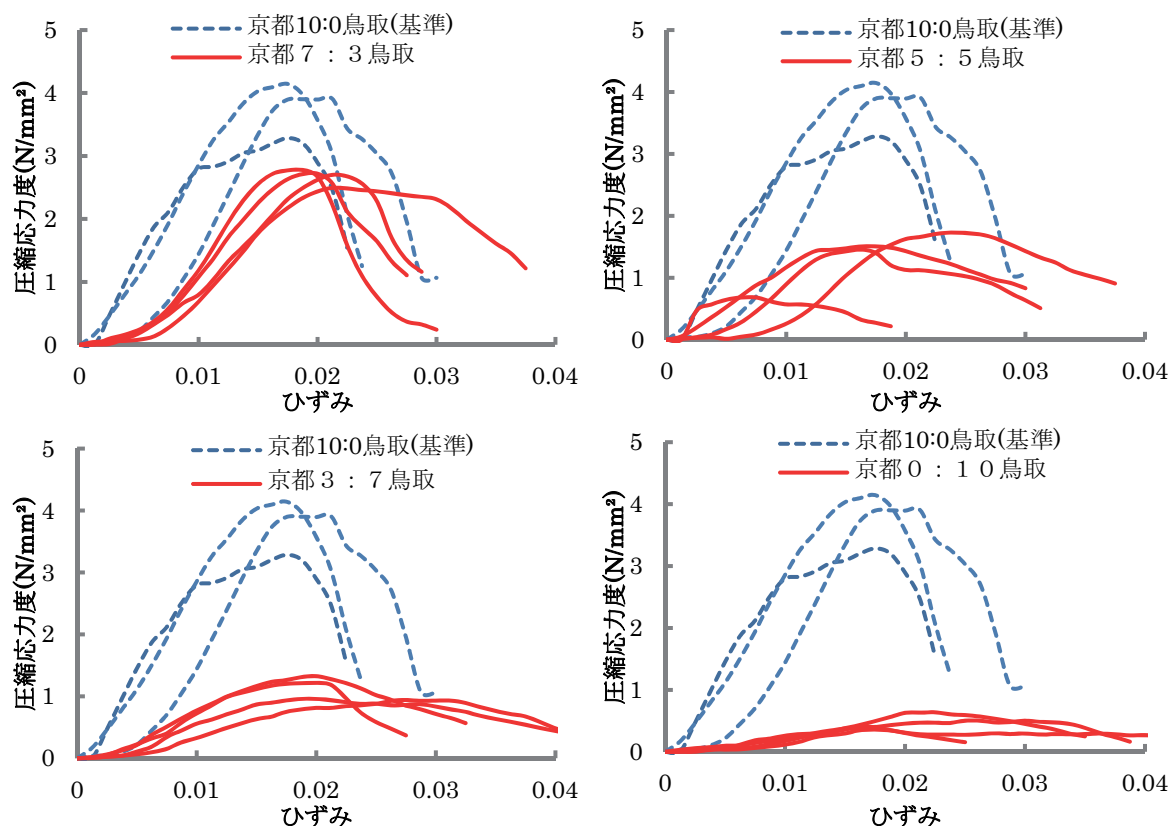


図3.5.1-42 圧縮応力とたわみの関係

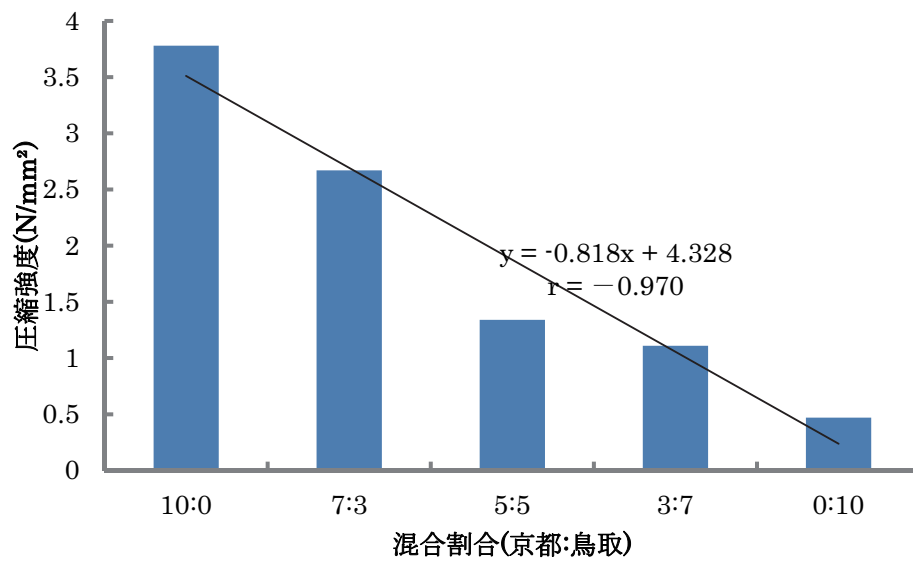


図3.5.1-43 混合割合と圧縮強度の関係

(b) 曲げ強度

図3.5.1-44、-45および図3.5.1-46に曲げ応力とたわみ、混合割合と強度およびS/Cと強度の関係を示す。混合割合3：7の85%は鳥取産原土が少なく作製していない。

曲げ応力たわみ曲線は、最大応力に違いはあるが混合割合に関係なくS/Cで似た傾向を示す。しかし、荷重初期の立ち上がりは0%よりも85%は急であるが、最大応力度は小さい。たわみ曲線は、前者の場合、ひずみ0.3前後、後者は大略0.1mmで最大応力度に達する。その値は、混合割合10：0から0：10に近づくのに伴い、S/C0および85%で0.9～0.2および0.4～0.1程度低下する。また、85%の混合割合3：7は5：5と0：10の間であることを推測できる。

曲げ強度は、混合割合10：0、7：3、5：5、3：7および0：10のS/C0%で、それぞれ0.9、0.7、0.6、0.4および0.2N/mm²、85%は0.4、0.3、0.3および0.1N/mm²を示し、同一混合割合の場合、前者が後者の大略2倍となる。このことは、原土とスサの壁土よりも、それに砂が混入されることで強度が1/2になることを現わしている。

参考までにS/C0%と85%の強度を一次式と看做し、切片を0とした場合を以下に示す。

$$\text{混合割合と強度の関係S/C 0\% : } y = -0.18x + 1.132 \quad (r = -0.989 \quad n = 5) \cdots (1)$$

$$85\% : y = -0.0637x + 0.4777 \quad (r = -0.989 \quad n = 4) \cdots (2)$$

ここに、y：曲げ強度 (N/mm²)

x：混合割合

$$\text{S/C0と85\%の関係} \quad : y = 0.3513x + 0.0794 \quad (r = 0.999 \quad n = 4) \cdots (3)$$

$$\text{切片0の場合} \quad : y = 0.4571x \quad (r = 0.944 \quad n = 4) \cdots (4)$$

ここに、y：S/C85%の曲げ強度 (N/mm²)

x：S/C0%の曲げ強度 (N/mm²)

式からも明らかなように、相関係数rはr=0.94以上を示すことから、S/C別の曲げ強度は異なる供試体ではあるが密接に関係している。ここで、混合割合3：7の85%の曲げ強度は式(3)から0.23N/mm²であることが推測できる。また、混合割合が0：10から10：0に近づくのに伴いS/Cで強度の差が大きくなる。

以上のことから、曲げ応力たわみ曲線は、最大応力度で異なるが混合割合に関係なくS/Cで似た傾向を示す。また、曲げ強度は、混合割合に関わりなくS/C0%が85%の大略2倍となる。混合割合3：7のS/C85%においても、5：5と0：10の間で同様の傾向と推察する。

壁土用原土は、粒度分布によって粘りなどの性質が異なるが、他の原土を混合することにより性質を改善できることを明らかにしている。

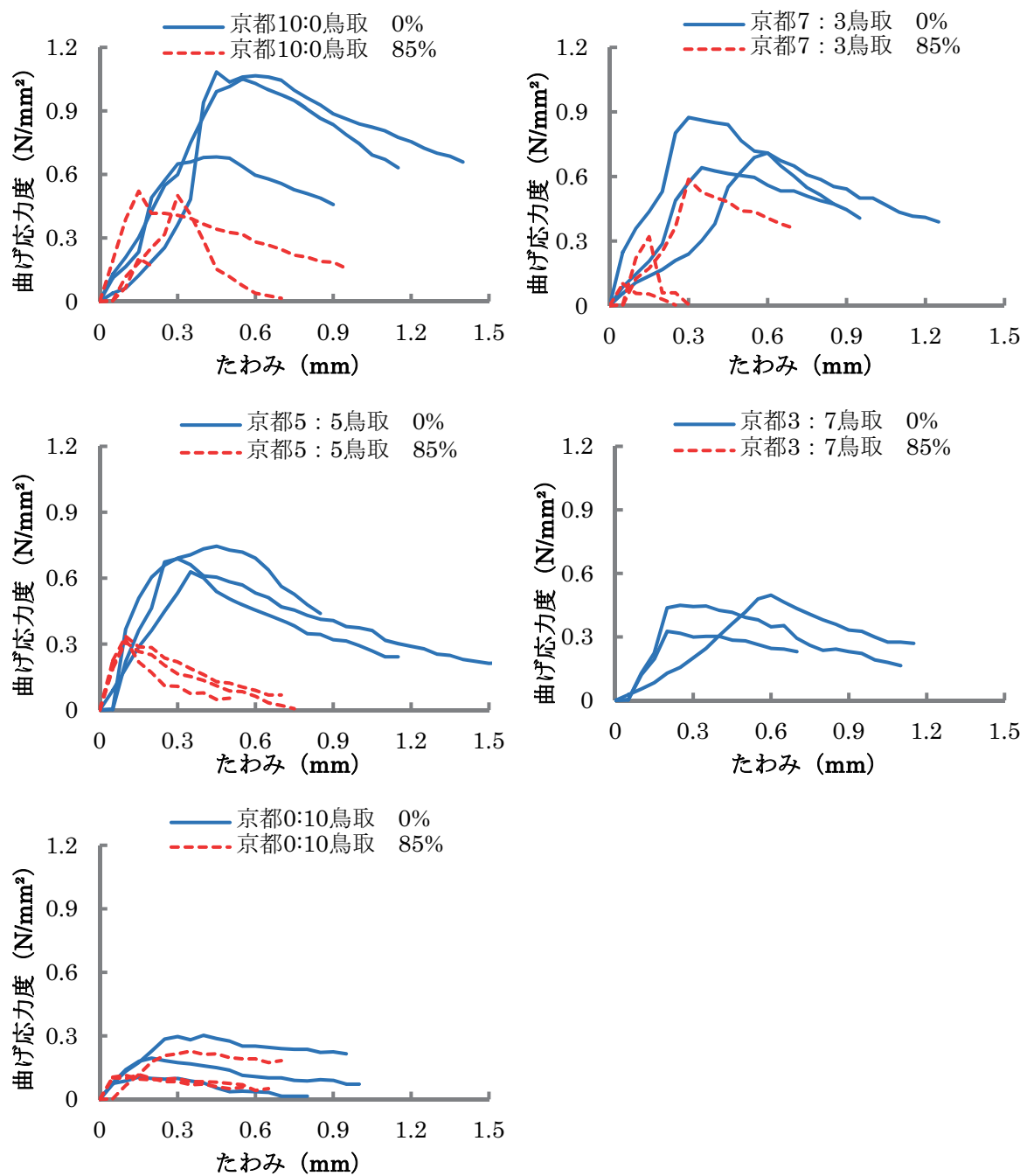


図3.5.1-44 曲げ応力とたわみの関係

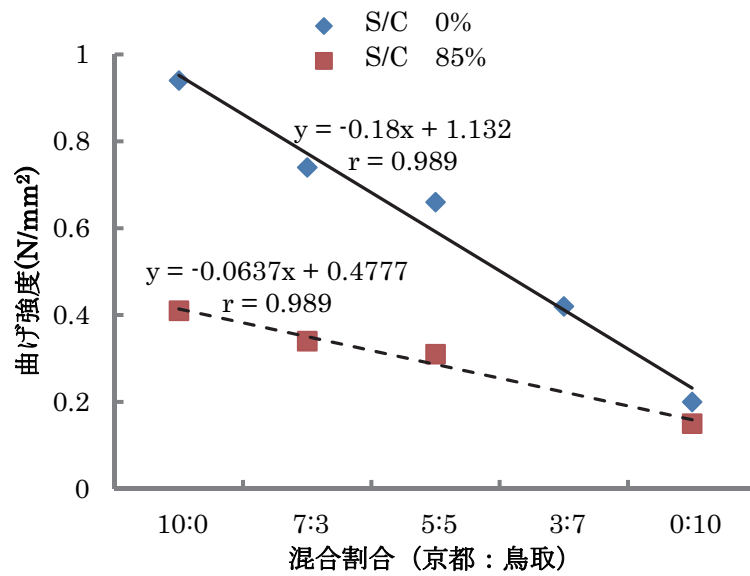


図3. 5. 1-45 混合割合と曲げ強度の関係

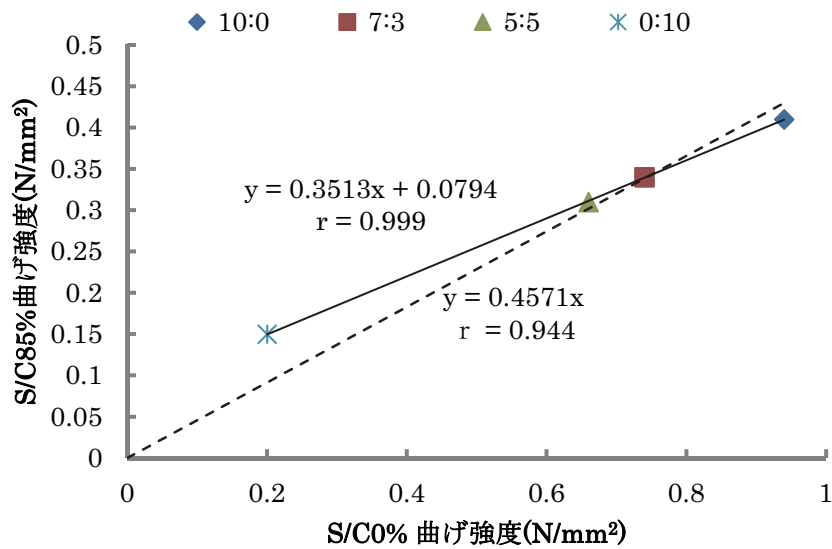


図3. 5. 1-46 S/Cと曲げ強度の関係

(c) 圧縮強度 (40×40×160)

図3.5.1-47、-48および図3.5.1-49に圧縮応力とたわみ、混合割合と強度およびS/Cと強度の関係を示す。混合割合3：7の85%は鳥取産原土が少なく作製していない。

圧縮応力ひずみ曲線は、最大応力に違いはあるが混合割合に関係なくほとんど同様の傾向を示す。たわみ曲線は、S/C0%の場合、ひずみ0.03～0.05で最大応力0.5～2.8N/mm²、同様に85%はひずみ0.02前後で最大応力0.5～2.3N/mm²を与え、その後は両者とも緩慢に低下する。その値は、混合割合10：0から0：10に近づくのに伴い低下する。また、85%の混合割合3：7は5：5と0：10の間であることを推測できる。

圧縮強度は、混合割合10：0、7：3、5：5、3：7および0：10のS/C0%で、それぞれ4.5、3.4、3.1、2.1および1.0N/mm²、85%は3.3、2.8、2.3および0.9N/mm²を与え、同一混合割合の場合、前者が後者の大略1.5倍となる。

参考までにS/C0%と85%の強度を一次式と看做し、切片を0とした場合も以下に示す。

$$\text{混合割合と強度の関係S/C 0\% : } y = -0.826x + 5.298 \quad (r = -0.987 \quad n = 5) \cdots (1)$$

$$85\% : y = -0.6037x + 3.9977 \quad (r = -0.998 \quad n = 4) \cdots (2)$$

ここに、y：圧縮強度 (N/mm²)

x：混合割合

$$\text{S/C 0および85\%の関係} \quad : y = 0.7028x + 0.2343 \quad (r = 0.994 \quad n = 4) \cdots (3)$$

$$\text{切片0の場合} \quad : y = 0.7692x \quad (r = 0.989 \quad n = 4) \cdots (4)$$

ここに、y：S/C85%の圧縮強度 (N/mm²)

x：S/C0%の圧縮強度 (N/mm²)

式からも明らかなように、相関係数rはr=0.98以上を示すことから、S/C別の圧縮強度は異なる供試体ではあるが密接に関係している。ここで、混合割合3：7の85%の圧縮強度は式(3)から1.7N/mm²であることが推測できる。

以上のことから、圧縮応力ひずみ曲線は、最大応力は異なるが混合割合に関係なくほとんど同様の傾向を示す。また、圧縮強度は混合割合に関係なくS/C0%が85%の1.3倍程度となる。混合割合3：7においても5：5と0：10の間で同様の傾向と推察する。

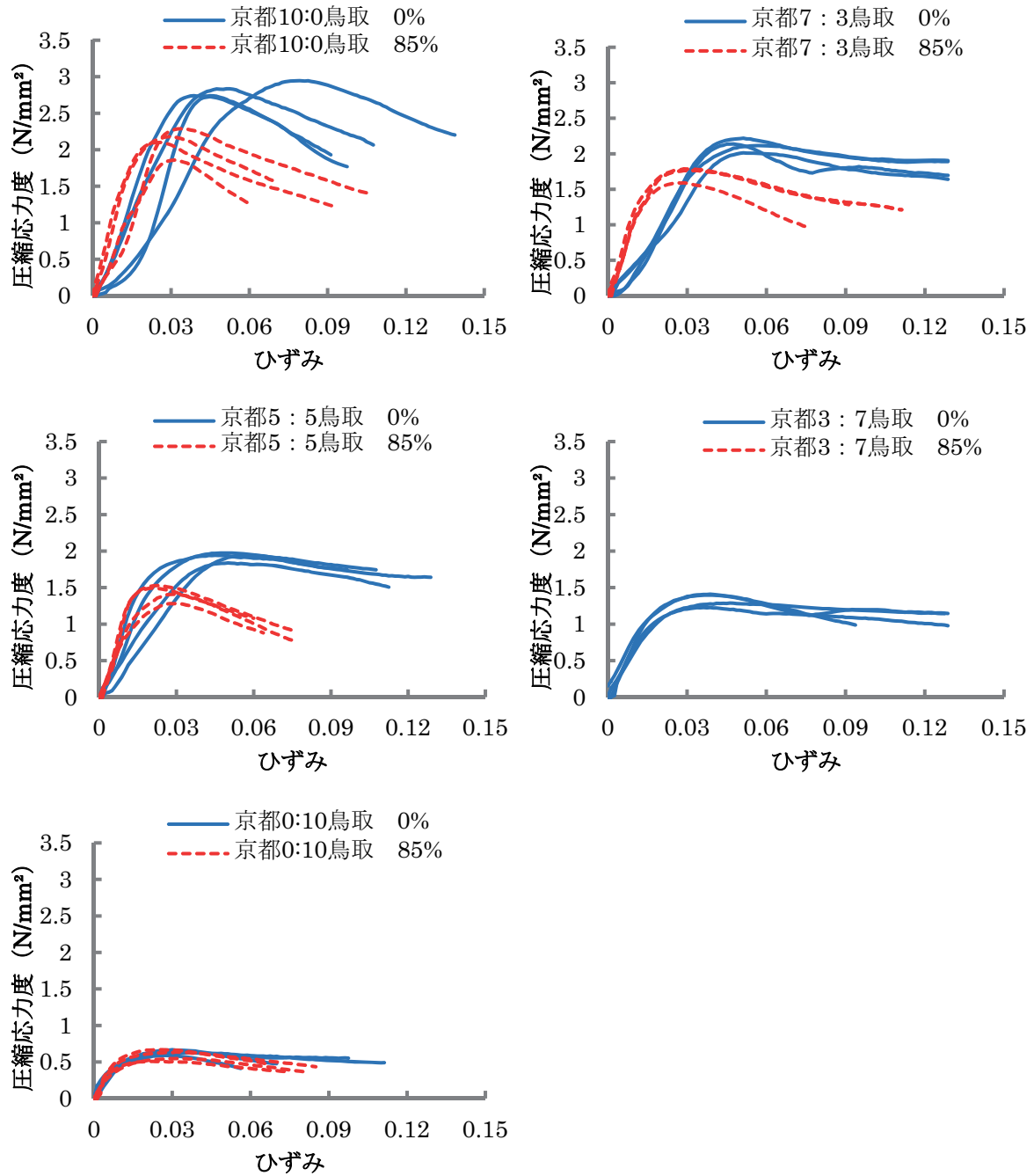


図3.5.1-47 圧縮応力とひずみの関係

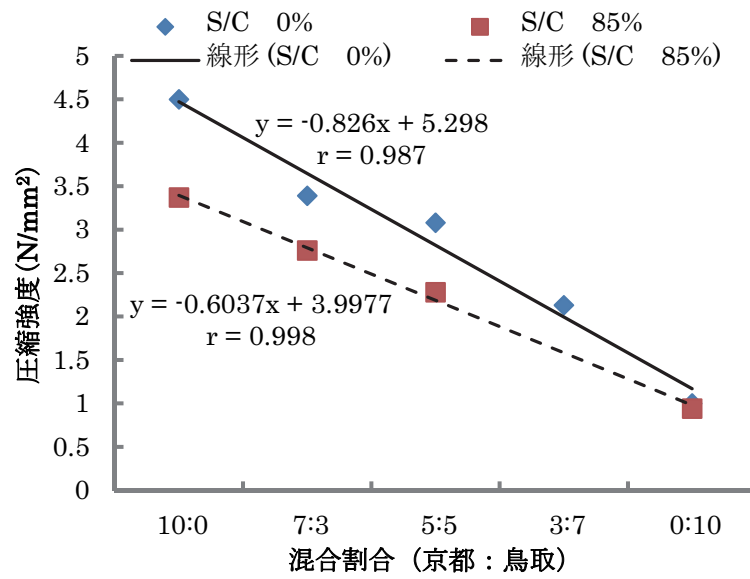


図3. 5. 1-48 混合割合と圧縮強度の関係

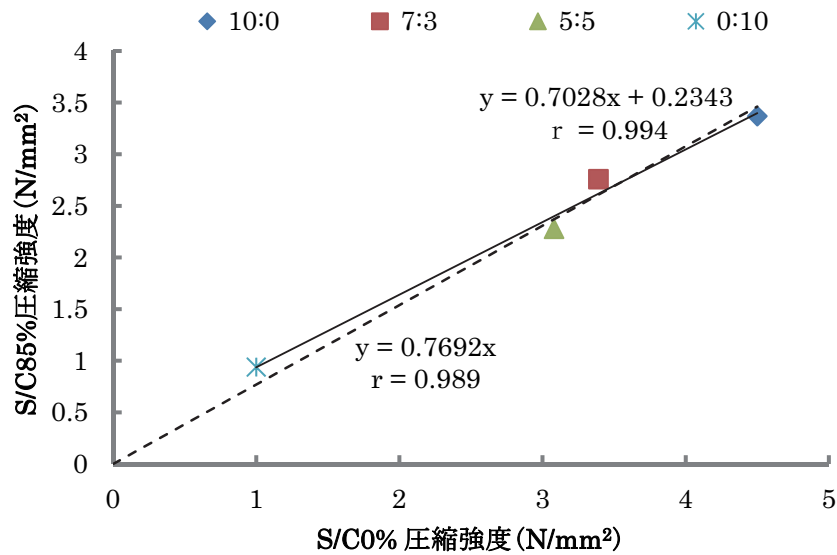


図3. 5. 1-49 S/Cと圧縮強度の関係

(d) 引張強度

図3.5.1-50、-51および図3.5.1-52に引張応力とたわみ、混合割合と強度およびS/Cと強度の関係を示す。混合割合3：7のS/C85%は鳥取産原土が少なく作製していない。また、S/C0%は壁土試料が不足したため引張供試体を2本のみ作製した。

引張応力ひずみ曲線は、最大応力に違いはあるが混合割合およびS/Cに関係なくほとんど同様の傾向を示す。ひずみ曲線は、一部例外もあるがひずみ0.2～0.3前後で最大応力0.1～0.6N/mm²に達し、その後は破壊する。しかし、最大応力度はS/Cに関係なく混合割合10：0から0：10に近づくのに伴い低下する。また、85%の混合割合3：7は5：5と0：10の間であることを推測できる。

引張強度は、混合割合に関わらずS/Cで差がなく、その値は10：0、7：3、5：5、3：7および0：10で、0.6、0.4、0.3、0.2および0.1N/mm²を与え、参考までに10：0を1とすると、0.6、0.5、0.3および0.1倍となる。

参考までにS/C0%と85%の強度を一次式と看做し、切片を0とした場合も以下に示す。

$$\text{混合割合と強度の関係S/C 0\% : } y = -0.109 + 0.6344x \quad (r = -0.908 \quad n = 5) \cdots (1)$$

$$85\% : y = -0.0863x + 0.5732 \quad (r = -0.980 \quad n = 4) \cdots (2)$$

ここに、y：引張強度 (N/mm²)

x：混合割合

$$\text{S/C0と85\%の関係} : y = 0.8323x + 0.0121 \quad (r = 0.796 \quad n = 4) \cdots (3)$$

$$\text{切片0の場合} : y = 0.8626x \quad (r = 0.795 \quad n = 4) \cdots (4)$$

ここに、y：S/C85%の引張強度 (N/mm²)

x：S/C0%の引張強度 (N/mm²)

式からも明らかなように、相関係数rはr=0.90および0.79以上を示すことから、S/C別の引張強度は異なる供試体ではあるが密接に関係している。ここで、混合割合3：7の85%の引張強度は式(3)から0.16N/mm²であることが推測できる。

以上のことから、引張応力ひずみ曲線は、最大応力度は混合割合およびS/Cに関係なくほとんど同様の傾向を示す。引張強度は、混合割合10：0を1とすると、0.6、0.5、0.3および0.1倍となり、3：7においても同様の傾向と推察する。

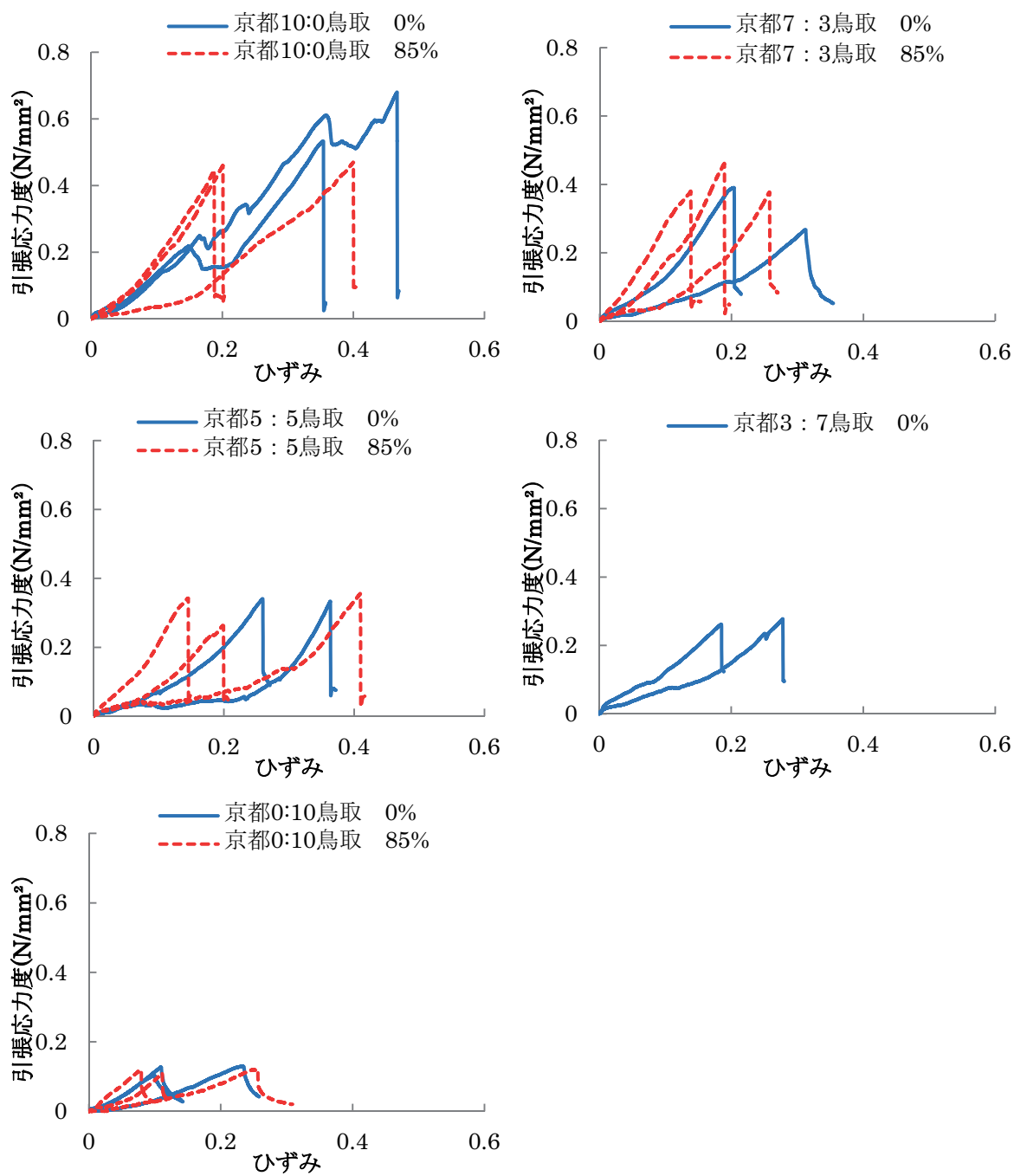


図3.5.1-50 引張応力とひずみの関係

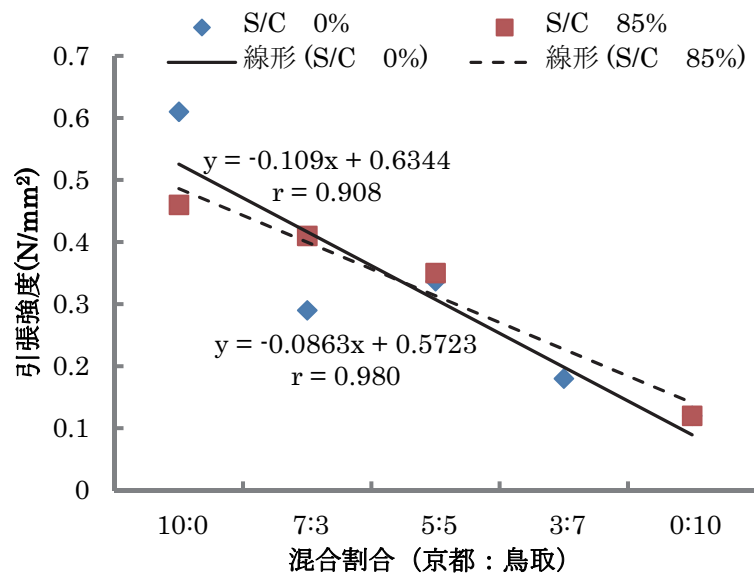


図3. 5. 1-51 混合割合と引張強度の関係

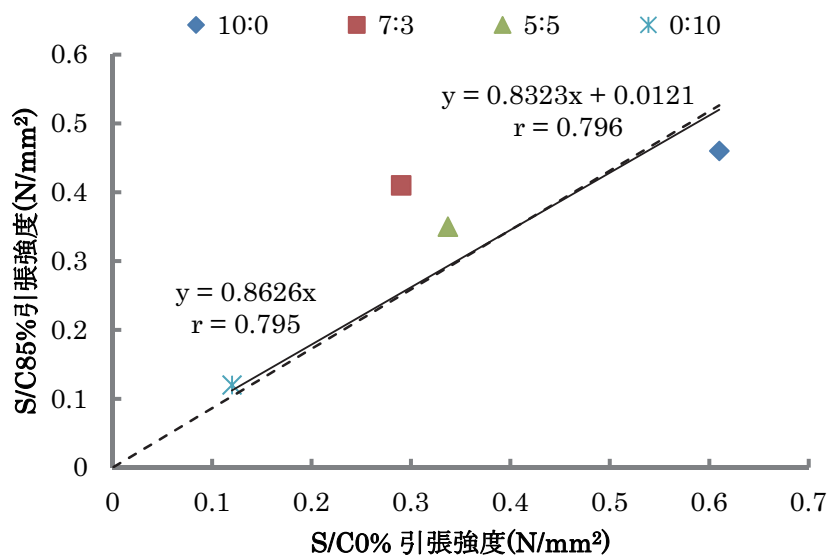


図3. 5. 1-52 S/Cと引張強度の関係

5) 各強度の関係

(a) 曲げと圧縮および引張強度の関係

図3.5.1-53にS/C別の曲げと圧縮および引張強度の関係を示す。

曲げ、圧縮および引張強度は、0%で0.2~0.9、1.0~4.5および0.1~0.6N/mm²、85%は0.1~0.4、0.9~3.3および0.1~0.4をN/mm²得る。また、個々の強度は曲げを1としたとき、圧縮および引張で、大略5および0.5倍となり引張強度は小さくなる。

曲げと各強度の関係は、前者が大きくなると後者も大きくなる傾向が見られる。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

圧縮	S/C	0% :	$y = 4.5902x + 0.1026$	($r = 0.997$ $n = 5$)
		85% :	$y = 9.3598x - 0.4938$	($r = 0.996$ $n = 4$)
引張	S/C	0% :	$y = 0.6048x - 0.0506$	($r = 0.916$ $n = 5$)
		85% :	$y = 1.3549x - 0.0749$	($r = 0.991$ $n = 4$)

ここに、y : 各強度 (N/mm²)

x : 曲げ強度 (N/mm²)

式からも明らかなように、相関係数rはr=0.90以上を示すことから、曲げと各強度は密接に関係していることが認められる。

以上のことから、個々の強度は曲げを1としたとき、圧縮および引張で大略5および0.5倍となる。

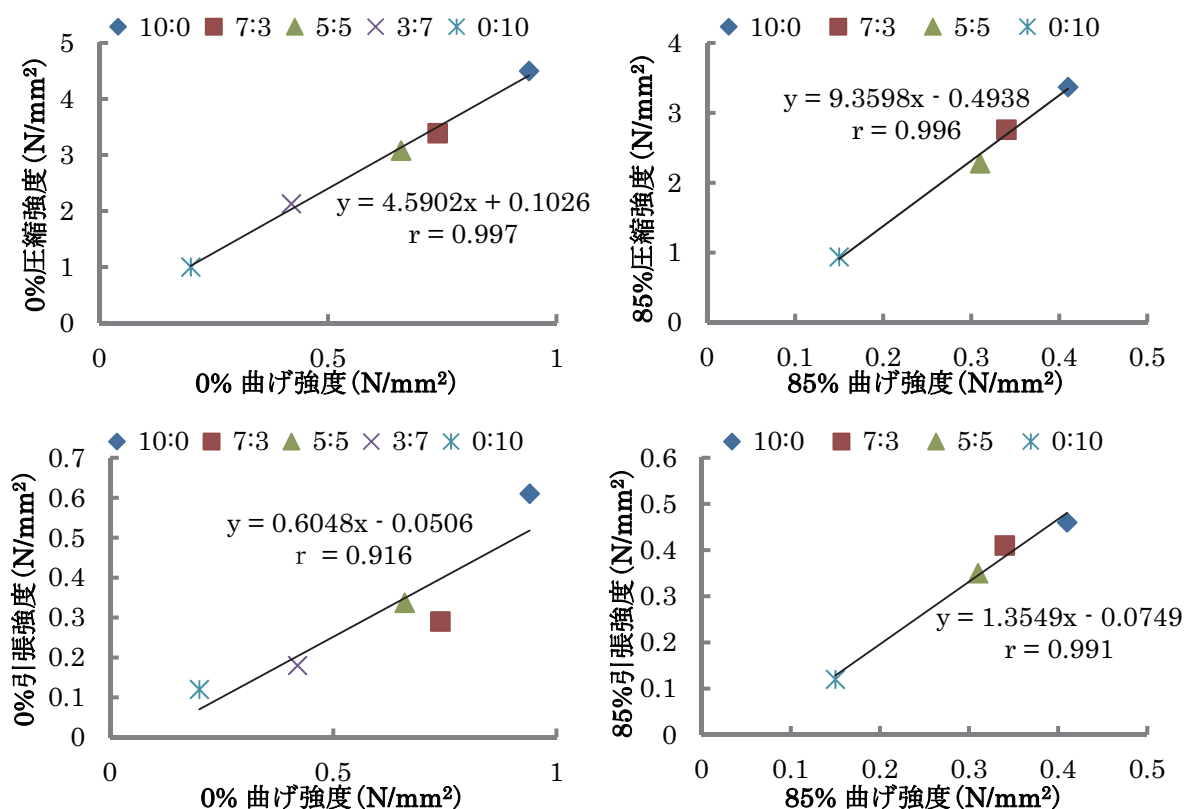


図3.5.1-53 S/C別曲げと個々の強度

(b) $\phi 20 \times 40$ と各強度の関係

図3.5.1-54に $\phi 20 \times 40$ と各強度の関係を示す。 $\phi 20 \times 40$ はスサおよび砂を混入していないため混合割合についてのみ提示し、S/C0%と85%の平均強度と比較した。

強度は $\phi 20 \times 40$ で $0.4 \sim 3.7 \text{ N/mm}^2$ 、曲げ、圧縮および引張の平均強度の場合 $0.1 \sim 0.6$ 、 $0.9 \sim 3.9$ および $0.1 \sim 0.5 \text{ N/mm}^2$ を与える。前者を1としたとき、後者は大略0.1、1および0.1倍となる。

$\phi 20 \times 40$ と圧縮強度を比較すると、最小値に差はあるもののほとんど差異は認められない。このことから、砂のみと壁土供試体は強度に影響を及ぼさないが、最大応力度からの低下に違いが顕著に現れ前者は急激に、後者は緩慢に低下する。

$\phi 20 \times 40$ と各強度の関係は、前者が大きくなると後者も大きくなる傾向がみられる。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\text{曲 げ : } y = 0.1245x + 0.2245 \quad (r = 0.905 \quad n = 5)$$

$$\text{圧 縮 : } y = 0.7725x + 1.1025 \quad (r = 0.937 \quad n = 5)$$

$$\text{引 張 : } y = 0.1128x + 0.0931 \quad (r = 0.928 \quad n = 5)$$

ここに、y : 各強度 (N/mm^2)

x : $\phi 20 \times 40$ の強度 (N/mm^2)

式からも明らかなように、相関係数rは $r = 0.90$ 以上を示すことから、 $\phi 20 \times 40$ と各強度は密接に関係していることが認められる。

以上のことから、強度は $\phi 20 \times 40$ で $0.4 \sim 3.7 \text{ N/mm}^2$ 、曲げ、圧縮および引張の場合 $0.1 \sim 0.6$ 、 $0.9 \sim 3.9$ および $0.1 \sim 0.5 \text{ N/mm}^2$ を与え、前者を1としたとき、後者は大略0.1、1および0.1倍となる。

土のみと壁土供試体は強度に影響を及ぼさないが、最大応力度からの低下に違いが顕著に現れ前者は急激に、後者は緩慢に低下する。

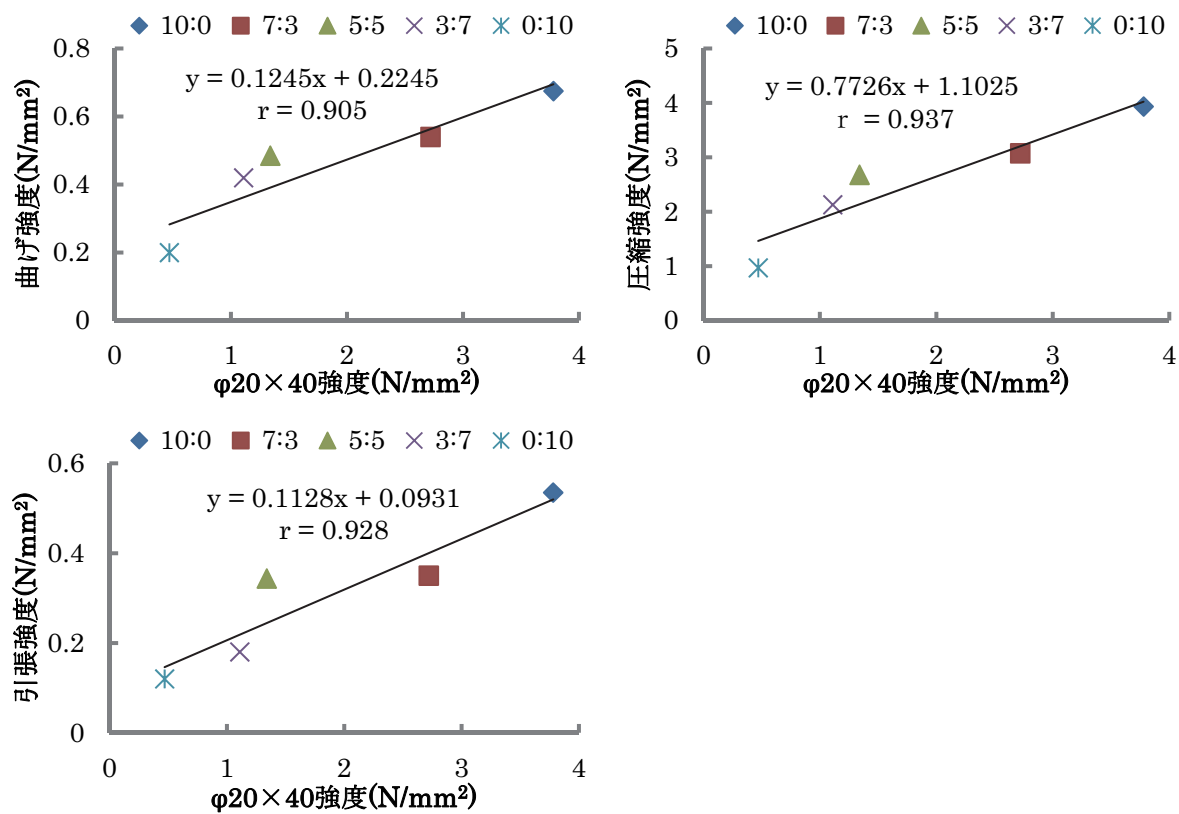


図3.5.1-54 $\phi 20 \times 40$ と各強度の関係

(4) まとめ

以上のことを総括すると次のようになる。

1) 粒度分布

粒子径は、混合の種類に関係なく75 μm で積算値50%前後を得る。分布形状は、水溶液と粉体に
関係なく同じ傾向がみられる。粒度分布は、京都産試料の場合で75 μm 程度が多数を占めるのに対
し、鳥取産は1000 μm 前後が多く、片寄ることが確認できる。

2) フロー値

フロー値は、京都産100%の混合割合10：0で133、鳥取産100%の0：10は144を与え前者より大
きくなり、鳥取産の混合割合が多くなるのに伴い、フロー値は硬から軟の状態になる。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\text{S/C } 0\% : y = 2.7x + 135.48 \quad (r = 0.758 \quad n = 5)$$

$$85\% : y = 1.4x + 132.29 \quad (r = 0.449 \quad n = 5)$$

ここに、y：フロー値 x：混合割合 (%)

3) 質量変化

質量変化はS/Cで異なり0%で9日、85%は6日前後でほぼ一定した後、緩慢に低下するが、質量安
定までに3日の差がある。質量変化率はS/C0%で18～20%、85%は12～15%でほとんど一定する。

4) 圧縮 ($\phi 20 \times 40$)、曲げ、圧縮 ($40 \times 40 \times 160$)、せん断および引張強度

(a) 圧縮強度 ($\phi 20 \times 40$)

ひずみ曲線は混合割合によって顕著な違いが認められる。圧縮強度は、参考までに混合割合10：
0を1とすると、それぞれ0.6、0.3、0.2および0.1倍となる。しかし、混合割合を多くすると10：0
に強度は近づくが、最大応力度を超えることはない。したがって、粒子径が1000 μm が多数を占め
る大きな原土には、微粒分の多い原土を混合することで改良できると言える。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$y = -0.818x + 4.328 \quad (r = -0.970 \quad n = 5)$$

ここに、y：フロー値 x：スサ混入率 (%)

(b) 曲げ強度

曲げ応力たわみ曲線は、最大応力度で異なるが混合割合に関係なくS/Cで似た傾向を示す。

曲げ強度は、混合割合10：0、7：3、5：5、3：7および0：10のS/C0%で、それぞれ0.9、0.7、
0.6、0.4および0.2N/mm²、85%は0.4、0.3、0.3および0.1N/mm²を与え、混合割合に関わりなくS/C0%
が85%の大略2倍となる。

壁土用原土は、粒度分布によって粘りなどの性質が異なるが、他の原土を混合することにより性
質を改善できることを明らかにしている。

参考までに混合割合と強度の関係およびS/C0%と85%の強度を一次式と看做し、切片を0とした
場合を以下に示す。

$$\text{混合割合と強度の関係S/C } 0\% : y = -0.18x + 1.132 \quad (r = -0.989 \quad n = 5) \quad \cdots (1)$$

$$85\% : y = -0.0637x + 0.4777 \quad (r = -0.989 \quad n = 4) \quad \cdots (2)$$

ここに、y：曲げ強度 (N/mm²) x：混合割合

$$\text{S/C0と85\%の関係} \quad : y = 0.3513x + 0.0794 \quad (r = 0.999 \quad n = 4) \quad \cdots (3)$$

$$\text{切片0の場合} \quad : y = 0.4571x \quad (r = 0.944 \quad n = 4) \quad \cdots (4)$$

ここに、 y : S/C85%の曲げ強度 (N/mm²) x : S/C0%の曲げ強度 (N/mm²)

(c) 圧縮強度 (40×40×160)

圧縮応力ひずみ曲線は、最大応力は異なるが混合割合に関係なくほとんど同様の傾向を示す。また、圧縮強度は混合割合10 : 0、7 : 3、5 : 5、3 : 7および0 : 10のS/C0%で、それぞれ4.5、3.4、3.1、2.1および1.0N/mm²、85%は3.3、2.8、2.3および0.9N/mm²を与え、同一混合割合の場合、前者が後者の大略1.5倍となる。

参考までにS/C0%と85%の強度を一次式と看做し、切片を0とした場合も以下に示す。

$$\text{混合割合と強度の関係S/C 0\% : } y = -0.826x + 5.298 \quad (r = -0.987 \quad n = 5) \cdots (1)$$

$$85\% : y = -0.6037x + 3.9977 \quad (r = -0.998 \quad n = 4) \cdots (2)$$

ここに、 y : 圧縮強度 (N/mm²) x : 混合割合

$$\text{S/C 0および85\%の関係} \quad : y = 0.7028x + 0.2343 \quad (r = 0.994 \quad n = 4) \cdots (3)$$

$$\text{切片0の場合} \quad : y = 0.7692x \quad (r = 0.989 \quad n = 4) \cdots (4)$$

ここに、 y : S/C85%の圧縮強度 (N/mm²) x : S/C0%の圧縮強度 (N/mm²)

(d) 引張強度

引張応力ひずみ曲線は、最大応力度は混合割合およびS/Cに関係なくほとんど同様の傾向を示す。最大応力度はS/Cに関係なく混合割合10 : 0から0 : 10に近づくのに伴い低下する。引張強度は、混合割合10 : 0を1とすると、0.6、0.5、0.3および0.1倍となる。参考までにS/C0%と85%の強度を一次式と看做し、切片を0とした場合も以下に示す。

$$\text{混合割合と強度の関係S/C 0\% : } y = -0.109 + 0.6344 \quad (r = -0.908 \quad n = 5) \cdots (1)$$

$$85\% : y = -0.0863x + 0.5732 \quad (r = -0.980 \quad n = 4) \cdots (2)$$

ここに、 y : 引張強度 (N/mm²) x : 混合割合

$$\text{S/C0と85\%の関係} \quad : y = 0.8323x + 0.0121 \quad (r = 0.796 \quad n = 4) \cdots (3)$$

$$\text{切片0の場合} \quad : y = 0.8626x \quad (r = 0.795 \quad n = 4) \cdots (4)$$

ここに、 y : S/C85%の引張強度 (N/mm²) x : S/C0%の引張強度 (N/mm²)

(e) 曲げと圧縮および引張強度の関係

曲げ、圧縮および引張強度は、0%で0.2～0.9、1.0～4.5および0.1～0.6N/mm²、85%は0.1～0.4、0.9～3.3および0.1～0.4をN/mm²得る。個々の強度は曲げを1としたとき、圧縮および引張で大略5および0.5倍となる。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\text{圧 縮 S/C 0\% : } y = 4.5902x + 0.1026 \quad (r = 0.997 \quad n = 5)$$

$$85\% : y = 9.3598x - 0.4938 \quad (r = 0.996 \quad n = 4)$$

$$\text{引 張 S/C 0\% : } y = 0.6048x - 0.0506 \quad (r = 0.916 \quad n = 5)$$

$$85\% : y = 1.3549x - 0.0749 \quad (r = 0.991 \quad n = 4)$$

ここに、 y : 各強度 (N/mm²) x : 曲げ強度 (N/mm²)

(f) φ20×40と各強度の関係

強度はφ20×40で0.4～3.7N/mm²、曲げ、圧縮および引張の最小値～最大値は0.1～0.6、0.9～3.9および0.1～0.5N/mm²を与える。前者を1としたとき、後者は大略0.1、1および0.1倍となる。φ20×40と圧縮強度を比較すると、最小値に差はあるもののほとんど差異は認められない。原土のみと壁土供試体は強度に影響を及ぼさないが、最大応力度からの低下に違いが顕著に現れ前者は急激に、後者は緩慢に低下する。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

曲 げ： $y=0.1245x+0.2245$ ($r=0.905$ $n=5$)

圧 縮： $y=0.7725x+1.1025$ ($r=0.937$ $n=5$)

引 張： $y=0.1128x+0.0931$ ($r=0.928$ $n=5$)

ここに、 y ：各強度 (N/mm²) x ：φ20×40の強度 (N/mm²)

壁土の簡易評価法

(1) 実験概要

本実験では、現場にある道具を使用して容易に壁土を評価する方法を調べている。

1) 使用材料および基本調合

(a) 使用材料

壁土用原土およびスサは京都産を用いた。また、壁土の評価をするために使用するふるいを表3.5.1-27に示す。ふるい公称目開きは、JIS Z 8801（試験用ふるい）より、呼び寸法はJIS A 1102（骨材のふるい分け試験）より参照した。以後、ふるい目はふるい呼び寸法で表記する。

ふるいは、土壁に使用されている小舞間隔から使用するふるい目を決定した。また、金属ふるいは、実際の小舞材料のすすき、よし及び竹材料よりも細いが、繰り返し利用できることと間隔が安定している点からである。

表3.5.1-27 ふるい寸法

公称目開き (mm) JIS Z	19	26.5	31.5	37.5	53
ふるい呼び寸法 (mm) JIS A	20	25	30	40	50

(b) 基本調合

調合は、砂原土比（以後、S/Cと表記する）0および85%とし、目標フロー値135±10の稲スサの基本調合を参考に作製した。表3.5.1-28にS/C別の調合を示す。

表3.5.1-28 基本調合

砂原土比 S/C (%)	質量調合 (g/l)			
	原土 (C)	砂 (S)	水 (W)	スサ (St)
0	1096.1	0	449.4	27.4
85	730.9	621.3	385.0	19.3

注) 砂原土比 (S/C) は質量比である。

(2) 実験方法

1) 試料の作製

試料は、左官職人が実際に使用する壁土を考慮し、S/C0%ではフロー値が低めの125±5から155±5、S/C85%の場合フロー値125±5は粘りもあり実用的でないことから、135±5から155±5を作製した。フロー値が得られない場合、基本調合にそのまま加水を行いフローを調節した。

2) 簡易評価試験（落下試験）

実験方法を以下に示し、図3.5.1-55に実験手順を示す。

表3.5.1-29に壁土の練り混ぜ時間を示す。

壁土の練混ぜには、公称容量10ℓのオムニミキサを用い、材料はスサ、土、砂および水の順に投入し、表3.5.1-29に従い所定時間練混ぜた。

①基本調合に従い作製した壁土の、フロー値を測定する。

②測定後、各ふるいの上に重さ800gを量りゆっくりと載せる。尚、重さは左官職人の持つツケ台の一塗が800g前後から決定した。

③ふるい網に乗せた壁土を小さなこてで押し付けないように均す。

④1分後にふるい下のボールに落ちた通過量を測定する。

⑤②～④を3回繰り返し行う。

⑥実験が終わった壁土を再び練り混ぜ、フロー値を測定し供試体を作製した。

供試体は、練り混ぜ後に1回と落下試験後に1回の計2回作製し、乾燥行程を経て強度試験を行っている。

落下率はふるいに載せた800gから1分後に通過した量の割合より、次式で求めた。

$$W=W_n/W_0 \times 100$$

ここに、W：落下率（%）、 W_n ：ふるい通過量（g）、 W_0 ：800g（ふるいに載せた試料）

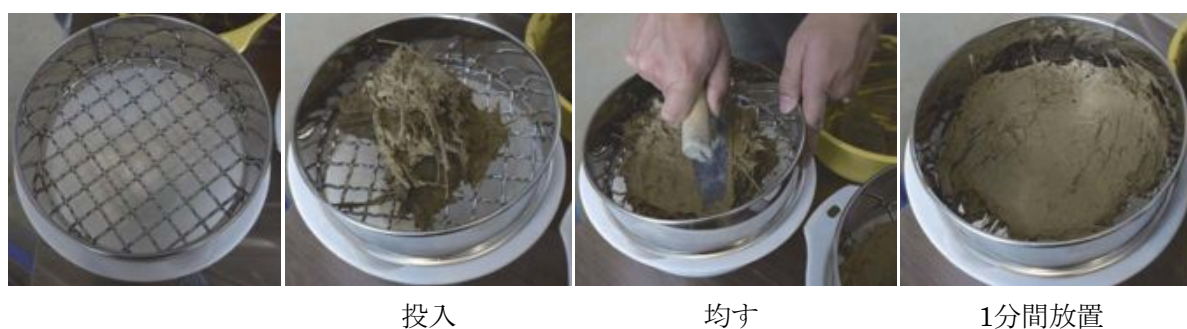


図3. 5. 1-55 実験手順

表3. 5. 1-29 壁土の練混ぜ時間

回転記号	回転数 (r/min)	時間 (秒)
6.5～ 7.0	364～ 400	31
7.5	423	30
7.5	423	61
練混ぜ時間		122

3) 供試体の作製

型枠は、モルタル供試体成形用型三連型枠（ $\square 40 \times 40 \times 160 \text{mm}$ ）を使用し、練混ぜ後の壁土試料を、三連型枠（ようかん）に詰める前にセメントペースト練混ぜ用（手練り用）さじでかき混ぜ、容器に取り出した。

壁土試料は、型枠に二層に分けて詰め、モルタル供試体作製用型の突き棒（ $\square 35 \times 35 \text{mm}$ ）で各層5回突きを4回繰り返し（20回）、仕上げは上端をならし成形した。

強度試験用供試体は、試料作製の練り混ぜ直後と落下試験後で各曲げ、圧縮およびせん断試験用に2枠、引張試験用に1枠用いて作製した。

4) 養生方法および脱型

供試体は、実験室内で温度、湿度に関わらず気中養生とした。脱型は供試体作製後3日目に側面、7日目に完全脱型を目標とした。

(3) 実験結果および考察

1) 落下量

表3.5.1-30に通過量を、図3.5.1-56および図3.5.1-57にふるいの裏面および3回の試験の平均落下率とふるい寸法の関係を示す。また、再掲すると表3.5.1-30は800gをふるいに載せた時の落下量である。

フロー値が高くなるほど落下量は増加するが、スサがふるい目に引っかかることで、落下量が減少する。これは、実際に土塗りするときには、裏塗りをを行うために必要なことである。

落下量はS/Cでことなり、ふるい目が20、25および30mmの0%では0であるが、85%の場合フロー値155±5で25および30mmで2.0%程度の落下が見られた。

実際に使用される小舞間隔は30mm前後が多いが、実験ではふるい目を抜けることが少ない。裏なでを行う際は、小舞の裏面に壁土が通過していないと行うことができない。小舞間隔20mmはほとんど反対側に通過しないが、50mmは垂れ下がり落下量が多いことを確認した。

以上のことから、S/C0%は、試料がペースト状で粘りが強く、85%は砂が含まれていることで粘りの弱いことが推察される。また、小舞間隔は30mm前後が裏面に適量の壁土が通過し、裏なでを行うには適していると考ええる。

落下率はふるいに載せた800gから1分後に通過した量の割合より、次式で求めた。

$$W = W_n / W_0 \times 100$$

ここに、W：落下率（%）、 W_n ：ふるい通過量（g）、 W_0 ：800g（ふるいに載せた試料）

表3.5.1-30 落下量

S/C		0%					85%				
ふるい目 (mm)		20	25	30	40	50	20	25	30	40	50
125±5	1回目	0	0	0	0	0	—				
	2回目										
	3回目										
135±5	1回目				5	0	0	0	0	0	55
	2回目				0				20		35
	3回目				0				0		0
145±5	1回目				0	130	0	0	0	0	0
	2回目					0					55
	3回目					35					0
155±5	1回目				25	50	0	20	30	50	90
	2回目				0	0		30	10	5	200
	3回目				20	145		20	15	0	20

※通過量gである

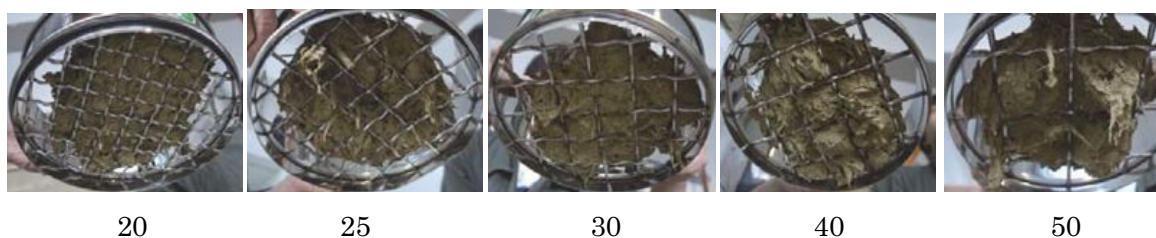


図3.5.1-56 ふるい裏面 (mm)

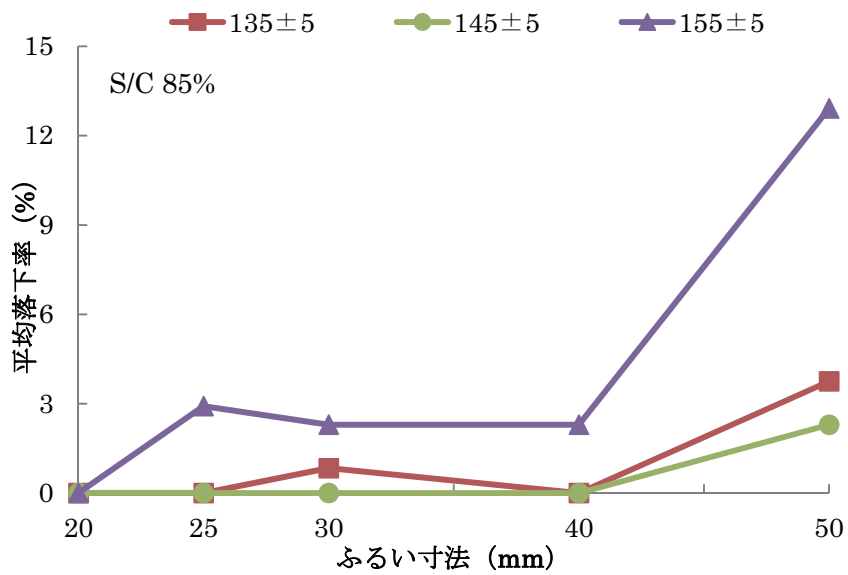
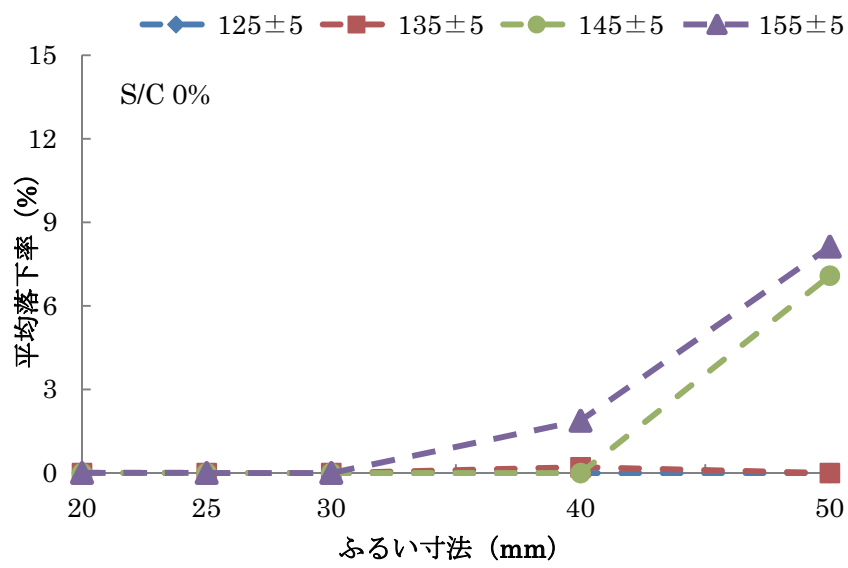


図3. 5. 1-57 各ふるいと平均落下率の関係

2) フロー

図3.5.1-58にフロー、表3.5.1-31にフロー値に対する加水量を示す。

壁土は目標フロー値を落下試験前で125±5、135±5、145±5および155±5とし基本調合に加水しフロー値を調整した。3回の落下試験後に得られたフロー値は、乾燥も加わり小さくなったと考える。

フロー値	簡易試験前		簡易試験後	
	S/C=0%	S/C=85%	S/C=0%	S/C=85%
125±5		—		—
135±5				
145±5				
155±5				

図3.5.1-58 フロー

表3.5.1-31 フロー値に対する加水量

	S/C 0%		S/C 85%		備考
	試験前	試験後	試験前	試験後	
125±5	126.8	120.2	—	—	加水なし
135±5	140.8	137.3	136.2	127.4	加水なし
145±5	145.3	133.7	141.0	137.7	0%:250g,85%:200g 加水
155±5	153.6	144.0	153.1	150.6	0%:350g,85%:350g 加水

3) 質量変化

図3.5.1-59に質量変化を示す。以後、練り混ぜ直後の供試体を試験前、落下試験後を試験後と示す。

質量変化は、フロー値に関係なくS/Cによって異なり、試験前は0%で9日、85%は15日前後、試験後は0%で8日、85%は15日程度でほぼ一定した後、緩慢に低下するが、試験前と後の供試体では、差が見られない。

また、質量変化が安定するまでの約1週間の差は、10月の不安定な天候が関係していると考えられる。その値はフロー値に関係なく、S/C 0%で19～21%、85%は14～16%を与える。

以上のように、質量変化はフロー値に関係なくS/Cによって異なり、試験前および後で、それぞれ大略9および15日でほぼ一定した後、緩慢に低下する。また、質量変化率はS/C0%で19～21%、85%は14～16%を与える。

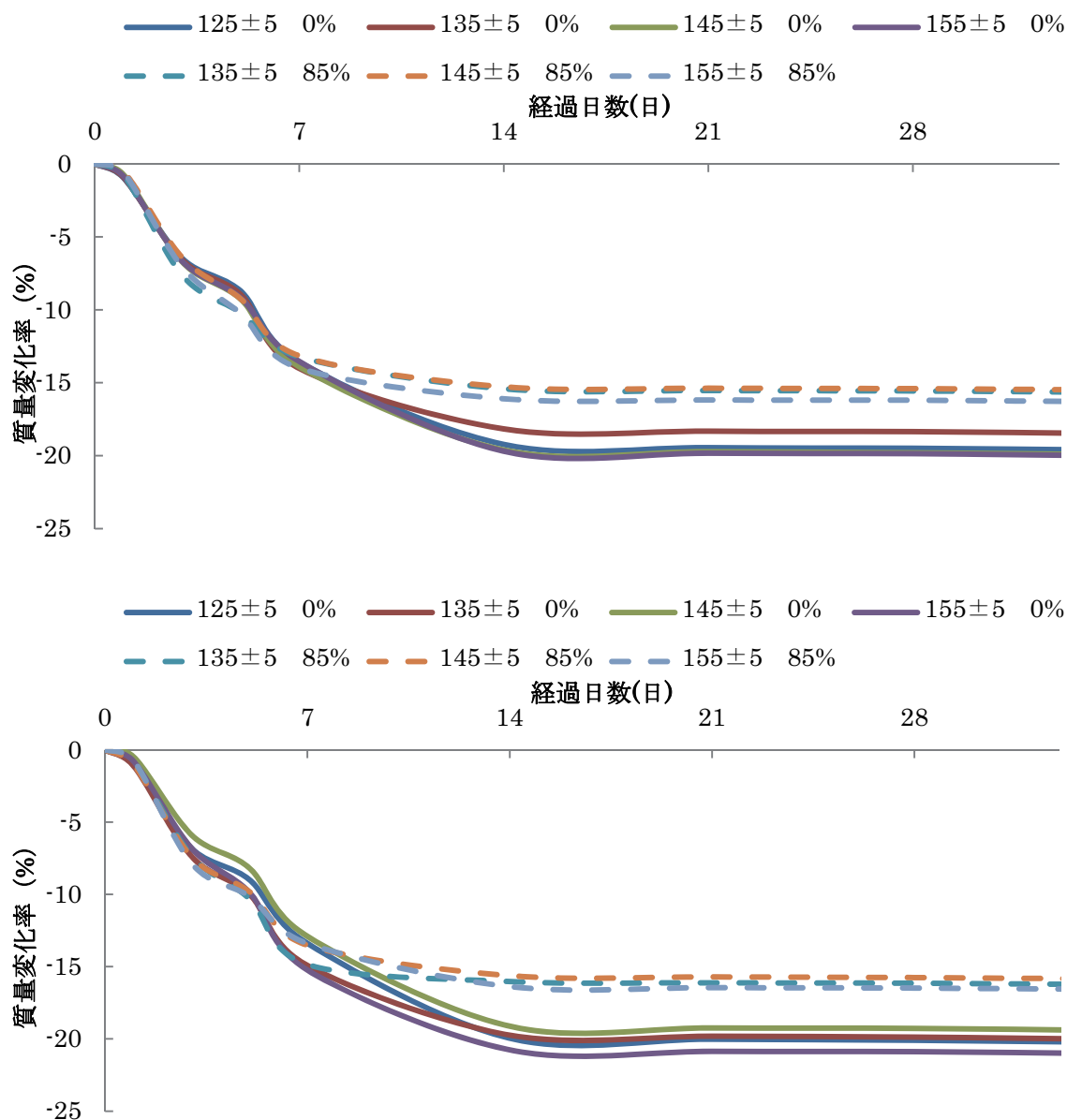


図3.5.1-59 質量変化（上：試験前、下：試験後）

4) 曲げ強度

図3.5.1-60および図3.5.1-61に曲げ応力とたわみおよび曲げ強度フロー値を、表3.5.1-32に曲げ強度を示す。85%のフロー値 125 ± 5 は実用上の観点から作製していない。

曲げ応力たわみ曲線は、落下試験前、後（以後、試験前、試験後と称す）およびフロー値に関わらずS/Cによって異なる。0および85%は、たわみ1.0および0.7mm前後まで線形で増え最大応力度0.7～1.1および0.5～0.7N/mm²に達し、その後は前者で緩慢に低下するが後者は急激に減少する。したがって、練り混ぜ直後と落下試験後では60分前後の差があることから、応力たわみ曲線は僅かに差を生ずる。この傾向は、圧縮、せん断および引張強度についても言える。

曲げ強度は、試験前、後およびフロー値に関係なくS/Cで異なる。フロー値 125 ± 5 、 135 ± 5 、 145 ± 5 および 155 ± 5 の0%は、0.9、0.8、1.0および0.9N/mm²、85%の場合0.4、0.6および0.5N/mm²を与え前者が後者の大略2倍大きくなる。

フロー値と曲げ強度の関係は、前者が大きくなるにも関わらず後者はほとんど同じ値を得る。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

試験前0% : $y=0.0015x+0.6914$	($r=0.140$ $n=4$)
85% : $y=-0.0054x+1.4059$	($r=-0.602$ $n=3$)
試験後0% : $y=-0.0019x+1.2033$	($r=-0.176$ $n=4$)
85% : $y=0.0133x-1.4342$	($r=0.844$ $n=3$)
0%と85% : $y=-0.0007x+0.8494$	($r=-0.026$ $n=14$)

ここに、 y : 曲げ強度 (N/mm²)

x : フロー値

式からも明らかなように、相関係数 r は試験前および後のS/Cで異なり、0%で $r=0.15$ 程度、85%は0.60以上を示すことから、フロー値と曲げ強度は前者で認められないが、後者は関係している。しかし、S/C0%と85%を混合して求めると、相関係数は $r=-0.02$ となりほとんど関係ないと言えるが、近似線はフロー値の増加に伴い強度が低下する傾向を示す。

以上のように、曲げ応力たわみ曲線は試験前、後およびフロー値に関わらずS/Cによって異なる。0%の場合たわみ1.0mm程度、85%は0.7mm前後まで線形で増え最大応力に達し、その後は0%で緩慢に、85%は急激に低下する。

曲げ強度はフロー値が大きくなるにも関わらずほとんど同じ値を得ることから、実際の現場での評価は後者が前者に関係することは少ないと言える。

詳細にみると、3回の落下試験後は立ち上がりの勾配が練り混ぜ直後よりも急であるが、最大応力後の傾向は大差ない。このことは、壁土練り混ぜ後、しばらく時間をおいた後に使用すれば強度を保っていることになる。すなわち、練り混ぜ後、壁面は一度に塗ることができないことから、時間が経過することで品質が向上することを現わしている。したがって、一枚の壁面でも上部と下部で強度差が生じることが推察される。

つまり、壁土は練り混ぜ後、水が減ることで強度が影響を受けることを示している。したがって、壁土のフロー値はコンシステンシーによって決まるが、左官職人の塗り易いコンシステンシーの範囲、言い換えればフロー値125～160であるならばある一定以上の強度が確保されていることを現している。しかし、原土は地域によって強度に差があり、曲げ強度で0.1N/mm²程度もあるが、1.0N/mm²を越えるものもあることから、一方的に決められないことが天然材料の特徴と言える。

曲げ強度は、フロー値と強度に関係のないことを確認した。しかし、ある一定のコンシステンシーの範囲ならば、言い換えればフロー値125以上であるなら曲げ強度0.5N/mm²以上を確保できる。

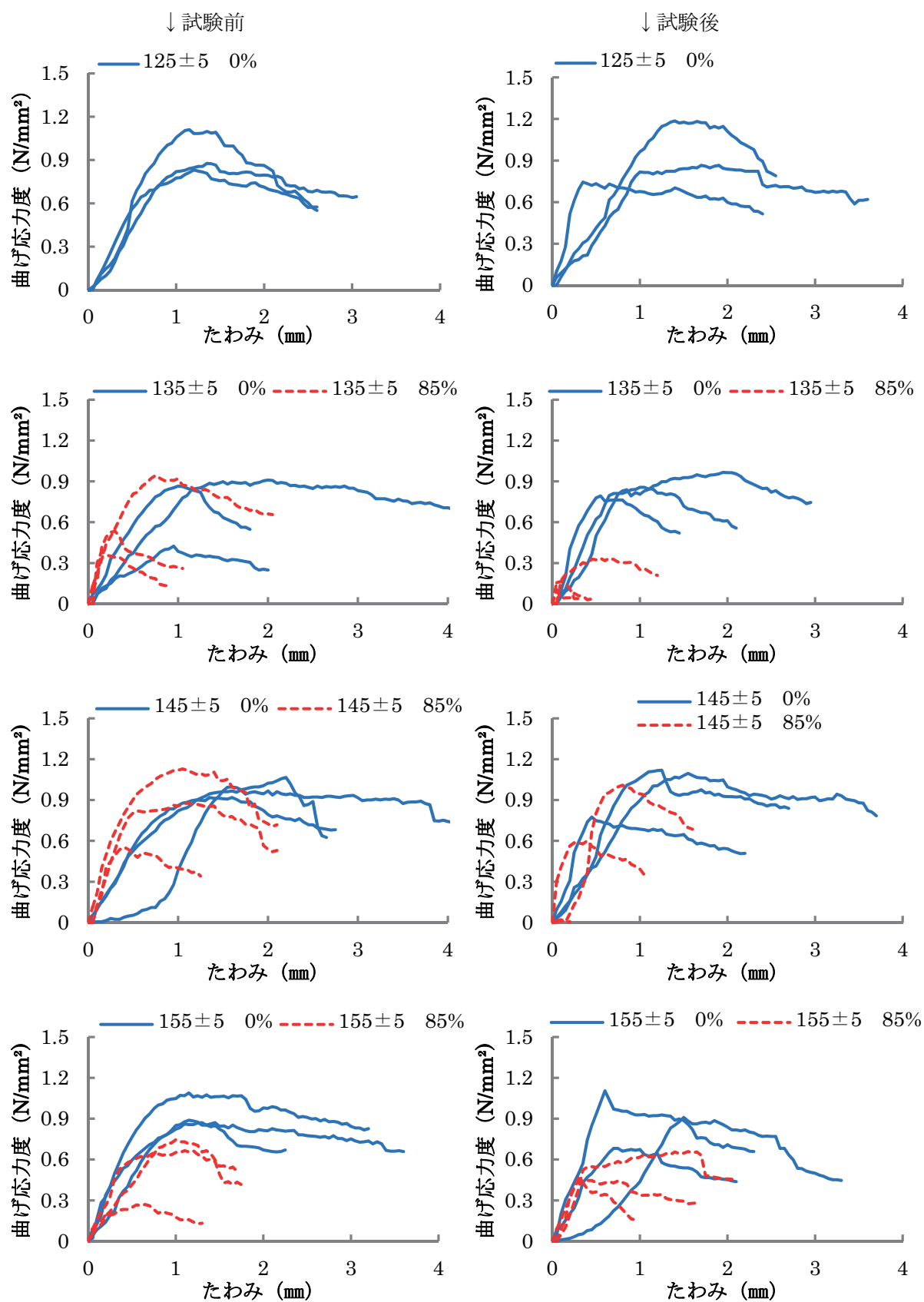


図3.5.1-60 曲げ応力とたわみの関係

表3.5.1-32 曲げ強度

項目	試験前		試験後	
	0%	85%	0%	85%
125±5	0.940	—	0.932	—
135±5	0.733	0.621	0.872	0.201
145±5	1.020	0.715	1.108	0.515
155±5	0.950	0.560	0.899	0.523

注) 値はN/mm²である。

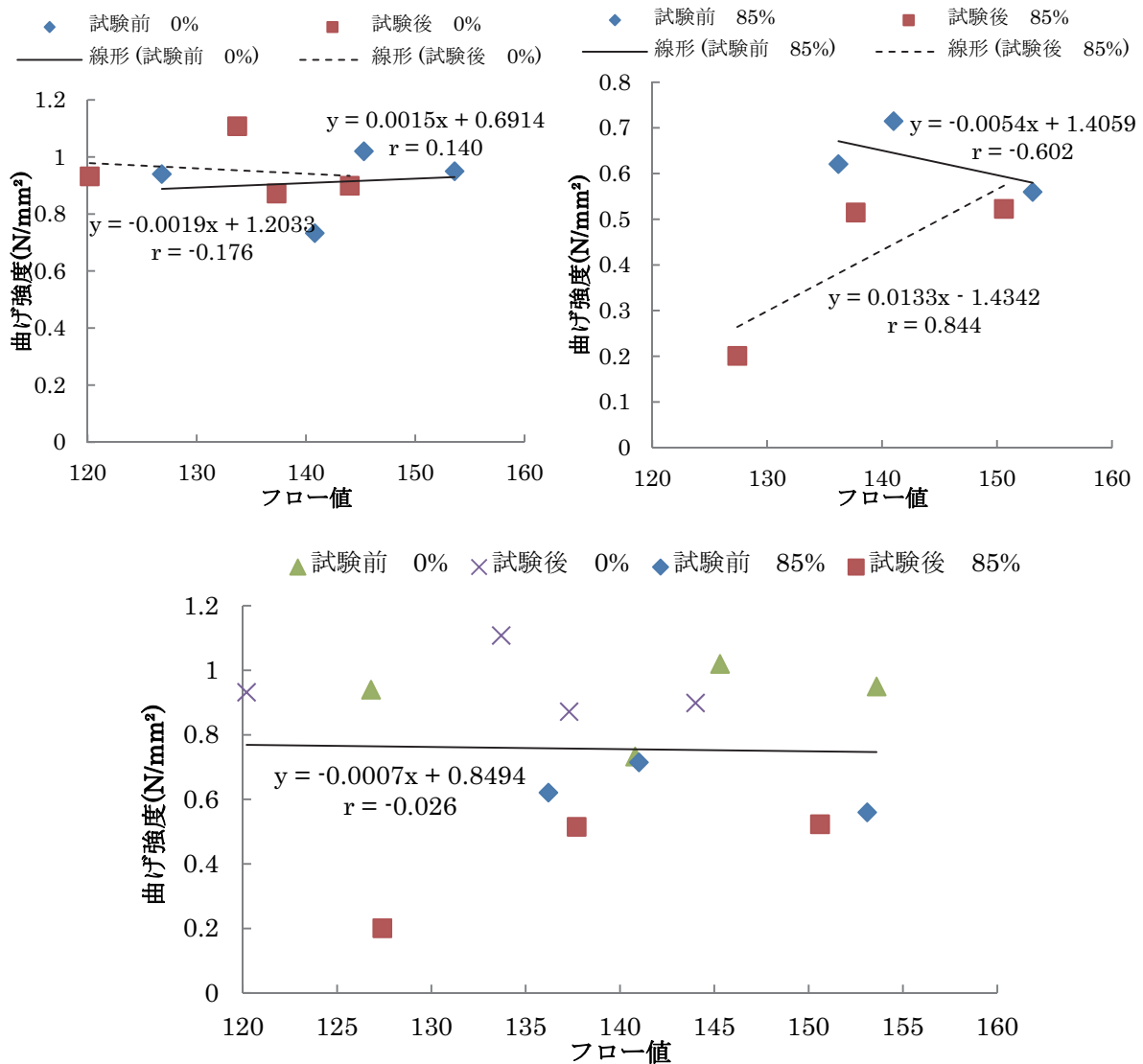


図3.5.1-61 フロー値と曲げ強度の関係

5) 圧縮強度

図3.5.1-62および図3.5.1-63に、圧縮応力とひずみおよびフロー値と圧縮強度の関係を、表3.5.1-33に圧縮強度を示す。

圧縮応力ひずみ曲線は、フロー値に関わらず試験前、後およびS/Cによって異なる。試験前の0および85%は、ひずみ0.2および0.1前後まで線形で増え最大応力度1.3～1.6および1.3～1.5N/mm²に達するが、試験後の場合、S/Cに関係なくひずみ0.1前後で最大応力1.5～1.9および1.4～1.8N/mm²を与え、その後は両者とも緩慢に低下する。

圧縮強度は、フロー値に関係なく試験前、後およびS/Cで異なる。試験前のフロー値別圧縮強度は0%で1.51N/mm²、85%の場合1.47N/mm²を得る。同様に、試験後は1.67および1.60N/mm²を与え、僅かに試験後が大きくなるが大差はなく、1.4N/mm²以上を確保している。

フロー値と圧縮強度の関係は、前者が大きくなるのに伴い後者は僅かに減少する。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\text{試験前0\% : } y = -0.0079x + 2.628 \quad (r = -0.638 \quad n = 4)$$

$$85\% : y = -0.0111x + 3.0707 \quad (r = -0.907 \quad n = 3)$$

$$\text{試験後0\% : } y = -0.0181x + 4.0966 \quad (r = -0.842 \quad n = 4)$$

$$85\% : y = -0.0162x + 3.8468 \quad (r = -0.988 \quad n = 3)$$

$$0\% \text{ と } 85\% : y = -0.0144x + 3.5669 \quad (r = -0.837 \quad n = 14)$$

ここに、y : 圧縮強度 (N/mm²)

x : フロー値

式からも明らかなように、S/Cに関係なく相関係数rは試験前および後でr=0.63以上を示すことから、フロー値と圧縮強度は関係していることが認められる。両者の関係は、S/C0%と85%を混合して求めると相関係数r=-0.83と密接である。

以上のように、圧縮応力ひずみ曲線は試験前、後およびフロー値に関わらずS/Cによって異なる。0%はひずみ0.1～0.15前後、85%の場合0.05～0.1程度まで線形で増え最大応力に達し、その後は両者とも緩慢に低下する。圧縮強度は、試験前および後で差異はなく1.4～1.6N/mm²を得る。また、フロー値の増加に伴い強度は低下することが確認できる。

調合は基本調合の水量を加・減水することでフロー値を変化させていることも、圧縮強度とフロー値が関係する一因と言える。この傾向は、せん断および引張強度についても言える。

参考にしたコンクリートの場合、硬化はセメントと水の水和発熱により化学反応であるが、壁土は乾燥による凝固であることも関係していると考ええる。

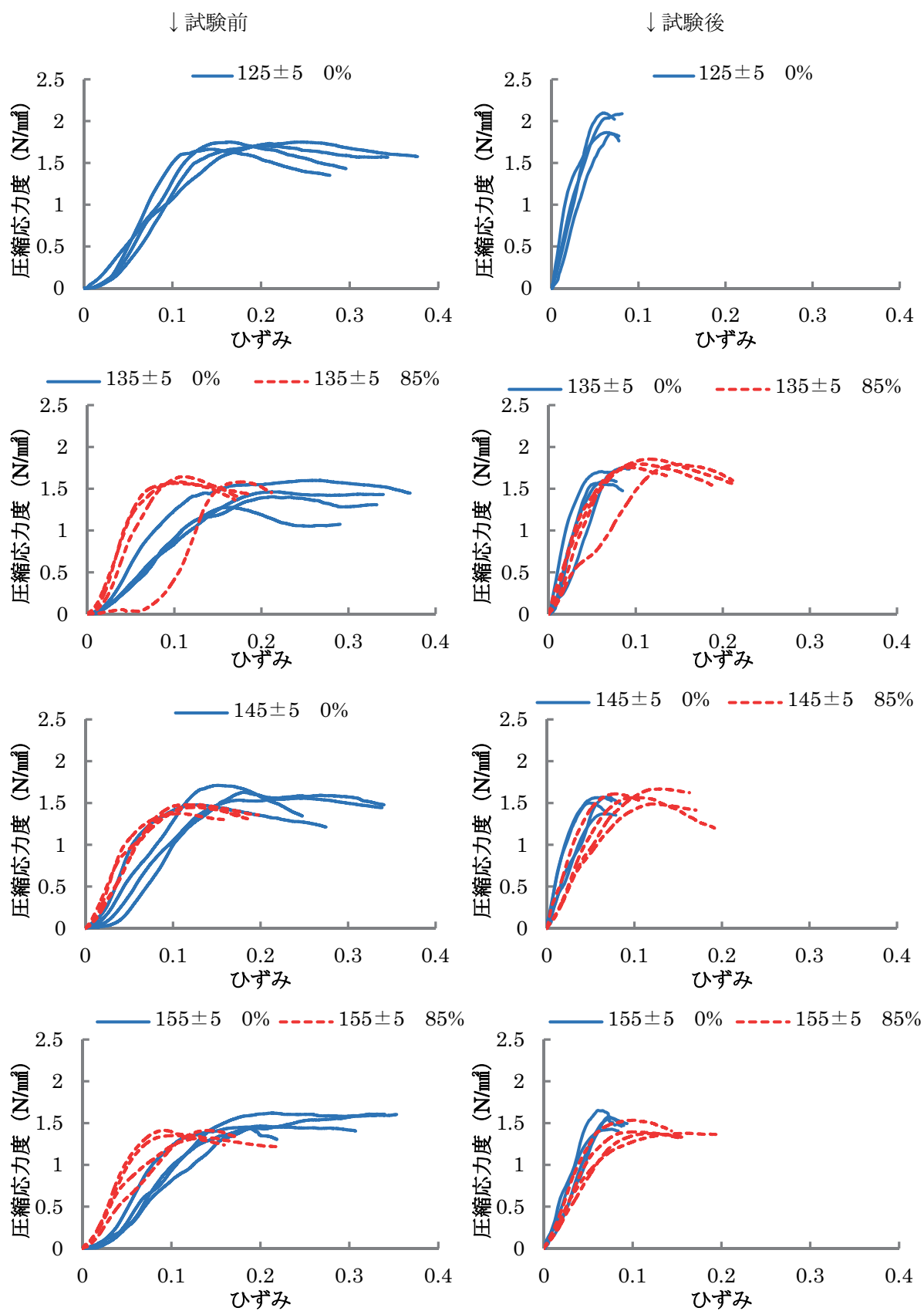


図3.5.1-62 圧縮応力とひずみの関係

表3.5.1-33 圧縮強度

項目	試験前		試験後	
	0%	85%	0%	85%
125±5	1.67	—	1.98	—
135±5	1.36	1.59	1.66	1.80
145±5	1.57	1.45	1.50	1.58
155±5	1.43	1.38	1.55	1.42
平均値	1.51	1.47	1.67	1.60

注) 値はN/mm²である。

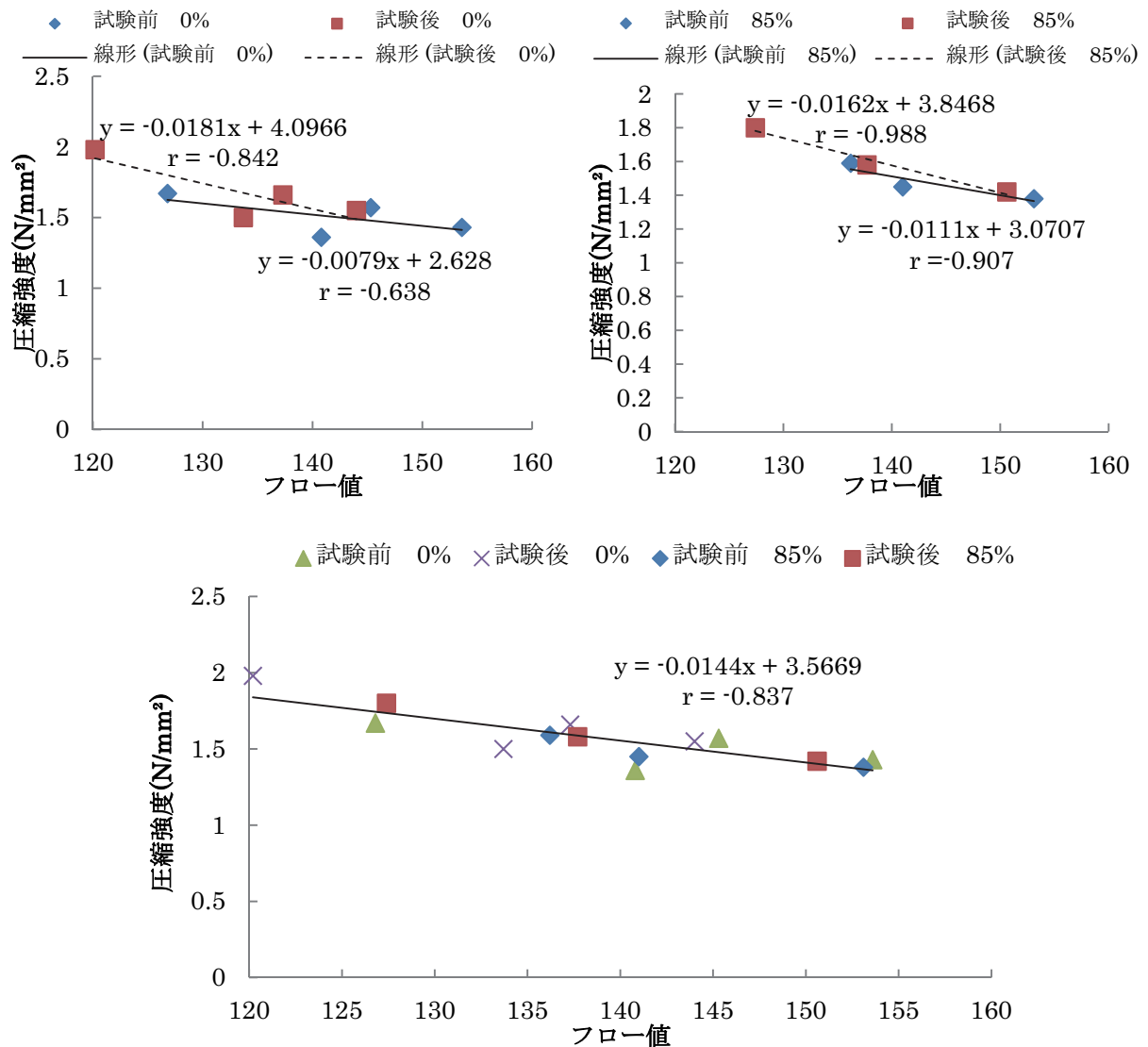


図3.5.1-63 フロー値と圧縮強度の関係

6) せん断強度

図3.5.1-64および図3.5.1-65にせん断応力とひずみおよびフロー値とせん断強度の関係を、表3.5.1-34にせん断強度を示す。

せん断応力ひずみ曲線は、試験前、後およびフロー値に関わらずS/Cによって異なる。0%は、ひずみ3.0前後、85%の場合ひずみ2.0程度まで線形で増え最大応力度0.5～0.7N/mm²に達し、その後は両者とも緩慢に低下する。荷重初期の立ち上がりは、前者より後者の方が急である。

せん断強度は、試験前、後およびフロー値に関係なくS/Cで異なる。フロー値125±5、135±5、145±5および155±5の0%は、0.7、0.6、0.7および0.6N/mm²、85%の場合0.5、0.6および0.5N/mm²を与え前者と後者で大きな差は見られないが、0.5N/mm²以上を確保するようである。

フロー値とせん断強度の関係は、前者が大きくなるのに関わらず後者はほとんど同じ値を得る。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\text{試験前0\% : } y = -0.0015x + 0.8672 \quad (r = -0.354 \quad n = 4)$$

$$85\% : y = -0.0046x + 1.2096 \quad (r = -0.594 \quad n = 3)$$

$$\text{試験後0\% : } y = -0.0025x + 1.0462 \quad (r = -0.893 \quad n = 4)$$

$$85\% : y = -0.0095x + 1.9902 \quad (r = -0.975 \quad n = 3)$$

$$0\% \text{ と } 85\% : y = -0.0057x + 1.4426 \quad (r = -0.654 \quad n = 14)$$

ここに、 y : せん断強度 (N/mm²)

x : フロー値

式からも明らかなように、相関係数 r は試験前および後で一部例外はあるが $r=0.5$ 以上を示すことから、フロー値とせん断強度は関係していることが認められる。両者の関係は、S/C0%と85%を混合して求めると相関係数 $r=-0.65$ となり、右下がりであるフロー値の増加に伴い強度が低下することが確認できる。

以上のように、せん断応力ひずみ曲線は試験前、後およびフロー値に関わらずS/Cによって異なる。0%はひずみ3.0前後、85%の場合2.0程度まで線形で増え最大応力度に達し、その後は両者とも緩慢に低下する。せん断強度は、試験前および後に関係なく0%で大略0.6N/mm²、85%は0.5N/mm²を与え、S/Cによる差異は見られない。また、フロー値の増加に伴い強度は低下することが確認できる。

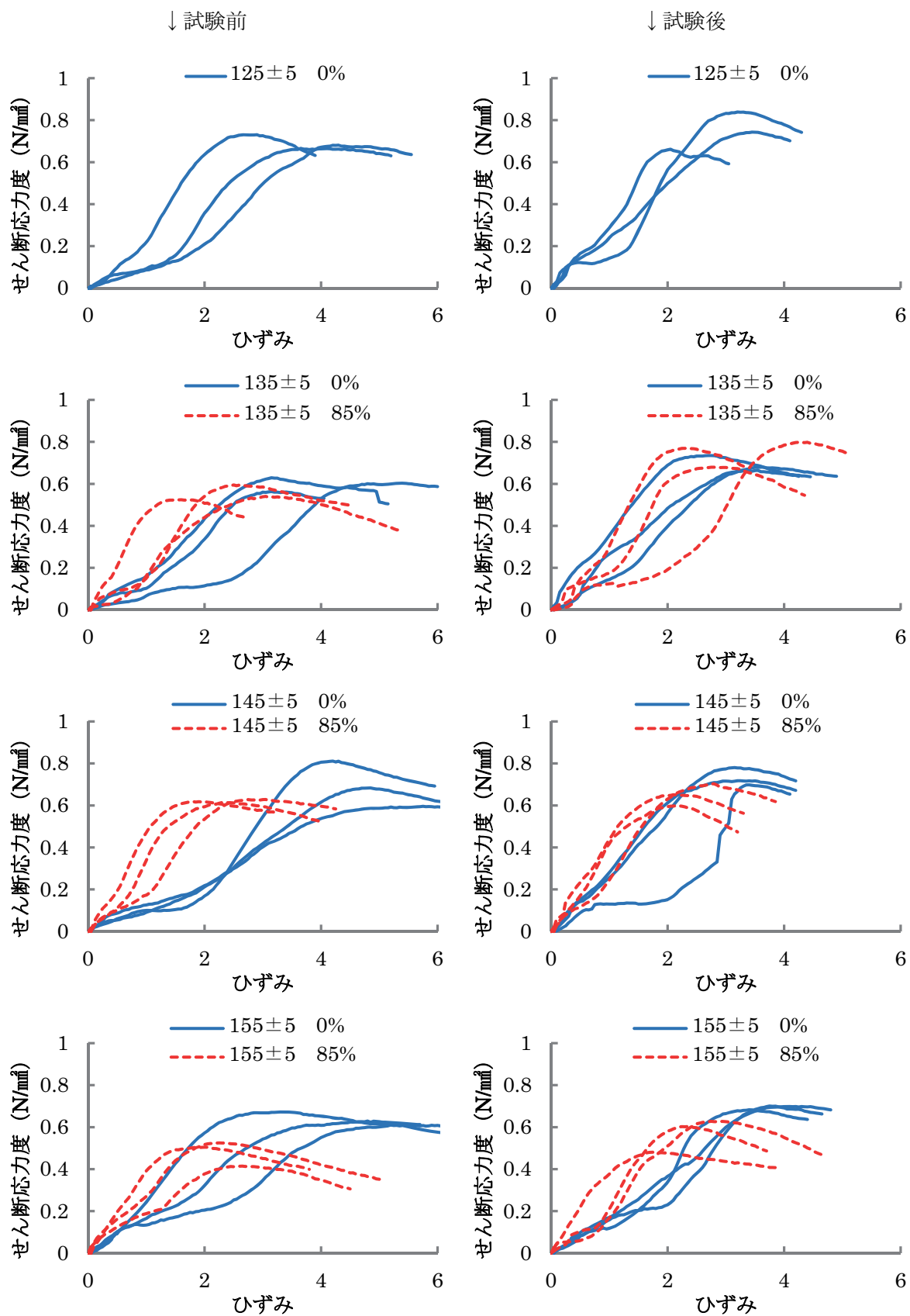


図3.5.1-64 せん断応力とひずみの関係

表3.5.1-34 せん断強度

項目	試験前		試験後	
	0%	85%	0%	85%
S/C	0%	85%	0%	85%
125±5	0.69	—	0.75	—
135±5	0.60	0.53	0.69	0.79
145±5	0.70	0.62	0.73	0.65
155±5	0.64	0.48	0.69	0.57

注) 値はN/mm²である。

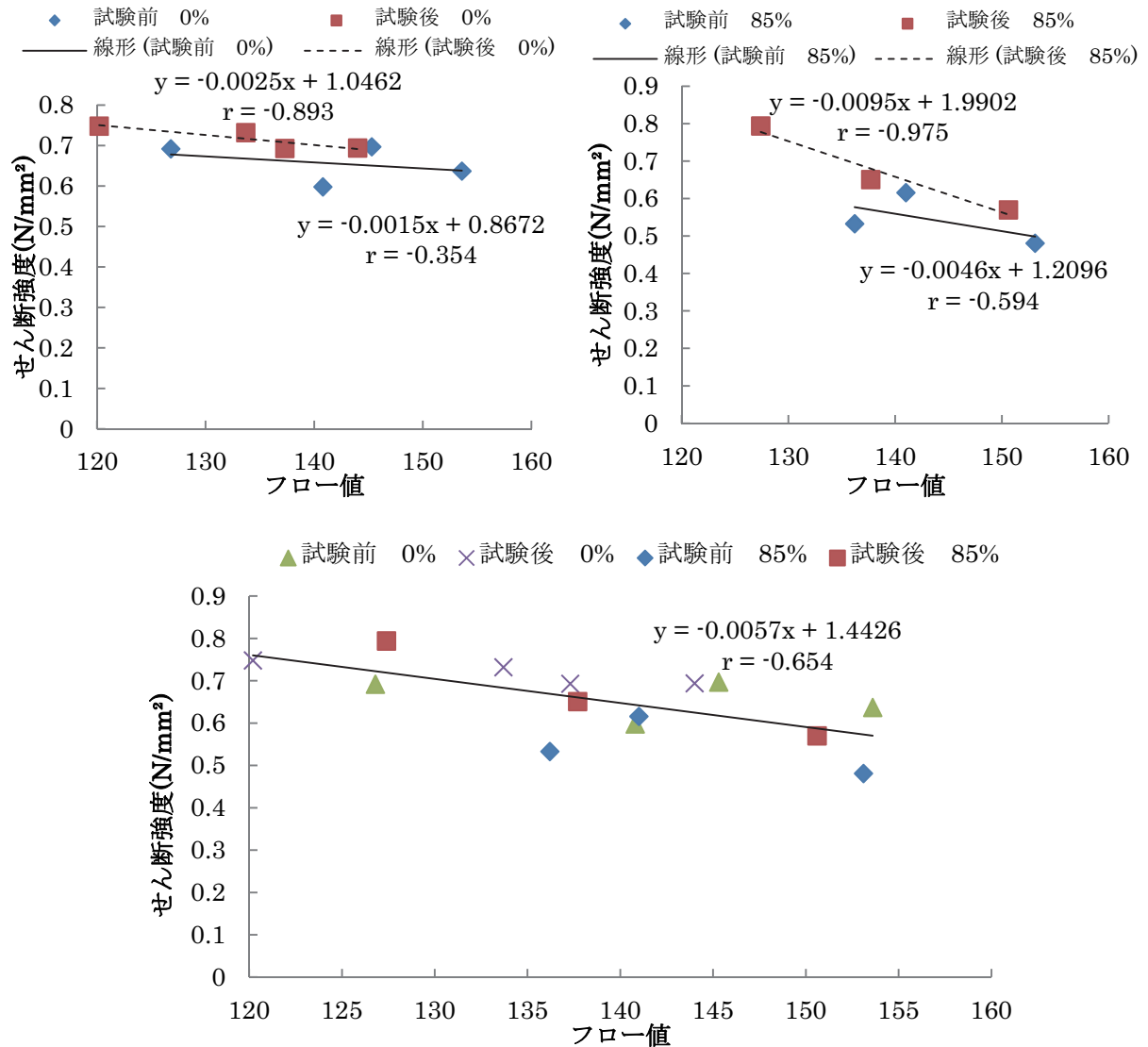


図3.5.1-65 フロー値とせん断強度の関係

7) 引張強度

図3.5.1-66および図3.5.1-67に引張応力とひずみおよびフロー値と引張強度の関係を、表3.5.1-35に引張強度を示す。

引張応力ひずみ曲線は、試験前、後およびS/Cに関わらずフロー値によって違いが見られる。フロー値 $125\pm5\sim145\pm5$ は、S/Cに関係なくひずみ3.0前後で最大応力度に達し、その後は破断されるが、 155 ± 5 は、S/Cで異なり0%でひずみ0.2、85%の場合4.0程度で最大応力度に達した後、両者とも破壊する。

引張強度は、試験前、後、フロー値およびS/Cに関係なく 0.3N/mm^2 を得る。このことから、使用するスサに違いがなければ、強度に差は生じないと考える。

フロー値と引張強度の関係は、前者が大きくなるのに関わらず後者はほとんど同じ値を得る。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\text{試験前0\% : } y=0.0008x+0.2713 \quad (r=0.206 \quad n=4)$$

$$85\% : y=-0.0083x+1.5361 \quad (r=-0.985 \quad n=3)$$

$$\text{試験後0\% : } y=-0.0018x+0.6292 \quad (r=-0.488 \quad n=4)$$

$$85\% : y=-0.0003x+0.3195 \quad (r=-0.999 \quad n=3)$$

$$0\% \text{と} 85\% : y=-0.0016x+0.5756 \quad (r=-0.276 \quad n=14)$$

ここに、 y : 引張強度 (N/mm^2)

x : フロー値

式からも明らかなように、相関係数 r は試験前および後のS/Cで異なり、0%の場合 $r=0.3$ 程度、85%で $r=0.9$ 以上を示すことから、フロー値と引張強度の関係は前者で小さいが、後者は認められる。両者の関係は、0%と85%で求めると相関係数 $r=-0.27$ と小さな値を得るが、右下がりでフロー値の増加に伴い強度が低下することが確認できる。

以上のように、引張応力ひずみ曲線は試験前、後およびS/Cに関わらずフロー値によって違いが見られる。フロー値 $125\pm5\sim145\pm5$ は、S/Cに関係なくひずみ3.0前後で最大応力度に達し、その後は破断するが、 155 ± 5 はS/Cで異なり0%でひずみ0.2、85%の場合4.0程度で最大応力度に達した後、両者とも破壊する。引張強度は、試験前、後、フロー値およびS/Cに関係なく大略 0.35N/mm^2 を得る。また、強度はフロー値の増加に伴い低下する。

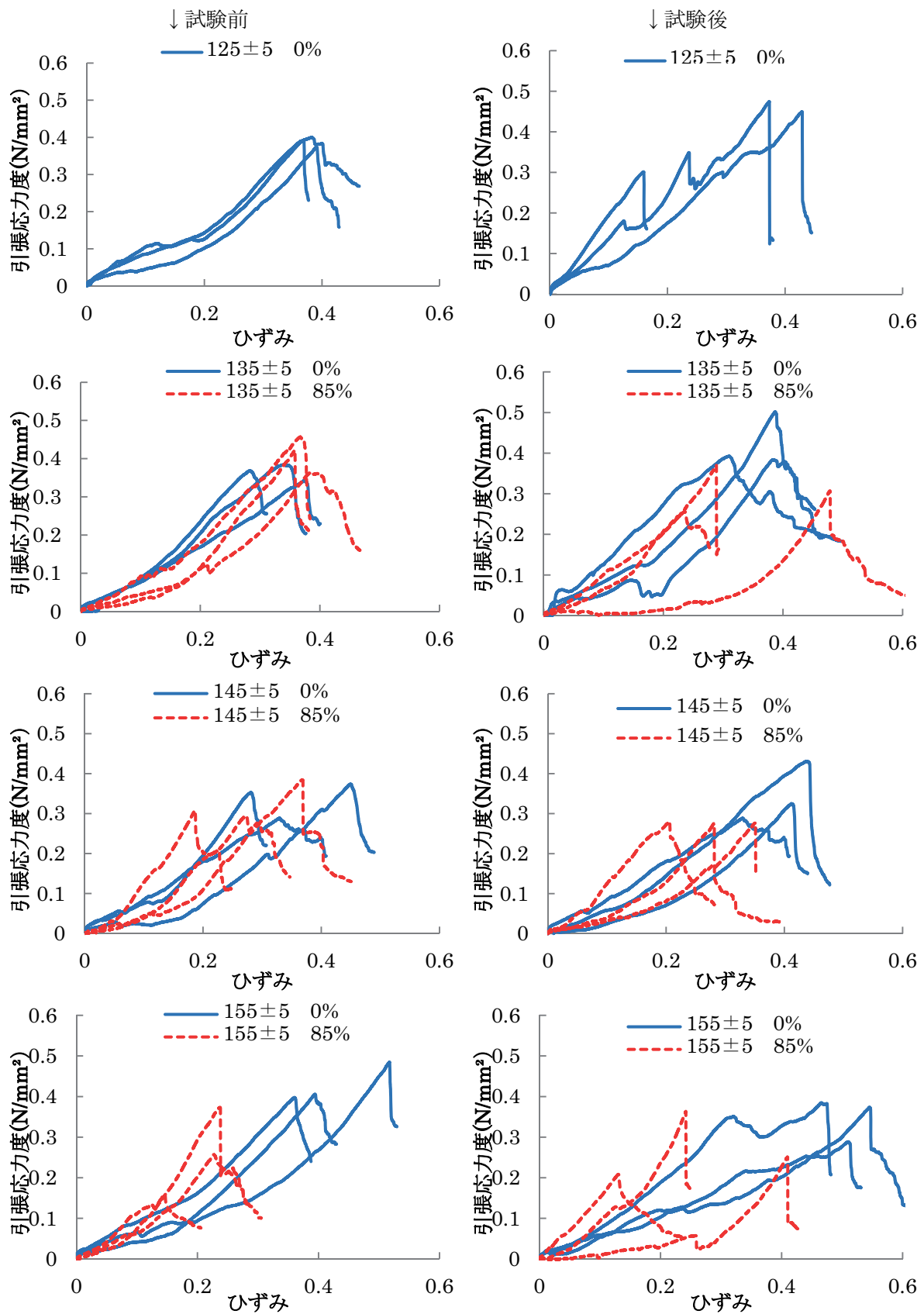


図3.5.1-66 フロー値と引張強度の関係

表3.5.1-35 引張強度

項目	試験前		試験後	
	0%	85%	0%	85%
125±5	0.39	—	0.41	—
135±5	0.37	0.41	0.43	0.28
145±5	0.33	0.35	0.36	0.28
155±5	0.43	0.26	0.35	0.27

注) 値はN/mm²である。

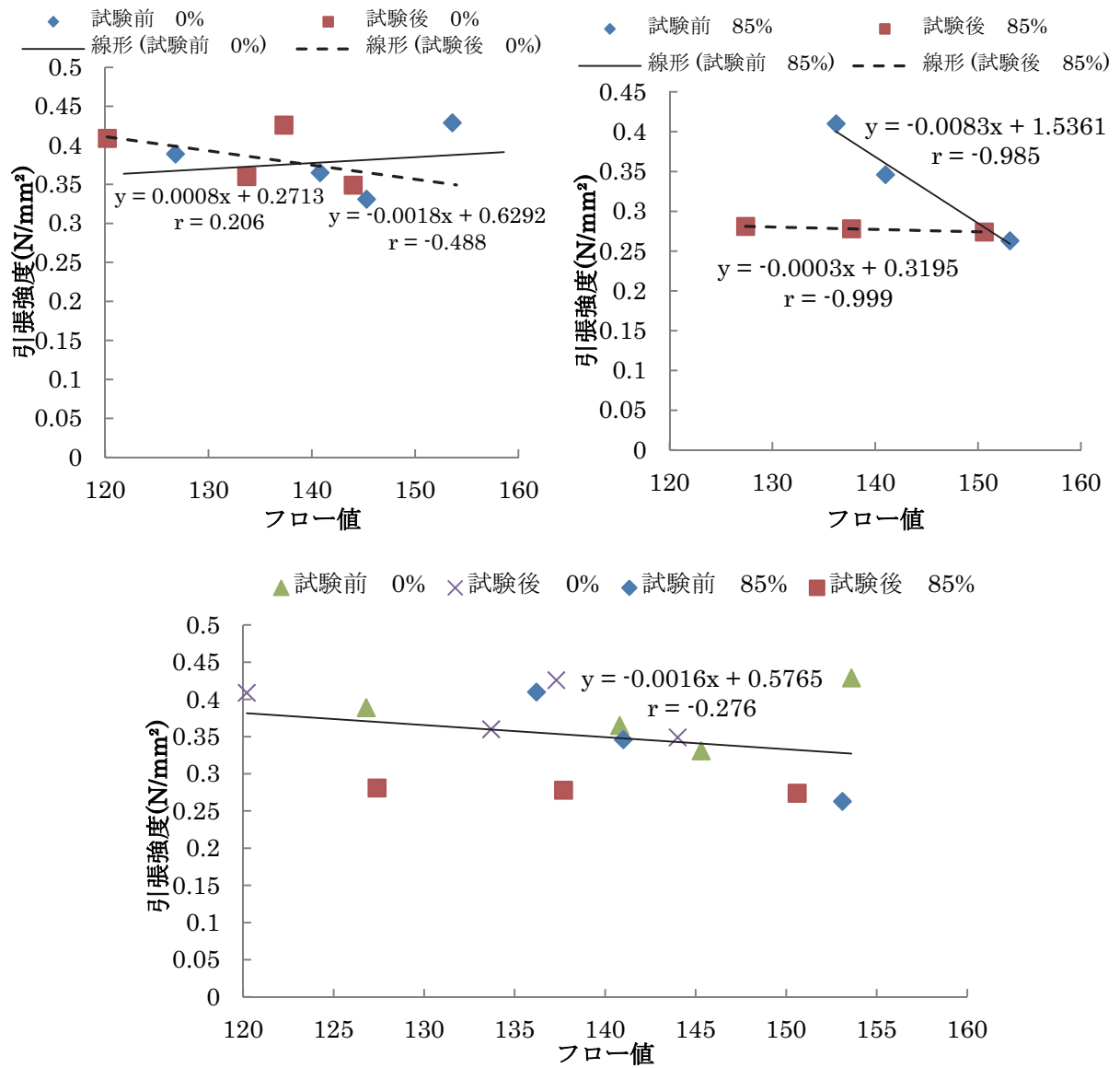


図3.5.1-67 フロー値と引張強度の関係

8) フロー値と各強度の関係

図3.5.1-68フロー値と各強度の関係を示す。

曲げ強度についてみると、フロー値120～160において一部例外もあるが 0.5N/mm^2 を以上を確保できる。

同様に、圧縮、せん断および引張強度は、1.3、0.5および 0.2N/mm^2 以上を得ることができる。

したがって、実際の土塗り現場において、左官職人が塗り易いとしているコンシステンシーの壁土は、一定の強度を保障していると言える。ここでの一定の強度とは、壁土用原土であることから、その値を一律に決めることはできない。もし必要ならば、原土の個々について調べることになるが、意義は全く決められず、悪趣味と言える。壁土用原土は日本国内無限にあり、それを調べることの工学的意義を認めるが、曲げおよび圧縮強さが決められていない状況で地域性のある原土の個別の値を提示することに何の益も見い出ない。また、もし所要の強度が決められない広範囲の地域が存在し、土壁の利用が活発な場合、どのように改善するのか、仕様が決められていない現状を考えると無駄で枝葉末節が占める社会となることの方が危険と言わざるを得ない。

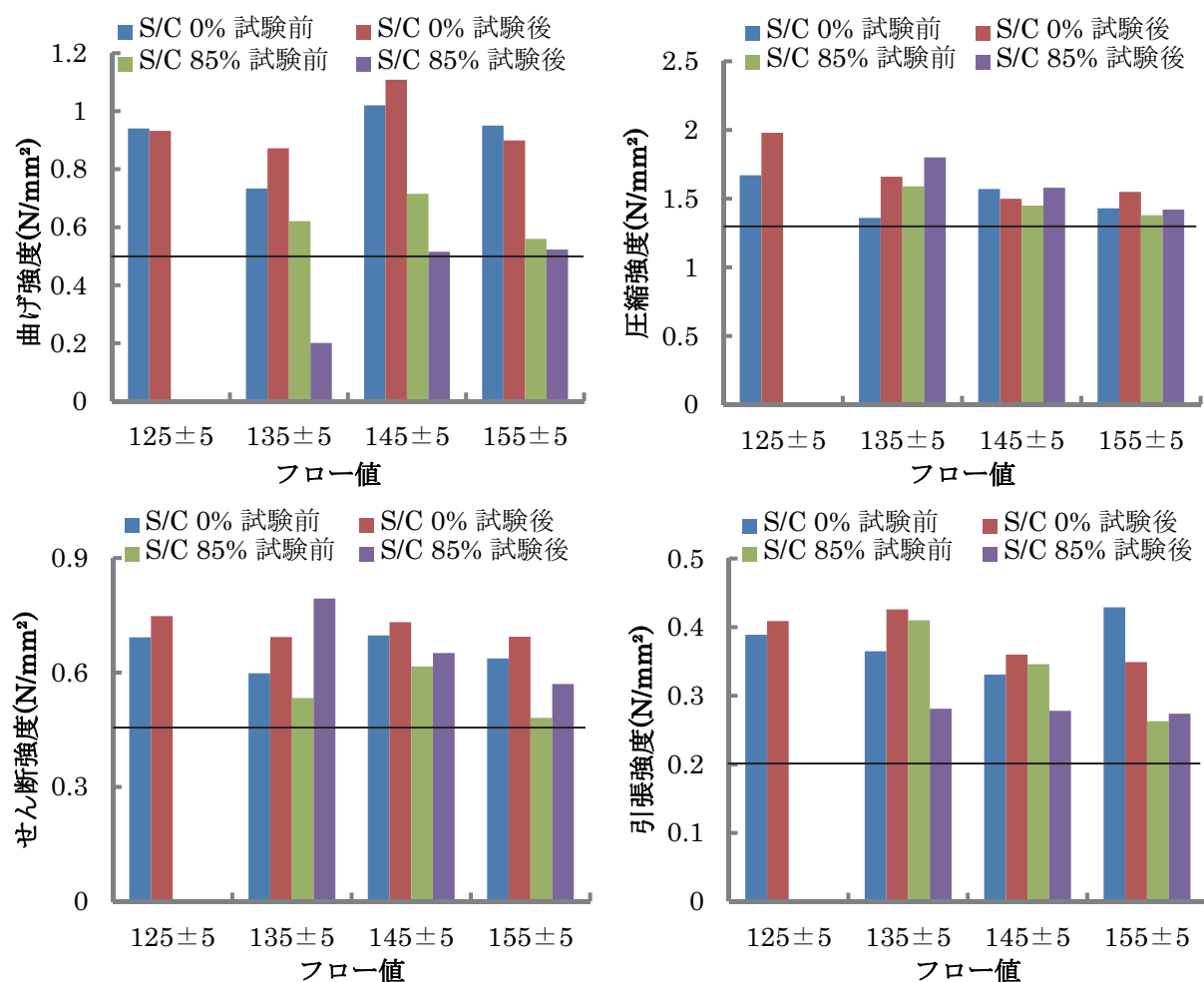


図3.5.1-68 フロー値と各強度の関係

9) 50mmふるいの落下率と曲げおよび圧縮強度の関係、曲げと圧縮強度の関係

(a) 50mmふるいの落下率と曲げおよび圧縮強度の関係

図3.5.1-69落下率と曲げおよび圧縮強度の関係を示す。

曲げ強度は、落下率によるばらつきがみられるが、 0.5N/mm^2 を確保する。

圧縮強度は、落下率が14%程度までなら前者は 1.4N/mm^2 以上を与え、後者が大きくなるのに伴い低下する。

曲げおよび圧縮強度は、落下率が大きくなると減少する傾向にある。これは、落下率が大きいと壁土が軟らかいことを表し、強度が低くなると考える。しかし、フロー値125～160の範囲なら曲げおよび圧縮強度は、 0.5 および 1.4N/mm^2 以上を確保できることを表している。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\text{曲げ} : y = -0.0063x + 0.7869 \quad (r = -0.114 \quad n = 14)$$

$$\text{圧縮} : y = -0.0196x + 1.6627 \quad (r = -0.521 \quad n = 14)$$

ここに、 y : 曲げおよび圧縮強度 (N/mm^2)

x : 落下率 (%)

式からも明らかなように、相関係数 r は曲げで $r=0.1$ 、圧縮の場合 $r=0.5$ を示すことから、落下率と曲げおよび圧縮強度の関係は、前者で小さいが後者で認められる。

以上のことから、曲げおよび圧縮強度は現場において50mmふるいを使用し落下率0～14%の範囲で 0.5 および 1.4N/mm^2 を確保できる。また、曲げと圧縮強度の関係性は認められないことから、一律に曲げ強度を決められないことが明らかである。

(b) 曲げ強度と圧縮強度の関係

図3.5.1-70に曲げ強度と圧縮強度の関係を示す。

曲げ強度は、圧縮強度に関わらず 0.5N/mm^2 を確保することができる。また、圧縮強度は 1.4N/mm^2 以上を与え、曲げ強度を1とした場合、安全側に見ると2.5倍を得る。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$y = -0.0055x + 1.5713 \quad (r = -0.013 \quad n = 14)$$

ここに、 y : 圧縮強度 (N/mm^2)

x : 曲げ強度 (N/mm^2)

式からも明らかなように、相関係数 r は曲げで $r=0.1$ 未満を示すことから、両者の関係は認められない。

以上のことから、曲げ強度は、圧縮強度に関わらず 0.5N/mm^2 を確保することができる。また、圧縮強度は 1.4N/mm^2 以上を与え、曲げ強度を1とした場合、安全側に見ると2.5倍を得る。実際の現場では、50mmふるいを使用し落下率を調べることで曲げ強度を推測することが可能である。しかし、研究が緒についたばかりで、検討を重ねる必要がある。

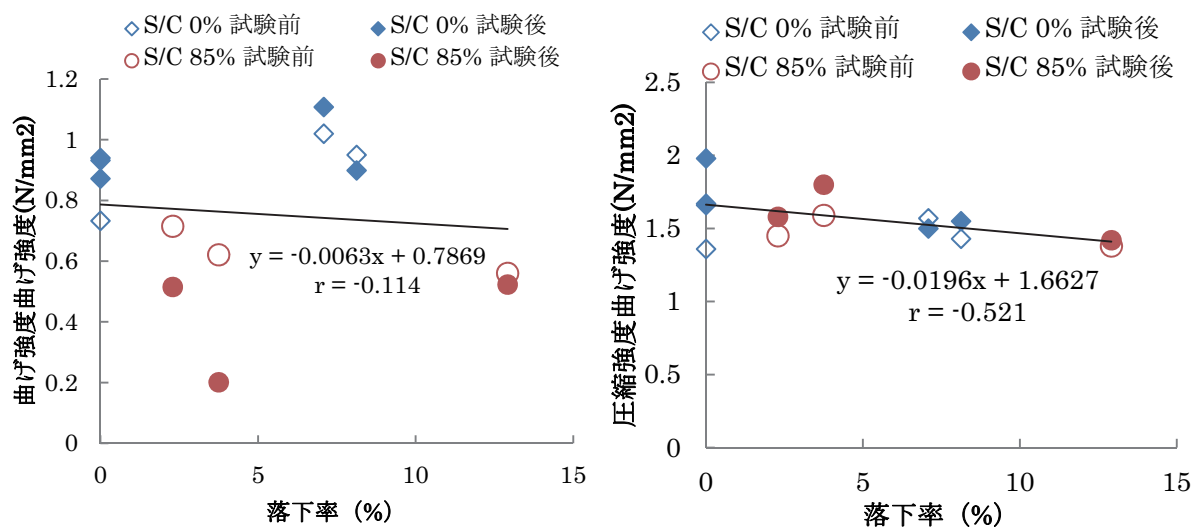


図3.5.1-69 50mmふるいの落下率と曲げおよび圧縮強度の関係

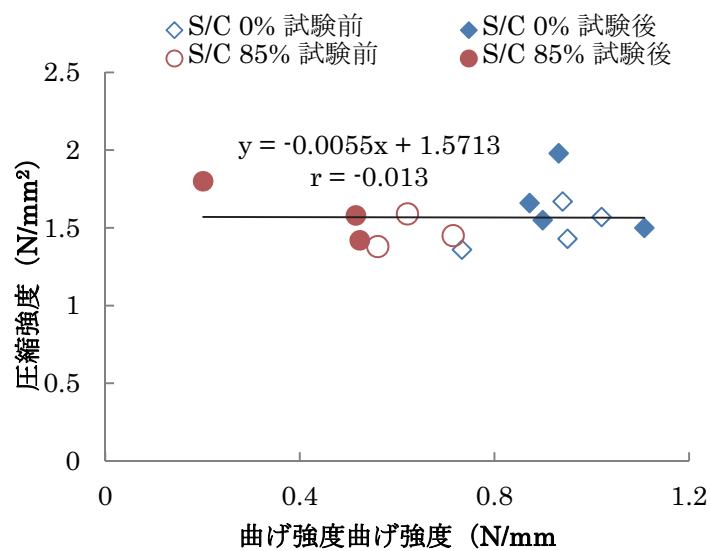


図3.5.1-70 曲げと圧縮強度の関係

(4) まとめ

以上、壁土は基本調合で作製し、フロー値の調整は加水で行った実験について総括すると次のようになる。

1) 落下量

フロー値が高くなるほど落下量は増加するが、スサがふるい目に引っかかることで、落下量が減少する。しかし、現場では塗るとき裏塗りを行うために必要なことである。

落下量はS/Cでことなり、ふるい目が20、25および30mmの0%では0であるが、85%の場合フロー値155±5で25および30mmで2.0%程度の落下が見られた。S/C0%は、試料がペースト状で粘りが強いが、85%は砂が含まれていることで弱くなる。また、小舞間隔は30mm前後が裏面に適度な壁土が通過し、裏なでを行うには適していると言える。

2) 質量変化

質量変化はフロー値に関係なくS/Cによって異なり、試験前および後で、それぞれ大略9および15日ではほぼ一定した後、緩慢に低下する。また、質量変化率はS/C0%で19～21%、85%は14～16%を与える。

3) 曲げ、圧縮、せん断および引張強度

(a) 曲げ強度

曲げ応力たわみ曲線は落下試験前後およびフロー値に関わらずS/Cによって異なる。0%はたわみ1.0mm程度、85%の場合0.7mm前後まで線形で増え最大応力に達し、その後は前者で緩慢に、後者は急激に低下する。

曲げ強さは、フロー値と関係のないことを確認した。しかし、ある一定のコンシステンシーの範囲ならば、言い換えればフロー値125以上であるなら曲げ強度0.5N/mm²以上を確保できる。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\text{落下試験前0\% : } y = -0.0015x + 0.6914 \quad (r = -0.140 \quad n = 4)$$

$$85\% : y = -0.0054x + 1.4059 \quad (r = -0.602 \quad n = 3)$$

$$\text{落下試験後0\% : } y = -0.0019x + 1.2033 \quad (r = -0.176 \quad n = 4)$$

$$85\% : y = 0.0133x - 1.4342 \quad (r = 0.844 \quad n = 3)$$

$$0\% \text{ および } 85\% : y = -0.0007x + 0.8494 \quad (r = -0.026 \quad n = 14)$$

ここに、y : 曲げ強度 (N/mm²) x : フロー値

(b) 圧縮強度

圧縮応力ひずみ曲線は試験前、後およびフロー値に関わらずS/Cによって異なる。0%はひずみ0.1～0.15前後、85%の場合0.05～0.1程度まで線形で増え最大応力に達し、その後は両者とも緩慢に低下する。圧縮強度は、試験前および後で差異はなく1.4～1.6N/mm²を得る。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\text{落下試験前0\% : } y = -0.0079x + 2.628 \quad (r = -0.638 \quad n = 4)$$

$$85\% : y = -0.0111x + 3.0707 \quad (r = -0.907 \quad n = 3)$$

$$\text{落下試験後0\% : } y = -0.0181x + 4.0966 \quad (r = -0.842 \quad n = 4)$$

$$85\% : y = -0.0162x + 3.8468 \quad (r = -0.988 \quad n = 3)$$

$$0\% \text{ および } 85\% : y = -0.0144x + 3.5669 \quad (r = -0.837 \quad n = 14)$$

ここに、y : 圧縮強度 (N/mm²) x : フロー値

(c) せん断強度

せん断応力ひずみ曲線は試験前、後およびフロー値に関わらずS/Cによって異なる。0%はひずみ3.0前後、85%の場合2.0程度まで線形で増え最大応力に達し、その後は両者とも緩慢に低下する。せん断強度は、試験前および後に関係なく0%で大略0.6、85%の場合大略0.5N/mm²を与え、S/Cによる差異は見られない。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\text{落下試験前0\% : } y = -0.0015x + 0.8672 \quad (r = -0.354 \quad n = 4)$$

$$85\% : y = -0.0046x + 1.2096 \quad (r = -0.594 \quad n = 3)$$

$$\text{落下試験後0\% : } y = -0.0025x + 1.0462 \quad (r = -0.893 \quad n = 4)$$

$$85\% : y = -0.0095x + 1.9902 \quad (r = -0.975 \quad n = 3)$$

$$0\% \text{ および } 85\% : y = -0.0057x + 1.4426 \quad (r = -0.654 \quad n = 14)$$

ここに、y : せん断強度 (N/mm²) x : フロー値

(d) 引張強度

引張応力ひずみ曲線は試験前、後およびS/Cに関わらずフロー値によって違いが見られる。フロー値125±5～145±5は、S/Cに関係なくひずみ3.0前後で最大応力度に達し、その後は破断する。また、155±5は、S/Cで異なり0%でひずみ0.2、85%の場合4.0程度で最大応力に達した後、両者とも破壊する。引張強度は、試験前、後、フロー値およびS/Cに関係なく大略0.35N/mm²を得る。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\text{落下試験前0\% : } y = 0.0008x + 0.2713 \quad (r = 0.206 \quad n = 4)$$

$$85\% : y = -0.0083x + 1.5361 \quad (r = -0.985 \quad n = 3)$$

$$\text{落下試験後0\% : } y = -0.0018x + 0.6292 \quad (r = -0.488 \quad n = 4)$$

$$85\% : y = -0.0003x + 0.3195 \quad (r = -0.999 \quad n = 3)$$

$$0\% \text{ および } 85\% : y = -0.0016x + 0.5756 \quad (r = -0.276 \quad n = 14)$$

ここに、y : 引張強度 (N/mm²) x : フロー値

(e) フロー値と各強度の関係

曲げ強度についてみると、フロー値120～160においてS/C0%は0.6～0.8N/mm²を確保できているが、85%の場合0.2N/mm²と低いことから、S/Cについてフロー値と強度の関係を再検討する必要がある。

圧縮強度は、フロー値120～160でS/C、試験前および後に関係なく1.3N/mm²を得られ、同様に、せん断および引張強度の場合、0.5 および0.3N/mm²程度を確保できると言える。

3) 50mmふるいの落下率と曲げおよび圧縮強度の関係、曲げと圧縮強度の関係

(a) 50mmふるいの落下率と曲げおよび圧縮強度の関係

曲げおよび圧縮強度は現場において50mmふるいを使用し落下率0～14%の範囲で0.5および1.4N/mm²を確保できる。また、曲げと圧縮強度の関係性は認められないことから、一律に曲げ強度を決められないことが明らかである。

曲げおよび圧縮強度は、落下率が大きくなると減少する傾向にある。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\text{曲げ : } y = -0.0063x + 0.7869 \quad (r = -0.114 \quad n = 14)$$

$$\text{圧縮 : } y = -0.0196x + 1.6627 \quad (r = -0.521 \quad n = 14)$$

ここに、y : 曲げおよび圧縮強度 (N/mm²) x : 落下率 (%)

(b) 曲げ強度と圧縮強度の関係

曲げ強度は、圧縮強度に関わらず 0.5N/mm^2 を確保することができる。また、圧縮強度は 1.4N/mm^2 以上を与え、曲げ強度を1とした場合、安全側に見ると2.5倍を得る。実際の現場では、50mmふるいを使用し落下率を調べることで曲げ強度を推測することが可能である。しかし、研究が緒についたばかりで、検討を重ねる必要がある。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$y = -0.0055x + 1.5713 \quad (r = -0.013 \quad n = 14)$$

ここに、 y : 圧縮強度 (N/mm^2) x : 曲げ強度 (N/mm^2)

以上ことから、多くのセメント・コンクリートの研究では、強度が水セメント比で異なりスランプはコンシステンシーによるが、強度との間に関係がないと言われている。しかし、壁土の場合、大気中で乾燥凝固することで、強度を発揮するため水セメント比と化学反応で決まるセメント・コンクリート材料と異なることもフロー値と関係すると考えるが、今後の検討課題でもある。

小舞材料の特性

(1) 実験概要

実験は、壁土に使用される小舞材料の性質について調べている。

(2) 実験方法

1) 使用材料

図3.5.1-71小舞材料のすすき、よし及び竹を写真に示す。図3.5.1-72及び図3.5.1-73に小舞材料の断面および節部を示す。



図3. 5. 1-71 試料の写真



図3. 5. 1-72 小舞材料の断面図



図3. 5. 1-73 小舞材料の節部（右側が末口側）

2) 材料の抽出および採取部位

図3.5.1-74に小舞材料の採取部位を示す。

小舞材料の元の長さは、切断面から元口まで不明である。したがって、切断面から一番近い節を第一節とし、これより元口側10mmから穂先までを実験に用いた。切断後は図3.5.1-71の状態から無作為に3本抽出し、末口からA、B及びCに3等分した。

3) 試験片の抽出および供試体の作製

図3.5.1-75及び図3.5.1-76にすすき、よし及び竹の試験片抽出方法を示す。

試験片は3等分した試料から曲げ（200mm）1、圧縮（直径の2倍）2及び引張（200mm）2個を基本として採取した。しかし、すすきはよし及び竹に比べ短いため、引張を1個とした。

参考までに、小舞材料と壁土の付着について調べている。型枠は100×100×120mmを使用した。試料は採取部位A末口及びC元口を200mmに切断した後、末口側を型枠内に1/2挿入し二層に分けて詰め、モルタル供試体作製用型の突き棒（口35×35mm）で各層40回突き、仕上げは上端をならし成形した。実験は露出部を引っ張ることで行い、付着強さを下式によって求めた。また、表図3.5.1-36に基本調合を示す。

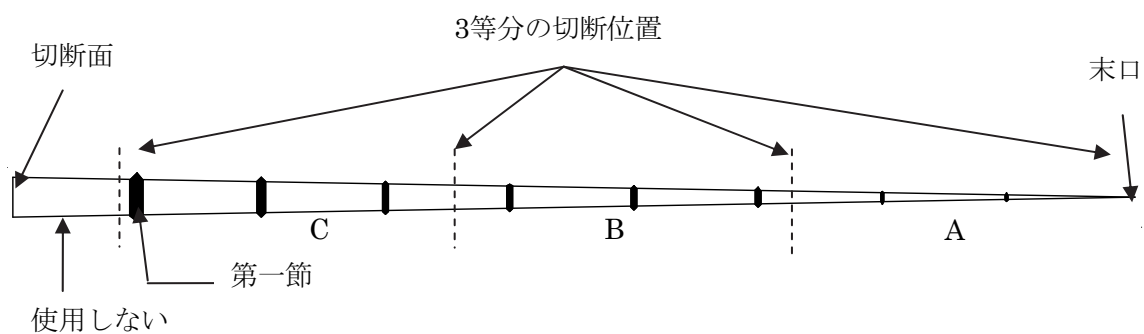


図3.5.1-74 小舞材料の採取部位（例）

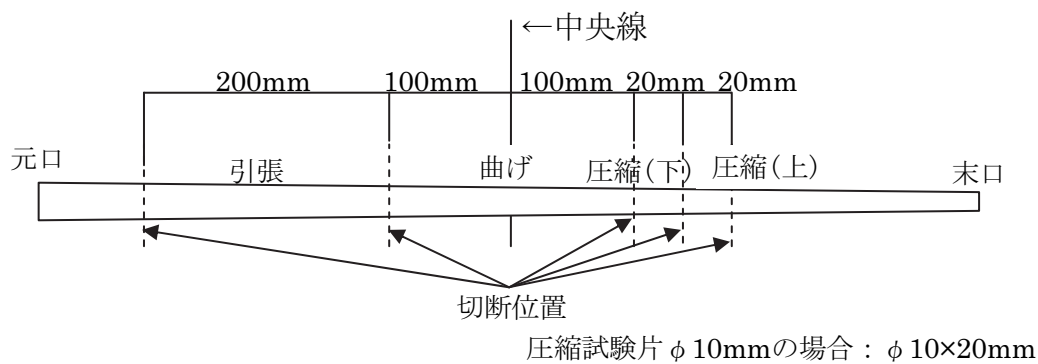


図3.5.1-75 すすきの試験片抽出方法（例）

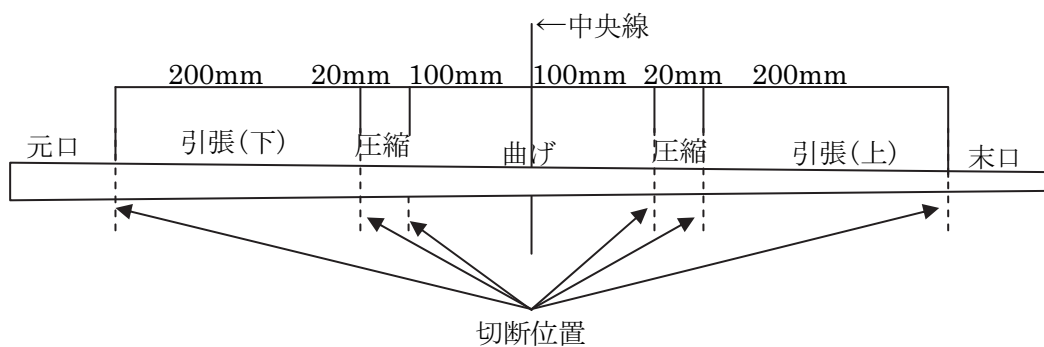


図3.5.1-76 よし及び竹の試験片抽出方法（例）

注) 2個抽出した、圧縮および引張試験片は末口に近い方を上、元口側を下とする。

4) 曲げ、圧縮および引張強さ試験

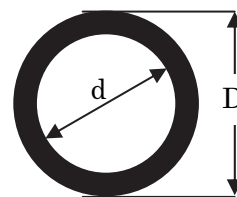
強さ試験は、関連のJISに従いオートグラフを用い、載荷速度は2mm/minで行っている。曲げ、圧縮および引張強さは下式により求め、結果は平均値としている。

(a) 曲げ強さ試験

$$\sigma_b = M/Z \quad Z = \pi((D^2 - d^2)/32D)$$

σ_b : 曲げ強さ (N/mm²) M : 曲げモーメント (N・mm) Z : 断面係数 (mm³)

D : 内径 (mm) d : 外径 (mm)



(b) 圧縮強さ試験

$$\sigma_c = N/A$$

σ_c : 圧縮強さ (N/mm²) N : 最大荷重 (N) A : 断面積 (mm²)

(c) 引張強さ試験

$$\sigma_t = N/A$$

σ_t : 引張強さ (N/mm²) N : 最大荷重 (N) A : 断面積 (mm²)

(d) 付着強さ試験

$$\tau = P/A$$

τ : 付着強さ (N/mm²) P : 試験力 (N) A : 挿入面積 (mm²)

図3.5.1-77に試験状態を示す。



曲げ試験



圧縮試験

引張試験

付着試験

図3.5.1-77 試験状態

表3.5.1-36 基本調合

砂原土比 (%)	質量調合 (g)				合計
	原土 (C)	砂 (S)	水 (W)	スサ (St)	
0	1096.1	0	449.4	27.4	1572.9
85	710.1	603.6	394.8	20.3	1728.8

（３）実験結果および考察

1) 小舞材料の特徴

図3.5.1-78及び図3.5.1-79に小舞材料の長さ及び特徴を、付録にすすき、よし及び竹の詳細を示す。

搬入時の長さはすすき166.3、よし290.0及び竹309.7cmである。また、すすきは穂先のついた状態で搬入されたものを実験室で切断したが、長さ150cm前後が一般的と言える。よし及び竹は末口が切断されているので実際の長さは不明であるが、実用上は290cm前後とみなして差し支えないと考える。

節数は採取部位A、B及びCについてみると、すすきで1.3、4.0及び5.7個となり、末口に向かうほど少なくなる。よしは10.7、4.3及び3.7個ですすきと逆の性質を示し、末口に近い箇所ほど増加する。竹の場合4.7、3.0及び3.7個で、すすき及びよしと異なり採取部位の差がほとんどなく大略100cmの間に節が3.7個ある。また、節は図3.5.1-73をみるとそれぞれに特徴が現れ、すすきはくびれも大きく現われ、よしよりも表面が滑らかである。よしはすすきと同じようにくびれはあるが、すすきよりもざらざらしている。竹の場合、葉の着き方がすすき及びよしと異なるため、節部のくびれと凸の落差はほとんどない。小舞材料は壁土との付着を考慮した場合、節部ですすき及びよしのくびれが大きいことから竹よりも付着力が上回ると推察する。

外径は採取部位A、B及びCについてみると、すすきで3.1、4.3及び5.2mm、よしは5.0、7.7及び9.3mm、竹の場合7.5、10.0および9.7mmで、いずれの材料も末口から元口に向かい2割程度太くなる。

肉厚は採取部位A、B及びCについてみると、すすきで0.8、0.7及び0.9mm、よしは0.5、0.7及び1.0mmとなり、すすき及びよしは元口に向かって太くなるが採取部位で大差ない。竹の場合1.4、3.0及び2.9mmとなり、A末口がB及びCに比べ大略1/2を示す。

断面積は採取部位A、B及びCについてみると、すすきで2.3、4.6及び6.6mm²、よしは6.4、15.1及び23.0mm²、竹の場合13.6、23.0及び21.6mm²となり、概ね外径および肉厚と同様に元口へ向かい大きくなる。すすきとよしは肉厚に大差がなく、外径が元口に近づくほど違いを生じるため断面積は後者の方が大きい。

すすきはよしに比べて長さも短いことから小舞組みにも多くの量を必要とするが、日本国内で身近にあり、入手しやすいことから金沢では土壁用に利用されたことが推測される。

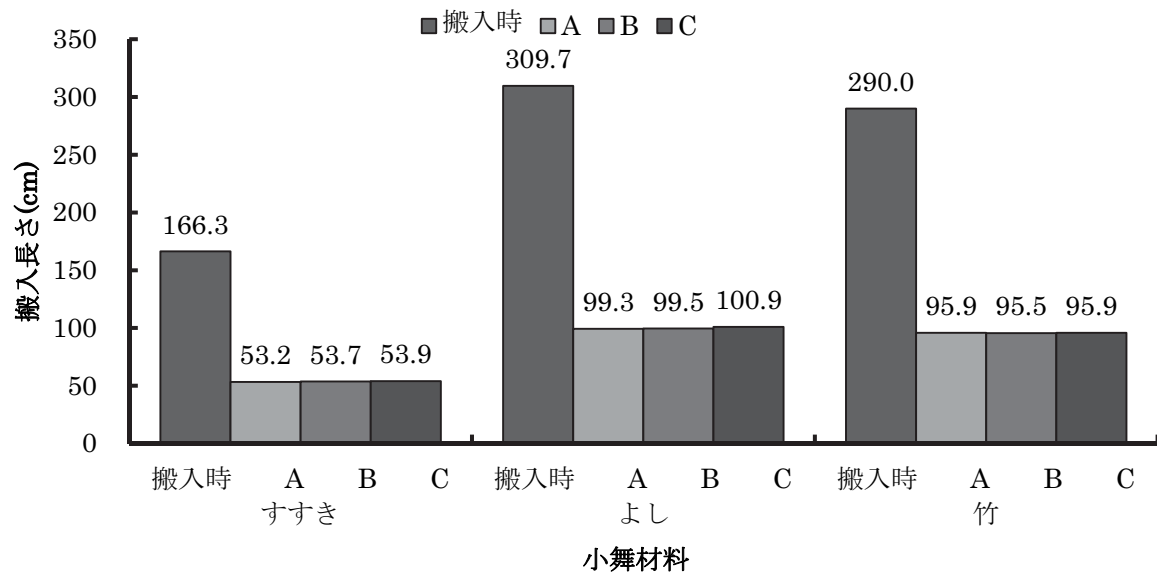


図3.5.1-78 小舞材料の搬入時および切断時の長さ

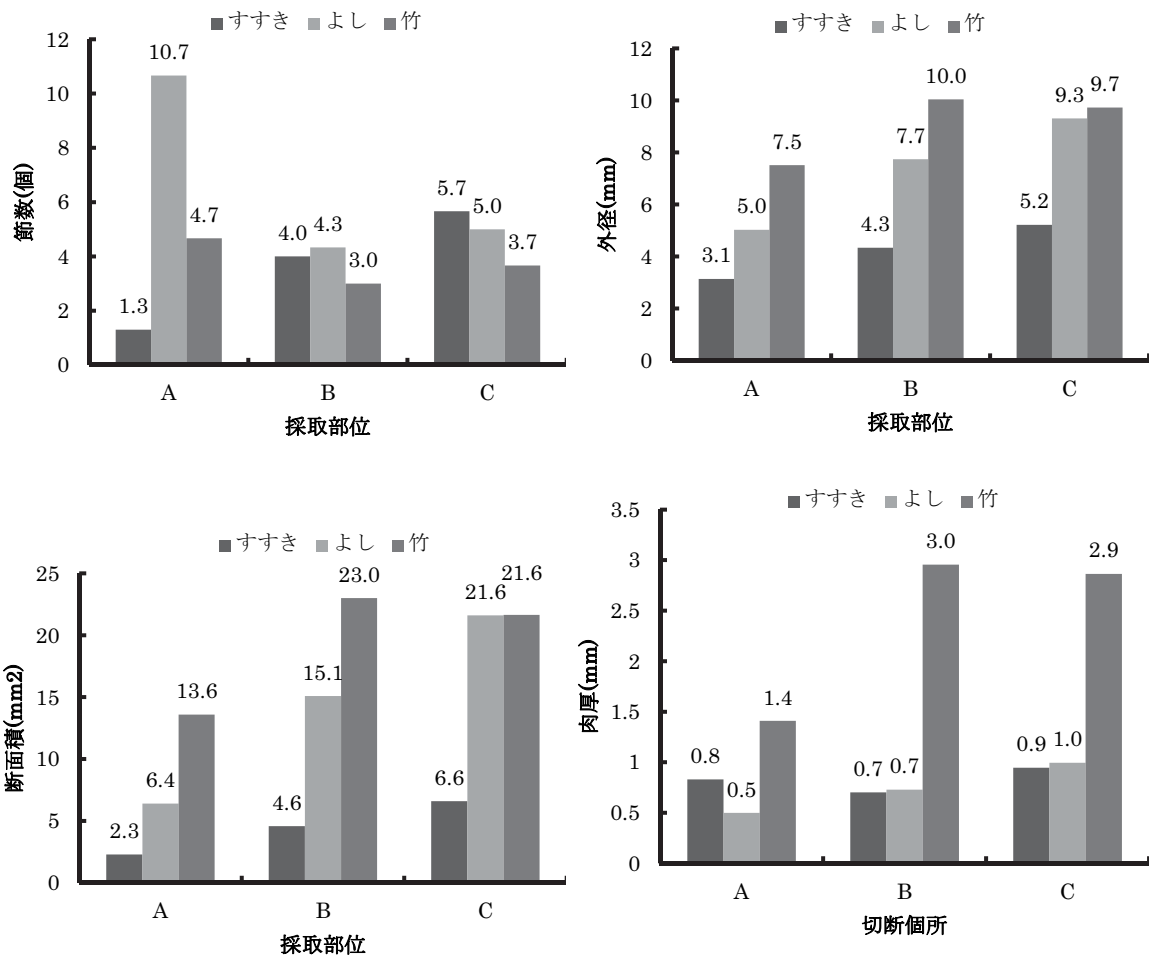


図3.5.1-79 各小舞材料の節数、外径、肉厚および断面積

2) 曲げ、圧縮、引張および付着強さ

(a) 曲げ強さ

図3.5.1-80及び図3.5.1-81、表3.5.1-37に曲げ応力度とたわみの関係および曲げ強さを示す。すすきAは振れ幅が広いため参考までに2次式で求めた。

曲げ応力たわみ曲線は小舞材料および採取部位によって異なるが、最大応力度に達した状態を維持した後、緩慢に低下する。すすきの場合、Aは差も大きい、たわみ2～4mmで最大応力度0.2～0.5N/mm²に達し、その後は緩慢に低下する。荷重初期の傾きはA<B<Cを得る。よしは採取部位に関係なく、たわみ1mm前後まで線形に増加して最大応力度0.2～0.5N/mm²の応力状態をたわみ3mm前後まで保ちゆっくりと減少する。荷重初期の立ち上がり勾配はA>B>Cになる。竹はよしと似た傾向を示し、採取部位に関係なくたわみ1.5mm程度まで線形に増え、最大応力度3～9N/mm²を維持した後くし形に減少する。くし形は載荷部において竹の割れの進行と喰い込みの現象と推察する。荷重初期における傾きの勾配はA>B>Cとなり、その傾向はよしと竹が同じであるが、すすきは逆の傾向になる。

曲げ強さは小舞材料および採取部位で異なる。採取部位A、B及びCでみると、その値はすすき0.100、0.094及び0.012N/mm²、よし0.319、0.261及び0.237N/mm²、竹7.552、3.580および3.550N/mm²を得る。すすきとよしの差は小さく、前者は元口に向うほど強くなるが、後者は末口に近づくほど大きくなる。竹はB及びCで3.58及び3.55N/mm²と近い値を示しているが、Aは7.55N/mm²で約2倍となり、元口より末口の方が強くなる。また、採取部位A、B及びCの平均値求めすすきを100として比べると、よし及び竹で大略2.6及び47.5倍を示す。このことは、竹がよし及びすすきよりも太いため強度があると考えられ、竹Aの方がB及びCより細いことから密度が上がり、しなることで差が顕著に現れたと考える。

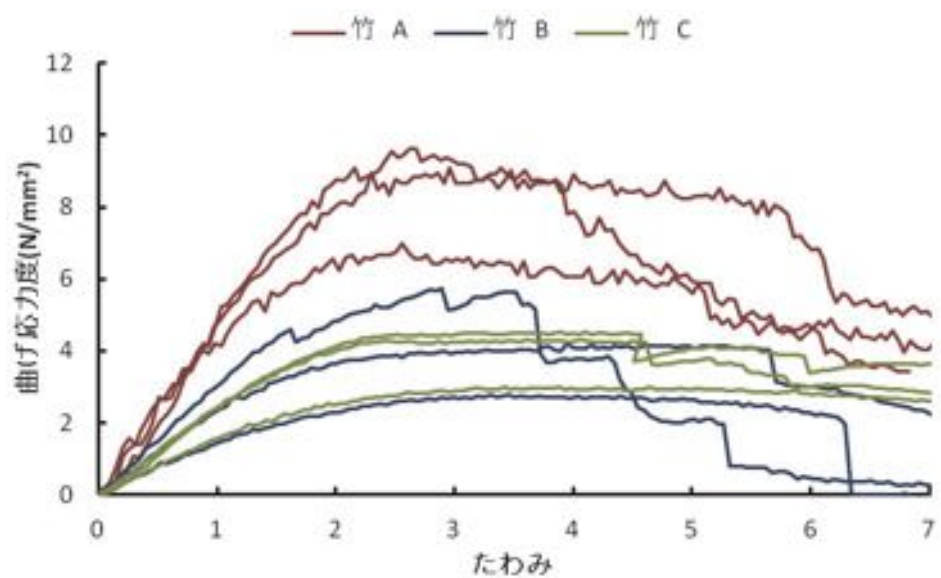
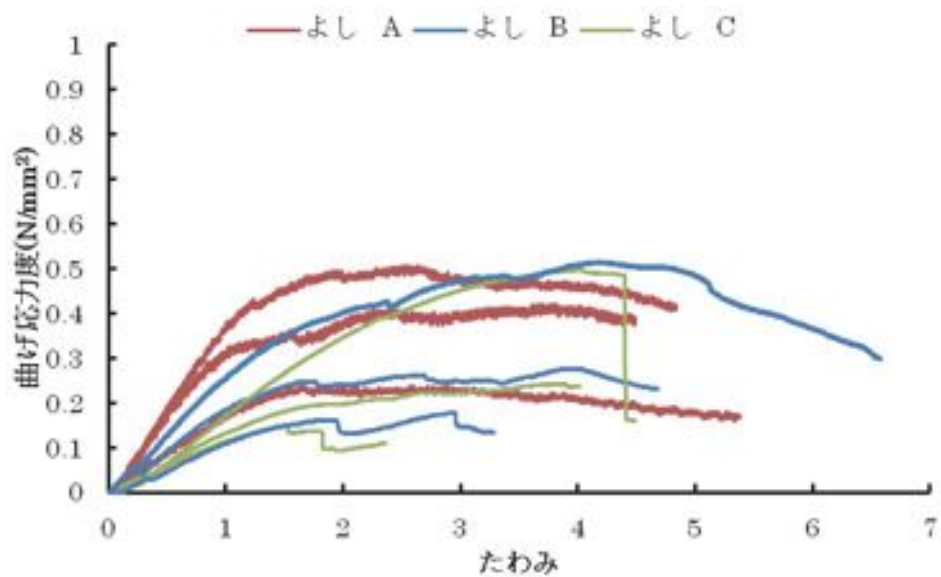
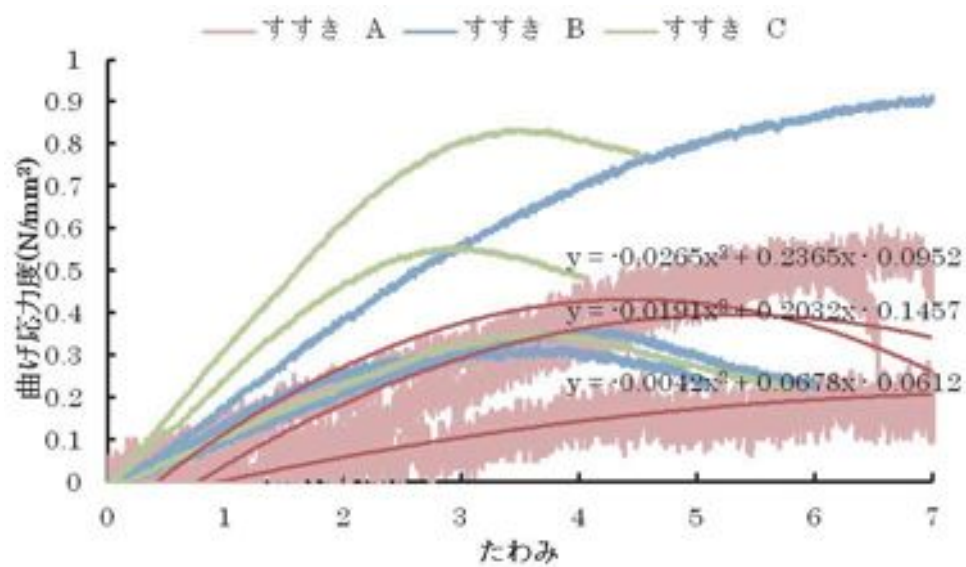


図3.5.1-80 曲げ応力度とたわみの関係

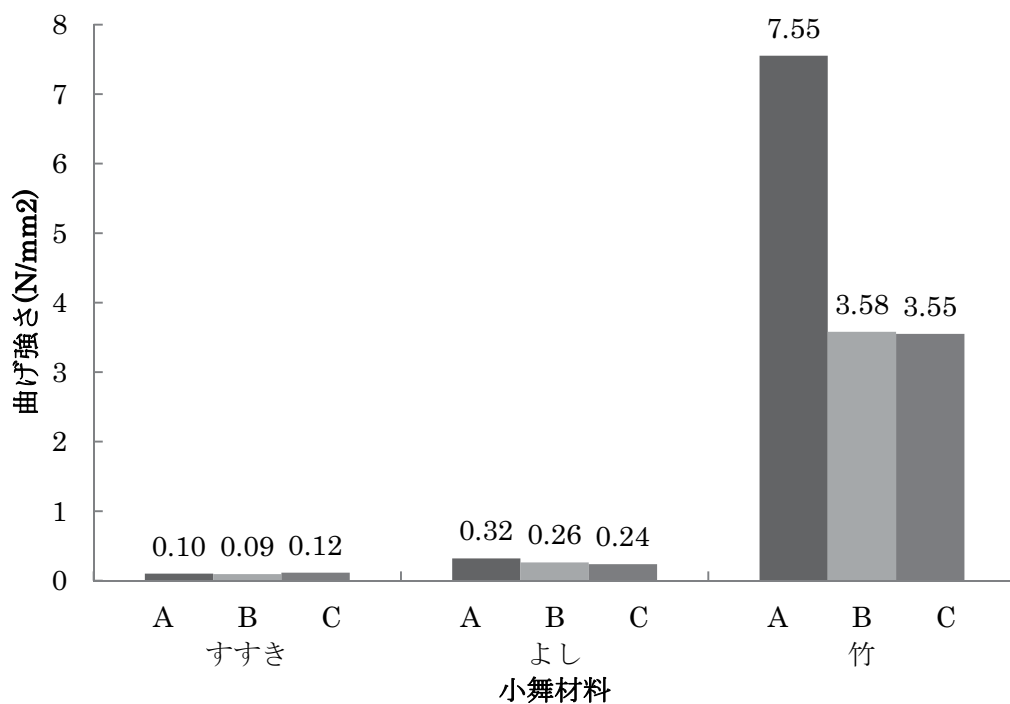


図3.5.1-81 曲げ強さ

表3.5.1-37 曲げ強さ

項目			すすき	よし	竹
採取部位	A	曲げ強さ (N/mm²)	0.100	0.319	7.552
		割合 (%)	100	100	100
	B	曲げ強さ (N/mm²)	0.094	0.261	3.580
		割合 (%)	94	82	47
	C	曲げ強さ (N/mm²)	0.116	0.237	3.550
		割合 (%)	116	74	47

注) 割合 (%) : 採取部位Aを100とする。

項目	すすき	よし	竹
曲げ強さの平均 (N/mm²)	0.103	0.272	4.894
割合 (%)	100	264	475

注) 割合 (%) : すすきを100とする。

(b) 圧縮強さ

図3.5.1-82に圧縮応力度とひずみの関係を示す。

圧縮応力ひずみ曲線はすすき及びよしで末口から元口に向かい増加するが、竹の場合採取部位で差異がない。最大応力度のひずみは、採取部位A、B及びCでみると、すすきで0.5、1.1及び1.5となり、A末口からC元口に近づくほど増える。よしは0.5、0.8及び0.8、竹の場合0.6、0.9及び0.9となり、AからBへと増すが、BからCはほぼ一致する。

図3.5.1-83、表3.5.1-38及び表3.5.1-39に圧縮強さ及び圧縮試験片を示す。

圧縮強さは小舞材料に関係なく、末口から元口に向かうほど増加する傾向がみられる。すすき、よし及び竹の値は、採取部位でみるとAで12.8、13.9及び96.0N/mm²、Bは22.2、22.9及び91.7N/mm²、Cの場合31.2、22.2及び121.2N/mm²を得る。これは、すすき及びよしの肉厚が竹に比べ薄く、太さ及び繊維も細いため圧縮強さが小さくなる一因と考える。

したがって、すすき及びよしは同一採取部位なら、圧縮強度に大差がないことから実際に小舞材料として利用する場合、よし（長さ290.0cm）を使った方がすすき（長さ106.3cm）よりも1.8倍多く、小舞を組むことができることを表している。しかし、すすきの方が国内の地域を問わず入手できることから実用的と考える。

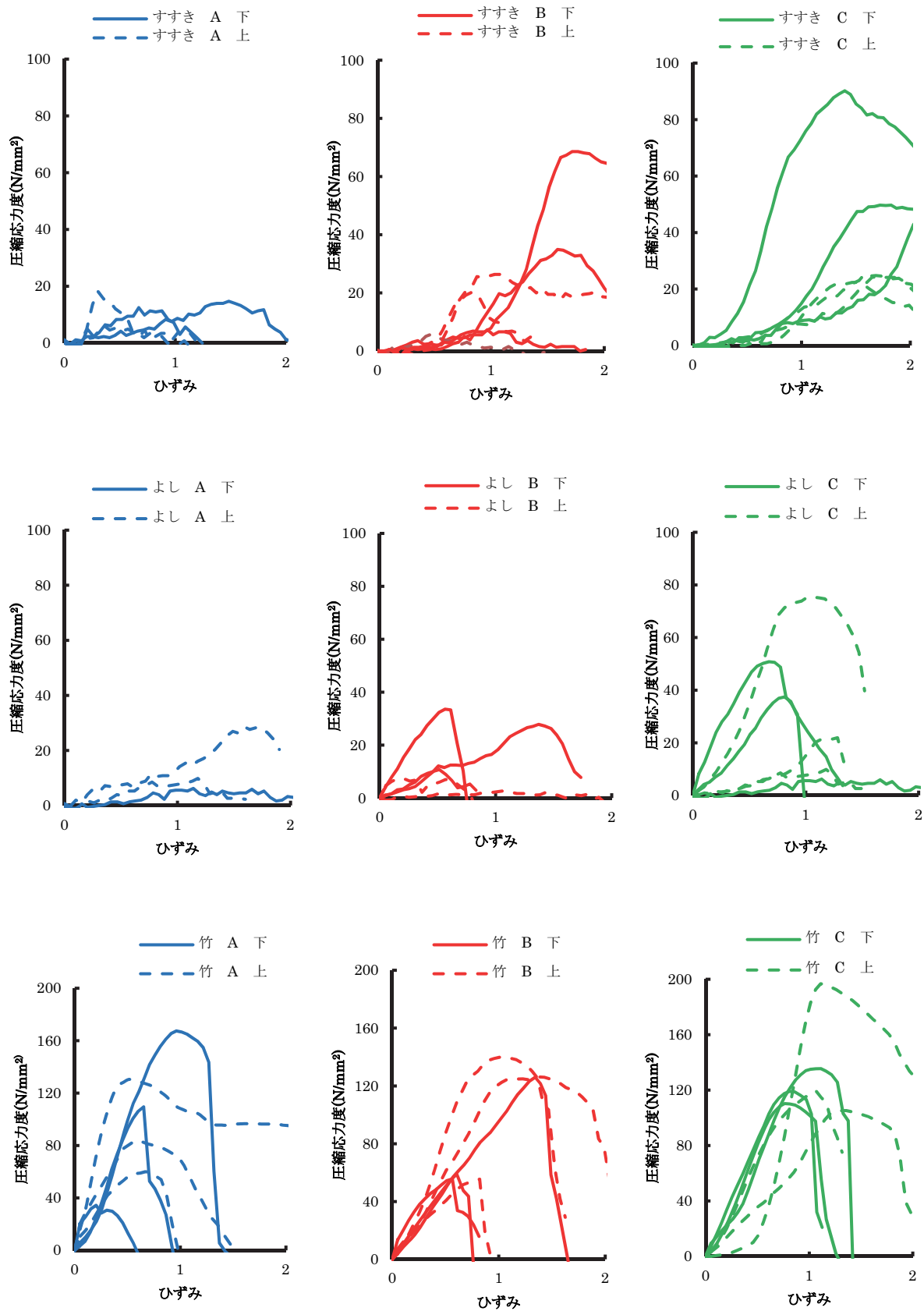


図3.5.1-82 圧縮強さとひずみの関係

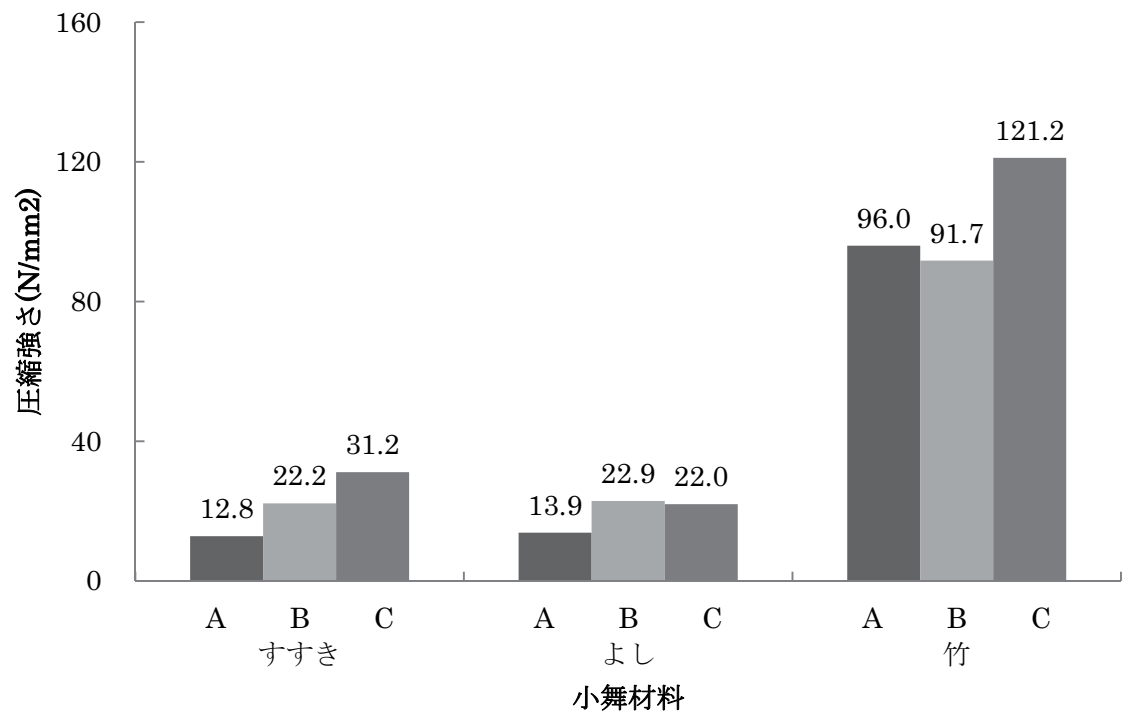


図3.5.1-83 圧縮強さ

表3.5.1-38 圧縮強さ

項目			すすき	よし	竹
採取部位	A	圧縮強さ (N/mm²)	12.8	13.9	96.0
		割合 (%)	100	100	100
	B	圧縮強さ (N/mm²)	22.2	22.9	91.7
		割合 (%)	173	165	96
	C	圧縮強さ (N/mm²)	31.2	22.0	121.2
		割合 (%)	244	158	126

注) 割合 (%) : 採取部位Aを100とする。

表3.5.1-39 圧縮試験片

項目			すすき		よし		竹	
			上	下	上	下	上	下
採取部位	A	直径 (mm)	2.90	3.96	4.13	5.43	7.39	8.60
		高さ (mm)	5.79	7.92	8.26	10.85	14.78	14.42
	B	直径 (mm)	4.03	4.77	7.02	7.67	7.21	9.20
		高さ (mm)	8.05	9.54	14.03	15.34	16.68	17.20
	C	直径 (mm)	5.14	5.26	8.99	9.43	8.34	9.90
		高さ (mm)	10.27	10.51	17.97	18.85	18.39	19.79

(c) 引張強さ

図3.5.1-84に引張応力度とひずみの関係を示す。

引張応力ひずみ曲線の傾向は、小舞材料及び採取部位によって異なる。すすきの場合、荷重初期での立ち上がりが急であるが、ひずみ大略1で最大値 100N/mm^2 前後となり破断する。よしは、採取部位での差が大きい、ひずみ2前後で最大応力度 $100\sim 200\text{N/mm}^2$ となり切断する。竹の場合、ひずみ1程度まで曲線で増え、その後は線形で増加しひずみ5前後で最大応力度 $100\sim 200\text{N/mm}^2$ に達した後破断する。また、ひずみ1程度までの傾向はすすきと近似しているが、荷重初期での試料つかみ部の滑りとも考えられる。

図3.5.1-85、表3.5.1-40に引張強さを示す。

引張強さは採取部位A、B及びCでみると、すすき 40.1 、 105.8 及び 82.8N/mm^2 、よし 154.6 、 172.4 及び 176.2N/mm^2 、竹 169.1 、 222.0 及び 154.5N/mm^2 を与える。以上のことから、採取部位に関係なく、すすき、よし及び竹の順に大きくなる。各材料の採取部位Aを100とするとすすき、よし及び竹のB~Cで $2.0\sim 2.6$ 、 $1.0\sim 1.1$ 及び $0.9\sim 1.3$ 倍程度となり、すすきの差が大きい。このことは、すすきの節数がA末口に近づくほど極端に減少することも一因と考える。また、小舞材料は採取部位で強さが異なり、すすきは $B>C>A$ 、よしで $C>B>A$ 、竹は $B>A>C$ となる。

以上のことから、よし及び竹は採取部位による大きな差異は見られないが、すすきは顕著に現れる。

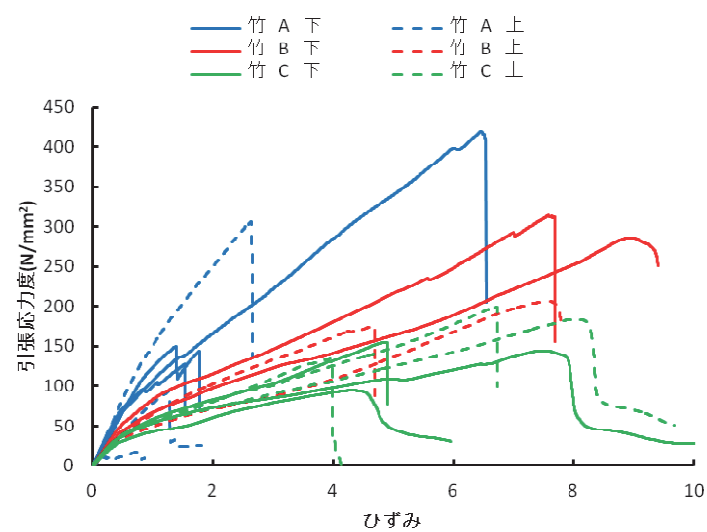
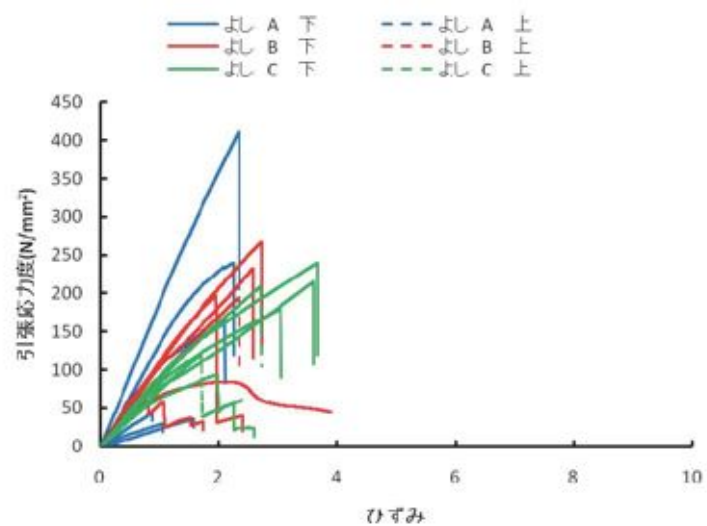
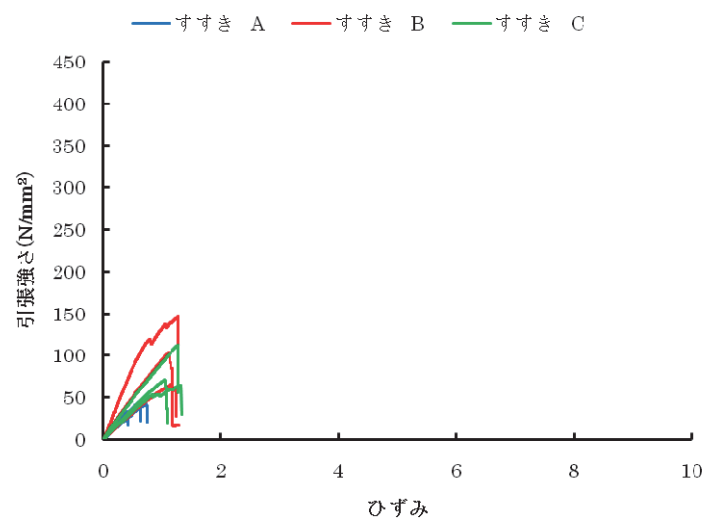


図3.5.1-84 引張強さとひずみの関係

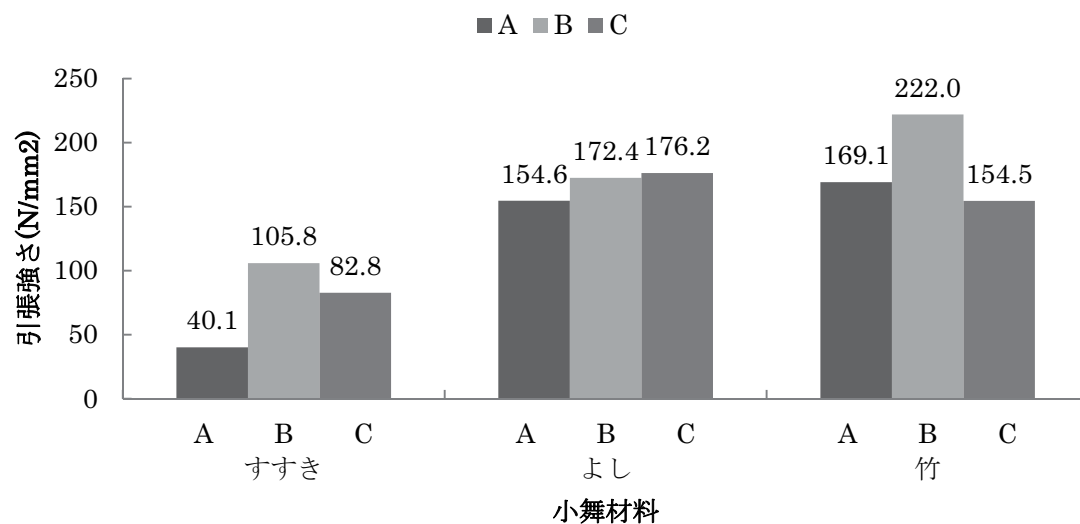


図3.5.1-85 引張強さ

表3.5.1-40 引張強さ

項目			すすき	よし	竹
採取部位	A	圧縮強さ (N/mm ²)	40.1	154.6	169.1
		割合 (%)	100	100	100
	B	圧縮強さ (N/mm ²)	105.8	172.4	222.0
		割合 (%)	264	112	131
	C	圧縮強さ (N/mm ²)	82.8	176.2	154.5
		割合 (%)	206	114	91

注) 割合 (%) : 採取部位Aを100とする。

(d) 付着強さ

図3.5.1-86、図3.5.1-87及び図3.5.1-88に付着応力度と抜けの関係、付着強さ及び付着強さと挿入面積の関係を示す。

付着強さは欠測値もあるが、S/C、材料および採取部位によって異なる。よし及び竹はS/C0% > 85%であることから、すすきの欠測値も同様の傾向を示すことが推察される。その値は、よし及び竹の0%で0.016及び0.039N/mm²、85%は0.031及び0.051N/mm²、すすき0.011N/mm²と太いほど大きくなる。

採取部位でみると、よし及び竹はA > Dであるが、すすきはA < Dと逆の性質を示す。図3から見られるように、よし及び竹の節は盛り上がっているが、すすきは盛り上がりとくびれの差も大きく現れていることが付着強さに影響したと考える。

付着強さと表面積の関係をみるとすすき及びよしの場合、挿入した表面積の増加と共に増えるが、竹は低下している。このことは、表面積の増加に伴い動く面積も増すため一気に付着力がなくなることが推察される。

参考までに、付着強さ試験後の供試体（100×100×120mm）を用い、断面100×100mmの鉄板を載荷面と底面に置き、打ち込み面からみた載荷方向別に圧縮試験を行った。

載荷方向別についてみると、圧縮応力度は垂直方向と直角方向で異なる。前者は荷重初期から緩慢に増加して、ヘッド5mm程度で最大値を得る。しかし、後者は立ち上がり急でヘッド2mm程度で最大値を与え、その後の傾向は垂直（打ち込み）方向に比べ急激に低下する。この傾向はS/Cに関係なく、ほとんど同じである。

図3.5.1-89に圧縮応力度とヘッドの動きの関係を示す。圧縮強さは垂直および直角方向のS/C0%で0.67および0.42N/mm²、85%は0.63および0.48N/mm²となり、垂直（打ち込み）方向に荷重をかけた供試体の方が、S/Cに関わらず約1.4倍大きい。また、圧縮強さは載荷方向に関係なくS/C0%より85%の方が上回る。さらに、後者の方が荷重初期の立ち上がりは急で、最大値を超えると0%に比べて急激に低下する傾向がある。

表3.5.1-41 付着強さ

S/C		0%		85%	
挿入部位		A	D	A	D
すすき	付着強さ (N/mm ²)	—	—	0.011	0.032
	割合 (%)	—	—	183.3	533.3
よし	付着強さ (N/mm ²)	0.016	0.031	0.006	0.015
	割合 (%)	100.0	193.8	100.0	250.0
竹	付着強さ (N/mm ²)	0.039	0.051	0.014	0.009
	割合 (%)	243.8	318.8	233.3	150.0

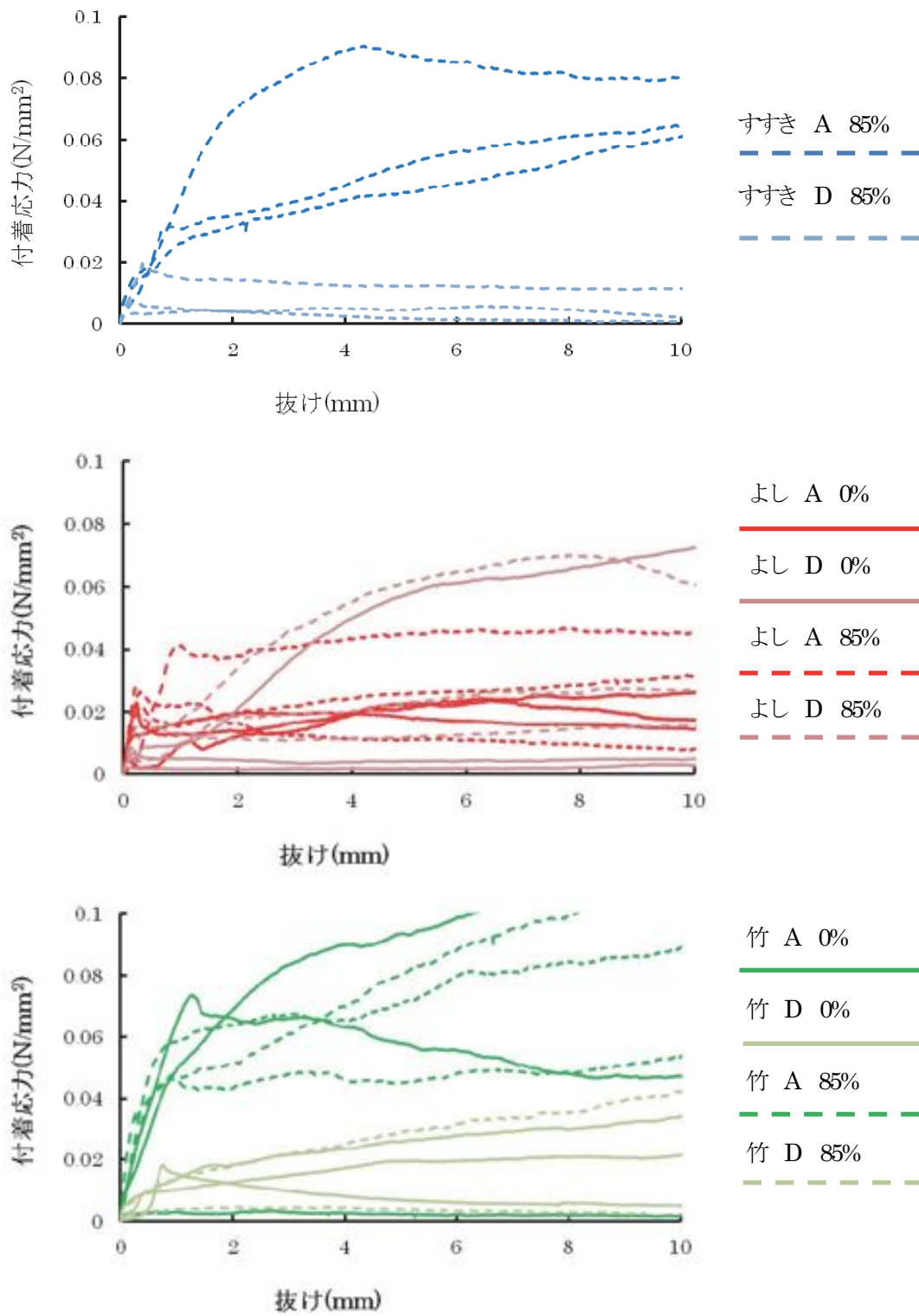


図3.5.1-86 付着強さと抜けの関係

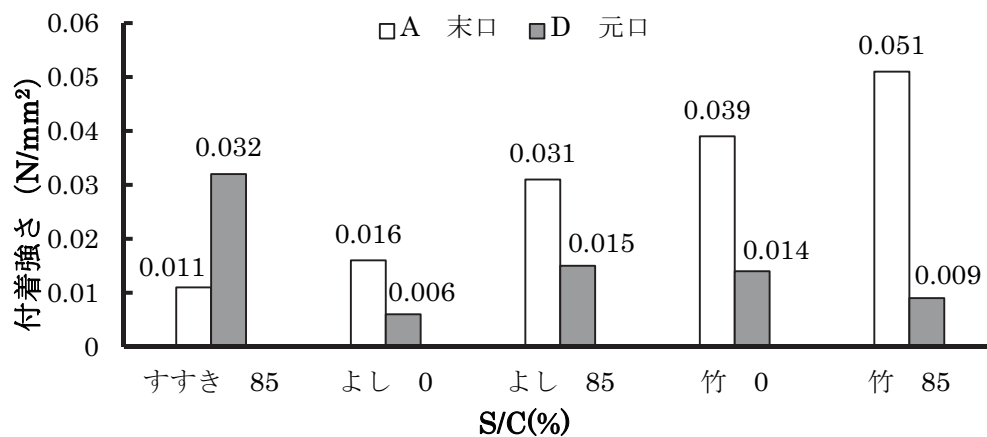


図3.5.1-87 付着強さ

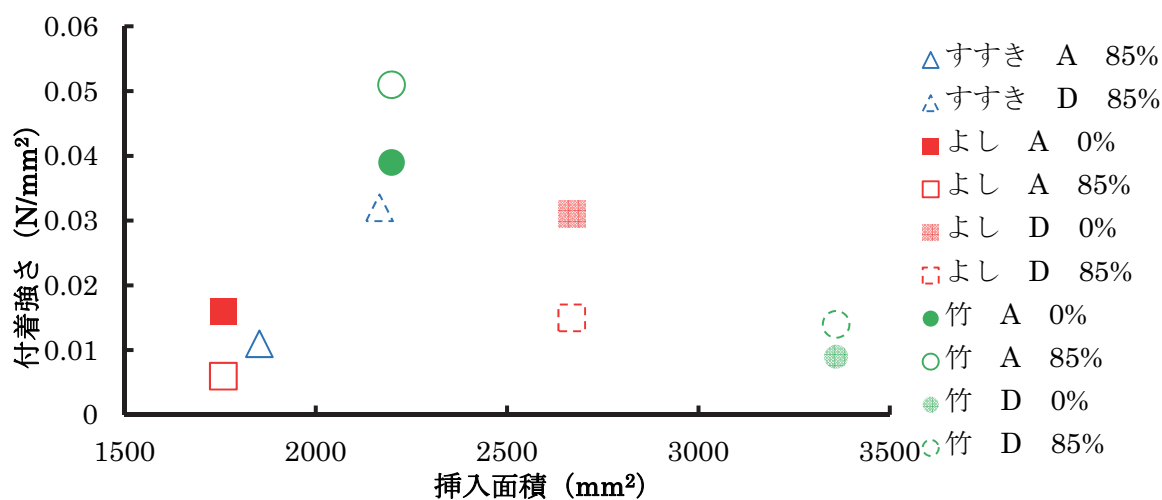


図3.5.1-88 付着強さと挿入面積の関係

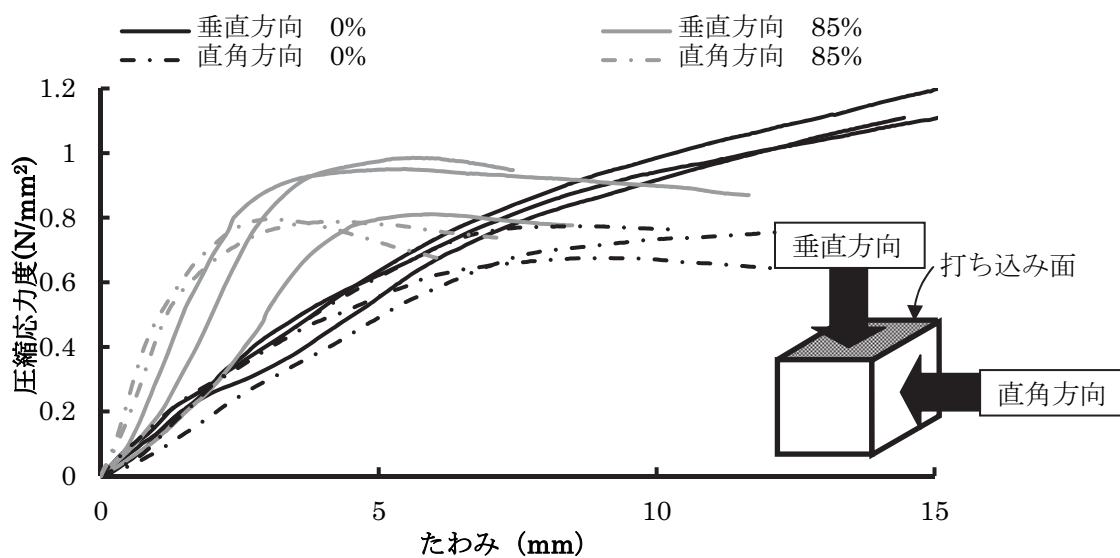


図3.5.1-89 圧縮応力度—ヘッドの動き

3)断面積と曲げ、圧縮および引張強さとの関係

図3.5.1-90に断面積と曲げ、圧縮および引張強さの関係を示す。

曲げ、圧縮および引張強さは、すすきで0.06～0.17、6.58～57.8および33.4～147.0N/mm²、よしは0.15～0.42、6.20～75.3および98.3～227.8N/mm²、竹の場合2.52～8.77、57.2～157.9および83.5～256.6N/mm²を得る。またすすき、よし及び竹の断面積は採取部位A末口からC元口で2.1～7.9、4.9～28.0及び11.1～28.0mm²である

各強さと断面積の関係は、後者が大きくなると前者も大きくなる傾向が見られる。

参考までに、両者の関係を一次式と看做し以下に示す。

$$\begin{array}{lll} \text{曲げ} & \text{A : } y = 0.654x - 2.192 & (r=0.912 \quad n=9) \\ & \text{B : } y = 0.141x - 0.695 & (r=0.705 \quad n=9) \\ & \text{C : } y = 0.094x - 0.262 & (r=0.437 \quad n=9) \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} \text{圧縮} & \text{A : } y = 6.691x - 8.152 & (r=0.769 \quad n=9) \\ & \text{B : } y = 3.446x - 0.36 & (r=0.777 \quad n=9) \\ & \text{C : } y = 2.625x + 25.59 & (r=0.930 \quad n=9) \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} \text{引張} & \text{A : } y = 10.55x + 48.56 & (r=0.633 \quad n=9) \\ & \text{B : } y = 5.365x + 98.11 & (r=0.752 \quad n=9) \\ & \text{C : } y = 5.669x + 42.72 & (r=0.923 \quad n=9) \end{array}$$

ここに、y : 各強さ (N/mm²)

x : 断面積 (mm²)

材料および採取部位に関わらず曲げ、圧縮および引張強さは相関係数 $r=0.6$ 以上となり、断面積と密接な関係にあることが認められる。

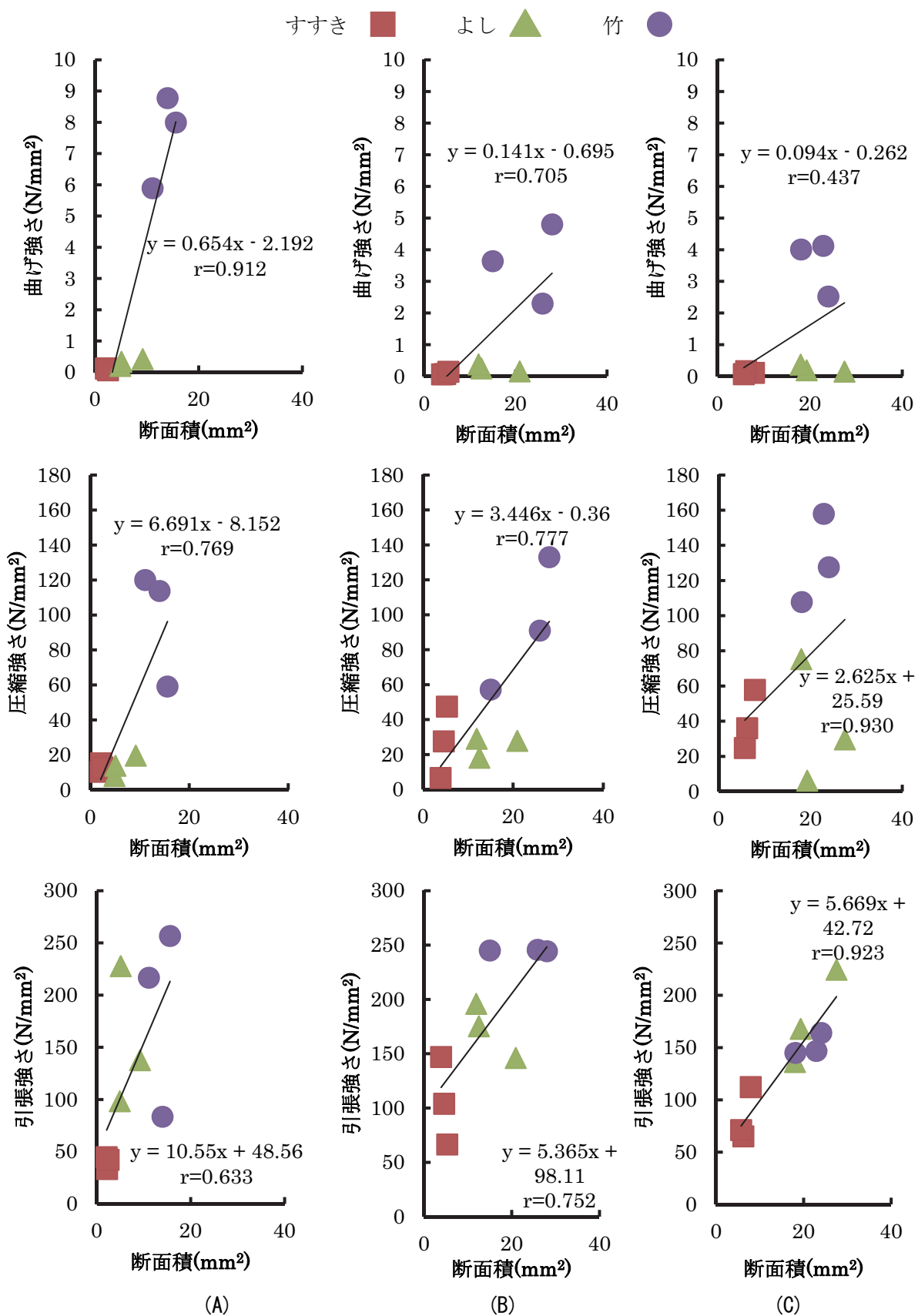


図3.5.1-90 曲げ、圧縮および引張強さと断面積の関係(採取部位A、B、C)

(4) まとめ

小舞材料のすすき、よし及び竹の採取部位A（末口）、B及びC（元口）の性質について以下に示す。

1) 小舞材料の特性

節数はすすき末口 $1.3 < \text{元口} 5.7$ 個、よし末口 $10.7 > \text{元口} 4.3$ 個になるが、竹は末口 $3.0 < \text{元口} 4.7$ 個で採取部位で大差がみられない。外径はA~Cですすき $3.1 \sim 5.2\text{mm}$ 、よし $5.0 \sim 9.3\text{mm}$ 及び竹 $7.5 \sim 9.7\text{mm}$ となり、末口から元口にかけて2割程度太くなる。同様に断面積はすすき $2.3 \sim 6.6\text{mm}^2$ 、よし $6.4 \sim 23.0\text{mm}^2$ 及び竹 $13.6 \sim 21.6\text{mm}^2$ で末口から元口にかけて大きくなる。肉厚の場合すすき $0.8 \sim 0.9\text{mm}$ 及びよし $0.5 \sim 1.0\text{mm}$ で差採取部位に関わらず差はないが、竹の場合 $1.4 \sim 2.9\text{mm}$ 末口に比べ元口で大略2倍の値を得る。

2) 各強さ

(a) 曲げ強さ

曲げ強さはA~Cで、すすき $0.10 \sim 0.16$ 及びよし $0.32 \sim 0.24\text{N/mm}^2$ となり採取部位での差は小さいが、竹の場合 $7.55 \sim 3.55\text{N/mm}^2$ 元口Aより末口Cで2倍程度を与える。また、すすきを基準にすると、よし及び竹は大略2.6及び47.5倍大きくなる。

(b) 圧縮強さ

圧縮強さはA~Cで、すすき $12.8 \sim 31.2$ 、よし $13.9 \sim 22.0$ 及び竹 $96.0 \sim 121.2\text{N/mm}^2$ となる。A~Cの平均値はすすき及びよしが近似しているのに対し、竹は前者の大略5倍大きくなる。

(c) 引張強さ

引張強さはA~Cで、すすき $40.1 \sim 82.6$ 、よし $154.6 \sim 176.2$ 及び竹 $169.1 \sim 154.5\text{N/mm}^2$ となり採取部位に関わらず、すすき<よし<竹となる。採取部位Aを100とするとすすき、よし及び竹B~Cで $2.0 \sim 2.6$ 、 $1.0 \sim 1.1$ 及び $0.9 \sim 1.3$ 倍程度となり、すすきの差が最も大きい。

(d) 付着強さ

付着強さはA~Cで、すすき $0.011 \sim 0.032$ 、よし $0.006 \sim 0.031$ 及び竹 $0.009 \sim 0.051\text{N/mm}^2$ となる。採取部位でみると、よし及び竹は $A > D$ であるが、すすきは $A < D$ と逆の性質を示す。

以上のことから、土壁は、入手しやすいすすき及びよしを下地に用い、竹を間渡しに使用している。これは前者の方に付着力があるため下地用、後者は単体の強度が高いことから間渡しに使用していたことは理にかなっていると言える。

強さはすすきとよしで大差ないが、後者は前者より長いことから小舞を組む時、より広い面積を組む事ができる。前者は後者に比べ小舞を組む面積の小さいことから量が必要であるが地域を問わず入手しやすいことを考慮すると実用的と言える。したがって、金沢では小舞にすすきを用いたことは強さと入手しやすいの面からみても先人の知恵で敬意を表するものである。

表3.5.1-42 すすきの特徴

		1	2	3	Σ	平均	最大 値	最小 値	標準偏 差	変動係 数		
搬入時の長さL(cm)		171.5	153.0	174.5	499.0	166.3	174.5	153.0	11.6	7.0		
切り出し長さℓ(cm)		164.0	151.0	167.0	482.0	160.7	167.0	151.0	8.5	5.3		
全体節数（個）		8.0	9.0	13.0	30.0	10.0	13.0	8.0	2.6	26.5		
ℓ/3	A	長さ（mm）	54.3	50.4	55.0	159.7	53.2	55.0	50.4	2.5	4.7	
		節数（個）	0.0	0.0	1.0	1.0	0.3	1.0	0.0	0.6	173.2	
		外径 (mm)	X1	3.0	2.9	3.2	9.2	3.1	3.2	2.9	0.2	5.0
			Y1	3.1	3.1	3.4	9.6	3.2	3.4	3.1	0.1	4.2
			平均	3.1	3.0	3.3	9.4	3.1	3.3	3.0	0.1	4.5
		肉厚 (mm)	X2	1.0	0.8	1.0	2.9	1.0	1.0	0.8	0.2	17.0
			Y2	0.4	1.0	0.7	2.1	0.7	1.0	0.4	0.3	44.9
			平均	0.7	0.9	0.9	2.5	0.8	0.9	0.7	0.1	11.2
		内径(mm)	2.4	2.1	2.4	6.9	2.3	2.4	2.1	0.2	7.2	
		断面積(mm ²)	2.2	2.1	2.5	6.9	2.3	2.5	2.1	0.2	9.9	
	B	長さ（mm）	54.0	51.0	56.2	161.2	53.7	56.2	51.0	2.6	4.9	
		節数（個）	3.0	3.0	6.0	12.0	4.0	6.0	3.0	1.7	43.3	
		外径 (mm)	X1	4.7	4.2	5.0	13.8	4.6	5.0	4.2	0.4	8.9
			Y1	4.0	3.8	4.5	12.2	4.1	4.5	3.8	0.4	8.9
			平均	4.3	4.0	4.7	13.0	4.3	4.7	4.0	0.4	8.8
		肉厚 (mm)	X2	0.6	0.4	1.2	2.3	0.8	1.2	0.4	0.4	58.2
			Y2	0.7	0.4	0.8	1.9	0.6	0.8	0.4	0.2	31.1
			平均	0.6	0.4	1.0	2.1	0.7	1.0	0.4	0.3	45.4
		内径(mm)	3.7	3.5	3.7	10.9	3.6	3.7	3.5	0.1	2.3	
		断面積(mm ²)	4.6	3.9	5.3	13.7	4.6	5.3	3.9	0.7	15.5	
	C	長さ（mm）	56.0	49.8	56.0	161.8	53.9	56.0	49.8	3.6	6.6	
		節数（個）	5.0	6.0	6.0	17.0	5.7	6.0	5.0	0.6	10.2	
		外径 (mm)	X1	6.2	5.6	5.2	17.0	5.7	6.2	5.2	0.5	8.8
			Y1	5.1	4.6	4.5	14.3	4.8	5.1	4.5	0.3	7.2
			平均	5.7	5.1	4.8	15.6	5.2	5.7	4.8	0.4	8.1
		肉厚 (mm)	X2	0.8	1.1	0.8	2.7	0.9	1.1	0.8	0.2	22.2
			Y2	0.9	1.2	0.9	3.0	1.0	1.2	0.9	0.2	17.2
			平均	0.8	1.2	0.9	2.8	0.9	1.2	0.8	0.2	19.5
		内径(mm)	4.8	4.0	4.0	12.8	4.3	4.8	4.0	0.5	11.8	
		断面積(mm ²)	7.9	6.2	5.7	19.8	6.6	7.9	5.7	1.1	17.3	

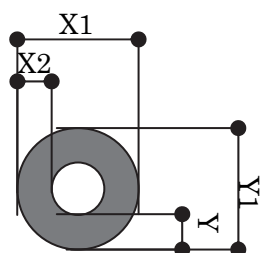


表3.5.1-43 よしの特徴

		1	2	3	Σ	平均	最大 値	最小 値	標準偏 差	変動係 数		
搬入時の長さL(cm)		299.5	330.0	299.5	929.0	309.7	330.0	299.5	17.6	5.7		
切り出し長さℓ(cm)		289.0	319.0	290.0	898.0	299.3	319.0	289.0	17.0	5.7		
全体節数（個）		20.0	19.0	21.0	60.0	20.0	21.0	19.0	1.0	5.0		
ℓ/3	A	長さ（mm）	96.0	106.0	96.0	298.0	99.3	106.0	96.0	5.8	5.8	
		節数（個）	10.0	11.0	11.0	32.0	10.7	11.0	10.0	0.6	5.4	
		外径 （mm）	X1	4.5	6.1	4.5	15.1	5.0	6.1	4.5	1.0	18.9
			Y1	4.4	6.1	4.6	15.1	5.0	6.1	4.4	0.9	17.9
			平均	4.5	6.1	4.5	15.1	5.0	6.1	4.5	0.9	18.4
		肉厚 （mm）	X2	0.4	0.5	0.6	1.5	0.5	0.6	0.4	0.1	20.9
			Y2	0.4	0.6	0.5	1.5	0.5	0.6	0.4	0.1	21.4
			平均	0.4	0.6	0.6	1.5	0.5	0.6	0.4	0.1	19.1
		内径(mm)	4.1	5.5	4.0	13.6	4.5	5.5	4.0	0.9	19.4	
		断面積(mm ²)	4.9	9.2	5.1	19.2	6.4	9.2	4.9	2.4	38.1	
	B	長さ（mm）	96.6	106.0	96.0	298.6	99.5	106.0	96.0	5.6	5.6	
		節数（個）	5.0	4.0	4.0	13.0	4.3	5.0	4.0	0.6	13.3	
		外径 （mm）	X1	7.0	9.2	6.8	23.1	7.7	9.2	6.8	1.3	17.4
			Y1	7.2	9.1	7.1	23.4	7.8	9.1	7.1	1.1	14.7
			平均	7.1	9.2	6.9	23.2	7.7	9.2	6.9	1.2	16.1
		肉厚 （mm）	X2	0.8	0.7	0.7	2.1	0.7	0.8	0.7	0.0	5.8
			Y2	0.8	0.7	0.7	2.2	0.7	0.8	0.7	0.0	6.4
			平均	0.8	0.7	0.7	2.2	0.7	0.8	0.7	0.0	6.1
		内径(mm)	6.3	8.5	6.2	21.0	7.0	8.5	6.2	1.3	18.1	
		断面積(mm ²)	12.5	20.9	11.9	45.3	15.1	20.9	11.9	5.0	33.4	
	C	長さ（mm）	96.5	107.7	98.5	302.7	100.9	107.7	96.5	6.0	5.9	
		節数（個）	5.0	4.0	6.0	15.0	5.0	6.0	4.0	1.0	20.0	
		外径 （mm）	X1	8.9	10.5	8.7	28.1	9.4	10.5	8.7	0.9	10.1
			Y1	8.8	10.6	8.4	27.8	9.3	10.6	8.4	1.2	12.8
			平均	8.8	10.5	8.6	27.9	9.3	10.5	8.6	1.1	11.4
		肉厚 （mm）	X2	1.1	0.9	1.1	3.0	1.0	1.1	0.9	0.1	12.3
			Y2	1.1	0.9	1.0	3.0	1.0	1.1	0.9	0.1	8.4
			平均	1.1	0.9	1.0	3.0	1.0	1.1	0.9	0.1	10.4
		内径(mm)	7.8	9.6	7.5	24.9	8.3	9.6	7.5	1.2	14.0	
		断面積(mm ²)	19.3	27.5	18.0	64.8	21.6	27.5	18.0	5.1	23.8	

表3.5.1-44 竹の特徴

			1	2	3	Σ	平均	最大値	最小値	標準偏差	変動係数	
搬入時の長さL(cm)			290.0	290.0	290.0	870.0	290.0	290.0	290.0	0.0	0.0	
切り出し長さℓ(cm)			283.0	289.0	290.0	862.0	287.3	290.0	283.0	3.8	1.3	
全体節数（個）			9.0	13.0	12.0	34.0	11.3	13.0	9.0	2.1	18.4	
ℓ/3	A	長さ（mm）	94.5	97.2	96.0	287.7	95.9	97.2	94.5	1.4	1.4	
		節数（個）	3.0	6.0	5.0	14.0	4.7	6.0	3.0	1.5	32.7	
		外径 （mm）	X1	6.9	8.0	7.7	22.6	7.5	8.0	6.9	0.6	7.4
			Y1	7.0	7.9	7.6	22.4	7.5	7.9	7.0	0.5	6.2
			平均	6.9	7.9	7.7	22.5	7.5	7.9	6.9	0.5	6.8
		肉厚 （mm）	X2	1.7	0.7	1.4	3.8	1.3	1.7	0.7	0.5	37.5
			Y2	2.2	0.7	1.8	4.7	1.6	2.2	0.7	0.7	47.6
			平均	1.9	0.7	1.6	4.2	1.4	1.9	0.7	0.6	43.1
		内径(mm)	5.0	7.2	6.1	18.3	6.1	7.2	5.0	1.1	17.8	
		断面積(mm ²)	11.1	15.6	14.0	40.8	13.6	15.6	11.1	2.3	16.7	
	B	長さ（mm）	94.2	96.2	96.2	286.6	95.5	96.2	94.2	1.2	1.2	
		節数（個）	3.0	3.0	3.0	9.0	3.0	3.0	3.0	0.0	0.0	
		外径 （mm）	X1	8.4	10.4	10.9	29.7	9.9	10.9	8.4	1.3	13.3
			Y1	9.3	10.5	10.8	30.5	10.2	10.8	9.3	0.8	7.9
			平均	8.8	10.5	10.8	30.1	10.0	10.8	8.8	1.1	10.6
		肉厚 （mm）	X2	2.7	2.6	2.2	7.6	2.5	2.7	2.2	0.2	8.5
			Y2	5.8	2.1	2.3	10.2	3.4	5.8	2.1	2.0	58.4
			平均	4.2	2.4	2.3	8.9	3.0	4.2	2.3	1.1	37.4
		内径(mm)	4.6	8.1	8.6	21.3	7.1	8.6	4.6	2.2	30.5	
		断面積(mm ²)	15.0	25.9	28.0	69.0	23.0	28.0	15.0	7.0	30.3	
	C	長さ（mm）	95.0	94.7	98.0	287.7	95.9	98.0	94.7	1.8	1.9	
		節数（個）	3.0	4.0	4.0	11.0	3.7	4.0	3.0	0.6	15.7	
		外径 （mm）	X1	9.3	10.0	10.1	29.4	9.8	10.1	9.3	0.5	4.9
			Y1	8.8	10.3	9.9	28.9	9.6	10.3	8.8	0.8	8.1
			平均	9.0	10.2	10.0	29.2	9.7	10.2	9.0	0.6	6.4
		肉厚 （mm）	X2	3.0	2.7	2.8	8.6	2.9	3.0	2.7	0.1	5.0
			Y2	3.0	2.6	2.9	8.6	2.9	3.0	2.6	0.2	6.6
			平均	3.0	2.7	2.9	8.6	2.9	3.0	2.7	0.2	5.6
		内径(mm)	6.0	7.5	7.1	20.6	6.9	7.5	6.0	0.8	11.1	
		断面積(mm ²)	18.1	24.0	22.9	64.9	21.6	24.0	18.1	3.2	14.6	

総括

(1) まとめ

主要の成果をまとめて以下に述べ、本論の結論とする。

1) 土壁用の地域産原土の材料特性

(a) 粒度分布

粒径頻度分布および粒径加積曲線は、徳島県産の荒壁土および中塗り土でそれぞれ類似し、一部例外はあるものの大略 $0.5\sim 500\mu\text{m}$ を占めるが、粉体では僅かに異なる。荒井家および那須町は別途試料として送付されたが、 $100\mu\text{m}$ 以上が多くを占め、加積曲線からは同じ土と見なして差し支えない。

(b) フロー値および質量変化

荒壁土および中塗り土は地域によって様々な色をしているが、茶色を帯びた原土が多くS/Cについてみると、85%よりも0%で壁土が流動性に富む試料が多く認められる。

質量変化は、地域に関わらずS/C0および85%で異なり、それぞれ大略7および5日前後でほぼ一定した後、緩慢に低下する。質量変化率は地域およびS/Cによって異なるが、0%で大略18~23%、85%は12~18%となり後者が小さくなる。

(c) 曲げ、圧縮 ($\phi 20\times 40$ 、 $40\times 40\times 160$)、せん断および引張強度

各強度の応力曲線は、地域および使用用途に関わらずS/Cで異なる。

曲げ強さは、徳島Aおよび徳島Bで使用用途に関わらずS/Cによって異なり、0%は $0.2\sim 0.5\text{N/mm}^2$ 、85%で $0.1\sim 0.3\text{N/mm}^2$ を与え前者は後者の大略2倍を得る。

圧縮強さは、徳島Aおよび徳島Bは、S/C0%で 1.2 および 1.6N/mm^2 、85%は 1.0 および 1.1N/mm^2 前後を与え後者的の方が小さくなるが、徳島Aと徳島Bでは差異が認められない。

せん断強さは、使用用途に関わらずS/C0%が85%より大きくなる。その値は、荒壁および中塗りでは 0.43 および 0.51N/mm^2 、後者は 0.41 および 0.42N/mm^2 となる。

引張強さは、徳島Aの荒壁および中塗りの場合、S/C0%で 0.25 および 0.2N/mm^2 、85%は 0.2 および 0.17N/mm^2 を得る。

(d) $\phi 20\times 40$ 圧縮強度、粒径 $75\mu\text{m}$ 以下の積算値と密度の関係

積算値は、地域によるばらつきが見られ、美馬市および徳島市は近い値を示し、徳島県の地域がある積算値に集まる。

粒径 $75\mu\text{m}$ 以下の積算値と密度の関係は、一部例外もあるが美馬市および徳島市で個別の値を得ることから、地域性があることが認められる。

圧縮強度は、一部例外もあるが密度 2.6g/cm^3 より大きければ 0.8N/mm^2 以上を確保できる。

以上のことから、土壁用原土の土壁としての特性は、JISによる土質試験結果とレーザー回折式粒度分布測定装置SALDの粒度分布の積算値を併用することで、明らかにできる可能性を示唆している。

2) スサと壁土の性質

(a) 荒壁用のスサ形状

スサは、京都の場合長さ 100mm 前後が多数を占めているが、金沢産は京都産の半分以下の 50mm 前後が多く筒状で硬い。したがって、スサは地域によって形状が異なることが明らかであるが、強度への影響は顕著でない。

(b) フロー

壁土の色は、荒壁および中塗りスサに関わらず水合せ0および7日の黄土色に比べて、58日になると水合せしたことで灰色に変化することが確認できる。

(c) 紙スサ混入率とフロー値および曲げ、圧縮、せん断および引張強度の関係

紙スサの調合は、紙スサの混入率が増加すると容積が減少する実施調合とした。この調合では、スサ混入率とフロー値および各強度は一次式が成り立つことを提示した。

(d) 荒壁用、中塗りおよび仕上げスサの曲げ、圧縮、せん断および引張強度

荒壁用スサは、曲げ強度に比べせん断強度が大きくなるが引張強度に対しては0.5倍程度となる。中塗りおよび仕上げ用スサは、曲げ、圧縮およびせん断強度に対して有効に働くが引張強度は0.3～0.5倍を与え、荒壁用に用いると効果が認められない。

3) 壁土の品質改良

(a) 粒度分布

粒度分布は、京都産試料の場合粒径75 μm 前後で積算値50%付近に集中するのに対し、鳥取産は1000 μm 程度が多数を占めることが確認できる。

(b) フロー値

壁土用原土は、粒度分布によって粘りなどの性質が異なるが、他の原土を混合することにより性質を改善できることを明らかにした。

(c) 曲げ、圧縮（ $\phi 20 \times 40$ 、 $40 \times 40 \times 160$ ）、せん断および引張強度

各強度は、京都：鳥取の混合割合を0：10（京都：鳥取）から10：0（京都：鳥取）に近づけると大きくなるが、10：0の最大応力度を超えることはない。原土は、粒子径が1000 μm が多数を占めるような粗粒子の場合、微粒分の多い原土を混合することで改良できる。

4) 壁土の簡易評価法

(a) 通過率

壁土試料はS/C0%の場合、試料がペースト状で粘りが強いが、85%では砂が含まれていることからさらりとしている。また、小舞間隔は30mm前後が裏面へ適度な壁土が通過し、裏なでを行うには適している。

(b) 質量変化

質量変化はフロー値に関係なくS/Cによって異なり、落下試験前および後の試料は、それぞれ大略9および15日ではほぼ一定した後、緩慢に低下する。また、質量変化率はS/C0%で19～21%、85%は14～16%を与える。

(c) 曲げ、圧縮、せん断および引張強度とフロー値の関係

曲げ強度は、フロー値120～160の場合S/C0%では0.6N/mm²以上を確保できるが、85%は0.2N/mm²と低いことから、S/Cについてフロー値と強度の関係を再検討する必要がある。

圧縮強度は、フロー値120～160でS/C、落下試験前および後に関係なく1.3N/mm²を得る。同様に、せん断および引張強度の場合、0.5 および0.3N/mm²程度を確保できる。

(d) 50mmふるいの落下率と曲げおよび圧縮強度の関係

曲げおよび圧縮強度は現場において50mmふるいを使用し落下率0～14%の範囲で0.5および1.4N/mm²を確保できる。

(e) 曲げ強度と圧縮強度の関係

曲げ強度は、圧縮強度に関わらず0.5N/mm²を確保することができる。また、圧縮強度は1.4N/mm²以上を与え、曲げ強度を1とした場合、安全側に見ると2.5倍を得る。

5) 小舞材料の特性

(a) 小舞材料の特性

節数はすすき末口1.3<元口5.7個、よし末口10.7>元口4.3個になるが、竹は末口3.0<元口4.7個

で採取部位で大差がみられない。

(b) 曲げ、圧縮および引張強度

曲げ強度はA～Cで、すすき0.10～0.16及びよし0.32～0.24N/mm²となり採取部位での差は小さいが、竹の場合7.55～3.55N/mm²元口Aより末口Cで2倍程度を与える。

圧縮強度はA～Cで、すすき12.8～31.2、よし13.9～22.0及び竹96.0～121.2N/mm²となる。A～Cの平均値はすすき及びよしが近似しているのに対し、竹は前者の大略5倍大きくなる。

引張強度はA～Cで、すすき40.1～82.6、よし154.6～176.2及び竹169.1～154.5N/mm²となり採取部位に関わらず、すすきくよしく竹となる。

(c) 付着強度

付着強度はA～Cで、すすき0.011～0.032、よし0.006～0.031及び竹0.009～0.051N/mm²となる。採取部位でみると、よし及び竹はA>Dであるが、すすきはA<Dと逆の性質を示す。

以上のことから、土壁は、入手しやすいすすき及びよしを下地に用い、竹を間渡しに使用している。これは前二者に付着力があるため下地用、後者は単体の強度が高いことから間渡しに使用したことは理にかなっている。

(2) 問題点及び今後の展望

以下の点について検討することで、地域産原土の土壁用としての性質をより明確にできる可能性がある。

- 1) 手持ち試料による地域産原土の検討
- 2) 紙スサを用いた計画調合 (1000ml)
- 3) 土壁用原土の改良法
- 4) コンシステンシーによる強度の簡易評価法

無限にある土壁用原土について、地域ごとに調べることは工学的な意義が認められず、統計的処理も有効な方法と考える。

以上、土壁用壁土の原土について実験結果を述べた。

3.5.1.4 壁土の評価法で述べたように、天然で産し無限にある土壁用壁土の性質を個々に調べることは無意味で現実的でない。また、土壁は施工方法、つまり左官職人の技術、地域性に負う所が多いことから定量化は困難でもある。

JASS15こまい壁塗り [1] では、土壁の所要強度が決められていない以上、曲げ、圧縮、せん断および引張り強度にどの値を採用するかは自由である。しかし、壁土用の原土は天然で無限に産することから、地域によって原土の性質が全く異なり、ほとんど強度の出ない原土のあることも3.5.1.1 地域産で提示した。したがって、無限にある原土の強さを一方的な値に決められないことが天然材料の真の姿であり、それが趣き、侘び、寂びで表される日本独特の風雅、感性と考える。また、どうしても強さが必要であるなら、例えば、曲げ強度0.5N/mm²以上とすれば、左官職人の塗り易さのコンシステンシーの範囲内なら、安全側になるが地域によっては原土の粒度特性から全く強度を望めない原土もある。その事を明らかにすることは、工学的な意義を認めるが、その地域全体の土塗り壁の過去に遡ることであり、その地域の原土は質が悪いとの評判を立てることに連なる危険性を持っており、望んでいない。

低品質の原土に対しては、3.5.1.3で述べたように、別の原土を混合するなどの対策を用意すれば問題ないことを左官職人に伝え理解してもらい、土塗り壁の普及に繋げたい。

[1] 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 15 左官工事、pp.279-284, 日本建築学会、第2刷、2008.10

3. 5. 2 土壁要素実験

(1) 試験体の一覧

表3.5.2-1に土壁および軸組試験体の一覧を示す。試験体名称のMWは「土壁」、DまたはAはそれぞれ「土台仕様」、「足固め仕様」を表す。試験体名称にFのついているものは、2010年度に実施した土台仕様・足固め仕様試験体に対応する軸組のみの試験体である。また、荒壁の裏返し時期の違い（1W、2W）、竹小舞間隔の違い（35、55）、小舞材料の違い（Y、S）が土壁の復元力特性に与える影響を検証するための試験体を用意した。柱スパンその他は、2010年度の試験体と同様である。柱スパンは1P=910mmを基準として、1P、2Pと4Pの試験体を用いた。一例として、MWDF-2の軸組図を図3.5.2-1に示す。

表3. 5. 2-1 土壁試験体一覧

試験体	個数	備考	試験体	個数	備考
1. 土台仕様・軸組のみ			3. 荒壁の裏返し時期（1週間または2週間）		
MWDF-0	3	貫なし、軸組のみ（2P）	MWD-2-1W	3	裏返しを1週間後（2P）
MWDF-1	3	軸組のみ（1P）	MWD-2-2W	3	裏返しを2週間後（2P）
MWDF-2	3	軸組のみ（2P）	4. 竹小舞間隔（35mmまたは55mm）		
MWDF-3	1	軸組のみ（4P）	MWD-1-35	3	小舞間隔35mm（1P）
MWDF-6	3	軸組のみ（2P）	MWD-1-55	3	小舞間隔55mm（1P）
MWDF-7	1	軸組のみ（4P）	MWD-2-35	3	小舞間隔35mm（2P）
MWDF-8	1	軸組のみ（4P）	MWD-2-55	3	小舞間隔55mm（2P）
MWDF-9	1	軸組のみ（4P）	5. 小舞の材料（ヨシまたはススキ）		
MWDF-11	1	軸組のみ（4P）	MWD-1-Y	3	葦小舞土壁（1P）
MWDF-12	1	軸組のみ（4P）	MWD-1-S	3	すすき小舞土壁（1P）
2. 足固め仕様・軸組のみ			MWD-2-Y	3	葦小舞土壁（2P）
MWAF-0	3	貫なし、軸組のみ（2P）	MWD-2-S	3	すすき小舞土壁（2P）
MWAF-1	3	軸組のみ（1P）			
MWAF-2	3	軸組のみ（2P）			
MWAF-3	1	軸組のみ（4P）			
MWAF-6	3	軸組のみ（2P）			
MWAF-7	1	軸組のみ（4P）			
MWAF-8	1	軸組のみ（4P）			
MWAF-9	1	軸組のみ（4P）			
MWAF-11	1	軸組のみ（4P）			
MWAF-12	1	軸組のみ（4P）			

(2) 土壁試験体の共通仕様

足固めまたは土台と桁の芯々間距離は全ての試験体で2730mmであり、柱芯々間距離は1Pあたり910mmである。桁は120mm×210mm、足固めは120mm×150mm、柱は120mm角であり、いずれもスギ材である。土台は120mm角のヒノキ材とした。込栓は15mm角のカシであり、込栓下端と土台芯が一致する位置に打たれている。なお、窓台と鴨居は105mm×45mmのスギ材で、その端部は75mm×15mm×15mmのほぞで柱に差ししており、N65釘2本で斜め打ちされている。

貫の断面は18mm×105mmであり、全面壁の場合の段数は3段である。壁土を塗った後、土壁の芯が柱の芯になるように製作されている。横貫の端部は通し貫としないで柱内に納めてある。MWDF・MWAF以外の試験体について、壁土には京都の土を用い、塗り厚は60mm（荒壁36mm、中塗り12mm+12mm）とした。エツリ（間渡し）竹の幅は30mm程度とし、小舞竹の幅は20mm程

度で小舞内法間隔は45mm程度を基準とした。貫伏せを行う代わりに、貫に縄を巻いた。

本実験では、全ての試験体において、柱脚を実際の建物と同じ仕様とし、かつ、鉛直荷重を載荷する、「載荷式」を採用した。「柱脚固定式」や「タイロッド式」のように、柱脚の浮上りを金物やタイロッドで拘束しないので、実験中に柱脚の浮上りが生じる場合がある。このような場合には、ある程度柱脚の浮上りが生じた状態になってから浮上りを拘束し、実験を継続した。なお、鉛直荷重を載荷するにあたり、外柱2本に対して、それぞれ約10kNずつ錘の重量が作用するようにした。この重量は、実在建物の調査結果に基づいて決められた。

水平力の載荷履歴は、見かけの変形角がおおよそ1/480、1/240、1/120、1/90、1/60、1/45、1/30、1/20、1/15、1/10、1/7radとなる変形を折り返しとして、各変形を正負、最低2回繰り返した。

計測した主な変位については、土台仕様の場合は図3.5.2-2のように、桁の水平変位のほか、土台の水平・鉛直変位および土台－柱脚変位である。真のせん断変形角は、頂部水平変位から土台の水平変位、さらに、土台や柱脚の鉛直変位により生じた桁の水平変位を差し引き、土台－桁の芯々間距離2730mmで除して求めた。

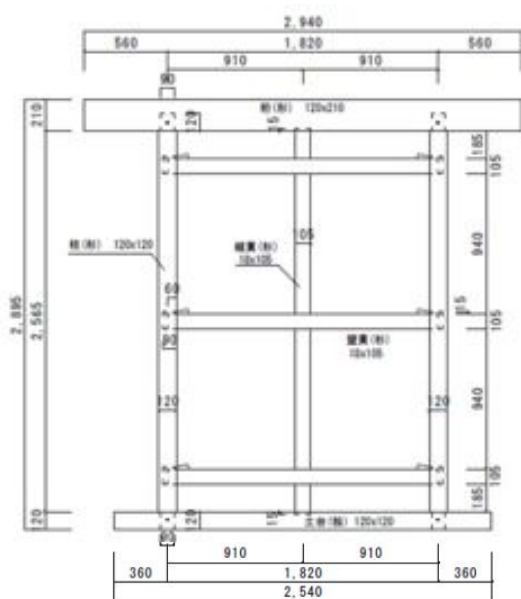


図3.5.2-1 MWDF-2の軸組図

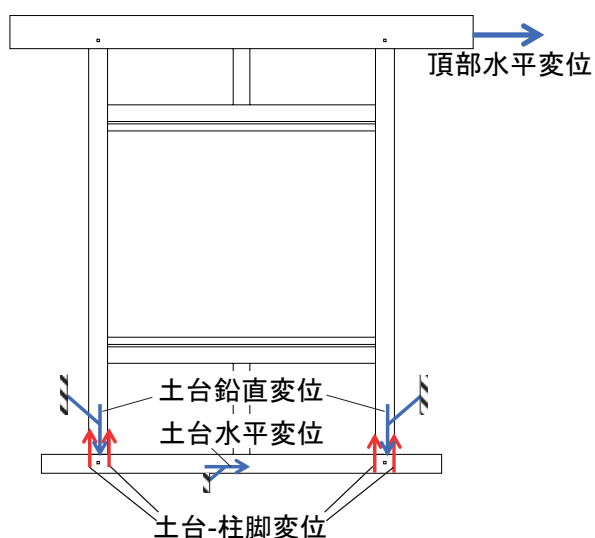


図3.5.2-2 主な変位測定位置

土台仕様軸組試験体

2010年度に実施した土台仕様湿式土壁（MWD-1～MWD-12）について、土壁そのものの復元力特性を評価するため、同様の仕様で軸組のみの試験体を作製し、面内せん断加力試験を実施した。試験体は、表3.5.2-1にMWDFで示した11種類（計19体）である。実験は、熊本県立大学と福山大学で分担して実施された。

（１）試験体の概要

図3.5.2-3に2P幅の、図3.5.2-4～図3.5.2-9に4P幅の土台仕様軸組試験体を示す。

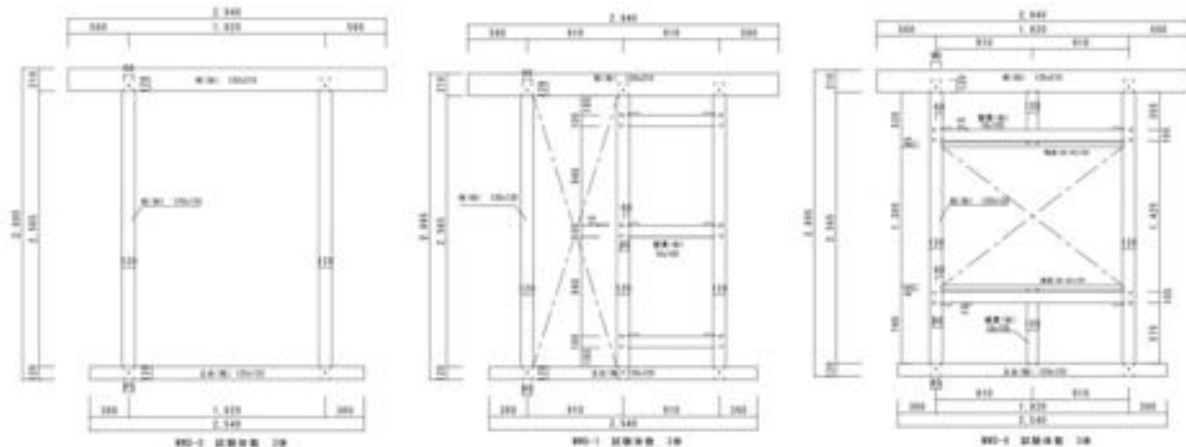


図3.5.2-3 MWDF-0、MWDF-1、MWDF-6（各3体）

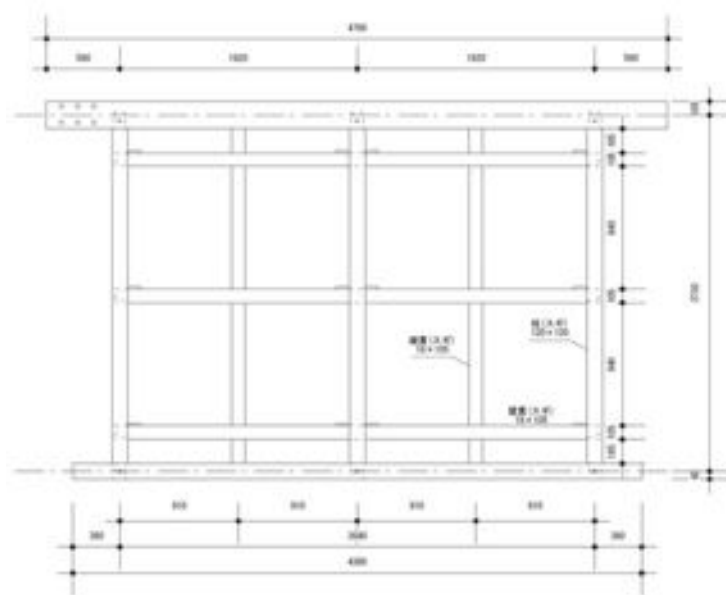


図3.5.2-4 MWDF-3（MWDF-2 2枚分。柱3本）

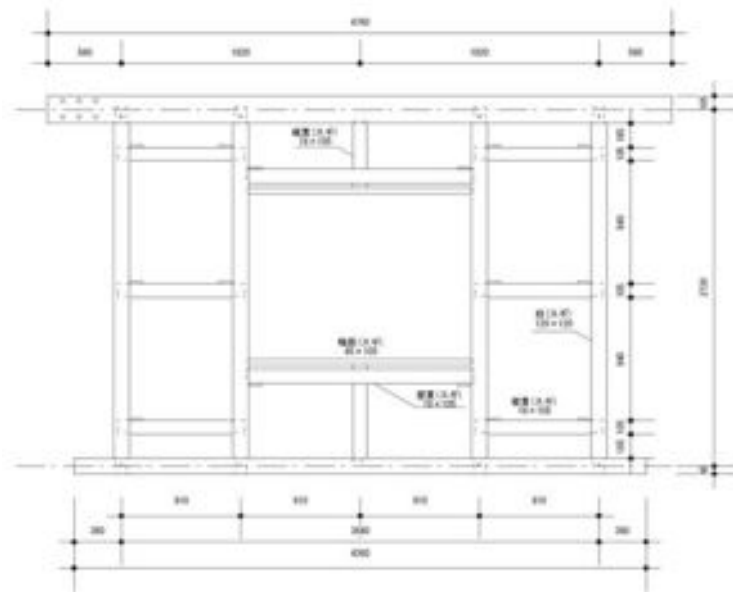


図3. 5. 2-5 MWDF-7 (両側に半間壁、中間に1間の開口部。柱4本。敷居・鴨居あり)

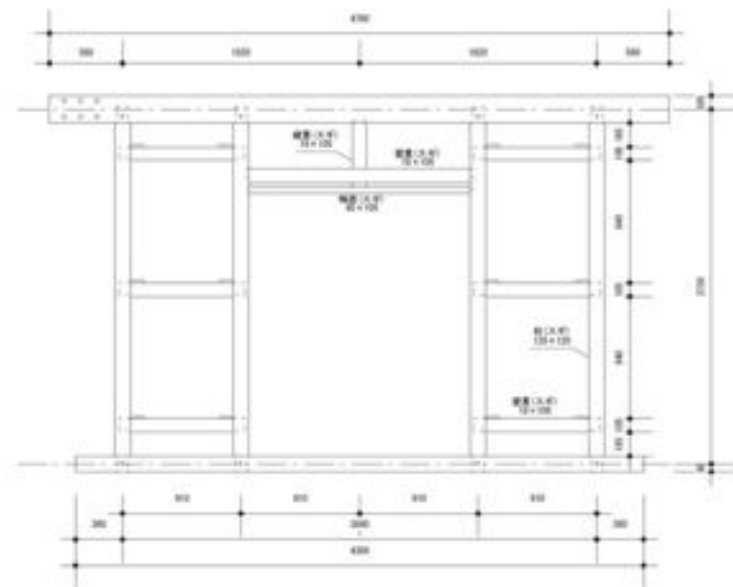


図3. 5. 2-6 MWDF-8 (両側に半間壁、中間に1間の開口部。柱4本。鴨居のみ)

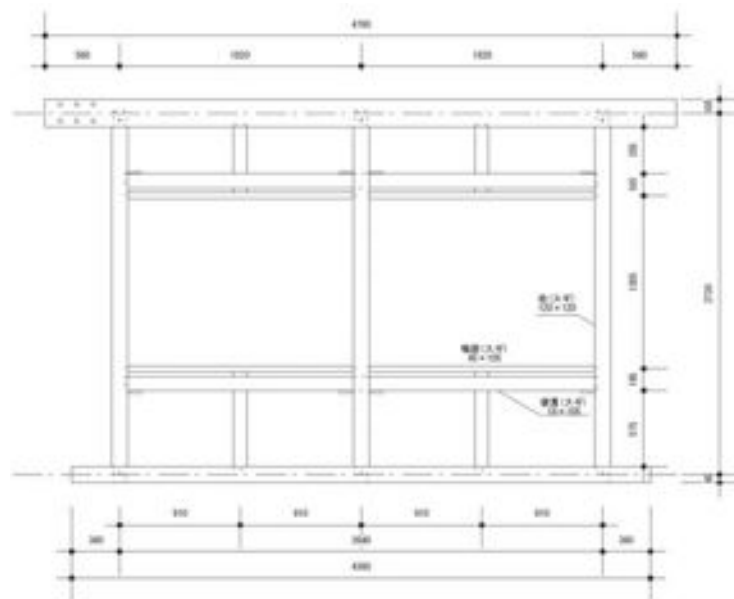


図3.5.2-7 MWDF-9 (1間開口部2枚。柱3本。敷居・鴨居あり)



図3.5.2-8 MWDF-11 (半間壁と1間半の開口部。柱3本+束。鴨居・敷居あり)

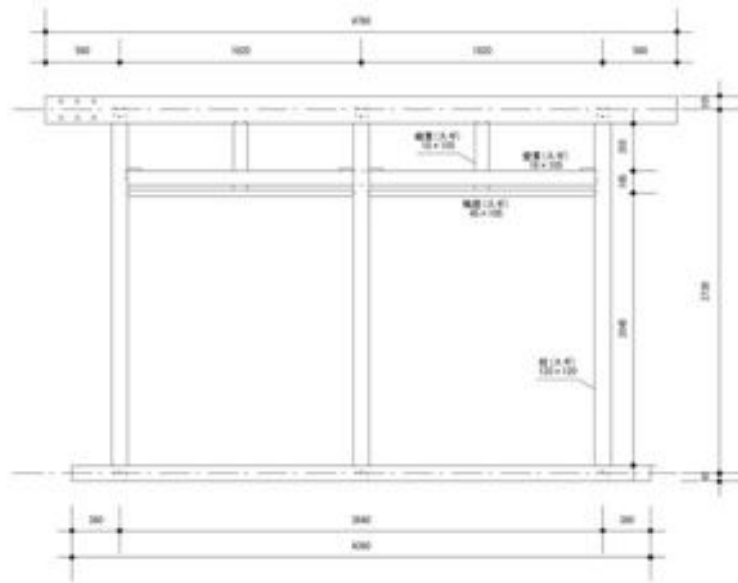


図3.5.2-9 MWDF-12 (1間開口部2枚。敷居・鴨居あり。MWDF-9から敷居を取ったもの)

(2) 実験の方法

熊本県立大学で実施されたMWDF-2、MWDF-3、MWDF-7～12の実験では、加力装置の制限のため、正側の加力は最大変形角 $1/10\text{rad}$ を確保し、負側は最大 $1/13\text{rad}$ 程度の加力である。福山大学で実施されたMWDF-0 (MWDF-2から貫を省いたもの)、MWDF-1、MWDF-6の実験では、正負 $1/9\text{rad}$ までの加力である。福山大学での鉛直荷重用おもりの設置概要図を図3.5.2-10に示す。

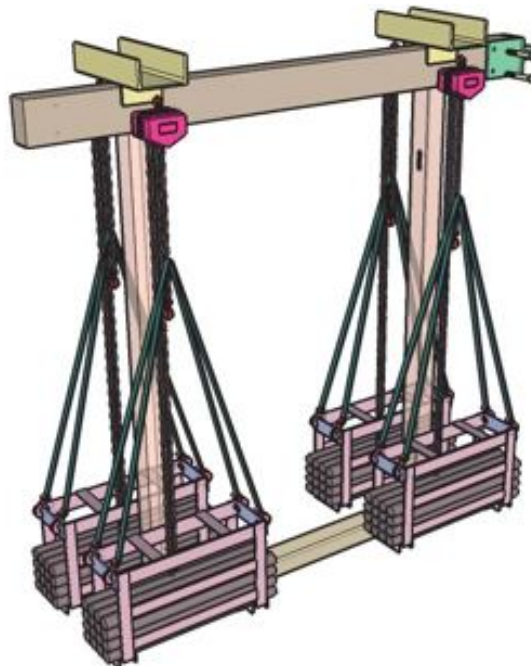


図3.5.2-10 福山大学での鉛直荷重用おもりの設置

(3) 破壊状況

1) 2P試験体

(a) MWDF-0、MWDF-1、MWDF-6

全試験を通じて、崩壊に通じるような大きな損傷は発生しなかった。ほぞの破損は、込栓穴の先端部のぬけ、ほぞの割裂、ほぞ穴周りの斜めひび割れが見られた。ほぞ穴周辺のめりこみは見られるが、ほぞ穴そのものの損傷はなかった。



MWDF-0



MWDF-1



MWDF-6



柱ほぞの損傷

写真3.5.2-1 最終変形状況とほぞの損傷

(b) MWDF-2

破壊は、くさびの抜け・割れ・つぶれなど、および、最終段階ではほぞの割れ程度である。写真3.5.2-2から写真3.5.2-4にMWDF-2-1の損傷状況を示す。

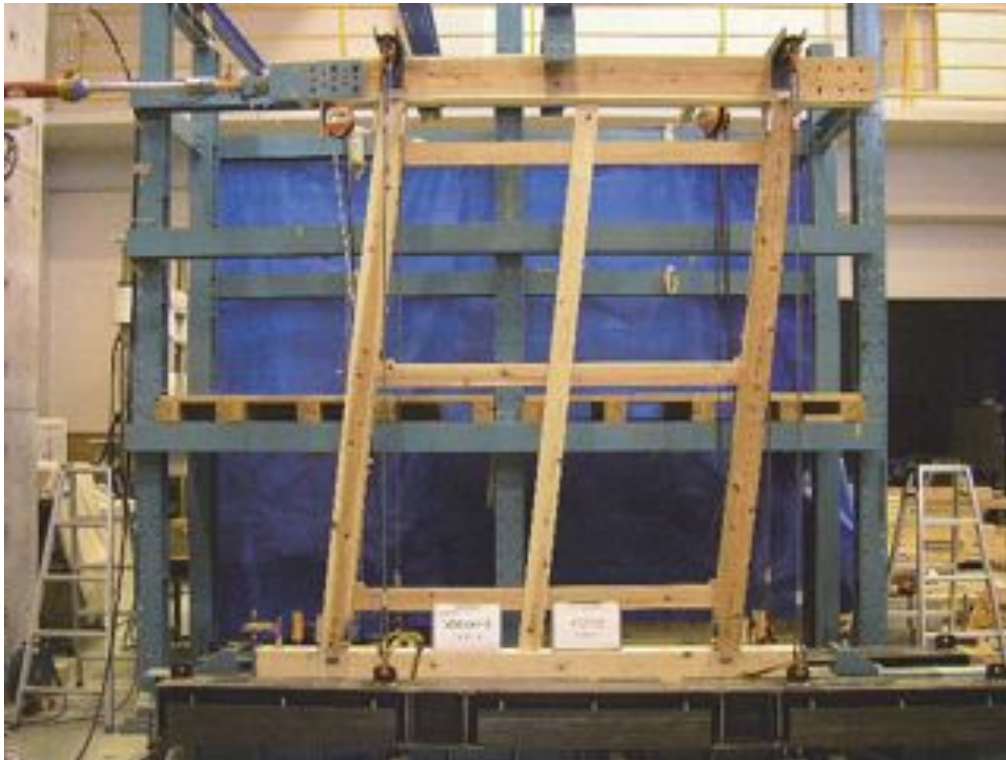


写真3. 5. 2-2 最終変形状況 (MWDF-2-1)



写真3. 5. 2-3 くさびのつぶれ (1/15rad時、1体目)

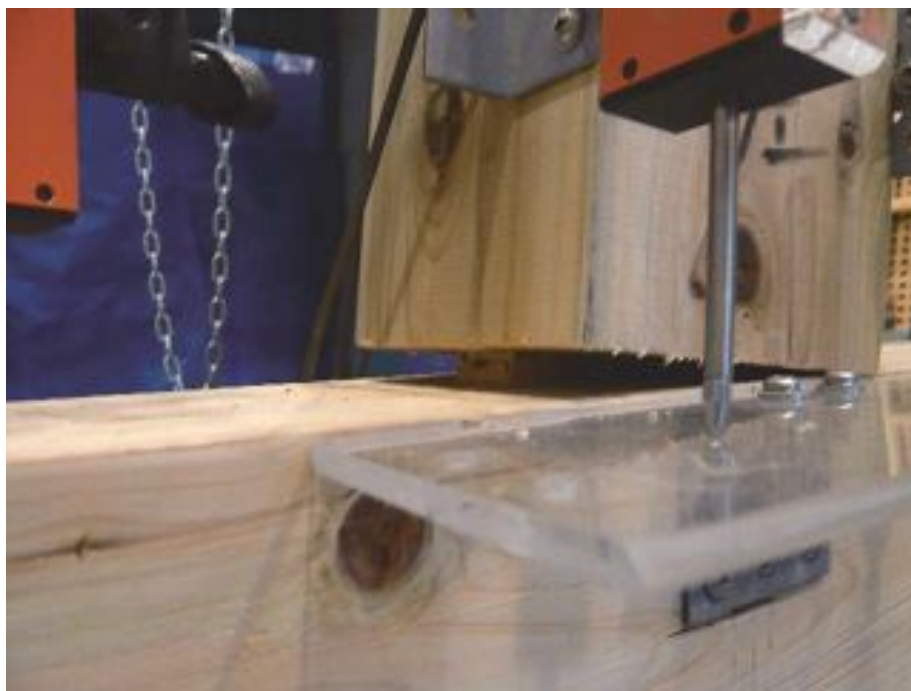


写真3. 5. 2-4 ほぞの破壊（1/10rad時、1体目）

2) 4P試験体

2P試験体（MWDF-2）と同様のくさびのつぶれ・割れ、柱ほぞの割れは全ての試験体で見られた。それ以外に、吊り束下部の貫穴付近の割れ、貫端部の微細な割れなどが観察された。写真3.5.2-5から写真3.5.2-10に顕著な損傷状況を示す。



写真3. 5. 2-5 最終変形状況（MWDF-11）



写真3. 5. 2-6 最終変形状況 (MWDF-7)



写真3. 5. 2-7 くさびの食い込みと割れ (MWDF-3、 $-1/10\text{rad}$)



写真3. 5. 2-8 柱ほぞ割れ (MWDF-12、1/10rad)



写真3. 5. 2-9 吊束下部の割れ (MWDF-11、1/10rad)



写真3.5.2-10 貫の割れ (MWDF-7、 $-1/15\text{rad}$)

(4) 荷重変形関係

1) 2P試験体の荷重変形関係

安定した履歴を描くものの、 $P\Delta$ 効果の影響が顕著である。

(a) MWDF-0

MWDF-0の荷重変形関係を図3.5.2-11に示す。

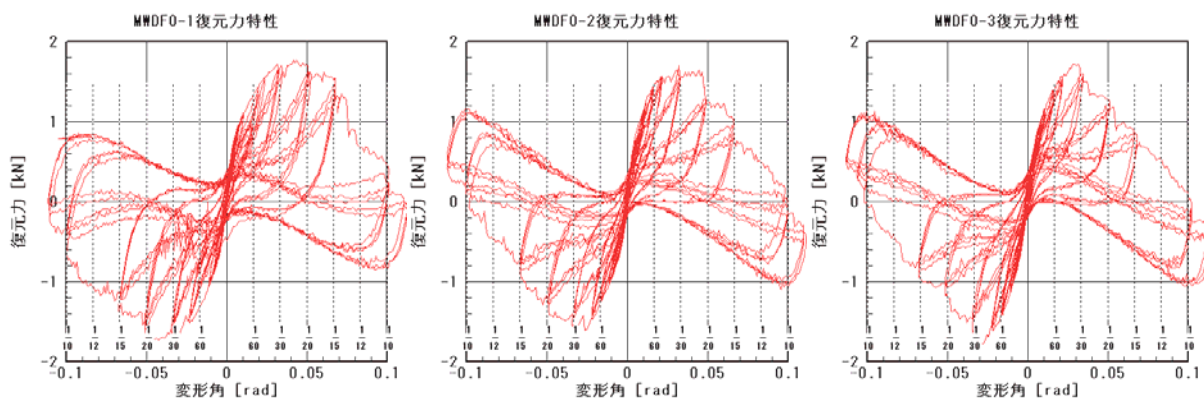


図3.5.2-11 MWDF-0の荷重変形関係

(b) MWDF-1

MWDF-1の荷重変形関係を図3.5.2-12に示す。

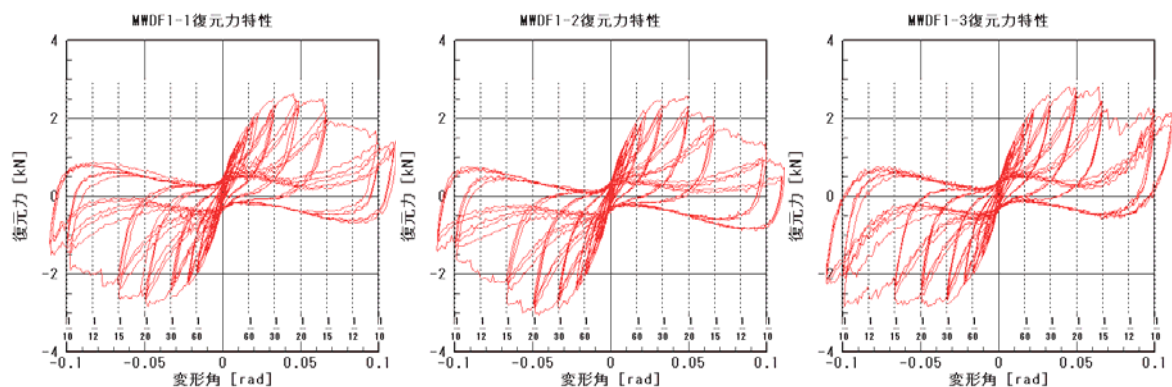


図3.5.2-12 MWDF-0の荷重変形関係

(c) MWDF-2

MWDF-2では、3体ともほぼ同等である。1体目の実験時、 $-1/15\text{rad}$ の載荷において、変形角 -0.05rad あたりより計測器不調のため、そのサイクルの除荷時まで欠測。以下の図では、不明の部分はグラフを描いていない。

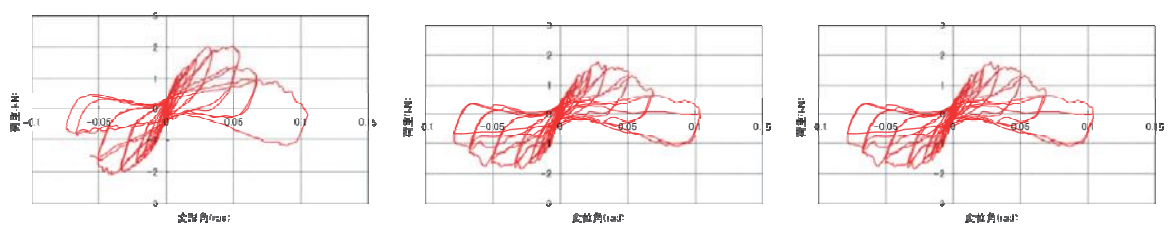


図3.5.2-13 MWDF-2の荷重変形関係

(d) MWDF-6

図3.5.2-14にMWDF-6の荷重変形関係を示す。

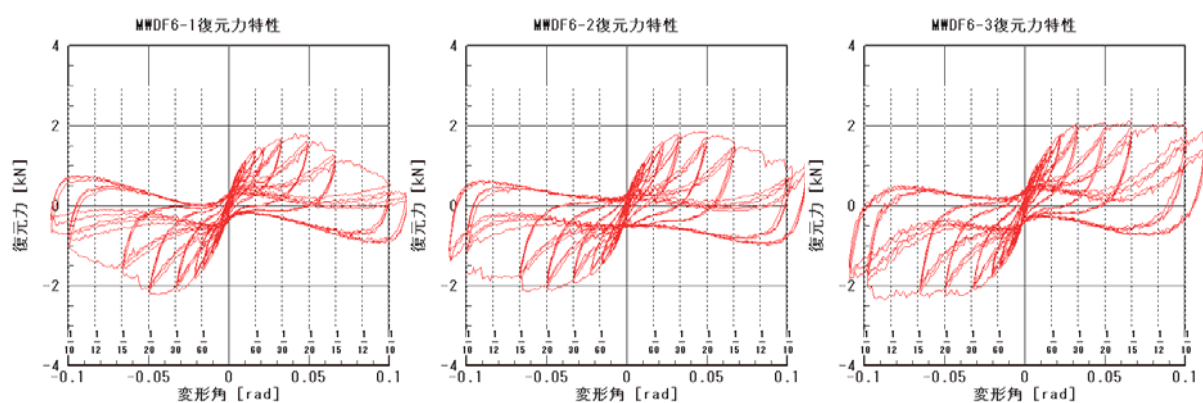


図3.5.2-14 MWDF-6の荷重変形関係

2) 4P試験体の荷重変形関係

図3.5.2-15から図3.5.2-20に4P試験体の荷重変形関係を示す。

(a) MWDF-3

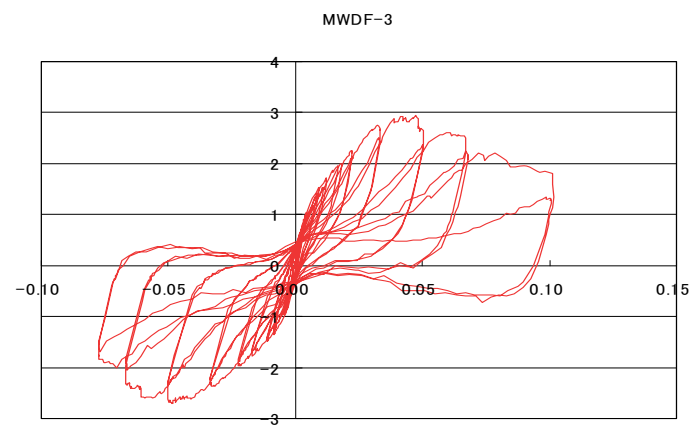


図3. 5. 2-15 MWDF-3の復元力特性

(b) MWDF-7

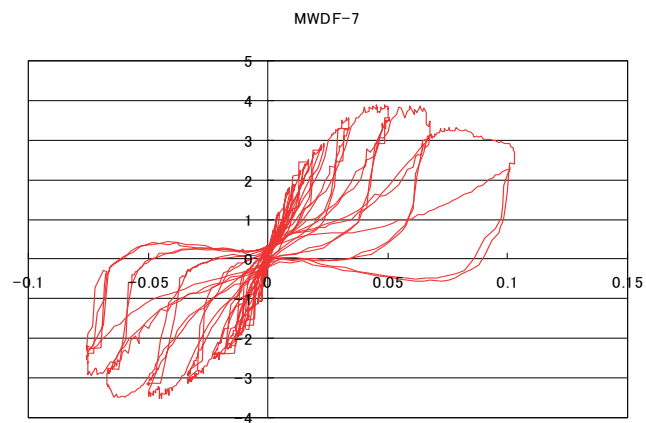


図3. 5. 2-16 MWDF-7の復元力特性

(c) MWDF-8

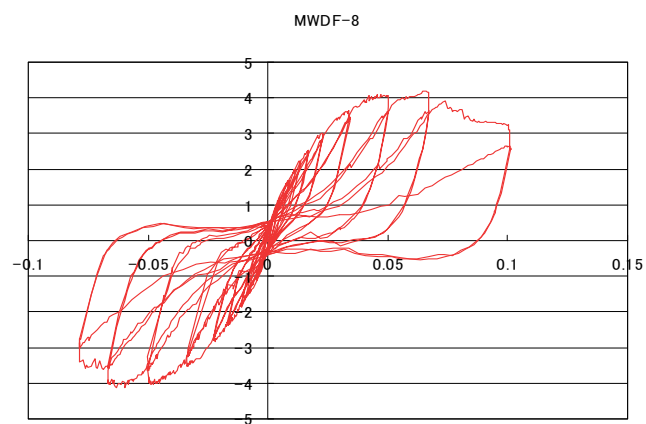


図3. 5. 2-17 MWDF-8の復元力特性

(d) MWDF-9

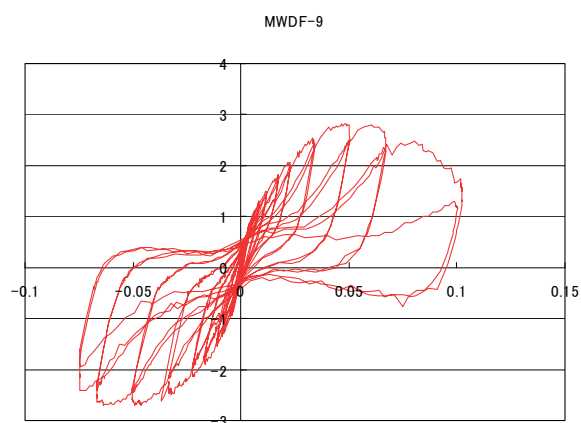


図3. 5. 2-18 MWDF-9の復元力特性

(e) MWDF-11

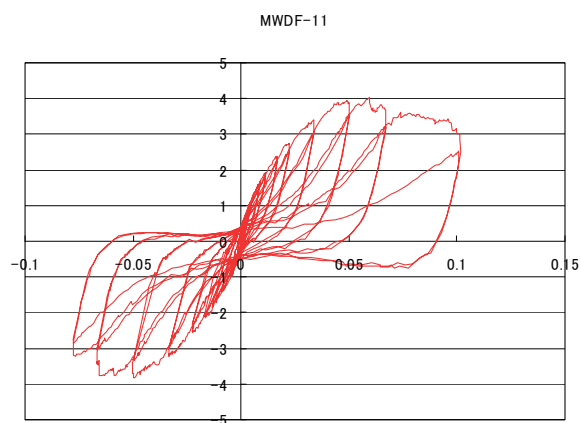


図3. 5. 2-19 MWDF-11の復元力特性

(f) MWDF-12

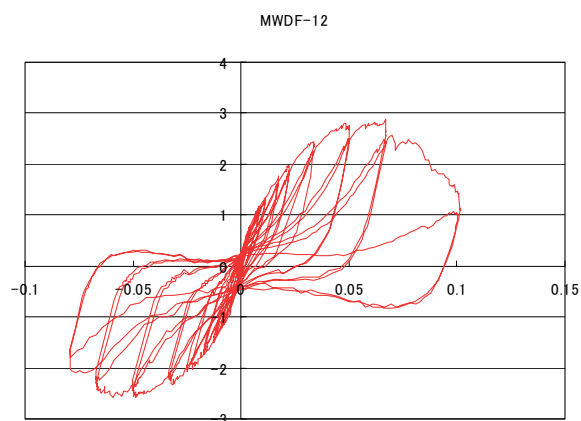


図3. 5. 2-20 MWDF-12の復元力特性

3) 包絡線の比較

(a) 2P試験体

図3.5.2-21に示すように、MWDF-2-1～MWDF-2-3の3体ともほとんど同等の包絡線を描く。PΔ効果の影響を除去すると、1/20rad程度まで耐力が上昇するが、その後、ほぞの破壊に伴って緩やかに耐力が減少する荷重特性を描く。

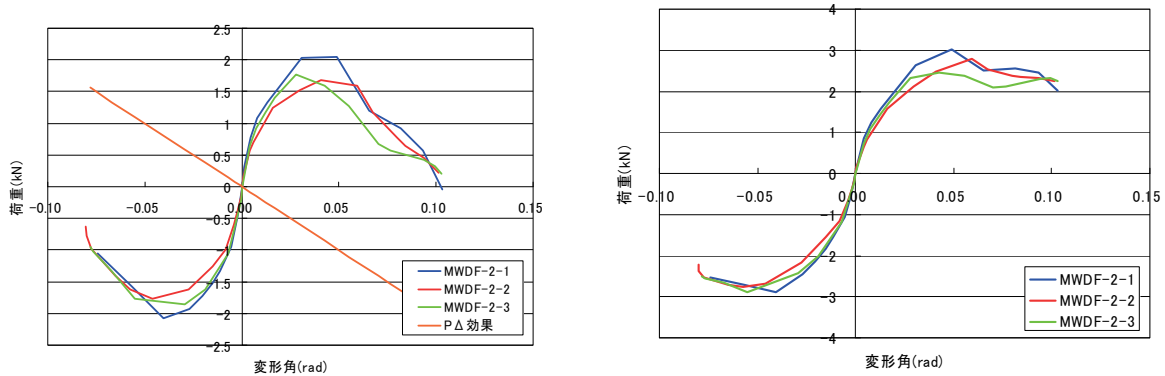


図3.5.2-21 MWDF-2の包絡線（左：実験結果、右：PΔ効果の影響を除去）

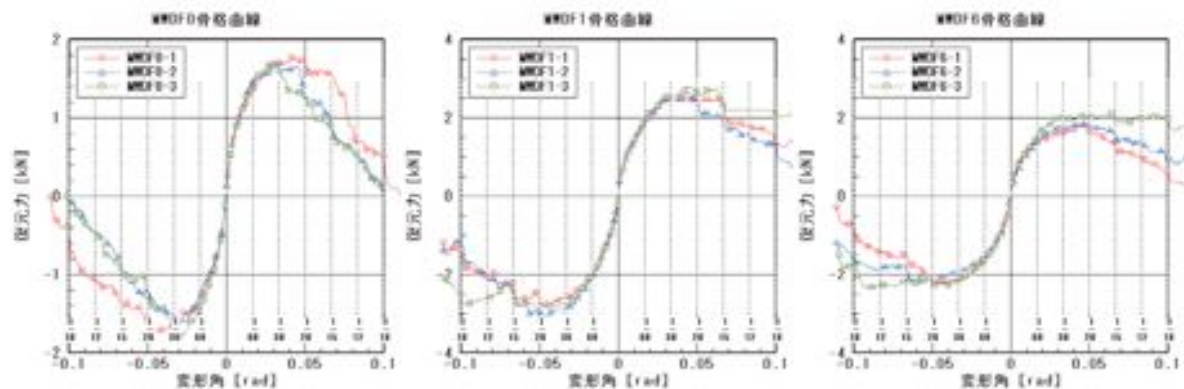


図3.5.2-22 MWDF-0、MWDF-1、MWDF-6の包絡線（PΔ効果を含む）

(b) 4P試験体

PΔ効果を除くと、1/10radまではほぼフラットな性状を示す。包絡線は2つのグループに分かれる。耐力が高いグループは、柱本数が多い（長ほぞ込み栓が多い）。鴨居・敷居部分の有る無しで包絡線はほとんど変わらず、鴨居・敷居が大きな耐力負担はしていないことが分かる。

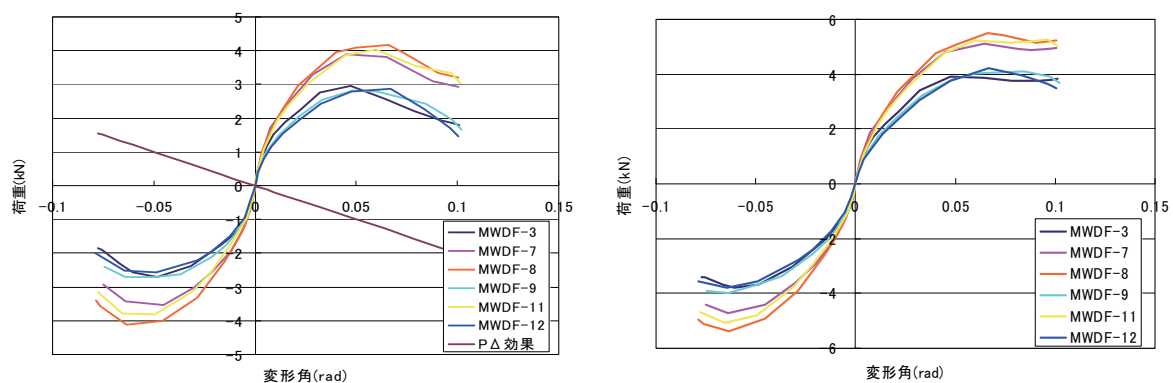


図3.5.2-23 4P試験体の包絡線（左：実験結果、右：PΔ効果の影響を除去）

足固め仕様軸組試験体

2010年度に実施した足固め仕様湿式土壁（MWA-1～MWA-12）について、土壁そのものの復元力特性を評価するため、同様の仕様で軸組のみの試験体を作製し、面内せん断加力試験を実施した。試験体は、表3.5.2-1にMWDAで示した11種類（計19体）である。実験は、金沢工業大学と岡山理科大学で分担して実施された。

（１）試験体の概要

図3.5.2-24に、MWA-F-2の軸組図を示す。その他の試験体も、昨年度に実験したMWAと同様である。

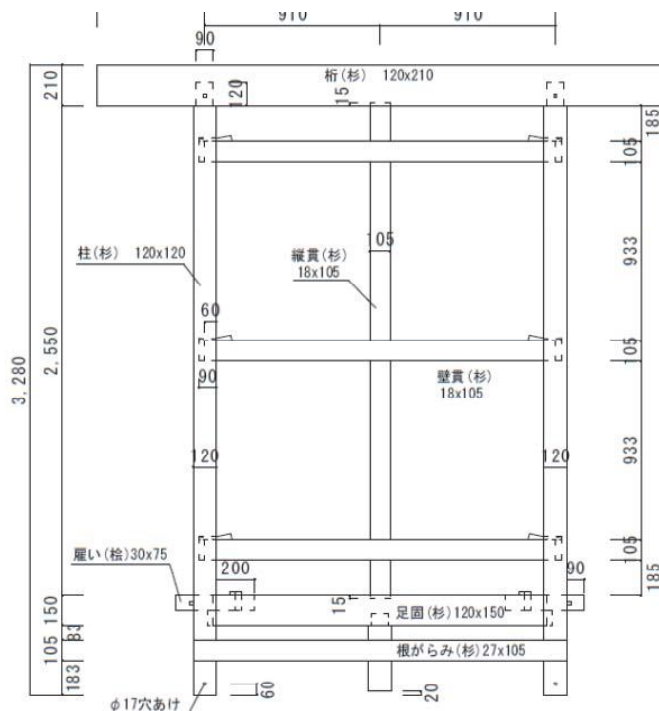


図3.5.2-24 MWA-F-2の軸組図

（２）実験の方法

MWAF-6での計測概要を図3.5.2-25に示す。

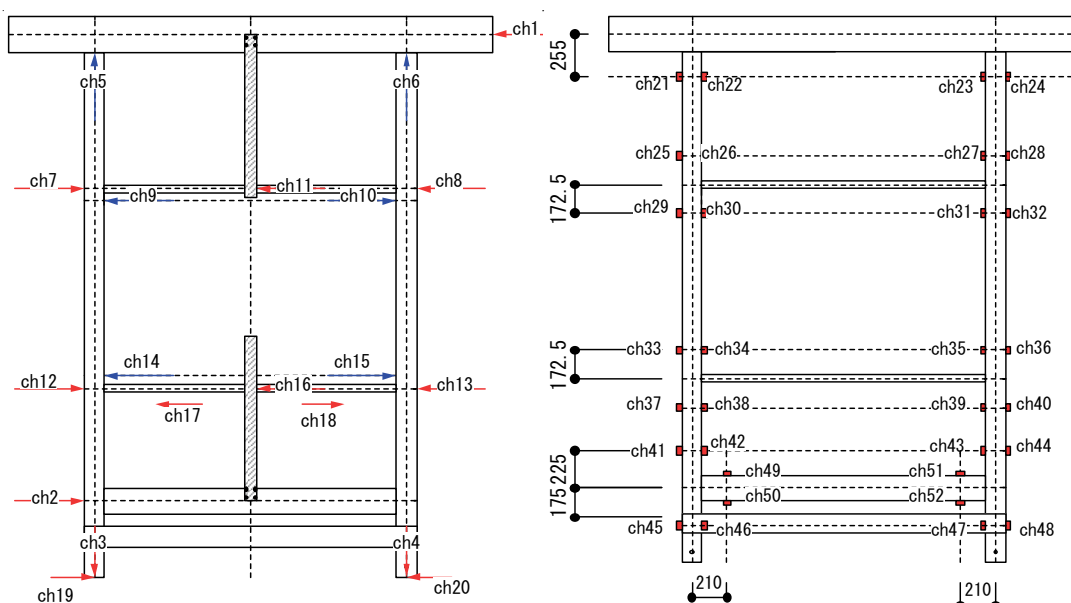


図3.5.2-25 MWAF-6での計測概要（左：変位、右：ひずみ）

1) 足固め位置での小変形加力

昨年度に実施した実大震動実験の結果から、石場建ての伝統的構法木造建物では1階床面の積載荷重の影響を無視できず、1階床面より下部、いわば0層の構造が建物全体の振動特性に影響を与えることがわかってきた。そこで、本実験では、大変形までの面内せん断加力試験に先立って足固め位置での小変形加力（以下、足固め加力と表記する）も行った。足固め加力は、足固めより下の柱の見かけの層間変形角が $1/480\text{rad}$ から $1/90\text{rad}$ または $1/45\text{rad}$ まで増加するように正負繰り返した。図3.5.2-26から図3.5.2-31に、各試験体の荷重変形関係を示す。赤線の横軸は足固めより下の柱の見かけの層間変形角を表し、青線がある場合は、そのときの上部構造（桁・足固め間）の見かけの層間変形角を表している。

(a) 2P幅試験体の荷重変形関係

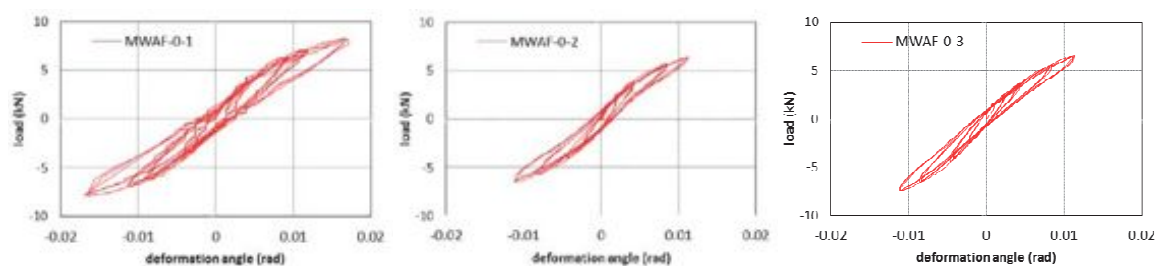


図3.5.2-26 MWAf-0

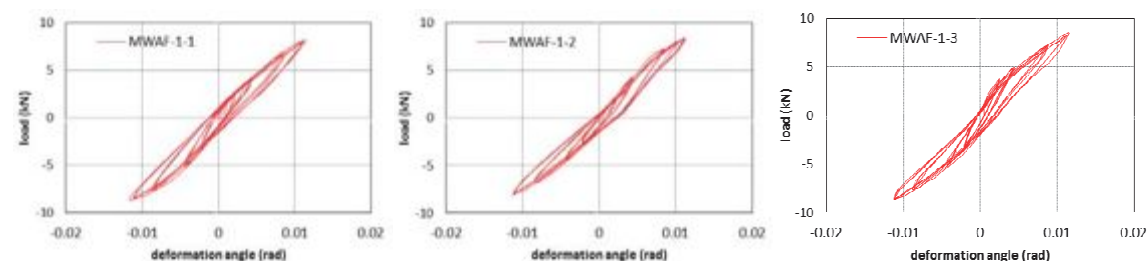


図3.5.2-27 MWAf-1

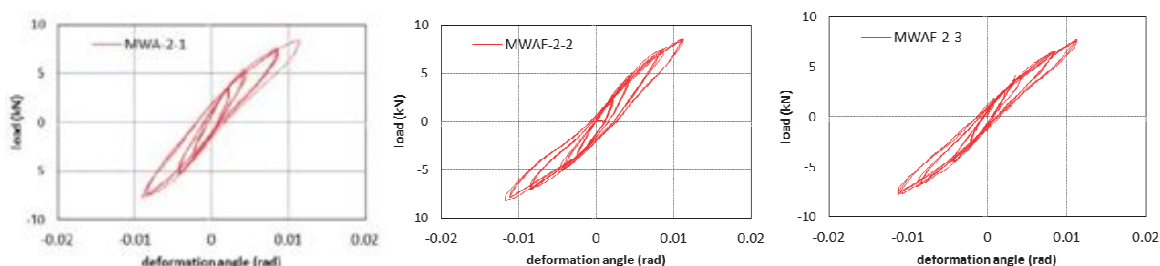


図3.5.2-28 MWAf-2

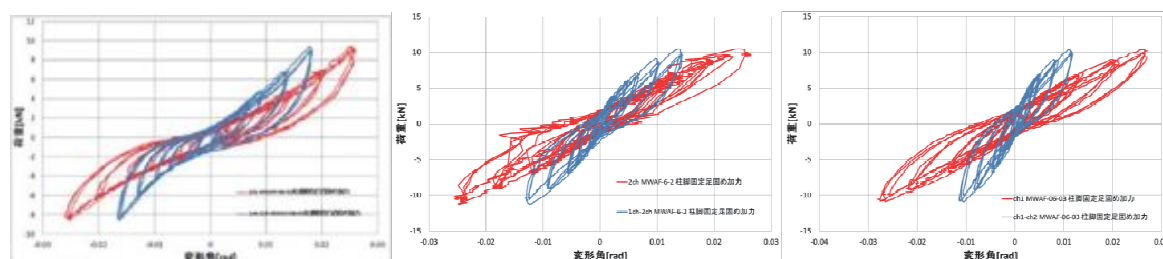


図3.5.2-29 MWAf-6

(b) 4P幅試験体の荷重変形関係

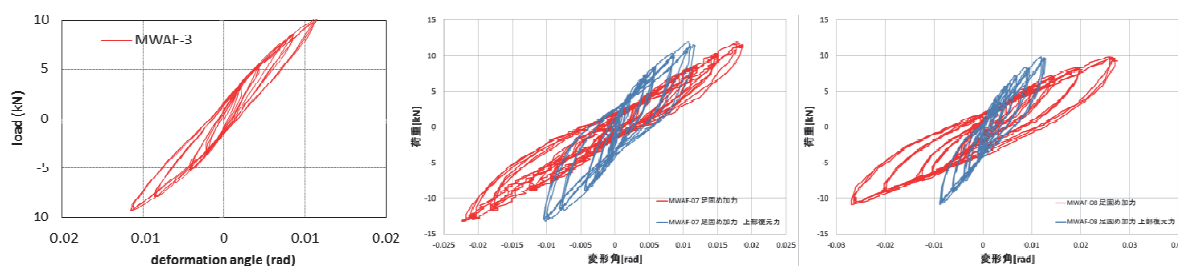


図3.5.2-30 MWAF-3 (左)、MWAF-7 (中)、MWAF-8 (右)

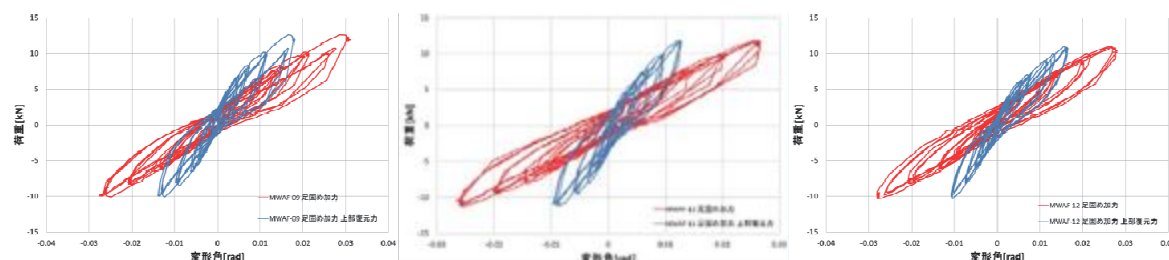
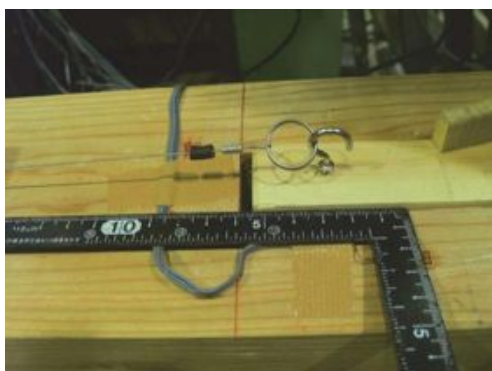


図3.5.2-31 MWAF-9 (左)、MWAF-11 (中)、MWAF-12 (右)

(c) 損傷状況

小変形ではあるが、雇いほぞの抜けなどが観察された。写真3.5.2-11にMWAF-6の1/45rad変形時の各部の状況を示す。



(a) 右側雇いの隙間



(b) 左側雇いの隙間



(c) 右側鴨居と柱の隙間



(d) 左柱脚と足固めの隙間

写真3.5.2-11 変形角+1/45radの損傷状況

2) 面内せん断加力試験

桁部に水平加力した際の荷重変形関係を図3.5.2-32から図3.5.2-37に示す。ここでは、おもりによるPΔ効果を除去している。

(a) 2P幅試験体

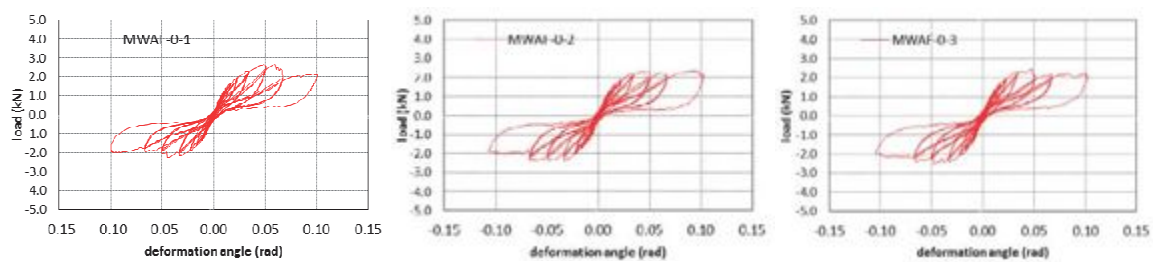


図3.5.2-32 MWAf-0

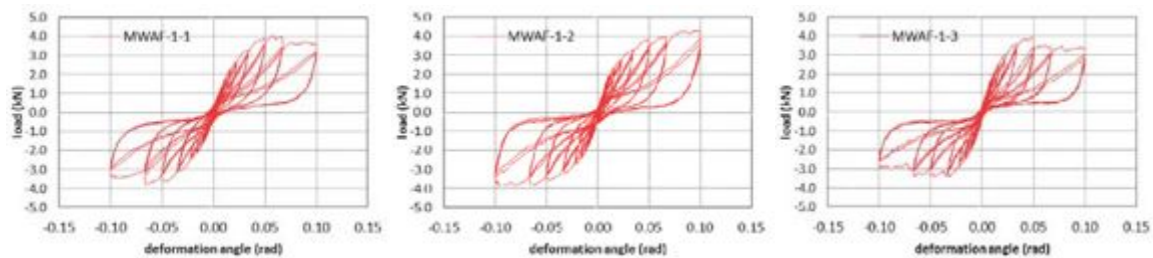


図3.5.2-33 MWAf-1

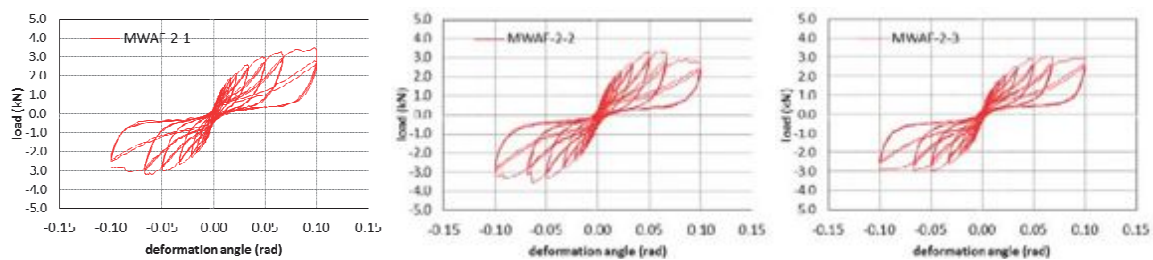


図3.5.2-34 MWAf-2

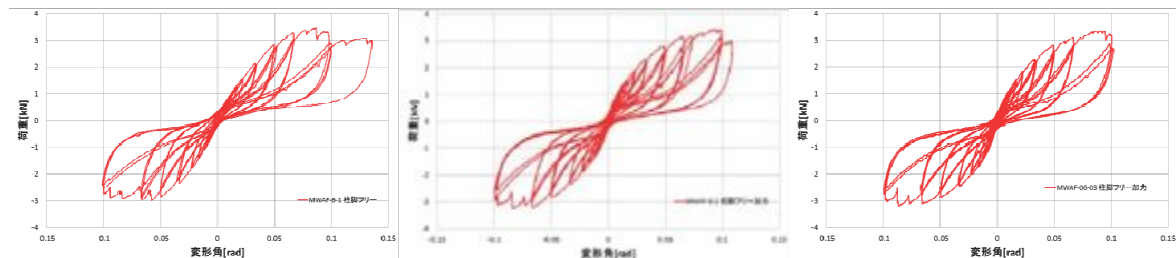


図3.5.2-35 MWAf-6

(b) 4P幅試験体

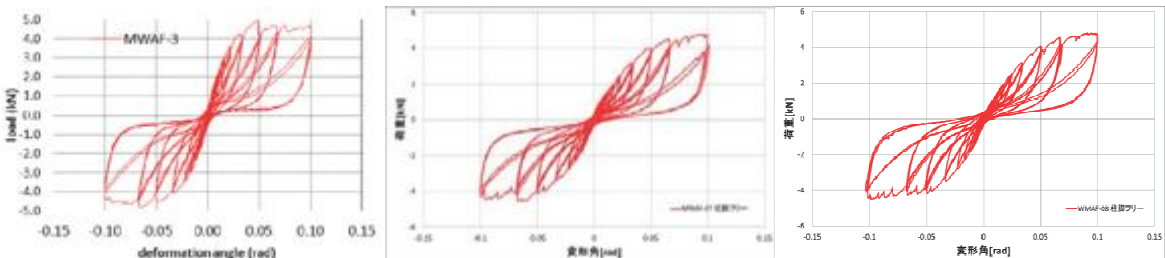


図3.5.2-36 MWAf-3 (左)、MWAf-7 (中)、MWAf-8 (右)

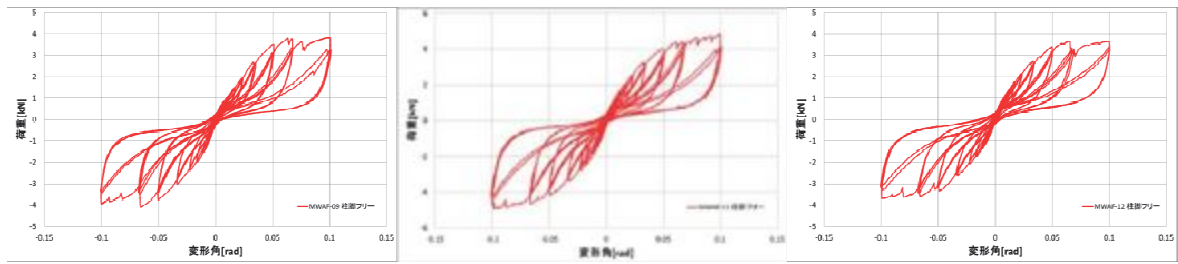


図3.5.2-37 MWAF-9 (左)、MWAF-11 (中)、MWAF-12 (右)

(c) 損傷状況

実験途中のMWAF-6-1の全景を写真3.5.2-12に示す。



(a) 変形角+1/30rad



(b) 変形角+1/20rad



(c) 変形角+1/10rad

写真3.5.2-12 MWAF-6-1試験体全景

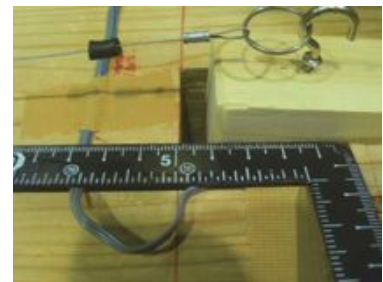
MWAF-6-1について、1/10rad変形時の各部の状況を写真3.5.2.2-3に示す。



(a) 右側足固めの隙間



(b) 右側雇い接合部



(c) 右側雇いの様子



(d) 右側鴨居部分の様子



(e) 左側足固めと貫の様子

写真3.5.2-13 変形角+1/10radの損傷状況 (MWAF-6-1)

荒壁裏返し時期の影響

これまでの土壁実験において、変形が進み壁土が剥落するときの様子を見ていると、荒壁の裏返しまでにじゅうぶん乾燥させたものに比べて、裏返しを早く行ったものの方が荒壁の両面がしっかりと付着して、竹小舞により荒壁の表裏が引き裂かれるまで粘り強くなっているのではないかという印象があった。本実験では、その印象を印象に終わらせないために、荒壁の裏返しまでの期間を決めて試験体を作製し、復元力特性や損傷過程に何らかの影響が見られるのか、あるいはほとんど影響がないのか、を確認することを目的とした。

(1) 試験体の概要

試験体は、MWD-2-1WとMWD-2-2Wの2種類、各3体とした。荒壁の裏返し時期を違えたほかは、昨年度に実施したMWD-2と同一の仕様である。試験体名称について、1Wは「裏返しを1週間後に行ったもの」、2Wは「裏返しを2週間後に行ったもの」である。試験体製作工程を以下に示す。

- ① 軸組組み立て 2011年10月3日
- ② 竹小舞かき 2011年10月6日
- ③ 荒壁片面 2011年10月7日
- ④ 荒壁裏返し1 2011年10月13日
- ⑤ 荒壁裏返し2 2011年10月21日
- ⑥ 中塗り 2011年11月7日

上記工程の③、④、⑤において、少量の壁土サンプルを採取し、荒壁土の含水率変化を計測した。表3.5.2-2に中塗り作業までの壁土の含水率変化を示す。

表3.5.2-2 壁土の含水率変化

	工程			
	③荒壁	④裏返し1	⑤裏返し2	⑥中塗り
荒壁土	23.3%	20.7%	12.4%	—
裏返し土1	—	29.2%	22.2%	8.1%
裏返し土2	—	—	29.9%	20.7%

壁土サンプルとは別に、図3.5.2-38に示す乾燥観察用の小試験体を作製し、これの重量変化が中塗り終了後にほとんどなくなったことを確認した後、最初の実験を2011年12月22日から開始した。

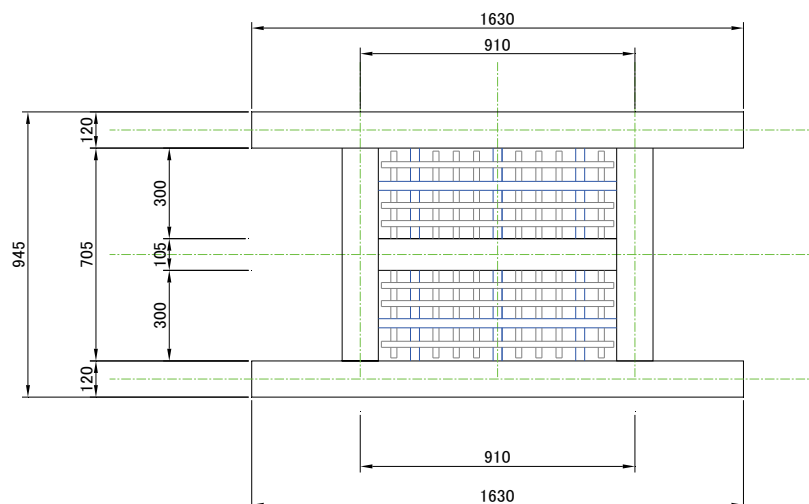


図3.5.2-38 小さい土壁

(2) 実験の方法

MWD-2-2W-2の設置状況を写真3.5.2-14に示す。2010年度の実験と同様、外柱1本あたり約10kNの鉛直荷重を作用させた。写真右側から左側への変形を正として、1/480rad～1/7radまで変形制御の正負繰り返し加力とした。



写真3.5.2-14 MWD-2-2W-2の設置状況

(3) 実験の結果

実験が終了しているものについて、実験結果の概要を以下に述べる。

1) 荷重変形関係

荷重変形関係を図3.5.2-39および図3.5.2-40に示す。横軸は見かけの変形角 (rad)、縦軸は、次式によりおもりによるPΔ効果の影響を除いた荷重である。

荷重＝計測荷重＋おもり重量×tan（見かけの変形角）

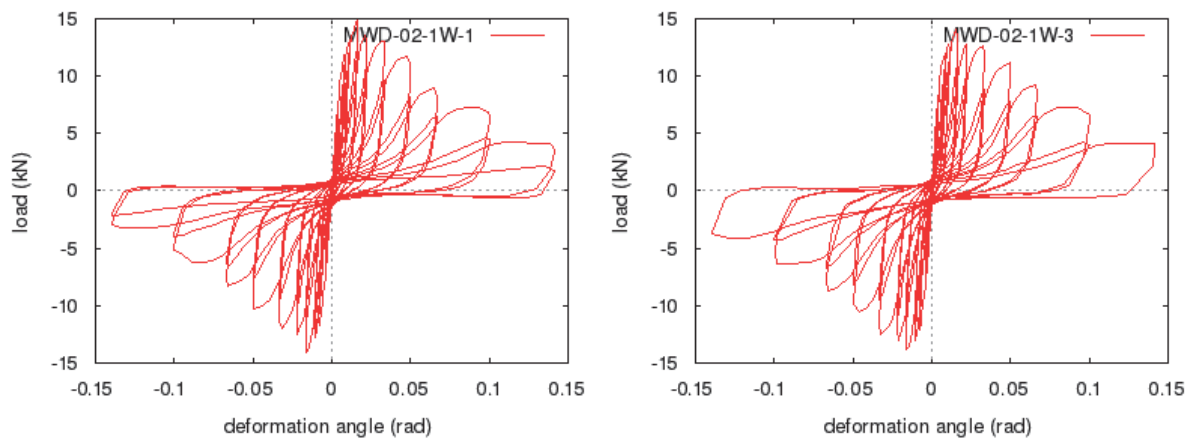


図3.5.2-39 MWD-2-1W-1、MWD-2-1W-3の荷重変形関係

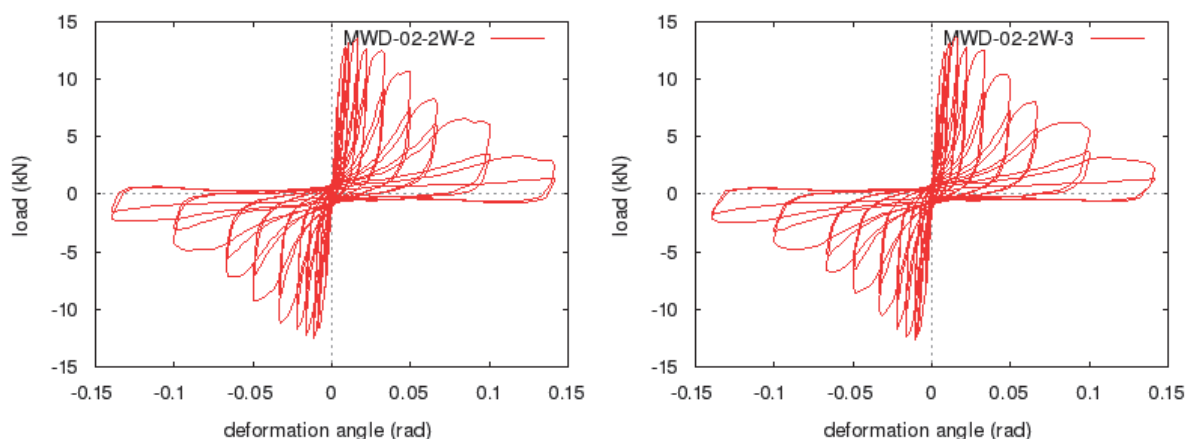


図3.5.2-40 MWD-2-2W-2、MWD-2-2W-3の荷重変形関係

P Δ 効果を考慮した最大荷重の平均は、1Wで14.5kN、2Wで13.6kNである。各目標変形角での荷重を用いた包絡線を図3.5.2-41に示す。最大耐力は両者で大きく変わらない一方、1Wに比べて2Wの方が最大荷重経過後の耐力低下が大きい傾向が見られる。

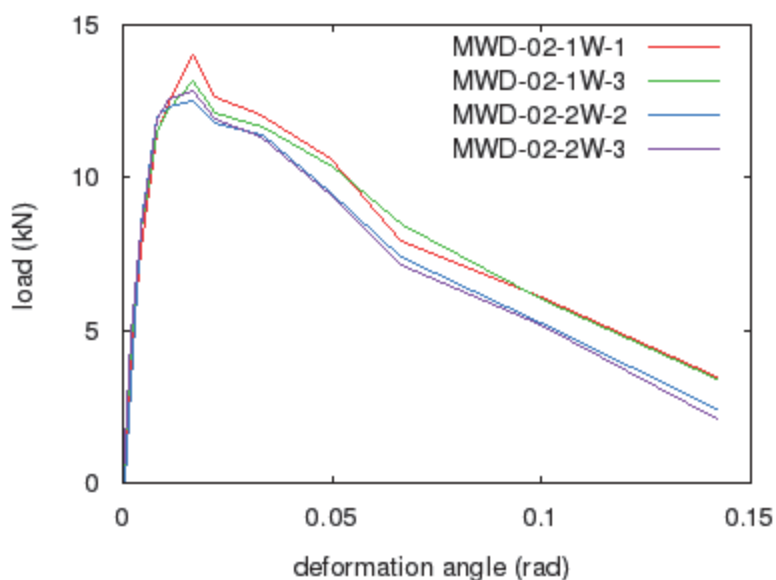


図3.5.2-41 荷重変形関係の包絡線

最大耐力から1/7rad変形時への耐力低下割合は、1W試験体では平均75%、2W試験体では平均82%である。昨年度実施したMWD-2は荒壁の裏返しを翌日に施しており、同様に求めた耐力低下割合は平均82%であるので、裏返しを行うまでの期間が復元力特性に何らかの影響を与えている可能性がある。

2) 損傷状況

MWD-2-1W-3とMWD-2-2W-3について、1/30rad、1/20rad、1/15rad、1/10rad、1/7rad変形時の損傷状況を写真3.5.2-15に示す。損傷の発生・進展は、両者に大きな違いが見られない。

MWD-2-1W-3

MWD-2-2W-3

1/30rad



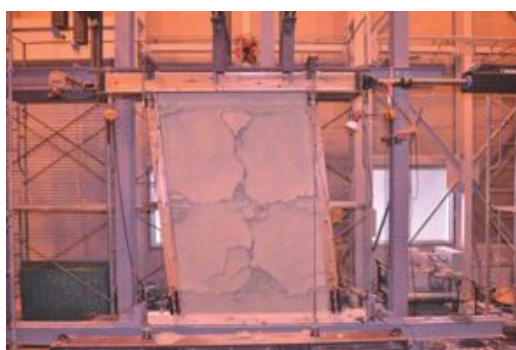
1/20rad



1/15rad



1/10rad



MWD-2-1W-3

MWD-2-2W-3

1/7rad

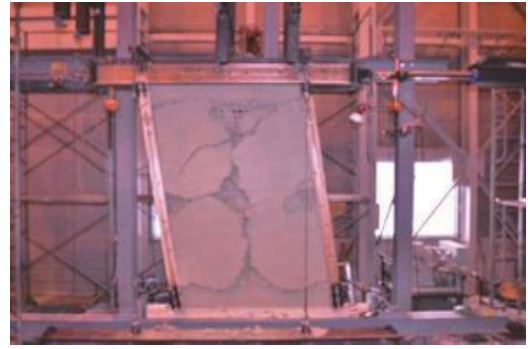
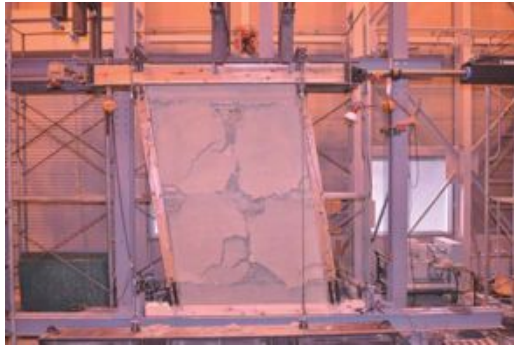
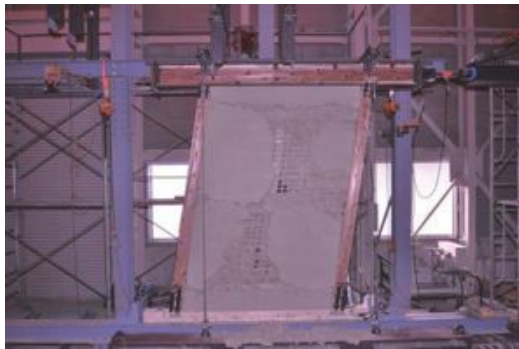


写真3.5.2-15 1Wと2Wの損傷進展状況

－1/7rad変形時の全景を写真3.5.2-16に示す。



MWD-2-1W-1 (2度目)



MWD-2-1W-3 (1度目)



MWD-2-2W-2 (2度目)



MWD-2-2W-3 (2度目)

写真3.5.2-16 ー1/7rad変形時

(4) まとめ

荒壁の裏返しまでの期間が土壁の復元力特性や損傷に何らかの影響を与えるかどうかを確認するため、荒壁の裏返しを1週間後、2週間後に行った試験体について正負繰り返し加力実験を実施した。実験の結果、おおよそ以下の傾向が明らかとなった。

- ① 壁土の含水率は1週間に10%程度減少する。
- ② 土壁の最大耐力は裏返し時期により大きく変わらない。
- ③ 最大耐力経験後の耐力低下に違いが見られる。
- ④ 実験中の目に見える損傷は同様であるが、最大変形時の残存壁土量にわずかに違いが見られる。

最大耐力からの耐力低下割合を見ると、裏返しを翌日に行ったものと2週間後に行ったものが同程度で、裏返しを1週間後に行ったものの耐力低下割合がやや下がるという結果となった。

竹小舞間隔の影響

荒壁裏返し時期の影響で述べた裏返しまでの荒壁の乾燥期間とともに、荒壁の一体性を高める工夫のひとつとして、竹小舞間隔の影響を確認するための実験も行った。昨年度の実験体では竹小舞間隔が45mmであったので、竹小舞間隔が10mmずつ狭いあるいは広い試験体とした。

(1) 試験体の概要

図3.5.2-42および図3.5.2-43に、竹小舞間隔が35mmの試験体MWD-(1または2)-35ならびに55mmの試験体MWD-(1または2)-55の軸組図をそれぞれ示す。4種類それぞれ3体ずつ、計12体について面内せん断加力試験を行った。

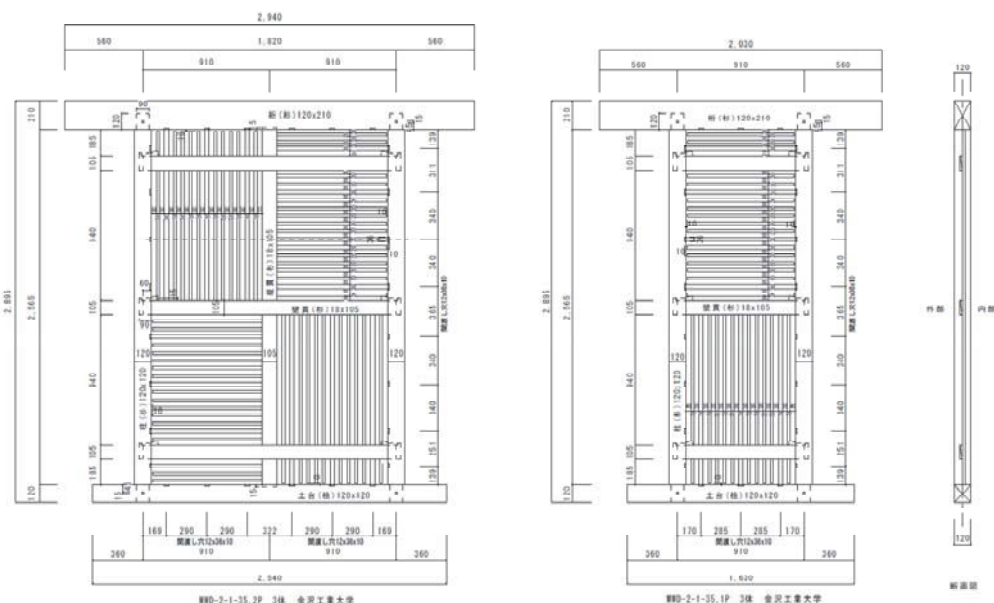


図3.5.2-42 MWD-2-35 (左)、MWD-1-35 (右)

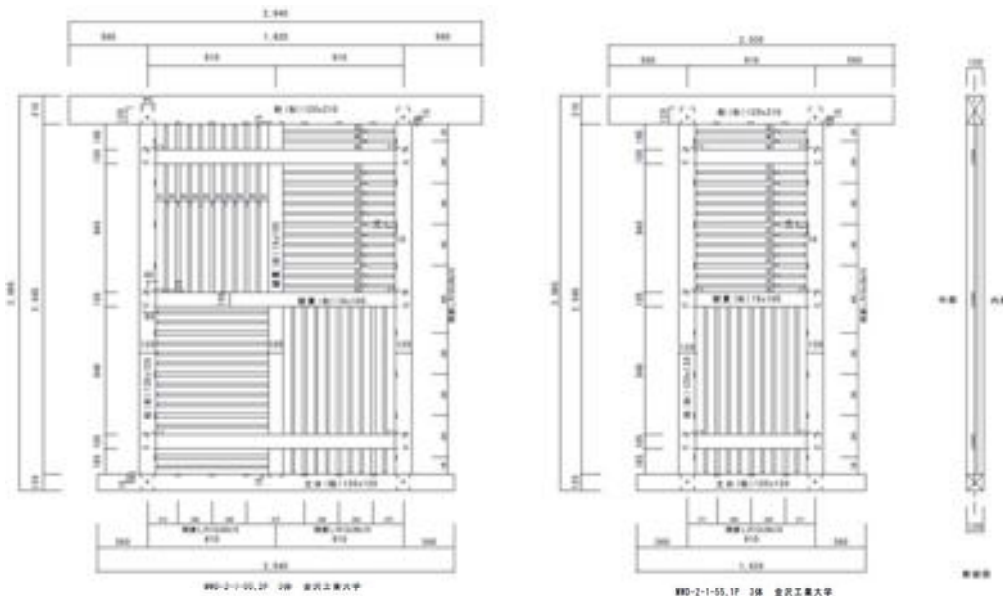


図3.5.2-43 MWD-2-55 (左)、MWD-1-55 (右)

(2) 実験の方法

他の実験と同様に、外側の柱1本に約10kNの鉛直荷重が作用する載荷式とし、1/480radから1/10radまで変形を増大させる正負繰り返し加力とした。各部の変位の計測状況を図3.5.2-44に示す。

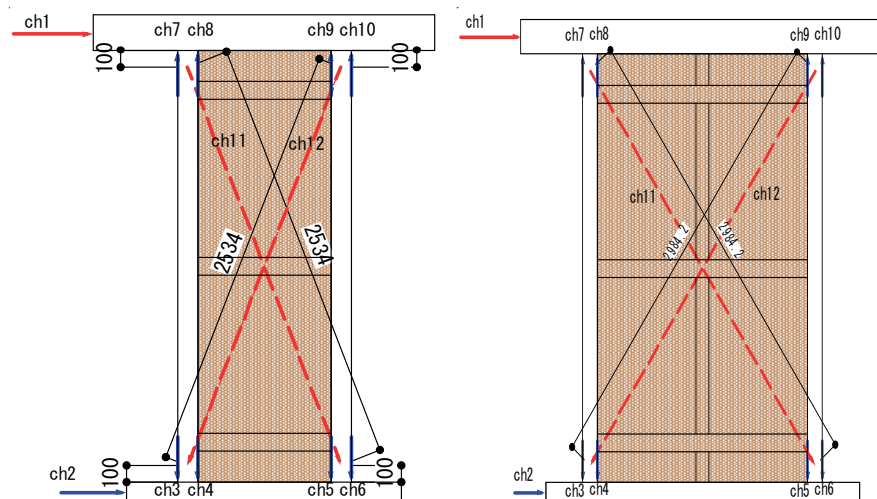


図3.5.2-44 変位計測（左：MWD-1-35とMWD-1-55、右：MWD-2-35とMWD-2-55）

（３）実験の結果

1) 荷重変形関係

図3.5.2-45および図3.5.2-46に竹小舞間隔35mmの試験体、図3.5.2-47および図3.5.2-48に竹小舞間隔55mmの試験体の荷重変形関係を示す。P Δ 効果は除去している。

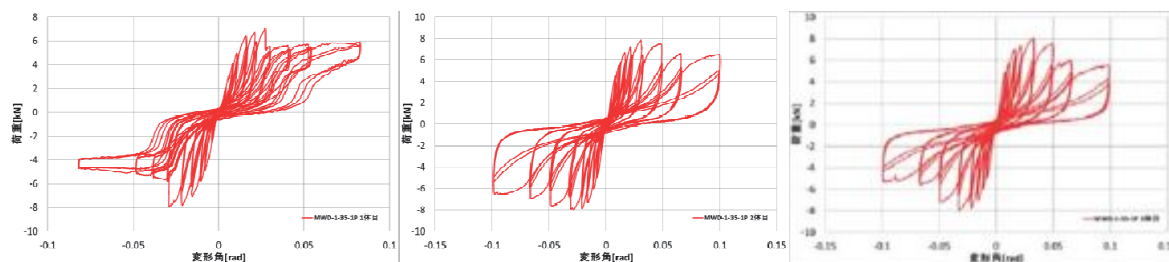


図3.5.2-45 MWD-1-35の荷重変形関係

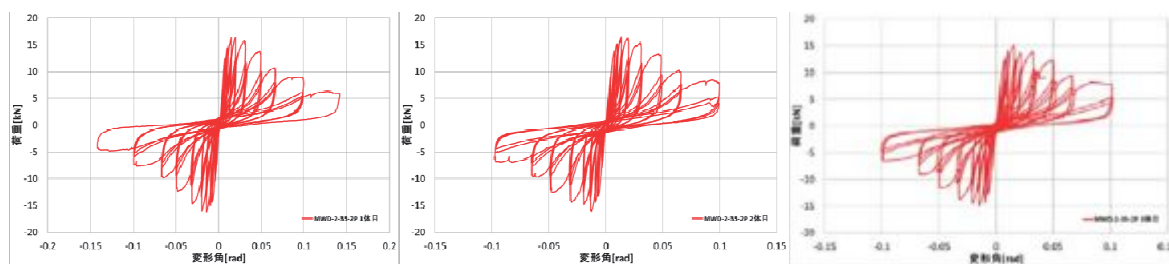


図3.5.2-46 MWD-2-35の荷重変形関係

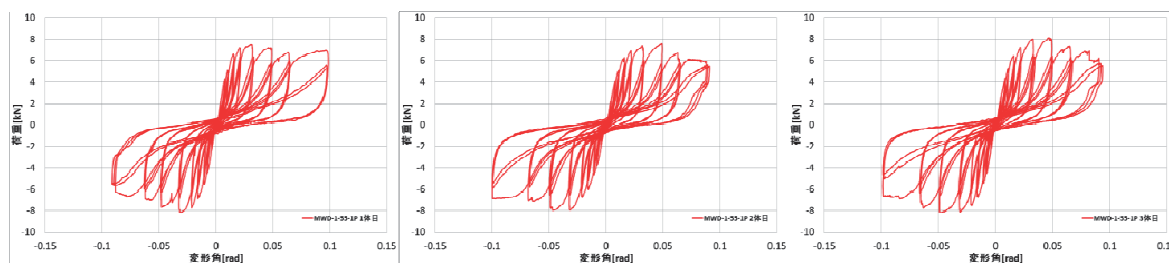


図3.5.2-47 MWD-1-55の荷重変形関係

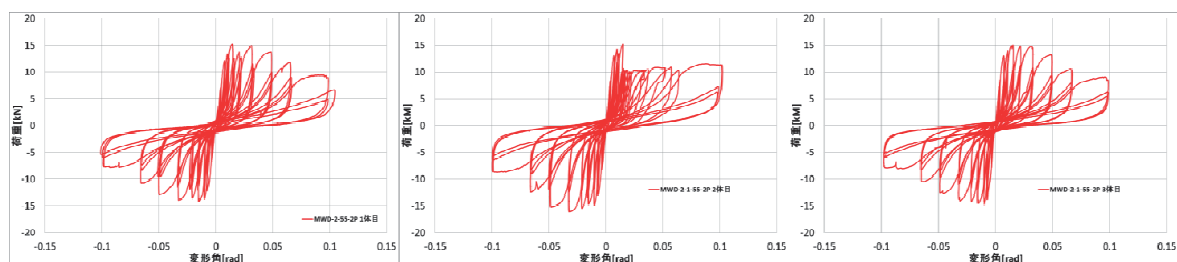
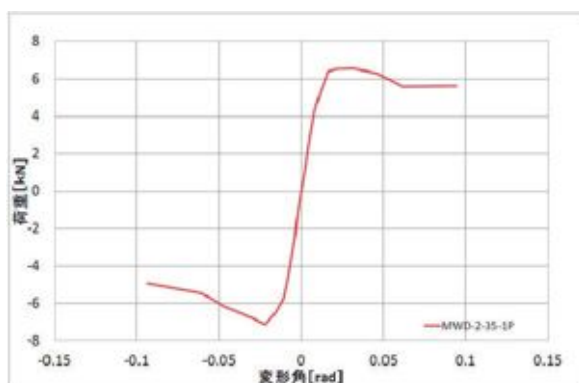
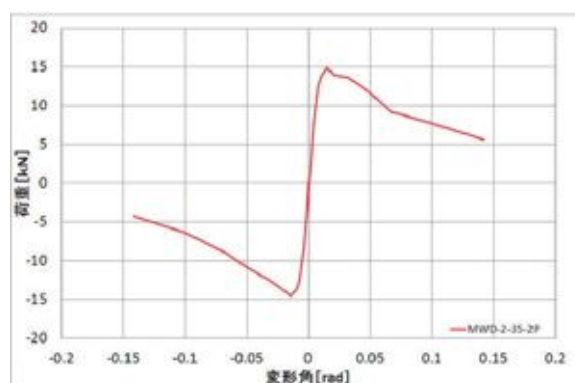


図3.5.2-48 MWD-2-55の荷重変形関係

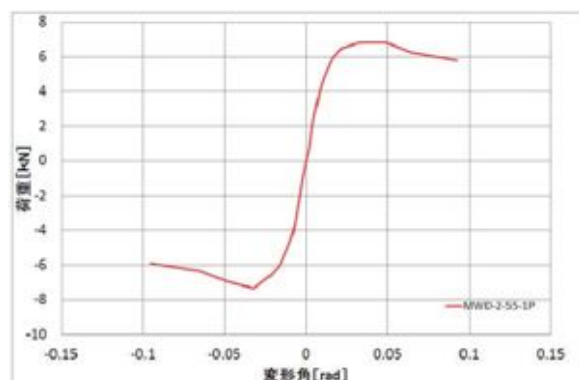
包絡線を図3.5.2-49に示す。竹小舞間隔が55mmのとき、2P幅試験体で最大耐力はやや下がるが、最大耐力経過後の耐力低下が小さくなる傾向が見られる。



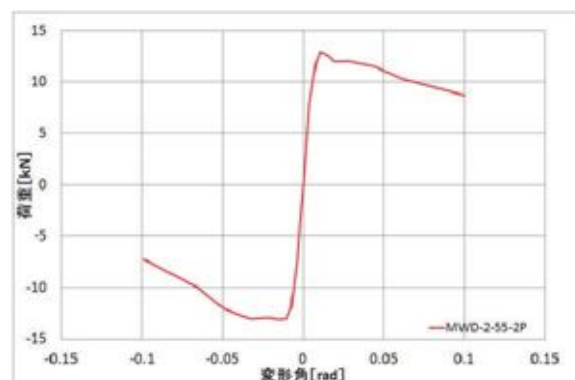
(a) MWD-1-35



(b) MWD-2-35



(c) MWD-1-55



(d) MWD-2-55

図3.5.2-49 包絡線

2) 損傷状況

写真3.5.2-17から写真3.5.2-20に試験体全体の損傷状況を示す。MWD-1-35-1では1/10rad変形時に柱脚の引き抜き損傷が生じた。



(a) 変形角+1/30rad



(b) 変形角+1/20rad



(c) 変形角+1/10rad

写真3. 5. 2-17 MWD-1-35試験体全景 (MWD-1-35-1)



(a) 変形角+1/30rad



(b) 変形角+1/20rad



(c) 変形角+1/10rad

写真3. 5. 2-18 MWD-1-55試験体全景 (MWD-1-55-1)

3) 竹小舞間隔による復元力特性の比較

図3.5.2-50～図3.5.2-52に、それぞれ竹小舞間隔が35mm、45mm、55mmである2P試験体の荷重変形関係を示す。図3.5.2-50と図3.5.2-52は、図3.5.2-46および図3.5.2-48を重ねて再掲したものであり、図3.5.2-51は、2010年度に実施したMWD-2の実験結果である。

前述の通り、竹小舞間隔が55mmのMWD-2-55では、竹小舞間隔が45mmあるいは35mmの試験体に比べて、最大耐力経験後の耐力低下が抑えられる傾向が見られる。

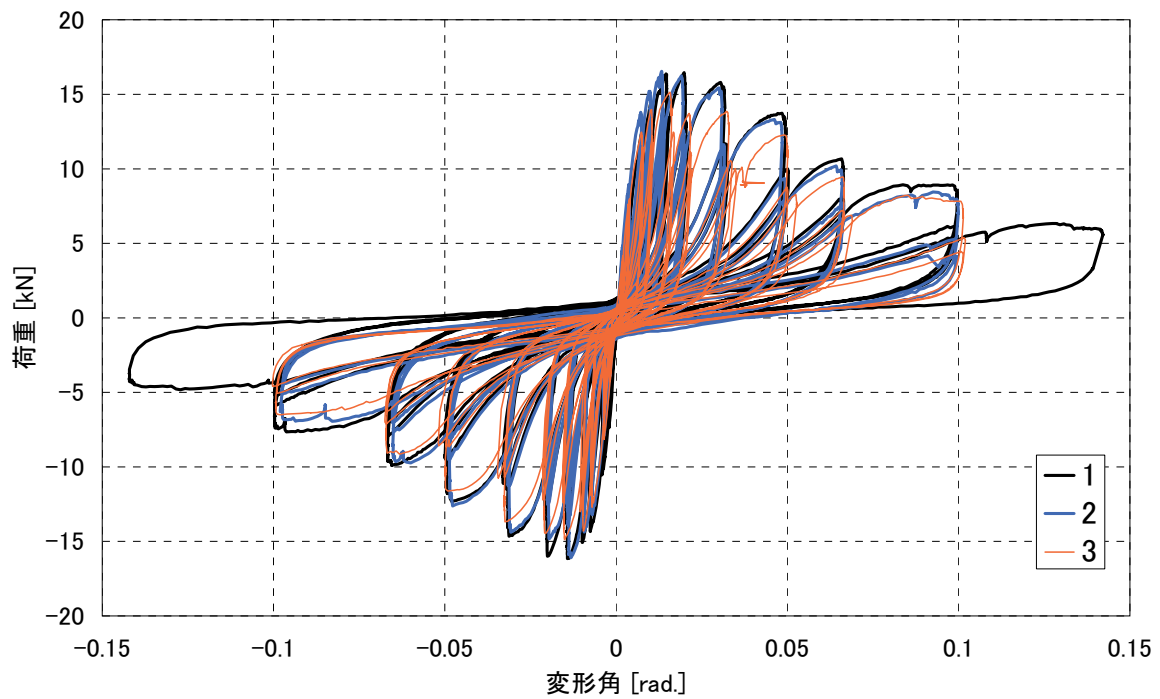


図3. 5. 2-50 MWD-2-35の荷重変形関係

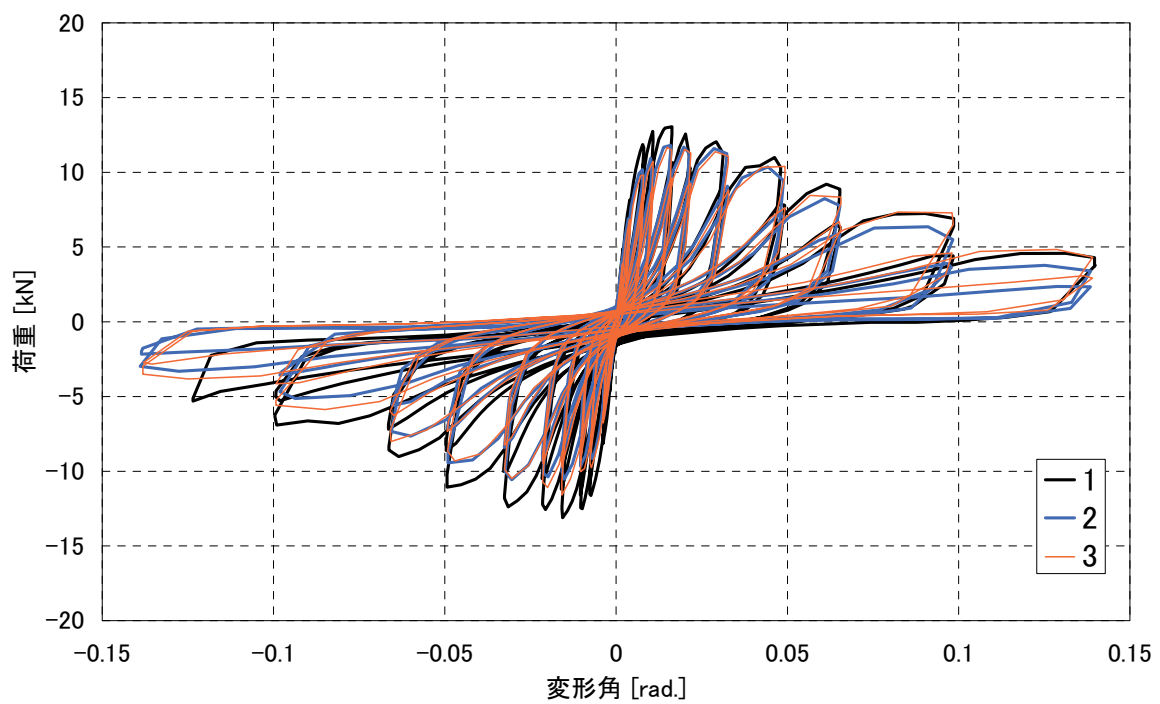


図3. 5. 2-51 MWD-2(-45)の荷重変形関係 (2010年度の実験結果)

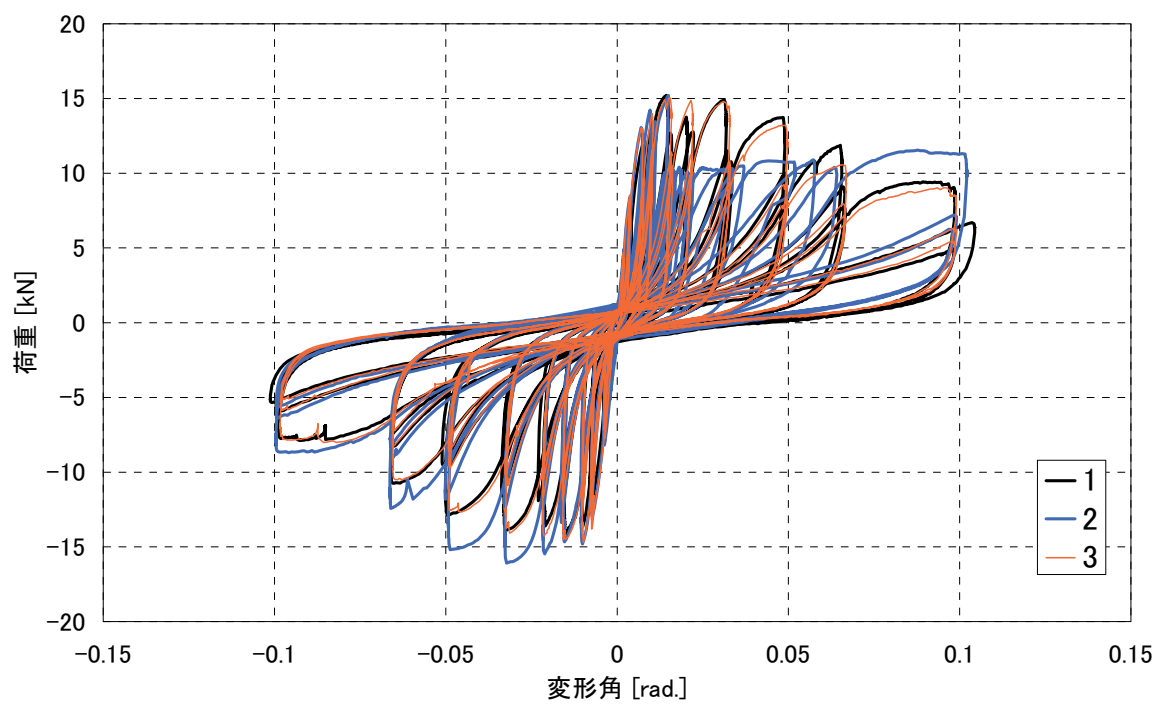


図3. 5. 2-52 MWD-2-55の荷重変形関係



(a) 変形角+1/30rad



(b) 変形角+1/20rad



(c) 変形角+1/10rad

写真3. 5. 2-19 MWD-2-35試験体全景 (MWD-2-35-1)



(a) 変形角+1/30rad



(b) 変形角+1/20rad



(c) 変形角+1/10rad

写真3. 5. 2-20 MWD-2-55試験体全景 (MWD-2-55-1)

小舞材料の影響

表3.5.2-1の試験体の一覧のうち、ここでは、小舞材料に葦（よし、あし）を用いる金沢仕様の土壁試験体（MWD-2-Y、MWD-1-Y）と萱（すすき、かや）を用いる飛騨高山仕様の土壁試験体（MWD-2-S、MWD-1-S）の実験結果について報告する。

（１）試験体の製作

1) 葦小舞試験体（MWD-2-Y、 MWD-1-Y）

竹小舞の場合は柱内側面にえつり穴を設け、そこに竹小舞をさす構法が一般的であるが、金沢仕様の土壁では「ウグイス」と呼ばれる竹釘を柱、梁に打ち込み、そこに小舞下地を縄で結び付ける構法が用いられている（写真3.5.2-21(a)～(c)）。

項末文献1)～5)によると、竹釘によって間渡しをとめる構法は、主に福井から富山の日本海側の地域に分布するとされている。この構法の長所としては、改造などの際に土壁が廃されても部材側面にほとんど痕跡が残らない点や、事前に編んだ小舞下地を取り付けることが可能なことが挙げられる。また、この竹釘は地域によって名称が異なっており、石川県内では「ウグイス」の他に「スズメ」、新潟県内では主に「チクショウ」、「タケクギ」など、富山県内では「スズメ」、「ウグイ」、



(a) 柱に打ち込まれた「ウグイス」



(b) 柱、梁に打ち込まれた「ウグイス」



(c) 「ウグイス」にくくりつけられた間渡し竹

写真3. 5. 2-21 MWD-2-Yの葦小舞仕様における「ウグイス」



(a) 今回使用された「ウグイス」



(b) 従来の「ウグイス」

写真3.5.2-22 葦小舞仕様で用いられる「ウグイス」

「ヤマト」、そして福井県内ではほとんどが「ウグイス」である。この竹釘による構法は石川では昭和50年頃まで主に行われており、新潟、富山、福井では昭和35年頃までが全盛であった。竹釘は自家製であり、冬期における見習いの仕事であった。今回の実験で用いられるウグイスは、写真3.5.2-22(a)のものであるが、古くより使われているウグイスは、今回のものより小さく抜けやすい(写真3.5.2-22(b))。古い建物から時々見つかることがあるとのことである。



(a) 間渡し竹をウグイスにくくりつけた状態



(b) 間渡し竹に葦を括りつける様子



(c) 貫面



(d) 縦貫面

写真3.5.2-23 葦小舞仕様の小舞かきの様子

今回の実験で使用した金沢仕様の土壁では、国産の丸竹が間渡し竹として用いられ、小舞には琵琶湖の葦が用いられた。縄は小麦藁である。間渡し竹の間隔は、貫の位置によって変わってくるが、おおよそ30cmが目安であり、端から2寸（約6cm）をとり、その間を等間隔に割るのが基本となっている。そこに葦を2本ずつまとめて藁縄でくくりつけていく。小舞かきの様子を写真3.5.2-3(a)～(d)に示す。また写真3.5.2-24に示すように、土の重みで壁が下がった際に、壁下部分の小舞が膨れるのを防ぐために、縦葦は下の土台に直接当たらないよう裾を3～4分（約1cm）ほど開けておく。



写真3.5.2-24 葦小舞の下部の様子

2) すすき（萱）小舞試験体（MWD-1-S、MWD-2-S）

飛騨高山地方では、間渡し竹の代わりに木が用いられてきた（写真3.5.2-25(a)）。間渡しを組む際は、柱に穴をあけ、削って先を尖らせた間渡しを差し込む。間渡しの間隔は、ほぼ等間隔になっており、255～260mmであった。小舞には萱（かや、すすき）が使われ（写真3.5.2-25(b)）、3本ずつ束ねて間渡しに縄でくくりつけてられており、間隔は35mm、縦の間隔が40mmであった。小舞かきの様子を写真3.5.2-26(a)～(d)に示す。



(a) 今回用いられた間渡しの木



(b) 今回用いられた萱

写真3.5.2-25 すすき小舞仕様の材料



(a) 間渡しの木を組む様子



(b) 間渡しに萱を3本ずつ括りつける様子



(c) 小舞かきの様子



(d) 萱仕様による小舞

写真3.5.2-26 すすき（萱）小舞仕様の小舞かきの様子

3) 荒壁塗、中塗り工程

2011年10月15日に片面のみ荒壁塗を行い、約1週間乾燥させた後10月23日に裏返しを行った。1ヶ月間乾燥させて11月15日に中塗りを行った。中塗りでは、貫伏せとして寒冷紗を用いた。載荷実験は12月8日から12月20日の間に行った。

(2) 実験の方法

MWD-1-Sの設置状況を写真3.5.2-27に示す。外柱1本あたり約10kNの鉛直荷重（おもり）を作用させた。加力装置はストローク400mmのスクリュージャッキである。写真右側から左側への変形を正として、 $1/480\text{rad}$ ～ $1/15\text{rad}$ まで変形制御の正負繰り返し加力とした。

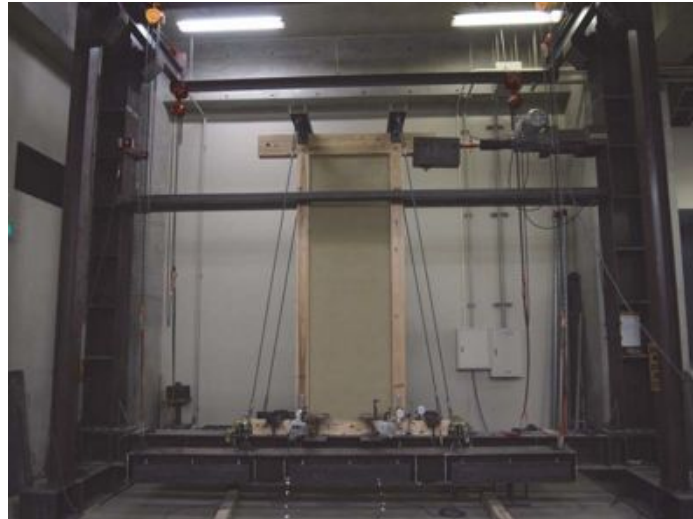


写真3.5.2-27 MWD-1-Sの設置状況

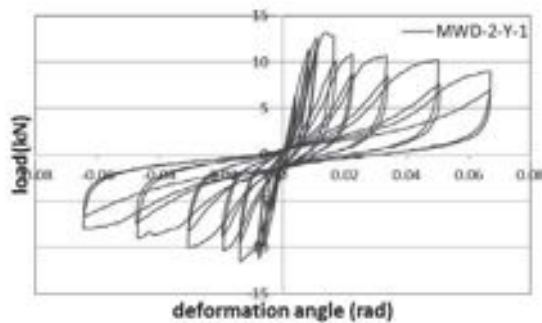
(3) 実験の結果

荷重変形関係、その包絡線および損傷状況について、以下に述べる。荷重変形関係、その包絡線において、横軸は見かけの変形角 (rad)、縦軸はおもりによる $P\Delta$ 効果の影響を除いた荷重である。

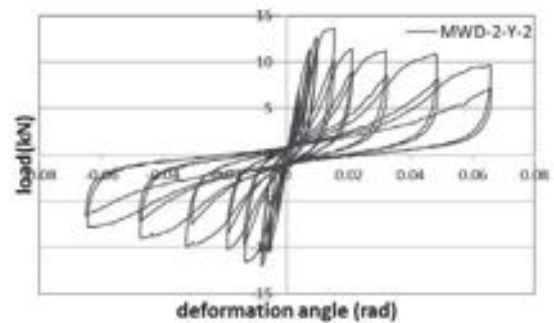
1) 葦小舞試験体

(a) 荷重変形関係

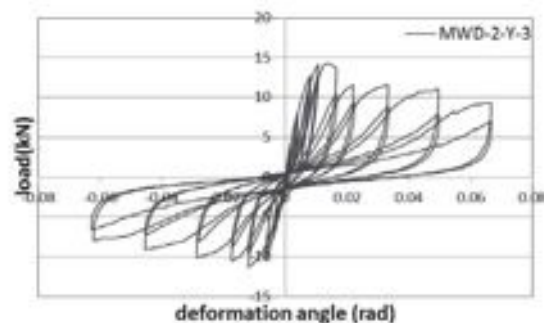
葦小舞試験体の2P試験体(MWD-2-Y)の3体の荷重変形関係を図3.5.2-53に、1P試験体(MWD-1-Y)の3体の荷重変形関係を図3.5.2-54に示す。軸組のみの1P試験体の荷重変形関係を図3.5.2-55に示す。



(a) MWD-2-Y-1

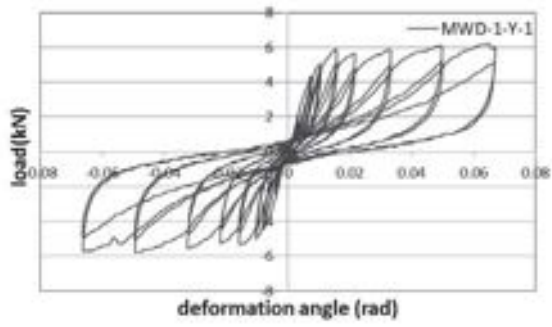


(b) MWD-2-Y-2

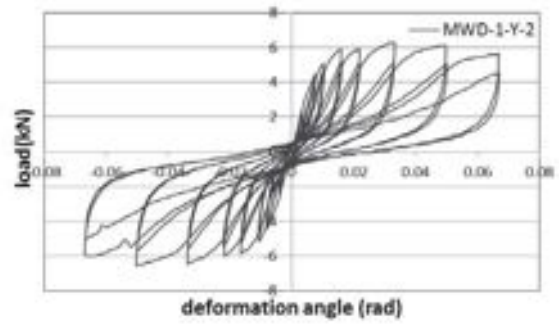


(c) MWD-2-Y-3

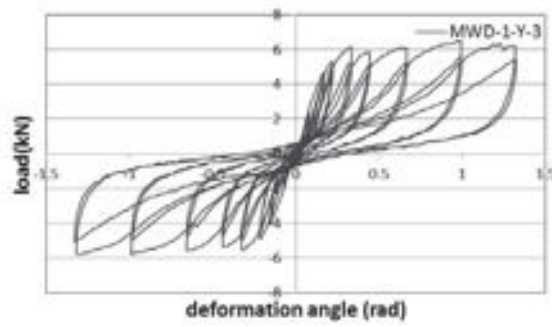
図3.5.2-53 MWD-2-Yの荷重変形関係



(a) MWD-1-Y-1



(b) MWD-1-Y-2



(c) MWD-1-Y-3

図3. 5. 2-54 MWD-1-Yの荷重変形関係

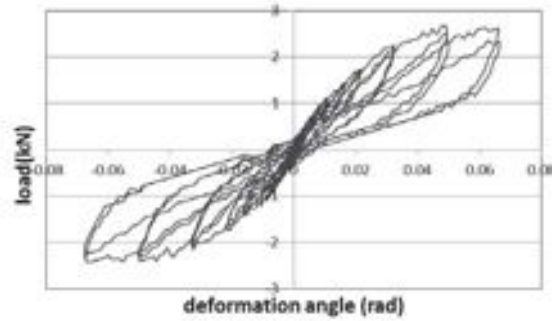


図3. 5. 2-55 1P軸組のみの試験体の荷重変形関係

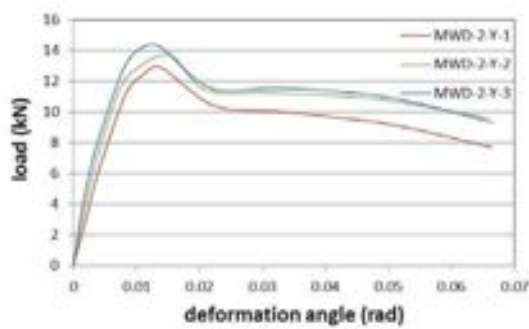


図3. 5. 2-56 MWD-2-Yの包絡線

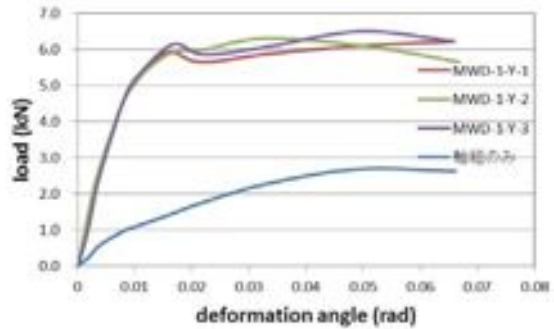


図3. 5. 2-57 MWD-1-Yの包絡線

P Δ 効果を考慮した最大荷重の平均は、2P試験体で13.6kN、1P試験体で6.3kNであり、2P試験体は1P試験体の2.16倍である。軸組のみの1P試験体は2.7kNであった。また、2P試験体および1P試験体の包絡線を図3.5.2-56、図3.5.2-57に示す。1P試験体には、軸組のみの試験体も含む。最大耐力から1/15rad変形時への耐力低下割合は、2P試験体では平均65%程度であるが、1P試験体ではほとんど低下は見られない（95%）。

(b) 損傷状況

葦小舞試験体の2P試験体（MWD-2-Y）の損傷状況は、3体ともほぼ同様である。1/90radで上下横貫位置の左右端から亀裂が入り始める。1/60radで縦貫に沿って大きな亀裂が入り（写真3.5.2-28（a））、ここで荷重変形関係における耐力の減少が生じている。1/45radで上下横貫の亀裂を結ぶ縦の亀裂が生じている（写真3.5.2-28（b））。1/30radで横貫の端部分の亀裂が大きくなり、壁が剥がれかけ、1/20radではさらに亀裂が大きくなる（写真3.5.2-28（c））。1/15radで写真3.5.2-28（d）のように一部が剥がれ落ちた。

1P試験体（MWD-1-Y）3体の損傷状況は、1/90radで2P試験体同様、上下横貫位置の左右端から亀裂が入り始める。1/45radで上下横貫位置の亀裂が大きくなり、1/30radで下貫位置の亀裂が横に繋がる。1/15radでは、土壁が剥がれ落ちそうになる。しかし、2P試験体のような縦貫に沿う亀裂がなく、荷重変形関係において明確な耐力の減少が見られない。



(a) 1/90rad 縦貫位置の亀裂



(b) 1/45rad終了時



(c) 1/20rad 終了時



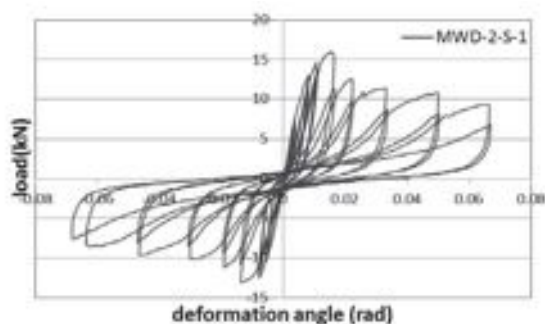
(d) 1/15rad終了時

写真3.5.2-28 MWD-2-Y-1の損傷状況

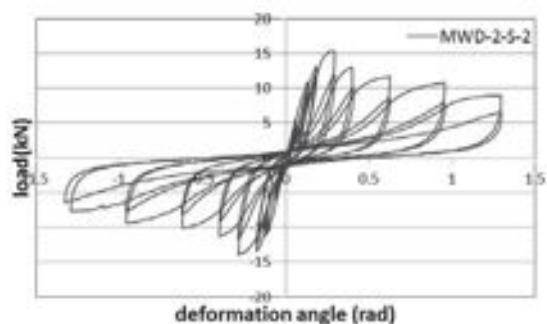
2) すすき（萱）小舞試験体

(a) 荷重変形関係

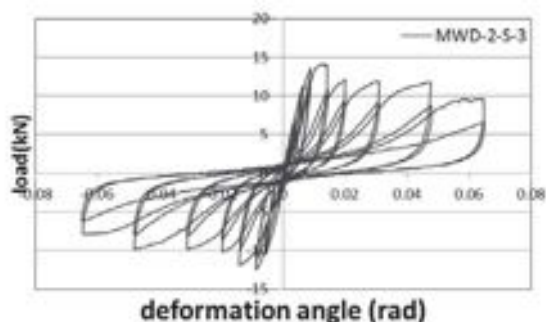
すすき小舞試験体の2P試験体（MWD-2-S）の3体の荷重変形関係を図3.5.2-58に、1P試験体（MWD-1-S）の3体の荷重変形関係を図3.5.2-59に示す。P Δ 効果を考慮した最大荷重の平均は、2P試験体で15.1kN、1P試験体で6.2kNであり、2P試験体は1P試験体の2.44倍である。また、2P試験体および1P試験体の包絡線を図3.5.2-60、図3.5.2-61に示す。1P試験体には、軸組のみの試験体も含む。最大耐力から1/15rad変形時への耐力低下割合は、2P試験体では平均62%、1P試験体では平均83%である。



(a) MWD-2-S-1

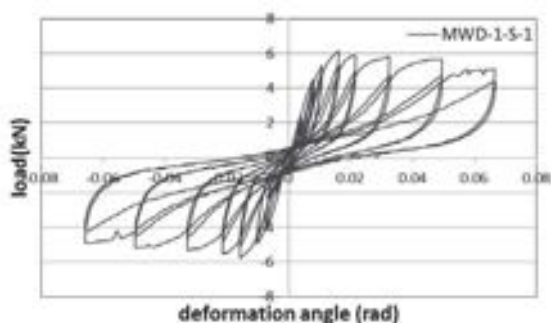


(b) MWD-2-S-2

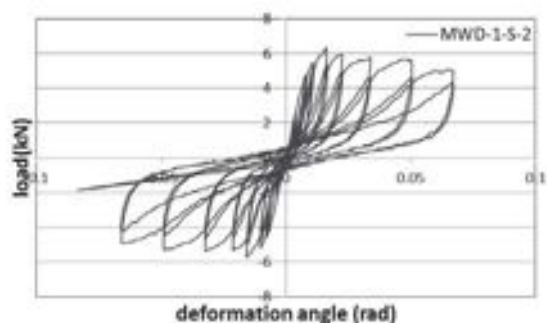


(c) MWD-2-S-3

図3. 5. 2-58 MWD-2-Sの荷重変形関係

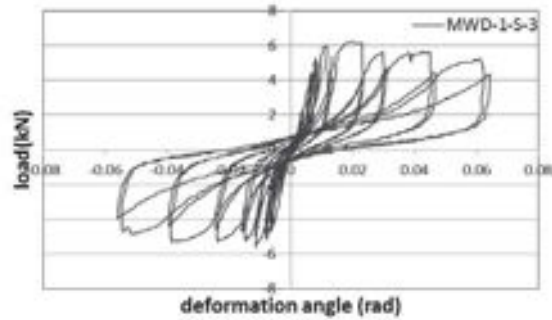


(a) MWD-1-S-1



(b) MWD-1-S-2

図3. 5. 2-59 MWD-1-Sの荷重変形関係



(c) MWD-1-S-3

図3.5.2-59 (続き) MWD-1-Sの荷重変形関係

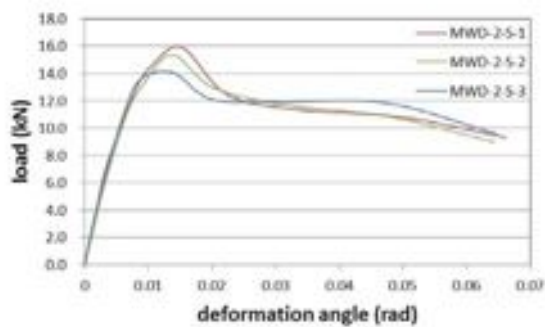


図3.5.2-60 MWD-2-Sの包絡線

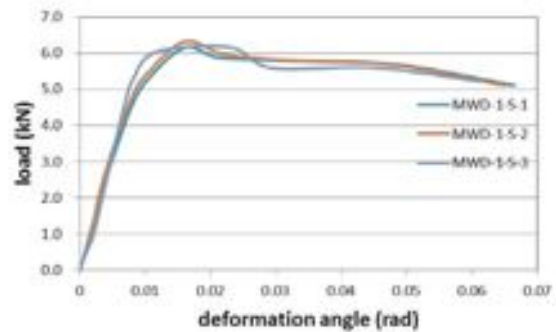


図3.5.2-61 MWD-1-Sの包絡線

(b) 損傷状況

すすき小舞試験体の損傷状況は、2P試験体、1P試験体とも葦小舞試験体のそれとほぼ同様であった。

3) 葦小舞試験体とすすき（萱）小舞試験体の比較

葦小舞試験体およびすすき小舞試験体の2P試験体の包絡線を図3.5.2-62に、葦小舞試験体およびすすき小舞試験体の1P試験体の包絡線を図3.5.2-63に示す。2P試験体、1P試験体ともすすき小舞試験体の方が少し耐力は高い様相を呈するが、その差は顕著と言えるほどではない。

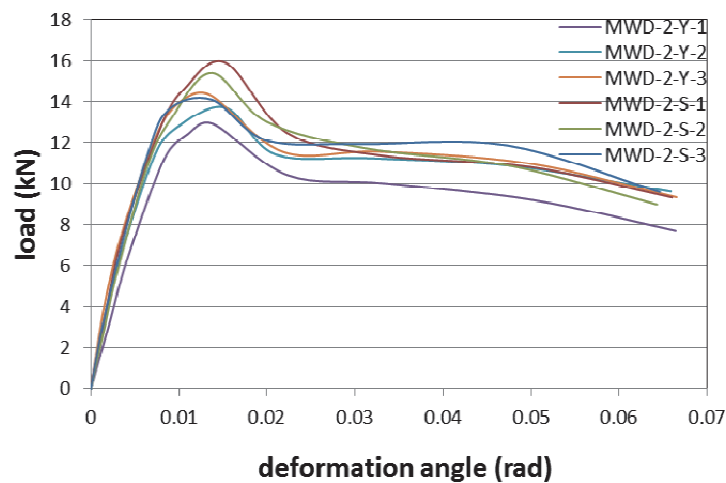


図3.5.2-62 2P試験体の荷重変形関係の包絡線

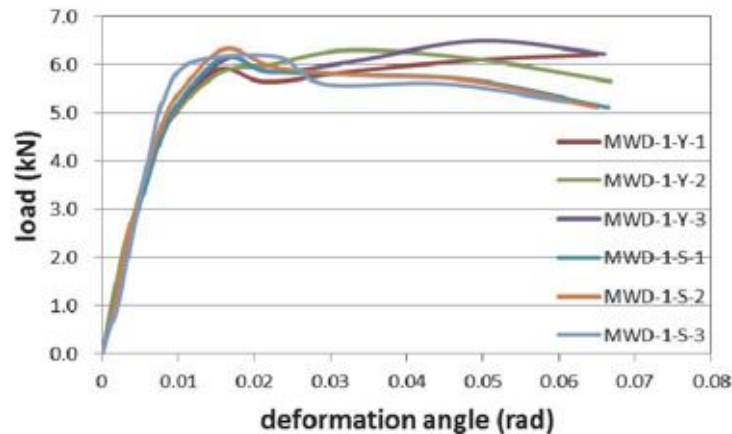


図3. 5. 2-63 1P試験体の荷重変形関係の包絡線

(4) まとめ

小舞材料の違いが土壁の復元力特性や損傷に何らかの影響を与えるかどうかを確認するため、葦を用いる金沢仕様の土壁試験体とすすきを用いる飛騨高山仕様の土壁試験体について正負繰り返し加力実験を実施した。実験の結果、おおよそ以下の事項が明らかとなった。

- ① 2つの小舞仕様において、土壁の復元力特性や損傷にほとんど違いは見られない。
- ② 2P試験体の最大耐力と1P試験体の最大耐力は、2.1～2.4倍である。
- ③ 2P試験体では、上下貫と縦貫位置で亀裂が生じ、1/60radで縦貫に沿って大きな亀裂が入ると、荷重変形関係において耐力低下が明瞭に見られる。
- ④ 1P試験体は縦貫がないため、2P試験体のような縦の亀裂は生じず、荷重変形関係における顕著な耐力低下は見られない。

参考文献

- 1) 平山育男：北陸・信越地方における特色のある土壁の構法について その1 新潟県，日本建築学会北陸支部研究報告集，第52号，pp.451-454，2009年7月．
- 2) 堀江秀夫，平山育男：北陸・信越地方における特色のある土壁の構法について その2 富山県，日本建築学会北陸支部研究報告集，第52号，pp.455-456，2009年7月．
- 3) 山崎幹泰，平山育男：北陸・信越地方における特色のある土壁の構法について その3 石川県，日本建築学会北陸支部研究報告集，第52号，pp.457-458，2009年7月．
- 4) 梅干野成央，新川竜悠，土本俊和，庄司貴弘，坪井章訓，平山育男：北陸・信越地方における特色のある土壁の構法について その4 長野県，日本建築学会北陸支部研究報告集，第52号，pp.459-462，2009年7月．
- 5) 福井宇洋，平山育男：北陸・信越地方における特色のある土壁の構法について その5 福井県，日本建築学会北陸支部研究報告集，第52号，pp.463-464，2009年7月．

3. 5. 3 左官業における土塗り壁の実情

(1) 調査目的

伝統的構法において、土塗り壁は全国で多用されている。土塗り壁は単に意匠において主要な要素であるのみならず、主要な構造要素でもある。適切な構造設計を行うためには、各地域で一般的に使用されている材料や施工方法を把握する必要があるため、全国各地の土塗り壁の使用材料や施工方法について、アンケート調査を行う事とした。

(2) 調査対象・調査方法

1) 調査対象

土塗り壁の使用材料や施工方法には多様な地域性が見られるため、調査は全国の左官、建築業者、設計者を対象にした。

2) 調査方法

左官業者が集まる会議で紙媒体を配布し、さらに当検討委員会のメルマガおよびHPで回答者を募集した上でwebフォームにリンクしてもらい、回答を募集した。

(3) 調査内容

土塗り壁仕様に関するアンケート調査は、回答者の属性も含めて次の4項目（26設問）である。各設問を下記に記す。

————— (以下、アンケートの内容) —————

1. 軸組

1-1) 半間の寸法

☐910mm ☐955mm ☐985mm ☐その他 ()

1-2) 貫の段数

(段)

1-3) 貫の寸法

(幅: mm) × (せい: mm)

2. 竹小舞

2-1) 間渡し(えつり)にはどういう竹を使いますか?

☐丸竹 ☐割竹 ☐その他 ()

2-2) 間渡し(えつり)の位置はどこですか?

☐貫の上下少し離れた場所 ☐貫と貫の真ん中 ☐両方に入れる

☐その他 ()

2-3) 小舞にはどういう竹を使いますか?

☐丸竹 ☐割竹 ☐その他 ()

2-4) 丸竹小舞の場合、その寸法

(直径: mm程度)

2-5) 割竹小舞の場合、その寸法

(幅: mm程度)

2-6) 竹小舞の縦横の空き寸法（土が入る穴の大きさ）はどれくらいですか？

(空き: mm× mm 程度)

2-7) その空き寸法を決める根拠は何ですか？

2-8) 小舞縄には何を使いますか？

☐藁 ☐棕櫚 ☐麻 ☐ビニール

2-9) 縄の巻き方について（図示いただけると助かります）

2-10) 小舞の横竹はどちら側にしますか？

☐外壁側 ☐室内側 ☐特に決めていない

2-11) 最初にどちら側から塗りますか？

☐横小舞側（小舞基準） ☐縦小舞側（小舞基準）

☐外壁側（内外基準） ☐室内側（内外基準）

☐特に決めていない

2-12) 竹小舞の施工は誰がしますか？

☐左官 ☐大工 ☐その他（ ）

3. 土

3-1) 土の産地はどこですか？

- ・荒壁土（ ）
- ・中塗土 ☐ 荒壁土と同じ土 ☐ 中塗用に用意する（ ）

3-2) 土の入手方法

☐建材屋（泥コン屋） ☐自家製 ☐その他（ ）

3-3) 藁のすきこみ具合は何で判断していますか？

3-4) 荒壁土は寝かせますか？

☐寝かせる ☐寝かせない ☐現場による

3-5) 寝かせる期間はどれくらいですか？藁の発酵は何を基準に見極めますか？

3-6) 裏返しのタイミングは何を基準に判断しますか？

(厚: mm 程度)

(厚: mm 程度)

- ・漆喰（幅：mm 程度）
- ・色土（幅：mm 程度）＊聚楽、大津壁等
- ・半田（幅：mm 程度）

□大返し（貫伏せまで） □中塗り

☐左官 ☐大工 ☐その他（ ）

4-1) 仕事をされている主な地域（都道府県、市町村）

経験年数： 年 （年齢： ）

連絡先（電話又は携帯電話）：

紙媒体30部、web調査32部、合計62部回収した。

(5) 調査事項の個別整理

以下、番号はアンケートに準ずる。

1. 軸組

1-1) 半間の寸法

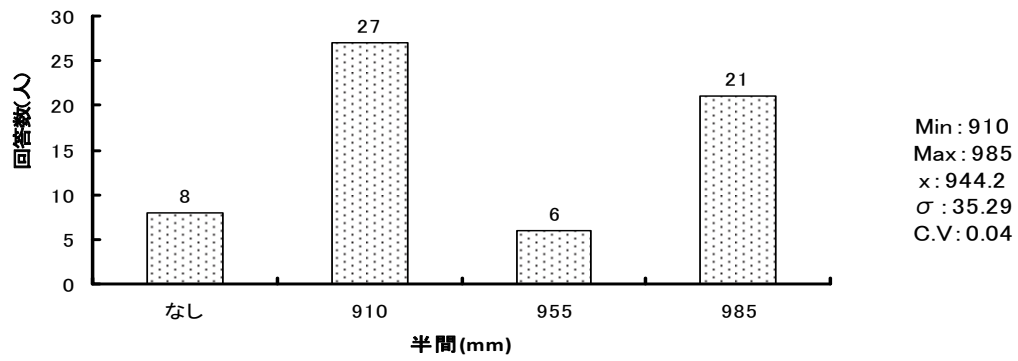


図3.5.3-1 半間

1-2) 貫の段数

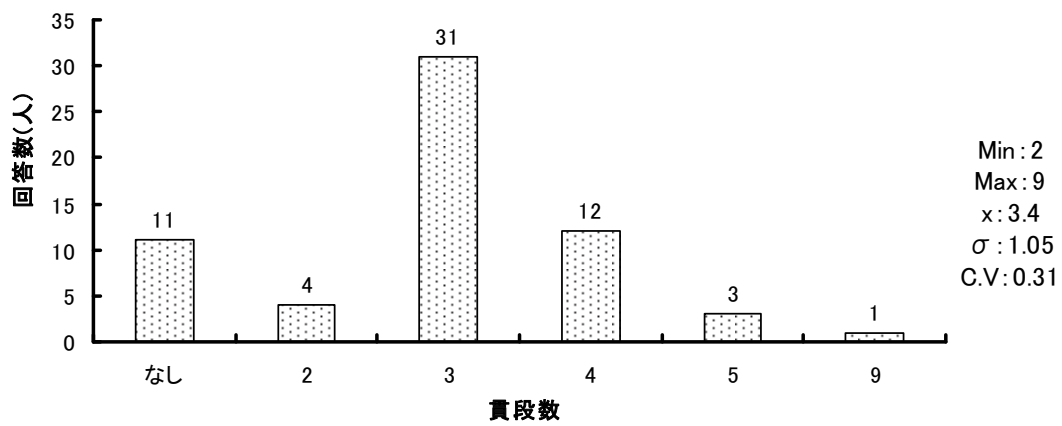


図3.5.3-2 貫段数

1-3) 貫の寸法

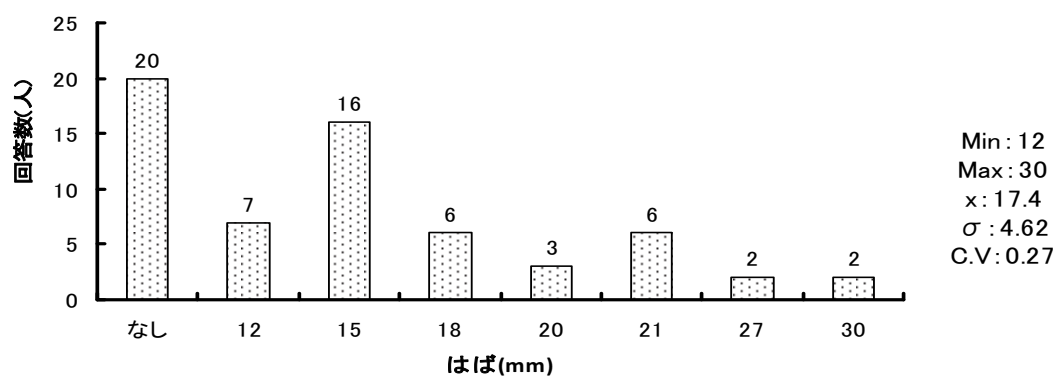


図3.5.3-3 貫寸法 (はば)

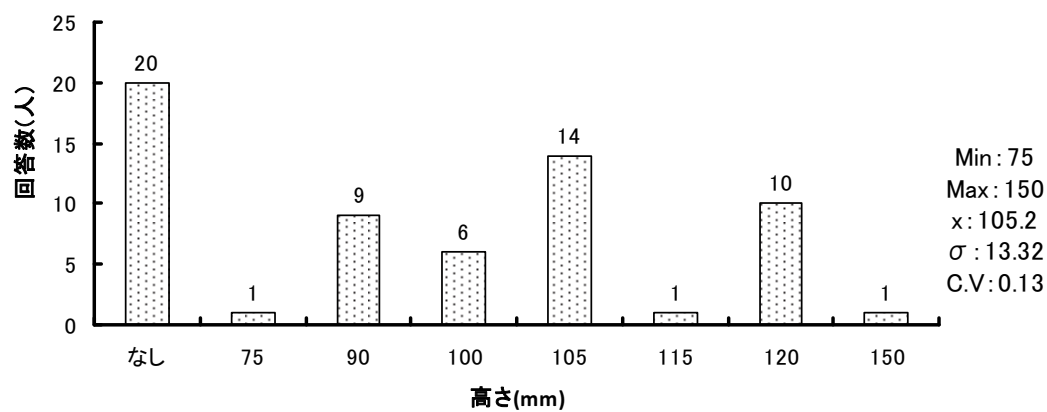


図3.5.3-4 貫寸法 (高さ)

2. 竹小舞

2-1) 間渡し (えつり) にはどういう竹を使いますか？

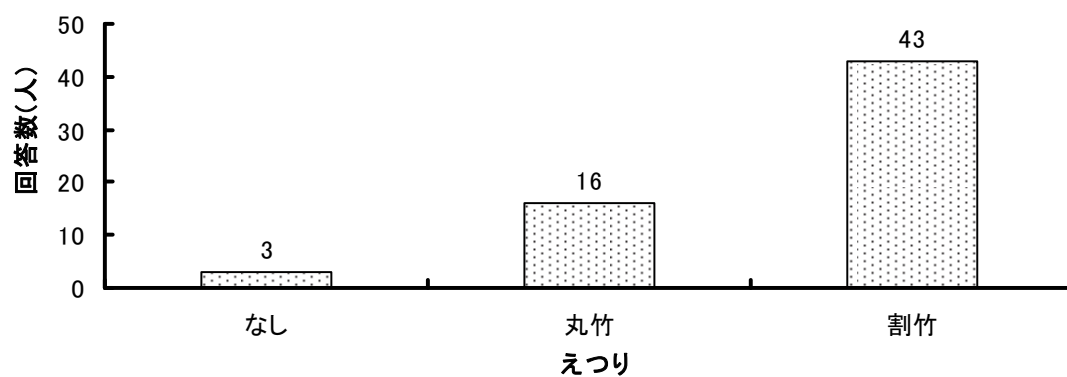


図3.5.3-5 えつり

2-2) 間渡し（えつり）の位置はどこですか？

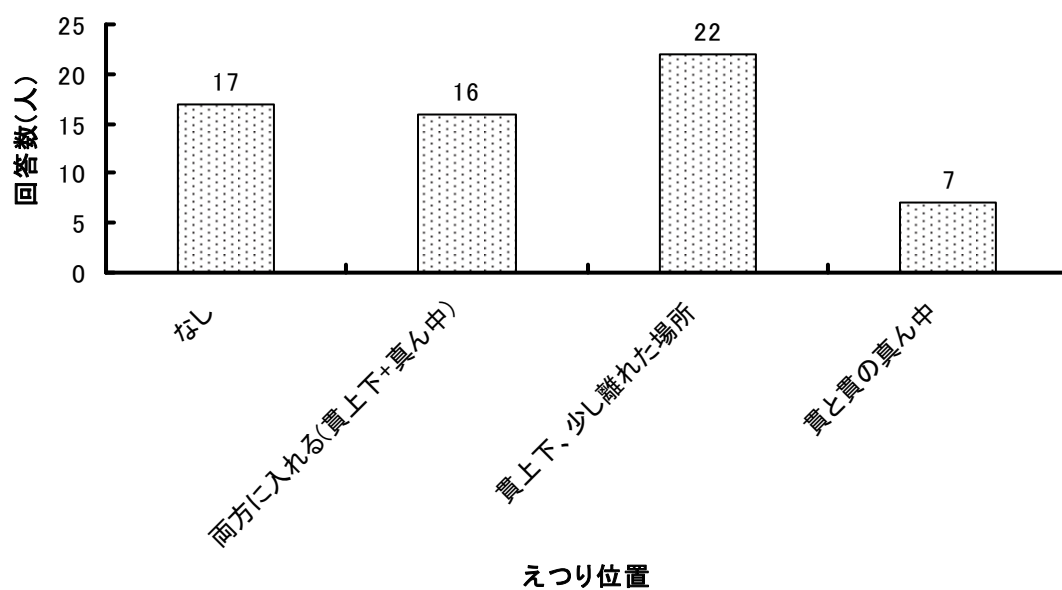


図3.5.3-6 えつり位置

2-3) 小舞にはどういいう竹を使いますか？

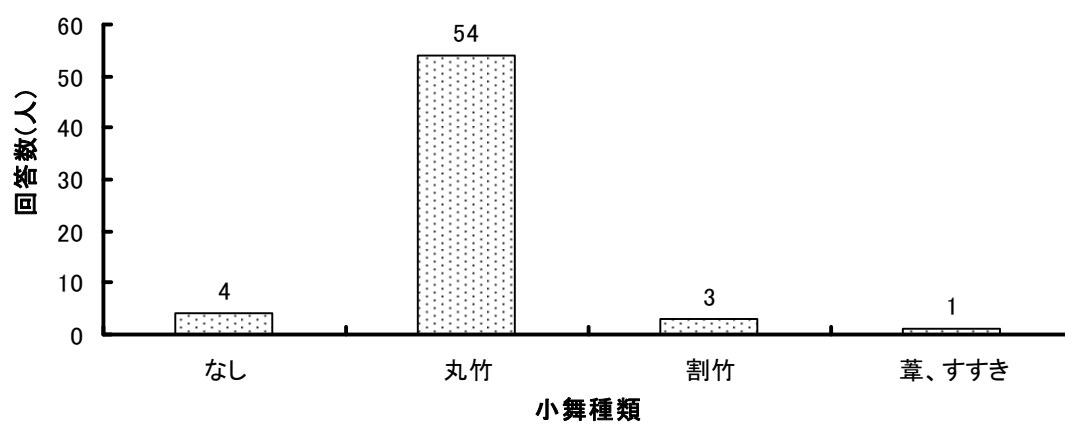


図3.5.3-7 小舞種類

2-4) 丸竹小舞の場合、その寸法

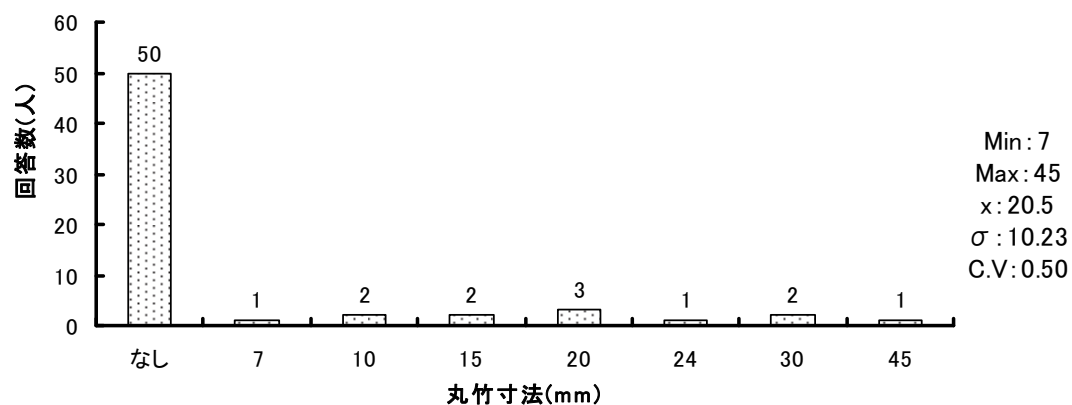


図3.5.3-8 丸竹寸法

2-5) 割竹小舞の場合、その寸法

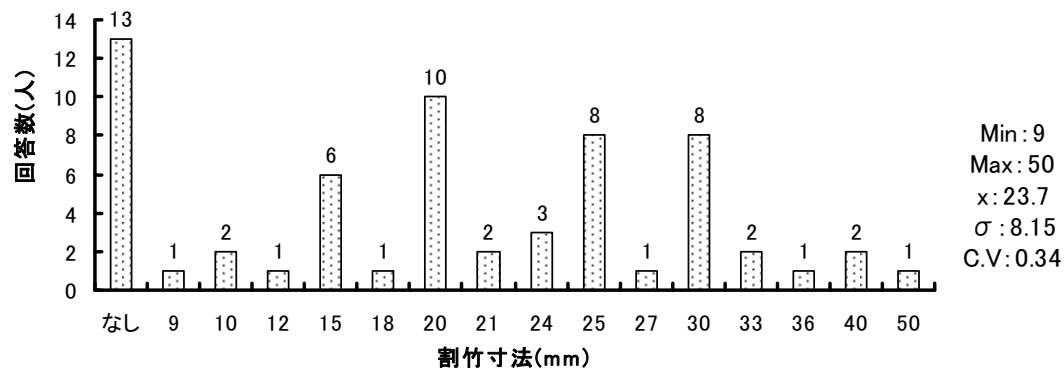


図3.5.3-9 割竹寸法

2-6) 竹小舞の縦横の空き寸法（土が入る穴の大きさ）はどれくらいですか？

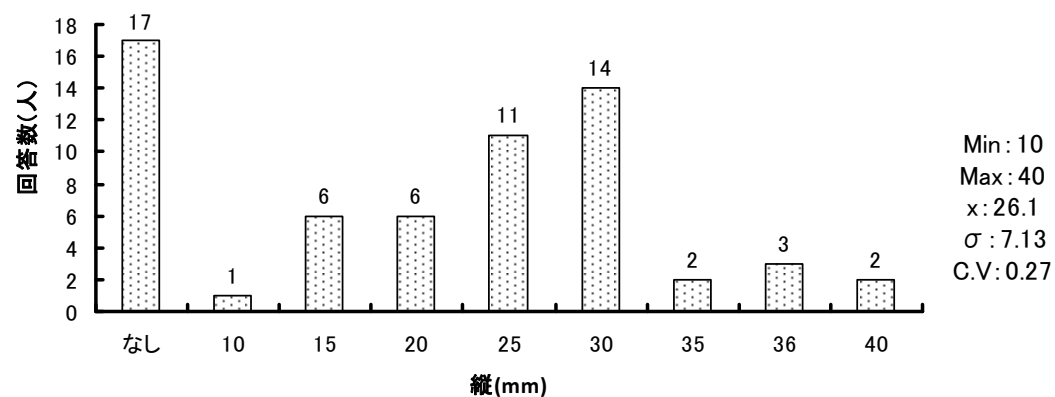


図3.5.3-10 小舞の空き（縦）

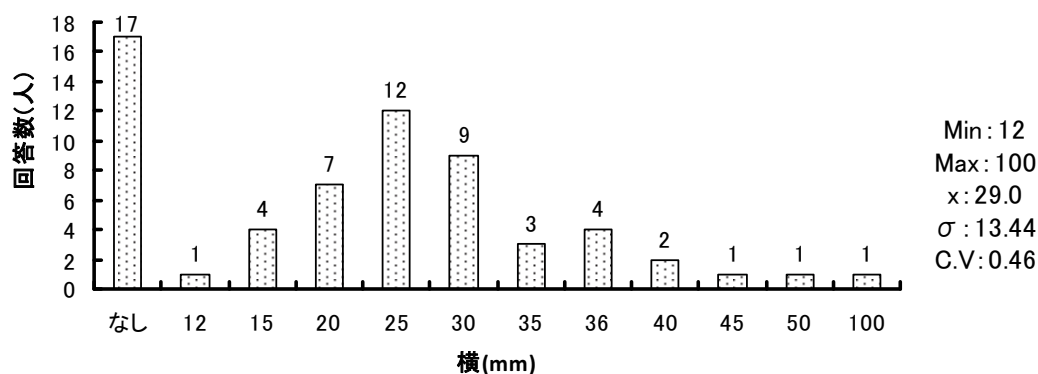


図3.5.3-11 小舞の空き（横）

2-7) その空き寸法を決める根拠は何ですか？ ＊（ ）内は複数回答数

- ・施工性の良さ（計15）
 - 指の入る寸法（9）
 - 縄を搔く時の作業性、搔きやすさ（4）
 - 土の入りやすさ（土の定着具合）（2）
- ・部材の寸法から（計8）
 - 壁の寸法を使う竹で割った寸法（3）
 - 間渡しの間隔（3）
 - 割り竹の寸法
 - 細かすぎないように
- ・荒壁土が竹と竹につまるように（5）
- ・左官屋さん任せ、又はへした屋さん（小舞屋さん）任せ（2）
- ・国交省告示仕様（2）
- ・値段（多く入れると竹代がかさむ）
- ・感覚
- ・勘

2-8) 小舞縄には何を使いますか？

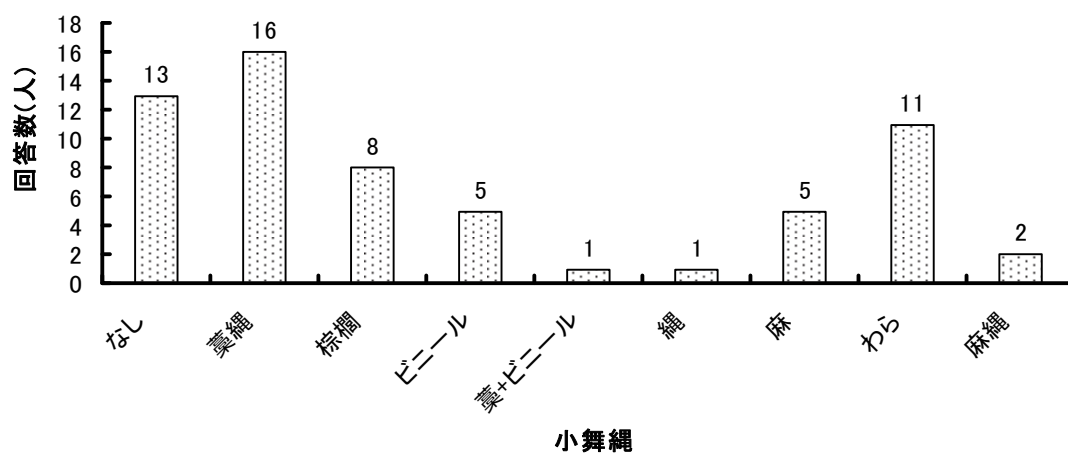


図3.5.3-12 小舞縄

2-9) 縄の巻き方について * () 内は複数回答数

- ・千鳥搔き (4)
- ・間渡し竹にぐるぐると巻き付ける。(2)
- ・手前左縦降り奥横手前左縦降り奥横のくりかえし
- ・丸竹に割竹を縛る。
- ・巻搔き
- ・たすき掛け
- ・本四つ小舞
- ・各、貫き掛け
- ・内外、内外かがる。
- ・しっかり結ばっていいよ。
- ・縄をかける側を交互にかえる。
- ・動かなければ良いと思う。

文章ではなく、図示での回答も多くあった。(図3.5.3-13)

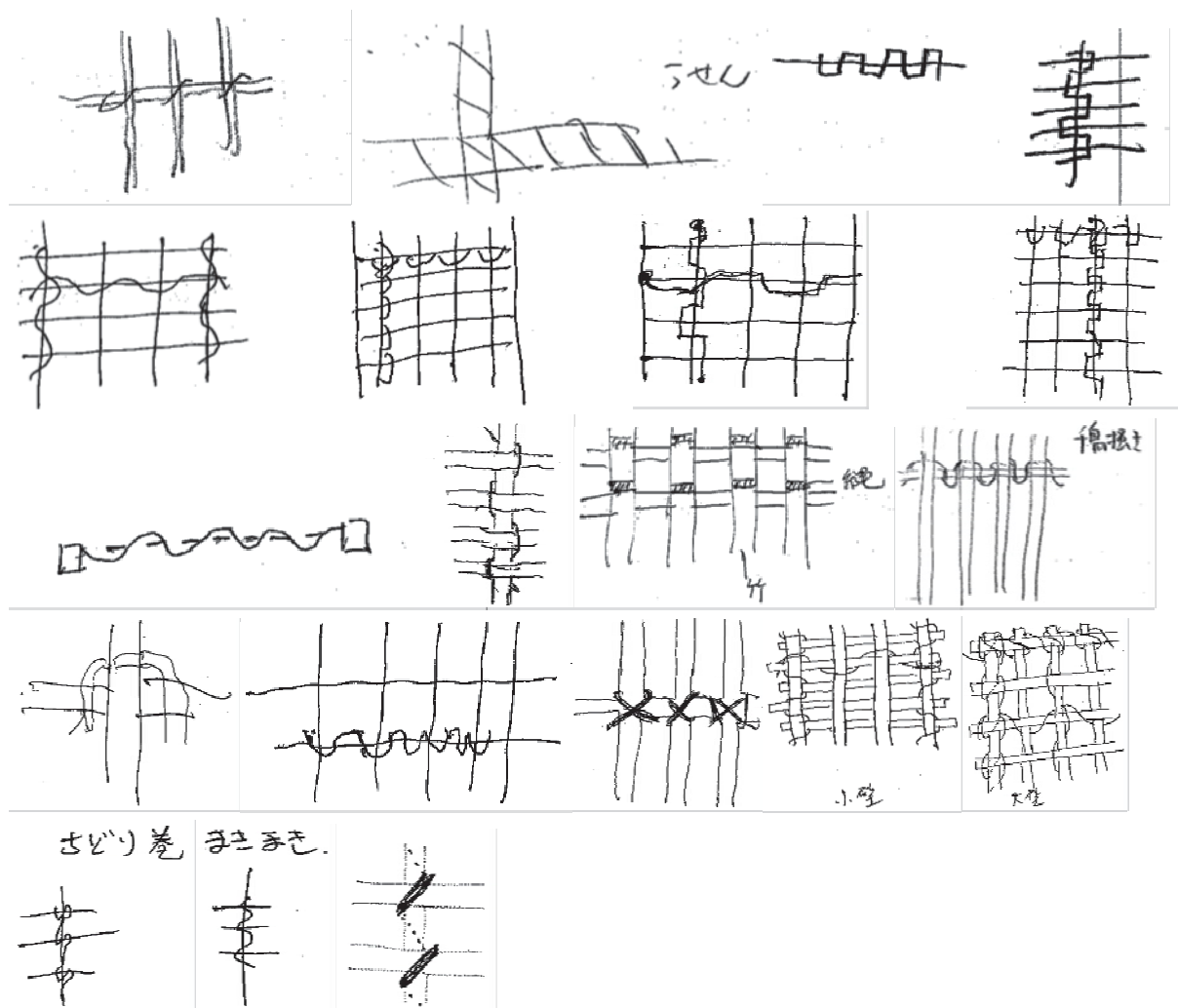


図3.5.3-13 縄の掛け方の説明図

2-10) 小舞の横竹はどちら側にしますか？

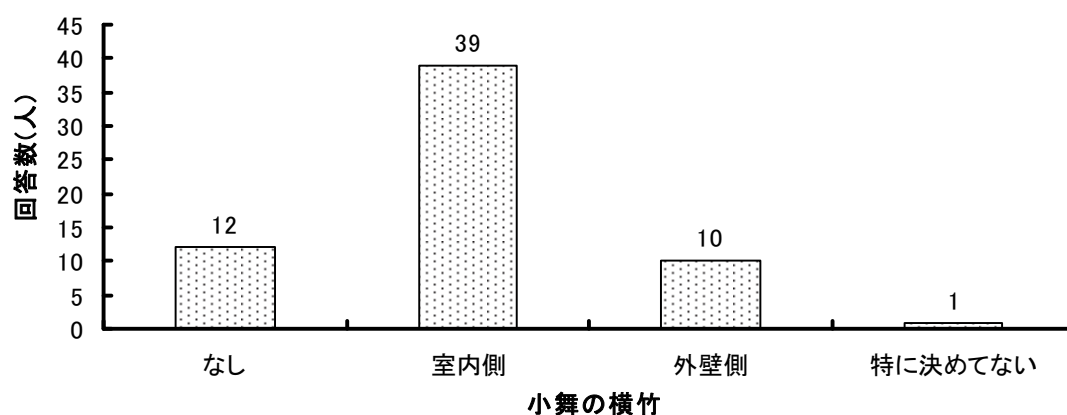


図3.5.3-14 小舞の横竹

2-11) 最初にどちら側から塗りますか？

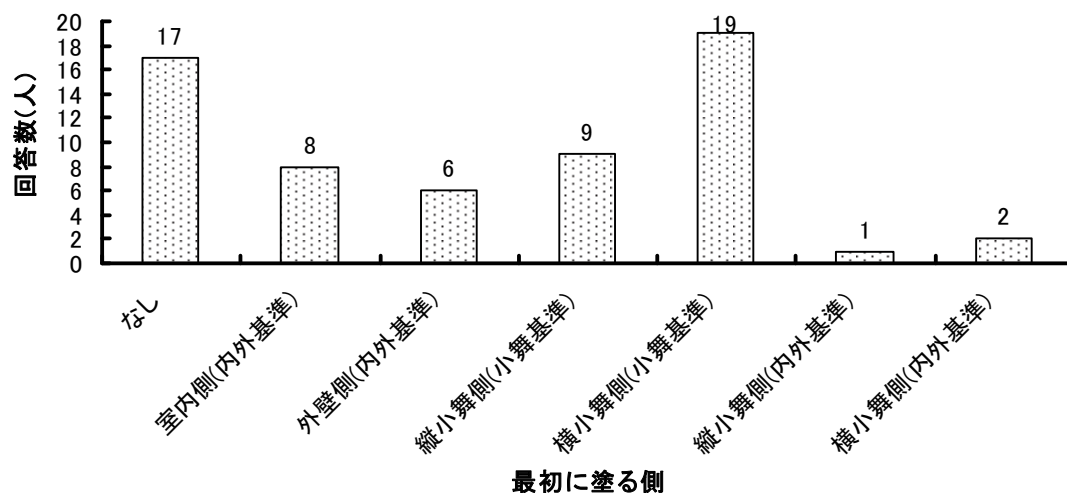


図3.5.3-15 最初に塗る側

2-12) 竹小舞の施工は誰がしますか？

回答の大多数は「左官」であったが、専門職である「小舞職」という回答も7件あった。その他、大工 (4)、施主とWS、左官屋は指導、施主や知人、その他という回答もあった。

3. 土

3-1) 土の産地はどこですか？

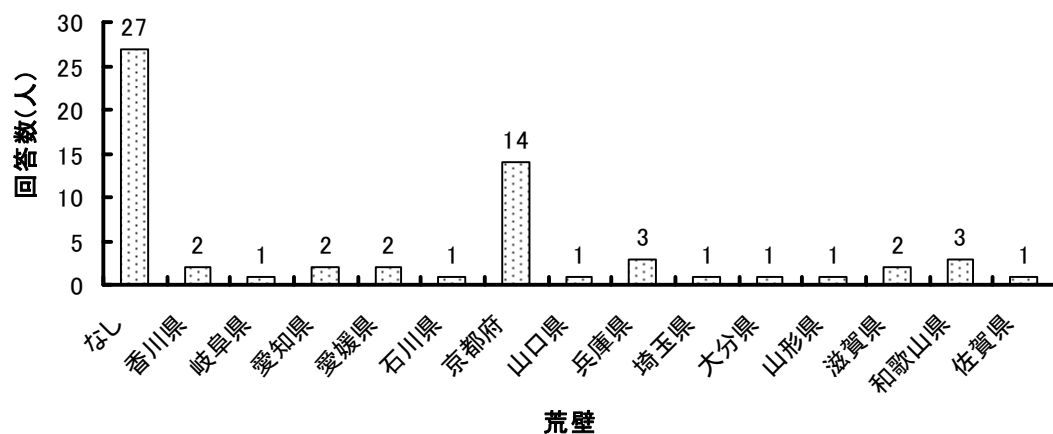


図3. 5. 3-16 土の産地（荒壁）

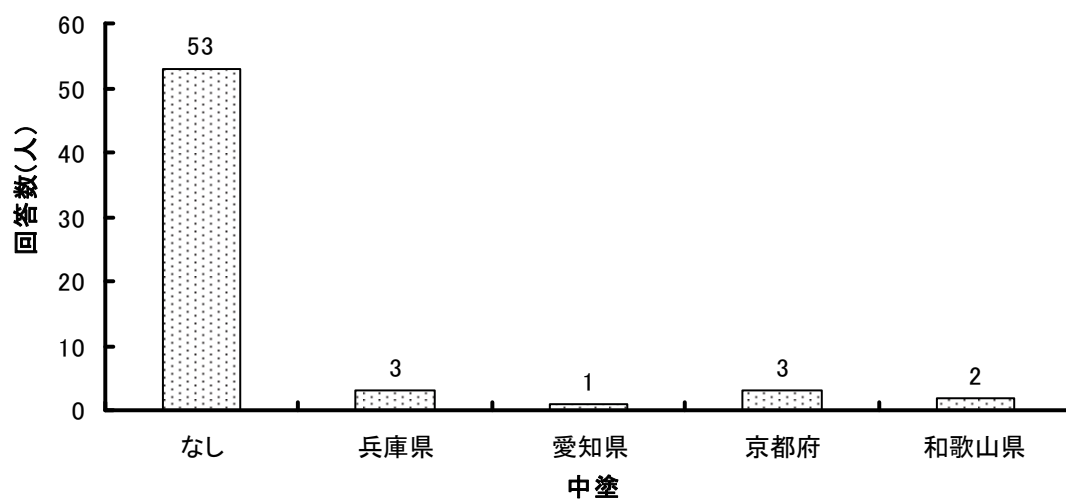


図3. 5. 3-17 土の産地（中塗）

3-2) 土の入手方法

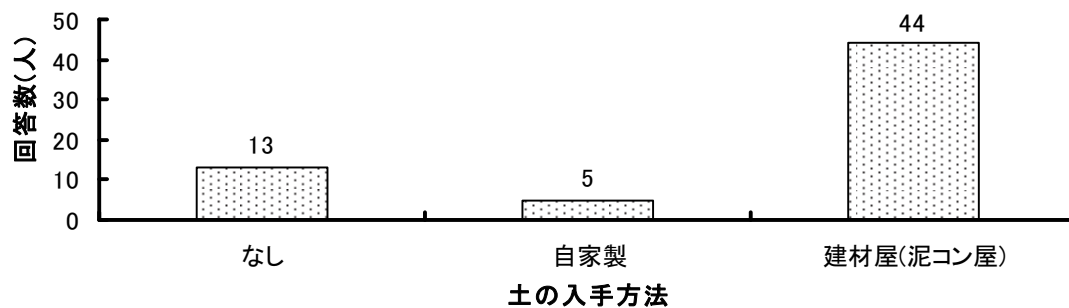


図3. 5. 3-18 土の入手方法

3-3) 藁のすきこみ具合は何で判断していますか？

- ・粘土の粘性との関係
- ・左官任せ
- ・壁差し棒への掛かり具合
- ・熟成後の繊維の残り具合
- ・建材店の判断による
- ・練り加減
- ・鏝で塗ってみて判断する。
- ・へその出方
- ・見た目
- ・裏もどしの具合
- ・建材屋まかせ
- ・泥の粘り気の具合などを見て。目安として1立米90Kg
- ・クワですくった時に隙間から抜けて落ちないかどうか
- ・感覚
- ・目分量
- ・壁下地から多く裏側に出ないこと
- ・ねば土
- ・塗り具合 鏝のすべり具合
- ・土のやわらかさ
- ・塗り具合
- ・約20：1の割合
- ・鏝離れ
- ・鏝により
- ・目視とくわで練って
- ・ねばり
- ・勘
- ・泥コン屋さんがしている。

3-4) 荒壁土は寝かせますか？

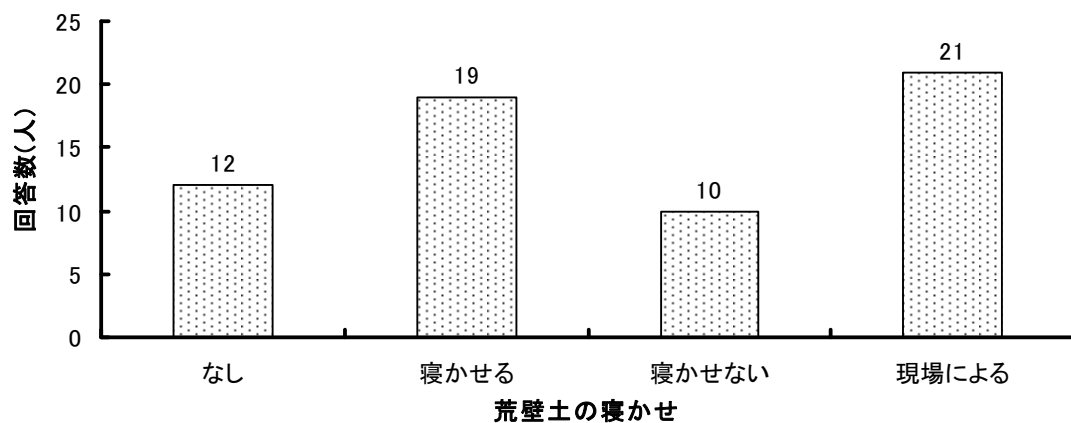


図5. 5. 3-19 荒壁土の寝かせ

3-5) 寝かせる期間はどれくらいですか？藁の発酵は何を基準に見極めますか？＊（ ）内は複数回答数

- ・1年、熟成中に何度か足し藁をして、その藁が繊維になるまで熟成させる。(2)
- ・半年以上 藁の腐り具合と土の具合 (3)
- ・3か月以上寝かせ、土の色で藁の発酵を見る。
- ・温かい時期で最低3ヶ月
- ・2～3ヶ月、臭いで見極める。
- ・長年の感覚。最低2カ月は寝かせる。
- ・2～3週間
- ・10～18日、色
- ・わらが腐る臭い（夏：7～10日）
- ・1週間以上、藁のかたさ、土の色
- ・約一週間から10日間、藁の発酵は臭いで決める。
- ・一週間程度、藁が出てくるとき
- ・一週間 (2)
- ・寝かせる期間なし、臭い
- ・壁土再生土のため短い。
- ・色や匂い (4)
- ・乾き具合
- ・工期、打合せによる。
- ・藁多く入れるため途中で繰り返し藁を細かくする。

3-6) 裏返しのタイミングは何を基準に判断しますか？ ＊（ ）内は複数回答数

- ・荒壁の乾燥具合 (13)
- ・荒壁が良く乾いてから (6)
- ・表塗りの乾燥具合 (3)
- ・半濁き (3)
- ・表壁が半乾きになった時期
- ・裏が乾いたら
- ・全体が乾いたら。間柱際がすいてきたら。
- ・白く乾いてから
- ・片壁が白くなってから塗る。
- ・白く濁き割丸具合
- ・ひび割れが出てから
- ・表が乾く前。2,3日以内に裏を返す。
- ・十分に乾燥しないうちに塗る、解体したときには乾燥させて塗ったものはすぐにはがれるように思います。
- ・堅さ
- ・一日の作業の最後または次の日
- ・今までは一壁乾燥後 現在は表・裏同時壁
- ・荒壁塗り後1日～2日置いてすぐ
- ・裏返しの基準なし、表壁を塗って明日にかえす。
- ・2～3日

3-7) 荒壁の厚みはどれくらいですか？

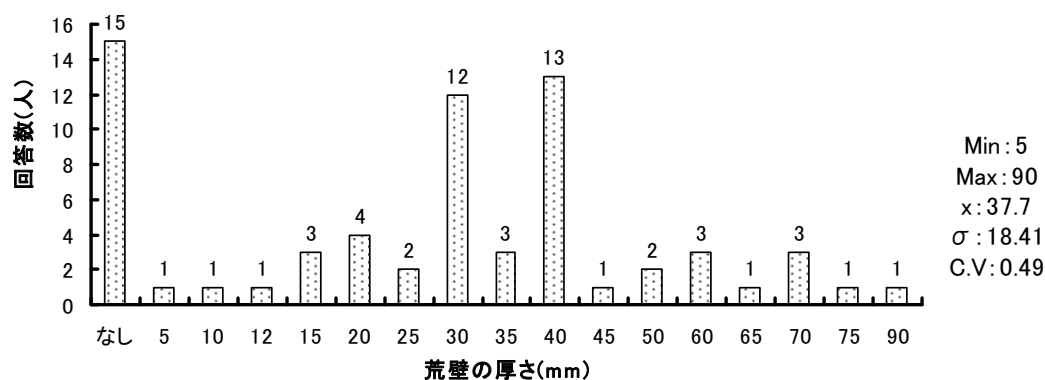


図3.5.3-20 荒壁の厚さ

3-8) 中塗の厚みはどれくらいですか？（片面の厚み）

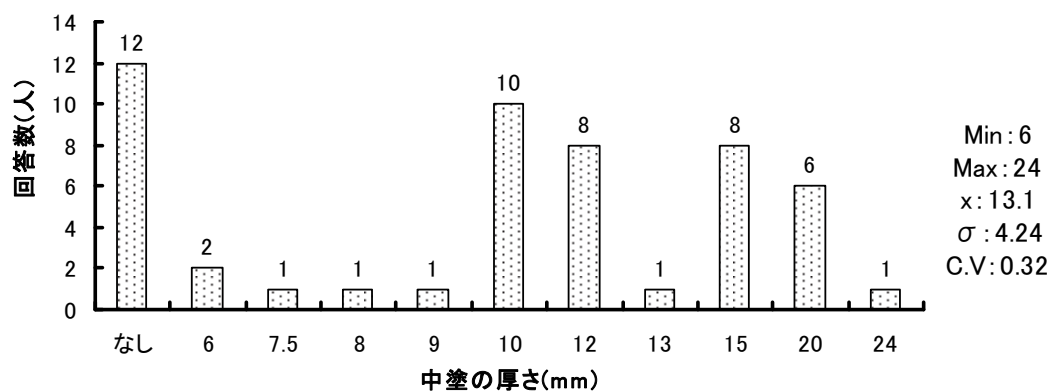


図3.5.3-21 中塗の厚さ

3-9) 仕上塗の厚みはどれくらいですか？

漆喰の場合1mm～50mm、色土の場合1mm～15mmと大きな差異があり、半田は2mm～6mmと同じような回答が多かった。

3-10) 外壁が下見板張りの場合、外側はどこまで施工しますか？

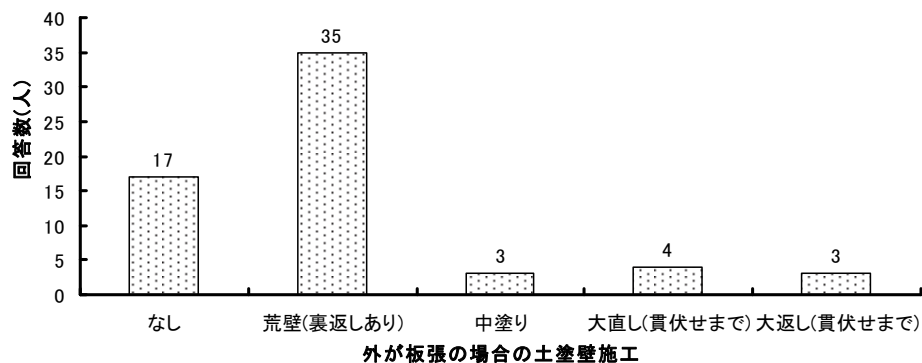


図3.5.3-22 外が板張の場合の土塗壁施工

3-11) 荒壁の施工は誰がしますか？

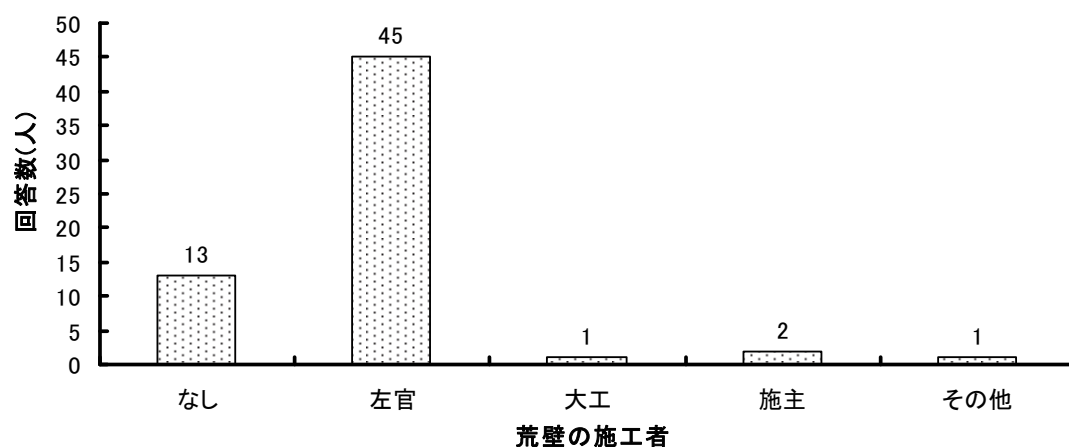


図3.5.3-23 荒壁の施工者

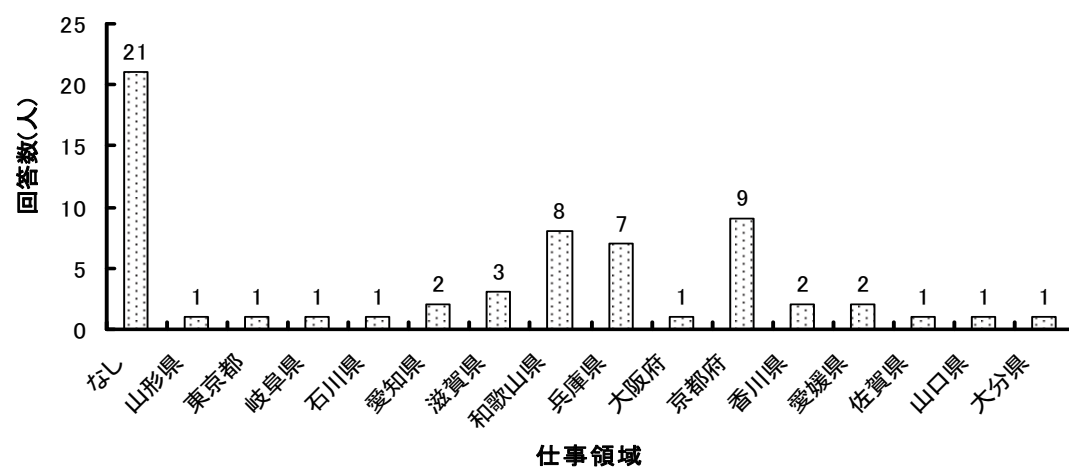


図3.5.3-24 仕事領域

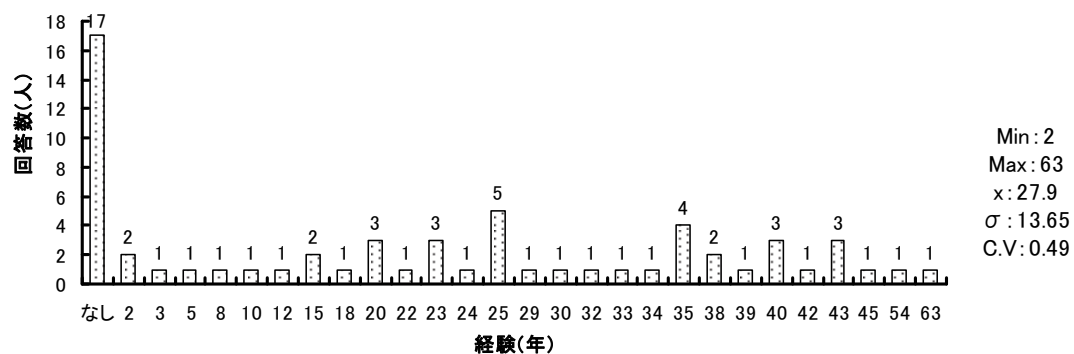


図3.5.3-25 経験年数と年齢（経験）

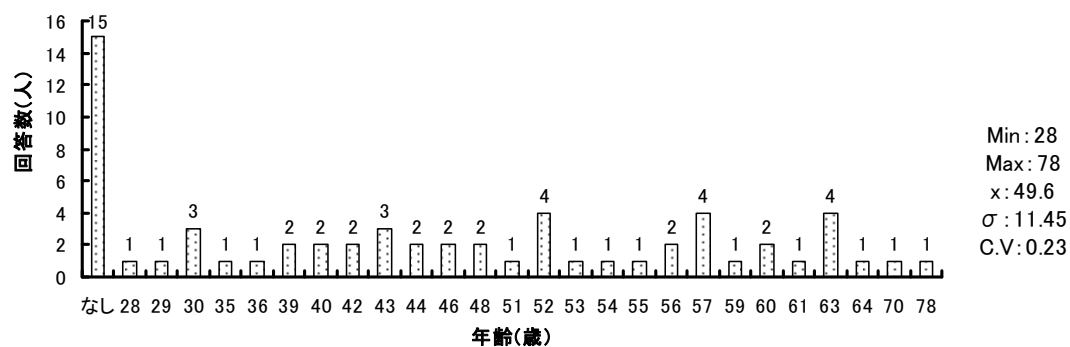


図3.5.3-26 経験年数と年齢（年齢）

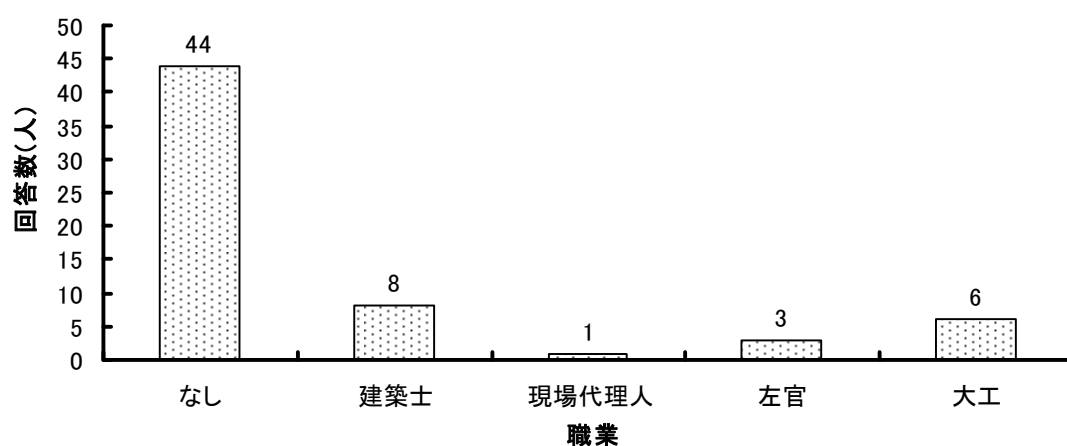


図3.5.3-27 職業

(6) まとめ

回答にかなりのばらつきがみられた。同じ「乾燥」を基準に施工時期の判断をしても、その判断基準が「完全乾燥」「半乾き」と大きく2種類の基準が見られる。仕上げ厚さにおいても1mmから50mmという回答に大きな幅が見られた。ばらつきの原因が地域性なのか個人の経験によるものかは判断ができなかったため、追跡調査が必要であると思われる。

3. 6 データライブラリの構築

伝統的木造建物の耐震設計法の開発に関して不明な点も多く、研究の発展とともに色々な設計法が提案されて行くことが想定される。

現在、多くの機関で各種の実験が実施されているが、その結果が論文で報告されることは、未だに少なく、また、実験データそのものを他の研究者が入手して研究で検討することは希である。知的所有権や著作権などの問題もあるので難しい点も多いが、今後の研究の発展を考えると、ある程度の実験データを公開して、広く耐震設計や研究活動に寄与できるようにすることも必要であると考えられる。

上記の観点から、公的な資金の支援を受けて実施した（される）実験データに関しては公開することが望ましいと考える。また、色々な解析法や設計法に対応するためには実験の生データは不可欠であろう（現行の設計法では、実験時の包絡線を適用される場合が多いが、地震応答解析などを行おうとすれば、繰り返しのデータは不可欠である）。

●データライブラリの主な目的

今回、構築を目指すデータライブラリの主目的を以下に記す。

- ・今後提案される各種の設計法に提供できるようなデータを格納する
- ・実験データや調査データなど各種のデータを格納する
- ・格納したデータを公開し、社会に有用なデータを提供する

●データ提供及び格納について

各機関で実施された実験データの提供を呼びかけ、データライブラリとして格納・公開することは、重複実験の防止あるいは実験データの質の向上に役立つものである。

特に、今回の「伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験」で実施された実験データを格納することは、先導的な意味もある。「伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験」のプロジェクトは、社会の要求や政権の交代などで組織改正がなされたが、トータルで5年の歳月を掛けて実施されているものである。

本プロジェクトは、国土交通省の事業という観点から、主体は国土交通省にあり、事業で得られた成果は、国土交通省に帰属するものと考えられる。

国土交通省に帰属するデータの提供をお願いし、データライブラリにデータを格納することもデータの量・質の向上を図る上で重要であると考えられる。

3. 6. 1 データライブラリの設計

I. 構成

データライブラリ及び設計用データベースの構成を図3.6.1-1に示す。システムを構築する上での注意点を以下に示す。

- ・画像、写真等のアップロードが多く、保管できる環境が必要である（サーバーを設置）。
- ・情報を登録する研究者の中には、アップロード等の操作が苦手な方がいるため、アップロード・閲覧の操作は直感的で単純なものが望ましい。
- ・ユーザ認証による、データ毎の閲覧可能な権限や修正が可能な権限といった、ユーザ権限の設定が必要である。
- ・登録項目、検索項目等については先生方が後程、仕様書（指示書）を作成し、その内容に従って機能を作成する。（試験体、実験場所、日時、実験名称、図面の有無…等、20～30項目程度を想定）
- ・実験データの図面には、VectorWorks、JwCADも追加する。
- ・完成後のメンテナンスはサーバ管理者が行えるよう、作成したシステムのソースを公開すること。

II. 動作環境

○サーバ：OS：Linux

DB：オープンソースソフトウェア（MySQL、PostgreSQLなど）

システム開発言語等（Java、JavaScript、HTML）

○クライアント

OS：制約なし

ブラウザ：IE、FireFox、Google Chrome

III. 要件

（1）実験データ

種別	フォーマット
文書	テキスト、Word、Excel、一太郎
ビデオ	AVI、WMV、MOV、MP4
グラフ	Excel
写真	Jpeg
図面	DXF、DWG、PDF、JWW

（2）動作

○登録（実験実施者）

- ・実験データ

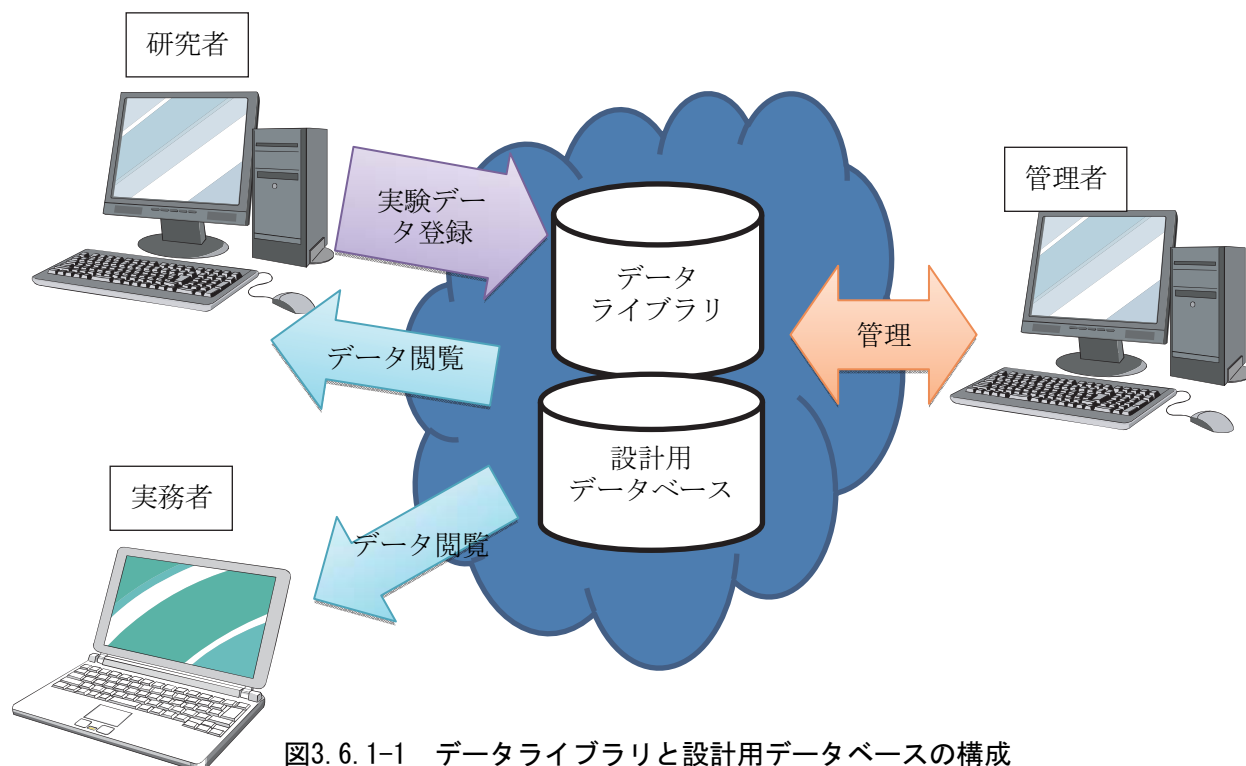
○閲覧（一般公開）

- ・設計データ

○ユーザ管理（性能検証実験参加者）

- ・ID

- ・Password：1TimePassword



・データライブラリと設計用データベースの位置づけについて

データライブラリ：各実験のオリジナルデータを格納し、公開する。

設計用データベース：各設計法に対応した設計データを格納し、設計者にデータを公開する。

＊設計用データは、専門技術者の判断によって取捨選択を行い、設計に必要なデータに変換したものを格納する。

データライブラリ及び設計用データベースの構築の流れを図3.6.1-2に示す。

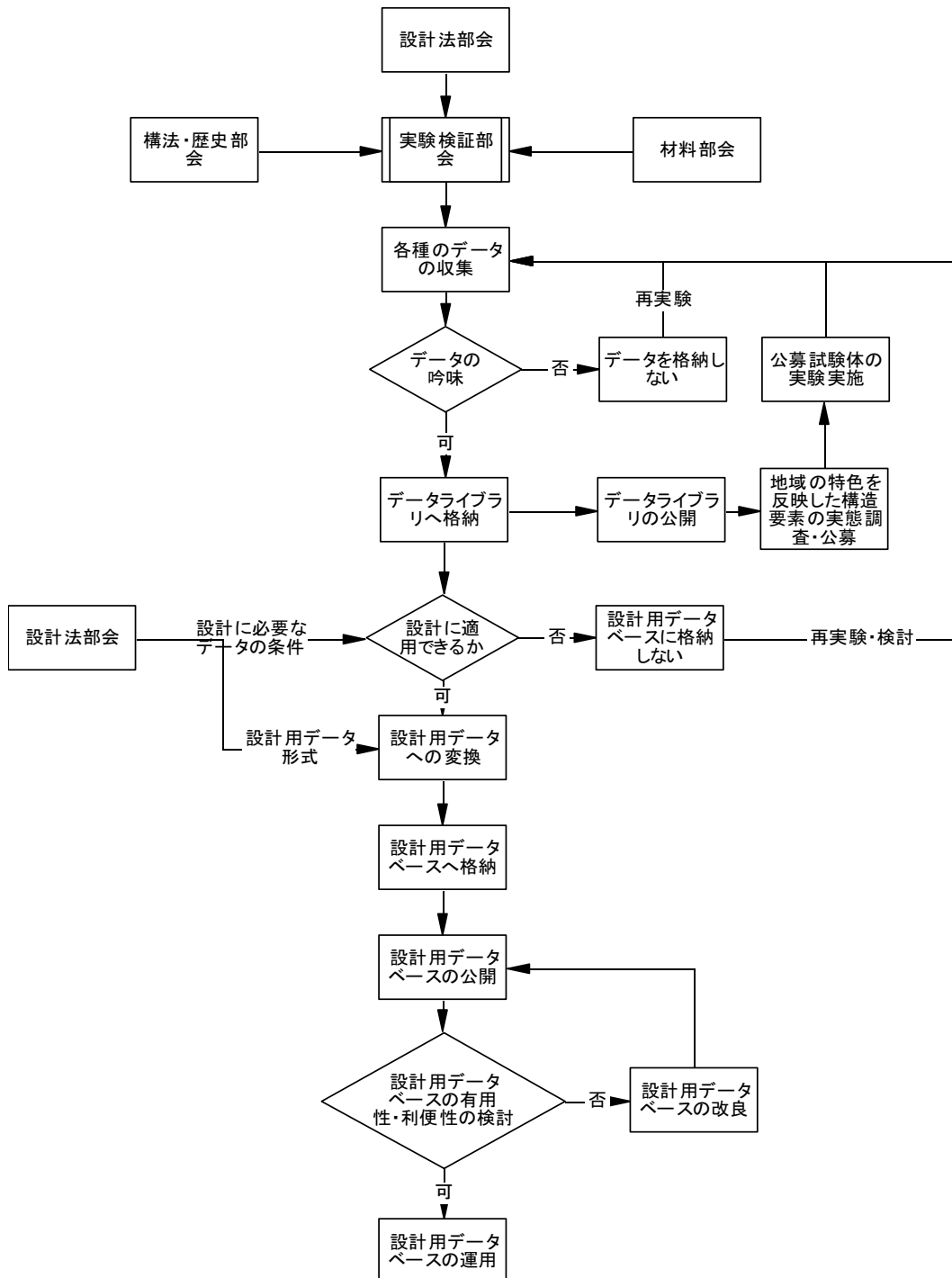


図3.6.1-2 データライブラリ及び設計用データベースの構築の流れ

3. 6. 2 データライブラリの運用

データライブラリへのデータ入力、検索システム及び管理システムの解説を以下に示す。なお、試行期間での各意見を踏まえてシステムの改善は継続的に実施している。

● はじめに

実験データライブラリシステム（以下、本システム）には各種機能があります。全ての機能が利用できるように、本マニュアルを用意させて頂きました。操作中に分からない点がございましたら、このマニュアルをご覧下さい。

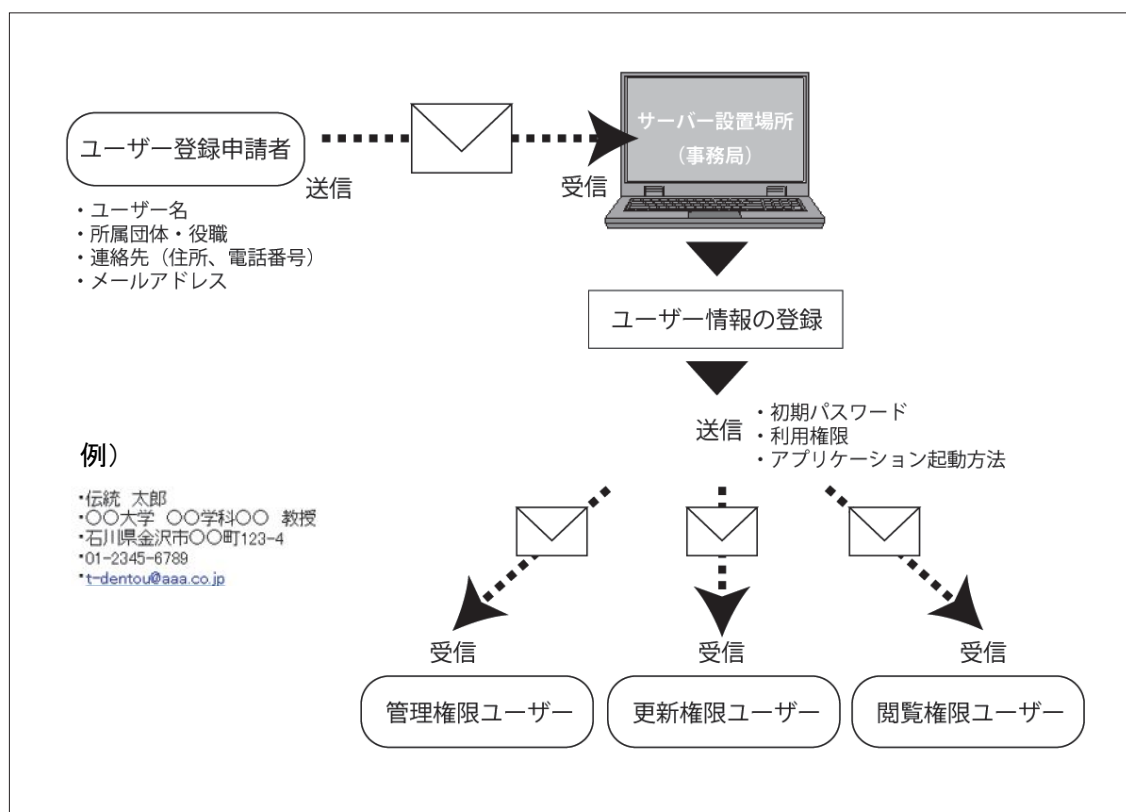
● ユーザー管理

ユーザー登録するには

本システムを使用するには、ユーザー登録を事務局に申請する必要があります。

ユーザー登録に必要な情報を記載したメールを事務局に送信します。ユーザー情報の登録は事務局で行います。

【ユーザー登録申請作業の主な流れ】



ユーザー情報の登録・修正・削除を行うには

ユーザーの新規追加・修正・削除を行うには、メインメニューで「ユーザー管理」ボタンをクリックします。ユーザー管理画面が表示されます。

(1) ユーザー情報の登録

ユーザーを新規追加します。

① 「追加」ボタンをクリックします。

② ユーザーの詳細情報を入力します。

ユーザー番号：ユーザー番号を指定します。

ユーザー名：ユーザー名を入力します。

所属団体・役職：所属団体・役職を入力します。

連絡先（住所）：連絡先を入力します。

連絡先（電話）：連絡先を入力します。

Eメール：メールアドレスを入力します。

パスワード：システム登録時に暗号化します。

利用権限：ログイン時の利用権限を指定します。

③ 「登録」ボタンをクリックします。

※ ユーザーの詳細情報は、ユーザー登録申請のメール内容を入力します。

(2) ユーザー情報の修正

登録済のユーザー情報を修正します。

① ユーザー管理検索一覧で、修正したいユーザーの「詳細」ボタンをクリックします。

② 表示したユーザー情報を修正して「登録」ボタンをクリックします。

(3) ユーザー情報の削除

登録済のユーザー情報を削除します。

① ユーザー管理検索一覧で、削除したいユーザーの「修正」ボタンをクリックします。

② 選択した利用者詳細情報が表示されます。

③ 「削除」ボタンをクリックすると、選択した利用者が削除されます。

ユーザー登録の完了

事務局より、登録完了通知のメールが届いたら登録は完了です。

● システムの起動

システムを起動するには

本システムを起動するには、お使いのインターネットブラウザにて下記のURLにアクセスします。

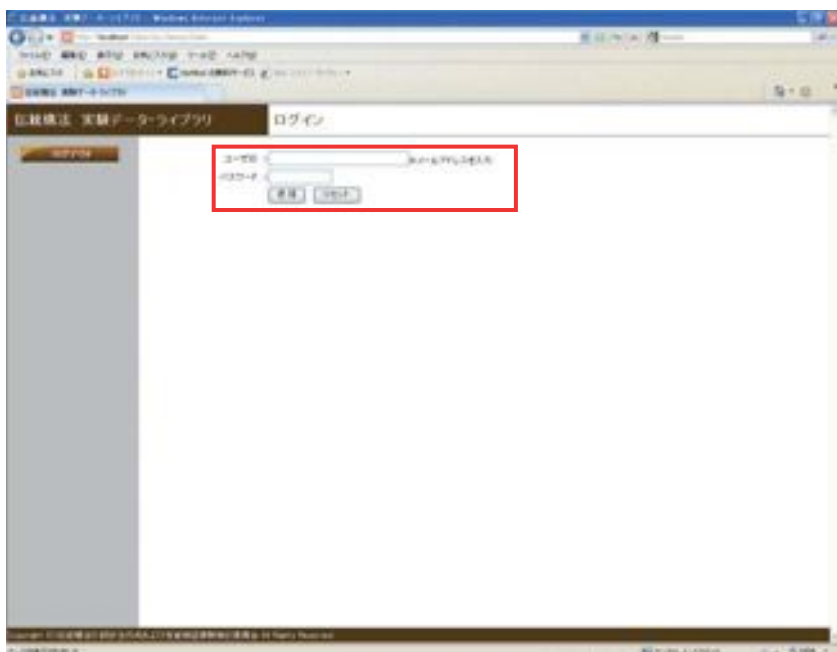
URL: <https://dentoh.jp/cake/jsc/menus/>

システムへのログイン

システムが起動すると、ログイン画面が表示されます。

- ① ユーザーIDとパスワードを入力して、「送信」ボタンをクリックします。
- ② 正しいユーザーIDとパスワードを入力している場合は、伝統構法 実験データ・ライブラリのメニュー画面が表示されます。

【ログイン画面】



初期パスワードの変更

事務局から通知された初期パスワードは、メニュー画面で変更することができます。

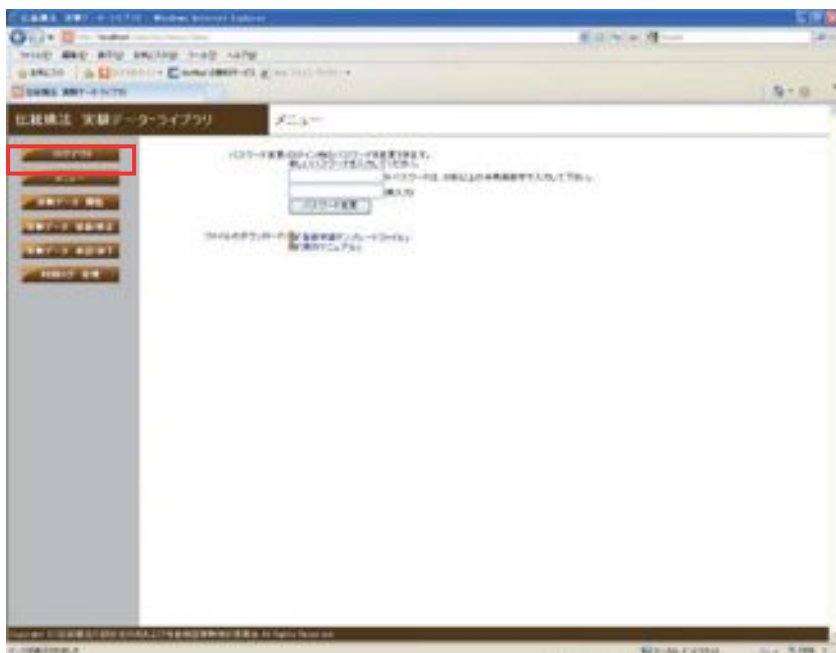
- ① パスワードの変更項目より、新しいパスワードを入力します。
- ② 確認のため再入力にも①と同じパスワードを入力します。
- ② 「パスワード変更」ボタンをクリックするとパスワードが変更されます。

● システムの終了

システムを終了するには

本システムでの業務が終了し、システムを終了したい場合、メインメニューの「ログアウト」ボタンをクリックします。ログイン画面に戻ったら、ブラウザ画面を閉じて下さい。

【ログアウト】



メインメニュー一覧

ログインに成功するとメニュー画面が表示されます。サイドメニューのボタンをクリックすると、各画面に切り替わります。

ログインしたユーザーの権限によって、使用できる機能・画面に違いがあります。各ユーザー権限のメニュー表示は以下の通りです。

【メインメニュー表示一覧】

ログイン	システム管	管理権限ユーザー	更新権限ユーザー	閲覧権限ユーザー
ログイン	ログアウト	ログアウト	ログアウト	ログアウト
	メニュー	メニュー	メニュー	メニュー
	ユーザー管	実験データ閲覧	実験データ閲覧	実験データ閲覧
		実験データ登録／修	実験データ登録／修	
		実験データ承認／却		
		利用ログ管理		

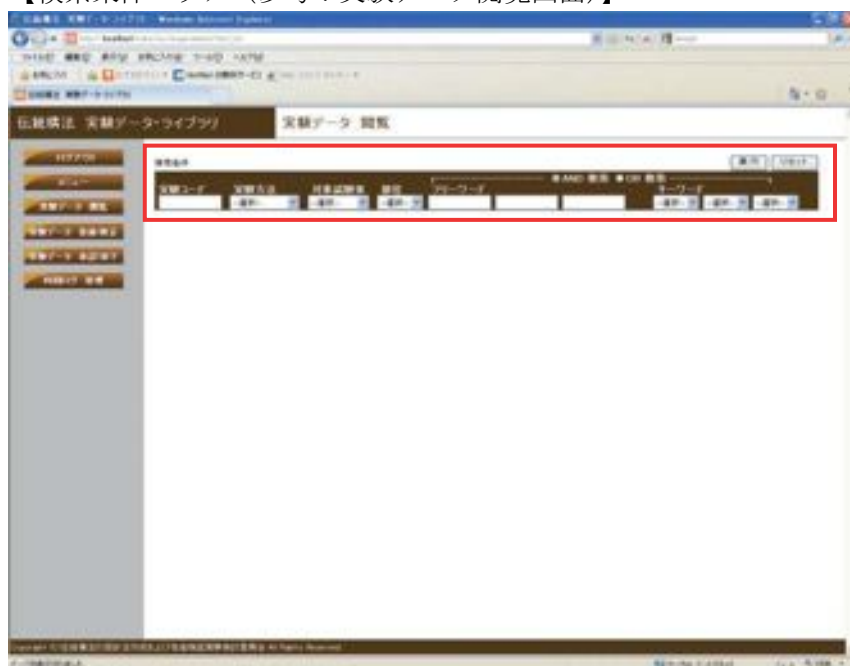
● 実験データの閲覧、登録、承認

実験データを検索するには

(1) 実験データの検索

- ① 実験データを検索するには、メインメニューの「実験データ 閲覧」「実験データ 登録／修正」「実験データ 承認／却下」の各ボタンをクリックして、画面を表示し、検索条件エリアで、検索条件を入力・指定します。
フリーワードとキーワードはAND又はOR条件で検索できます。
- ② 「実行」ボタンをクリックします。
- ③ 検索条件に一致する実験データが、一覧に表示されます。検索条件を一括でリセットするには、「リセット」ボタンをクリックします。

【検索条件エリア（参考：実験データ閲覧画面）】

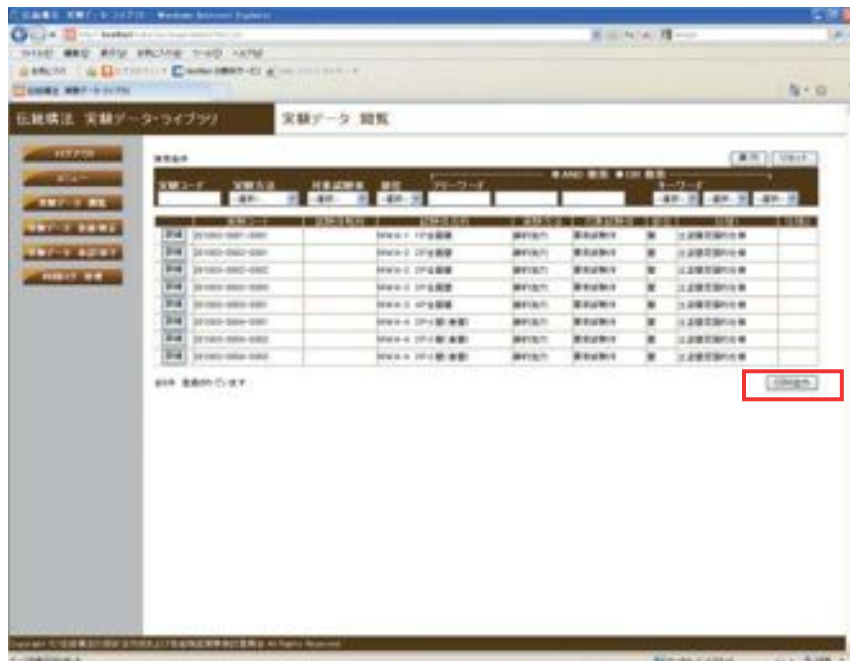


実験データ一覧結果をCSVファイル出力するには

(1) 実験データ一覧のCSV出力

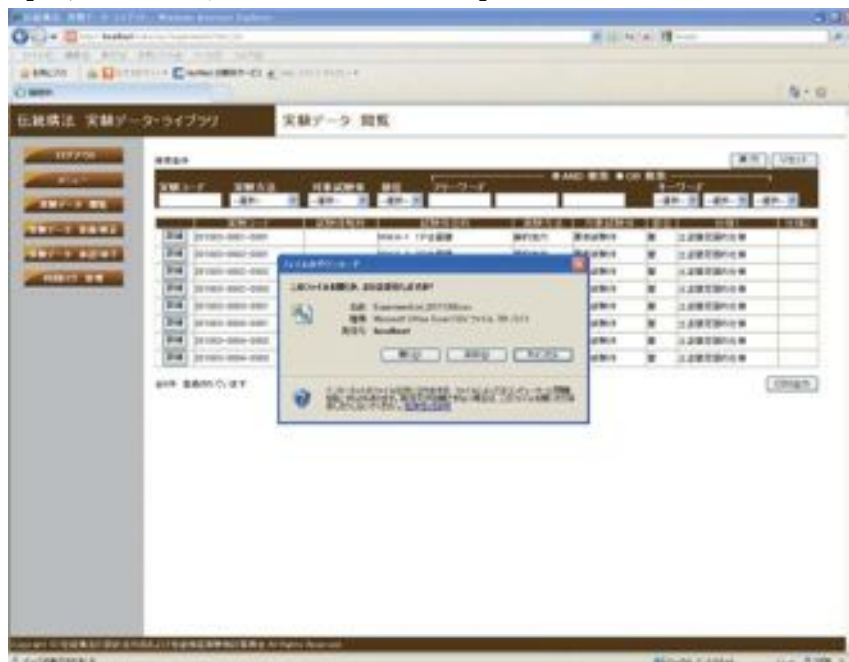
- ① 検索した実験データ一覧をCSVファイル出力するには、実験データ 検索画面の「CSV出力」ボタンをクリックします。

【CSV出力】



- ② CSVファイルのダウンロードダイアログが表示されるので、「保存」ボタンをクリックすると、保存ダイアログが表示されるので、保存先と保存ファイル名を指定して「保存」ボタンをクリックします。

【ファイルのダウンロードダイアログ】



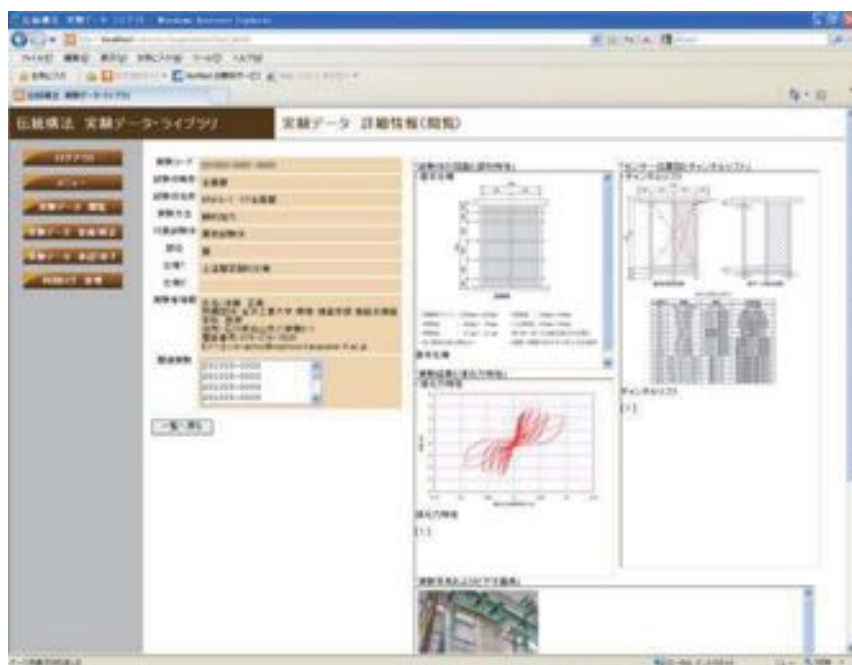
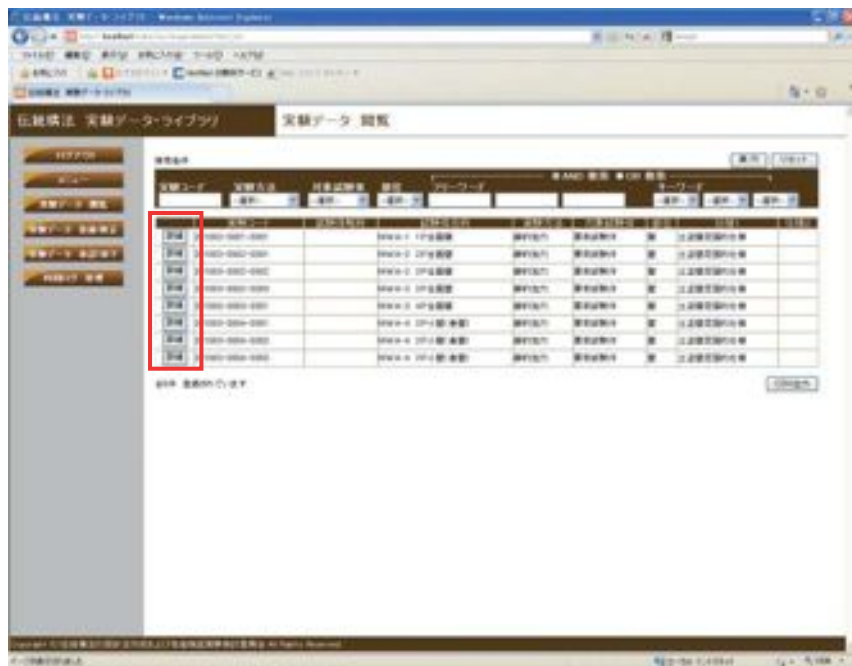
実験データの詳細情報を閲覧するには

(1) 詳細情報の閲覧

公開している実験データの詳細情報を照会するには、実験データ 検索画面の検索結果一覧で、照会したい実験データの、「詳細」 ボタンをクリックします。

実験データ 詳細情報画面が表示されます。

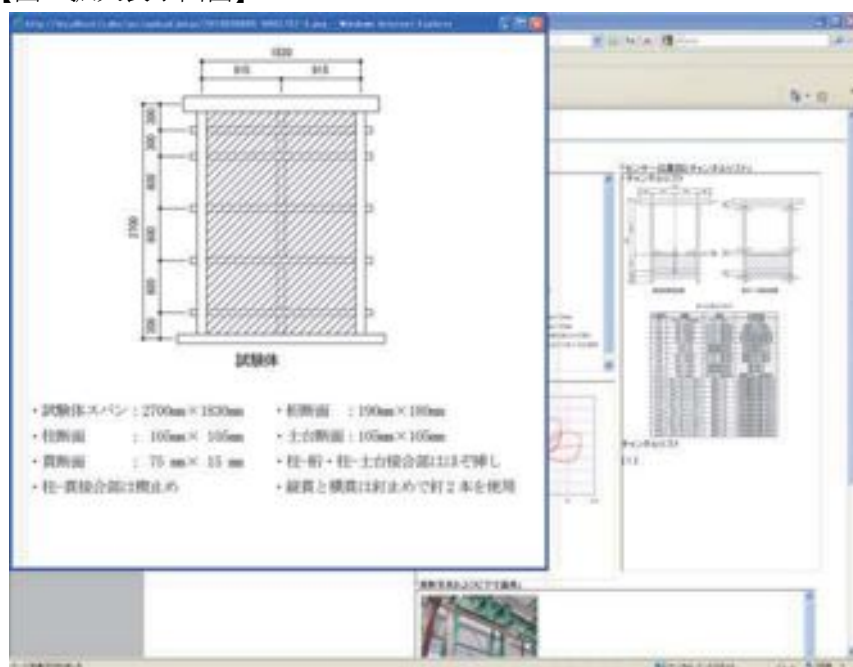
【詳細ボタン】



(2) 図表、写真の拡大表示

実験データ 詳細情報で閲覧に供されている図表等を拡大表示するには、拡大したい図表をクリックします。クリックされた図表の画像が別ウィンドウで表示されます。

【図の拡大表示画面】



(3) 複数枚の図表等の閲覧

図表等が複数枚登録されている場合は、画像下部に表示されているページ番号をクリックすることにより参照できます。

(4) 動画イメージの再生

動画イメージを再生するには、再生したい動画のビデオ再生ボタンをクリックすると、クリックされた動画が別ウィンドウで再生されます。

実験図表等ファイルを保存するには

(1) 図表等ファイルの保存

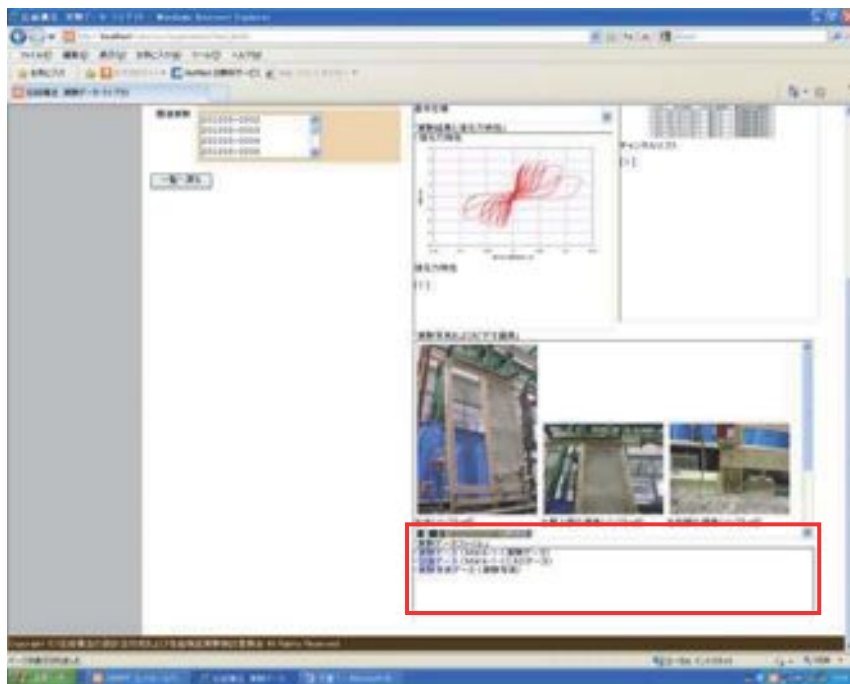
- ① 実験データ 詳細情報に表示されている図表等を保存するには、図表上で右クリックし、ショートカットメニューの「名前を付けて画像を保存」をクリックします。
- ② 保存ファイル名を指定して「保存」ボタンをクリックします。

実験データファイルをダウンロードするには

(1) 実験データファイルのダウンロード

- ① 実験データ 詳細情報表示画面の「実験データファイル」で、ダウンロードしたいデータの名称をクリックします。「実験データ」「図面データ」「動画、写真データ」のダウンロードができます。
 - ② データファイルの圧縮フォルダ又は、ファイル保存ダイアログが表示されます。
 - ③ 保存先と保存ファイル名を指定して「保存」ボタンをクリックします。
- ※ 実験データがダウンロード「不可」で登録されている場合は、実験データファイル情報は表示されません。

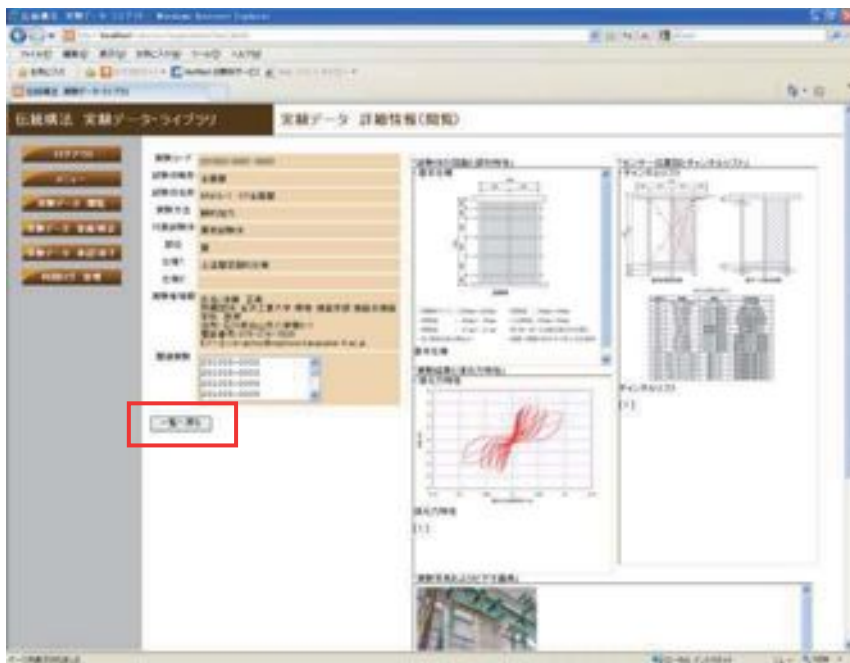
【実験データファイルのダウンロード】



詳細情報画面から一覧表示画面に戻るには

実験データ詳細情報画面の表示から一覧表示画面に戻るには、「一覧へ戻る」ボタンをクリックします。

【一覧表示画面の切替】

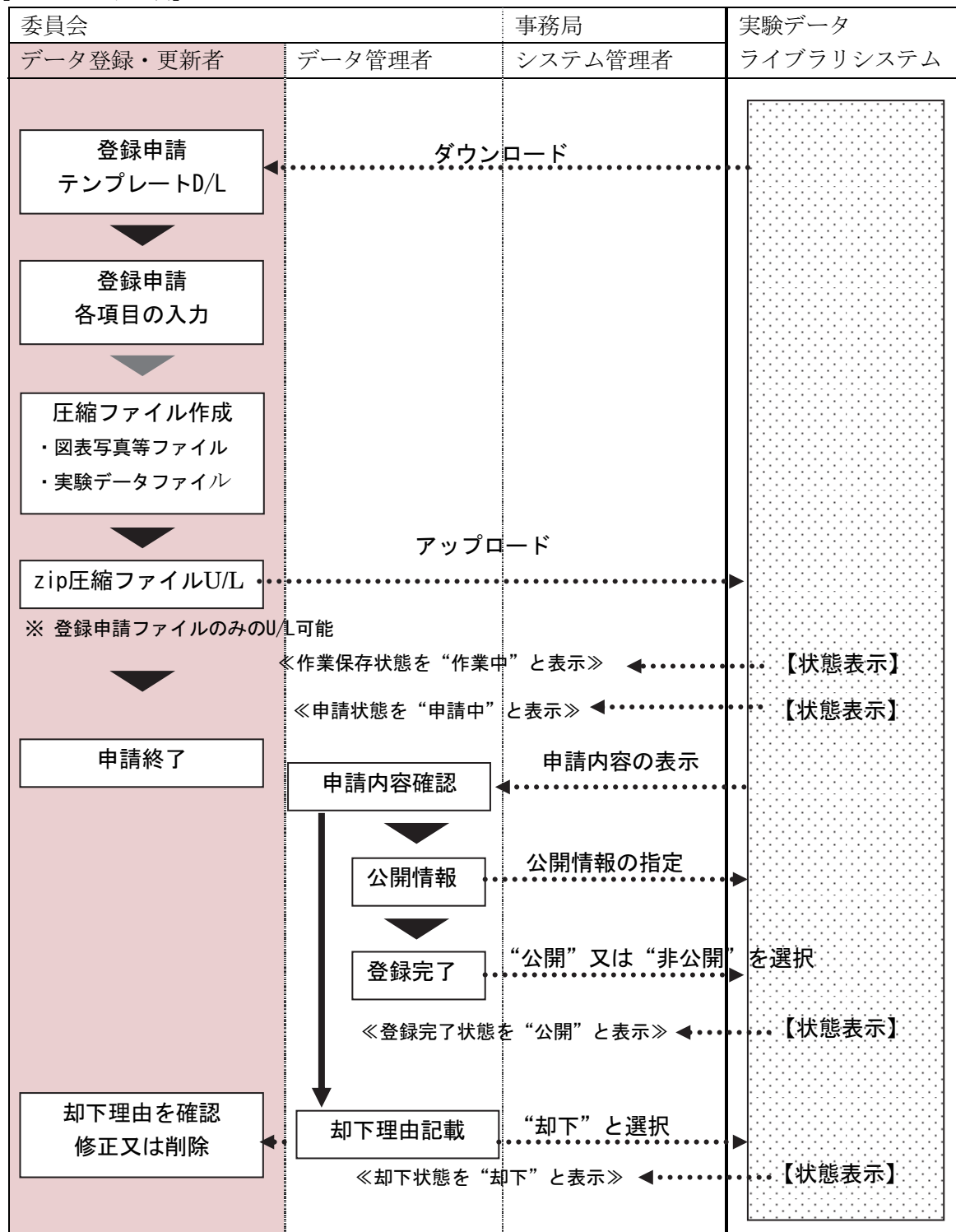


実験データを登録するには

(1) 実験データ登録申請作業の流れ

本システムでは、以下のような流れで実験データの登録作業を行います。

【データ登録手順】



D/L：ファイルのダウンロード（システムからファイルを受信すること）

U/L：ファイルのアップロード（システムへファイルを送信すること）

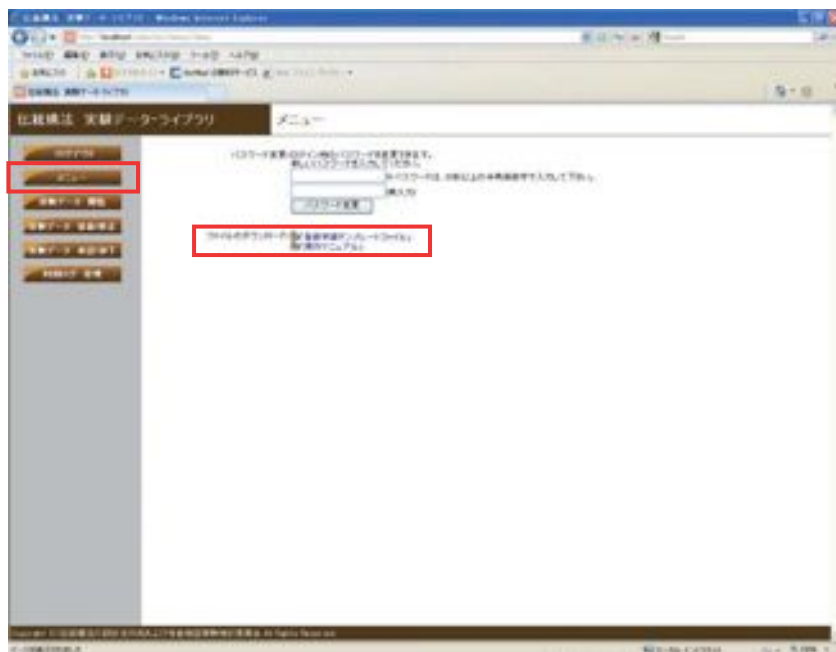
(2) 実験データ登録申請テンプレートのダウンロード

実験データの登録には、登録申請テンプレートを使用します。

- ① メインメニューの「メニュー」ボタンをクリックして、メニュー画面を表示します。
- ② ファイルのダウンロードより、「登録申請テンプレートファイル」を、クリックします。
- ③ 登録申請テンプレートファイルのダウンロード画面が表示されます。「保存」ボタンをクリックすると、保存ダイアログが表示されます。保存先と保存ファイル名を指定して「保存」ボタンをクリックします。

※ 登録申請テンプレートファイル種類：Microsoft Office Excel97-2003ワークシート

【テンプレートファイルのダウンロード】



(3) 実験データの入力、指定

手順(2)でダウンロードした登録申請テンプレートを開きます。入力内容は下記の各シート別に区分され整理されています。各項目を入力しファイルを保存します。

【入力内容】

1) 実験概要データ入力

実験コード：実験を実施した年月と実験のコード番号を入力します。

例1) 実験データ新規追加の場合

- ・実験コード：空白（自動採番される）
- ・実験コード枝番：空白（自動採番される、0001固定）

例2) 登録済の実験データに枝番を追加する場合

- ・実験コード：2010030003（枝番を追加する対象の実験コード）
- ・実験コード枝番：空白（枝番が自動採番される）

試験体略称、名称：委員会で決定した実験の略称、名称を入力します（名称は必須）。

実験方法：振動台加振、静的加力等任意のものをリストから指定します（必須）。

実験対象：実在建物、実大試験体等任意のものをリストから指定します（必須）。

試験体部位：脚部、足固め等任意のものをリストから指定します（必須）。

仕様1：実験の仕様を入力します（必須）。

仕様2：実験の仕様を入力します（任意）。

関連実験コード：公開実験データの内、関連のある実験コードを入力します。

キーワード：検索条件のキーワードを入力します。

【シート：実験概要データ入力】

実験コード	実験コード補番	試験体略称	試験体名称
2010030001		全面壁	DWA-1 1P全面壁
		選択	静的加力
		選択	要素試験体
		選択	壁
		入力	土壁足固め仕様
		入力	
201003-0002			
201003-0003			
201003-0004			
201003-0005			

2) 実験図表等ファイル定義

No.: 通し番号を入力します。

ファイル区分：試験体図、計測機器取付図等任意のものをリストから指定します。

ファイル名称：図表等の説明（名称）を入力します。

元ファイル名：アップロードする、ファイルの名称を入力します。

コメント:補足説明を入力します。

【シート：実験図表等ファイル定義】

No.	ファイル区分	名称	元ファイル名	コメント
1	試験体図	基本仕様	2010030001.png	基本仕様
2	試験体図	試験体図	2010030002.png	試験体図
3	計測機器取付図	計測機器取付図	2010030003.png	計測機器取付図
4	試験結果グラフ	試験結果グラフ	2010030004.png	試験結果グラフ
5	試験結果写真	試験結果写真	2010030005.png	試験結果写真
6	試験結果写真	試験結果写真	2010030006.png	試験結果写真
7	試験結果写真	試験結果写真	2010030007.png	試験結果写真
8	試験結果写真	試験結果写真	2010030008.png	試験結果写真

3) 実験データファイル定義

ファイル区分：実験データファイル区分をリストから指定します。

名称：ファイルの説明（名称）を入力します。

登録元ファイル名称：アップロードする、ファイルの名称を入力します。

コメント：補足説明を入力します。

【シート：実験データファイル定義】

ファイル区分	名称	登録元ファイル名称	コメント
実験データファイル	実験データ	実験データファイル	実験データ
実験データファイル	実験データ	実験データファイル	実験データ
実験データファイル	実験データ	実験データファイル	実験データ

(4) 圧縮ファイルの作成

登録申請テンプレートファイルで指定、入力した、図表、写真、実験データファイルを集約した圧縮ファイルを作成します。

- ① 圧縮したいファイルまたはフォルダが保存されているフォルダを開きます。
- ② 圧縮したいファイルやフォルダを選択して右クリックし、ショートカットメニューの「送る」メニューから[圧縮 (zip形式) フォルダ]をクリックします。
- ③ 元のファイルやフォルダと同じフォルダに圧縮フォルダが作成されます。

※ ファイル形式：図表のファイル形式はPNG、写真のファイル形式はJPEG

※ 実験データファイルについては、データファイルの圧縮フォルダを検索して表示します。

【圧縮ファイル作成手順（参考）】



(5) 実験データのアップロード

サーバー上で実験データのアップロードを行います。

- ① 実験データを新規に追加するには、メインメニューの「実験データ 登録／修正」ボタンをクリックし、実験データ 登録／修正 画面を表示します。
- ② 「追加」ボタンをクリックすると、実験データ登録画面が表示されます。

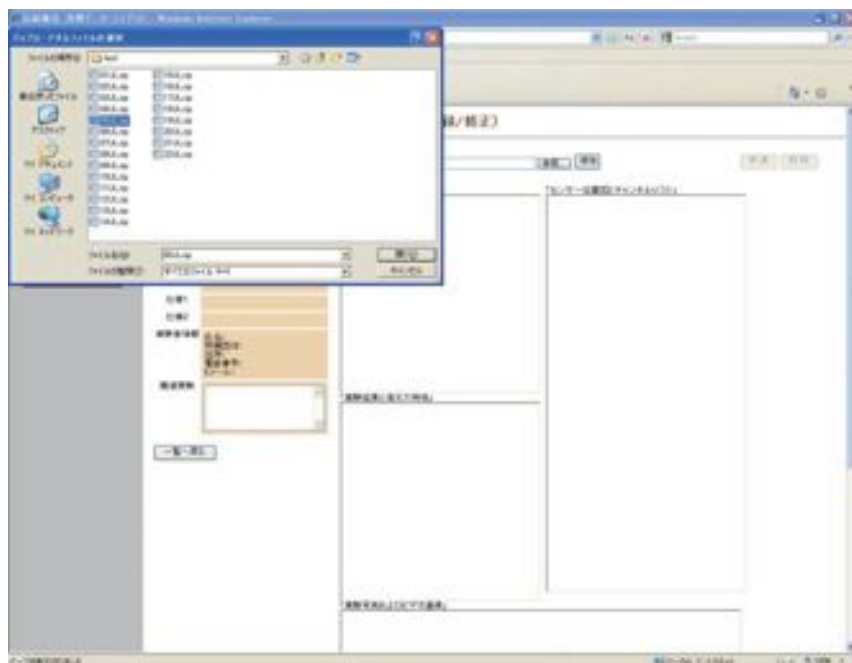
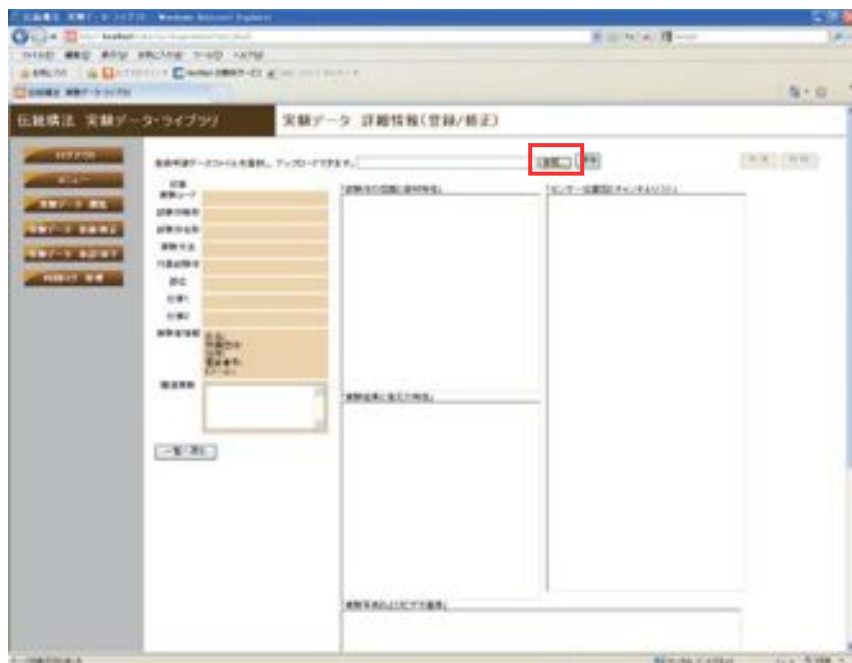
【実験データ 登録／修正画面】

実験タイプ	実験方法	結果試験種	単位	パラメータ	メモ
実験中	201001-0001-0001	圧縮率	MPa	圧縮率	圧縮率
実験中	201001-0001-0002	圧縮率	MPa	圧縮率	圧縮率
実験中	201001-0001-0003	圧縮率	MPa	圧縮率	圧縮率

- ③ 「参照」ボタンをクリックし、手順（４）で作成した圧縮ファイルを選択し、「追加」ボタンをクリックします。アップロード確認ダイアログが表示され、「OK」ボタンをクリックすると登録申請テンプレートで指定した詳細情報（図表、写真、実験データファイル含む）が自動的にアップロードされます。

※ 登録申請テンプレートファイルのみをアップロードすることもできます。

【データ参照画面】



【実験データの追加】

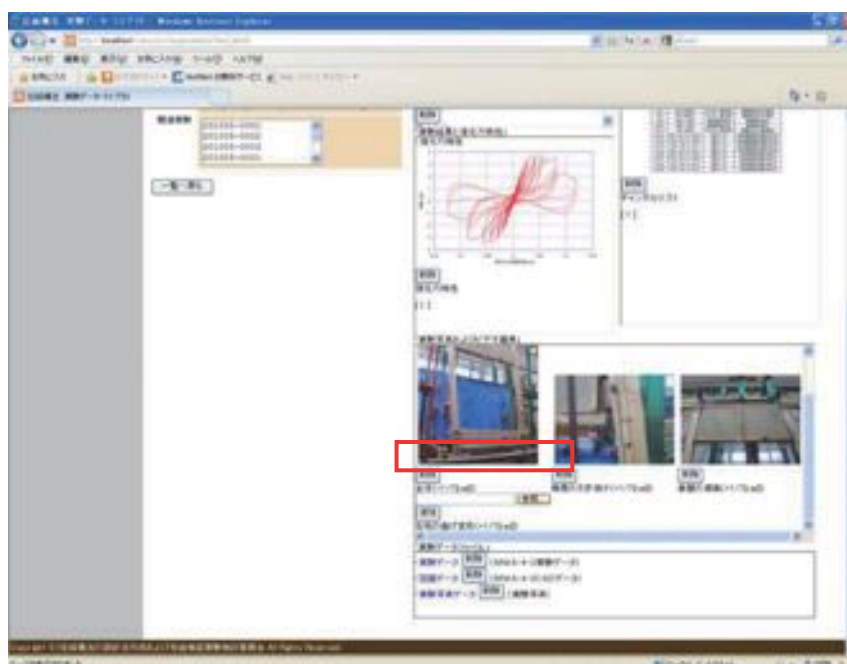


【アップロード確認ダイアログ】



データが不足し、エラー状態の場合は、実験データ 登録画面に「不足ファイル数〇〇件」と表示されるので、画面上で個別に不足している図表等をアップロードすることができます。また、内容に不備がある場合は、登録申請テンプレートファイルを修正し、「修正」ボタンをクリックして再アップロードします。

【エラー通知と再アップロード】



(6) 実験データの申請

実験データがすべてアップロードされたのを確認して、実験データ 登録画面の「申請」ボタンをクリックすると、登録データ 検索（登録）画面が表示されます。申請した実験データの状態は「申請中」と表示されます。

【実験データの申請】



作業の一時中断、作業中の実験データを修正するには

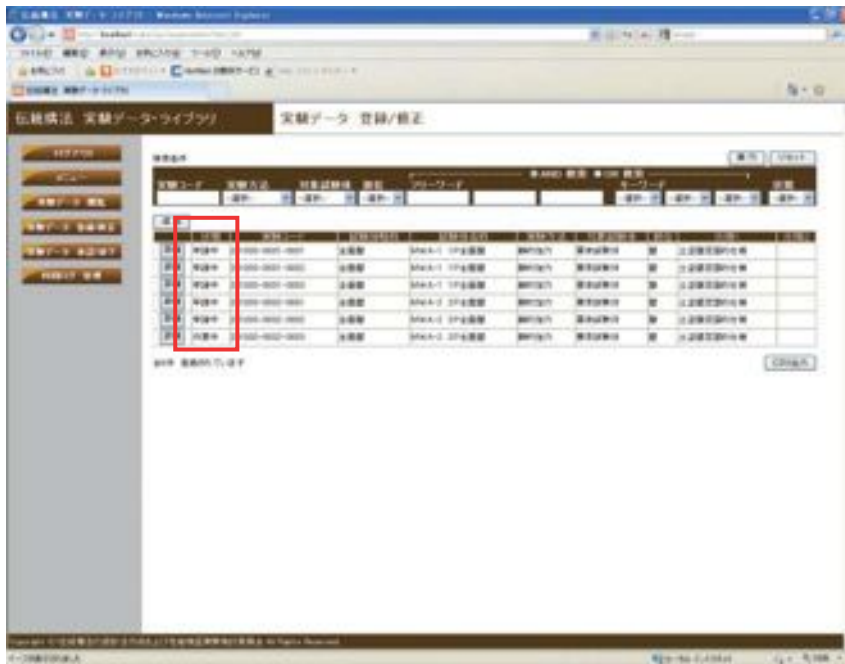
(1) 作業の一時中断

アップロードした後「申請」ボタンをクリックするまでは、登録作業中の内容は保存され、登録データ 登録／修正 画面の状態は「作業中」と表示されます。

(2) 作業中の実験データの修正

実験データを修正するには、実験データ 登録／修正 画面の検索結果一覧で、修正したい実験データの「詳細」ボタンをクリックします。

【状態表示】



実験データを削除するには

(1) 実験データの削除

実験データを削除するには、実験データ 詳細情報（登録／修正）画面の「削除」ボタンをクリックします。実験データ削除の確認ダイアログが表示され、「OK」ボタンをクリックすると、実験データは削除されます。

【実験データの削除】



(1) 実験データの承認

- ① メインメニューの「実験データ 承認/却下」ボタンをクリックして、実験データ 検索画面の状態条件「申請中」を指定し、検索条件に一致する申請中のデータを一覧表示します。
- ② 実験データの「詳細」ボタンをクリックし、詳細情報の内容を確認します。

[illegible]

- ③ 申請中の実験データを承認するには、実験データ 承認画面で「公開」「非公開」を選択し、「公開」する場合は、公開日、終了日を指定します。制限が無い場合は空欄にしておきます。

【公開日、終了日の指定】



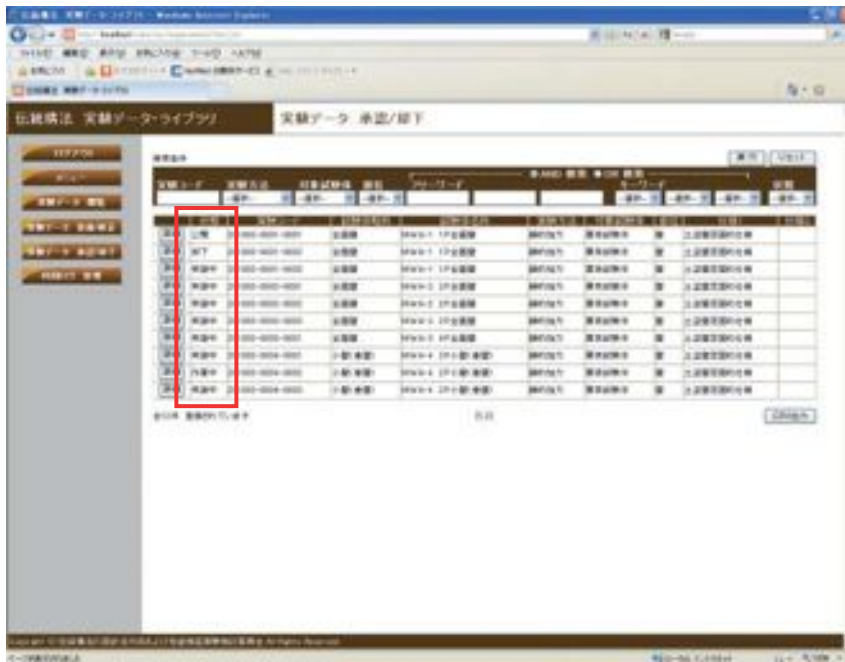
- ④ 実験データDLの「可能」又は「不可」を選択し、チェックします。
 ⑤ 「承認」ボタンをクリックすると、実験データ 一覧画面が表示されます。

【実験データ 詳細情報（承認／却下）画面】



- ⑥ 承認した実験データの状態は「公開」又は「非公開」と表示され、「公開」の場合は実験データ 閲覧画面で閲覧することができます。

【状態表示】



申請中の実験データを却下するには

(1) 実験データの却下

- ① メインメニューの「実験データ 承認／却下」ボタンをクリックして、実験データ 検索画面の状態条件「申請中」を指定し、検索条件に一致する申請中のデータを一覧表示します
- ② 実験データの「詳細」ボタンをクリックし、詳細情報の内容を確認します。
- ③ 申請中の実験データを却下するには、実験データ 承認画面で「却下理由」を記載し、「却下」ボタンをクリックします。



- ④ 却下した実験データの状態は「却下」となります。
- ※ 却下理由が空欄の場合は、エラー状態となります。

却下理由を確認して修正又は削除するには

(1) 却下理由の確認

却下理由を確認するには、実験データ 登録／修正 画面の検索結果一覧で、却下理由を確認したい実験データの「詳細」ボタンをクリックすると、実験データ 登録／修正画面が表示され、却下理由を閲覧することができます。

(2) 申請却下データの修正又は削除

却下理由の内容に応じて、実験データを修正、又は削除します。再度申請するには、「申請」ボタンをクリックします。

(作業手順については、作業中の実験データの修正、実験データの削除をご参照下さい)

● 利用ログファイル出力

利用ログファイルを出力するには

利用ログファイルを出力するには、メインメニューで「利用ログ 管理」ボタンをクリックすると、利用ログファイル出力画面が表示されます。画面表示に従いファイル (Excel) を開き保存します。

