

2.5 実験結果

2.5.1 試験体 No.1 および No.2

(1) 試験体 No.1,2 の振動特性

1) 各試験体の同一性

ホワイトノイズ加振から得られた固有振動数を表 2.5.1-1 に示す。剛体変位モードの固有振動数は、長辺方向および短辺方向とも 3Hz-4Hz の間に存在し、剛体回転モードの固有振動数は壁配置 D2 を除いて 4.5-5.0Hz となった。壁配置 A2 を基準とし、固有振動数から推察した剛性(表 2.5.1-2) を比較すると、壁配置 A2(8P×6P)と同等である試験体 C1,C2,E1,E2 の剛性比は 10%以内に収まっており、ほぼ同等の試験体であることが分かる。壁配置 A2 長辺方向の剛性を基準にした 1P あたりの剛性(表 2.5.1-3) を比較すると、壁配置 B1,D1 を除いて、ほぼ 10%以内の剛性となっている。

表 2.5.1-1 ホワイトノイズ加振から得られた固有振動数(Hz)

壁配置	長軸方向	短軸方向	剛体回転	備考
A1	3.74	3.96	4.52	8P*8P
A2	3.74	3.18	4.52	8P*6P
B1	3.47	3.32	4.79	6P*8P, X5X9 構面に壁無し
B2	4.20	3.52	5.00	9P*8P, X5X9 構面に壁無し
C1	3.74	3.10	4.40	8P*6P, 偏心
C2	3.74	3.32	4.52	8P*6P, A2(M0 効果検討用) と同じ
D1	3.00	3.32	4.52	6P*8P, B1(M0 効果検討用) と同じ
D2	4.79	3.62	5.89	14P*8P, X5X9 構面に壁無し
E1	3.64	2.96	4.52	8P*6P, A2 と同じ
E2	3.93	3.22	4.52	8P*6P, A2(M0 効果検討用) と同じ

表 2.5.1-2 壁配置 A2 との剛性比較

壁配置	長軸方向	短軸方向
A1	1.00	1.55
A2	1.00	1.00
B1	0.86	1.09
B2	1.26	1.23
C1	1.00	0.95
C2	1.00	1.09
D1	0.64	1.09
D2	1.64	1.30
E1	0.95	0.87
E2	1.10	1.03

表 2.5.1-3 壁配置 A2 長辺方向を基準とした 1P 当たりの剛性

壁配置	長軸方向	短軸方向
A1	1.00	1.12
A2	1.00	0.96
B1	1.15	0.79
B2	1.12	0.89
C1	1.00	0.92
C2	1.00	1.05
D1	0.86	0.79
D2	0.94	0.94
E1	0.95	0.84
E2	1.10	0.99

2) JMA 神戸 3 軸加振による剛性低下

壁配置 E1,E2 においては、JMA 神戸 3 軸加振後にもホワイトノイズ加振を行った。JMA 神戸 3 軸加振前後の固有振動数変化を表 2.5.1 4 に示す。固有振動数から推察した剛性を試験前後で比較すると、壁配置 E1 長辺方向で 66%短辺方向で 53%、壁配置 E2 長辺方向で 56%短辺方向で 29%となっている。

表 2.5.1 4 ホワイトノイズ加振から得られた固有振動数(Hz)

壁配置	長軸方向	短軸方向
E 1	3.64 -> 2.95	2.96 -> 2.15
E 2	3.93 -> 2.95	3.22 -> 1.73

(2) 応答最大値

各試験体の応答変形最大値を、表 2.5.1-6(A)～(E)示す。

1) 加振 A

上部構造の壁量の異なる試験体

試験体 A1 は S 方向の壁長の和 = 8×0.91 (m)

試験体 A2 は S 方向の壁長の和 = 6×0.91 (m)

に対して、S (短辺) 方向に、「極めて稀な地震動」を入力した結果、上部構造の壁量が多い試験体 A1 は試験体 A2 に比べて柱脚の滑り量は大きくなり、上部構造の変形は小さくなった。

表 2.5.1 5(A) L13 通の柱脚の滑り量と上部構造変形 (加振 A S 方向)

		A1 (8P)	A2 (6P)
滑り量	(mm)	48	30
上部構造変形 (H=2880)	(mm)	74	94
	(rad.)	1/39	1/31

L13 通は滑り量最大の通り

2) 加振 B

上部構造の壁量の異なる試験体

試験体 B1 は L 方向の壁長の和 = 6×0.91 (m)

試験体 B2 は L 方向の壁長の和 = 9×0.91 (m)

に対して、L (長辺) 方向に、「極めて稀な地震動」を入力した結果、上部構造の壁量が多い試験体 B1 は試験体 B2 に比べて柱脚の滑り量は大きくなると予測されたが、両者の滑り量はほとんど変わらなかった。S 方向に比べて L 方向は柱脚がすべりにくい。今後詳細な検証が必要であるが、摩擦係数のばらつき、足元の束の転倒、建物のロッキングなどの影響が考えられる。

表 2.5.1 5(B) S9 通の柱脚の滑り量と上部構造変形 (加振 B L 方向)

		B1 (6P)	B2 (9P)
滑り量	(mm)	9	10
上部構造変形 (H=2880)	(mm)	88	62
	(rad.)	1/33	1/46

3) 加振 C

壁量は同一で、偏心率の異なる

試験体 C1 は S 方向の壁長の和 = 6×0.91 (m) で偏心有り (偏心率 0.3 強)

試験体 C2 は S 方向の壁長の和 = 6×0.91 (m) で偏心なし

に対して、S 方向に「巨大な地震動」を入力した結果

表 2.5.1 5(C) 柱脚の滑り量 (加振 C S 方向)

13.2sec.時		C1 (6P)		C2 (6P)	
		L1 通	L13 通	L1 通	L13 通
滑り量(mm)	(mm)	-97	-42	-47	-104
上部構造変形	(mm)	-43	-77	-74	-59

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 もねじれるように試験体 C1 とは逆向きにねじれるように柱脚が滑った。柱脚の滑り量だけを見ると、偏心していない試験体 C2 の方が大きくねじれた。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くなっている。

4) 加振 D

試験体 B1 と壁量は同一で、1 階床上の積載 (錘) のない試験体 D1

に対して L 方向に、「極めて稀な地震動」を入力した結果、

試験体 D1 は試験体 B1 と比べて、1 階床の積載 M_0 が小さい分、摩擦力が小さくなり、滑り易くなると予想されたが、最大滑り量は変わらなかった。

表 2.5.1 5(D1) S9 通の柱脚の滑り量と上部構造変形 (加振 B、D L 方向)

		B1 (6P)	D1 (6P) M_0 小
滑り量	(mm)	9	9
上部構造変形	(mm)	88	88
(H=2880)	(rad.)	1/33	1/33

試験体 B2 より L 方向の壁量をさらに大きくした試験体 D2

L 方向の壁長の和 = 14×0.91 (m)

に対して L 方向に、「極めて稀な地震動」を入力した結果、

試験体 D2 は、壁量の少ない試験体 B1、B2 に比べて大きく滑ったが、S 方向の加振に比べると A2 (6P) と同程度であまり大きくなかった。柱脚の滑り量大きいと上部構造の層間変形は、小さくなった。

表 2.5.1 5(D2) S9 通の柱脚の滑り量と上部構造変形 (加振 B、D L 方向)

		B1 (6P)	B2 (9P)	D2 (14P)
滑り量	(mm)	9	10	32
上部構造変形	(mm)	88	62	42
(H=2880)	(rad.)	1/33	1/46	1/67

5) 加振 E

巨大な地震時の挙動と M_0 効果を確認するために、

試験体 E1 は試験体 A2 と壁量は同じだが、1 階床積載なし

試験体 E2 は試験体 A2 と壁量、1 階床積載も同じ

に、巨大な地震動として、JMA 神戸波を 3 次元入力した結果、

どちらも柱脚は浮き上がったり滑ったりした。滑り量の最大値は試験体 No.1 で 141mm、試験体 No.2 で 180mm。入力地震動が大きいと、1 階床積載がない方が逆に滑りにくいという結果になった。柱軸力増加による摩擦力と 1 階床の慣性力との関係により巨大な地震動では、 M_0 効果は不利側に働く場合もあることがわかった。

表 2.5.1 5(E) L1 通 柱脚の滑り量と上部構造変形 (加振 E S 方向)

		E1 (6P) M_0 小	E2 (6P)
滑り量	(mm)	121	180
上部構造変形 (H=2880)	(mm)	107	123
	(rad.)	1/27	1/23

表 2.5.1 -6(A) 応答変形最大値 (A1、 A2)

壁配置	入力波	種類		L1	L5	L9	L13	S1	S5	S9
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
A1	L2 S方向	震動台→ 柱脚	正方向	3	2	2	12	5	0	1
			負方向	-42	-29	-31	-48	0	-1	-1
			最大値	42	29	31	48	5	1	1
		柱脚→ 1F床	正方向	7	5	5	8	2	1	0
			負方向	-7	-4	-6	-9	-2	-4	-1
			最大値	7	5	6	9	2	4	1
		1F床→ 2F床	正方向	80	78	74	70	3	3	4
			負方向	-85	-88	-79	-74	-3	-3	-4
			最大値	85	88	79	74	3	3	4
A2	L2 S方向	震動台→ 柱脚	正方向	4	8	12	20	5	1	0
			負方向	-11	-2	-3	-30	0	0	-2
			最大値	11	8	12	30	5	1	2
		柱脚→ 1F床	正方向	8	1	1	9	0	0	0
			負方向	-7	-1	-6	-8	-1	-1	-1
			最大値	8	1	6	9	1	1	1
		1F床→ 2F床	正方向	89	94	92	92	10	5	5
			負方向	-99	-113	-110	-99	-10	-3	-1
			最大値	99	113	110	99	10	5	5

表 2.5.1 -6(B) 応答変形最大値 (B1、 B2)

壁配置	入力波	種類		L1	L5	L9	L13	S1	S5	S9
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
B1	L2 L方向	震動台→ 柱脚	正方向	1	1	0	0	2	1	9
			負方向	-1	-1	-1	-1	-4	-2	-2
			最大値	1	1	1	1	4	2	9
		柱脚→ 1F床	正方向	0	0	0	0	10	7	6
			負方向	0	-1	-1	0	-6	-3	-6
			最大値	0	1	1	0	10	7	6
		1F床→ 2F床	正方向	2	7	2	3	77	87	68
			負方向	-2	-4	-4	-3	-98	-109	-88
			最大値	2	7	4	3	98	109	88
B2	L2 L方向	震動台→ 柱脚	正方向	0	0	0	1	3	1	1
			負方向	-1	-1	-1	0	-9	-6	-10
			最大値	1	1	1	1	9	6	10
		柱脚→ 1F床	正方向	0	0	0	1	3	1	4
			負方向	0	-1	0	-7	-4	-3	0
			最大値	0	1	0	7	4	3	4
		1F床→ 2F床	正方向	1	2	2	2	52	58	54
			負方向	-3	-4	-3	-1	-70	-77	-70
			最大値	3	4	3	2	70	77	70

表 2.5.1 -6(C) 応答変形最大値 (C1、C2)

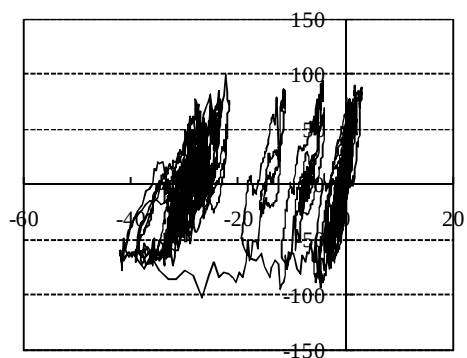
壁配置	入力波	種類		L1	L5	L9	L13	S1	S5	S9
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
C1	JMA神戸 S方向	震動台→ 柱脚	正方向	22	18	52	90	7	2	0
			負方向	-98	-77	-54	-43	0	-2	-13
			最大値	98	77	54	90	7	2	13
		柱脚→ 1F床	正方向	11	11	53	17	11	2	2
			負方向	-7	-9	-14	-15	-7	-16	-11
			最大値	11	11	53	17	11	16	11
		1F床→ 2F床	正方向	170	187	184	154	19	7	14
			負方向	-96	-107	-126	-132	-11	-5	-18
			最大値	170	187	184	154	19	7	18
C2	JMA神戸 S方向	震動台→ 柱脚	正方向	23	52	98	130	50	10	9
			負方向	-48	-48	-69	-106	-5	-2	-18
			最大値	48	52	98	130	50	10	18
		柱脚→ 1F床	正方向	13	4	3	13	7	3	3
			負方向	-11	-11	-6	-12	-4	-3	-3
			最大値	13	11	6	13	7	3	3
		1F床→ 2F床	正方向	157	186	174	166	23	17	8
			負方向	-125	-144	-118	-103	-13	-2	-9
			最大値	157	186	174	166	23	17	9

表 2.5.1 -6(D) 応答変形最大値 (D1、D2)

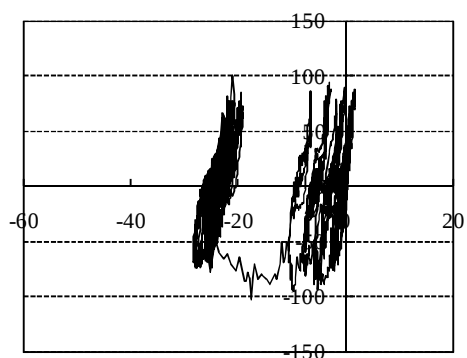
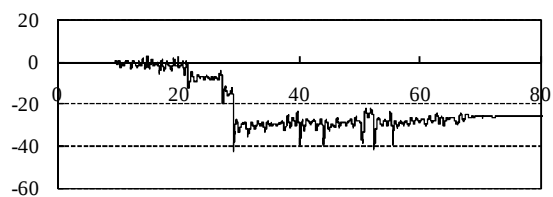
壁配置	入力波	種類		L1	L5	L9	L13	S1	S5	S9
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
D1	L1 L方向	震動台→ 柱脚	正方向	0	0	0	0	0	0	0
			負方向	0	0	0	0	0	0	-1
			最大値	0	0	0	0	0	0	1
		柱脚→ 1F床	正方向	0	0	0	0	1	0	0
			負方向	0	0	0	0	-1	-1	-1
			最大値	0	0	0	0	1	1	1
		1F床→ 2F床	正方向	0	0	0	0	8	10	7
			負方向	0	0	0	0	-11	-13	-9
			最大値	0	0	0	0	11	13	9
D2	L1 L方向	震動台→ 柱脚	正方向	0	0	0	0	0	0	0
			負方向	0	0	0	0	0	0	0
			最大値	0	0	0	0	0	0	0
		柱脚→ 1F床	正方向	0	0	0	0	0	0	0
			負方向	0	0	0	0	0	0	0
			最大値	0	0	0	0	0	0	0
		1F床→ 2F床	正方向	0	0	0	0	2	3	3
			負方向	0	0	0	0	-3	-4	-3
			最大値	0	0	0	0	3	4	3
D1	L2 L方向	震動台→ 柱脚	正方向	0	5	0	0	4	3	8
			負方向	-2	0	-1	-2	-5	-3	-9
			最大値	2	5	1	2	5	3	9
		柱脚→ 1F床	正方向	0	0	1	1	12	7	8
			負方向	0	-2	0	0	-9	-5	-9
			最大値	0	2	1	1	12	7	9
		1F床→ 2F床	正方向	2	6	2	3	96	107	82
			負方向	-3	-8	-5	-4	-102	-114	-88
			最大値	3	8	5	4	102	114	88
D2	L2 L方向	震動台→ 柱脚	正方向	6	1	2	13	9	1	3
			負方向	0	0	0	0	-25	-18	-32
			最大値	6	1	2	13	25	18	32
		柱脚→ 1F床	正方向	0	2	1	0	2	1	3
			負方向	-2	0	0	-1	-3	-6	-4
			最大値	2	2	1	1	3	6	4
		1F床→ 2F床	正方向	4	7	9	8	30	46	37
			負方向	-4	-1	-1	-1	-50	-67	-48
			最大値	4	7	9	8	50	67	48

表 2.5.1 -6(E) 応答変形最大値 (E1、 E2)

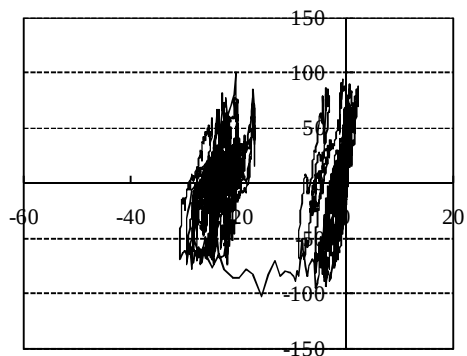
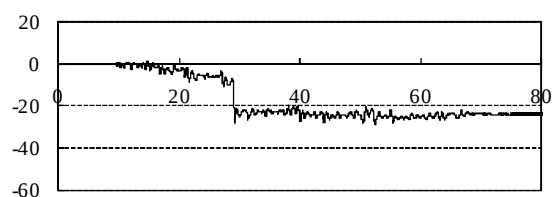
壁配置	入力波	種類		L1	L5	L9	L13	S1	S5	S9
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
E1	JMA神戸 LSZ方向	震動台→ 柱脚	正方向	23	45	64	113	64	53	112
			負方向	-121	-115	-114	-135	-19	-11	-32
			最大値	121	115	114	135	64	53	112
		柱脚→ 1F床	正方向	10	37	32	24	63	41	11
			負方向	-18	-1	-3	-26	-16	-19	-7
			最大値	18	37	32	26	63	41	11
		1F床→ 2F床	正方向	107	107	100	88	56	92	78
			負方向	-91	-99	-94	-79	-60	-88	-77
			最大値	107	107	100	88	60	92	78
E2	JMA神戸 LSZ方向	震動台→ 柱脚	正方向	6	10	14	44	153	56	59
			負方向	-180	-146	-151	-157	-15	-9	-5
			最大値	180	146	151	157	153	56	59
		柱脚→ 1F床	正方向	14	2	2	7	1	25	27
			負方向	-5	-43	-31	-28	-86	-16	-97
			最大値	14	43	31	28	86	25	97
		1F床→ 2F床	正方向	123	140	132	116	61	101	89
			負方向	-104	-144	-121	-112	-87	-93	-77
			最大値	123	144	132	116	87	101	89



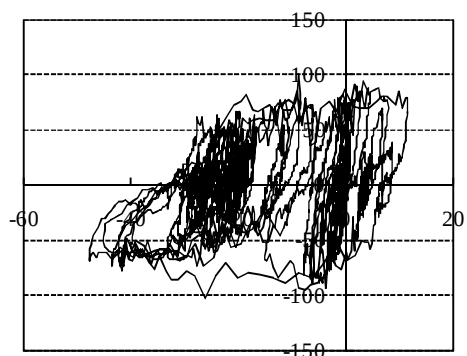
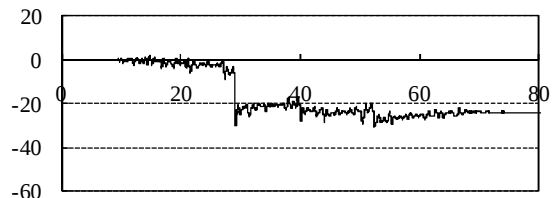
L1



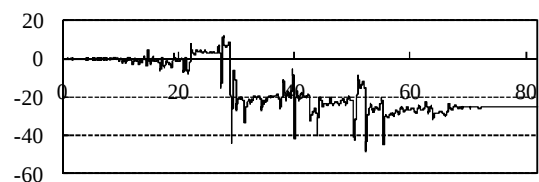
L5



L9



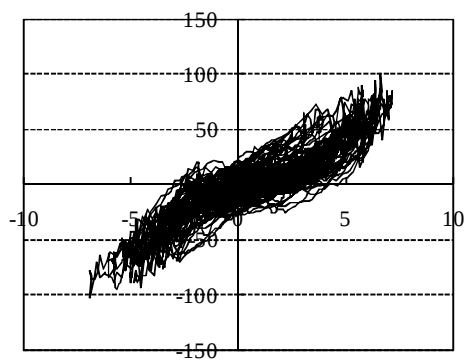
L13



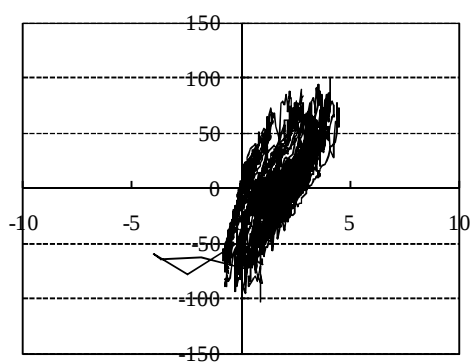
縦軸：せん断力 (kN) 横軸：変形(mm)

縦軸：変形 (mm) 横軸：時間(sec)

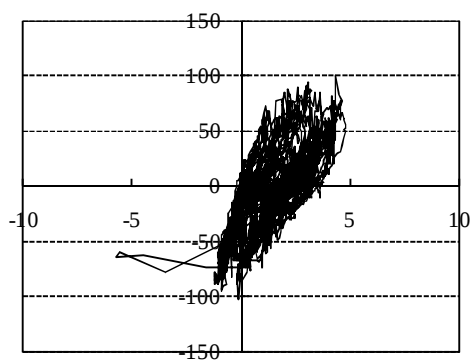
図 2.5.1-1 (A1-1) 荷重変形関係 (A1 柱脚)



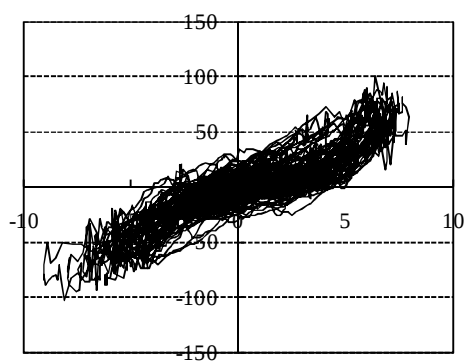
L1



L5

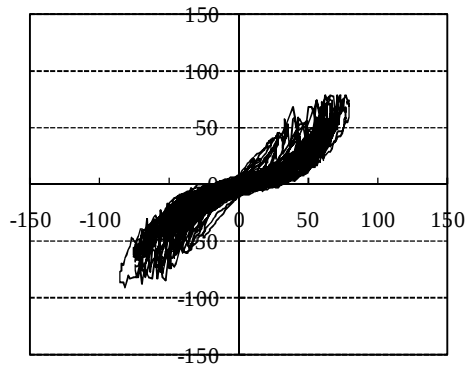


L9

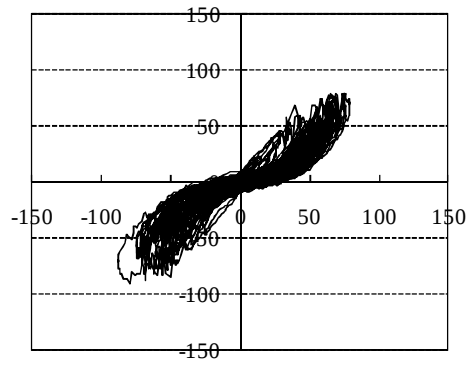


L13

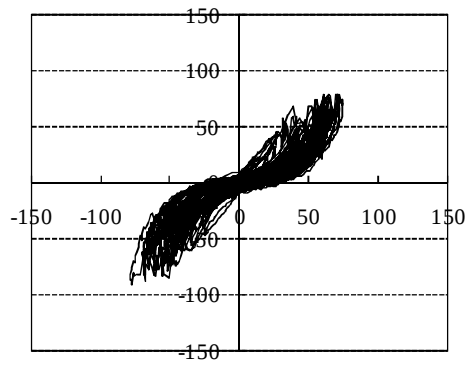
図 2.5.1 -1(A1-2) 荷重変形関係 (A1-1 階床) 縦軸：せん断力 (kN) 横軸：変形 (mm)



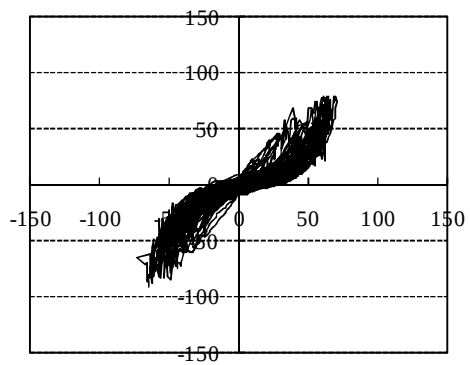
L1



L5

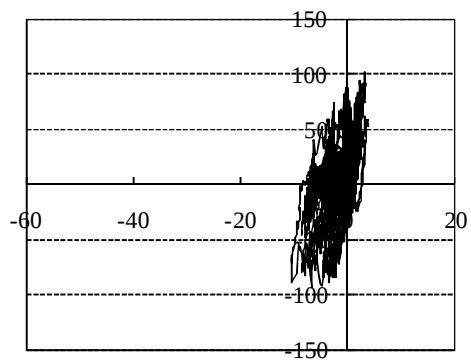


L9

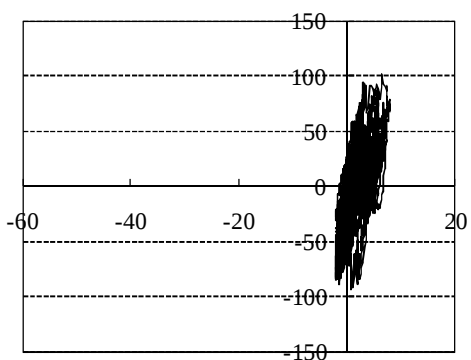
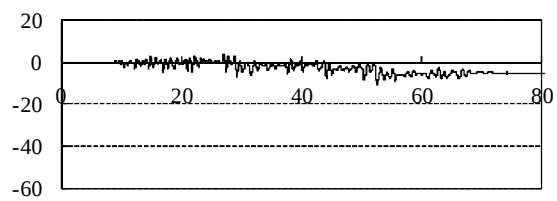


L13

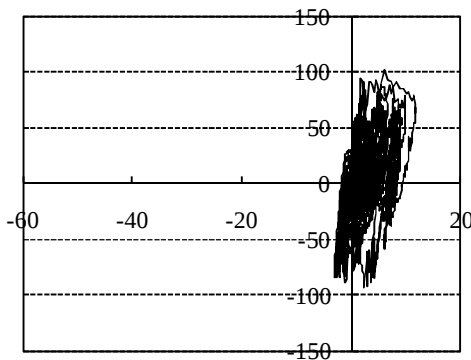
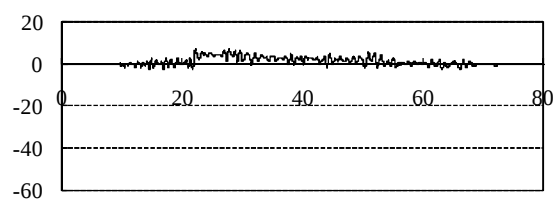
図 2.5.1 -1(A1-3) 荷重変形関係 (A1-2 階床) 縦軸：せん断力 (kN) 横軸：変形 (mm)



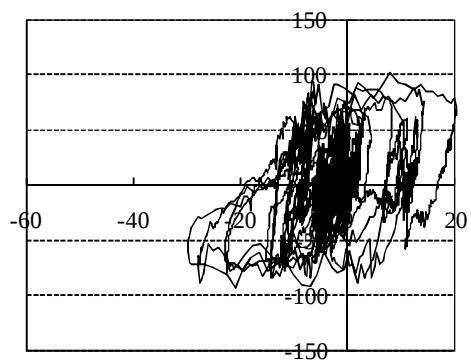
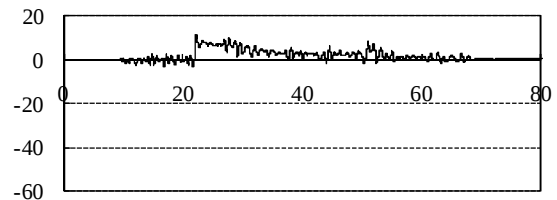
L1



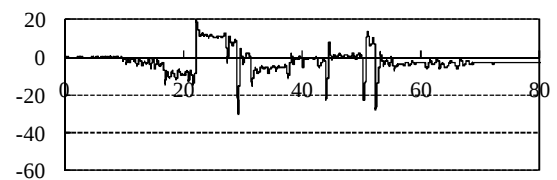
L5



L9



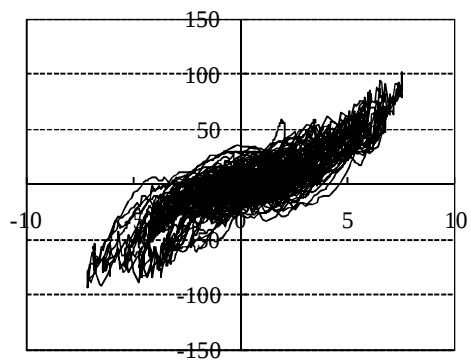
L13



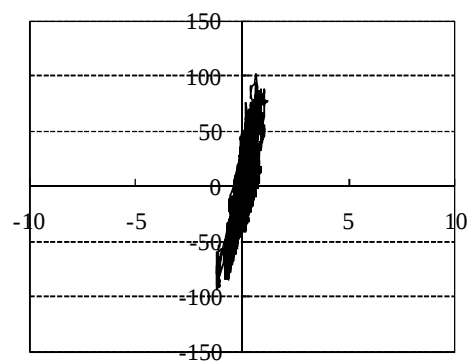
縦軸：せん断力 (kN) 横軸：変形(mm)

縦軸：変形 (mm) 横軸：時間(sec)

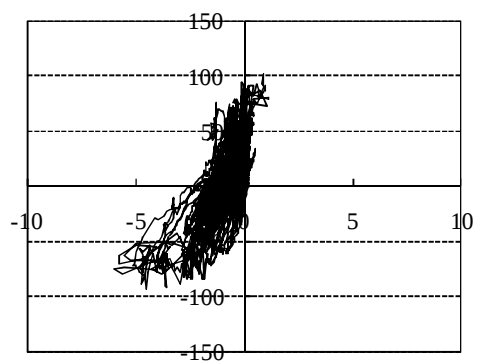
図 2.5.1-1 (A2-1) 荷重変形関係 (A2 柱脚)



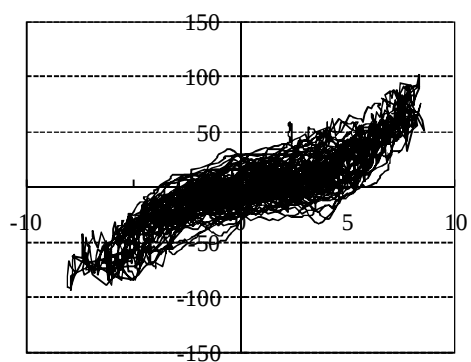
L1



L5

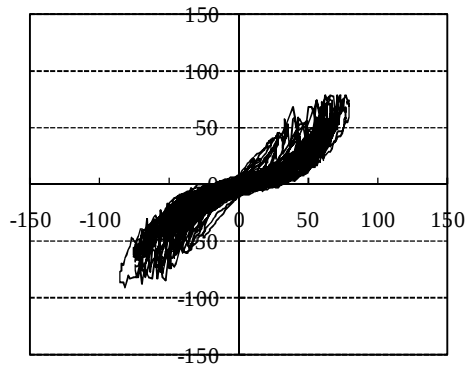


L9

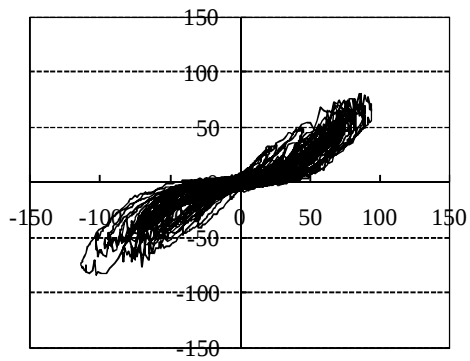


L13

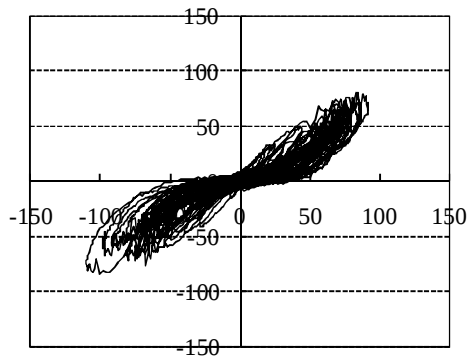
図 2.5.1 -1(A2-2) 荷重変形関係 (A2-1 階床) 縦軸：せん断力 (kN) 横軸：変形 (mm)



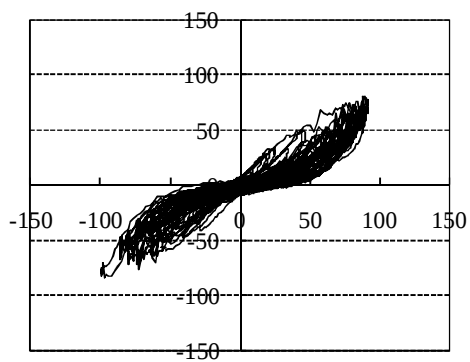
L1



L5



L9



L13

図 2.5.1 -1(A2-3) 荷重変形関係 (A2 2階床) 縦軸：せん断力 (kN) 横軸：変形 (mm)

2.5.2 試験体 No.3

(1) 試験体 No.3 の振動特性

試験体 No.3 では、主要加振前後にホワイトノイズ加振を行った。主要加振前後の固有振動数変化を表 2.5.2-1 に示す。固有振動数は 2 階桁レベルの加速度波形より算出した。加振 A と加振 D は同じ壁配置であるが、加振 D の長辺方向で 15%、短辺方向で 4%ほど剛性が増加している。また、加振 C は加振 A に対して 2 階壁量を増加させたモデルであり、長辺方向で 33%、短辺方向で 25%ほど全体剛性が増している。主要加振後の推定剛性は、主要加振前に比して大きく減少している。

表 2.5.2-1 ホワイトノイズ加振から得られた固有振動数(Hz)

加振	長軸方向	短軸方向	剛体回転
加振 A	2.69 -> 1.59(35%)	2.88 -> 1.25(19%)	4.06 -> --
加振 B	2.88 -> 1.76(37%)	2.74 -> 1.69(38%)	4.15 -> 2.88(48%)
加振 C	3.10 -> 2.37(58%)	3.22 -> 1.51(22%)	4.52 -> 3.05(46%)
加振 D	2.88 -> 1.86(42%)	2.93 -> 1.25(18%)	4.25 -> 1.34(10%)

()内は、主要加振前に対する加振後の推定剛性の比

(2) 応答最大値

各試験体の応答変形最大値を、表 2.5.2-8(A)～(E)示す。

試験体 No.3 2 階建て、柱脚は土台仕様（滑らない仕様） 耐力壁は乾式土壁パネル

1) 加振 3A

偏心なし、1 階と 2 階のバランス良に

稀な地震動

BCJ レベル 1 (2 種地盤) L 方向、S 方向

極めて稀な地震動 BCJ レベル 2 (2 種地盤) L 方向、S 方向

を入力した結果、偏心なしの試験体 3A であるが、S 方向加振では、ややねじれる挙動が見られた。乾式土壁パネル耐力壁のばらつきの影響が考えられる。通常の 2 階建の木造住宅に比べて、2 階の性能を抑えているため、想定通り 1 階の層間変形角と 2 階の層間変形角は、同程度となり、1 階に変形が集中しなかった。

表 2.5.2-2 上部構造変形（稀な地震）(加振 3A)

			3A2 (L)	3A3 (S)
上部構造変形	1 階 (H=2880)	(mm)	8	7
		(rad.)	1/360	1/411
	2 階 (H=2550)	(mm)	9	6
		(rad.)	1/283	1/425

表 2.5.2-3 上部構造変形（極めて稀な地震）(加振 3A)

			3A4 (L)	3A5 (S)
上部構造変形	1 階 (H=2880)	(mm)	70	104
		(rad.)	1/41	1/28
	2 階 (H=2550)	(mm)	74	87
		(rad.)	1/34	1/29

2) 加振 3B

1 階は 3A とほぼ同じ壁量であるが S 方向に偏心（偏心率 0.15 程度）させ、2 階は試験体 3A と同様の試験体 3B

に対して、

極めて稀な地震動 BCJ レベル 2（2 種地盤）L 方向、S 方向
を入力した結果、

偏心のある S 方向加振では大きくねじれる挙動が見られ、壁量の少ない 13 通りで、偏心のない 3A と比べて、同一地震動入力でも層間変形が 1.3 倍大きくなった。ここに、偏心によるねじれ変形の影響が観察された。

表 2.5.2-4 上部構造変形（極めて稀な地震）（加振 3B）

			3B3 (S)	3A5 (S)
上部構造変形	1 階 (H=2880)	(mm)	128	97
		(rad.)	1/23	1/30
	2 階 (H=2550)	(mm)	71	61
		(rad.)	1/36	1/42

3) 加振 C

試験体 3A を 1 階の壁配置を変えずに、2 階のみを増強して、1、2 階のバランスを悪くした試験体 3C

に対して、

稀な地震動 BCJ レベル 1（2 種地盤）L 方向、S 方向

極めて稀な地震動 BCJ レベル 2（2 種地盤）L 方向、S 方向

を入力した結果

1、2 階のバランスが悪いので、試験体 3A と比べて 1 階で変形が増大すると予想されたが、2 階の変形は小さくなったが、1 階の変形は同程度であった。2 階を強くすることによって、通し柱の効果で、1 階の変位が抑制された可能性が考えられる。

表 2.5.2-5 上部構造変形（稀な地震）（加振 3C-3A）

			3C2 (L)	3A2 (L)	3C3 (S)	3A3 (S)
上部構造変形	1 階 (H=2880)	(mm)	8	8	9	7
		(rad.)	1/360	1/360	1/320	1/411
	2 階 (H=2550)	(mm)	6	9	3	6
		(rad.)	1/425	1/283	1/850	1/425

表 2.5.2-6 上部構造変形（極めて稀な地震）（加振 3C-3A）

			3C4 (L)	3A4 (L)	3C5 (S)	3A5 (S)
上部構造変形	1 階 (H=2880)	(mm)	64	70	112	104
		(rad.)	1/45	1/41	1/26	1/28
	2 階 (H=2550)	(mm)	36	74	47	87
		(rad.)	1/71	1/34	1/54	1/29

4) 加振 D

加振 A と同じ壁配置に、

巨大な地震動 JMA 神戸 3 方向

を入力した結果、

各方向、1/20rad.以上に変形をしたが、倒壊はしなかった。柱脚の浮き上がりは S5—13 通で、最大 74mm 以上を計測した。

表 2.5.2-7 上部構造変形 (加振 3D)

		L 方向			S 方向		
		3A2	3A4	3D2	3A3	3A5	3D2
		稀な地震動	極めて稀な地震動	巨大な地震動	稀な地震動	極めて稀な地震動	巨大な地震動
1 階	(mm)	8	70	199	7	104	126
(H=2880)	(rad.)	1/360	1/41	1/14	1/411	1/28	1/23
2 階	(mm)	9	74	141	6	87	127
(H=2550)	(rad.)	1/283	1/34	1/18	1/425	1/29	1/20

荷重変形関係は、図 2.5.2-1 のようになり、最大層せん断力は、 $Q_{\max}=183$ (kN) 層せん断力係数は、S 方向で $C_0=0.81$ 、L 方向で $C_0=0.79$ となっていた。

この試験体 3A 配置であれば、目標設計クライテリアである「稀な地震動」に対して 1/100rad.以下、「極めて稀な地震動」に対して、1/20rad.以下、「巨大な地震動」に対して 1/15rad.以下の変形に収まることが確認された。

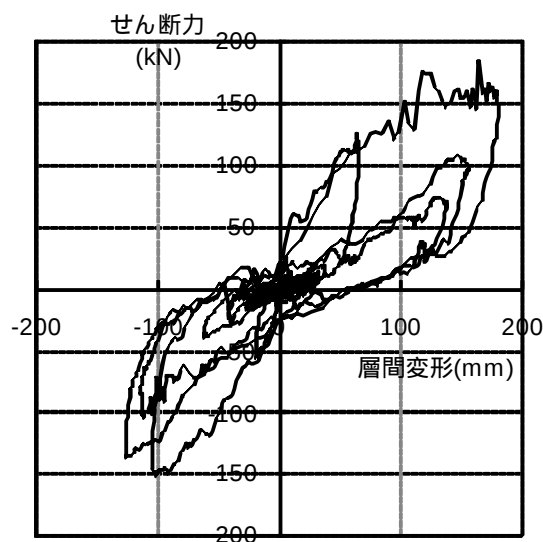


図 2.5.2-1 荷重 - 変形関係 (3D2 S 方向 L5 通)

表 2.5.2 -8(A) 層間変形最大値 (No.3)

壁配置	入力波	種類		L1	L5	L9	L13	S1	S5	S9
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
3A	L1 L方向	1F床→ 2F床	正方向	0	0	0	0	8	7	8
			負方向	0	0	0	-1	-8	-7	-8
			最大値	0	0	0	1	8	7	8
		2F床→ RF床	正方向	0	0	0	0	9	8	8
			負方向	0	0	0	0	-8	-8	-7
			最大値	0	0	0	0	9	8	8
3A	L1 S方向	1F床→ 2F床	正方向	6	6	6	6	0	0	0
			負方向	-7	-7	-7	-7	0	0	0
			最大値	7	7	7	7	0	0	0
		2F床→ RF床	正方向	5	6	6	5	0	0	0
			負方向	-5	-6	-6	-5	0	0	0
			最大値	5	6	6	5	0	0	0
3A	L2 L方向	1F床→ 2F床	正方向	3	1	3	4	64	60	69
			負方向	-5	-2	-2	-5	-64	-61	-70
			最大値	5	2	3	5	64	61	70
		2F床→ RF床	正方向	3	2	2	3	74	72	67
			負方向	-2	-2	-2	-4	-62	-60	-60
			最大値	3	2	2	4	74	72	67
3A	L2 S方向	1F床→ 2F床	正方向	80	83	104	97	6	3	4
			負方向	-81	-84	-97	-90	-4	-2	-5
			最大値	81	84	104	97	6	3	5
		2F床→ RF床	正方向	56	79	87	61	12	3	8
			負方向	-55	-71	-68	-54	-6	-1	-11
			最大値	56	79	87	61	12	3	11

表 2.5.2 -8(B) 層間変形最大値 (No.3)

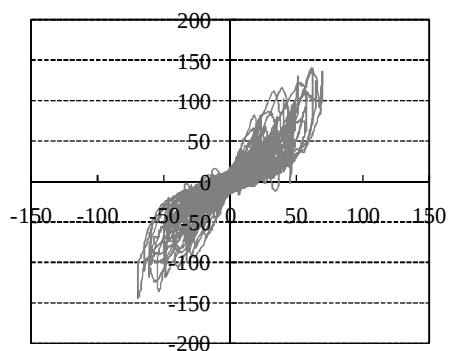
壁配置	入力波	種類		L1	L5	L9	L13	S1	S5	S9
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
3B	L2 L方向	1F床→ 2F床	正方向	3	1	2	4	46	44	53
			負方向	-4	-1	-1	-6	-51	-49	-57
			最大値	4	1	2	6	51	49	57
		2F床→ RF床	正方向	1	2	2	2	59	57	46
			負方向	-1	-3	-3	-3	-55	-52	-49
			最大値	1	3	3	3	59	57	49
3B	L2 S方向	1F床→ 2F床	正方向	48	67	110	128	17	2	19
			負方向	-58	-68	-102	-117	-18	-3	-26
			最大値	58	68	110	128	18	3	26
		2F床→ RF床	正方向	34	67	71	52	20	1	13
			負方向	-40	-65	-63	-45	-19	-3	-19
			最大値	40	67	71	52	20	3	19

表 2.5.2 -8(C) 層間変形最大値 (No.3)

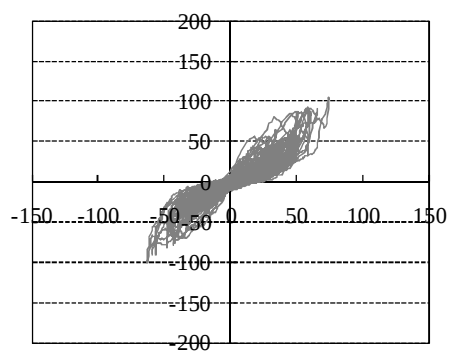
壁配置	入力波	種類		L1	L5	L9	L13	S1	S5	S9
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
3C	L1 L方向	1F床→ 2F床	正方向	0	0	0	0	6	6	6
			負方向	0	0	0	-1	-7	-7	-8
			最大値	0	0	0	1	7	7	8
		2F床→ RF床	正方向	0	0	0	0	4	6	3
			負方向	0	0	0	0	-4	-6	-3
			最大値	0	0	0	0	4	6	3
3C	L1 S方向	1F床→ 2F床	正方向	5	6	7	7	0	0	0
			負方向	-6	-7	-9	-9	0	0	0
			最大値	6	7	9	9	0	0	0
		2F床→ RF床	正方向	2	1	2	3	0	0	0
			負方向	-2	-1	-2	-3	0	0	0
			最大値	2	1	2	3	0	0	0
3C	L2 L方向	1F床→ 2F床	正方向	4	1	3	4	55	50	57
			負方向	-6	-2	-2	-5	-58	-53	-64
			最大値	6	2	3	5	58	53	64
		2F床→ RF床	正方向	1	0	1	2	45	51	32
			負方向	-1	-1	-1	-2	-38	-46	-36
			最大値	1	1	1	2	45	51	36
3C	L2 S方向	1F床→ 2F床	正方向	65	84	112	103	11	2	12
			負方向	-69	-82	-101	-93	-12	-3	-14
			最大値	69	84	112	103	12	3	14
		2F床→ RF床	正方向	32	37	47	40	8	2	6
			負方向	-35	-37	-39	-38	-7	-30	-8
			最大値	35	37	47	40	8	30	8

表 2.5.2 -8(D) 層間変形最大値 (No.3)

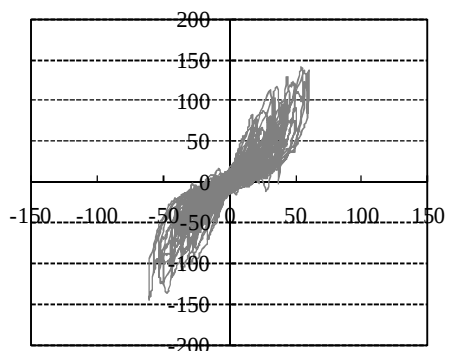
壁配置	入力波	種類		L1	L5	L9	L13	S1	S5	S9
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
3D	JMA神戸 LSZ方向	1F床→ 2F床	正方向	199	175	195	121	84	80	96
			負方向	-118	-120	-131	-122	-126	-109	-121
			最大値	199	175	195	122	126	109	121
		2F床→ RF床	正方向	100	138	141	68	86	87	81
			負方向	-68	-119	-116	-71	-118	-121	-127
			最大値	100	138	141	71	118	121	127



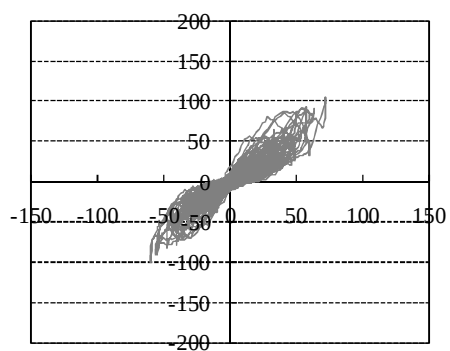
1F-S9



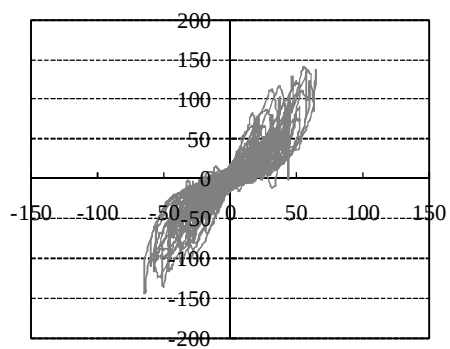
2F-S9



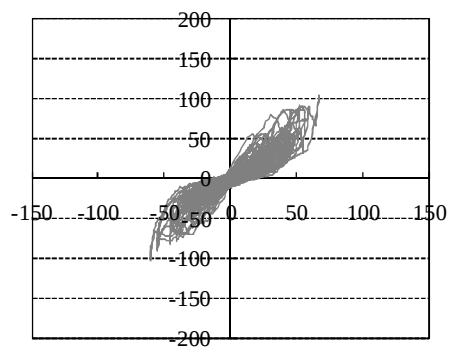
1F-S5



2F-S5

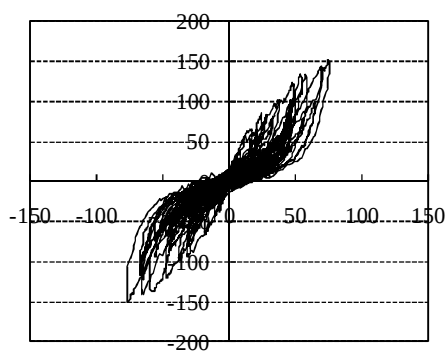


1F-S1

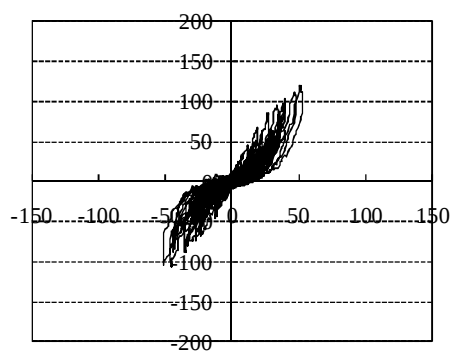


2F-S1

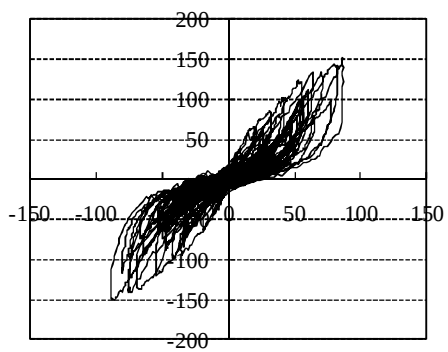
図 2.5.2 -1(3A-4) 荷重変形関係
加振 3A-4 BCJ-L2 (L 方向)
縦軸：せん断力 (kN) 横軸：変形 (mm)



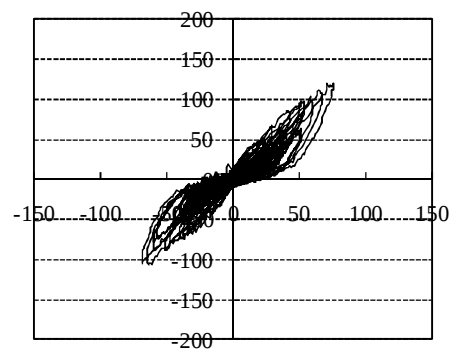
1F-L1



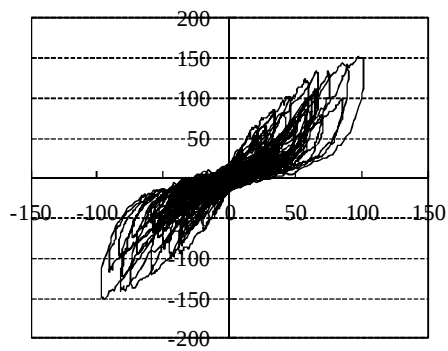
2F-L1



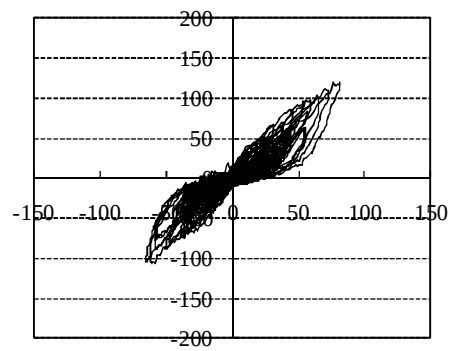
1F-L5



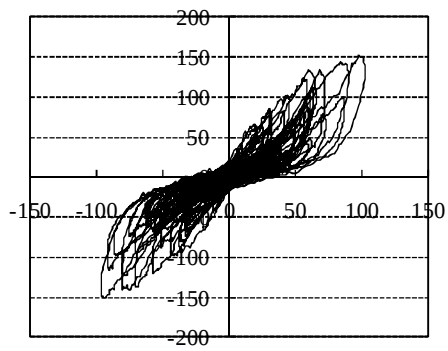
2F-L5



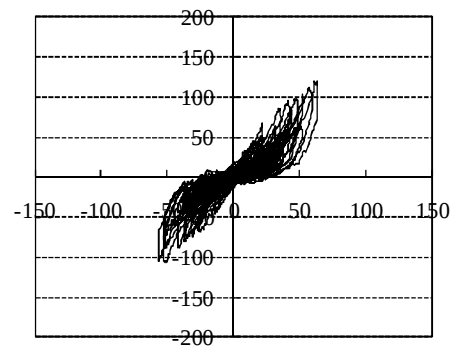
1F-L9



2F-L9

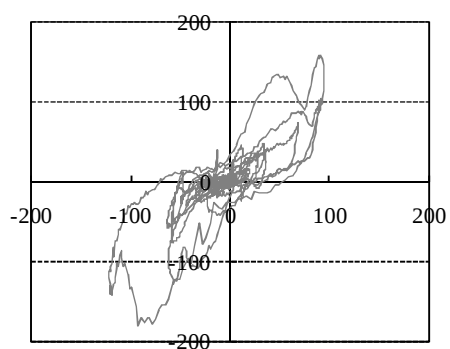


1F-L13

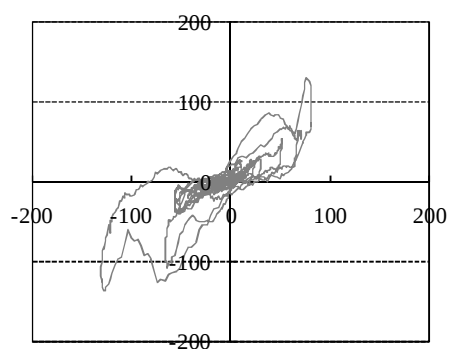


2F-L13

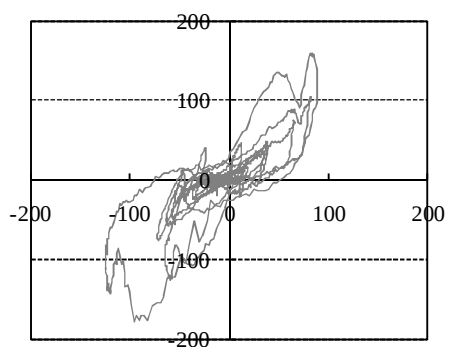
図 2.5.2-1(3A-5) 荷重変形関係
加振 3A-5 BCJ-L2 (S 方向)
縦軸：せん断力 (kN) 横軸：変形 (mm)



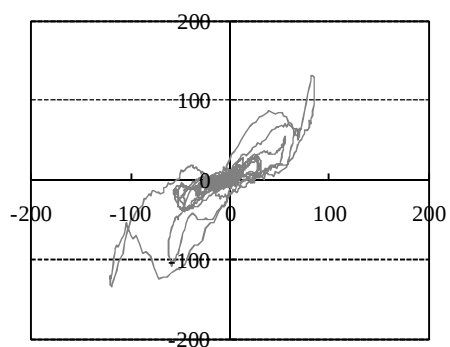
1F-S9



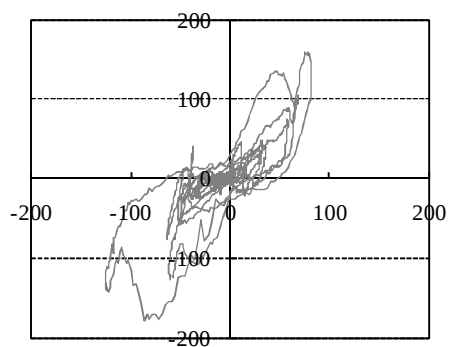
2F-S9



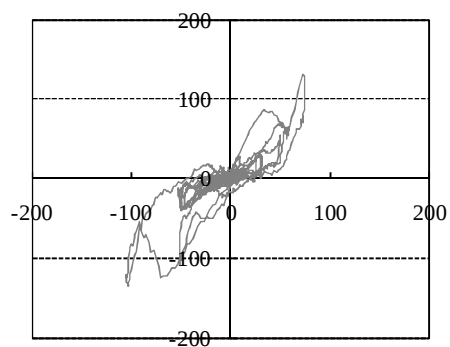
1F-S5



2F-S5

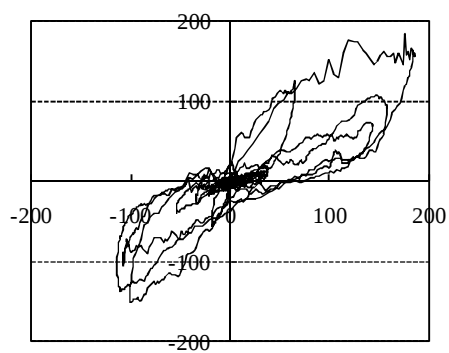


1F-S1

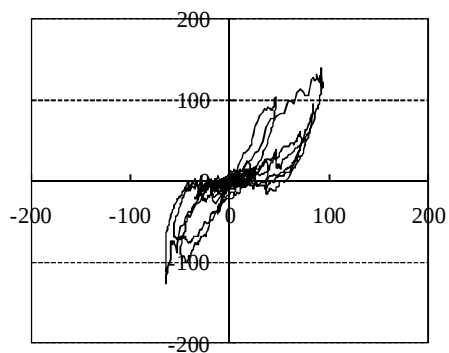


2F-S1

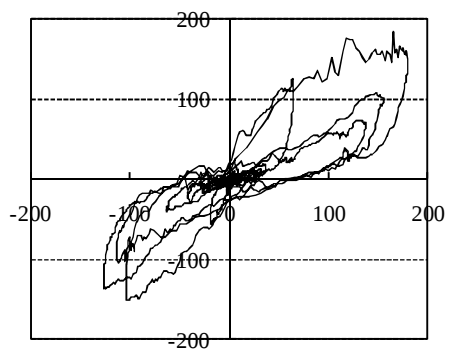
図 2.5.2 -1(3D-2) 荷重変形関係
加振 3D-2 JMA 神戸 3D
縦軸：せん断力 (kN) 横軸：変形 (mm)



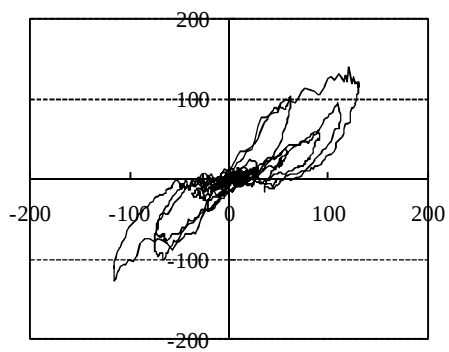
1F-L1



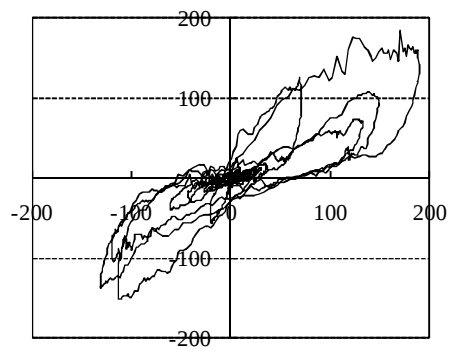
2F-L1



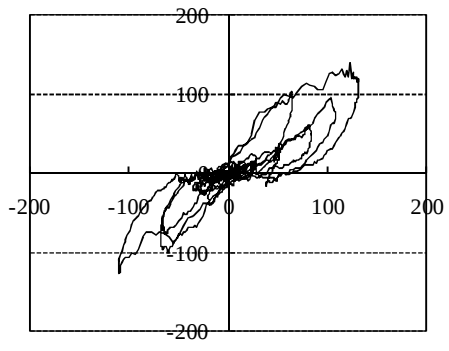
1F-L5



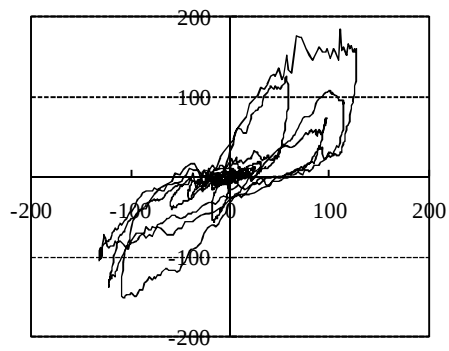
F-L5



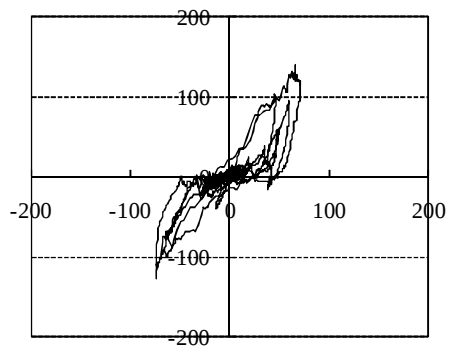
1F-L9



2F-L9



1F-L13



2F-L13

図 2.5.2-1(3D-2) 荷重変形関係
加振 3D-2 JMA 神戸 3D
縦軸：せん断力 (kN) 横軸：変形 (mm)

2.5.3 試験体 No.4

(1) 試験体 No.4 の振動特性

試験体 No.4 では、主要加振前後にホワイトノイズ加振を行った。主要加振前後の固有振動数変化を表 2.5.3-1 に示す。固有振動数は 2 階桁レベルの加速度波形より算出した。加振 A は、BCJ-L2 加振であり、主要加振後の推定剛性は、主要加振前に比して大きく減少している。これは、試験体 No.3 の加振 A,B と同様である。また、加振 B,C では、長軸方向の推定剛性の減少幅が小さい。これも、試験体 No.3 の加振 D と同様とも言える。ただし、本データのみでは地震動の影響と断定はできない。

表 2.5.3-1 ホワイトノイズ加振から得られた固有振動数(Hz)

加振	長軸方向	短軸方向	剛体回転
加振 A	1.76 -> 1.10(39%)	1.91 -> 1.08(32%)	-- -> 4.23
加振 B	1.37 -> 1.22(79%)	1.59 -> 1.08(46%)	4.45 -> 3.96(79%)
加振 C	1.34 -> 1.10(64%)	1.22 -> 1.08(46%)	-----

()内は、主要加振前に対する加振後の推定剛性の比

また、試験体 No.4 では、一部、常時微動観測を行った。常時微動観測から得られた固有振動数を表 2.5.3-2 に示す。表より、ほ通りのみで計測を行った故か、長軸方向の固有振動数は、構面に関係なくほぼ一定であるが、短軸方向の固有振動数は、構面ごとに変化し、9 通りでは、2 つのピークが観測された。これは、隣接する 5 通り、13 通りの影響と考えられる。なお、加振 B 前後の推定剛性の変化は、長軸方向で 79-81%、短軸方向で 46%,51%,71%,74%となった。これは、表 2.5.3-1 の推定剛性変化に一致する部分もある。

表 2.5.3-2 常時微動観測から得られた固有振動数(Hz)

測定場所	1 通り		5 通り		9 通り		13 通り	
	長軸	短軸	長軸	短軸	長軸	短軸	長軸	短軸
加振 A 前	1.83	1.54	1.82	1.54	1.84	1.55/2.58	1.83	2.56
加振 B 前	2.02	2.43	2.04	2.33	2.02	2.21/2.80	2.02	2.71
加振 B 後	1.82	1.65	1.81	1.66	1.82	1.69/2.36	1.81	2.33

(ほ通り上で計測)

(2) 応答最大値

各試験体の応答変形最大値を、表 2.5.3-*(A)~(E)示す。

試験体 No.4 2 階建て、柱脚は石場建て(滑る仕様) 耐力壁は土塗り壁(厚約 60mm)

1) 加振 4A

偏心大(特に短辺方向加振、0.2 程度) 1 階と 2 階のバランス良、1 階積載荷重ありに、

稀な地震動 B C J レベル 1 (2 種地盤) L 方向、S 方向

極めて稀な地震動 B C J レベル 2 (2 種地盤) L 方向、S 方向

を入力した結果、

1 階の応答変形角は「稀な地震動」に対して 1/150rad.以下、「極めて稀な地震動」に対して、1/15rad.以下となり概ね目標設計クライテリアに達していた。

偏心が大きいため、建物全体がねじれる挙動を示した。偏心の小さい L 方向加振でもねじれ、1 階層間変位は、S1 通りで最大 110mm、反対側の S9 通りでは 43mm と変形差が大きい。柱脚滑りは、L（加振）方向最大 46mm、短辺（直交）方向最大 56mm と一方向加振でも直交方向に大きく柱脚が移動していた。

S 方向加振ではねじれがさらに大きく、1 階層間変位は、L1 通りで最大 171mm、L9 通りで 66mm となっていた。L9 通りの変形から描いた荷重変形関係は、図 2 のようになり、120kN 程度で、せん断力が頭打ちになっているのが分かる。このとき、 $C_0=0.44$ であり、これが柱脚の動摩擦係数と推定される。

柱脚滑りは、S（加振）方向最大 96mm、最小 30mm、L（直交）方向最大 74mm となっていた。図 3 に、柱脚のすべりの時刻歴を示すが、滑り変形が片側に偏っているのがわかる。また、柱脚のすべりは、図構面ごとの柱脚移動量の差が顕著であった。

表 2.5.3-3 応答変形（加振 4A）

		L 方向		S 方向	
		4A2	4A4	4A3	4A5
		稀な地震動	極めて稀な地震動	稀な地震動	極めて稀な地震動
柱脚滑り	(mm)	1	46	1	96
1 階 (H=2880)	(mm)	17	110	16	171
	(rad.)	1/169	1/26	1/180	1/17
2 階 (H=2550)	(mm)	14	75	13	70
	(rad.)	1/182	1/34	1/196	1/36

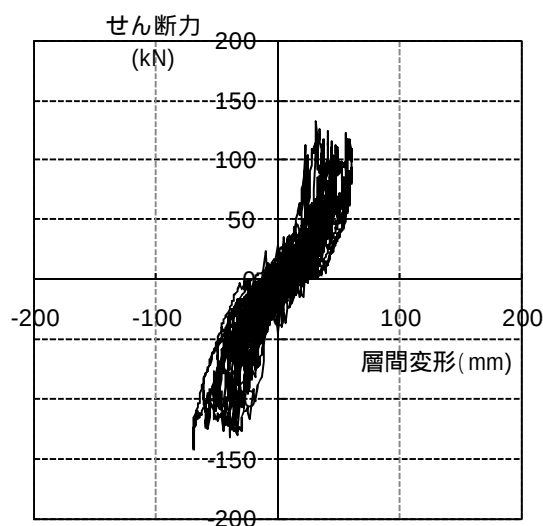


図 2.5.3-1 荷重 - 変形関係（4A5 S 方向 L9 通）

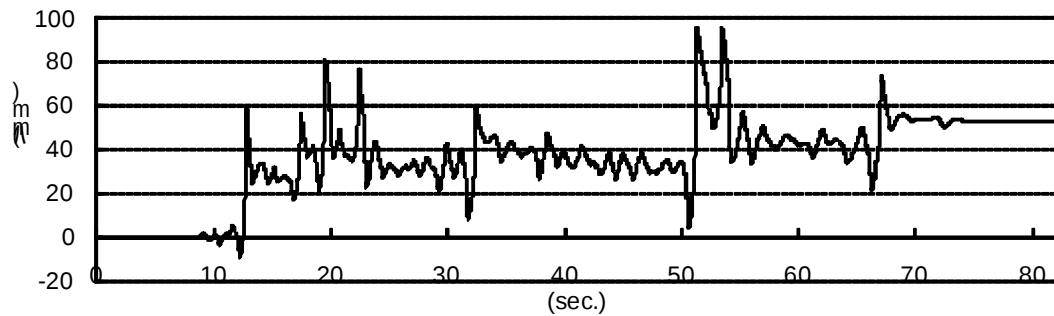


図 2.5.3-2 柱脚のすべり時刻歴 (4A5 S 方向 L1 通)

2) 加振 4B

試験体に次のような補修補強を加えた。

前日加振で損傷の大きかった 1 通り「と～り」間、9 通り「い～は」間の土塗り壁を乾式土壁パネルに交換、1 通り「ろ～へ」間、い通り「2～4」間に腰壁（乾式土壁パネル）設置、い通り「10～12」間に垂壁（乾式土壁パネル）設置。い 1 柱の足固めほぞは羽子板ボルトで補強。

この試験体 4B に、

巨大な地震動 JMA 神戸 3 方向加振（NS 方向成分を短辺方向に）

を入力した結果、

偏心は試験体 4A より小さいが、ねじれ挙動が見られた。補強まで含めれば、「巨大な地震動」に対して、ほぼ設計クライテリアを満足していた。

表 2.5.3 4 応答変形（加振 4B）

		L 方向	S 方向
柱脚滑り	(mm)	>189	120
1 階 (H=2880)	(mm)	133	105
	(rad.)	1/22	1/27
2 階 (H=2550)	(mm)	106	89
	(rad.)	1/24	1/29

柱脚滑りは、ストッパーが効いた可能性あり

3) 加振 4C

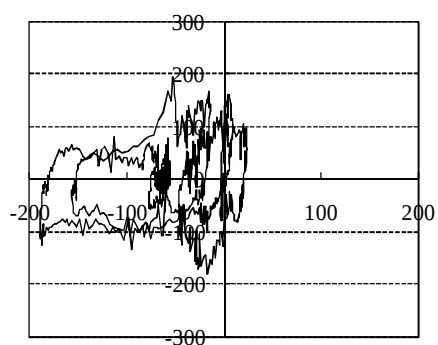
試験体 4B の 1 階床の積載荷重を取り除いて、

巨大な地震動 JMA 神戸 3 方向加振（NS 方向成分を短辺方向に）
を入力した結果

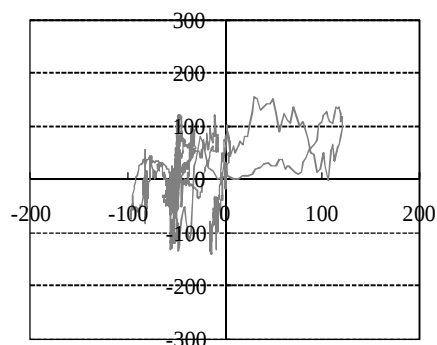
M₀ 効果により、柱脚滑り量の増大が予想されたが、M₀ が小さくなり、摩擦力が小さくなったが、1 階床の地震力も小さくなったので、柱脚滑り量は試験体 4B に比べて小さくなった。

表 2.5.3 5 応答変形（加振 4C、4B）

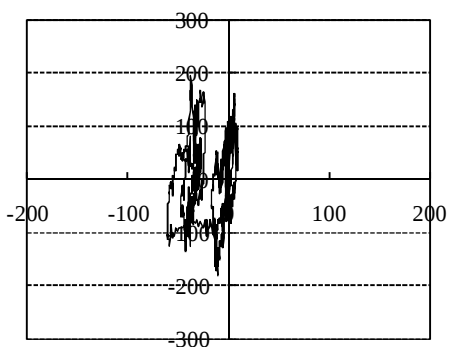
		L 方向		S 方向	
		4C	4B	4C	4B
柱脚滑り	(mm)	147	>189	109	120
1 階 (H=2880)	(mm)	138	133	93	105
	(rad.)	1/21	1/22	1/31	1/27
2 階 (H=2550)	(mm)	113	106	78	89
	(rad.)	1/23	1/24	1/36	1/29



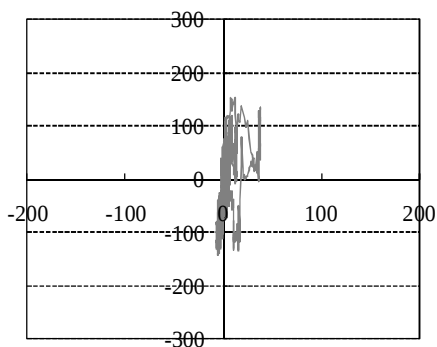
B-L1



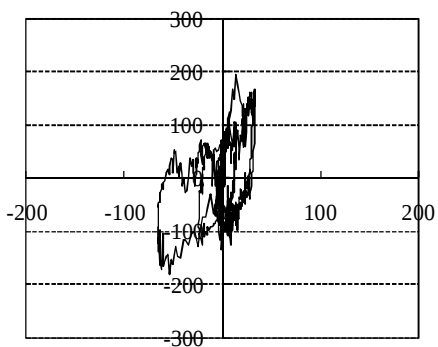
B-S9



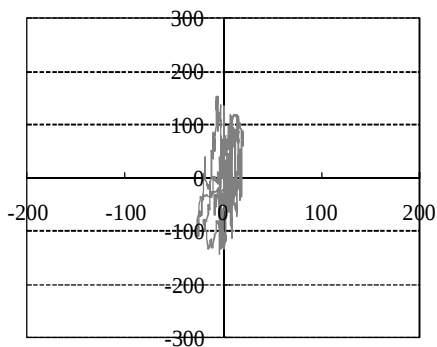
B-L5



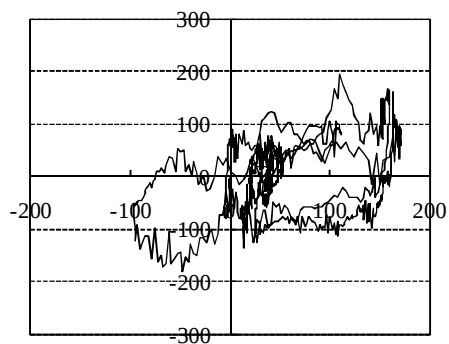
B-S5



B-L9

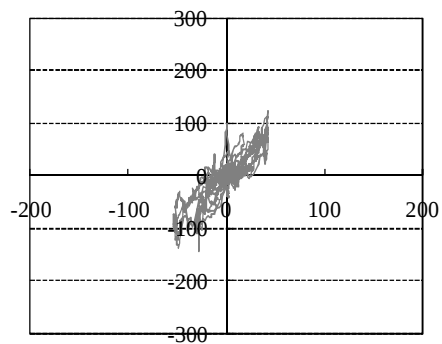


B-S1

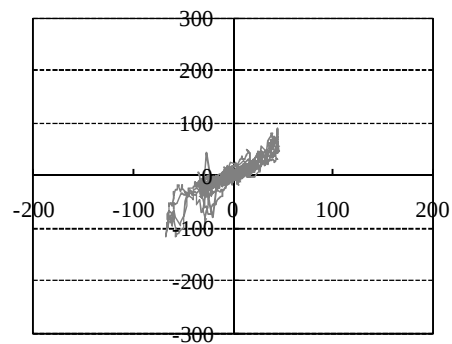


B-L13

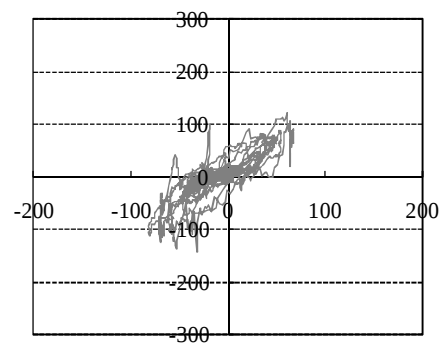
図 2.5.3 -*(4B-4) 荷重変形関係 (柱脚)
加振 4B-4 JMA 神戸 3D
縦軸：せん断力 (kN) 横軸：変形 (mm)



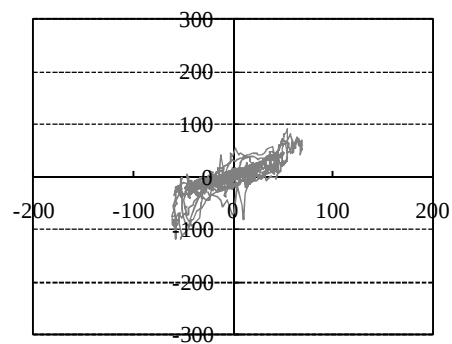
1F -S9



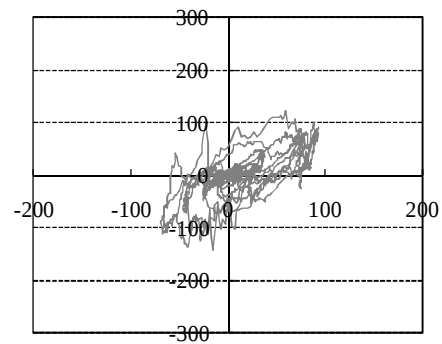
2F -S9



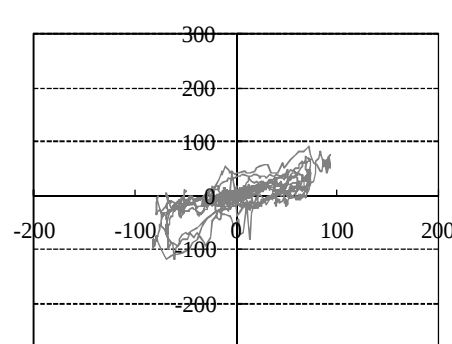
1F -S5



2F -S5



1F -S1

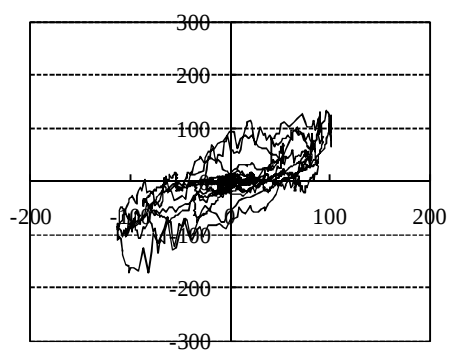


2F -S1

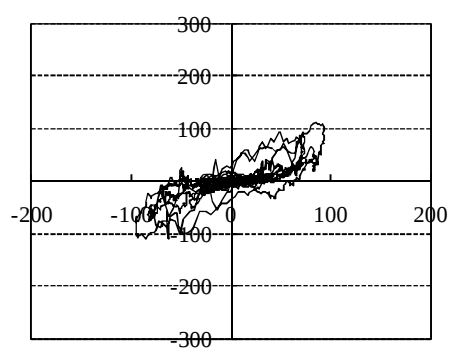
図 2.5.3 -*(4B-4) 荷重変形関係 (L 方向)

加振 4B-4 JMA 神戸 3D

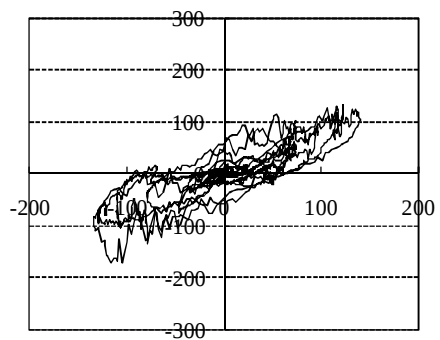
縦軸：せん断力 (kN) 横軸：変形 (mm)



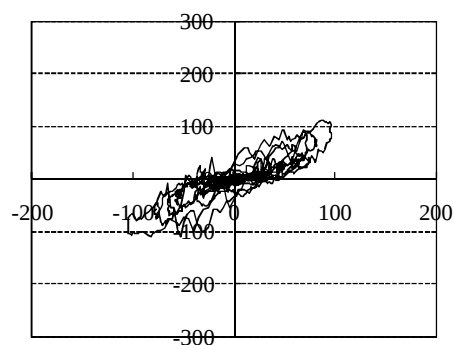
1F-L1



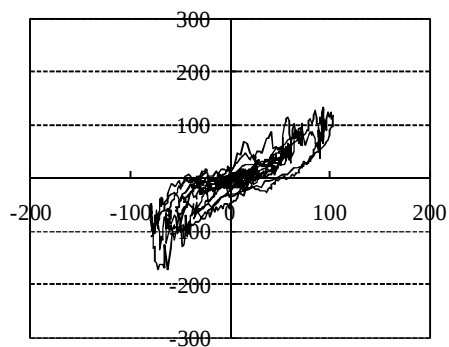
2F-L1



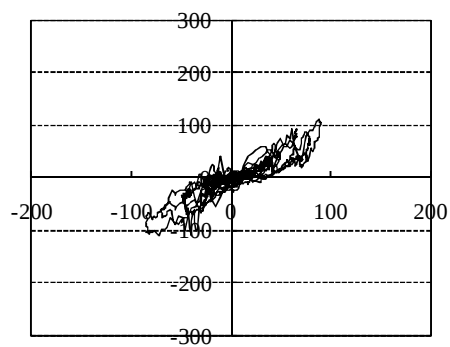
1F-L5



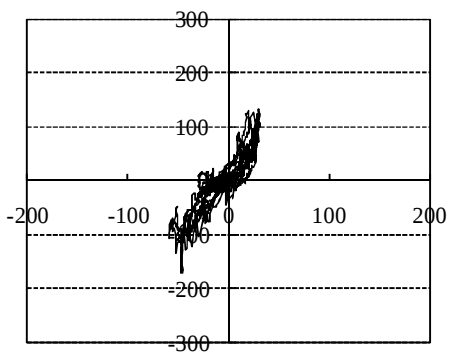
2F-L5



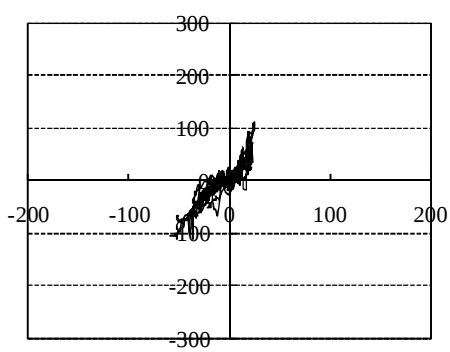
1F-L9



2F-L9



1F-L13



2F-L13

図 2.5.3 -* (4B-4) 荷重変形関係 (S 方向)

加振 4B-4 JMA 神戸 3D

縦軸：せん断力 (kN) 横軸：変形 (mm)

2.5.4 まとめ

- ・全体としては、基準法の「極めて稀な地震動」に対して滑り量が柱幅（15cm）程度以下、「巨大な地震動」に対しては大きく滑るが転倒を免れるという結果であり、設計クライテリアを満足するような試験体と考えられる。
- ・柱脚が滑る場合、滑り量の予想が難しい。摩擦係数の変動のためか、偏心がなくてもねじれるように滑ったり、加振方向によって滑り量が相当異なったりする。
- ・摩擦係数の変動の要因として、足固め下に設置された束の転倒およびそれによる軸力負担と水平抵抗等があげられ、今後の検討が必要である。
- ・ M_0 効果として、「1 階床に積載荷重があると、摩擦力を増大するので滑りにくくなる」と考えたが、巨大な地震動など地震入力が大きき場合には、かえって滑り量が増えるという結果であった。
- ・No.3 で 2 階の壁量を増して 1 階に変形を集中させようとした加振では、2 階の壁量を増す前の加振と比べて 1 階の変形は増大しなかった。等価質量の考え方からすると変形が増大するはずだが、通し柱が 1 階の変形を抑える働きをしたものと考えられる。
- ・試験体 No.4 の足固め高さでの柱の折損は、巨大な地震動（JMA 神戸波）1 回目の加振で亀裂が生じ、2 回目ですらに増大する結果となったため、設計上の留意点と考えられる。