５．材料部会

５．１　今年度の活動方針と進捗状況報告

５．１．１　材料品質接合ＷＧと天然乾燥ＳＷＧの今年度の活動方針

伝統的技術を活用して木造住宅を設計・建築する際、もしくは伝統的技術を活用した木造建築物の建築確認審査を受ける際に障害となっている課題はいくつかある。このうち、材料に起因する問題で実務者が最も重要と考える問題、並びに実務者の経験に基づく知見と科学的に証明されている知見の間に多少の相違、もしくは齟齬がある問題について抽出し、経済的、労力的に可能な範囲で解決に資する技術的検討を行うことを目的とした。

そもそも木造建築物の構造設計に際して、時刻歴応答計算や限界耐力計算、エネルギー法を適用した場合を除いた全ての場合に、建築基準法施行令（以下、「令」と称する）第3章第3節の仕様書的規定が適用されるが、令第46条第2項を適用して、S62建設省告示（以下、「建告」と称する）第1898号に掲げる材料を使用して、S62建告第1899号の構造計算、則ち許容応力度計算を行えば多くの仕様規定が適用除外される。壁量規定が除外されると差し鴨居の回転抵抗を考慮に入れた独立柱の耐力計算や垂れ壁や腰壁の類の耐力計算に基づいた構造設計が可能となり、伝統構法には極めて有効と考えられる。

しかし、ここで障害となるのはS62建告第1898号に掲げる材料を使用しなければならないことであり、基本的には日本農林規格（JAS）を適用した製材（含水率15%または20%以下）、集成材、LVL等に限られていることである。製材のJASでは、乾燥材の生産には乾燥設備を有することが必要条件として位置づけられており、基本的に天然乾燥材は未乾燥材と同列の扱いである。

そこで、製材のJAS見直し（H23改正案策定済み）に合わせて、天然乾燥の位置づけを同規格に盛り込むべく、天然乾燥の定義やその含水率と乾燥割れの程度の関係に関する技術的な知見、並びに伝統構法に許容される乾燥割れや節等の欠点について、伝統構法の構造方法の技術的基準のなかで、「材料」に関する規定として盛り込むことを検討することが、最優先課題と位置づけて検討を進めてきた。

材料部会のうち、材料品質・接合WG、天然乾燥SWGについては、以上の考え方に基づいて、昨年度までの検討事項で今年度も検討が必要な事項に、実務者らよって検討を要望された事項を加えて実施した。

５．１．２　耐久性ＷＧの今年度の活動方針

昨年度までに実施してきた、伝統的構法による木造建築物の劣化状況を引き続き継続して実施し、劣化状況について、次年度最終的にとりまとめる際に必要なデータ収集を行った。また、銅板、または銅イオンの腐朽抑制効果検証実験についても継続して行い、次年度に抑制効果の有無について、最終的な結論を得ることを目的として必要な検討を行った。さらに、本プロジェクトの最終年度以降についても、伝統的木造建築物の劣化状況に関するデータ収集は継続して行われるべき課題であると考え、本WGのメンバーに寄らずとも同様の劣化状況に関するデータ収集が広く行われるよう、劣化状況調査マニュアルの策定を目標とし、その素案の検討を行った。

５．１．３　古材ＷＧの今年度の活動方針

木造軸組構法を建築する際に、建築基準関係法令上、古材を制限する規定はないため、主として学術的見地から、伝統的構法に古材を使用しても問題が無いことを確認することを目的として、検討を進めた。

５．１．４　材料部会のＨ２３年度検討課題

表5.1-1に平成23年度において材料部会が実施した研究課題の一覧を示す。材料部会では、原則的にこの表に掲げる研究課題を各WG単位内で遂行し、1～2ヶ月おきに部会を開催して、各WGの進捗状況を報告し、部会全体で研究推進内容を検討した。

表5.1-1　平成23年度材料部会研究課題

１．　伝統的構法に使用する木材の品質と接合性能	（材料品質・接合WG）
１．１　乾燥方法の差異が長ほぞ込み栓接合部の力学特性に与える影響	
１．２　柱の背割りがその捻れ抵抗性能に与える影響	
１．３　込み栓に使用する広葉樹の生産実態に関する調査	
１．４　実務者の目視選別の内容と方法に関する調査	
１．５　通し柱の欠点が連層壁のせん断性能に与える影響	
１．６　乾燥方法の差異がその切削特性に与える影響	
２．　天然乾燥材の干割れの進行に関する研究	（材料品質・接合WG）
２．１　屋外屋根付き環境における干割れの進行と標準状態との比較	
２．２　葉枯らし乾燥の有無が天然乾燥における干割れの進行に与える影響	
２．３　多雪地での屋外における天然乾燥と干割れの進行	
２．４　温暖地での屋外における天然乾燥と干割れの進行	
２．５　水中貯木処理材の重量変化	（天然乾燥SWG）
２．６　干割れ調査のまとめ	
３．　水中貯木処理材の特性	（天然乾燥SWG）
３．１　乾燥速度推定のための100℃試験	
（１）　未乾燥材の乾燥速度の推定	
（２）　水中貯木材の乾燥速度の推定	
３．２　水中貯木材の含水率分布	
４．　天然乾燥の実態調査	（天然乾燥SWG）
４．１　調査目的	
４．２　調査方法	
４．３　調査結果	
４．４　まとめ	
５．　伝統的木造建築物の耐久性	（耐久性WG）
５．１　伝統的木造建築物の耐久性調査	
５．２　銅製金物の腐朽抑制効果の検証	
５．３　伝統的木造建築物の耐久性調査マニュアル	
５．４　まとめ	
６．　古材の強度性能と評価	（古材WG）
６．１　古材の材料試験・めり込み試験と仕口接合部実験の意義と目的	
６．２　実験計画	
（１）　対象とした古材	

（2）　実験計画の概要
6．3　古材の材料試験
（1）　対象材料
（2）　試験方法
6．4　古材のめり込み試験
（1）　試験方法
（2）　評価方法
（3）　結果と考察
6．5　古材の実大強度性能
（1）古材の強度特性
（2）　欠損を考慮した古材データベース作成
6．6　古材・新材を用いた仕口接合部実験

（1）　仕口接合部実験
（2）　貫の仕口解析用定数を求める試験
6．7　古材の材料特性・めり込み特性の総合的評価と今後の課題
6．8　古材の再利用と評価について

7．　部材の一部が生物劣化した実大伝統的木造建築物の水平耐力

8．　まとめ

５．２　伝統的構法に使用する木材の品質に関する検討

５．２．１　通柱の欠点が連層壁のせん断性能に与える影響

（１）目的

伝統的構法による木造建築物の設計において、通し柱の曲げ戻し効果を水平耐力計算に含むことがある。木材の曲げの許容応力度、材料強度はその節や目切れ等の欠点により、低下することが知られている。しかし、この通し柱の耐力を耐力計算に入れる場合に、その欠点について品質管理、制御した上で使用しているか否かは、不明である場合が多い。そこで、本節では実際に欠点を有する通し柱と欠点が制御された通し柱を構成材料として連層耐力壁試験体を作成し、せん断試験に供することで、通し柱の品質管理の有効性の検証を試みた。

（２）試験体概要

1)共通仕様

試験体は、表5.2.1-1に示すスギ部材を主に用いた伝統的架構とし、図5.2.1-1に示すように柱芯々幅が1820mm、桁芯までの高さが5630mmの2層試験体である。通し柱の下段と中段にはほぞ差しの足固めと胴差接合部を設け、2層には写真5.2.1-1の受け材を使用した真壁形式の構造用合板耐力壁、桁は長ほぞ差しで通し柱と接合している。

表5.2.1-1　構成部材の仕様

部材	樹種	等級	断面寸法
通し柱	スギ	無等級	150mm×150mm
桁	スギ	無等級	150mm×240mm
胴差	スギ	無等級	150mm×300mm
足固め	スギ	無等級	120mm×180mm
鼻栓	カシ	無等級	10mm×30mm
込み栓	カシ	無等級	18mm×18mm
構造用合板	カラマツ（3層）	JAS特類2級	150mm×240mm

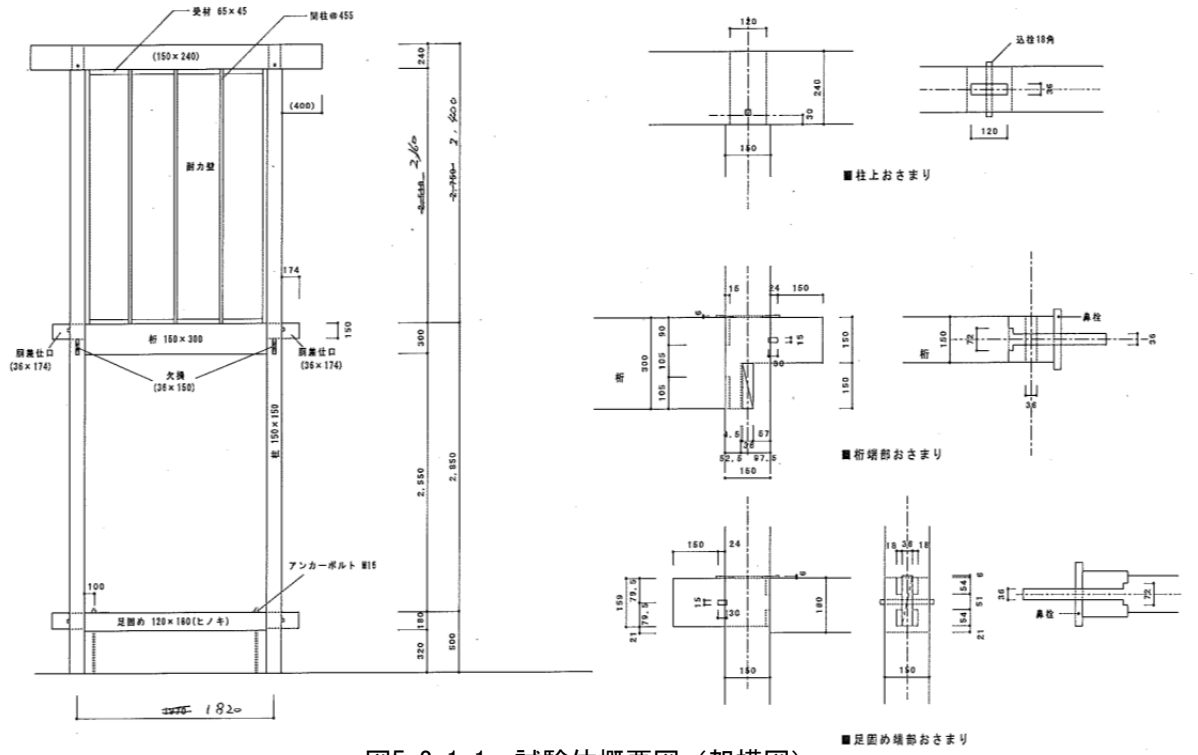


図5.2.1-1　試験体概要図（架構図）

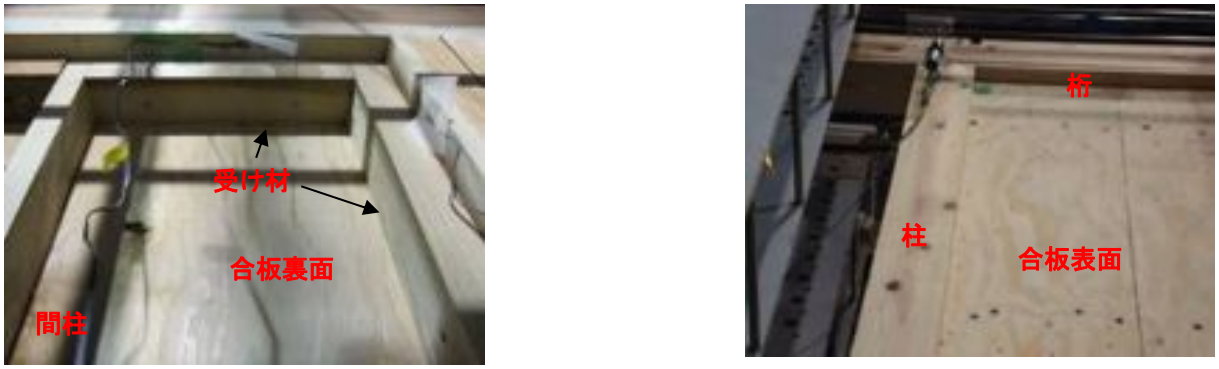


写真5.2.1-1　2層構造用合板収まり

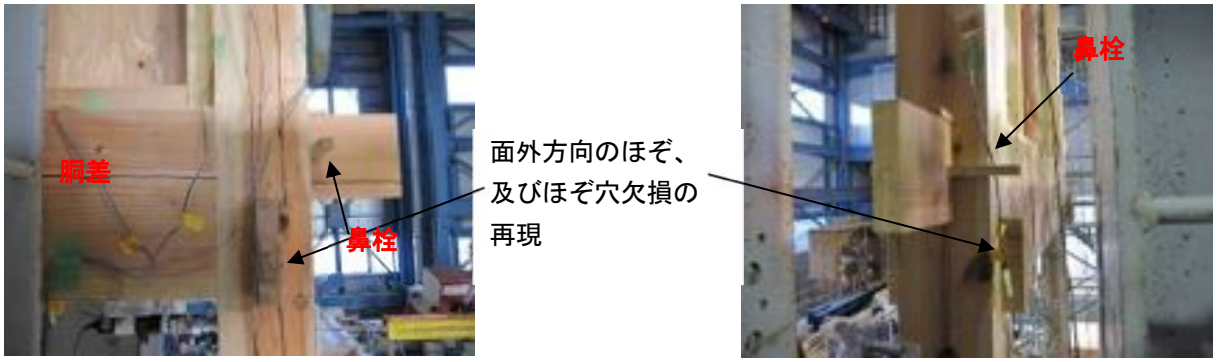


写真5.2.1-2　胴差仕口概要

また、通し柱－胴差接合部には、面外方向のほぞ穴欠損及び、ほぞも再現し、写真5.2.1-2のように建物の立体架構における実際の接合及び欠損状態を再現してある。

以降、図5.2.1-1試験体図より左側を南側柱、右側を北側柱、各横架材を、下から足固め、胴差、桁と記述する。

次に、各部材の弾性係数と含水率を表5.2.1-2及び表5.2.1-3にそれぞれ示した。含水率は部材両端木口付近で測定したその平均値、弾性係数は部材曲げ実験を実施して力学的つり合いにより算出した結果を示してある。

表5.2.1-2　試験体構成部材の曲げ弾性係数

部材弾性係数 [t/cm^2]						
	柱-南	柱-北	胴差	足固め	桁	柱-南、北平均
C1	78.8	95.1	88.8	120.4	77.8	87.0
C2	86.7	92.4	82.7	121.6	85.4	89.6
C3	87.5	89.0	76.8	130.6	98.1	88.3
C4	96.4	98.6	76.5	100.3	68.6	97.5
C-AVE	87.4	93.8	81.2	118.2	82.5	90.6
F1	87.2	91.3	91.5	118.1	76.1	89.3
F2	91.3	88.8	83.2	122.6	87.6	90.1
F3	78.4	94.5	83.0	128.2	90.9	86.5
F4	86.3	114.9	69.5	93.3	46.9	100.6
F5	92.1	100.6	79.5	130.7	87.7	96.4
F6	97.3	97.8	77.2	126.4	85.4	97.6
F-AVE	88.8	98.0	80.7	119.9	79.1	93.4
10部材平均	88.2	96.3	80.9	119.2	80.5	92.3

表5.2.1-3　試験体構成部材の含水率

元末口の平均含水率 [%]						
	柱-南	柱-北	胴差	足固め	桁	柱-南、北平均
C1	20.1	33.3	29.8	15.9	23.6	26.7
C2	37.8	31.6	47.6	17.6	29.1	34.7
C3	31.0	26.8	46.4	18.9	25.8	28.9
C4	14.7	28.3	17.1	15.2	15.8	21.5
C-AVE	25.9	30.0	35.2	16.9	23.6	28.0
F1	37.0	36.5	41.8	14.9	21.9	36.8
F2	33.6	35.6	34.1	17.6	25.2	34.6
F3	42.3	46.3	42.2	15.7	21.0	44.3
F4	19.3	23.4	14.1	17.2	14.2	21.4
F5	19.0	21.2	15.8	16.7	14.4	20.1
F6	42.8	27.9	16.2	15.6	15.2	35.4
F-AVE	32.3	31.8	27.4	16.3	18.7	32.1
10部材平均	29.8	31.1	30.5	16.5	20.6	30.4

柱の10部材平均弾性係数は南側平均で88.2t/cm^2、北側平均で96.3t/cm^{2}である。
C試験体の柱の南北平均では87.0t/cm^2、89.6t/cm^2、88.3t/cm^2、97.5t/cm^2、F試験体では89.3t/cm^2、90.1t/cm^2、86.5t/cm^2、100.6t/cm^2、96.4t/cm^2、97.6t/cm^{2}であり、その差は小さい。加えて、そのC、F試験体毎の平均は各90.6 t/cm^2、93.4 t/cm^{2}であり、各試験体の弾性係数の差が小さくなるように試験体部材を選択構成した。

2)節・目切れなどの欠点配置と試験体名称

ほぞ加工による断面欠損のある通し柱－胴差接合部の通し柱に、写真5.2.1-3から写真5.2.1-4に示す節などの欠点を有する試験体を6体、節などの欠点を有しない試験体を4体、合計10体を本実験の試験体とする。節を有する、及び節を有しない試験体は表5.2.1-2から表5.2.1-4に示すF試験体、及びC試験体とし、それぞれをF-1,2,3,4,5,6、C-1,2,3,4試験体とする。



写真5.2.1-3　節を有する胴差接合部



写真5.2.1-4　節を有しない胴差接合部

表5.2.1-4　試験体名称

	試験体名称					
節を有する接合部	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6
節を有しない接合部	C-1	C-2	C-3	C-4		

（３）実験概要

前章で述べた2層試験体を静的に加力し、胴差接合部の通し柱部材の欠点有無が起因する試験体耐力性状への影響を検証する。

写真5.2.1-5に示すように試験体を鉄骨架台に乗せ、最上部の桁をローラーでガイドし、面外方向への移動を拘束した状態で加力を実施した。また、試験体の浮き上がり及びロッキングを拘束するために写真5.2.1-6及び図5.2.1-2に示す位置に足固めと鉄骨架台をアンカーボルトで緊結してある。

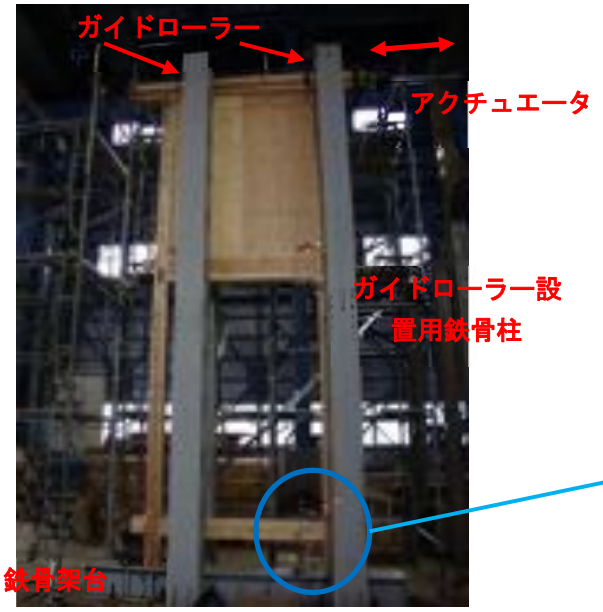


写真5.2.1-5　試験体設置

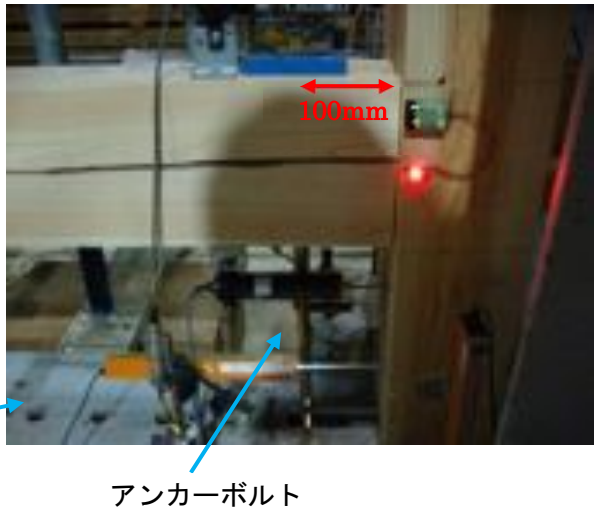


写真5.2.1-6　アンカーボルト

1)加力内容

加力は、図5.2.1-2に示す桁高さで変位制御の正負漸増静的加力とし、3回の繰り返し加力を桁高さの1/30rad.まで実施し、その後、8割低下を確認し、制御が可能な限り試験体を一方向に引いた。

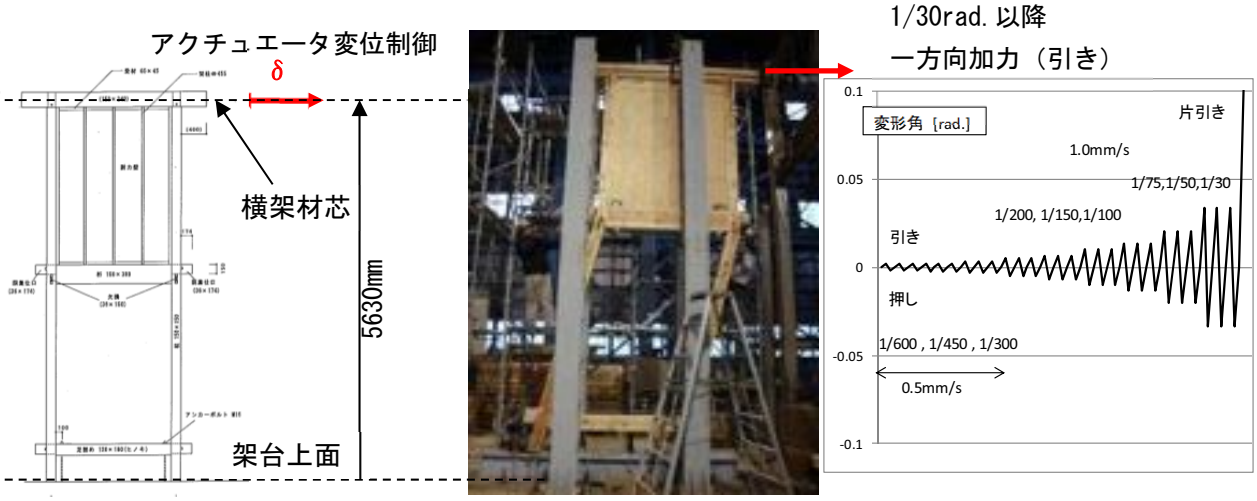


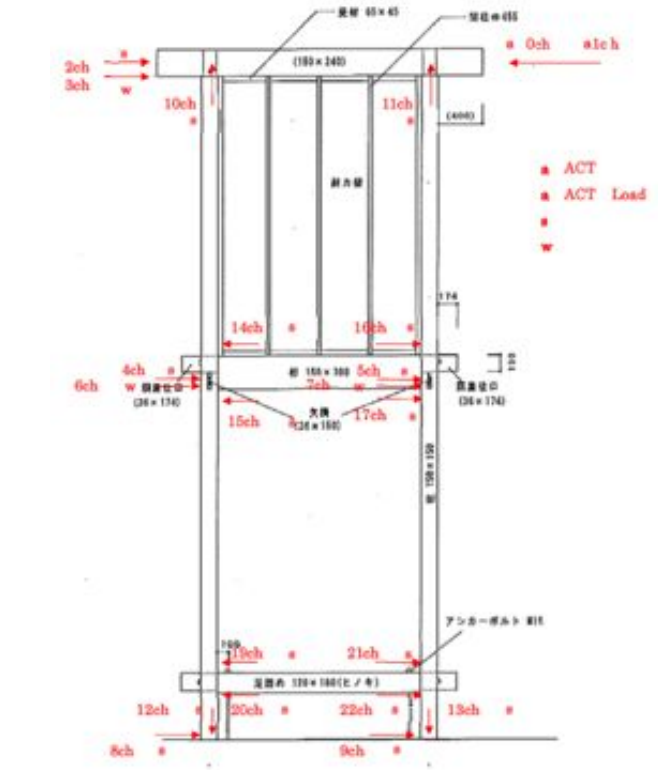
図5.2.1-2　加力方法

2)計測内容

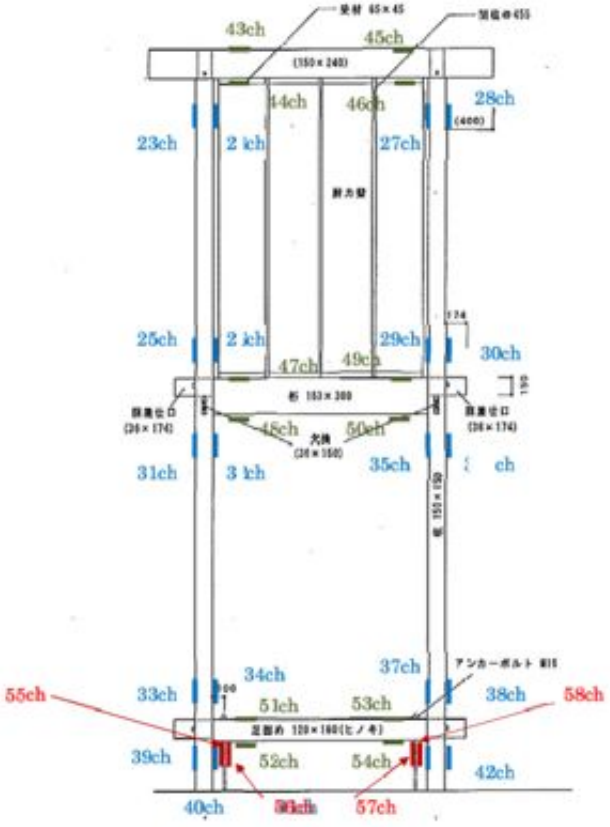
表5.2.1-5、図5.2.1-3に示す荷重、変位を22か所、ひずみを36か所の合計58か所を測定した。

表5.2.1-5　計測内容一覧

個数	Ch No.	測定機器	測定場所・位置	目的
1	0ch	ACT荷重		ACT耐力測定
2	1ch	ACT変位		ACT変位測定
3	2ch	SDP200	頂部桁変位	桁高さ変位1/30rad.まで
4	3ch	W2000	頂部桁変位	桁高さ変位1/10rad.まで
5	4ch	SDP200	南側胴差高さ柱水平変位	胴差高さ変位1/30rad.まで
6	5ch	SDP200	北側胴差高さ柱水平変位	胴差高さ変位1/30rad.まで
7	6ch	W1000	南側胴差高さ柱水平変位	胴差高さ変位1/10rad.まで
8	7ch	W1000	北側胴差高さ柱水平変位	胴差高さ変位1/10rad.まで
9	8ch	SDP200	南側柱脚水平変位	柱脚水平変位量
10	9ch	SDP200	北側柱脚水平変位	柱脚水平変位量
11	10ch	CDP50	南側柱頭鉛直変位	接合部間変形量
12	11ch	CDP50	北側柱頭鉛直変位	接合部間変形量
13	12ch	CDP100	南側柱脚鉛直変位	接合部間変形量
14	13ch	CDP100	北側柱脚鉛直変位	接合部間変形量
15	14ch	CDP50	南側胴差上接合部(回転)	回転角1/6rad.迄測定可能
16	15ch	CDP50	南側胴差下接合部(回転)	回転角1/6rad.迄測定可能
17	16ch	CDP50	北側胴差上接合部(回転)	回転角1/6rad.迄測定可能
18	17ch	CDP50	北側胴差下接合部(回転)	回転角1/6rad.迄測定可能
19	19ch	CDP50	南側足固め上接合部(回転)	回転角1/6rad.迄測定可能
20	20ch	CDP50	南側足固め下接合部(回転)	回転角1/6rad.迄測定可能
21	21ch	CDP50	北側足固め上接合部(回転)	回転角1/6rad.迄測定可能
22	22ch	CDP50	北側足固め下接合部(回転)	回転角1/6rad.迄測定可能
23	23ch	ゲージ1	南側柱・2層上・南面 ε	曲げ・軸応力
24	24ch	ゲージ1	南側柱・2層上・北面 ε	曲げ・軸応力
25	25ch	ゲージ1	南側柱・2層下・南面 ε	曲げ・軸応力
26	26ch	ゲージ1	南側柱・2層下・北面 ε	曲げ・軸応力
27	27ch	ゲージ1	北側柱・2層上・南面 ε	曲げ・軸応力
28	28ch	ゲージ1	北側柱・2層上・北面 ε	曲げ・軸応力
29	29ch	ゲージ1	北側柱・2層下・南面 ε	曲げ・軸応力
30	30ch	ゲージ1	北側柱・2層下・北面 ε	曲げ・軸応力
31	31ch	ゲージ1	南側柱・1層上・南面 ε	曲げ・軸応力
32	32ch	ゲージ1	南側柱・1層上・北面 ε	曲げ・軸応力
33	33ch	ゲージ1	南側柱・1層下・南面 ε	曲げ・軸応力
34	34ch	ゲージ1	南側柱・1層下・北面 ε	曲げ・軸応力
35	35ch	ゲージ1	北側柱・1層上・南面 ε	曲げ・軸応力
36	36ch	ゲージ1	北側柱・1層上・北面 ε	曲げ・軸応力
37	37ch	ゲージ1	北側柱・1層下・南面 ε	曲げ・軸応力
38	38ch	ゲージ1	北側柱・1層下・北面 ε	曲げ・軸応力
39	39ch	ゲージ1	南側柱・0層上・南面 ε	曲げ・軸応力
40	40ch	ゲージ1	南側柱・0層上・北面 ε	曲げ・軸応力
41	41ch	ゲージ1	北側柱・0層下・南面 ε	曲げ・軸応力
42	42ch	ゲージ1	北側柱・0層下・北面 ε	曲げ・軸応力
43	43ch	ゲージ1	桁・南側・上 ε	曲げ・軸応力
44	44ch	ゲージ1	桁・南側・下 ε	曲げ・軸応力
45	45ch	ゲージ1	桁・北側・上 ε	曲げ・軸応力
46	46ch	ゲージ1	桁・北側・下 ε	曲げ・軸応力
47	47ch	ゲージ1	胴差・南側・上 ε	曲げ・軸応力
48	48ch	ゲージ1	胴差・南側・下 ε	曲げ・軸応力
49	49ch	ゲージ1	胴差・北側・上 ε	曲げ・軸応力
50	50ch	ゲージ1	胴差・北側・下 ε	曲げ・軸応力
51	51ch	ゲージ1	足固め・南側・上 ε	曲げ・軸応力
52	52ch	ゲージ1	足固め・南側・下 ε	曲げ・軸応力
53	53ch	ゲージ1	足固め・北側・上 ε	曲げ・軸応力
54	54ch	ゲージ1	足固め・北側・下 ε	曲げ・軸応力
55	55ch	ゲージ2	南側アンカーボルト南面	曲げ・軸・せん断応力
56	56ch	ゲージ2	南側アンカーボルト北面	曲げ・軸・せん断応力
57	57ch	ゲージ2	北側アンカーボルト南面	曲げ・軸・せん断応力
58	58ch	ゲージ2	北側アンカーボルト北面	曲げ・軸・せん断応力



変位計配置図



ひずみゲージ配置図

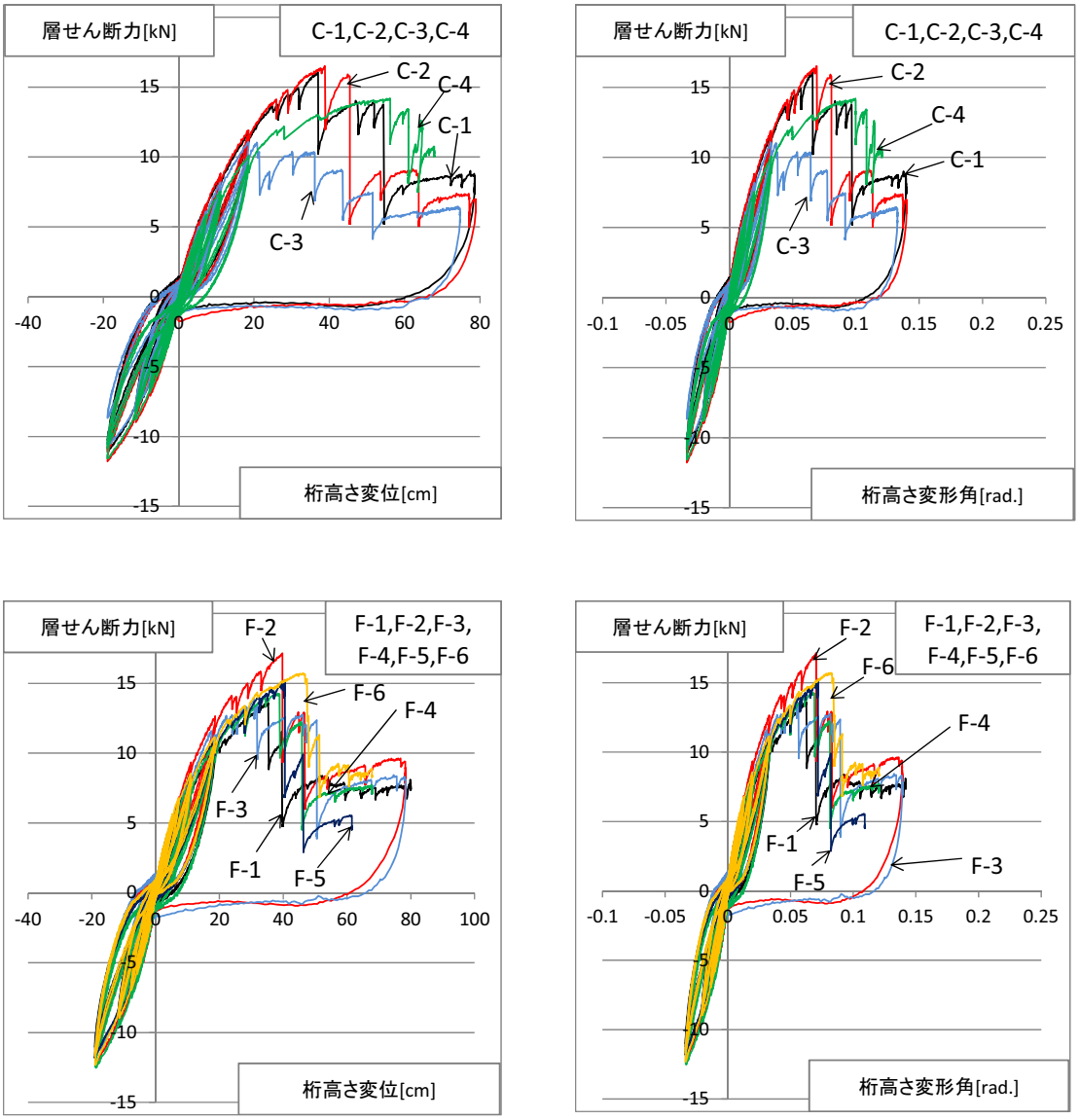
図5.2.1-3　計測器配置図

（４）実験結果

（２）で述べた6試験体を（３）の実験方法で加力した結果を以降に示す。

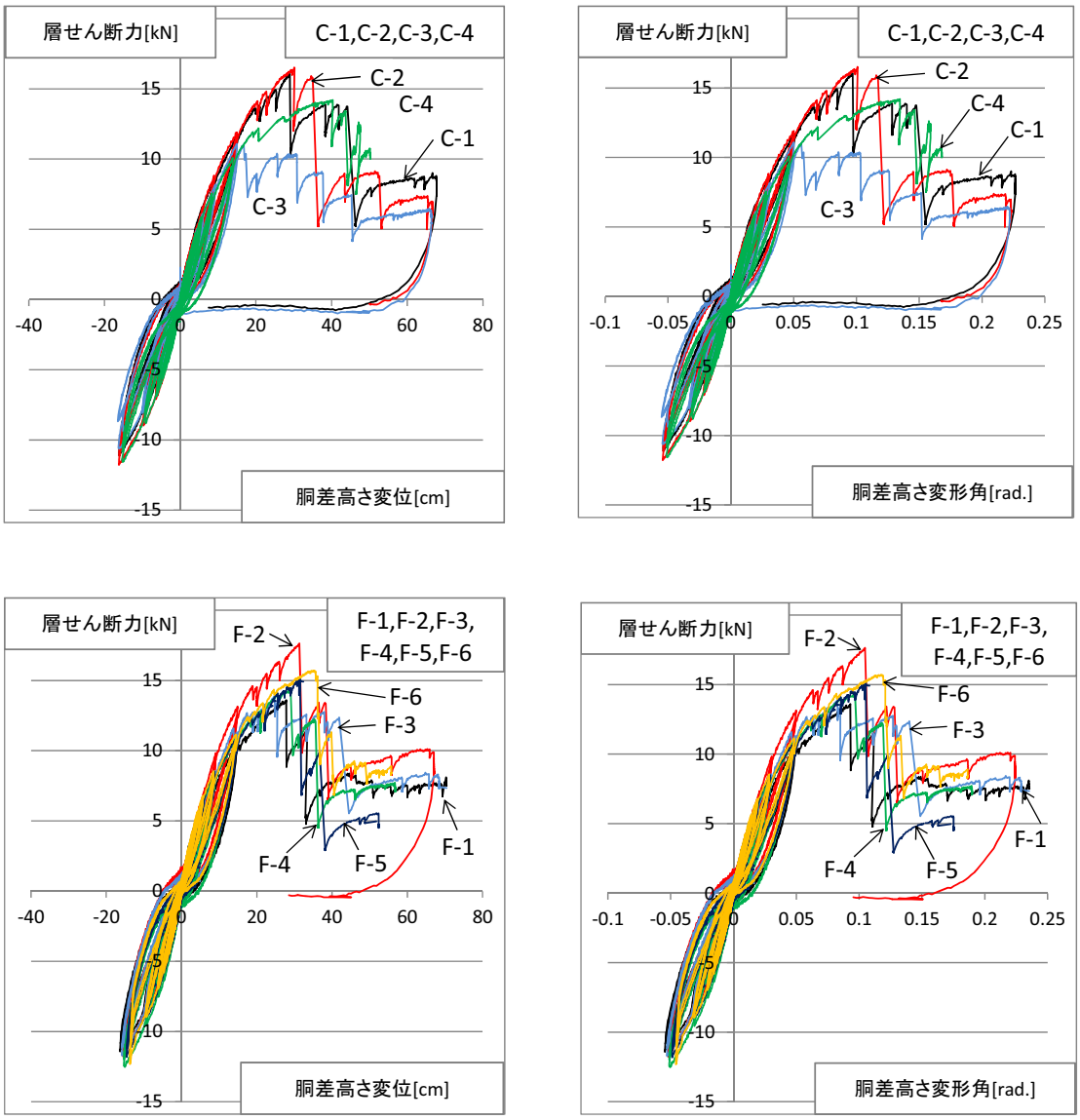
1)荷重－変位曲線

図5.2.1-4から図5.2.1-5に桁芯におけるせん断力－変位曲線とせん断力－胴差下変位の曲線を示す。また、桁高さは563cm、胴差の測定高さは299cmである。



層せん断力－桁高さ変位　　層せん断力－桁高さ変形角

図5. 2. 1-4　桁高さ　せん断力－変位曲線



層せん断力－胴差高さ変位　　層せん断力－胴差高さ変形角

図5.2.1-5　胴差高さ　せん断力－変位曲線

2) 完全弾塑性評価

図5.2.1-8及び図5.2.1-9に完全弾塑性を、表5.2.1-6に耐力、靭性能算出結果を以下に示す。

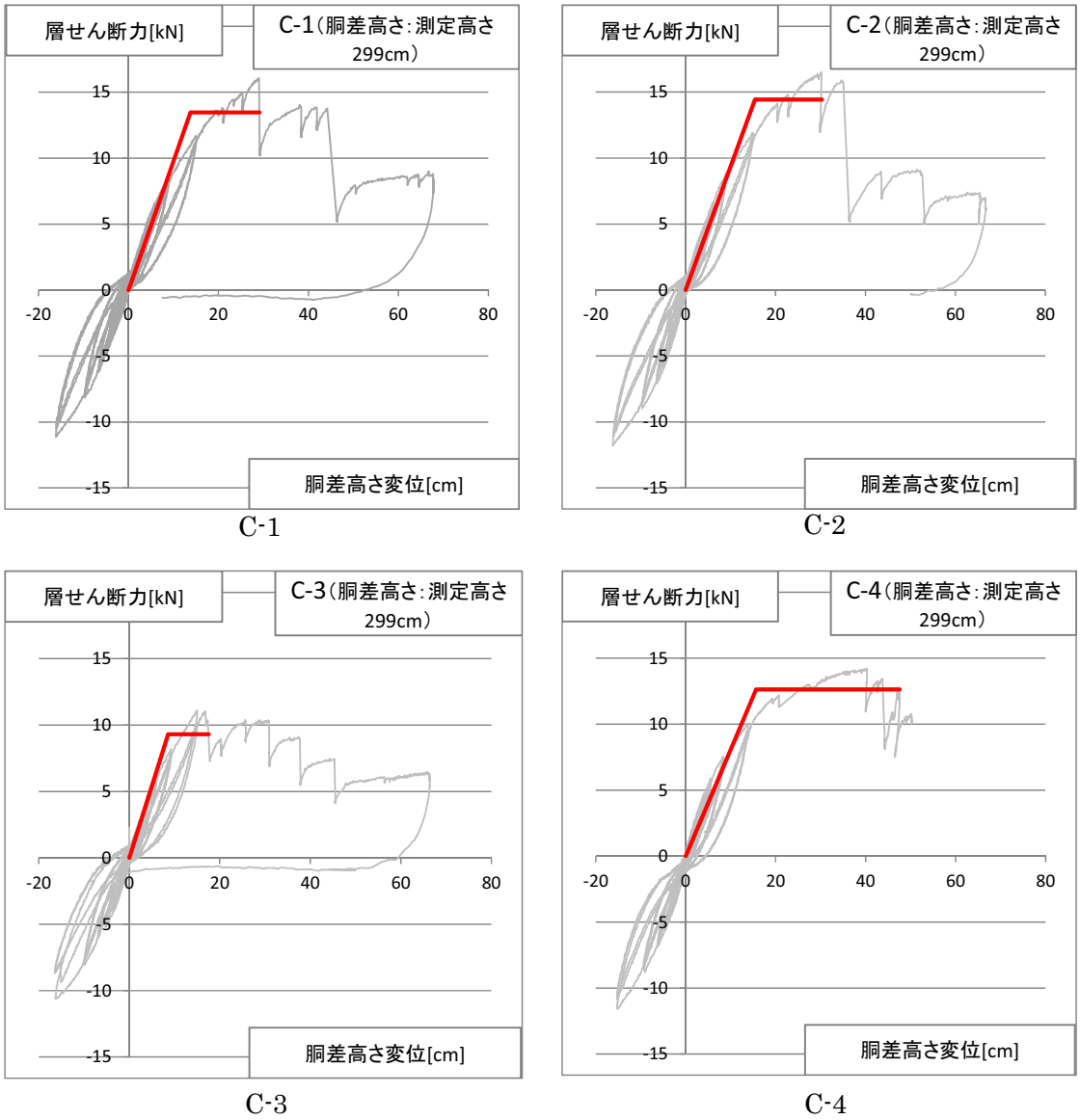
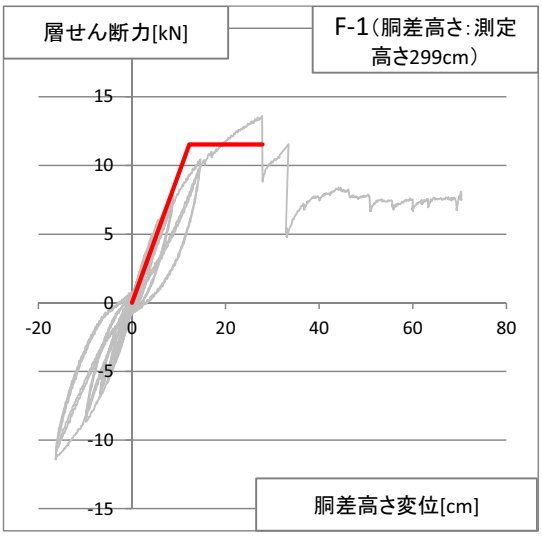
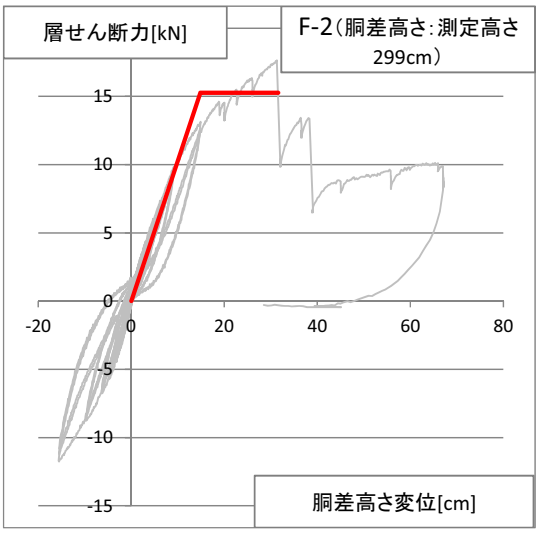


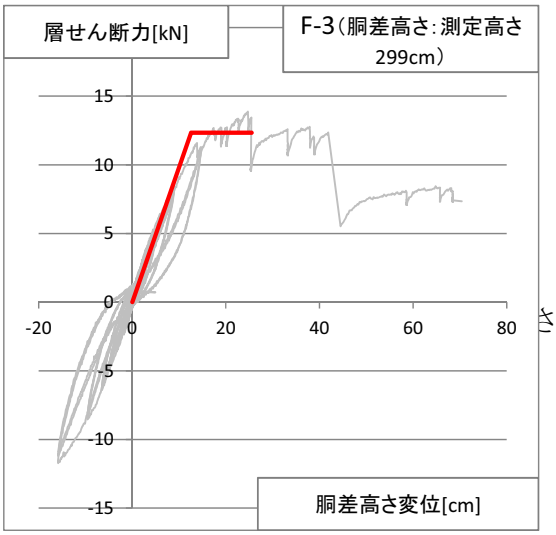
図5.2.1-8　胴差高さ　完全弾塑性（試験体C-1, 2, 3, 4）



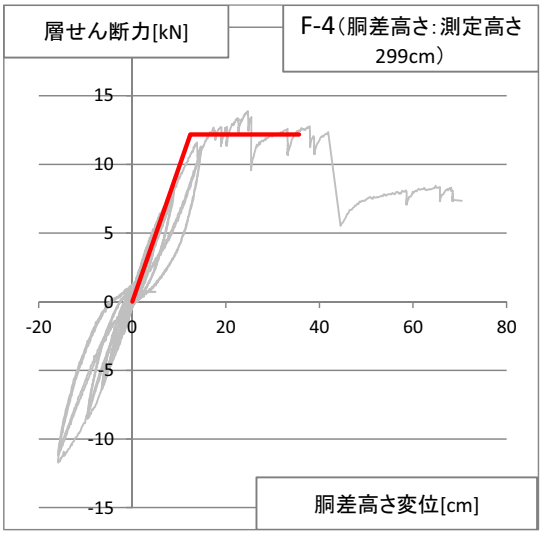
F-1



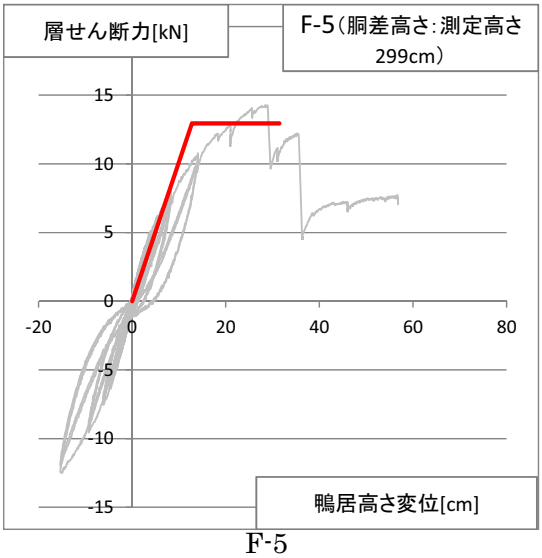
F-2



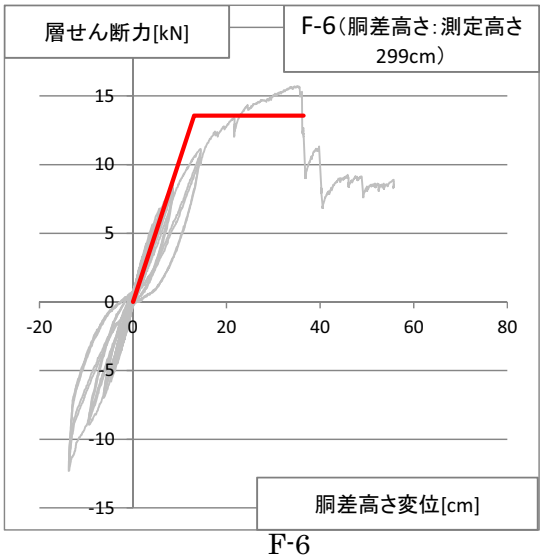
F-3



F-4



F-5



F-6

図5.2.1-8　胴差高さ　完全弾塑性（試験体F-1, 2, 3, 4, 5, 6）

F及びCの各試験体共に最大耐力に差が生じ、C試験体では最大のC-2と最小のC-3で50%、F試験体で30%程度異なった。C-3の1/120rad.剛性はC-1及びC-2より小さいが、表5.2.1-2の弾性係数、表5.2.1-3の含水率において耐力差の傾向が見られず、また、節などの材料欠点ではない加工欠損端部より破壊が生じたことなどから、C-3の大きな耐力差は加工欠損部の状態などによるばらつきであると判断できる。

表5.2.1-6　胴差高さの耐力・靭性能算出結果

項目		C-1	C-2	C-3	C-4	AVE	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	AVE
最大荷重	[kN]	16.06	16.51	11.09	14.20	14.46	13.59	17.64	13.89	14.27	15.23	15.71	15.05
最大荷重時層間変形角	[rad.]	0.10	0.10	0.05	0.13	0.10	0.09	0.10	0.08	0.10	0.11	0.12	0.10
終局耐力Pu	[kN]	13.46	14.44	9.30	12.63	12.46	11.53	15.26	12.34	12.18	12.94	13.57	12.97
終局耐力時層間変形角	[rad.]	0.10	0.10	0.06	0.16	0.10	0.09	0.11	0.09	0.12	0.11	0.12	0.11
降伏変位δy	[cm]	8.64	9.58	5.15	9.97	8.33	7.66	10.01	8.13	7.97	7.87	7.56	8.20
構造特性係数Ds	−	0.56	0.58	0.57	0.44	0.54	0.53	0.55	0.57	0.46	0.50	0.47	0.51
初期剛性K	kN/cm	0.98	0.94	1.08	0.81	0.95	0.94	1.03	0.98	0.98	1.01	1.04	1.00
1/120rad.剛性	kN/cm	1.33	1.40	1.21	1.32	1.31	1.38	1.52	1.36	1.46	1.52	1.55	1.47
降伏耐力Py	[kN]	8.44	8.97	5.56	8.03	7.75	7.19	10.30	7.98	7.82	7.98	7.86	8.19
P_{120}	[kN]	3.31	3.49	3.01	3.28	3.28	3.44	3.80	3.39	3.63	3.80	3.86	3.65
Pu・0.2／Ds	[kN]	4.83	4.94	3.26	5.69	4.68	4.34	5.51	4.32	5.30	5.13	5.81	5.07
Pmax・2／3	[kN]	10.71	11.01	7.39	9.47	9.64	9.06	11.76	9.26	9.51	10.15	10.47	10.04

一方、最大荷重時の胴差高さ層間変形は、C試験体の平均で1/12.1rad.、F試験体が1/10.7rad.と、Fよりも小さい変形角でC試験体の最大耐力が生じた。

耐力壁評価を考慮するとC及びF試験体共にP_{120}で耐力壁性能が決定する。それぞれのP_{120}耐力は3.27kN、3.54kNであり、節を有する試験体のほうの耐力が大きい。

3)節の有無と耐力低下

胴差高さの層せん断力－層間変位曲線から、8割低下（2割の低下）を超えたときの荷重低下量を節の有無の試験体で比較した。結果を表5.2.1-8、図5.2.1-10、11に示す。

C及びF試験体共に耐力が徐々に低下せず、最大耐力の発生直後に8割低下に達した。その時の低下量は、F試験体の平均で34%、C試験体で29%であり、節の有する試験体のほうが大きく耐力低下している。その耐力低下の要因のほとんどは胴差－通し柱接合部の柱の曲げ破壊であり、特に仕口加工の欠損部分が先行破壊した。

表5.2.1-8　節の有無による荷重低下量の比較

試験体名称		C-1	C-2	C-3	C-4	AVE	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	AVE
最大耐力 ［kN］		16.06	16.51	11.09	14.20	14.47	13.59	17.64	13.89	14.27	15.23	15.71	15.05
8割低下を超える時	低下前耐力[kN]	16.06	16.51	10.37	13.14	14.02	13.59	17.64	13.44	14.22	15.23	15.31	14.91
	低下後耐力[kN]	10.83	12.51	7.27	11.31	10.48	8.83	10.36	9.93	9.66	6.88	12.28	9.66
	低下の大きさ	0.67	0.76	0.70	0.86	0.75	0.65	0.59	0.74	0.68	0.45	0.80	0.65
	耐力低下の要因	胴差ほぞ穴	足固めほぞ	胴差ほぞ穴			胴差ほぞ穴となり節	胴差ほぞ穴	胴差ほぞ穴				
		柱割れ拡大	ほぞ折れる	柱割れ（折れる）			節に沿って柱割れ（折れる）	柱割れ（折れる）	柱割れ拡大				

＊損傷の状況について損傷記録を参照

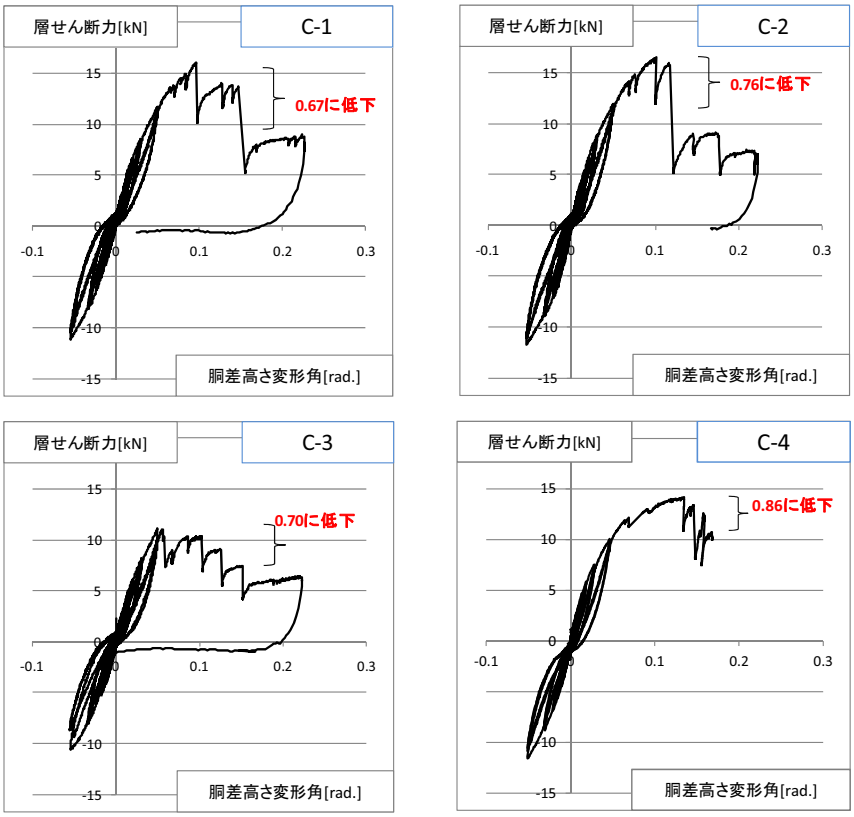


図5.2.1-10　胴差高さ　層せん断力－層間変形角曲線と荷重低下　（節無）

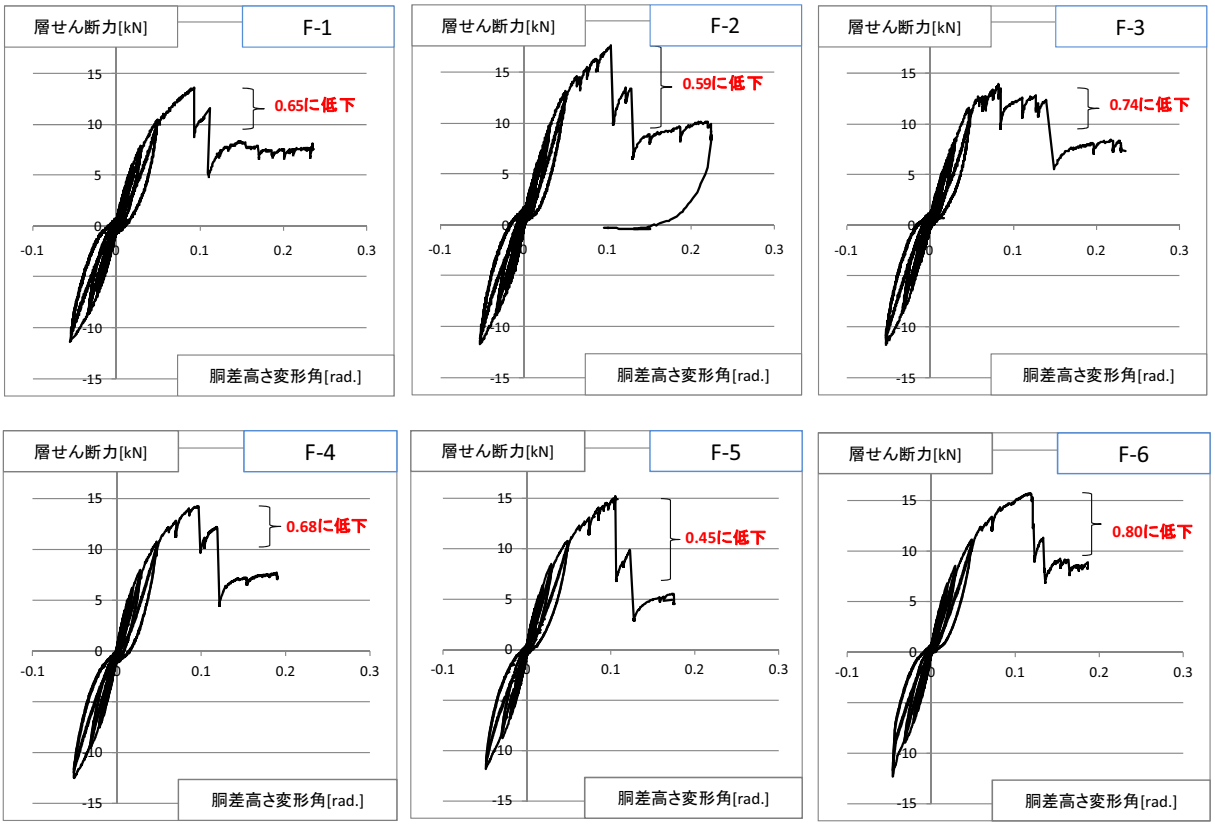


図5.2.1-11　胴差高さ　層せん断力－層間変形角曲線と荷重低下　（節有）

（５）損傷観察結果

各試験体の試験後の全体の写真、破壊性状と水平変位、写真を記録した。表5.2.1-12から表5.2.1-17に示す。

表5.2.1-12　試験体：C-1



試験後



370mm（15.2rad.）　　（8割低下の要因）
胴差高さ：約1/10rad.

柱（南）東面胴差直交ほぞから割れ



370mm（15.2rad.）　　（8割低下の要因）
胴差高さ：約1/10rad.

柱（南）西面胴差直交ほぞから割れ
249mmでの割れの伸展



390mm（14.4rad.）
胴差高さ：約1/9.7rad.

柱（北）西面胴差下から圧縮曲げ破壊



519mm（10.8rad.）
胴差高さ：約1/7.1rad.

柱（北）北面の477mmでの割れ伸展



519mm（10.8rad.）
胴差高さ：約1/7.1rad.

柱（北）西面直交ほぞ付近に割れ

表5.2.1-13　試験体：C-2



試験後

	
380mm（14.8rad.） 胴差高さ：約1/10.1rad.	380mm（14.8rad.） 胴差高さ：約1/10.1rad.
柱（北）東面胴差直交ほぞ上から割れ	柱（南）東面246mmでの割れ伸展

	
389mm（14.4rad.）　　（8割低下の要因） 胴差高さ：約1/9.9rad.	389mm（14.4rad.）　　（8割低下の要因） 胴差高さ：約1/9.9rad.
足固めが柱（南）との交差部で折れ	柱（南）柱脚が大きく浮き上がる

表5.2.1-14　試験体：C-3



試験後

	
1/30rad 2回目押し、177㎜ 胴差高さ：約1/18.5rad.	210㎜（26.8rad.） 胴差高さ：約1/17.6rad.
柱（北）東面胴差ほぞから曲げによる割れ	柱（北）北・東面胴差ほぞから割れ

	
215㎜（26.1rad.）　　（8割低下の要因） 胴差高さ：約1/16.85rad.	215㎜（26.1rad.）　　（8割低下の要因） 胴差高さ：約1/16.8rad.
柱（北）北・西面胴差ほぞから割れ	柱（南）北・東・西面胴差ほぞから割れ

表5.2.1-15　試験体：F-1



試験後

	
1/30rad 1回目押し 胴差高さ：約1/18.4rad.	290mm（19.4rad.） 胴差高さ：約1/12.9rad.
柱（北）西面胴差直交ほぞから割れ	柱（南）東面胴差付近に割れ

	
310mm（18.1rad.） 胴差高さ：約1/12.1rad.	350mm（16.0rad.）　（8割低下の要因） 胴差高さ：約1/10.8rad.
柱（南）西面胴差付近に割れ	柱（北）西面胴差付近の節から引張面に割れ

表5.2.1-16　試験体：F-2



試験後



330mm（17.0rad.）
胴差高さ：約1/11.4rad.

柱（北）北面ほぞ下の節からほぞにかけて割れ、柱（北）西面に割れ



390mm（14.4rad.）　（8割低下の要因）
胴差高さ：約1/9.7rad.

柱（北）北面330mmでの割れ伸展



390mm（14.4rad.）　（8割低下の要因）
胴差高さ：約1/9.7rad.

柱（北）西面胴差直交ほぞからの割れ



445mm（12.6rad.）
胴差高さ：約1/8.3rad.

柱（南）東面胴差直交ほぞから割れ



467mm（12.0rad.）
胴差高さ：約1/7.8rad.

柱（南）北面胴差ほぞ下から割れ

表5.2.1-17　試験体：F-3



試験後

	
222mm（25.3rad.） 胴差高さ：約1/17.2rad.	270mm（20.8rad.） 胴差高さ：約1/13.9rad.
柱（南）北・東面胴差付近で割れ	柱（南）東面255mmでの割れ伸展

	
309mm（18.2rad.） 胴差高さ：約1/12.1rad.	318mm（17.7rad.）　（8割低下の要因） 胴差高さ：約1/11.8rad.
柱（南）北面胴差下割れ	柱（南）東面の255mmでの割れ伸展

（6）まとめ

伝統構法の水平抵抗部分である胴差－柱接合部の通し柱に、節や目切れなどの欠点有無が、架構耐力に及ぼす影響を実験的に検証した。

1)最大耐力

節及び目切れを有する及び有しない試験体共に、節の有無による差は3体中の最大耐力のばらつきが大きく、その差を明確に捉えることが困難であった。

2)耐力壁（架構）性能

降伏耐力Py、1/120rad.耐力P_{120}、Pu×0.2/Ds、Pmax×2/3の平均値で最も小さい耐力は、C及びF試験体共にP_{120}耐力であった。C試験体が3.27kN、F試験体が3.54kNであり、節・目切れを有するF試験体がC試験体より8.3%大きい耐力であった。

3)耐力低下の大きさ

8割低下に達した時の耐力の低下量はC、F試験体それぞれ平均で0.71、0.66となり、節・目切れを有する試験体が節・目切れを有しない試験体より耐力の低下が17%大きい結果となった。

4)8割低下直前の通し柱－胴差接合部の通し柱応力度

C及びF試験体の縁応力度に大きな違いは生じず、それぞれ25.7N/mm^2、24.7N/mm^{2}であった。また、この値は針葉樹構造用製材日本農林規格目視区分・等級の甲種2級程度、機械等級区分のE50-E70の範囲程度の材料基準強度に相当する。加えて、曲げ実験結果より算出した弾性係数に対応する機械等級区分の材料基準強度よりも小さい応力度で通し柱の曲げ破壊が生じた。

次に、引張側複合応力度に相当する目視区分・等級及び機械等級区分はそれぞれ甲種1級、E70-E90の範囲程度になる。曲げ実験結果より算出した弾性係数もE70-E90の範囲程度となり、それぞれから得られた機械等級区分（弾性係数）は概ね一致した。

F-1試験体は、他試験体よりも小さな複合応力で8割耐力低下した。この耐力低下の要因は、節外周からの亀裂発生であり、節の材料欠点が通し柱曲げ性能及び架構耐力性能に影響したことを確認した。

5)

節や目切れが架構耐力に及ぼす影響の程度を5.2.1章で報告した。節や目切れが桁‐通し柱の接合部に位置するときの架構耐力は欠点のない試験体に比して大きい差とならなかった。しかし、節・目切れより亀裂が入り始め、通し柱の折損へ至ることは損傷観察より明瞭で、加えて、最大耐力後には節のない架構よりも大きな耐力の低下となることを確認した。この点は耐震性能上及び架構計画上重要な点であり、特に、節の状態により敏感にその違いが生じるため、接合部付近の節には注意を払う必要があり、また、桁下端の接合部領域のモーメントが大きくなる部分には節や目切れを避けるなどの配慮も必要であると考える。

５．２．２　柱の背割りがその捨れ抵抗性能に与える影響

（１）実験の背景・目的

比較的大きな断面の柱を乾燥させるためには、背割りを入れる場合は少なくない。一方で、伝統構法においては、貫を設けて水平耐力を確保する場合が多い。このとき、水平面内において水平抵抗要素の配置が均等でないと、地震荷重下の各構面のせん断変形が均等にはならない。すなわち、建築物は捩れ挙動を示し、直交方向の壁は面外に捩れることになる。このとき、直交方向の壁を通じて柱には捩れ変形が与えられることになる。背割りを入れた柱は、背割りのない柱に比べて材料力学的に捩れ挙動に対して、弱いことは自明である。そこで、スギ柱材の背割りの有無が捩れ抵抗に与える影響について、静的捻り試験によって評価する。

（２）試験方法

1)静的試験

(a)静的試験方法

試験体は長さ4m×150mm×150mmのスギ材で、背割りのない材を3体、背割りのある材を3体用意した。

静的捻り試験は、(社) 日本建築学会木質構造限界状態設計指針（案)・同解説[5.2.2-1)]の試験方法に従って行った。図5.2.2-1に試験概要図を、試験状況を写真5.2.2-1に示す。

試験体を固定支持部と回転支持部において、めり込み防止のための鋼板を介してボルトにより軽く締め付け、トルク負荷用レバーアームの回転軸から310mmの位置で試験機により試験体が破壊するまで加力した。

試験体の固定距離は、断面寸法の18倍である2700mmとした。なお、試験体回転軸方向に2100mm及び2300mmの測定点間距離で、また、回転軸から各変位計までの距離を55mmとして、捩れ回転角を測定した。

試験機は、広島県立総合技術研究所林業技術センター（株）前川試験機製作所製IP-100/A-200-B2（最大能力1000kN，ラムストローク500mm）を使用した。

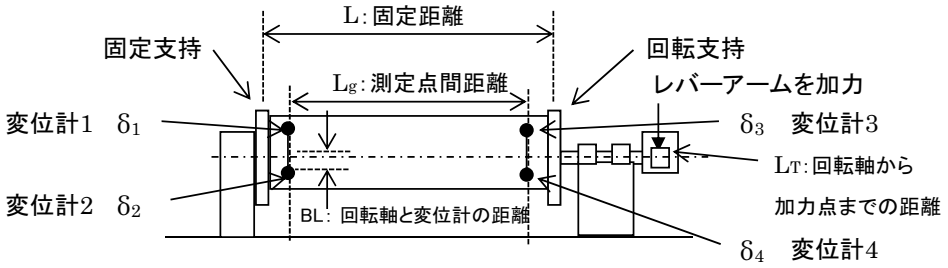


図5.2.2-1　静的捻り試験概要図



写真5.2.2-1　試験状況全景



写真5.2.2-2　回転支持部



写真5.2.2-3　加力状況



写真5.2.2-4　固定支持部

(b)静的評価方法

静的捻り試験において、せん断弾性係数G及びせん断強度τをつぎの式により算出した。

せん断弾性係数G

$$G = \frac{1}{f_1 db^3} \frac{\Delta T}{\Delta\theta / L_g} \qquad (5.2.2\text{-}1)$$

T：捻りモーメント(F×LT), LT：回転軸から加力点までの距離（310mm）

f1：角棒のねじり公式における係数

b<=dのとき　$f_1 = 1/3 - 0.21\frac{b}{d} + 0.0175\left(\frac{b}{d}\right)^5$

b：試験体の短辺

d：試験体の長辺

θ：回転角，　$\theta = \{(\delta 3 - \delta 4) - (\delta 1 - \delta 2)\} / 2BL$

δ1：固定側 材縁上部の水平方向変位量

δ2：固定側 材縁下部の水平方向変位量

δ3：回転側 材縁上部の水平方向変位量

δ4：回転側 材縁下部の水平方向変位量

BL：回転軸から変位計までの距離（55mm）

L：試験体の固定間距離（2700mm）

せん断強度τ

$$\tau = \frac{T}{\alpha d b^2} \qquad (5.2.2\text{-}2)$$

α：d/bの比による係数（b=dのとき0.208）

2)動的試験

(a)動的試験方法

静的試験を行う前にせん断弾性係数の簡便な非破壊評価方法として、動的弾性係数の測定を試みた。測定は捻り振動法[5.2.2-2)]、たわみ振動法（T.G.H.法）[5.2.2-3)]により行った。試験体は静的試験に供する背割りのない材3体、背割りのある材3体である。

捻り振動法では、試験体の軸方向端部の中心と材縁部をハンマーで打撃し、曲げ振動数と捻り振動数を測定した。

たわみ振動法（T.G.H.法）では、スパンを試験体の長さの0.552倍の距離として台の上に置き、試験体中央部材面を上からハンマーで打撃し、下面方向からマイクロフォンで高次の固有振動数を測定した。

(b)動的評価方法

各測定方法による評価方法は次のとおりである。

捻り振動法によるせん断弾性係数G_{ft}

$$G_{f_t} = \frac{(fl)^2}{k}\left\{1+\left(\frac{d}{b}\right)^2\right\}\rho \qquad (5.2.2\text{-}3)$$

f： 固有振動数

l：試験体長

k：d/bの比による係数（b=dのとき0.423）

ρ：密度

たわみ振動法（T.G.H.法）では、試験体長さ、断面2次半径、密度を求め、せん断分布定数（1.2）、せん断弾性係数の初期値（0.8Gpa）を設定する。次に、振動次数nに依存する係数mnとFmn、1から6次程度までの曲げ固有振動数、各nにおける見かけの曲げヤング係数を求める。さらに各nにおけるプロット用の系列X、Yを求め、その1次回帰式Y=aX+cとプロットが一致するとき、傾きaと切片cが次の関係となる。

$$a = -1.2\left(E_{fr-t} \Big/ G_{fr-t}\right) \quad , \quad c = E_{fr-t} \qquad (5.2.2\text{-}4)$$

$E_{fr\text{-}t}$：真の曲げヤング係数

$G_{fr\text{-}t}$：せん断弾性係数

（３）結果と考察

静的試験に係る試験結果を、表5.2.2-1、図5.2.2-2から図5.2.2-5及び写真5.2.2-5から写真5.2.2-8に示す。表5.2.2-1において、背割りのある材は背割りのない材に比べて含水率が高いため、含水率を15%時の値に調整して比較してみると、せん断弾性係数が40%程度、せん断強度が30%程度低下している。しかし、背割りのある材は、せん断強度性能のばらつきが少ないため、信頼水準75%下側許容限界値は、正規分布仮定で3.71N/mm²となり、背割りのない材の0.96N/mm²よりかなり高い値となった。

図5.2.2-2では、背割りのある材3体の捻りモーメント−回転角曲線がほぼ一致しおり、ばらつきが少ないことがよく分かる。図5.2.2-4及び図5.2.2-5から、背割りのある材については密度とせん断強度性能に相関はなさそうである。

試験体数がそれぞれ少ないことと、背割り材の含水率が高かったことから、試験体数を増やすことと、含水率の低い試験体で比較することが今後必要であると考えられる。

表5.2.2-1　静的捻りせん断試験結果

試験体 No	試験時密度 kg/m^3	全乾密度 kg/m^3	全乾法含水率 %	静的曲げヤング係数 kN/mm^2	縦振動法ヤング係数 kN/mm^2	T_{max} kN・mm	θ_{max} rad	G kN/mm^2	含水率15%時G kN/mm^2	τ N/mm^2	含水率15%時τ N/mm^2	備　考
1	965	385	151.0	7.89	7.35	5625	0.457	0.681	0.776	7.94	8.91	背割りなし
2	599	328	90.8	7.74	7.42	3305	0.357	0.478	0.544	4.70	5.27	背割りなし
3	536	361	57.7	7.46	6.95	3992	0.428	0.499	0.568	5.66	6.35	背割りなし
4	444	365	18.6	6.42	7.39	3084	0.581	0.389	0.415	4.62	4.89	背割りの深さ65mm
5	392	321	17.3	6.63	6.78	2946	0.531	0.321	0.334	4.18	4.33	背割りの深さ77mm
6	441	384	17.0	8.84	8.70	3112	0.536	0.309	0.320	4.42	4.57	背割りの深さ77mm

※含水率15%時G及びτは、旧ASTM D 2915により、含水率が22%以上を22%として含水率15%時の値に調整したものである。

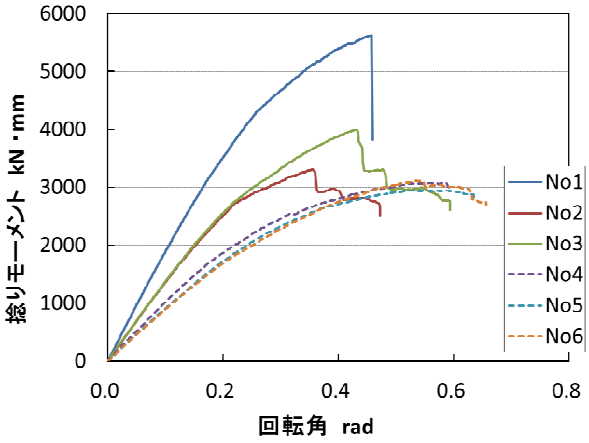


図5.2.2-2　回転角と捻りモーメント

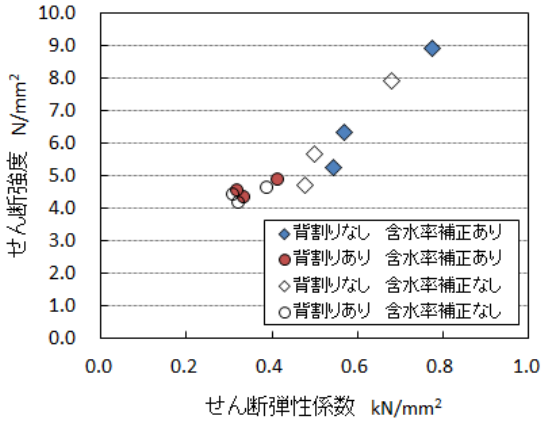


図5.2.2-3　せん断弾性係数とせん断強度

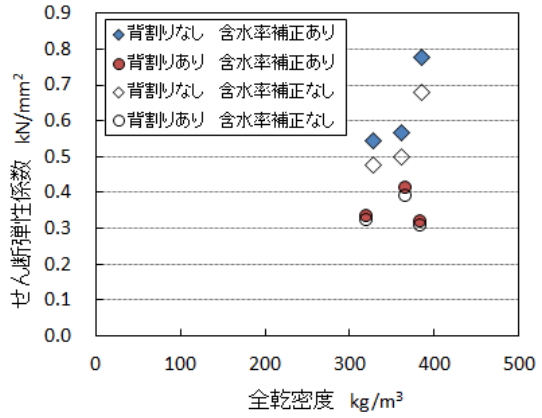


図5.2.2-4　全乾密度とせん断弾性係数

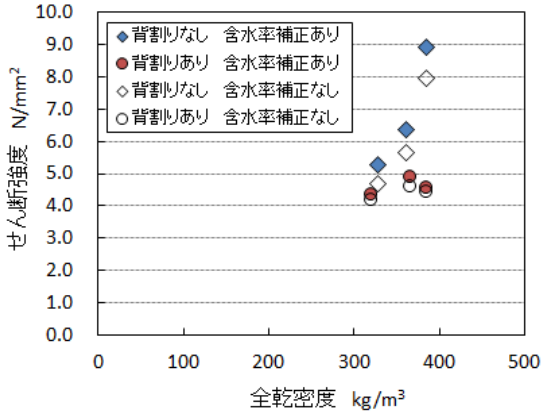


図5.2.2-5　全乾密度とせん断強度

※図のせん断弾性係数及びせん断強度の含水率補正ありは、旧ASTM D 2915により15%時の含水率の値に調整したものである。

調整式：せん断弾性係数　$G_{15} = G1(1.44-0.0020\times15)/(1.44-0.0020\times M1)$

せん断強度　$\tau_{15} = \tau1(1.33-0.0167\times15)/(1.33-0.0167\times M1)$

M1：試験材の含水率 %

G_{15}：含水率15%時のせん断弾性係数

G1：含水率M1%時のせん断弾性係数

τ_{15}：含水率15%時のせん断強度

τ1：含水率M1%時のせん断強度



写真5.2.2-5　No1せん断破壊状況



写真5.2.2-6　No2終局状況



写真5.2.2-7　No4背割り部分せん断破壊



写真5.2.2-8　No5背割り部分のずれ（3mm）

また、静的と動的せん断弾性係数の比較について、表5.2.2-2に示す。捻り振動法によるせん断弾性係数は、背割りのある方が10%程度低い傾向である。しかし、静的せん断弾性係数と比較すると、背割りの有無による差が小さく、捻り振動法ではせん断弾性係数を評価しにくいと考えられる。

たわみ振動法（T.G.H.法）のせん断弾性係数は、背割りのある方が30%程度高い値で、静的せん断弾性係数と比較すると、逆の傾向であった。

捻り振動法及びたわみ振動法（T.G.H.法）とも、マイクロフォンや加速度計の選択を含め、固有振動数の測定精度を検討する必要がある。

表5.2.2-2　静的及び動的捻りせん断弾性係数の比較

試験体 No	静的試験		動的試験					備　考
	見かけの曲げヤング係数	静的 G	縦振動法	捻り振動法	たわみ振動法(T.G.H.法)			
			$E_{fr\text{-}l}$	G_{ft}	$E_{fr\text{-}t}$	$G_{fr\text{-}t}$	$E_{fr\text{-}t}/G_{fr\text{-}t}$	
	kN/mm^2	kN/mm^2	kN/mm^2	kN/mm^2	kN/mm^2	kN/mm^2		
1	7.89	0.681	7.35	0.414	9.92	0.515	19.3	背割りなし
2	7.74	0.478	7.42	0.369	9.32	0.456	20.4	背割りなし
3	7.46	0.499	6.95	0.368	9.22	0.418	22.0	背割りなし
4	6.42	0.389	7.39	0.339	8.21	0.598	13.7	背割りの深さ65mm
5	6.63	0.321	6.78	0.297	7.11	0.631	11.3	背割りの深さ77mm
6	8.84	0.309	8.70	0.407	7.87	0.587	13.4	背割りの深さ77mm

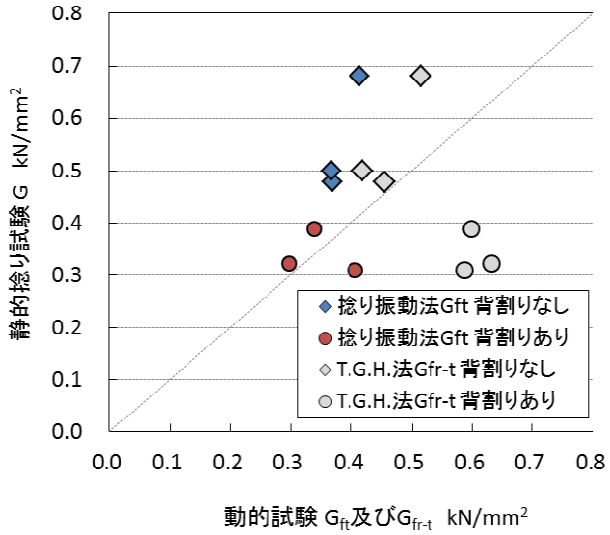


図5.2.2-6　動的及び静的せん断弾性係数

（４）まとめ

含水率を同一にして比較できていないため、最終的な結論とは言えないが、背割りを有する柱材のせん断強さは、背割りのないものに対して平均的には低い傾向にあるものの、ばらつきを考慮した75%信頼水準の95%下側許容限界値では、両者の大小関係は逆転した評価となる。

文献

5.2.2-1）（社）日本建築学会編集：木質構造限界状態設計指針（案）・同解説、p.349、丸善、2003.
5.2.2-2）祖父江信夫ら：“実大正角材のせん断弾性係数におよぼす背割り深さの影響”
：木材学会誌46（3）,pp.242-245,（2000）
5.2.2-3）久保島吉貴：未発表資料

５．２．３　込栓に使用する広葉樹材の生産実態に関する調査

（１）背景と目的

伝統的構法接合部の強度特性について、仕様規定によらず、算定式に基づいて任意に耐力を定める手法が検討されている。一方で、例えば長ほぞ込栓接合部の込栓のめり込み耐力、せん断耐力、金輪継ぎ手の込栓圧縮耐力などに関して、接合部の材料強度特性値について平成12年建設省告示第1452号や平成13年国土交通省告示第1024号の数値に従うと、実験による耐力と比べて過小に評価される事が多く、問題点として指摘されている。建築基準法施行令第89条では「かた木で特に品質優良なもの」を車知、込栓の類に使用する場合においては、軸方向、曲げ、せん断の各許容応力度を2倍まで増大することができる規定があるが、その明確な品質基準は定められていない。

本課題ではこのような広葉樹接合具の強度特性について、特に接合具として高い強度性能を持つことが知られ、一般に用いられるカシ材に関して、製材や仕上げ加工の過程で欠点が除去されることによる材料品質の安定化や、丸太からの木取りの位置による年輪頃角の発生確率等について注目し、現地調査を行い基礎的データの収集を行った。

（２）調査の概要

H22年度に関西地域における込栓加工所、H23年度に関西地域の広葉樹製材所、および関東地域の広葉樹製材所の調査を行った。なお、近年大規模にカシ材の製材を行っている業者は少なく、今回の調査対象とした製材所は代表的な2社である。

調査は基本的に現地の担当者からの聞き取り調査と現場調査に基づいた。

（３）関西と関東でのカシ材の加工工程の違い

H23年度に関西地域の広葉樹製材所、および関東地域の広葉樹製材所の調査を行った。製材から込栓の最終仕上げの工程について、製材所の段階である程度の乾燥と20×20×300mm程度の小割材への加工を行い、その後、込栓加工業者で最終的な乾燥、品質検査、仕上げ加工が為されるという一連の工程は関西・関東とも共通していた。一方で丸太材から込栓用小割材への製材と乾燥の工程は関西と関東で大きな違いが見られた。表5.2.3-1に両者の特徴をまとめた。

関西地域では製品長さに玉切りした丸太を用いて、まず鉋用材を採取し、残った部分から込栓用材等を採取する。一つ一つの小径丸太に沿った手作業による製材となるため、手間がかかる反面歩留まりが良いという利点がある。また乾燥は製品に仕上げた後に行われる。

関東地域では長尺の丸太を板挽きし、乾燥した後に板から製品の木取りを行う。板挽きの段階である程度寸法が規格化されるために作業効率が良いが、板挽きによる目切れの発生があるために、相対的に歩留まりが悪くなると考えられる。製品として不適格な材料を薪炭材料として出荷する大口の契約先を持つため、歩留まりの悪さを補っていると考えられる。

また、両製材所に共通項目として、近年の原木調達の困難さが指摘された。すなわち、近年ナラ枯れ病の被害地域が拡大しており、製品として不適当な材料が多くなってきているためである。また関西地域では鹿の食害によるカシ材の成長阻害が指摘された。

表5.2.3-1　関西・関東の広葉樹製材工場における製材工程の比較

項目	関西地域　A製材所	関東地域　Y製材所
取り扱い樹種	カシ（主にシラカシ）、サクラ、クヌギ	シラカシ
カシ材料供給地	関西地域一円 造成地等からの一本取り 30-40年生のカシ材造林地よりの萌芽更新材	主として栃木･茨城･埼玉県 造成地等からの一本取り 必要量に応じて、広葉樹原木市場
主要製品	ドラムスティック、鉋台、大工道具の柄	ドラムスティック、鉋台、大工道具の柄
年間製材量		400-600m^3
製材・乾燥工程	①原木丸太を末口径20-30cmの断面で2mに玉切りし、1年～1年半乾燥。 ②300-450mmの短尺丸太に玉切り。 ③丸太から表面の繊維傾斜に沿って、製品形状に帯鋸挽き製材（図5.2.3-1）。なお、一つの原木丸太から多種類の製品を木取りするため、断面の大きい製品から徐々に小さな製品を木取りする。 ④製品種類ごとに小屋裏等で桟積み乾燥（製品種類により9ヶ月程度）。 ⑤出荷	①原木丸太を帯鋸で板加工（板厚は目標製品により、30-50mm程度）。なお、丸太状態で1-2ヶ月間の放置で割れが入り始めるため、納品後速やかにいた加工を行う。 ②板状態で2年間の桟積み小屋がけ天然乾燥。 ③乾燥後の板を製品長さ（2丁取りの場合もある）に応じて横挽き。 ④目切れが生じないように外縁からやや傾斜をつけて縦挽き製材し、製品を採取（図5.2.3-2）。 ⑤出荷
込栓用材	込栓の断面は小さいため、他の製品を木取りする際の鋸挽き製材の端材を用いて込栓用材とする。鉋台等の他製品は優先的に柾目の部分が取れる様木取りを行うため、結果的に込栓用材は丸太円盤外縁部付近から採取されることになる。このため、辺材となる確率が高い。さらに追い柾となる確率が高い。	板材から、その辺材部分をドラムスティックや鉋台に用いた残りの心材に近い部分を込栓用材とする。シラカシ心材のボタン（着色）はスティックや鉋台の製品としては嫌われる一方、込栓用材としては耐久性が高いと考えられているため。結果として、込栓は心材となる確立が非常に高い。年輪傾角はさまざまである。
原木からの歩留まり	50-60%	20%（板挽き段階で50%、仕上げ製材40%）
割れの管理	髄を除去した製品状態で乾燥するため、生じない	板状態で天然乾燥中に髄付近において集中的な乾燥割れを生じさせる。なお、製品製材時に除去される。
目切れの管理	短尺丸太に製材後、一つ一つ手作業で繊維に沿った木取りを行うため、目切れの影響は小さい。	板挽きの段階では目切れが存在するが、製品の仕上げ加工の段階で、短尺に加工後、表皮側から繊維に沿った木取りを行うため、目切れの影響は小さい。
節・欠点の管理	丸太を玉切りする際に大きな節の部分を避ける。 玉切りした丸太から製品を製材する際にわずかな節や入り皮等の欠点を含む箇所でも除去する。	干割れを含む板材を加工し、製品を採取する際にわずかな節や入り皮等の欠点を含む箇所でも除去する。
製材特記事項		材料の切旬は11-2月。初期含水率が低いため。

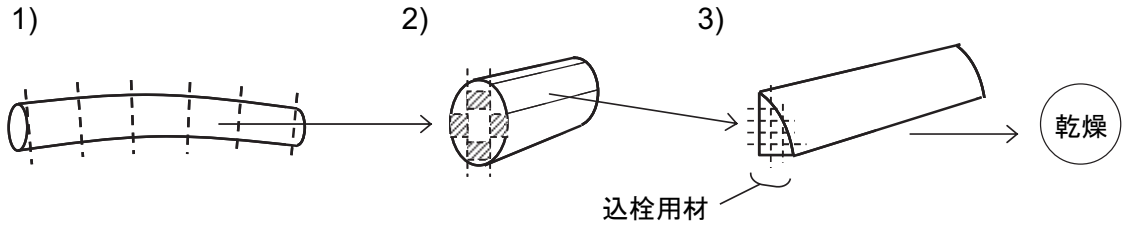


図5.2.3-1　関西地域における木取りの手順

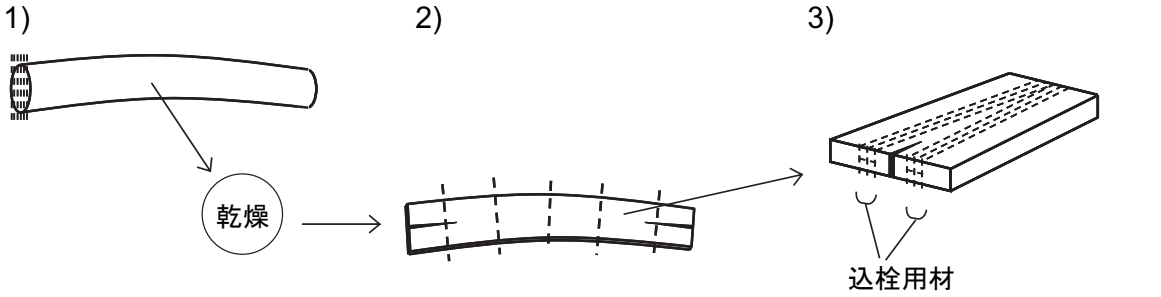


図5.2.3-2　関東地域における木取りの手順

関西地域における製材工程の様子を写真5.2.3-1～9に示す。
写真5.2.3-1：末口径20-30cmの断面で2mに玉切りし、1年～1年半乾燥
写真5.2.3-2：原木丸太を300-450mmの長さに一次加工
写真5.2.3-3：短尺丸太状態から製品断面に直接加工
写真5.2.3-4：十分な断面を持つ材でも目まわりや髄に割れが入っているものは除去される
写真5.2.3-5：鉋台用材を採取した残りから使える材料を選別
写真5.2.3-6：細かく除去された欠点の部分
写真5.2.3-7：込栓用材としてまとめられた変断面の辺材部分
写真5.2.3-8：込栓形状に加工し、桟積み乾燥
写真5.2.3-9：完成した込栓材料。辺材追い柾材料が多い。

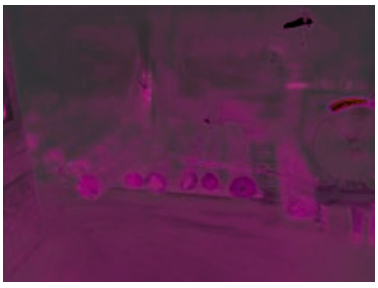


写真5.2.3-1



写真5.2.3-2



写真5.2.3-3



写真5.2.3-4

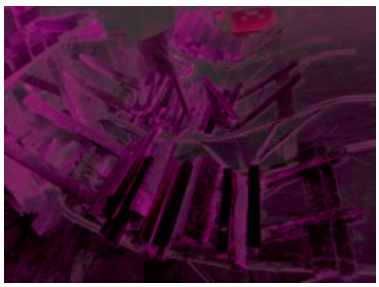


写真5.2.3-5



写真5.2.3-6

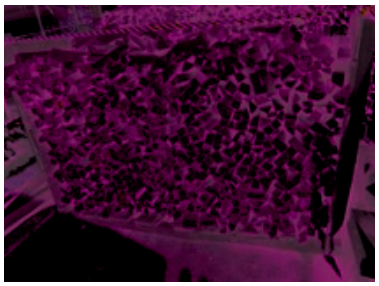


写真5.2.3-7



写真5.2.3-8



写真5.2.3-9

写真5.2.3-1～9　関西地域における製材工程の様子

関東地域における製材工程の様子を写真5.2.3-10～18に示す。
写真5.2.3-10：原木丸太を縦挽き板加工
写真5.2.3-11：加工された板材
写真5.2.3-12：板状態で桟積み乾燥する。大量のストックがある。
写真5.2.3-13：2年間乾燥後の木口。割れが入っている。
写真5.2.3-14：製品長さに切断された板材と加工機械
写真5.2.3-15：込栓の形状に加工
写真5.2.3-16：欠点を含むため除去された材料
写真5.2.3-17：欠点の様子。わずかな穿孔や入り皮でも除去される。
写真5.2.3-18：込栓の製品断面。ボタンを持つ心材部分が多い。



写真5.2.3-10

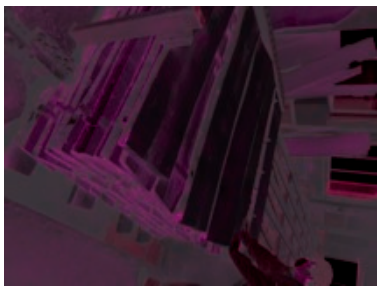


写真5.2.3-11



写真5.2.3-12

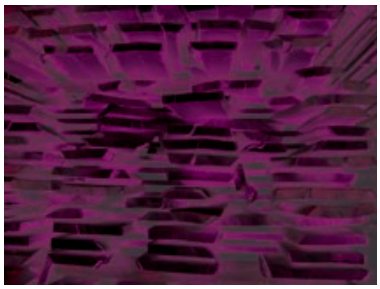


写真5.2.3-13

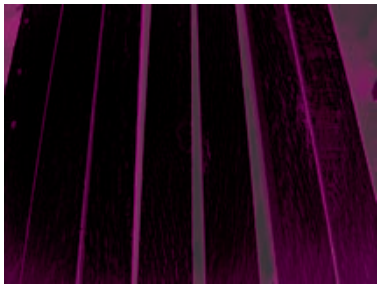


写真5.2.3-14



写真5.2.3-15


写真5.2.3-16


写真5.2.3-17

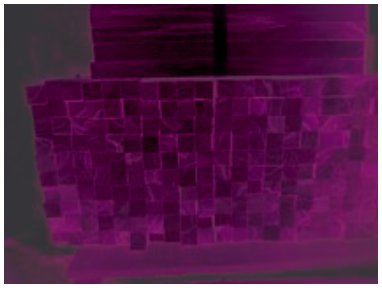

写真5.2.3-18

写真5.2.3-10～18　関東地域における製材工程の様子

（４）関西と関東での込栓材料の品質

関西、関東両地域の製材・木取り工程が異なり、込栓材料の品質に影響を及ぼすと考えられる因子を以下にまとめる。

使用部位：　関西地域では辺材部が用いられ、関東地域では心材部が用いられることが多い。

（図5.2.3-3）年輪傾角：　　関西地域では追い柾材の発生確率が高くなるが、関東地域ではまんべんなく年輪傾角が生じる。

目切れ：　両地域とも最終の仕上げの段階で繊維に沿った加工工程を持つため、その影響は小さいと考えられる。

欠点：　両地域とも細かい節や入り皮、木食い虫等の穿孔を持つ材料は目視判断により除去する。このため、製品は概ね無欠点材となる。

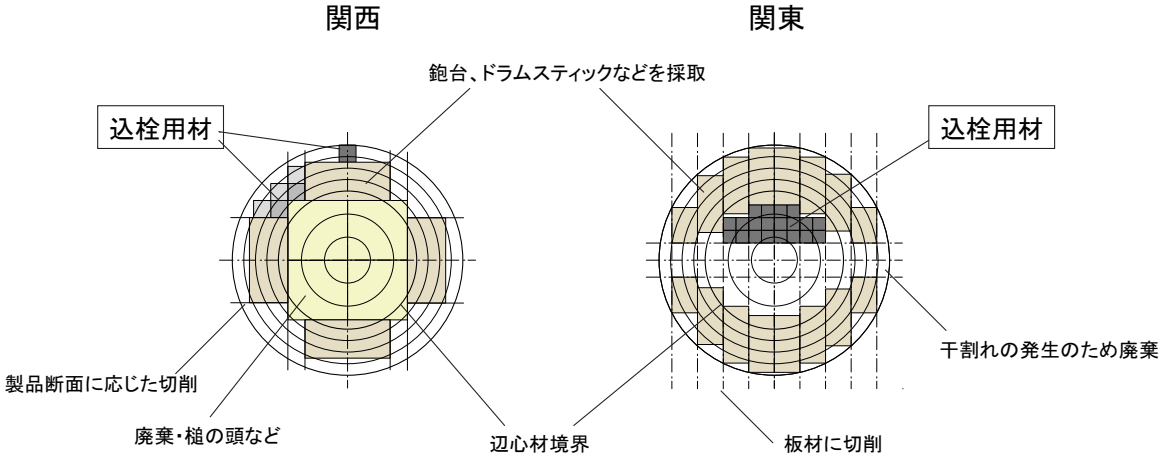


図5.2.3-3　込栓用材として用いられる部位の概念（関西と関東で異なる）

（５）込栓加工業者による品質管理

上記のように製材所の段階で品質管理された込栓材料は、さらに込栓加工業者によって選別が行われる。昨年度報告した関西地域における込栓等広葉樹製接合具の製造工場の実地調査による知見を以下に再掲する。

①　製材所での検査において節や欠点を省いた材料が納入される。
②　込栓原材料は製材所から仕入れた後、約2ヶ月間、屋外小屋がけ桟積み乾燥する。
③　込栓は自動加工機によって製造される。

④　込栓加工場での品質検査として、加工機に挿入するときに内部で曲げ破壊を生じないために、有節材を完全に除去する（除去率15%程度）
⑤　製材所での木取りの影響のため、込栓製品では追い柾となる確率が高い。
⑥　一般規格（15×15×120mm程度）と異なる込栓製品は剪定ばさみ用材として仕入れた平製材などを用いる。

⑥にあるように、定格断面と異なる接合具についても、込栓加工業者を通じて入手したものは基本的に製材所での品質検査を経たものであるため、欠点の除去については同等の手順が為されたものと考えられる。関東地域における込栓加工業者の実態調査は未実施であるが、除去率20%程度であるとの情報を製材所より得た。

（６）まとめ

伝統構法に使用される広葉樹製接合具の品質について調査するために、シラカシ接合具の元材料を製材加工している製材所の調査を行ったところ、関東・関西で工程に違いが確認された。すなわち、込栓材質について、関西地域では主としてカシ丸太の辺材から採取される追い柾材が多く、関東地域では心材から採取される材料が多いことが明らかとなった。また関東地域では心材に発現しやすい、ボタンと呼ばれる着色部位を選択的に使用することがわかった。その結果として込栓材料としてのカシ材強度品質における年輪傾角や樹幹内横断面位置の影響は今後の検討課題である。一方で関東・関西の地域を問わず、欠点の除去と乾燥工程は、製材所と込栓加工工場の2段階で行われており、材料品質の安定化に対し有効に機能していると考えられる。

５．２．４　実務者の目視選別の内容と方法に関する調査

（１）検討の背景と目的

木造建築物の構造設計に際して、時刻歴応答計算や限界耐力計算、エネルギー法を適用した場合を除いた全ての場合に、建築基準法施行令（以下、「令」と称する）第3章第3節の仕様書的規定が適用されるが、令第46条第2項を適用してS62建設省告示（以下、「建告」と称する）第1898号に掲げる材料を使用して、S62建告第1899号の構造計算、則ち許容応力度計算を行えば多くの仕様規定が適用除外される。特に壁量規定が除外されると差し鴨居の回転抵抗を考慮に入れた独立柱の耐力計算や垂れ壁や腰壁の類の耐力計算に基づいた構造設計が可能となり、伝統構法には極めて有効と考えられる。ここで、S62建告第1898号では使用材料を集成材や製材のうちJASによる品質が特定されたものに限られている。

木造建築に関する伝統的技術には､材料を実務者の目で選別､品質管理することが含まれている。実務者が材料を選ぶときに選別する条件、根拠などを明文化し、選別された材料の何が異なるのかを科学技術的に説明することを目的として検討する。実務者による目視選別の内容、効果に何らかの位置づけを与え、品質が担保されていることが証明されることにより、令第46条第2項を適用して壁量規定を適用しない建築物の構造安全性が確保される可能性を目途とする。

平成22年度は、杉平角材に対する実務者らの選別作業を行い、実務者らには平均年輪幅の狭いことが優位に評価されていることを明らかにし、これが曲げ弾性係数とは一定の範囲で相関関係があることを明らかにした。本年度は、同一の材料に対して曲げ破壊試験を行い、実務者らの評価結果と曲げ強さの関係を検証することを目的としている。

（２）被調査材料の曲げ破壊試験

H22年度に実施した実務者による目視選別アンケート調査では、接合部を有する横架材として用いられる材料を想定し、天然乾燥スギ平角材24本について、事前に弾性係数等の基礎物性値を調査した上で、実務者から個別に評価をしてもらい、構造特性に関する各評価項目について回答を得、各種物性値との相関を調査した。

今年度は、被調査材料の曲げ破壊試験を実施し、新たに強度特性値や試験体の欠点の存在と、実務者による評価値との関係性について調査を行った。

1)曲げ試験方法

(a)供試体

供試体は愛知、熊本、埼玉、静岡、奈良、和歌山の全国各地の代表的な業者によって製材された天然乾燥芯持ちスギ平角材（断面120mm×240mm、長さ約4000mm）で、各地域4本ずつ計24本である。材料の乾燥度合いは各地の製材所の判断に任せたため、実務者による目視選別評価が行われた2011年1月の段階ではやや含水率が高いものが含まれていた。その後、これら材料を約10ヶ月間の間､屋外小屋がけ状態でさらに養生を加え､十分に乾燥した頃合を図って曲げ破壊試験に供した。

(b)試験方法

試験体の計測項目について、①電気抵抗式含水率（Moco2、梁側面の3点の平均値)、②梁全体としての見かけ密度、③縦振動ヤング係数、④干割れ・欠点の記録、を試験前に計測し、さらに曲げ試験では⑤見かけ曲げヤング係数、⑥真の曲げヤング係数、⑦曲げ破壊係数を測定した。さらに試験後の材料の破壊点付近から約20mm厚の薄片を採取し、⑧薄板密度、⑨全乾法含水率（105℃オーブンで48時間乾燥）を測定した。なお、昨年の実務者による目視選別を実施した際の予備試験時に、(製材後すぐのため含水率が高い状態における）ア：電気抵抗式含水率、イ:見かけ密度、ウ:縦振動法動的ヤング係数、エ:見かけ曲げヤング係数、オ：平均年輪幅について計測を行った。縦振動

法による動的ヤング係数は、試験体中央をクッション材で支持し、試験体の一端をハンマーで打撃し他端でマイクロフォンによりその音響を記録した後、一般的なFFT解析ソフトで一次共振周波数を計算し、下記の算定式によって求めた。

$$E_f = (2fl)^2\rho \qquad (5.2.4\text{-}1)$$

ただし E_f :動的ヤング係数　(N/mm^2)
f :一次共振周波数　(Hz)
l :試験体全長　(m)
ρ :密度　(kg/m^3)

なお、一次共振周波数の測定に対し、PCによる一般的なFFT解析ソフト（WaveSpectra）を用いた解析の他、実務者が簡易に現場で測定できる手法の検証を見据えて、音響記録-FFT解析までを行えるiPod用の音響解析ソフト（bs-spectrum）を用いた計測も併せて行った。

図5.2.4-1に曲げ破壊試験装置の概要を示す。試験方法はスパン6H-4H-6H（1440-960-1440mm）の4点曲げ試験とした。なお、これは全長が最小4000mmの条件で両側スパン6Hを確保するために設定したもので、一般的な3等分点4点曲げ試験法に比べて中央スパンがやや小さい条件である。試験体をフレーム上に梁背を上にして設置し、Instron製竪型油圧サーボアクチュエータを用いて変位速度8mm/minで単調増加加力を行い、試験体を破壊に至らしめた。中央荷重（ロードセルInstron1000kN）、中央撓み（梁両側面中心軸より引き出し変位計計測値の平均値（#1,2））、純曲げ撓み（①梁上に載せたヨーク（#3）、②梁下の3点の変位計（弾性域経過後に取り外し）（#6,7,8））、および支点のめり込み変位（#4,5）をそれぞれ計測した。

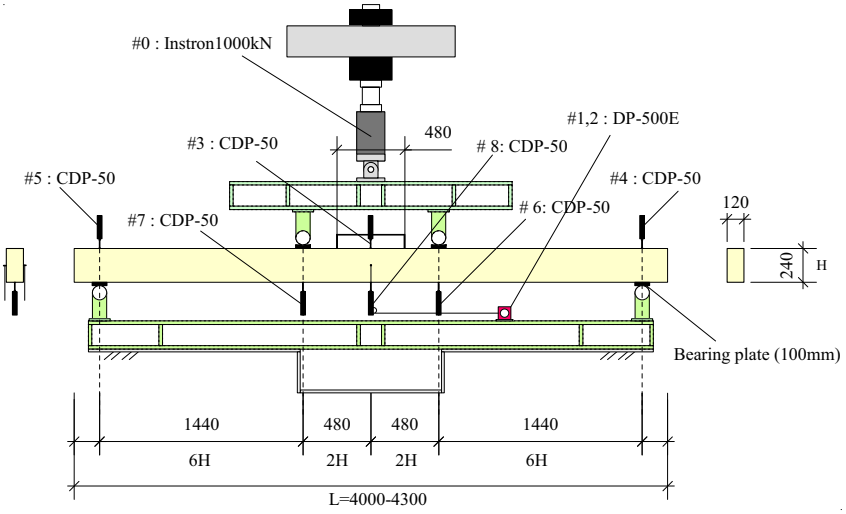


図5. 2. 4-1　試験装置と方法

2)試験結果

(a)試験体基礎物性値

図5.2.4-2に試験体の各基礎物性値を示す。図aは目視選別実施時の含水率、および試験後の含水率の変化である。試験後には表面含水率と小片から求めた全乾法による含水率を測定した。

全乾法含水率 [%]=$(w_1-w_0)/w_0\times100$ (5.2.4-2)

ただし　w_1:曲げ試験実施時小片重量
　　w_0:曲げ試験実施時小片全乾重量

また、目視選別時には表面含水率のみを測定したが、図からも読み取れるように表面含水率と全乾法含水率には特に高含水率時において誤差が大きい。そこで、試験実施時との重量変化と、試験実施時における全乾法含水率の関係から、目視選別時の推定全乾法含水率を算定した。

推定全乾法含水率［%]=$(W_2/W_1 \times w_1 - w_0)/w_0 \times 100$　　(5.2.4-3)

ただし　W_2:目視選別時全体重量
　　W_1:曲げ試験時全体重量
　　w_1:曲げ試験実施時小片重量
　　w_0:曲げ試験実施時小片全乾重量

目視選別実施時には推定全乾法含水率200%を超えるものが含まれていたが、10ヶ月の小屋がけ養生の結果、1体を除き、試験時には概ね全乾含水率20%程度にまで低下した。以上より、断面や長さの大きい天然乾燥スギ梁材でも十分な乾燥時間を取れば含水率をある程度実用的な範囲にまで低下させることができることがわかった。表面と全乾の含水率は若干の誤差があるが概ね一致した。ただし、表面付近が20数%でも内部では50%を超えるものが含まれているなど、表面では内部のこう含水率を測定できないケースが見られた。図bは試験体の計測時密度と含水率を考慮して定めた全乾密度を示した。全乾密度の算定式は以下による。

全体全乾密度［kg/m^3］＝ρ_a /(1+ MC_d/100)　　(5.2.4-4)

小片全乾密度［kg/m^3］＝ρ_b /(1+ MC_d/100　　(5.2.4-5)

ただし ρ_a:曲げ試験実施時全体密度［kg/m^3］
　　ρ_b:曲げ試験実施時小片密度［kg/m^3］
　　MC_d:全乾法含水率[%]

なお、計測時含水率について、全体、小片とも全乾法による小片の含水率の値を用いた。今回の試験体は全乾密度が平均329kg/m^{3}であり、15%含水率時への補正値で378kg/m^3（5%下限値316kg/m^3）と概ね一般的な密度の材料であった。図c、dにはそれぞれ平均年輪幅と縦振動法による動的ヤング係数の値を示した。動的ヤング係数について、含水率の低下により、目視選別時に比べて曲げ試験実施時には平均7%程度の向上が見られた。図eにはPCソフトによる詳細解析とiPodアプリによる簡易解析による動的ヤング係数の値を示した。iPodでは解析解像度が小さいため、若干の誤差が発生するが、相関係数0.97程度の値を示し、簡易な手法としては実用に耐える結果が示唆された。

密度や年輪幅の情報は、実務者が材料の良し悪しを判断する際の一つの基準となっていると考えられる。図fには動的ヤング係数と密度の関係を示した。ヤング係数と比例した関係が確認され、全乾密度についてやや高い相関係数を示した（r^2=0.44）一方で、気乾密度との相関はそれほど高くなかった（r^2=0.24）。図g,hにはそれぞれ小片全乾密度および動的ヤング係数と平均年輪幅の関係を示す。年輪幅が大きくなるほど全乾密度が低下する明確な関係が見られたが（r^2=0.46）、その結果として年輪幅どヤング係数の関係は、年輪幅が細かい試験体ほどヤング係数が高い関係を示したものの、その相関係数はやや小さかった（r^2=0.23）。

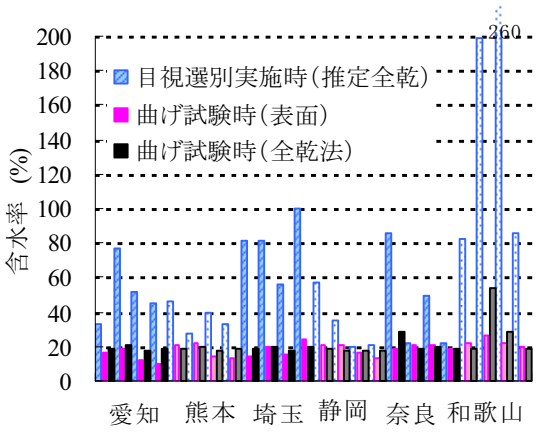


図5.2.4-2a　目視選別実施時と試験時の含水率

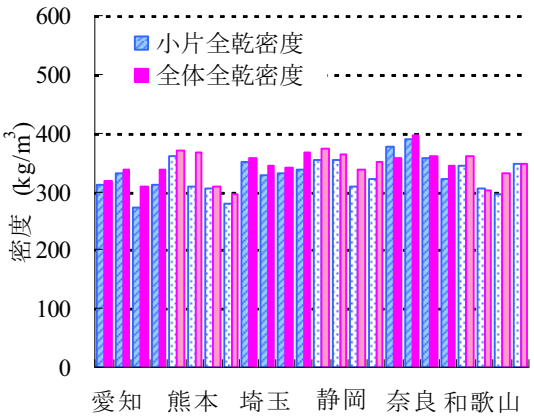


図5.2.4-2b　小片と全体の全乾密度

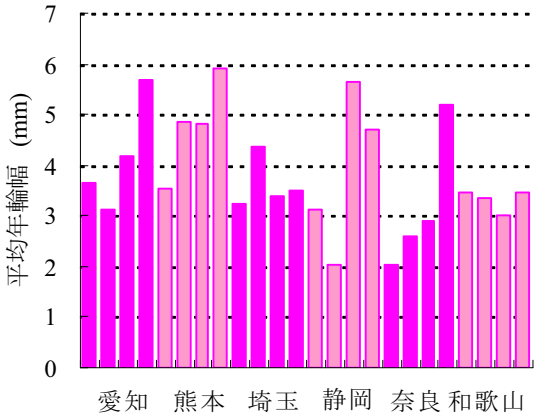


図5.2.4-2c　平均年輪幅

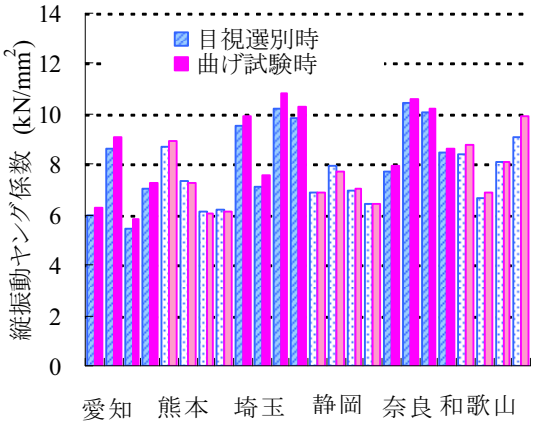


図5.2.4-2d　目視選別実施時と試験時の縦振動ヤング係数

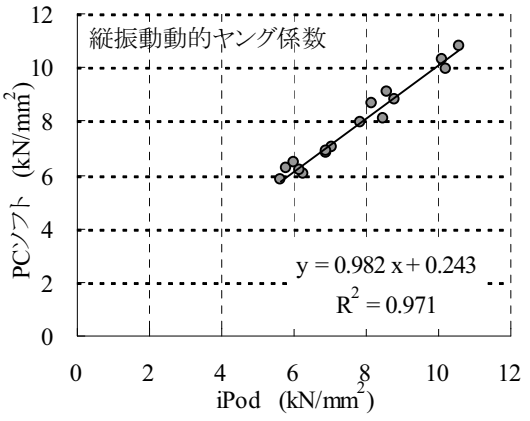


図5.2.4-2e　iPodによるヤング測定の精度

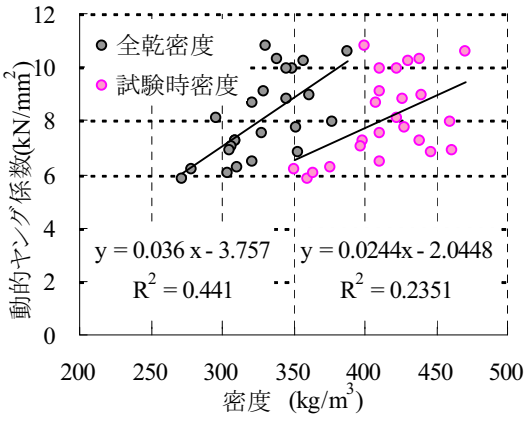


図5.2.4-2f　密度と動ヤング係数の関係

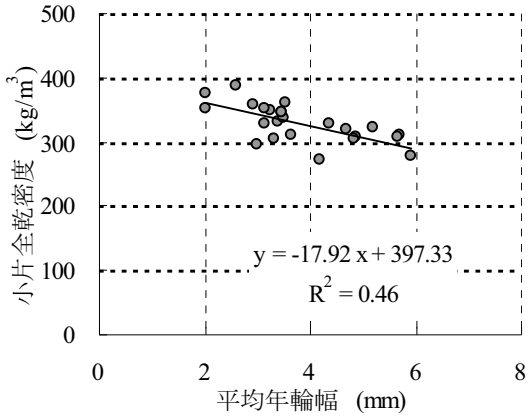


図5.2.4-2g　平均年輪幅と全乾密度の関係

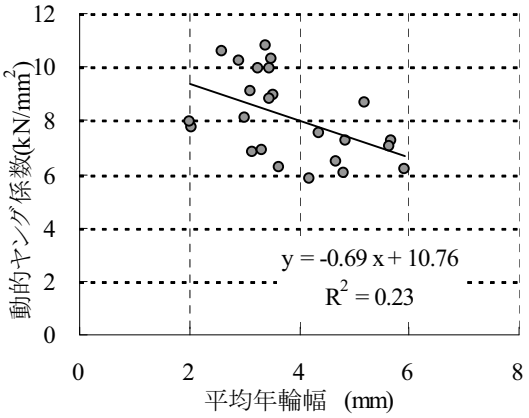


図5.2.4-2h　平均年輪幅と動的ヤング係数の関係

(b)欠点の存在

図5.2.4-3aから図5.2.4-3fに加力点付近（加力点間及びその外側各200mmの範囲）の4周で計測した節と干割れの欠点の記録を産地ごとに示す。また、その計測データを表5.2.4-1に示す。節は測定された径の大きさを図示し、干割れについては両加力点および中心線上における干割れの（幅，深さ）の値を示した。なお、試験体は各産地より材質がばらつくように納入するよう依頼しており、必ずしも今回の結果がその産地の代表的な欠点の発生を表すものではない。

曲げ試験時の加力方向は、実務者の目視判断に従い、いわゆる背側が上になるよう設定したが、今回の試験体では加力時に引張側になる腹側での欠点が少なく、静岡産の1体（静岡4）を除いては、腹側がほぼ無欠点に近い状態の試験体が多かった。一方で側面や上面にはときに50mmを越えるような大径の節が存在するものが見られた。とりわけ節の多かった試験体を列記すると、愛知4、熊本2、静岡3、静岡4などであり、やや節の多かった試験体は愛知3、埼玉4、静岡2、奈良1などであった。試験体の側面に干割れのある試験体もあったが、上下面には干割れはほとんど存在しなかった。愛知3、静岡3、静岡4、奈良3、和歌山4等で干割れの深さが20mmを超えていたが、含水率が20%程度にまで低下した試験体であることを考えると、干割れの発生は顕著でなかったということができる。天然乾燥材であっても乾燥手順を踏まえれば干割れの発生を抑制できる可能性を示唆した結果と考えられる。

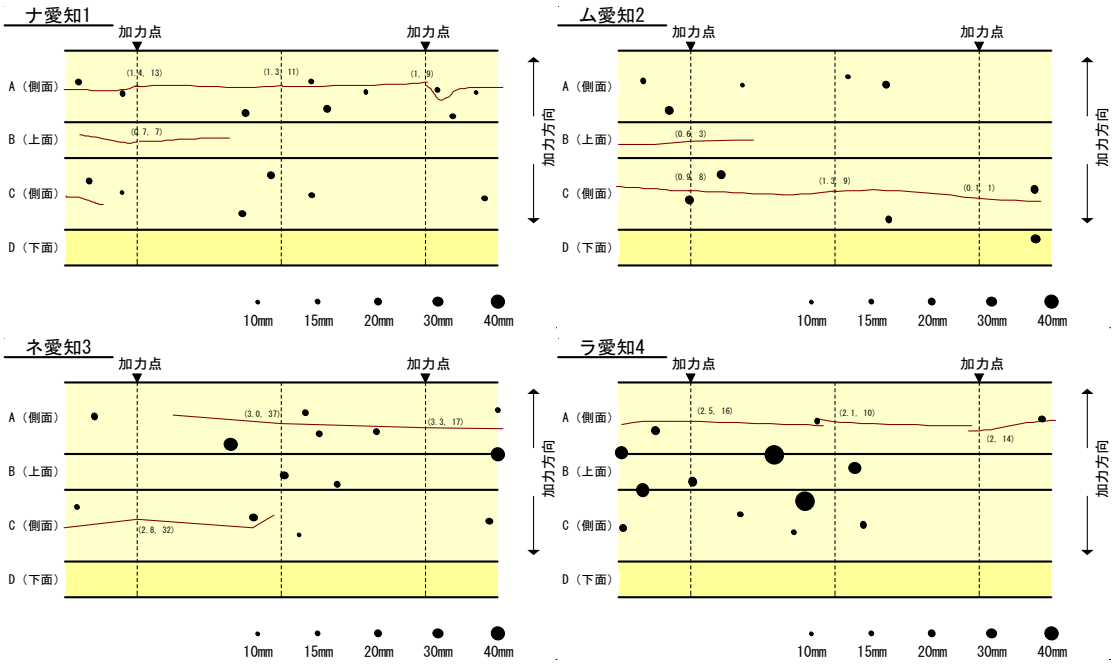


図5.2.4-3a　欠点記録（愛知産材）

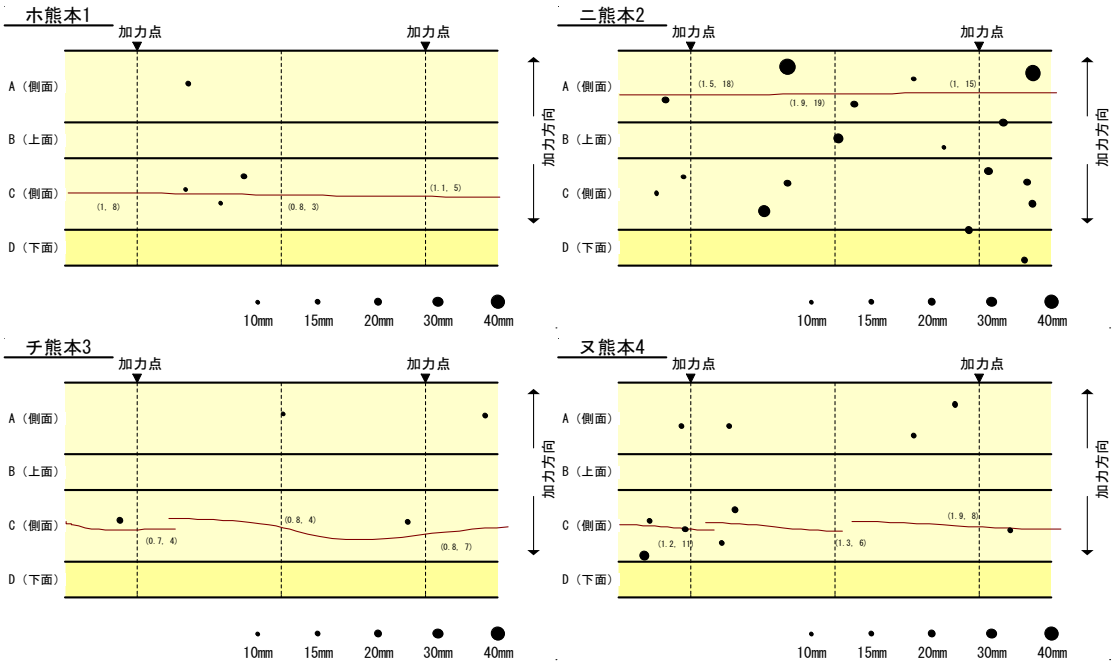


図5.2.4-3b　欠点記録（熊本産材）

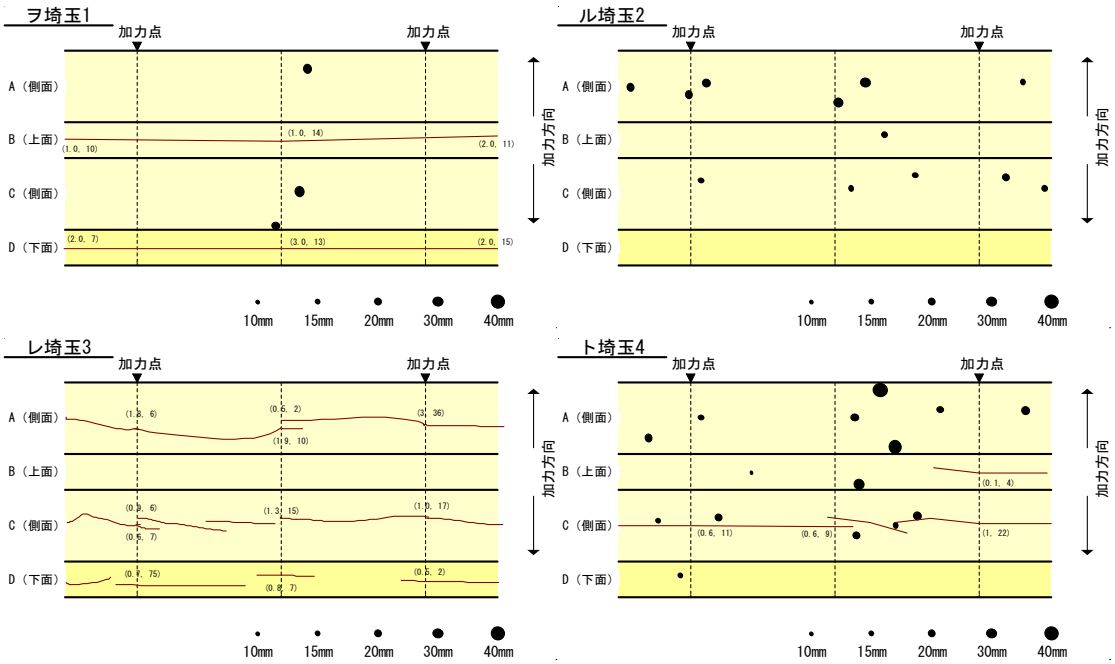


図5.2.4-3c　欠点記録（埼玉産材）

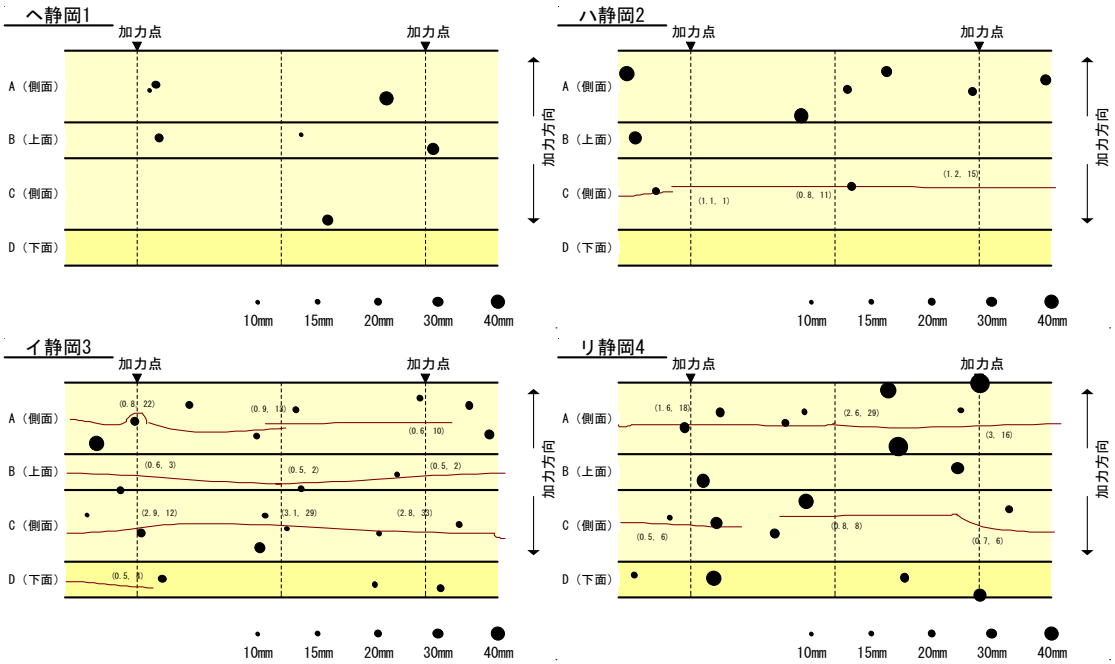


図5.2.4-3d　欠点記録（静岡産材）

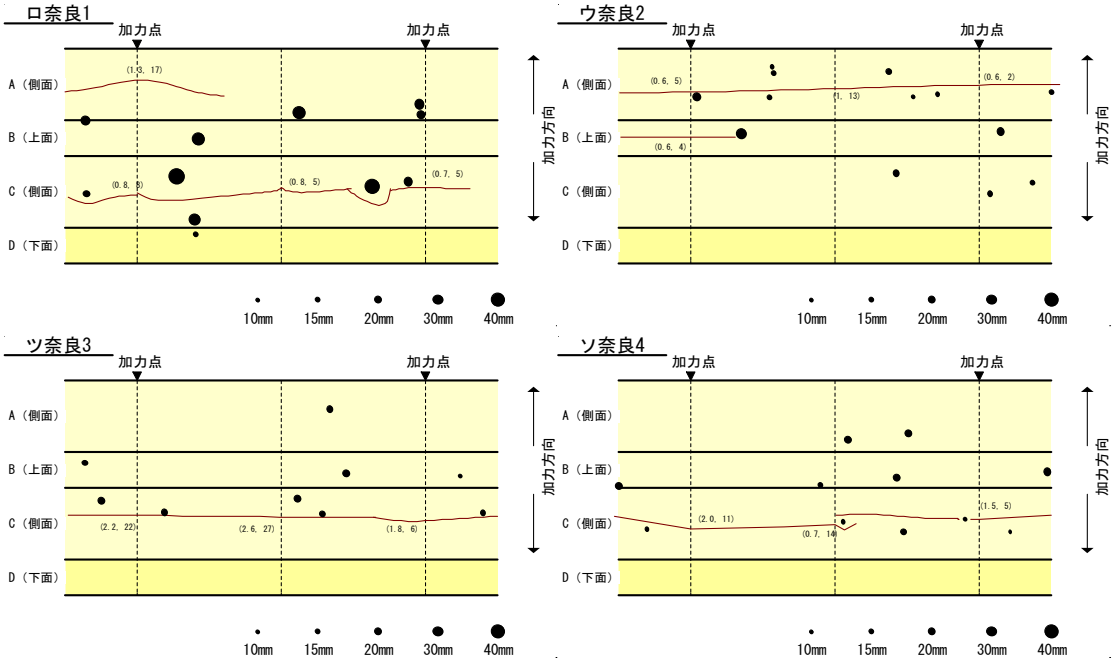


図5.2.4-3e　欠点記録（奈良産材）

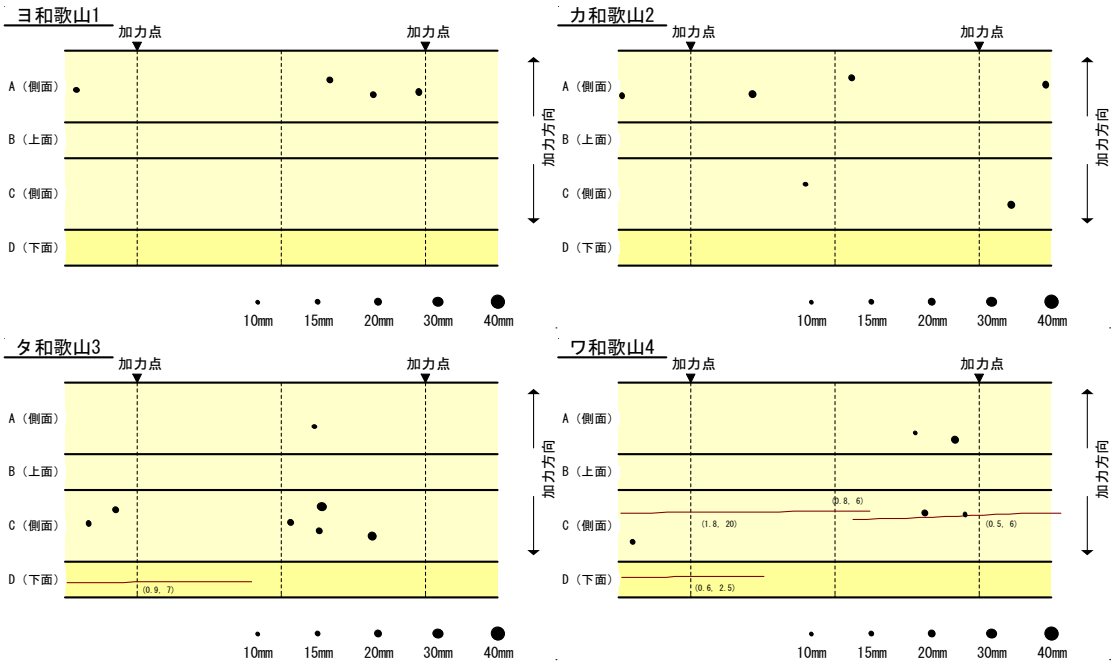


図5.2.4-3f　欠点記録（和歌山産材）

(c)荷重-変位関係と破壊モード

図5.2.4-4に代表的な荷重-梁中央部変位の関係を示した。同図aは節の多かった試験体、cは節の少なかったもの、bはその中庸の試験体の結果である。また、試験風景と代表的な破壊性状の写真を写真5.2.4-1に示す。静岡4のように、節の存在によって耐力が低く、また脆性的な破壊性状を示した試験体があった一方で、埼玉4などは耐力的には節のないものと遜色ない性能を示すものも見られた。また、和歌山2のように、表面上は節は小さかったものの、内部にあり外から見えない節が破壊の起点となり、小さな耐力を示す試験体も見られた。また下面に節の無い試験体では静岡2や熊本1のようにそぎ割れ破壊によって破壊したが、試験体圧縮側での圧縮降伏が進行し、結果としてきわめて粘り強い性能を示した。全ての試験体のうち、奈良4の1体のみが加力点外側からのせん

断破壊により破断した。

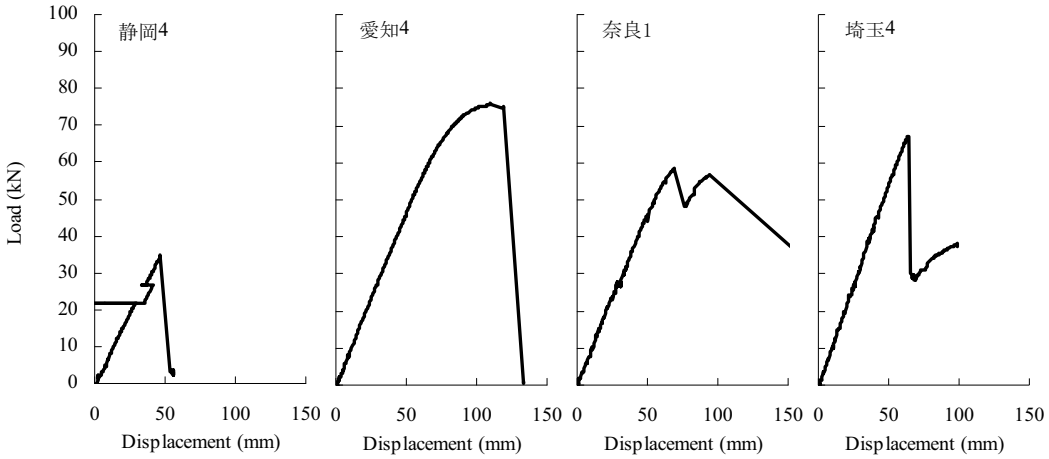


図5.2.4-4a　代表的な荷重-変位関係（節の多かった試験体）

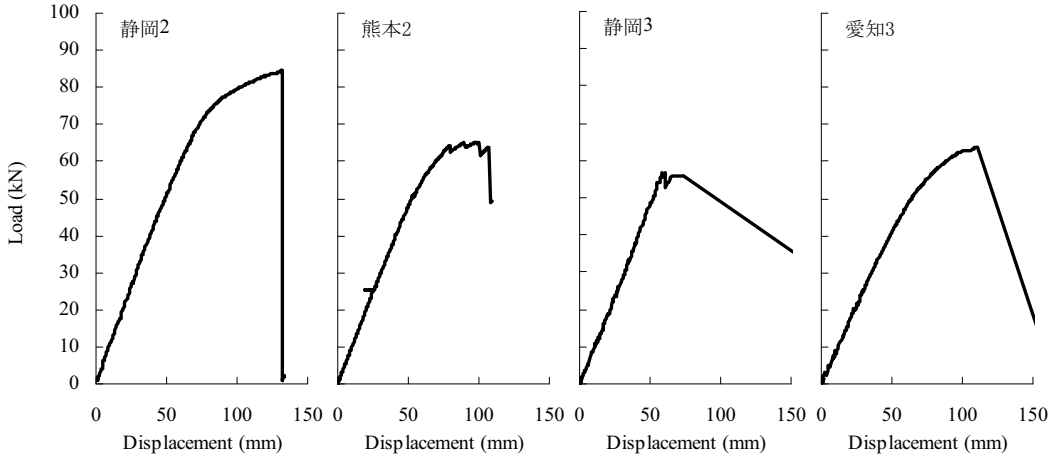


図5.2.4-4b　代表的な荷重-変位関係（節が中庸であった試験体）

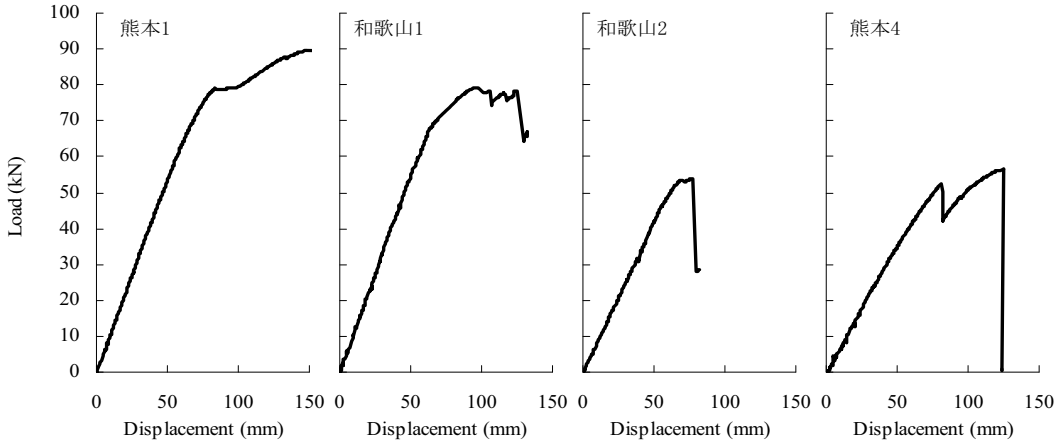


図5.2.4-4c　代表的な荷重-変位関係（節が少なかった試験体）



左）中央部分の変位計セット

右）大変形を示した試験体の撓み（奈良4）

左）静岡4（下面節よりの破壊）

右）奈良1（下面に近い部分の節）

左）埼玉4（下面の小さな節が基点となった破壊）

右）埼玉2（下面無欠点部よりの爆裂破壊）

左）奈良3（そぎ割れ破壊）

右）熊本1（そぎ割れ破壊）

左）和歌山2（表面無節、内部の隠れ節が基点となった破壊）

右）奈良4（外側支点に至るせん断破壊（全体で1体のみ））

写真5.2.4-1　試験風景と代表的な破壊モード

(d)特性値とその関係

曲げ試験で得られた荷重-変位関係から各種特性値を求めた。得られた最大荷重から曲げ破壊係数

MORを算出した。また、最大荷重のそれぞれ10%、40%の荷重を示す区間を初期弾性範囲と定め、その区間における荷重-変位関係の傾きから曲げヤング係数を算定した。なお曲げヤング係数については加力点と支点間におけるせん断変形の影響を含む見かけの曲げヤング係数と、加力点間における真の曲げヤング係数の2種類を求めた。

$$\text{曲げ破壊係数MOR } [\mathrm{N/mm^2}] = 3P_{\max}l_a / bh^2 \qquad (5.2.4\text{-}6)$$

$P_{\max}$:最大荷重[N]
l_a:支点−加力点距離[mm]
b:試験体幅[mm]
h:試験体せい[mm]

$$\text{見かけ曲げヤング係数}[\mathrm{N/mm^2}] = \frac{\Delta K}{bh^3}\left(\frac{3l_a l^2}{4} - l_a^3\right) \qquad (5.2.4\text{-}7)$$

ΔK:最大荷重の10%,40%区間における荷重−全体撓み関係の傾き[N/mm]
l_a:支点−加力点距離[mm]
l:全長[mm]

$$\text{真の曲げヤング係数}[\mathrm{N/mm^2}] = \frac{3l_a l_1^2 \Delta K_p}{4bh^3} \qquad (5.2.4\text{-}8)$$

ΔK_p:最大荷重の10%,40%区間における荷重−真の曲げ撓み関係の傾き[N/mm]
l_a:支点−加力点距離[mm]
l_1:真の撓み区間[mm]

表5.2.4-1に曲げ試験結果の一覧を示す。

図5.2.4-4aには曲げヤング係数と動的ヤング係数の関係を示した。せん断変形の影響を受ける全体見かけ曲げヤング係数が真の曲げヤング係数を上回るという不合理な面が見られるが、全体として動的ヤング係数をやや下回る比例関係を示した。また図5.2.4-5bには曲げ破壊係数とヤング係数の関係を示した。両者には比例関係が見られ、ヤング係数を用いた強度推定の有意性が確かめられた。一方で動的ヤング係数においてやや高い相関係数を示し、局部の変形ではなく、全体的な欠点の分布が強度発現により強い影響を示している様子が示唆された。図5.2.4-5cに示す、全乾密度と曲げ破壊係数との関係においてもやや高い相関関係が見られた。近似曲線から大きく外れた3体（静岡4、静岡1、奈良1）は静岡1を除いて特に欠点の大きかった試験体であり、節の存在によって密度による曲げ強度の推定に影響を及ぼす様子が観察された。なお、上記の3体を除外して近似した曲線の相関係数は0.74と極めて高い値を示した。図5.2.4-5dは平均年輪幅の逆数と曲げ破壊係数との関係である。昨年の報告でヤング係数と年輪幅との間には明確な相関関係が見られないことを報告したが、曲げ強度との間にも同様に明確な傾向があるとは言いにくい。またこの項目においてもグループから外れた試験体は節の多かったものが多く（奈良1、静岡3、静岡4）、これらを除去することでやや相関係数が高まり（r^2=0.22）、欠点の存在を考慮しない場合、ある程度強度推定指標としての有効性が見られることが分かった。

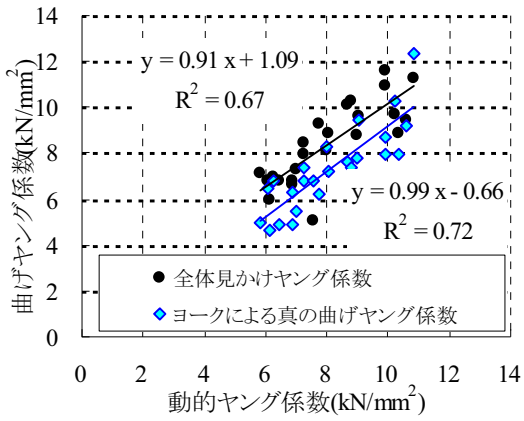


図5.2.4-5a　曲げと動的ヤング係数

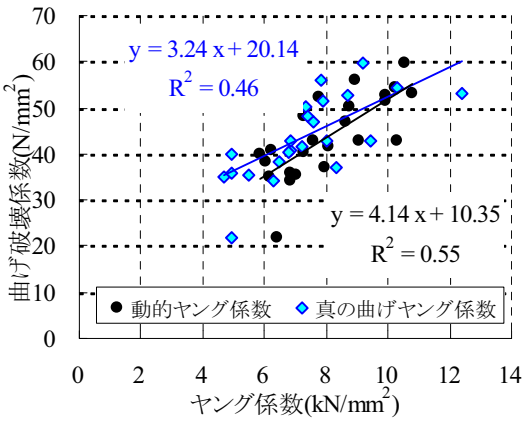


図5.2.4-5b　曲げ破壊係数とヤング係数

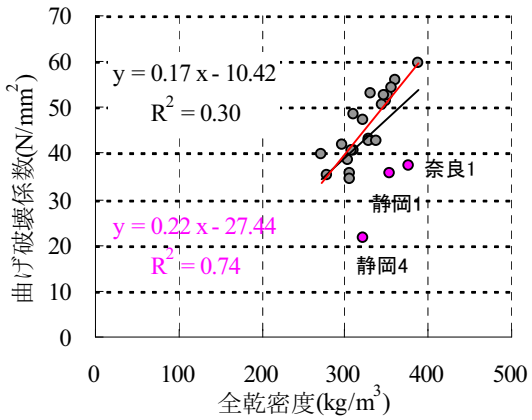


図5.2.4-5c　曲げ破壊係数と全乾密度

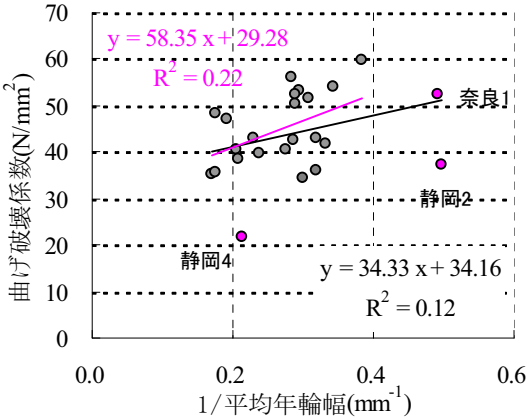


図5.2.4-5d　曲げ破壊係数と平均年輪幅

表5.2.4-1　節計測結果

			側面1								側面2								上面				下面			
ナ	愛知1	d	18	15	16	21	15	21	16	16	18	13	20	21	16	17										
		y	137	97	31	32	137	45	110	21	78	114	185	56	123	134										
		x	41	191	286	601	818	872	1239	1286	74	189	589	686	821	1396										
ム	愛知2	d	16	27	10	11	22				26	27	19	22									26			
		y	140	41	125	155	128				140	54	204	104									29			
		x	80	168	412	762	890				235	341	899	1382									1387			
ネ	愛知3	d	20	40	17	17	17	14	40		15	22	12	20					22	15						
		y	97	33	140	70	75	150	0		55	92	150	137					71	100						
		x	128	551	798	846	1036	1440	1440		38	622	778	1412					729	905						
ラ	愛知4	d	40	25	10	60	17	20			21	60	10	10	15	14	60	20	40	26	41	36				
		y	10	81	140	0	111	113			128	0	126	162	80	147	36	115	120	92	5	46				
		x	6	122	465	518	660	1408			13	83	120	123	400	582	616	813	80	245	512	785				
ホ	熊本1	d	15								11	10	12	12	15	11										
		y	130								102	131	104	150	60	143										
		x	410								54	245	392	518	595	1295										
ニ	熊本2	d	19	50	20	13	23	48	24		13	13	35	19	23	19	22		28	11	18		22	20		
		y	77	188	62	147	114	167	0		115	61	17	81.5	42	80	152		54	83	0		0	100		
		x	155	561	780	980	1225	1375	1280		125	215	484	557	1230	1358	1375		930	1050	1280		1165	1350		
チ	熊本3	d	11	12	11	11	14				11	15	14	10												
		y	113	135	79	128	131				109	100	105	74												
		x	483	725	957	1203	1396				84	178	1140	1425												
ヌ	熊本4	d	13	16	15	16					27	14	15	14	18	12	13	15	11							
		y	96	95	64	168					218	103	129	175	66	78	133	134	77							
		x	209	367	982	1118					84	103	221	341	387	1026	1086	1301	149							
ヲ	埼玉1	d	25								30															
		y	180								110															
		x	805								780															
ル	埼玉2	d	22	22	25	30	30	17			16	15	15	20	17				16							
		y	118	94	134	67	134	135			73	100	56	63	100				40							
		x	40	233	291	730	820	1344			274	772	986	1288	1417				883							
レ	埼玉3	d																								
		y																								
		x																								
ト	埼玉4	d	24	16	24	40	45	20	24		14	21	20	15	23				10	32			14			
		y	55	123	124	215	25	150	147		101	93	151	118	86				62	101			47			
		x	99	273	785	918	871	1070	1354		129	333	790	921	893				441	798			205			
ヘ	静岡1	d	12	22	43						29								26	10	34					
		y	107	128	80						201								50	39	88					
		x	281	302	1070						872								312	781	1225					
ハ	静岡2	d	45	45	25	34	25	33			20	10	25						40							
		y	164	22	110	172	105	142			109	99	93						51							
		x	27	607	760	891	1178	1420			124	373	774						54							
イ	静岡3	d	45	23	21	17	18	18	24	31	12	26	24	16	32	13	15	16	20	15	14		22	16	23	
		y	36	111	167	62	140	189	164	67	83	6	144	85	192	128	145	115	120	114	68		57	75	88	
		x	105	228	412	636	769	1180	1338	1411	72	183	251	665	647	738	1044	1310	184	785	1103		323	1030	1244	
リ	静岡4	d	30	26	22	15	50	60	16	60	13	33	28	45	21				39	30	36		17	47	28	40
		y	91	141	105	143	215	28	149	240	91	109	143	38	62				88	0	45		43	55	53	110
		x	216	337	555	618	895	930	1138	1200	167	325	519	625	1300				282	940	1127		48	316	951	1202
ロ	奈良1	d	28	40	30	25					21	50	35	45	26				30	40			14			
		y	0	26	55	191					125	67	211	100	85				5	61			20			
		x	66	778	1175	1183					71	365	426	1021	1141				76	442			435			
ウ	奈良2	d	25	13	15	15	19	12	13	16	10	10	20	15	14				32	24						
		y	79	180	158	78	164	80	89	95	66	74	55	121	89				45	37						
		x	260	510	515	500	898	980	1060	1440	270	465	921	1235	1375				405	1270						
ツ	奈良3	d	20								20	20	22	18	15				15	20	10					
		y	145								43	80	35	85	83				35	70	80					
		x	880								120	330	770	855	1390				55	935	1315					
ソ	奈良4	d	22	22							20	12	13	17	10	10			22	15	21	22				
		y	43	65							0	137	110	95	135	94			112	109	85	64				
		x	762	960							0	93	746	947	1152	1302			0	670	824	1415				
ヨ	和歌山1	d	15	19	10	15																				
		y	109	143	93	103																				
		x	37	880	1025	1177																				
カ	和歌山2	d	16	20	15	20					10	13	10	20												
		y	91	95	150	128					120	86	87	155												
		x	11	444	771	1420					509	622	1240	1306												
タ	和歌山3	d	11								17	18	18	16	27	25										
		y	95								112	64	108	135	55	152										
		x	829								78	169	750	846	851	1021										
ワ	和歌山4	d	10	11	21						14	16	13													
		y	95	74	51						173	76	80													
		x	594	987	1117						47	1012	1149													

※丸みや貫通割れ、腐朽など特異な欠点のある試験体は無い
※繊維傾斜は計測していないが、長尺材のため孤を描くものが多い

表5.2.4-2　曲げ試験結果

		材料データ										試験結果						
記号	試験体名	気乾全体密度	**気乾薄板密度**	（乾燥前気乾全体密度）	密度減少率	**平均年輪幅**	表面含水率	（乾燥前表面含水率）	**全乾法含水率**	全乾全体密度	**全乾薄板密度**	**動的ヤング係数**	動的ヤング係数（iPod）	（乾燥前動的ヤング係数）	**MOR**	**MOE-g**	**MOE-y**	D-Pmax
		kg/m3	kg/m3	kg/m3		mm	%	%	%	kg/m3	kg/m3	GPa	GPa	GPa	N/mm2	kN/mm2	kN/mm2	mm
ナ	愛知1	376.3	367.8	392.8	7.89	3.64	16.5	28.8	18.5	317.5	310.3	6.26	5.80	6.00	40.6	6.97	6.83	98.23
ム	愛知2	410.3	400.1	462.3	18.40	3.13	18.5	38.8	21.4	338.1	329.7	9.06	8.57	8.63	42.9	9.63	9.41	111.78
ネ	愛知3	360.7	319.6	388.4	22.39	4.19	12.0	32.5	17.4	307.1	272.2	5.83	5.61	5.48	39.9	7.09	4.95	110.13
ラ	愛知4	399.1	368.0	406.6	11.49	5.68	10.3	28.0	18.7	336.2	310.0	7.26	4.90	7.05	48.3	8.45	7.40	110.08
ホ	熊本1	440.0	429.7	433.2	0.94	3.54	20.8	22.5	18.9	369.9	361.3	8.96		8.69	55.9	8.78	7.82	146.65
ニ	熊本2	438.4	371.1	446.1	20.55	4.86	22.5	22.4	20.1	365.1	309.1	7.28		7.32	40.4	7.95	6.79	89.40
チ	熊本3	363.9	358.9	371.1	3.96	4.82	14.3	13.5	17.9	308.6	304.4	6.04	6.27	6.15	38.4	6.77	6.47	108.80
ヌ	熊本4	350.8	330.7	357.6	9.09	5.91	13.3	13.5	18.6	295.7	278.8	6.15	6.15	6.20	35.0	5.93	4.66	125.53
ヲ	埼玉1	422.7	414.7	565.7	42.45	3.24	14.2	53.6	18.9	355.7	348.9	9.94		9.54	51.5	10.94	7.91	96.83
ル	埼玉2	410.7	392.8	472.8	23.27	4.35	19.3	44.6	19.6	343.5	328.6	7.56		7.14	42.8	5.01	6.83	135.55
レ	埼玉3	400.2	386.8	457.4	20.67	3.40	15.0	42.7	17.1	341.8	330.4	10.82	10.60	10.21	53.0	11.30	12.37	50.40
ト	埼玉4	439.1	405.1	514.6	29.88	3.50	23.8	50.7	19.8	366.5	338.1	10.32	10.09	9.87	42.8	8.85	7.99	63.90
ヘ	静岡1	446.1	420.2	455.6	9.47	3.14	20.8	27.5	19.1	374.6	352.8	6.85	6.90	6.89	35.8	6.65	4.92	72.50
ハ	静岡2	428.2	415.1	433.4	5.03	2.03	20.7	25.4	17.8	363.5	352.5	7.74		7.95	52.4	9.24	6.24	132.08
イ	静岡3	396.7	362.5	399.5	11.04	5.65	16.0	24.8	18.1	335.9	306.9	7.00	7.04	6.96	35.5	7.29	5.48	60.20
リ	静岡4	410.7	375.9	414.4	10.98	4.69	13.0	22.9	17.2	350.6	320.8	6.43	6.02	6.40	21.7	6.81	4.92	46.80
ロ	奈良1	459.7	485.1	517.5	9.08	2.02	18.8	42.9	28.8	357.0	376.7	7.98	7.86	7.70	37.2	8.13	8.32	68.78
ウ	奈良2	471.0	460.3	477.8	4.41	2.60	21.0	36.0	18.6	397.3	388.2	10.57		10.47	59.8	9.45	9.19	129.63
ツ	奈良3	430.6	428.4	436.6	2.29	2.91	20.5	33.8	20.0	359.0	357.1	10.22		10.10	54.2	9.69	10.29	136.15
ソ	奈良4	408.5	383.0	410.7	8.08	5.19	18.2	30.3	18.9	343.5	322.0	8.66	8.15	8.50	47.0	10.08	7.59	62.75
ヨ	和歌山1	427.1	411.4	615.9	57.03	3.45	21.7	71.5	19.1	358.5	345.4	8.77	8.78	8.38	50.4	10.29	7.33	95.55
カ	和歌山2	460.8	468.1	816.3	115.98	3.33	26.7	95.4	53.5	300.3	305.0	6.88	6.88	6.64	34.3	6.77	6.28	76.95
タ	和歌山3	422.3	380.1	801.8	128.03	3.00	22.0	96.9	28.2	329.3	296.4	8.06	8.46	8.10	41.6	8.88	7.22	84.23
ワ	和歌山4	410.1	408.7	593.2	53.15	3.46	19.8	62.5	18.2	347.1	345.9	9.94	10.19	9.08	52.6	11.59	8.67	166.60
	平均値	416.0	**397.7**	485.1		**3.82**	18.3	40.1	**21.0**	344.3	**328.8**	**8.11**	7.55	7.89	**43.92**	**8.44**	**7.33**	99.14
	標準偏差	30.8	**39.2**	117.2		**1.08**	4.0	21.9	**7.3**	24.6	**28.5**	**1.55**	1.67	1.43	**8.62**	**1.72**	**1.80**	31.86
	変動係数	0.074	**0.099**	0.242		**0.282**	0.219	0.547	**0.350**	0.071	**0.087**	**0.191**	0.221	0.182	**0.196**	**0.203**	**0.245**	0.321
	50%下限値	411.8	**392.3**	469.0		**3.67**	17.8	37.1	**20.0**	340.9	**324.9**	**7.90**	7.32	7.70	**42.74**	**8.21**	**7.08**	94.78
	5%下限値	357.7	**323.4**	262.9		**1.78**	10.7	-1.5	**7.09**	297.7	**274.8**	**5.17**	4.38	5.18	**27.58**	**5.19**	**3.93**	38.76

（３）実務者による目視選別

1) 目視選別

昨年度行った実務者らの目視選別の概要を以下に示す。120×240mm×4mの横架材を対象として調査を実施した。全国各地の6ヵ所から、節や目切れなどの欠点が少ない材料と多い材料の両方を含むものとして4体ずつ調達した。これをE-ディフェンスの実験場の床に並べ、実務者に曲げ弾性係数の高低、密度の高低、含水率の高低、産地、価格、用途など及びその理由について調査票（平成22年度報告書参照）を使用してアンケートを行った。

アンケートの具体的な項目としては、

① スパンをとばす箇所に使うもの
② 重要な接合部を構成する部分に使うもの
③ 含水率が低いもの
④ 横架材に使用した時、曲がりにくいもの
⑤ 曲げ強度が高いもの
⑥ 乾燥割れが生じにくいもの
⑦ 狂いが生じにくいもの

であり、各項目について、「最も適している（☆または◎）」「適している（使える）（○）」「適していない（使えない）（△）」「最も不適切（×）」の4段階で評価をしてもらい、集計を行った。

2) 結果と考察

(a) アンケート結果について

質問項目のうち、③⑥⑦は材料の（目視選別実施時の）含水率に関わる項目であり、前年の報告で既に論じた。①②④⑤は試験体の強度物性値に関わる問題であるため、特に今回の考察対象とする。☆または◎を2、○を1、△を0、×を-1として評価値とし、各材料イ～ウの評価値の平均値を求めた。

図5.2.4-6は特に強度に関する指標に着目した実務者による評価値の分布を示す。郷土に関する指標同士は、同一の試験体で同じような値を示すことがわかり、実務者が曲がり難さや曲げ強度、接合強度といった特性を概ね同一の基準で評価していることが分かった。

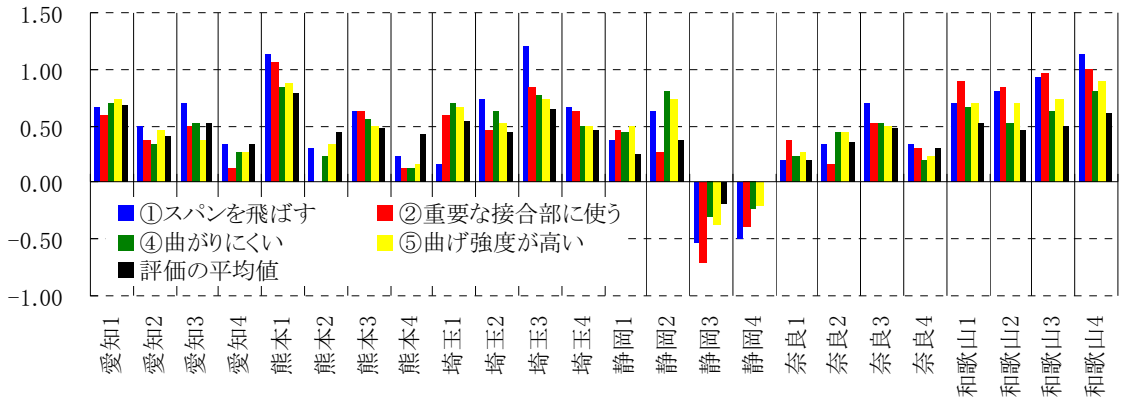


図5. 2. 4-6　実務者による評価値の分布

(b) アンケート結果と試験結果の比較

（ア）材質特性との関係

図5.2.4-7に各評価値と試験体全体の推定全乾法含水率および目視選別実施時の重量との関係を示す。下段③に見られるように、含水率（目視選別示重量）に対して実務者がある程度的確な判断

を下していることは昨年度の報告書でも述べた。これは試験体を持ち上げるなどしての判断によるものであると推察された。また、昨年度に報告したように、⑥乾燥割れや⑦狂いの生じ難さについては含水率との関係は余り考慮していないようである。さらに下段①スパンを飛ばす⑤曲げ強度が高いといった指標において、含水率が高い（重量が大きい）試験体でも高い評価を得ているものが多い。

図5.2.4-8には平均年輪幅および全乾密度と各評価値との関係を示す。昨年度も報告したように、これらの値に対し、①スパンを飛ばすと②重要な接合部に使う、および④曲がりにくいと⑤曲げ強度が高いの評価値はそれぞれほぼ同様の回答を示し、実務者がこれらの指標が示す特性値に対して同一の評価基準を持って望んでいることが伺える。また平均年輪幅については大きい値を示すものほど明確に評価値が下がる傾向が顕著であり、重要な評価基準としていることがうかがえる。さらにこれらの平均年輪幅および全乾密度と⑥乾燥割れや⑦狂いの生じ難さの評価値の関係は明確ではないものの、どちらかと言えば正の相関関係が見られ、実務者は年輪幅の小さなものほど、割れや狂いを生じやすい材料と見なしている傾向が伺える。

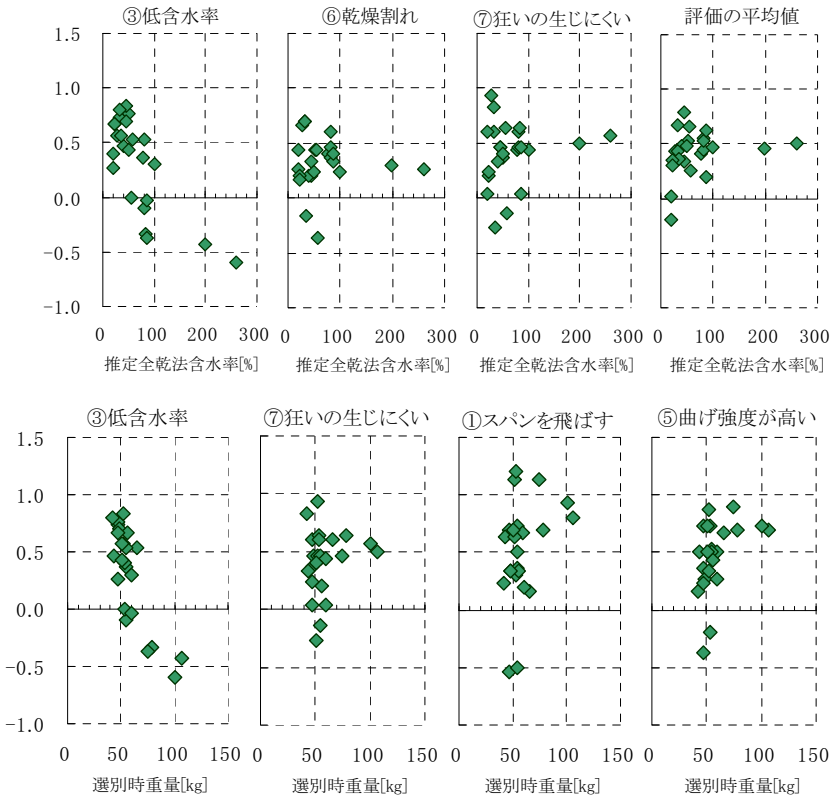


図5.2.4-7　含水率（上）および重量（下）と各評価指標値の関係

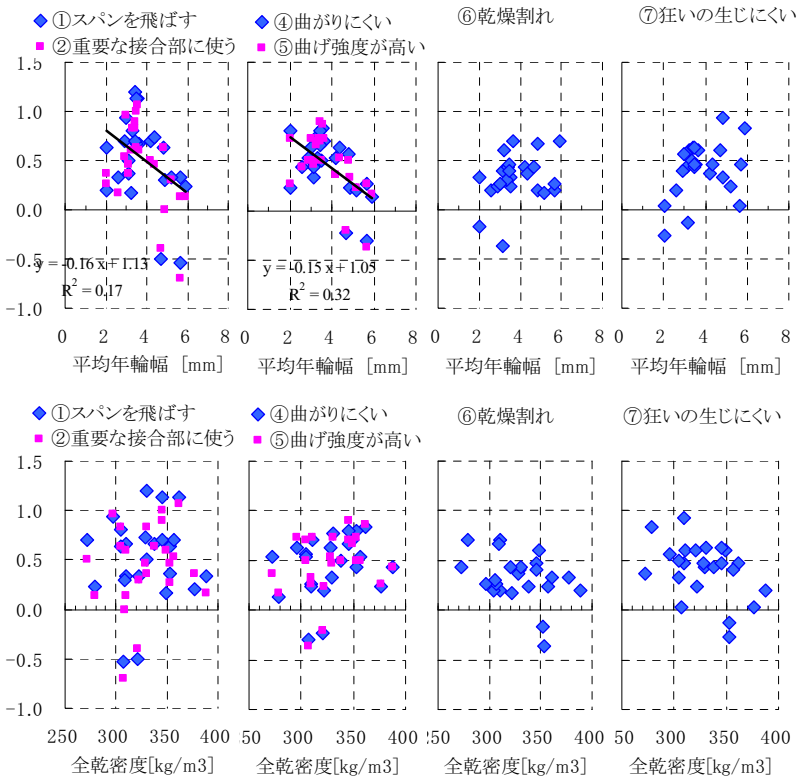


図5.2.4-8平均年輪幅（上）および全乾密度（下）と各評価指標値の関係

（イ）材料強度との関係

図5.2.4-9には動的および曲げのヤング係数と各評価指標値の関係を、図5.2.4-10には曲げ破壊係数と各評価指標値の関係を示した。同左図より曲げヤング係数と①スパンを飛ばす（および図には示していないが②重要な接合部に使う）の指標について、極めて高くは無いものの一定の相関関係が見出せる。一方で同中図より④曲がりにくい（および図には示していないが⑤曲げ強さが強い）の指標との関係はやや相関が弱い。またこの相関関係は動的ヤング係数に比べ、曲げヤング係数において高いことが見て取れる。ところで左図と中図中、実務者による評価が負の値となった2点（静岡3、静岡4）は欠点のとりわけ多かった試験体であった。この2体が他のグループと異なった位置取りの傾向を示したために相関関係に及ぼす影響が高いと考え、これを除去して再検討したものが同右図である。結果として、2点を除去しなかったものよりもそれぞれ相関係数が大幅に低下する結果となった。このように実務者による評価値はヤング係数の推定に対しては極めて有効とは言えない結果となった。

図5.2.4-10は曲げ破壊係数と各評価指標値の関係を示した。曲げヤング係数の場合と比べ、より高い相関関係があることが見て取れる。特異に欠点の大きかった2試験体について、欠点の大小と破壊係数は明確な関係性があることが知られているため、データ除去の処理を行わない場合、⑤曲げ強度、④曲がりにくさの指標との相関係数はそれぞれ0.35および0.41であった。これは動的ヤング係数より推定する曲げ破壊係数の相関係数（0.55）よりは下回るものの、全乾密度より推定するそれ（0.30）を上回るものであり、目視選別のある程度の有用性を示す結果といえる。

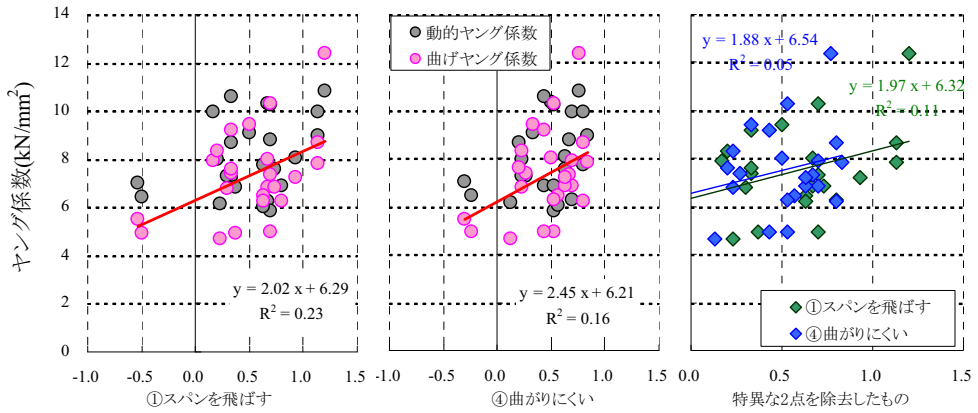


図5. 2. 4-9　ヤング係数と各評価指標値の関係

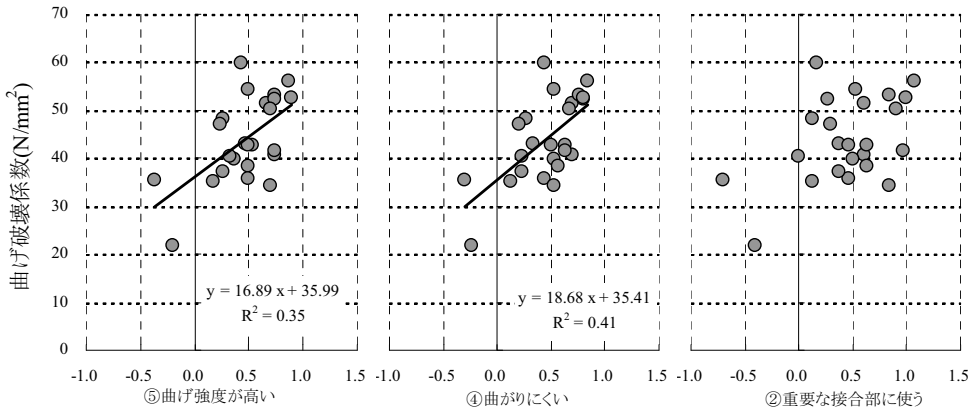


図5. 2. 4-10　曲げ破壊係数と各評価指標値の関係

（ウ）欠点との関係

図5.2.4-11には欠点計測によって実測した、加力点付近における全節の基準径の総計および割れの最大値と最大深さの積と、③含水率、④乾燥割れ、⑦狂いの発生に関する各指標の評価値との関係である。図のように、特に明確な相関関係は見て取れない。節の多少については実務者は狂いや割れの起因となるとは考えていないと考えられる。また、割れの計測が含水率が平均20%前後まで低下し、ある程度発生が進行した後に行われたことを考慮すると、実測割れ幅×深さの値が、指標値と良い一致を示さなかったことは割れの予測について、実務者の予測精度が低かったことを意味する。一方で割れの因子には部材全面における割れの他に、接合部を加工した後にその付近で発生する割れ（こちらのほうが構造耐力に対する影響度合いは大きいと考えられる）を考慮する必要があり、今回の実測値は後者に対応するものではないため、結果の取り扱いには注意を要する。（ア）で示したように、割れや狂いの発生に対し、実務者の関心が概ね年輪幅や密度に対して向けられていたことを考慮すると、実務者の想定する割れとは後者の接合部付近における割れに重点を置いている可能性が示唆される。

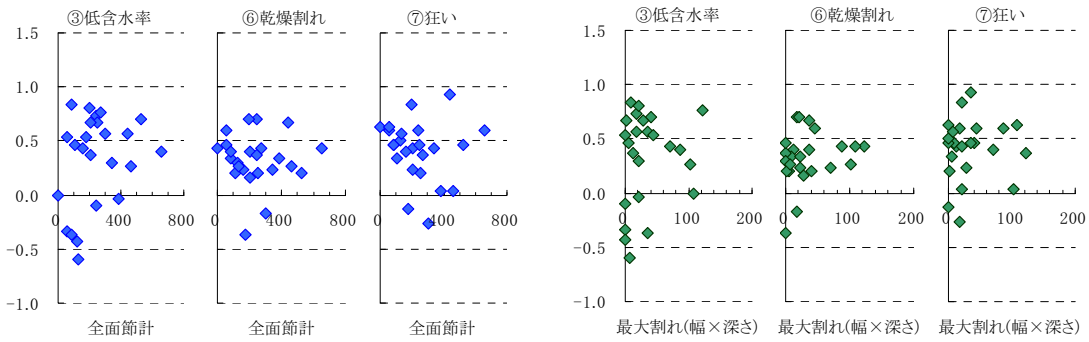


図5.2.4-11　節および割れの計測値と割れや狂いに関する指標の関係

部材の曲げ強度に強く影響する因子は、引っ張り側外層近辺に位置する節であることが知られている。そこで実務者がこれら節の存在をどのように判断しているか評価を行った。図5.2.4-12には加力点付近における最外層から材せいの1/4までの範囲内における最大の節径（上図）および全節の径の合計値（下図）と各種指標値との関係を示した。外縁1/4の範囲の欠点は内部の欠点よりも影響度合いが高いため、JAS目視等級区分でも区別して判断するよう求められている。なお、今回の試験体では加力方向があらかじめ定まっているため（実務者は認知していないが、梁の背腹を見て容易に判断すると考えられる）、加力時の引張側となる範囲だけに注目した結果を示した。図左端における節計測値と曲げ破壊係数との比較より、実際の試験結果においても、節の存在により曲げ破壊係数が有意に低下する傾向が見て取れる。また、節径の合計値とはやや高い相関が見られるものの、節がほとんど存在しない試験体についてもばらつきが大きく、別の因子を考慮した可能性が高いと考えられる。そこで、図5.2.4-13に示すように、外縁を考慮せず、四周全範囲にわたる節の存在を等価に考慮した比較を行った。上図は全面における最大節径、下図は全節径の合計値と各種指標値との相関関係である。図より明らかに、各種指標値は全節径の合計値との相関関係が非常に高いことが見て取れる。すなわち、実務者による節の影響の判断基準においては、その位置の影響をそれほど重要視せず、全体にわたって存在する節を等価に考慮して決定しているものと推察される。

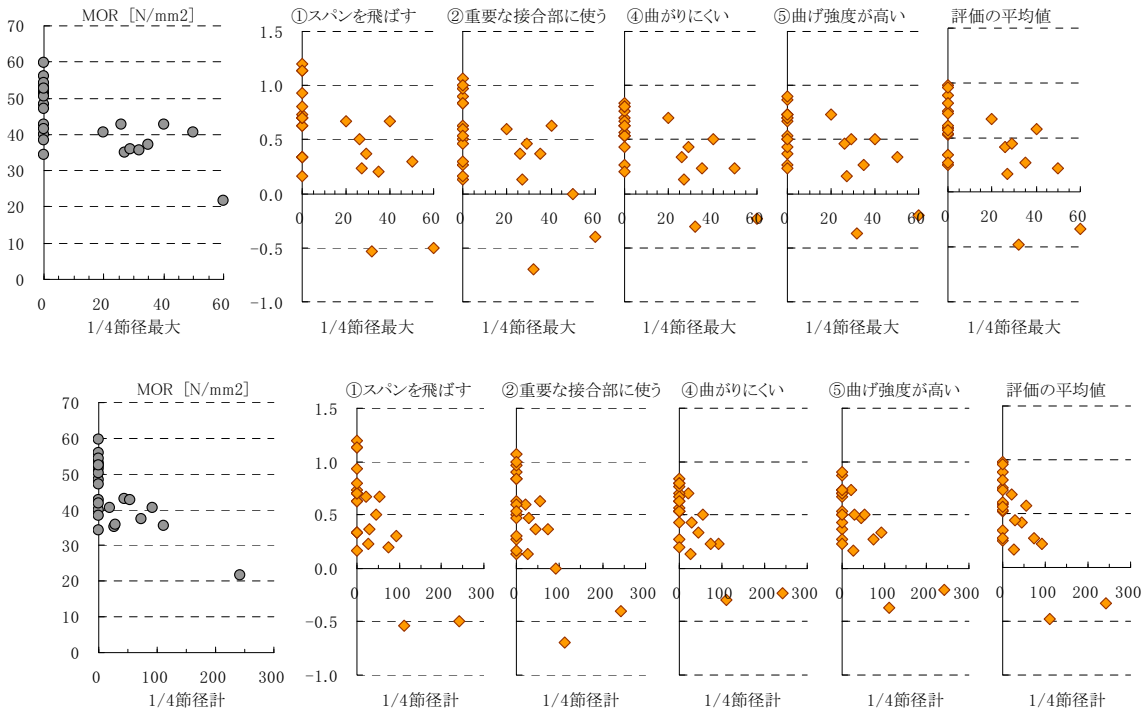


図5.2.4-12　節および割れの計測値と割れや狂いに関する指標の関係

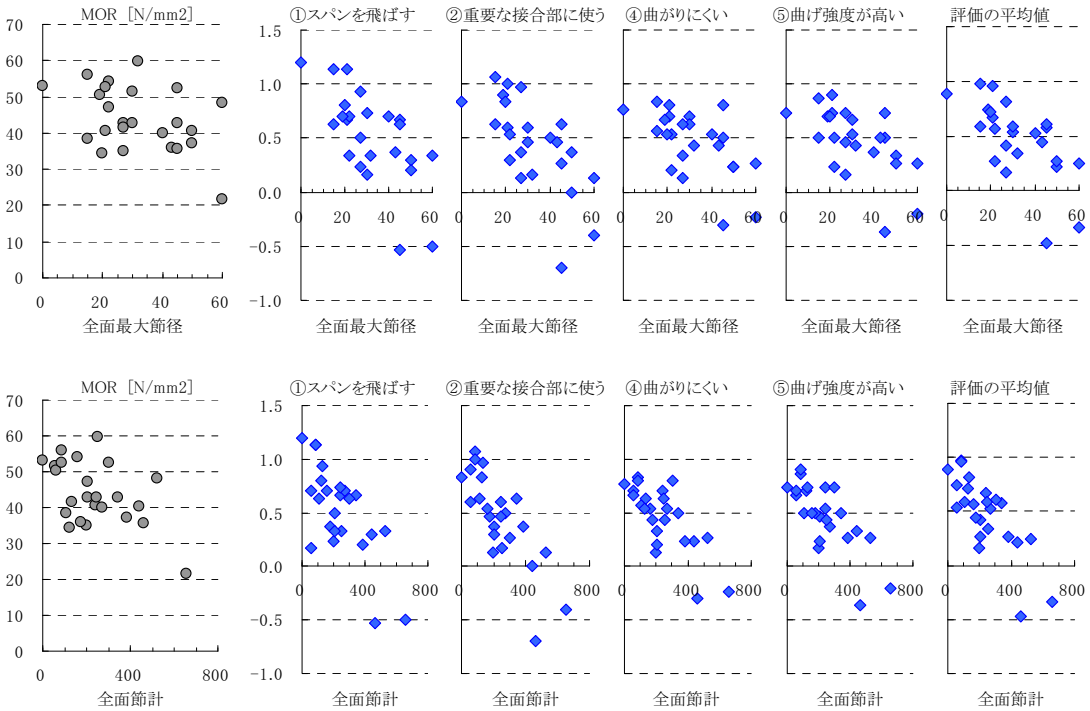


図5.2.4-13　節および割れの計測値と割れや狂いに関する指標の関係

(c)まとめ

本検討における実務者の選別の状況、およびそれを裏付けるべく実施した静的曲げ破壊試験の結果より、実務者が目視選別を行う際の基準となる対象項目と、その実際の有効性が明らかとなってきた。これまでに明らかとなった知見を以下にまとめる。

① 平均年輪幅は重要な（実務者による）評価対象であり、それが小さいものほど曲げ性能が高く、狂いや割れを生じやすいと考えている可能性が示唆された。一方、曲げ試験結果により年輪幅と曲げ強度の相関性は低いことが再確認された。
② 目視選別時の含水率の高低は比較的精度良く評価されている。また、含水率が極めて高くとも、例えば年輪幅が狭ければ曲げを受ける箇所に使用しても良いと判断する傾向にある。
③ 曲げに対する剛性と強度の指標、および重要な接合部に用いる指標については概ね等価に評価されていた。
④ 曲げ破壊係数については比較的高い精度での評価がなされていた。一方でヤング係数についての推定精度は低かった。これは実務者が曲げ性能推定に際し節の存在を重要視したためと考えられる。
⑤ 節の曲げ強度への影響の度合いについては、最外層に近いものを優先的に捕らえるのではなく、全体的な節の多少で判断している傾向が見られた。

表5.2.4-3　実務者による評価値と曲げ試験結果

		実務者による評価								材料データ					欠点データ(曲げ試験時			試験結果		
記号	試験体名	①スパンを飛ばす	②重要な接合部に使う	④曲がりにくい	⑤曲げ強度が高い	③低含水率	⑥乾燥割れ	⑦狂いの生じにくい	評価の平均値	選別実施時重量	選別実施時推定全乾法含水	平均年輪幅	試験時全乾法含水率	全乾薄板密度	最大割れ(幅×深さ)	節径全面合計	節径(1/4せい)最大径	動的ヤング係数	曲げ破壊係数	真の曲げヤング係数
		最も適している＝2，適している＝1，適していない＝0，最も不適切＝-1								kg		mm	%	kg/m3				GPa	N/mm2	kN/mm2
ナ	愛知1	0.67	0.60	**0.70**	**0.73**	**0.73**	**0.70**	**0.60**	**0.68**	47.2	32.6	3.64	18.5	310	18	243	20	6.3	40.6	6.8
ム	愛知2	0.50	0.37	0.33	0.47	0.37	0.40	0.43	0.41	54.8	77.1	3.13	21.4	330	12	206	26	9.1	42.9	**9.4**
ネ	愛知3	0.70	0.50	0.53	0.37	**0.77**	0.43	0.37	0.52	47.0	51.3	4.19	**17.4**	272	122	271	0	5.8	39.9	5.0
ラ	愛知4	0.33	0.13	0.27	0.27	**0.70**	0.20	0.47	0.34	48.2	45.1	5.68	18.7	310	40	525	0	7.3	48.3	7.4
ホ	熊本1	**1.13**	**1.07**	**0.83**	**0.87**	**0.83**	0.33	0.47	**0.79**	51.9	45.7	3.54	18.9	**361**	9	**86**	0	9.0	**55.9**	7.8
ニ	熊本2	0.30	0.00	0.23	0.33	0.57	**0.67**	**0.93**	0.43	52.5	**27.5**	4.86	20.1	309	36	440	50	7.3	40.4	6.8
チ	熊本3	0.63	0.63	0.57	0.50	0.47	0.20	0.33	0.48	43.5	39.5	4.82	**17.9**	304	6	109	0	6.0	38.4	6.5
ヌ	熊本4	0.23	0.13	0.13	0.17	**0.80**	**0.70**	**0.83**	0.43	42.2	32.7	5.91	18.6	279	21	199	27	6.1	35.0	4.7
ヲ	埼玉1	0.17	0.60	**0.70**	0.67	0.53	**0.60**	**0.60**	**0.55**	**65.4**	80.9	3.24	18.9	349	45	**55**	0	9.9	51.5	7.9
ル	埼玉2	0.73	0.47	0.63	0.53	-0.10	0.37	0.47	0.44	54.6	80.8	4.35	19.6	329	**0**	245	0	7.6	42.8	6.8
レ	埼玉3	**1.20**	**0.83**	**0.77**	**0.73**	0.00	0.43	**0.63**	**0.66**	52.8	55.8	3.40	**17.1**	330	108	**0**	0	**10.8**	**53.0**	**12.4**
ト	埼玉4	0.67	0.63	0.50	0.50	0.30	0.23	0.43	0.47	59.4	99.9	3.50	19.8	338	22	342	40	**10.3**	42.8	8.0
ヘ	静岡1	0.37	0.47	0.43	0.50	0.53	-0.37	-0.13	0.26	54.8	57.1	3.14	19.1	**353**	**0**	176	29	6.9	35.8	4.9
ハ	静岡2	0.63	0.27	**0.80**	**0.73**	0.57	-0.17	-0.27	0.37	51.2	34.9	**2.03**	**17.8**	352	18	302	0	7.7	52.4	6.2
イ	静岡3	-0.53	-0.70	-0.30	-0.37	0.27	0.27	0.03	-0.19	47.2	**20.2**	5.65	18.1	307	102	461	32	7.0	35.5	5.5
リ	静岡4	-0.50	-0.40	-0.23	-0.20	0.40	0.43	**0.60**	0.01	53.8	**20.5**	4.69	**17.2**	321	87	656	60	6.4	21.7	4.9
ロ	奈良1	0.20	0.37	0.23	0.27	-0.03	0.33	0.03	0.20	60.0	85.7	**2.02**	28.8	**377**	22	384	35	8.0	37.2	8.3
ウ	奈良2	0.33	0.17	0.43	0.43	0.67	0.20	0.20	0.35	55.4	**22.1**	**2.60**	18.6	**388**	**2**	253	0	**10.6**	**59.8**	**9.2**
ツ	奈良3	0.70	0.53	0.53	0.50	0.43	0.23	0.40	0.48	50.6	49.2	**2.91**	20.0	**357**	70	160	0	**10.2**	**54.2**	**10.3**
ソ	奈良4	0.33	0.30	0.20	0.23	0.67	0.17	0.23	0.30	47.6	**21.7**	5.19	18.9	322	28	206	0	8.7	47.0	7.6
ヨ	和歌山1	0.70	**0.90**	0.67	0.70	-0.33	**0.47**	**0.63**	0.53	**78.4**	82.6	3.45	19.1	345	**0**	**59**	0	8.8	50.4	7.3
カ	和歌山2	**0.80**	**0.83**	0.53	0.70	-0.43	0.30	0.50	0.46	**106.5**	198.6	3.33	53.5	305	**0**	124	0	6.9	34.3	6.3
タ	和歌山3	**0.93**	**0.97**	0.63	**0.73**	-0.60	0.27	0.57	0.50	**101.0**	259.6	**3.00**	28.2	296	6	132	0	8.1	41.6	7.2
ワ	和歌山4	**1.13**	**1.00**	**0.80**	**0.90**	-0.37	0.40	0.47	**0.62**	**74.8**	85.9	3.46	18.2	346	36	**85**	0	**9.9**	**52.6**	**8.7**

※各項目　上位5体：太字、下位5体：赤字

５．２．５　乾燥方法の差異がその切削特性に与える影響

実務者らによれば、現在市中に流通している乾燥材の多くは人工乾燥材であり、特に100℃以上の高温セットや乾燥温度によって処理された高温乾燥材は、天然乾燥された木材に比べて、脆く折れやすい、もしくは割裂しやすいことや、切削刃物の磨耗を早めることなどが言われている。そこで、今年度は刃物の切削性能を取り上げ、乾燥方法、含水率状態の違いによる帯鋸による切削抵抗の差異について検討した。

（１）試験体

試験体は天然乾燥材（西川材）12体、生材（西川材）6体、人工（高温）乾燥材（和歌山県産材）6体、集成材（E65-F225）6体、合計30体として、寸法はすべて105mm×240mm×L方向200mm（集成材を除いてすべて心持ち材）とした。試験体の概要を表5.2.5-1に示した。なお、AD7、AD8、AD9の3体、AD10、AD11、AD12の3体はそれぞれ1供試材から採取したものである。

（２）試験方法

軽便送材車付帯鋸盤（1100mm）を使用して、図5.2.5-1に示したように、試験体（フリッチ）を測定治具に固定し、5mm厚の薄板を挽いたときに生じる主分力及び背分力をロードセルによって測定した（写真5.2.5-1～5.2.5-4）。1試験体当たり22枚の薄板を繰り返し挽き、すべての薄板ついては鋸挽き後直ちに重量及び厚さを測定し、全乾法による含水率及び密度（全乾重量/試験時の体積）を算出した。

なお、鋸車回転数を700rpm（2,420m/min）とし、送り速度は10m/min、20m/min、30m/minの3段階で実施した。したがって、生材、人工乾燥材、集成材は各送り速度で2体ずつ、天然乾燥材については各送り速度で4体ずつとした。各試験の送り速度を決定する際、1供試材から3体ずつ採取したAD7～9、AD10～11については、それぞれ3体が異なる送り速度になるように割り振りを行った。

（３）結果

切削片から求めた材面からの含水率の推移を図5.2.5-2に、密度の推移を図5.2.5-3に示した。なお、材面から距離については薄板の幅と挽き幅をそれぞれ一律に5mm、3mmと設定して算出されたものであり、各試験体番号の先頭部にある記号ADは天然乾燥材、Gは未乾燥材、GLは集成材、KDは人工乾燥材を表している。

含水率の分布については、集成材が12%前後で安定しているのに対して、人工乾燥材は表面のみは20%以下の試験体もあるが、すべての試験体のほとんどの部分が繊維飽和点（約30%）を上回っていた。また、試験体の中心部を材面から120mmとすると、6体のうち3体の中心部の含水率は35%程度、残りの3体は60～80%という状態であり、材内の水分傾斜に違った傾向がみられた。一方、天然乾燥材の水分傾斜は小さかったが、12体のうち9体の含水率は15～17%とほぼ気乾状態であったのに対し、3体はやや高い値を示していた。なお、未乾燥材の含水率については、辺材部、心材部はともに試験体ごとの含水率に違いがみられた。両者ともに伐倒時の生材含水率の個体間差が大きく影響していると思われるが、前者については伐倒後及び製材後の期間の違いとも考えられる。

密度については，集成材を除けば、樹皮側より髄側の密度が高いといった、スギ特有の傾向がみられる。

計測した切削抵抗データから切削力を算出し、その結果を表5.2.5-1及び図5.2.5-4～図5.2.5-7に示した。なお、各図表で示した試験体ごとの切削力は図5.2.5-1の主分力であり、試験体切削開始から終了までの切削抵抗力の平均値である。これらの結果から、試験体ごとあるいは試験体の位置ごとの含水率の違いによる切削力の影響について検討したが、大きな違いは認められなかった。そこで、

送り速度別に、試験体条件ごとの切削力の平均値を密度との関係（図5.2.5-8）をみた結果、各送り速度において切削力は密度との相関関係を示した。すなわち、帯鋸切削における切削力は送り速度や密度に依存し、含水率や乾燥方法にほとんど影響しないことがわかった。その要因として、帯鋸切削が実務者（大工）のノミ、鋸、鉋による切削に比べて切削の際の力や速度が非常に大きいことが挙げられる。したがって、今後、実務者の経験則を科学的に明らかにするためには、実務者の切削加工により近い切削方法において、切削力に対する含水率や乾燥方法の影響について検討する必要がある。

（4）まとめ

含水率及び乾燥方法による切削抵抗の違いを明らかにするため、生材、天然乾燥材、人工（高温）乾燥材、集成材を対象に、帯鋸による切削抵抗試験を実施した。その結果、帯鋸切削における切削力は含水率や乾燥方法よりむしろ送り速度や密度に依存することがわかった。今後、実務者の経験則を科学的に明らかにするためには、実務者の切削加工により近い切削方法において、切削力に対する含水率や乾燥方法の影響について検討する必要がある。

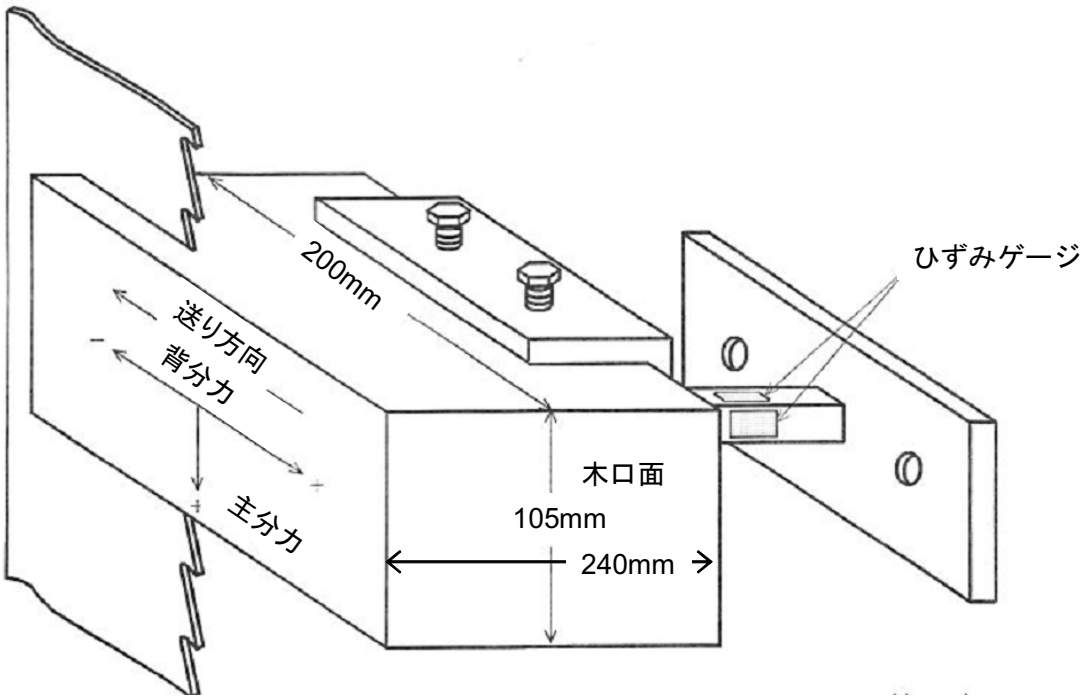


図5.2.5-1　切削抵抗測定の模式図

表5.2.5-1　切削抵抗試験に供した試験体の概要

	番号	平均年輪幅(mm)		含水率※1(%)			
		元口	末口	広い材面(上)	切削面	広い材面(下)	平均値
天然乾燥材	AD1	4.20	4.40	20.0	18.5	22.5	20.3
	AD2	5.65	4.40	19.5	20.0	22.0	20.5
	AD3	9.30	6.90	17.0	13.5	17.0	15.8
	AD4	9.20	8.80	14.0	11.5	13.5	13.0
	AD5	3.80	4.00	20.0	13.0	17.5	16.8
	AD6	4.75	4.90	19.5	15.0	16.0	16.8
	AD7	3.50	3.80	24.0	16.5	21.5	20.7
	AD8	4.00	4.20	21.5	20.5	22.5	21.5
	AD9	4.20	4.40	22.5	19.5	25.5	22.5
	AD10	4.70	4.50	38.0	27.5	30.5	32.0
	AD11	4.80	5.00	38.5	24.5	28.5	30.5
	AD12	3.90	4.00	38.0	27.5	29.5	31.7
生材	G1	2.70	2.70	80.0	134.0	111.5	108.5
	G2	2.80	2.80	77.5	134.5	117.0	109.7
	G3	3.20	3.00	128.0	133.0	90.0	117.0
	G4	2.80	2.70	134.0	72.0	112.0	106.0
	G5	3.50	2.80	132.5	127.0	133.0	130.8
	G6	4.30	3.30	134.0	133.0	128.0	131.7
人工乾燥材	KD1	1.90	2.65	35.0	15.5	13.5	21.3
	KD2	2.40	2.30	67.5	51.5	23.5	47.5
	KD3	2.80	2.80	35.5	14.0	12.5	20.7
	KD4	2.10	2.30	52.5	48.5	28.0	43.0
	KD5	2.40	2.80	38.5	16.0	19.0	24.5
	KD6	2.20	2.40	59.0	47.5	32.5	46.3
集成材	GL1	5.20	5.00	16.5	11.5	14.0	14.0
	GL2	7.50	5.70	17.0	14.0	14.5	15.2
	GL3	5.50	5.00	15.5	11.5	14.5	13.8
	GL4	7.00	6.30	18.5	14.5	16.0	16.3
	GL5	6.30	5.70	17.5	15.5	12.5	15.2
	GL6	7.50	5.50	19.0	13.0	19.0	17.0

	番号	切削前のフリッチの測定値					送り速度	切削力	産地(等級)
		重量(g)	厚さ(mm)	幅(mm)	長さ(mm)	密度(kg/m^3)	(m/min)	(N)	
天然乾燥材	AD1	2035	104.9	237.0	200.6	408	10	61.9	西川材
	AD2	1969	105.0	237.2	201.0	394	30	134.0	西川材
	AD3	1614	104.8	237.3	200.5	324	10	46.8	西川材
	AD4	1622	104.7	237.2	200.3	326	20	73.9	西川材
	AD5	1868	104.9	237.1	200.0	376	20	87.5	西川材
	AD6	1858	104.7	237.0	200.3	374	30	124.4	西川材
	AD7	2239	105.0	237.0	200.6	449	10	74.3	西川材
	AD8	2216	105.0	237.1	200.4	444	20	108.3	西川材
	AD9	2290	104.8	237.3	200.5	459	30	160.5	西川材
	AD10	2364	104.7	240.4	200.4	469	10	71.1	西川材
	AD11	2371	105.0	240.0	200.4	470	20	109.9	西川材
	AD12	2292	104.8	240.2	200.6	454	30	143.0	西川材
生材	G1	3731	104.8	240.3	200.6	738	10	53.6	西川材
	G2	3674	104.9	240.3	200.7	726	20	63.8	西川材
	G3	4118	105.0	240.4	200.1	815	30	80.2	西川材
	G4	4539	105.1	240.4	200.5	897	10	89.5	西川材
	G5	4959	104.8	240.3	199.5	987	20	111.2	西川材
	G6	5057	105.0	240.4	200.7	998	30	124.5	西川材
人工乾燥材	KD1	2365	105.3	240.2	200.1	467	10	70.9	和歌山県産材
	KD2	2679	105.4	239.4	200.4	530	10	102.2	和歌山県産材
	KD3	2443	105.5	239.5	200.1	483	20	124.9	和歌山県産材
	KD4	2745	105.4	239.7	201.0	541	20	74.8	和歌山県産材
	KD5	2517	105.5	239.5	200.3	497	30	95.7	和歌山県産材
	KD6	2644	105.4	239.9	200.6	521	30	135.3	和歌山県産材
集成材	GL1	2202	105.7	239.3	200.0	435	10	66.3	E65-F225※2
	GL2	2309	105.5	239.3	199.1	459	10	72.4	E65-F225
	GL3	2136	105.8	239.3	199.9	422	20	96.7	E65-F225
	GL4	2221	105.9	239.6	199.1	440	20	102.5	E65-F225
	GL5	2119	105.7	239.4	200.3	418	30	137.6	E65-F225
	GL6	2256	105.8	239.4	200.1	445	30	141.9	E65-F225

※1　含水率はmoco2(kett社製)を用いて、スギ、厚さ40mmの設定で測定した値である。
※2　集成材はすべてJASの対称異等級構成集成材である。

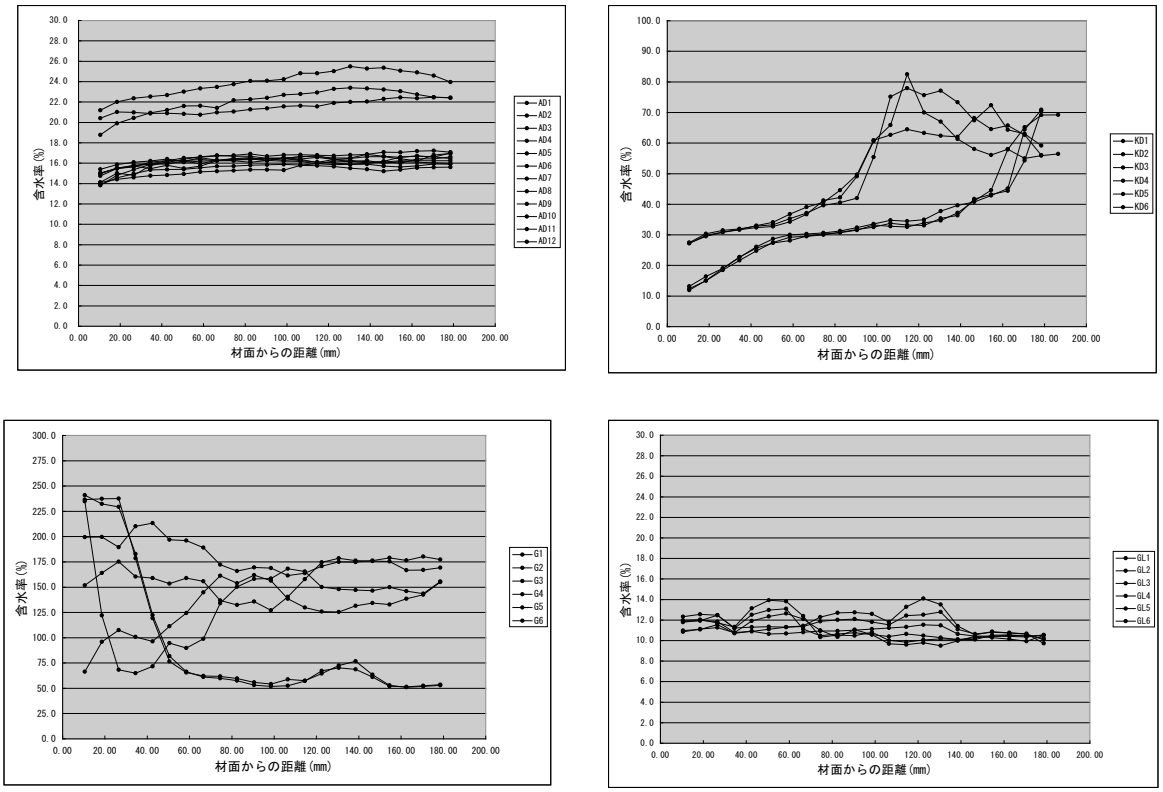


図5.2.5-2　切削片から求めた材面からの含水率の推移
（AD：天然乾燥材、G：未乾燥材、GL：集成材、KD：人工乾燥材）

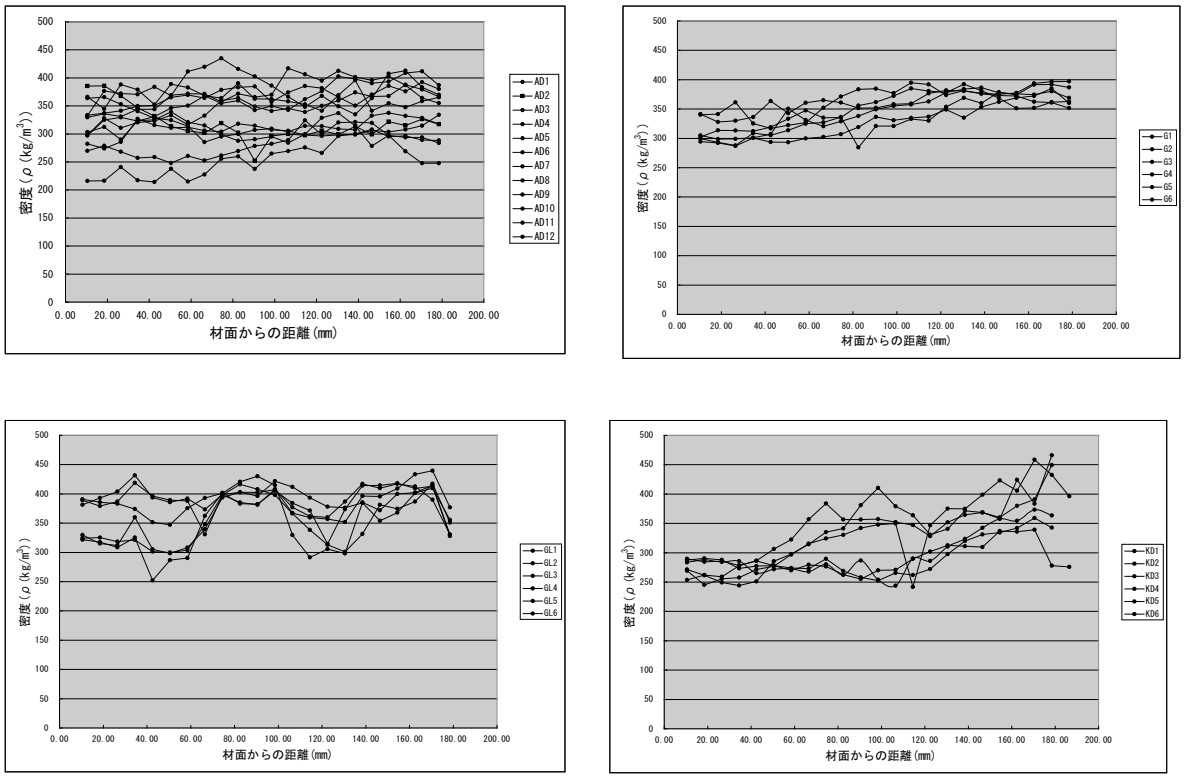


図5.2.5-3　切削片から求めた材面からの密度の推移
（AD：天然乾燥材、G：未乾燥材、GL：集成材、KD：人工乾燥材）

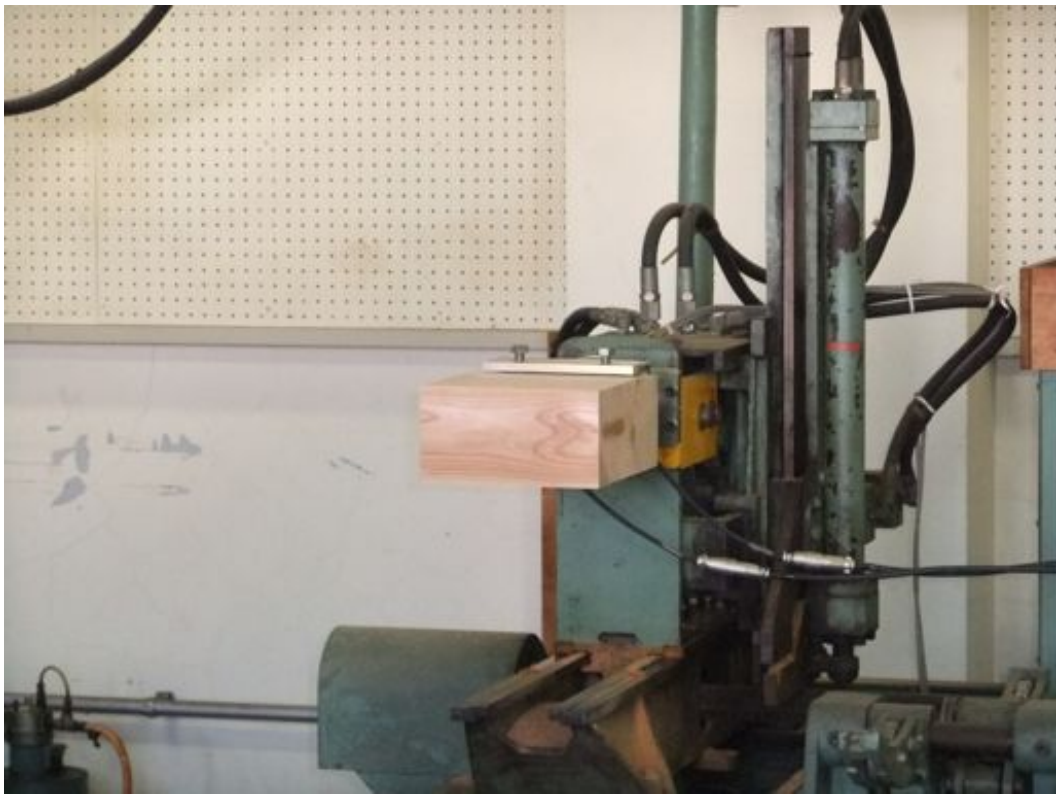


写真5.2.5-1　切削抵抗測定部分（1）



写真5.2.5-2　切削抵抗測定部分（2）



写真5.2.5-3　切削抵抗を実施した帯鋸及び測定の様子



写真5.2.5-4　切削後の残材（左）及び薄板（右）

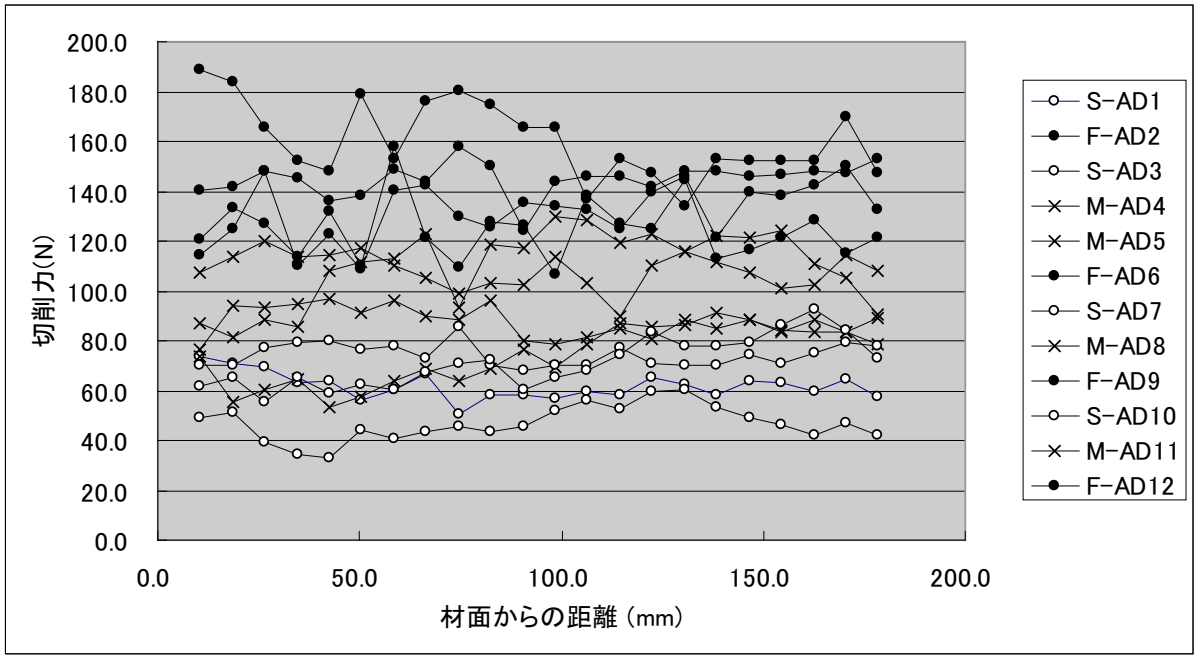


図5.2.5-4　天然乾燥材の切削力の推移

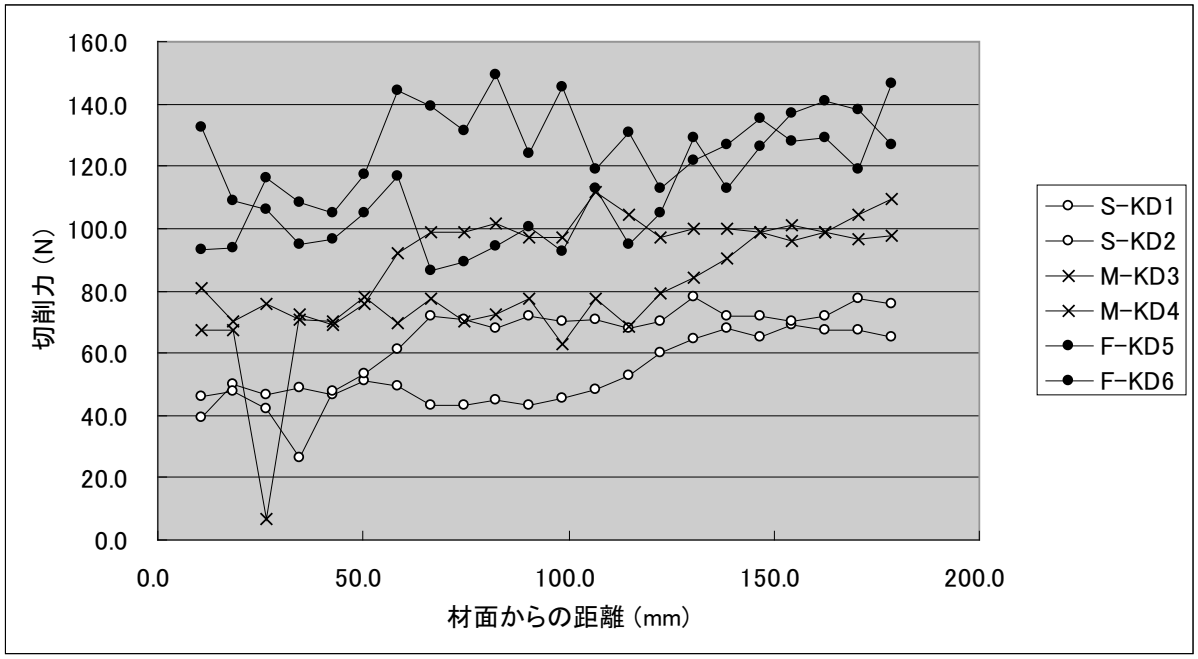


図5.2.5-5　人工乾燥材の切削力の推移

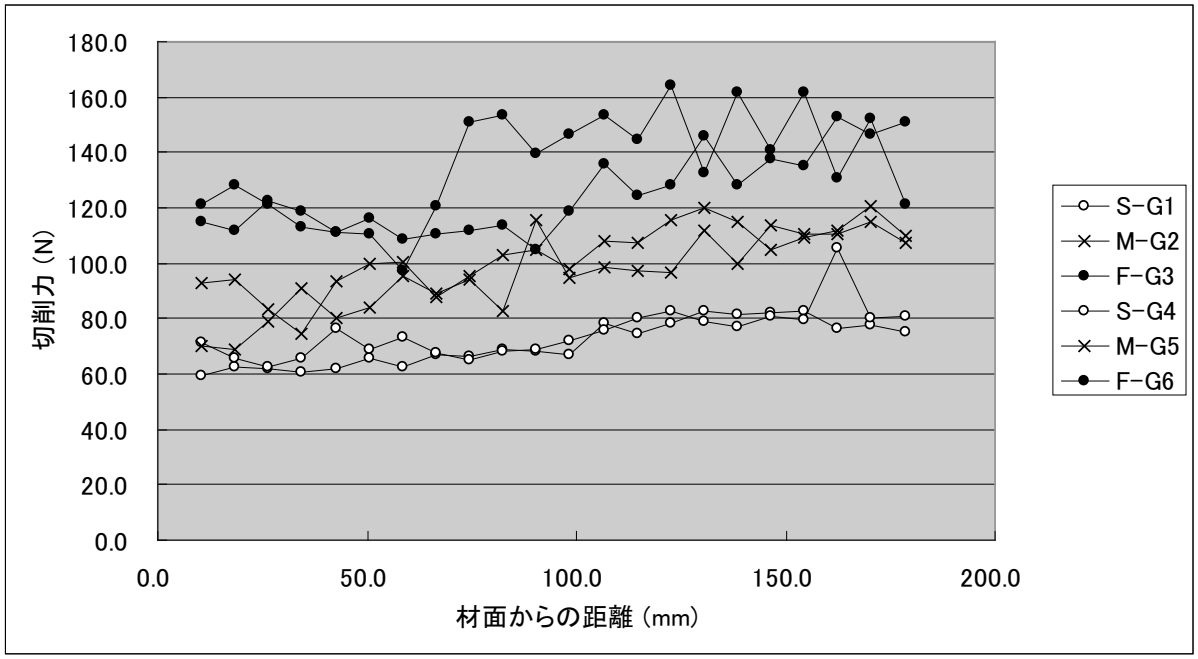


図 5.2.5-6　未乾燥材の切削力の推移

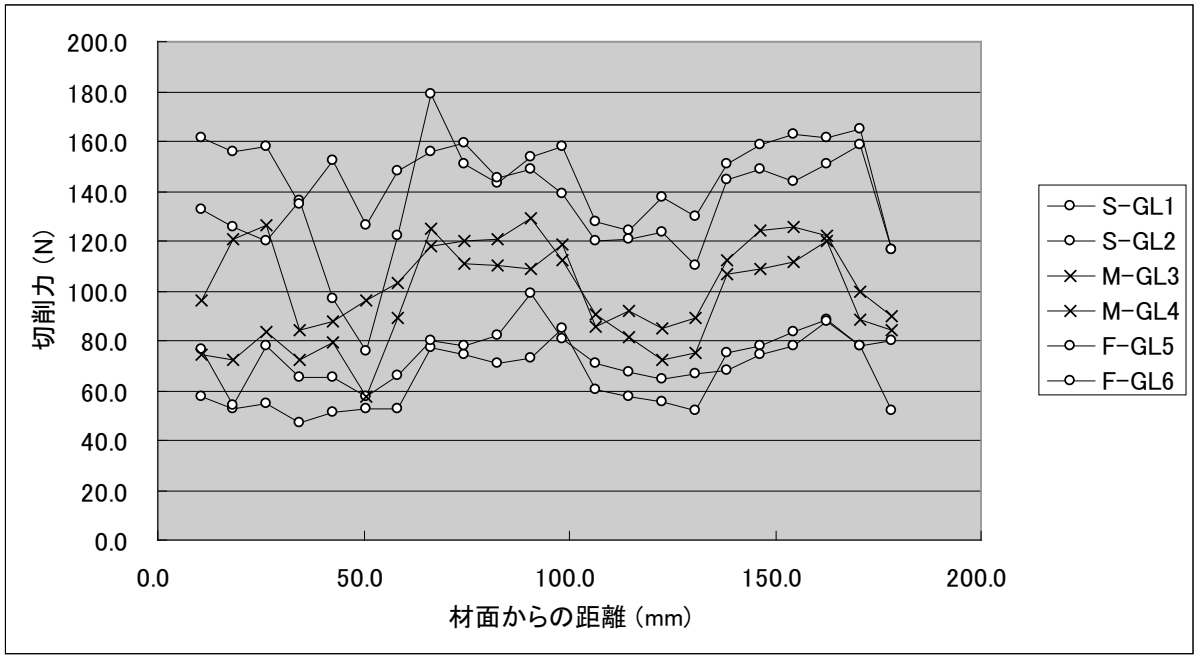


図 5.2.5-7　集成材の切削力の推移

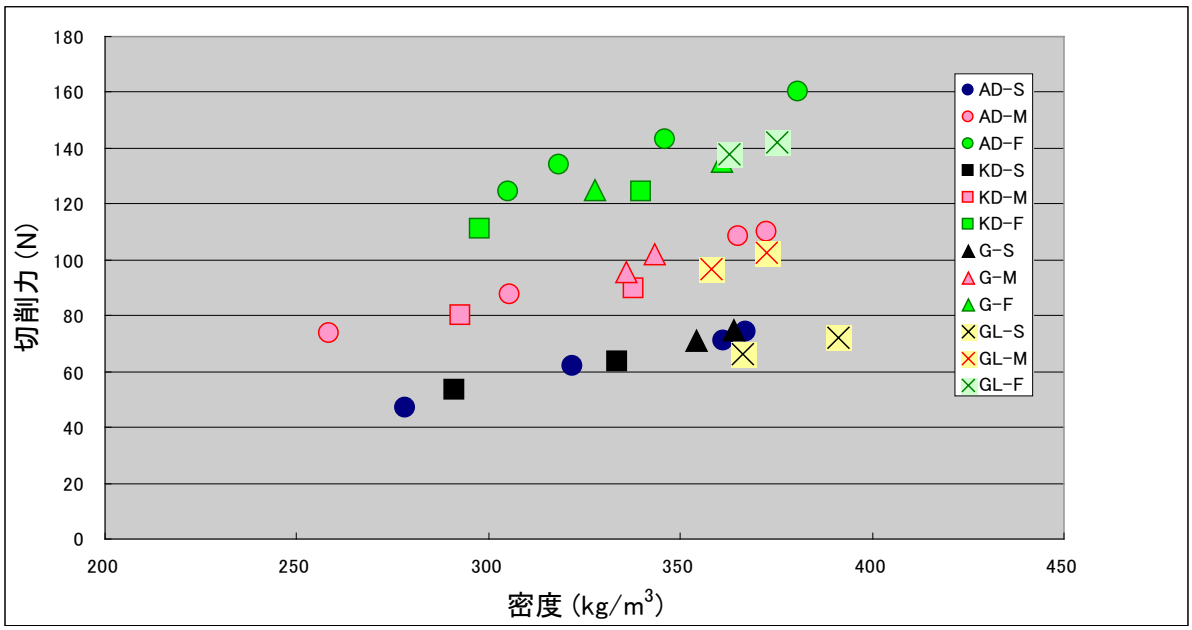


図5.2.5-8　送り速度別にみた密度と切削力との関係

５．３　乾燥方法の差異が長ほぞ込栓接合部の力学特性に与える影響

５．３．１　目的

伝統的構法による建築物では、土台に天然乾燥された木材がしばしば用いられる。乾燥過程において、天然乾燥材は材表面に干割れを、人工乾燥（高温乾燥）では材断面内部に干割れを発生することが知られている。このような干割れを伴う土台材を用いる場合に、構造耐力にどのような支障があるのかという知見は実務上重要である。

そこで、ここでは、伝統的構法でしばしば用いられる柱－土台間の長ほぞ差し込栓接合部の耐力と、いくつかの条件で天然乾燥を行った土台材の表面干割れの程度との関係について実験により確認する。

法的には建築基準法施行令第41条は、「構造耐力上主要な部分に使用する木材の品質は、節、腐れ、繊維の傾斜、丸身等による耐力上の欠点がないものでなければならない。」としている。製材の日本農林規格の構造用製材では、割れについては貫通割れのみを除外すべき欠点としている。針葉樹構造用製材の乾燥と強度性能の関係については、公設試験研究機関を中心にスギ材を主とした調査・研究がなされ、乾燥割れと強度との関係についての知見が得られている[5.3.1-1, 2)]。

材の表面割れと材料強度の関係については、これまでに概ね次のような知見が得られている。すなわち、貫通割れを除き、材面割れの生じた程度と、曲げヤング率[5.3.1-3~8)]、曲げ強度[5.3.1-3~11)]、縦圧縮強度（短柱[5.3.1-7, 9)]、長柱[5.3.1-8, 12)]、引張り強度[5.3.1-8)]との間には関係がみられず、表面割れによって統計的に基準強度を下回らない。むしろ曲げヤング率が高い材は表面割れを生じやすい傾向がみられることがある[5.3.1-3, 12)]。ただし、動的せん断弾性係数は割れ材積と負の相関がみられる[5.3.1-7)]。

これらの知見から「貫通割れを除き、表面割れによる材料強度の低下はほとんどない」というのが現在の一般的な見解といえよう。

高温乾燥でしばしば生じる内部割れについては、内部割れの大きさは曲げヤング率[5.3.1-6)]や曲げ強度に対しては影響は小さい[5.3.1-6, 13)]が、せん断強度に影響を及ぼし[5.3.1-13)]、曲げにおける水平せん断破壊を生じるケースが多くなる[5.3.1-13, 14)]ことが報告されている。また、内部割れにより接合部耐力の低下を招くことがあることが指摘されている[5.3.1-11, 14)]。なお、軸組にスギ、込栓にナラを用いた長ほぞ差し込栓接合の引張り試験では木口面の内部割れ長さと接合耐力との間に関係がみられないという報告[5.3.1-7)]がある。

表面割れが接合部耐力に与える影響ついては、ボルトせん断に影響がみられない[5.3.1-15)]が、割れ方向とボルト挿入方向が一致すると耐力が低下する[5.3.1-15, 16)]ことが指摘されている。

長ほぞ差し込栓接合部に表面割れを伴う土台材を用いる場合、先のとおり材料強度の顕著な低下は予想されないが、土台材の繊維直交方向に力を受けるため、特に込栓孔近傍から発生する割裂破壊に表面割れが影響することが懸念される。このような破壊と表面割れの関連性についての知見は乏しく、現在の検討すべき課題の一つとされている[5.3.1-1)]。

本課題で行う実験ならびに検討の手順は以下のとおりとした。

まず、予備試験として、柱－土台間の長ほぞ差し込栓接合の引抜き試験を行い、同接合部の引抜き耐力に及ぼす込栓位置の影響や破壊挙動を観察する。

次に、予備試験で得られた知見をもとに、実務で用いられている込栓接合部をなるべく再現した仕様で、かつ、表面干割れを伴う土台材の込栓接合部の耐力を評価し得る試験方法を検討する。なお、この試験は接合部の耐力発現機構と評価値の関係から土台の込栓接合部における割裂性能試験とした。

最後に、天然乾燥やそれに伴う表面干割れの履歴が明確な木材を用いて、先述の割裂性能試験を行う。この実験から得られた知見より、土台割裂性能と、乾燥方法や干割れ、物性等との関係を検討し、長ほぞ差し込栓接合部の耐力に土台材の表面干割れが及ぼす影響の知見とする。また、あわせて人工乾燥材との比較も行う。

なお、供試材の天然乾燥における表面干割れの発生や進行については、「５．４　天然乾燥の条件と乾燥過程の評価」で詳しく述べているので参照されたい。

文献

5.3.1-1）池田潔彦, 吉田孝久, 黒田尚宏, 信田聡, 飯島泰男: “針葉樹構造用製材の乾燥と強度性能との関連性　乾燥割れと高温処理の影響を中心に”, 木材工業, Vol.64, No.7, p.308-313, 2009.

5.3.1-2）池田潔彦: 木構造振興編 “最新データによる木材・木造住宅のQ&A”, p.69-72, 木構造振興, 東京, 2011.

5.3.1-3）荒武志朗, 有馬孝礼, 迫田忠芳, 中村徳孫: “スギ構造材の干割れが力学的性質に及ぼす影響　曲げ強さと曲げヤング係数について”, 木材工業, Vol.48, No.4, p.166-170, 1993.

5.3.1-4）池田潔彦: “スギ平角の曲げ試験－静岡県産スギ中目丸太を原料とし製材・乾燥した平角の曲げ試験－”, エンジニアリングウッド性能評価事業報告書, (財)日本住宅・木材技術センター, p.132-162, 1996.

5.3.1-5）池田潔彦, 飯島泰男, 岡崎泰男, 長尾博文: “スギ平角材の曲げ強度性能評価法に関する2, 3の考察”, 日本建築学会大会梗概集 C-1, p.17-18, 2001.

5.3.1-6）菅原弥寿夫, 岩崎昌一: “スギ正角材の乾燥割れが曲げ強度に与える影響”, 新潟県森林研究所研究報告, No.45, p.43-47, 2004.

5.3.1-7）池田潔彦: “スギ、ヒノキ構造用製材の乾燥割れや背割り加工が強度性能に及ぼす影響”, 静岡県林業技術センター研究報告, No.33, p.15-21, 2005.

5.3.1-8）大野英克, 亀山雄搾, 鈴木寿幸, 石栗太, 横田信三, 飯塚和也, 吉澤伸夫: “高温乾燥によって生じた材面割れがスギ正角材の実大強度性能に及ぼす影響”, 木材工業, Vol.64, No.5, p.216-220, 2009.

5.3.1-9）岡崎泰男, 飯島泰男, 小林好紀: “スギ乾燥材の割れと強度の関係”, 第51回木材学会大会要旨集, p93, 2001.

5.3.1-10）吉田孝久: “割れている材は弱いのか？”, 長野県林業総合センター技術情報, No.114, p.6-7, 2003.

5.3.1-11）小原誠, 山之内清竜, 福留重人: “乾燥割れを有するスギ心持ち材構造材の評価について”, 鹿児島県工業技術センター研究報告, No.20, p.71-77, 2006.

5.3.1-12）中嶋康: “心持ちスギ材の材面割れ発生量に及ぼす乾燥条件の影響”, 岩手県林業技術センター研究報告, No.12, p.47-51, 2004.

5.3.1-13 ）井道裕史, 長尾博文, 加藤英雄: “乾燥に伴う内部割れがスギ製材品のせん断強度に及ぼす影響”, 木材工業, No.60, Vol.4, p.170-174, 2005.

5.3.1-14）富田守泰: “スギ平角材の強度性能に及ぼす高温乾燥を原因とする内部割れの影響　曲げ強度及びボルト接合耐力”, 木材工業, Vol.64, No.9, p.416-422, 2009.

5.3.1-15）岡崎泰男, 飯島泰男: “柱材の乾燥割れと接合部強度の関係”, 建築学会大会梗概集C-1, p.107-108, 2001.

5.3.1-16）原田真樹, 後藤崇志, 軽部正彦, 林知行: “割れを有する製材を主材としたボルト・釘接合部のせん断試験”, 第52回木材学会大会要旨集, p.227, 2002.

５．３．２　予備試験

（１）目的

柱―土台の長ほぞ差し込栓接合部では、込栓の位置により破壊クライテリアが異なることが予想される。同接合部の力の伝達形式としては、①長ほぞの欠損部の引張り、②長ほぞ先端部のせん断、③長ほぞの込栓穴下側の支圧、④2面せん断を受ける込栓のせん断・曲げ、⑤女木（土台）の込栓穴上側の支圧、⑥女木（土台）の繊維直交方向の引張りによる割り裂きが想定される[5.3.2-1)]。このうち、主に②④⑥が込栓の位置に関係した破壊クライテリアとなる。

本試験は土台の強度特性⑥を評価することになるが、適切な込栓位置ならびに柱―土台接合部の知見を予め得ておくため、予備試験として柱－土台長ほぞ差し込栓接合部の引張り試験を行った。

なお、本試験で土台は「５．４　天然乾燥の条件と乾燥過程の評価」で供試したスギ材を用いることを前提とした。

（２）試験体と試験方法

図5.3.2-1に試験体の構成を示す。大工実務者の見解により、なるべくスギ土台で破壊させ、かつ実務上想定できる仕様として、柱に120mm角ヒノキ材、土台に120mm角スギ材、込栓に18mm角カシ材を用いることとした。この仕様から計算[5.3.2-1)]により、次の3つの込栓位置を決定した。なお、込栓位置L_2は土台上端から込栓上端までの距離である。

① L_2=42mm: 一般的な長さ（込栓下端が土台芯高さ。計算上は主として込栓で破壊。）

② L_2=25mm: 込栓耐力と土台割裂耐力が同程度となる長さ。

③ L_2=15mm: 込栓耐力が土台割裂耐力を上回る長さ（主に土台で破壊する長さ。）

柱は滋賀県産ヒノキ材、土台は滋賀県産スギ材、込栓はシラカシ材を用いた。参考に基礎物性を表5.3.2-1に示す。

試験方法は、（財）日本住宅・木材技術センターの木造軸組み工法住宅の許容応力度設計（2008年版）第6章試験方法と評価方法6.5継手・仕口接合の試験の柱頭柱脚接合部の引張り試験（中柱型）[5.3.2-2)]に準じた。荷重速度5mm／分の一方向単調引張り加力として、柱―土台間変位が30mmを超えるまで載荷した。

表5.3.2-1　試験体の部材の物性

L_2	密度※1 (kg/m^3)			ヤング率※2 (GPa)			含水率※3 (%)		
(mm)	柱	土台	込栓	柱	土台	込栓	柱	土台	込栓
42	513	339	1015	8.9	5.7	26	22.0	11.5	—
25	502	342	898	9.3	5.6	21	21.5	12.5	—
15	502	342	918	9.6	5.4	16	22.8	13.0	—

※1　みかけの密度

※2　動的ヤング率。柱と土台は縦振動法、込栓は曲げ振動法による。

※3　電気式水分計（ケツト科学研究所社製木材水分計HM520）による値。

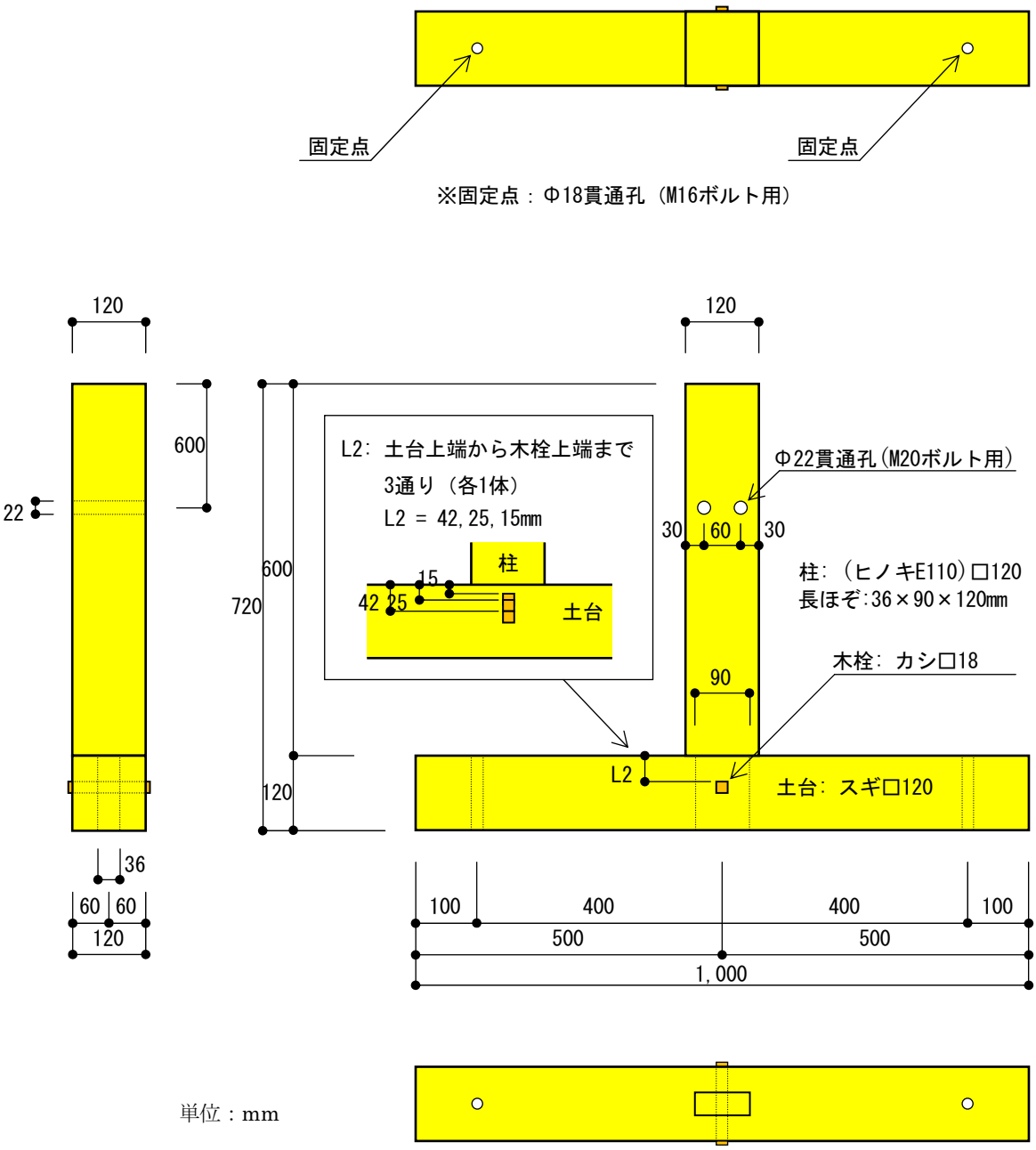


図5.3.2-1　予備試験（柱－土台長ほぞ込栓接合）の試験体の概要

（３）予備試験の結果と考察

荷重－変形曲線を図5.3.2-2に、破壊形態を表5.3.2-2に、最大荷重時の値を表5.3.2-3に示す。

いずれの条件でも土台の割裂が観察されたが、最大耐力は、L_2の距離によって影響を受けており、L_2=15mmでは、L_2=42mmの60%の耐力であった。破壊の形態も、L_2=15mmでは土台割裂のみで破壊が進行したが、L_2=25mmでは、土台割裂と込栓の曲げ破壊が同時進行、L_2=42mmでは土台の割裂も生じるが、込栓の曲げ破壊が主導で進んでいる。

終了後の試験体の状況と込栓の変形を写真5.3.2-1に示す。込栓の変形状況に土台割裂との関係が伺える。加力中の接合部の破壊の連続写真を写真5.3.2-2～4に示す。荷重に対する亀裂の発生や進

展は試験条件により異なるが、いずれも込栓孔の上辺で亀裂が発生し、繊維に沿って水平に亀裂が成長していることが観察された。

土台の割裂破壊荷重は、スギの平均比重0.38を用いて、木質構造設計基準の割裂破壊係数C_rを求め、試験条件にあてはめたところ、L_2=42mmで14.3kN、L_2=25mmで10.0kN、L_2=15mmで7.4kN（図5.3.2-2中の破線）となり、やや低めではあるが、概ね妥当な数値を示した。また、割裂の発生により荷重は低下するが、L_2=42mmでは、試験終了の変位30mmまで最大荷重の7割程度の荷重が維持された。

この予備試験結果から、本試験を計画するにあたり次のことが言える。

L_2=15mmとする場合、ほぼ確実に土台で破壊させることが可能である。ただし、この仕様は実務で使われているものとは大きく異なる。

L_2=25mmとする場合、ほぼ土台で破壊させることが可能である。込栓破壊の若干のリスクを回避するためには曲げ剛性・強度の高い込栓を用いる必要がある。ただし、この仕様は実務で使われているものとは異なる。

L_2=42mmは実務的な仕様ではあるが、土台で破壊させるには、込栓破壊を回避するためにかなり曲げ剛性・強度の材料を用いる必要がある。

文献

5.3.2-1）日本建築学会編:“木質構造接合部設計マニュアル”, p.173-175, 丸善, 東京, 2009.

5.3.2-2）（財）日本住宅・木材技術センター編：“木造軸組工法住宅の許容応力度設計法（2008年版）”, p.579-587,（財）日本住宅・木材技術センター, 東京, 2009.

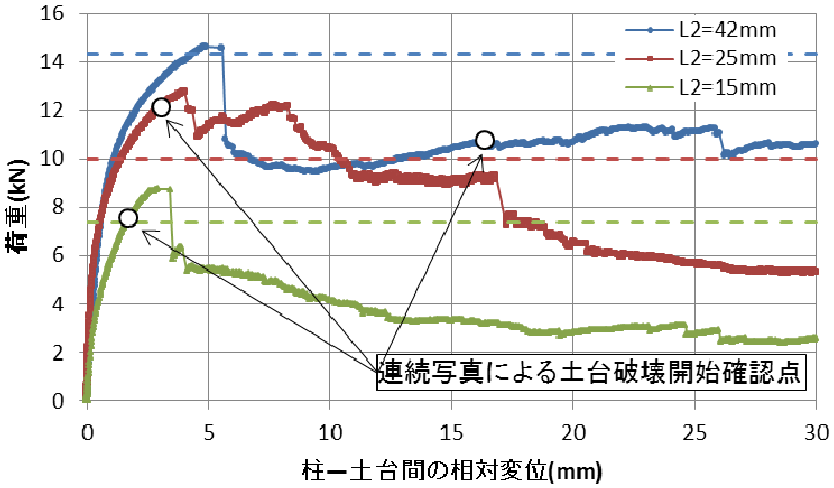


図5.3.2-2　荷重と柱―土台間の相対変位の関係

※破線は土台の割裂破壊荷重の設計値（平均値の推定）。この推定値は小さめの値を与える。

表5.3.2-2　破壊形態

L_2	込栓	土台	ほぞ
42	★	☆	—
25	★	★	—
15	—	★	—

※凡例：★は主破壊を、☆は破壊を、
—は破壊みられずをそれぞれ示す。

表5.3.2-3　最大荷重時の値

L2	P_{max} (kN)	δ_{Pmax} (mm)
42	14.6	4.89
25	12.8	4.01
15	8.8	2.91



ア）試験状況



イ）試験状況(L2 = 42mm終了時)



ウ）L2 = 42mm



エ）L2 = 25mm



オ）L3 = 42mm



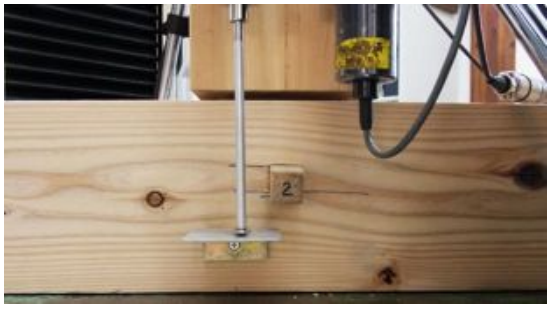
カ）木栓

写真5.3.2-1　試験後の試験体および木栓の状況



※左写真はインタバール撮影（5秒間隔）。
※右写真（参考）は反対側を任意に撮影したもののうち、左写真に近い時刻のもの。
※亀裂の青線は試験前からあったもの。
※ *P*: 荷重
※ *D*: 柱―土台間の相対変位
※ *t*: 経過時間（ロガーの値）

P = 0kN, *D* = 0mm, *t* = 0:00



P_{max}: *P* = 14.6kN, *D* = 4.9mm, *t* = 1:44

●木栓に曲げがみられるが、土台表面には未だ破壊亀裂はみられない。



写真による土台破壊開始点

P = 10.8kN, *D* = 16.3mm, *t* = 3:52　　参考:反対側*P* = 10.7kN, *D* = 18.7mm, *t* = 4:20

●木栓は既に大きく変形（破壊）している。反対側もほぼ同時期に亀裂がみられる。



加力終了後

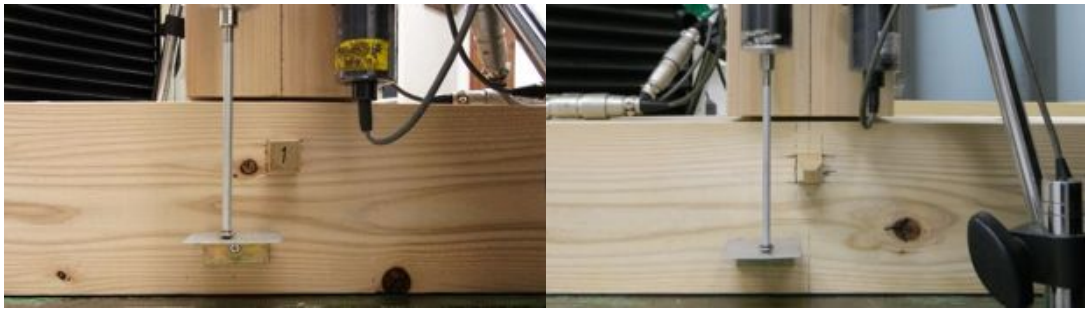
D > 30mm　　参考:反対側

写真5.3.2-2　試験体の連続写真（L_2=42mm）



※左写真はインタバール撮影（5秒間隔）。
※右写真（参考）は反対側を任意に撮影したもののうち、左写真に近い時刻のもの。
※亀裂の青線は試験前からあったもの。
※ *P*: 荷重
※ *D*: 柱―土台間の相対変位
※ *t*: 経過時間（ロガーの値）

P = 0kN, *D* = 0mm, *t* = 0:00



写真による土台破壊開始点

P = 12.2kN, *D* = 3.0mm, *t* = 1:31　　参考:反対側*P* = 12.0kN, *D* = 4.2mm, *t* = 1:05

●木栓の変形は大きくない。反対側もほぼ同時期に亀裂がみられる。



P_{max}: *P* = 12.8kN, *D* = 4.0mm, *t* = 1:44

●亀裂発生開始からわずか後に荷重が最大となる。反対側の亀裂は顕著には進んでいない。



加力終了後

D > 30mm　　参考:反対側

写真5.3.2-3　試験体の連続写真（L_2=25mm）



※左写真はインタバール撮影（5秒間隔）。
※右写真（参考）は反対側を任意に撮影したもののうち、左写真に近い時刻のもの。
※亀裂の青線は試験前からあったもの。
※ *P*: 荷重
※ *D*: 柱―土台間の相対変位
※ *t*: 経過時間（ロガーの値）

P = 0kN, *D* = 0mm, *t* = 0:00



写真による土台破壊開始点

P = 7.6kN, *D* = 1.74mm, *t* = 1:25　　参考:反対側*P* = 7.8kN, *D* = 1.9mm, *t* = 1:26

●木栓の変形は大きくない。反対側もほぼ同時期に亀裂がみられる。



P_{max}: *P* = 8.8kN, *D* = 2.9mm, *t* = 1:41

●亀裂発生開始からわずか後に荷重が最大となる。亀裂はこの後から顕著に進む。



加力終了後

D > 30mm　　参考:反対側

●木栓はほぼ試験前のままの形状。

写真5.3.2-4　試験体の連続写真（L_2=15mm）

５．３．３　土台の割裂性能を評価するための試験方法

（１）目的

予備試験では、柱―土台の長ほぞ差し込栓接合部の中柱型引張り試験を行い、込栓位置ならびに破壊形態に関する知見を得た。ここでは、本試験として、実際に表面割れを伴う天然乾燥材を同接合部の土台に供した場合を想定した強度性能として、込栓接合部の割裂性能を検証する。

（２）試験体

「５．４　天然乾燥の条件と乾燥過程の評価」で供試した天然乾燥材を用いた。試験体の作成方法は概ね以下の通りであった（図5.3.3-1）。

まず、天然乾燥が終了した材を大工実務者が反り、割れ、節などを目視観察し、土台利用を想定した場合の上面を判別した。

判別後の材から長さ1mの試験材を採取し、120mm角断面に4面仕上げ製材し、ほぞ穴・込栓孔といった接合部を加工した。

材料物性の測定については、仕上げ製材後のほぞ穴・込栓孔加工前に、密度（重量と寸法）、縦振動数によるヤング率を計測した。

また、加力直前に干割れの長さと幅の測定を行った。干割れの測定は、込栓孔の見える両側面で中心から両側30cm（計60cm）の範囲にかかる最大幅0.5mm以上の表面割れを対象とした。ただし、この範囲を超えた部分も計測対象とした。干割れの測定方法は、「５．４　天然乾燥の条件と乾燥過程の評価」で行った方法に準じた。

試験終了後は、込栓孔近傍から厚さ2cm程度の断面試片を採取し、強度試験時の含水率を全乾法により求めた。

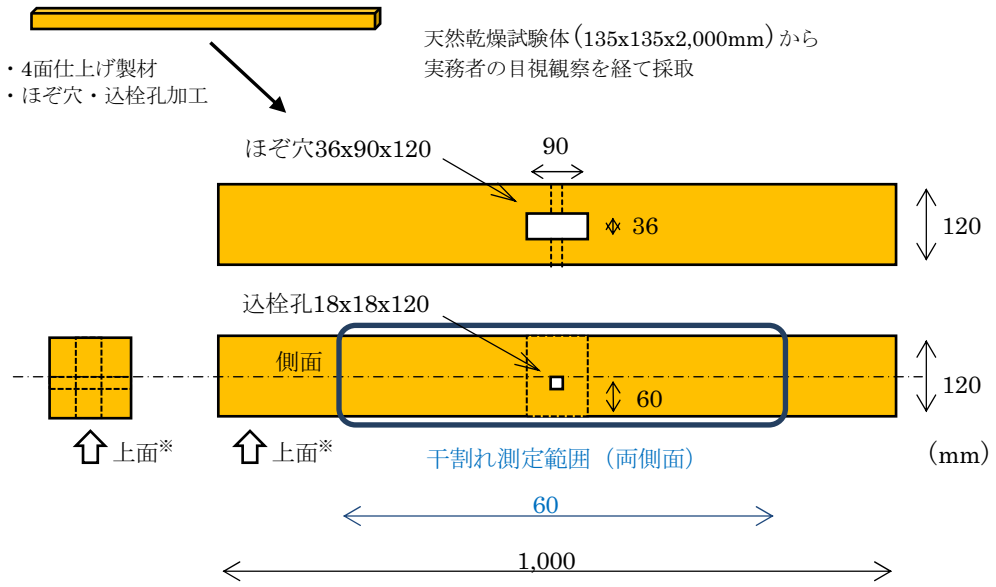


図5.3.3-1　試験体の形

※上面とは、試験体採取前の材を大工実務者が、「通常、土台の上側（柱側）として用いる」と判定した面（試験時には下側となる）。

（３）試験方法と評価方法

図5.3.3-2に示すような曲げ型の方法で試験を行った。試験体は土台部分のみで、ほぞ穴や込栓孔は予備試験のL_2=42mmに相当する形状とした。接合部は柱のほぞにあたる部分をほぞ治具で、込

栓にあたる部分は込栓治具でそれぞれ代替した。

治具はともに鋼製で、ほぞ治具はS50C、込栓治具はS45Cの鋼材を用いた（図5.3.3-3）。これら治具を鋼製としたのは、土台の込栓孔の位置を実務的な値（予備試験のL_2=42mm、ここではh_e=42mmと表現する）で行うため、柱のほぞならびに込栓を予備試験の仕様のままにすると、破壊リスクを伴うことが予備試験で確認されたためである。また、ほぞと込栓を治具とすると、接合部の引張り試験ではなく、土台のみの曲げ試験で実験を行うことができ、試験方法も簡便となる。ただし、実際の柱－土台の取り付き方とは上下が逆になることに注意されたい。

ほぞ治具は、ほぞ穴や込栓治具を傷めたり、無理な初期応力が生じないよう、先端にテーパー処理を施し､断面寸法は込栓穴よりも若干小さく､込栓との取り合い部分は込栓より若干大きくした。

込栓治具は一般的な木栓と同様に先端にテーパー処理を施した。断面寸法は込栓孔と同寸としたため、打ち込み時に生じる亀裂は加力前に確認することとした。

支点は、予備試験では座金を介してボルト緊結したが、ここでは座金治具を介してめり込み防止を図った。座金治具は試験体の曲げ剛性や強度に影響を及すような引張り歪を負担しないよう、長辺の1辺のみを木ネジで試験体に留めつけた。

加力は一方向単調加力でほぞ治具の変位δ_1が30mm以上となるまで行った。加力速度は、クロスヘッドスピード5mm／分とした。変位は、柱の絶対変位に相当するほぞ治具の変位（クロスヘッド移動量）δ_1、土台の絶対変位（込栓上部の土台側面の移動量）δ_2を測定した。

土台の割裂性能は最大荷重P_{max}（N）から割裂破壊定数C_r（N/mm$^{1.5}$）を次の式で求め、評価した。

$$C_r = \frac{P_{max}}{2b}\sqrt{\frac{1}{h_e}-\frac{1}{h}} \qquad (5.3.3\text{-}1)$$

ここで、bは有効幅（120-36 = 84mm）、h_eは縁端距離（42mm）、hは土台せい（120mm）。本試験では、b、h_e、hは一定値なので、C_r = 0.0007405 P_{max}となる。

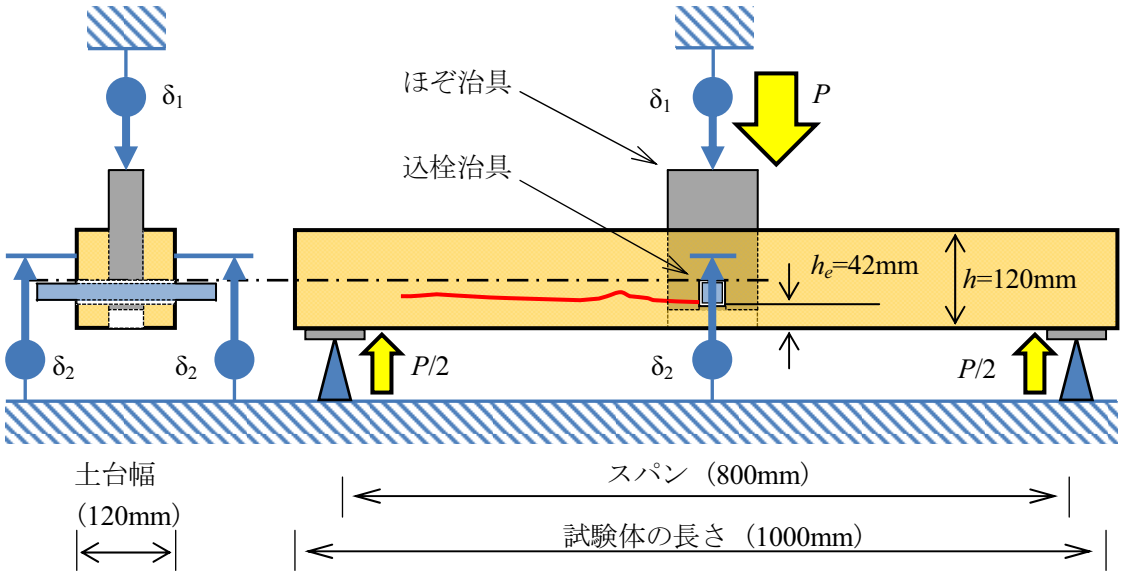
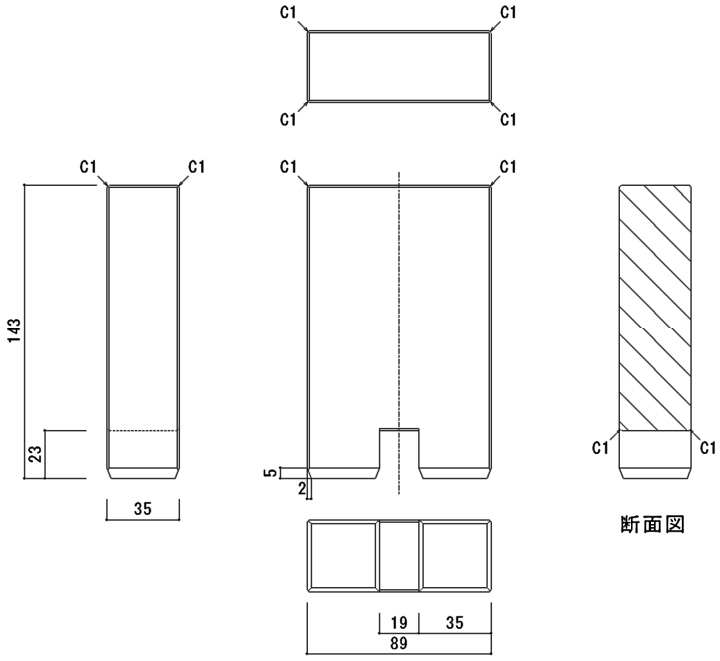
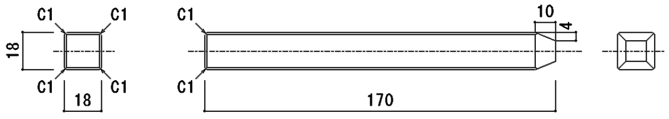


図5. 3. 3-2　試験方法

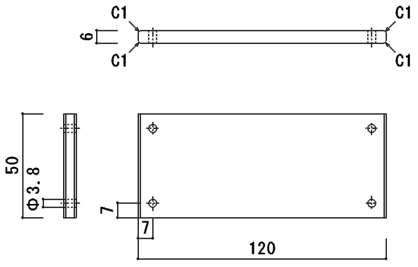
※ δ_1：ほぞ治具の鉛直変位、δ_2：土台の鉛直変位（試験時に込栓より上側部の変位）



ホゾ治具 S50C



込栓治具 S45C



座金治具 SS400

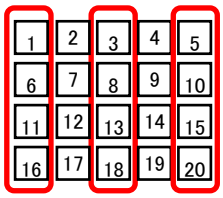
※各治具名わきの記号は使用した鋼材

図5.3.3-3　治具の詳細

５．３．４　多雪地で天然乾燥した土台の割裂性能

（１）供試材

「5.4.3多雪地での屋外における天然乾燥と干割れの進行」で屋外暴露に供試した富山県産タテヤマスギの天然乾燥材を用いた。試験材の履歴等の詳細は5.4.3を参照されたい。屋外暴露が終了した135mm角粗製材12本×2組から1本ずつ試験体を採取した（図5.3.4-1）。供試材は長さ2mの時点で、実務者による選別を行い、試験体の加工面を決定した（写真5.3.4-1）。4面仕上げ製材ならびに接合部加工は、富山県内の伝統的構法に精通した工務店に依頼した（写真5.3.4-2～4）。



桟積み内の配置
・屋根あり
・屋根なし
計2グループ

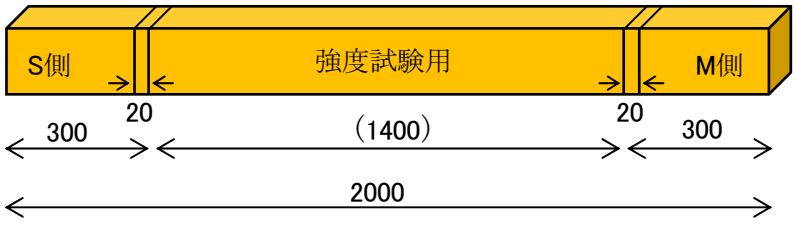


図5.3.4-1　天然乾燥終了時の処理



写真5.3.4-1　大工実務者による使用面の判別



写真5.3.4-2　4面仕上げ製材（鉋盤）



写真5.3.4-3　穴加工前の試験体



写真5.3.4-4　ほぞ穴・込栓孔加工（角のみ機とコミ栓角のみ機）

（２）結果と考察

1)試験結果の概要

実験には島津製作所製万能試験機AG-10TBを用いた。試験体の干割れは木口では明確にみられたものの、各面では粗製材時に比べ、製材後には少なくなった印象を受けた（写真5.3.4-5)。

破壊はほとんどが込栓孔の下辺で発生し、込栓治具との接触面は支圧めり込みもみられた（写真5.3.4-6左上写真)。変形が進み、亀裂が進展すると、梁が2分化され、分離された下側部分が断面の小さい梁として働くため、たわみが進み、しばしば引張り側に曲げ破壊がみられた。さらに破壊が進むと多くの試験体で亀裂が木口まで進展した（写真5.3.4-6右上写真)。

込栓孔から発生する割裂面は、進展方向に既存の干割れがあればその割れとつながることもあったが、少しでもずれた位置にあると、干割れと並行して割裂面が成長した（写真5.3.4-6下写真)。試験前に既存の割れをマークしておいたが、既存の干割れを割裂面が通るケースはむしろ少なく、既存の干割れと割裂面とはあまり関連ないようであった。

表5.3.4-1に試験結果を示す。割裂破壊定数は平均15.4N/mm$^{1.5}$となり、5%下限値は9.27N/mm$^{1.5}$となった。木質構造設計規準[5.3.4-1)]ではスギの割裂破壊定数を8.0N/mm$^{1.5}$としており、本実験の値はこれを上回った。すなわち、表面干割れを伴う天然乾燥スギ材の土台割裂耐力は、一般材と同等に評価することが本実験からは可能と考えられる。

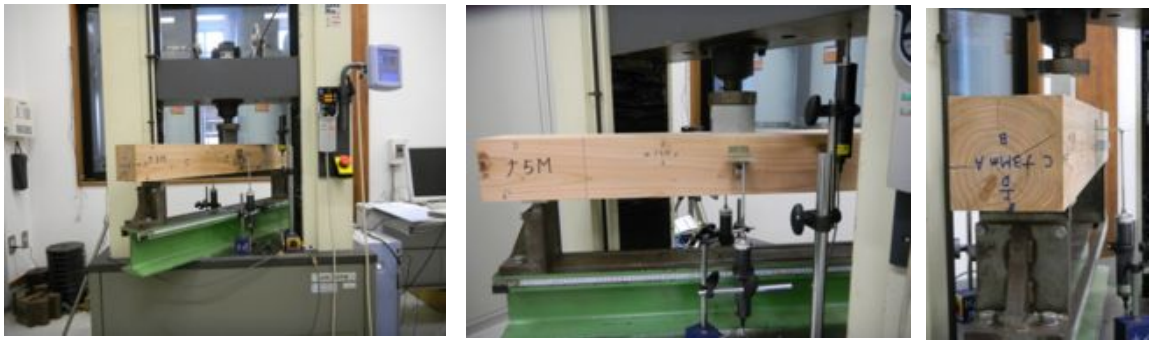


写真5.3.4-5　試験ならびに試験体の状況



写真5.3.4-6　試験体の破壊状況

表5.3.4-1　土台の割裂強度試験結果

グループ	No.	最大荷重 P_{max} (kN)	割裂破壊定数 C_r (N/mm$^{1.5}$)	含水率 M.C. (%)	見かけの密度 ρ_a (kg/m^3)	ヤング率 E_{ff} (GPa)	表面干割れ 本数 (本)	総長さ (mm)	総面積 (mm^2)
屋根あり	1	22.4	16.56	19.79	452	7.64	0	0	0
	3	19.3	14.25	19.11	481	9.13	2	938	279
	5	18.9	13.97	18.72	397	6.79	3	805	243
	6	15.5	11.47	19.04	465	9.54	5	1214	521
	8	17.2	12.74	18.30	430	7.35	0	0	0
	10	30.1	22.27	19.09	544	9.83	2	408	80
	11	15.1	11.18	20.22	391	6.32	3	1301	667
	13	22.0	16.26	19.24	508	9.11	9	2295	669
	15	25.5	18.88	19.05	455	7.27	3	961	184
	16	18.2	13.51	20.01	429	7.84	4	1197	390
	18	23.8	17.64	20.08	536	9.61	3	1165	459
	20	19.2	14.22	18.78	447	8.83	0	0	0
	平均値	20.59	15.246	19.29	461.2	8.271	2.8	857.0	291.0
	標準偏差	4.363	3.231	0.604	48.87	1.206	2.5	676.1	249.9
	変動係数	21.2%	21.2%	3.1%	10.6%	14.6%	89%	78.9%	85.9%
屋根なし	1	17.3	12.85	21.92	465	7.19	4	1184	399
	3	21.9	16.22	20.88	451	7.56	5	959	487
	5	19.0	14.05	20.84	411	6.40	3	968	306
	6	15.8	11.68	21.44	441	9.00	4	961	488
	8	26.5	19.59	21.82	450	7.11	0	0	0
	10	30.6	22.62	22.41	566	9.70	9	1863	688
	11	15.0	11.10	22.70	401	6.28	1	490	155
	13	20.4	15.13	23.34	518	8.47	8	1136	410
	15	25.1	18.61	21.35	492	5.11	3	515	127
	16	19.7	14.55	21.06	415	7.37	2	499	117
	18	19.2	14.18	23.20	546	9.52	5	1247	299
	20	21.8	16.13	21.31	485	9.17	7	1461	499
	平均値	21.01	15.559	21.86	470.1	7.739	4.3	940.3	331.2
	標準偏差	4.533	3.357	0.872	53.02	1.442	2.7	502.6	201.1
	変動係数	21.6%	21.6%	4.0%	11.3%	18.6%	64%	53.5%	60.7%
平均値		20.80	15.403	20.57	465.6	8.005	3.5	898.6	311.1
標準偏差		4.357	3.226	1.504	50.07	1.328	2.7	584.1	222.8
変動係数		20.9%	20.9%	7.3%	10.8%	16.6%	75%	65.0%	71.6%
5%下限値		12.52	9.27						

※ヤング率は製材後の穴加工前に縦振動法で測定した動的ヤング率。

2) 最大耐力に及ぼす表面割れの影響

試験法方法と評価方法で述べたとおり、本実験条件では理論上、最大耐力と割裂破壊定数は比例関係にある。そこで、ここでは最大耐力から換算した割裂破壊定数を用いて、土台の割裂耐力と表面干割れの関係を考察する。

図5.3.4-2に表面干割れの本数、割れの総長さ、割れの総面積と割裂破壊定数の関係を示す。本数、総長さ、総面積とも割裂破壊定数と顕著な関係はみられない。また、天然乾燥期間中の屋根の有無の影響もみられない。なお、割れ総長さは、測定対象とした割れの長さの2面の合計。割れ総面積は、各割れの3点の測定幅の平均値にその割れの長さを乗じた値とした。

曲げを受ける供試体に水平割れのような欠損は、曲げ材として断面性能を低下させ、割裂も発生しやすく、割裂耐力を低下させるように思われる。しかしながら、先に述べたようにほぞ差し込栓接合の場合、かなりの割合で割裂は込栓孔の下辺（柱－土台接合の実使用では込栓孔の上辺）両端部で発生し、繊維に沿ってほぼ水平に進展する。そのため、干割れが進展方向に存在しないかぎり、干割れが割裂面と一致しないので、干割れが割裂耐力に影響を及ぼさなかったと考えられる。また、一般的な接合では込栓に曲げが生じるため、割裂は表面より内部のほぞと込栓の接合部分から発生すると考えられる。天然乾燥の場合、干割れは内部割れよりも表面割れが主なので、貫通割れとな

らないかぎり、干割れを伴う天然乾燥材の割裂耐力低下のリスクは小さいと考えられる。

以上、本実験結果からは、干割れを伴う天然乾燥スギ材の表面干割れの程度は土台の割裂耐力に影響を及ぼさないと考えられる。

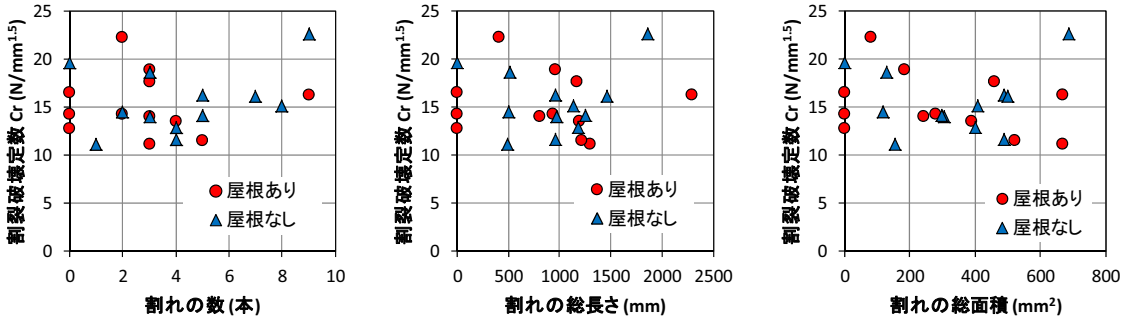


図5.3.4-2　割裂破壊定数と表面干割れの関係

3)割裂破壊定数と物性値の関係

前項で、天然乾燥されたスギ土台の割裂耐力は表面干割れの影響を受けないことが確認された。ここでは、割裂破壊に影響をおよぼす物性について考察する。

図5.3.4-3に含水率、動的ヤング率ならびに気乾密度と割裂破壊定数の関係を示す。含水率は試験終了時に試験体より採取した断面試片より求めた全乾法による値、動的ヤング率は仕上げ製材後の穴加工前に縦振動法により求めた値で、気乾密度は試験時の供試体の重量と体積から求めた値である。割裂破壊定数は含水率や動的ヤング率との関係はみられないが、気乾密度と正の相関がみられる。

岩崎・安村[5.3.4-2,5.3.4-3]はいくつかの樹種でボルト接合部の割裂破壊試験を行い、次に示す割裂破壊定数C_r（N/mm$^{1.5}$）と材の密度ρ（kg/m^3）の関係の実験式を導いた。木質構造設計規準では、この式に樹種グループの基準比重を適用して割裂破壊定数の設計値が設定されている[5.3.4-1]。

$C_r = 0.03960\rho - 4.441$　　(5.3.4-1)

本実験の値から同様に回帰式を導くと次式となる。

$C_r = 0.04133\rho - 3.841$　　(5.3.4-2)

グラフからわかるように両式の差異は微小で、本実験の実験式の方がやや大きな割裂破壊定数を与えている。同規準では基準比重は含水率15%のときの樹種グループ中で最も低い樹種の比重の5%下限値としているので、厳密に言えば、含水率条件を調整しなければならないが、本実験値では含水率と割裂破壊定数とに明確な関係はみられず、供試材の含水率が20%程度で、含水率15%と大きくかけ離れていないことから、実験値は岩崎・安村の式（学会規準の式）と概ね一致したとみられる。

以上をまとめると、土台の割裂耐力は材の密度に強く影響される。干割れを伴う天然乾燥スギ材の割裂破壊定数と密度との関係は建築学会規準と概ね一致し、既存の設計用の割裂破壊定数の値を適用できる。

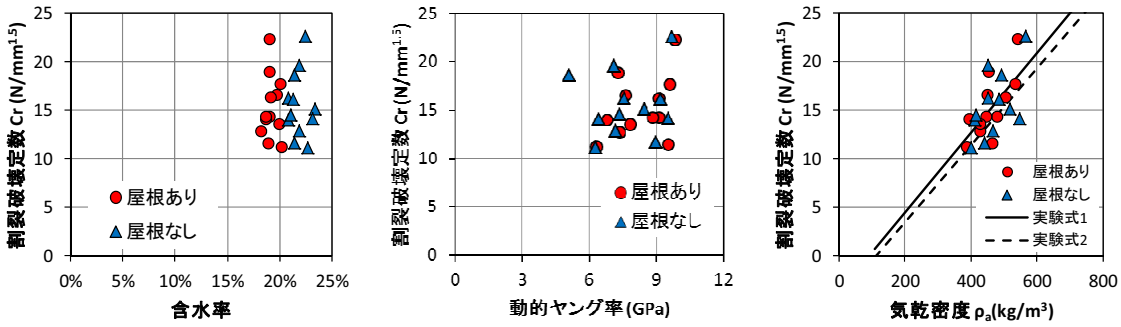


図5.3.4-3　割裂破壊定数と物性値のの関係

※実験式1：本実験の直線回帰式　　$C_r = 0.04133\rho - 3.841$

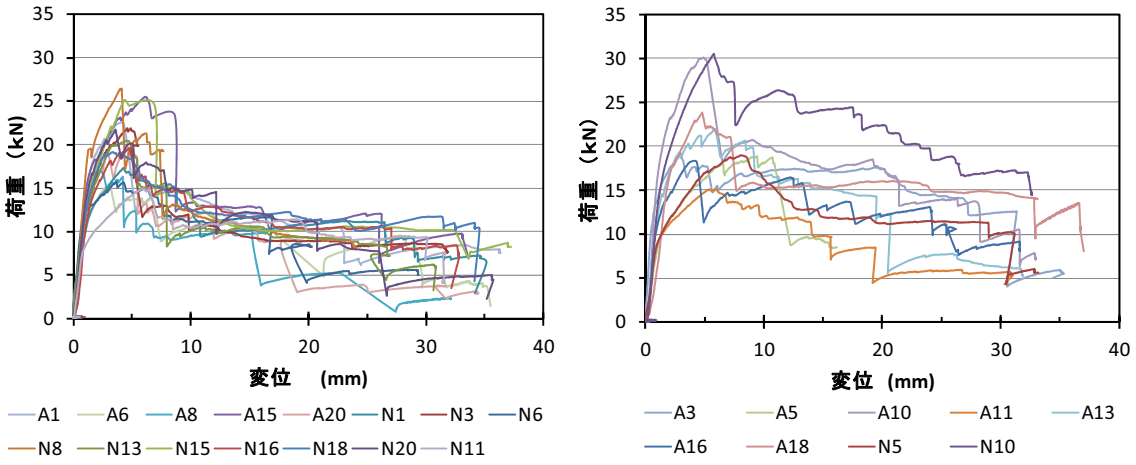
※実験式2：岩崎・安村の実験式[5)]　$C_r = 0.03960\rho - 4.441$

4) 土台割裂試験における変形特性

割裂試験における、荷重－変位曲線を図5.3.4-4に変位4～6mmで割裂したグループとその他のグループに分けて示す。割裂発生時の変位は、平均4.7mmであり、概ね4～6mmの変位で割裂しているが、一部に2.4～3mm、あるいは8～9mmと特性の異なるものも認められる。また、特定変位時の荷重値を表5.3.4-2に示す。最大荷重は、平均20.8kN（15～30KN）で、最大荷重は割裂発生時であり、概ね急激に荷重が低下している。

割裂が発生しても込栓下部の木材の曲げによる抵抗があり荷重が維持されるため、急激な破断による荷重低下はみられず、一定の荷重を維持している。割裂発生後の荷重状態をみると、変位10mmで最大荷重の68%（全体平均で14.1kN）が維持され、20mm時で52%（同10.9kN）、接合試験での最終ポイントとなる30mm変位時でも40%（同8.2kN）の荷重が維持されている。

以上まとめると、土台の割裂破壊では、破壊後でも荷重の7割程度が維持されており、大きな変形能力を発揮する特性を有していると考えられる。



ア）主な変形状況（変位4～6㎜で割裂）　　イ）その他の変形状況

図5.3.4-4　割裂試験における荷重－変位曲線

※変位は、ほぞ治具と土台試験体の変位の差。

※試験体番号のAは屋根ありを、Nは屋根なしで天然乾燥したグループを示す。

表5.3.4-2　特定変位時の荷重

グループ	No.	P_{max} (kN)	D_{Pmax} (mm)	P_{10}/P_{max} (%)	P_{20}/P_{max} (%)	P_{30}/P_{max} (%)
屋根あり	A1	22.4	4.3	63.6	46.0	36.4
	A3	19.3	3.0	88.4	90.5	64.8
	A5	18.9	9.4	95.9	―	―
	A6	15.5	3.0	67.9	―	―
	A8	17.2	2.4	55.3	29.4	12.7
	A10	30.1	4.9	66.4	57.8	32.8
	A11	15.1	5.4	79.4	33.8	37.2
	A13	22.0	5.9	75.6	55.2	28.3
	A15	25.5	6.1	52.3	43.8	35.9
	A16	18.2	3.8	84.9	66.0	48.5
	A18	23.8	4.8	64.8	67.2	61.8
	A20	19.2	3.0	60.3	17.6	19.2
屋根なし	N1	17.3	4.3	71.2	62.1	39.8
	N3	21.9	4.6	47.0	40.8	39.1
	N5	19.0	8.1	85.5	59.3	53.1
	N6	15.8	3.7	70.4	54.0	23.0
	N8	26.5	4.1	46.4	35.2	―
	N10	30.6	5.8	83.9	73.4	56.2
	N11	15.0	6.0	69.5	66.3	47.0
	N13	20.4	4.5	49.6	45.3	30.0
	N15	25.1	4.4	54.8	40.7	40.4
	N16	19.7	4.8	63.3	52.1	41.2
	N18	19.2	3.3	65.3	59.4	61.1
	N20	21.8	3.6	68.0	51.4	21.0
平均値		20.8	4.7	67.9	52.2	39.5
標準偏差		4.4	1.6	13.5	16.2	14.6
変動係数		21%	34%	20%	31%	37%

※D_{Pmax}は最大荷重P_{max}のときの変位（ほぞ治具と土台試験体の変位の差)。

※P_{10}、P_{20}、P_{30}はそれぞれ変位が10mm、20mm、30mmのときの荷重。

※試験体番号のAは天然乾燥時の屋根ありグループを、Nは屋根なしグループを示す。

5)まとめ

多雪地（富山県）にて天然乾燥したタテヤマスギを用いて、土台材として用いた場合に長ほぞ差し込栓接合における割裂耐力について実験的に検討した。以下のような知見が得られた。

① 天然乾燥時における屋根の有無は土台の割裂耐力に影響を及ぼさなかった。

② 天然乾燥によって生じた表面干割れの本数、総長さ、総面積と土台の割裂耐力との間には関係はみられなかった。

③ 表面割れを伴う天然乾燥スギ材の割裂破壊定数は、平均が15.4N/mm$^{1.5}$、5%下限値が9.27N/mm$^{1.5}$で、木質構造設計規準の下限値8.0N/mm$^{1.5}$を上回った。

④ 割裂破壊定数は密度との正の相関が確認され、気乾密度と割裂破壊定数の関係式は同規準の関係式と概ね一致した。

⑤ ②～④の知見より、天然乾燥に伴い表面干割れを生じた材でも、貫通割れがなければ、一般材と同程度の土台割裂耐力を有することが確認された。

文献

5.3.4-1） 日本建築学会編: “木質構造設計規準・同解説”, p.235-236, 丸善, 東京, 2006.

5.3.4-2）岩崎晃治, 安村基: “繊維直交方向加力を受けるボルト接合部における割裂破壊荷重の推定”, 建築学会大会梗概集C1, p.273-274,2005.
5.3.4-3）安村基: “繊維直交方向加力を受ける木質構造ボルト接合部における破壊荷重推定法”, 建築学会大会梗概集C1, p.65-66, 2006.

５．３．５　温暖地で天然乾燥した土台の割裂性能

（１）供試材

宮崎県日南市産オビスギ丸太から製材された135mm正角材（長さ2m）を、平成22年11月29日から平成23年12月12日までの378日間屋外で桟積み天然乾燥した24体屋根あり天然乾燥12体（屋根なし天然乾燥12体）を供試材とした（「5.4.4 温暖地での屋外における天然乾燥と干割れの進行」参照）。試験地は、宮崎県都城市の宮崎県木材利用技術センター敷地内である。

天然乾燥終了後、試験体の割れと反りの発生状況から、一般的に使用する土台の向きを実務家が判断した。次に、材長2000mmの両端300mmの位置から含水率試験片を採取した後の約1300mmをプレーナーで120mm角に加工し、節を考慮して長さ1000mmの割裂試験体を木取った後、ほぞ穴（90×36mm）及び込栓穴（18mm）角加工を行った（図5.3.5-1）。なお、プレーナー加工及び穴加工は、地元の住宅及び社寺仏閣を専門とする工務店において行った。

＜試験体木取りの手順＞

① 実務家が試験体24体を通常使用する土台の向きに並び替える。一般的には、大きな割れが土台下面に配置される。
② 土台下面の割れを基準として、比較的大きな割れ（12体）と小さな割れ（12体）の2グループに分ける。
③ 比較的小さい割れのグループについては、通常使用する土台の向きとして穴加工する。すなわち、込栓穴が存在する試験体側面には大きな割れは存在しない。＜試験体A（一般的な土台の向き）＞
④ 比較的大きい割れのグループについては、大きな割れが込栓穴付近に配置されるように、90°回転させて穴加工する。通常、実務家が選択しない条件となる。＜試験体B（通常選択しない土台の向き）＞
⑤ なお、実務家が土台に穴加工する際には、ほぞ穴と節の位置関係については特に考慮しないが、込栓穴は節から30mm以上離れる位置に加工するとされる。そこで、込栓穴については、想定される位置が節から十分離れるように配慮して加工を行った。

材長1000mmに木取りした後、穴加工する前に試験体の密度及び縦振動ヤング係数を計測した。表5.3.5-1に割裂試験体Aの物性値を示し、表5.3.5-2に試験体Bの物性値を示す。なお、表中の試験体番号は5.4.4節の試験体番号に対応している。試験体A及び試験体Bの天然乾燥時の屋根の条件は、それぞれ屋根あり6体、屋根なし6体と同数であり、また、両者の密度に大きな違いは認められなかった。

試験直前に込栓穴が存在する側面の中央600mmに存在する幅0.5mm以上の割れを測定した。割れ幅は割れ端部から10mm内側と中央の3か所（W_L、W_C、W_R）を測定し、図5.3.5-2に示す方法により割れ長さ・幅・面積を算出した。

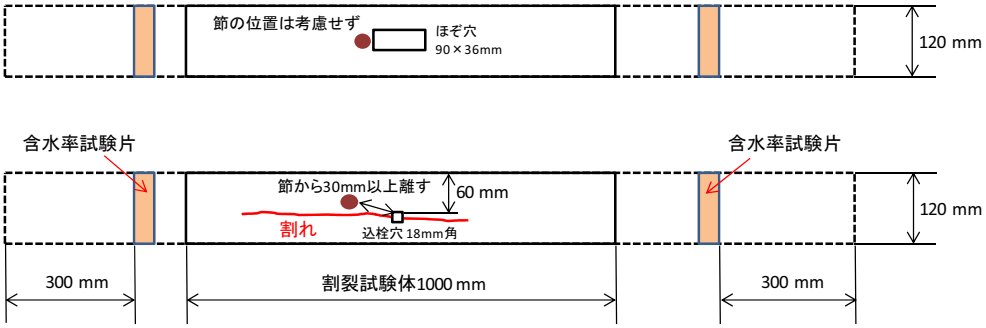


図5.3.5-1　割裂試験体の木取り

表5.3.5-1　試験体A（一般的な土台の向き）の物性値

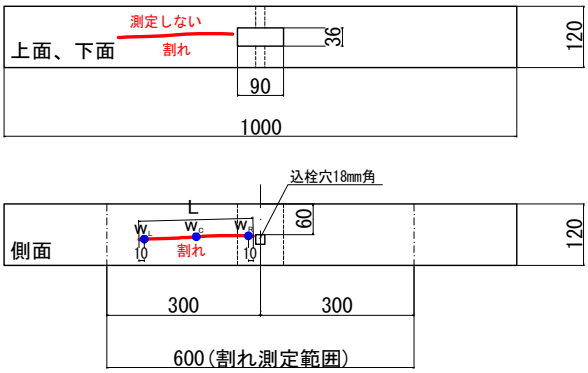
No.	重量 g	密度 kg/m^3	縦振動 ヤング係数 kN/mm^2	含水率 %	備　考
3S	6380	440	5.3	18.0	屋根あり天然乾燥
8M	6245	432	5.6	18.0	〃
11M	5875	406	5.9	17.7	〃
13S	7099	491	6.9	18.9	〃
16S	6713	464	5.3	18.2	〃
18M	6122	424	5.6	18.5	〃
平均値	6406	443	5.8	18.2	
標準偏差	439	30	0.6	0.4	
変動係数%	6.9	6.9	10.7	2.3	
5M	5813	401	5.8	17.8	屋根なし天然乾燥
8S	6694	462	5.9	19.3	〃
10S	6584	455	5.5	18.9	〃
13M	6934	479	6.3	20.0	〃
15M	6286	434	4.6	18.3	〃
18S	6558	454	5.8	19.4	〃
平均値	6478	447	5.6	18.9	
標準偏差	388	27	0.6	0.8	
変動係数%	6.0	6.0	10.1	4.2	

※含水率は割裂試験後に全乾法により求めた値。

表5.3.5-2　試験体B（通常選択しない土台の向き）の物性値

No.	重量 g	密度 kg/m^3	縦振動 ヤング係数 kN/mm^2	含水率 %	備　考
1M	6210	429	5.2	17.5	屋根あり天然乾燥
5S	6116	422	6.7	17.3	〃
6S	7228	500	8.5	16.8	〃
10M	6177	427	5.5	17.4	〃
15S	6568	453	5.2	17.8	〃
20M	6489	448	5.1	17.5	〃
平均値	6465	446	6.0	17.4	
標準偏差	415	29	1.3	0.3	
変動係数%	6.4	6.5	21.9	1.9	
1S	6852	473	5.3	18.9	屋根なし天然乾燥
3M	6318	438	5.2	19.4	〃
6M	6795	468	7.4	18.4	〃
11S	6183	428	5.8	18.5	〃
16M	6223	430	5.2	18.4	〃
20S	6833	471	5.8	18.5	〃
平均値	6534	451	5.8	18.7	
標準偏差	324	22	0.8	0.4	
変動係数%	5.0	4.8	14.6	2.2	

※含水率は割裂試験後に全乾法により求めた値。



割れ長さ　L

割れ幅　　$W=(W_L+W_C+W_R)/3$

割れ面積　$S=L\times W$

図5.3.5-2　割れの測定と算出方法

（２）割裂試験方法と評価方法

鋼製の込栓及びほぞ治具を試験体に取り付け、スパン800mmの曲げ型試験を行った。すなわち、通常の柱－土台における柱ほぞの引き抜きに代わり、ほぞ（治具）の圧縮により試験を行った（穴加工や治具位置、センサ取り付けが上下逆となることに注意）。図5.3.5-3に試験方法を示し、写真5.3.5-1に試験風景と試験条件を示す。なお、加力は毎分5mmの一方向単調加力とし、クロスヘッド移動量δ_1が30mmに達した時点で試験を終了し、土台の絶対変位δ_2との相対変位δ_1-δ_2から荷重変位曲線を求めた。

土台の割裂性能は、次式の割裂破壊定数C_r (N/mm$^{1.5}$) で評価した。

$$C_r = \frac{P_{max}}{2b}\sqrt{\frac{1}{h_e}-\frac{1}{h}}$$

ここで、P_{max}は最大荷重(N)、bは土台有効幅(mm)、h_eは縁端距離(mm)、hは土台せい(mm)である。今回は、b=120-36=84、h_e=60-18=42、h=120となる。

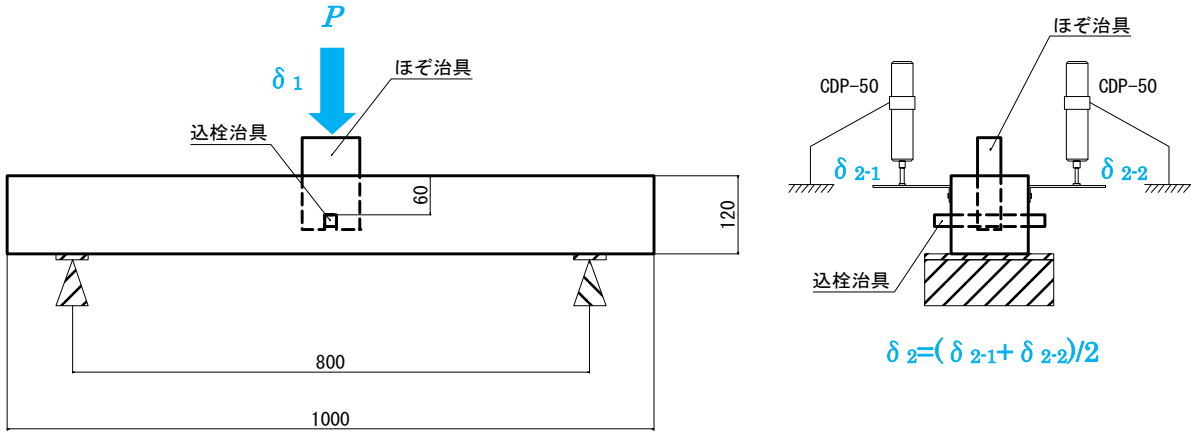


図5.3.5-3　割裂試験方法



写真5.3.5-1　割裂試験風景

測定項目と試験条件

P　：　荷重（kN）
δ_1　：　クロスヘッド移動量（mm）
δ_2　：　土台の絶対変位（mm）
スパン　：　800mm
加力速度　：　5mm/min

（３）結果及び考察

(a)破壊位置と割れの影響

写真5.3.5-2に典型的な割裂破壊の推移を示す。試験体のほとんどは込栓穴の下辺部から割裂が生じた。その後、加力に伴い破壊が進展し、クロスヘッド移動量が30mmに達するまでに割裂が材端部まで達するか、曲げ破壊した。なお、写真5.3.5-3に示すように、込栓穴につながる初期割れが存在しても、割裂破壊に関与しなかった試験体が半数以上存在した。すなわち、初期割れが込栓穴下辺部にない限りは（通常の柱引抜試験であれば込栓穴上辺部）、必ずしも割裂破壊に影響を与えるものではないことが分かった。



(a)天然乾燥による初期割れ　(b)込栓穴の下角部からの割裂（黒マジックは初期割れ）　(c)材端まで破壊が進行（試験体によっては曲げ破壊）

写真5.3.5-2　典型的な割裂破壊の例(18S試験体)



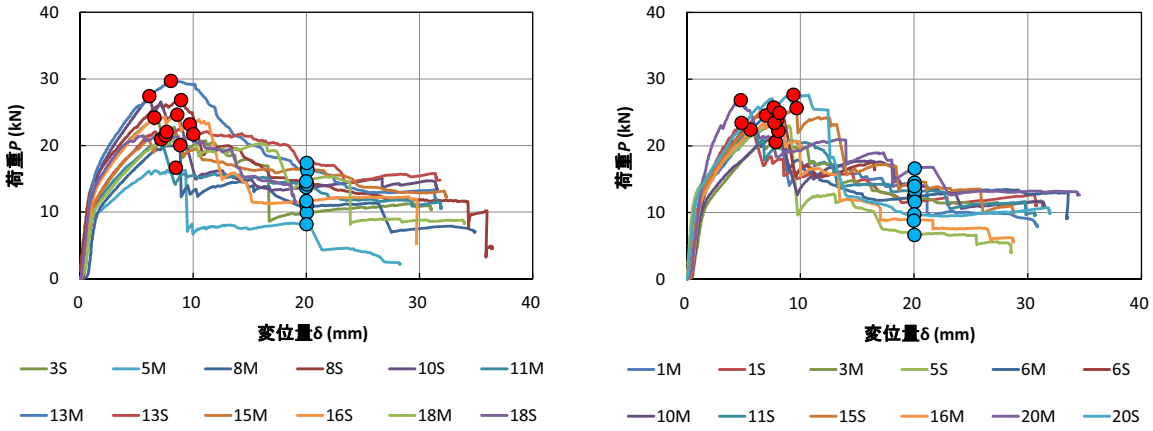
写真5.3.5-3　込栓穴付近の初期割れと割裂破壊(左：3M試験体、右：6M試験体)
※黒マジックは初期割れ、赤マジックは割裂破壊

(b)$P-\delta$ 関係

図5.3.5-4に全試験体の荷重変位曲線を示す。なお、図中の赤丸は、各試験体の最大荷重P_{max}と最大荷重時の変位δ_{max}を示している。P_{max}については、試験体Bに比べて試験体Aのばらつきが大きい傾向を示した。一方、δ_{max}については試験体Bのばらつきが大きい結果となった。

いずれの試験体についても、P_{max}を示した後に耐力がほぼ無くなるような荷重変位曲線ではなく、その後もある程度の耐力を維持した。そこで、変位20mm時の荷重P_{20}を比較した（図5.3.5-4中の青丸）。P_{max}に対するP_{20}の比（P_{20}/P_{max}）は、試験体Aで平均0.58（変動係数20.5%）、試験体Bで0.51（変動係数24.1%）となり、いずれの条件でも最大荷重を示した後、50%以上の荷重が維持されていることが分かる。

以上のことから、込栓穴から割裂破壊するような状況を想定した場合、その土台接合部は初期割れの有無にかかわらず大きな変形能力を有していると言えた。



(a)試験体A(一般的な土台の向き)　　(b)試験体B(通常選択しない土台の向き)

図5.3.5-4　荷重変位曲線(赤丸：最大荷重P_{max}、青丸：変位20㎜時の荷重P_{20})

(c)割裂試験結果と割れの関係

表5.3.5-3に試験体Aの割裂試験結果を示し、表5.3.5-4に試験体Bの結果を示す。割裂破壊定数C_rは、試験体Aで平均値17.2 N/mm$^{1.5}$、5%下限値11.8 N/mm$^{1.5}$、試験体Bで平均値18.0 N/mm$^{1.5}$、5%下限値14.9 N/mm$^{1.5}$となった。いずれの5%下限値も木質構造設計規準におけるスギの割裂破壊定数8.0 N/mm$^{1.5}$を上回ったものの、通常選択しない土台の向きである試験体Bの平均値がわずかに高く、ばらつきも小さい結果となった。ただし、統計的検定で両者の母平均に有意差はなく、少なくとも試験体の向きによる影響はないものと考えられた。また、天然乾燥時の屋根の有無の影響については、統計的な有意差も認められず、影響がないものと推察された。

表5.3.5-3　試験体A(一般的な土台の向き)の割裂試験結果

No.		最大荷重 kN	C_r N/mm$^{1.5}$	表面割れ 割れ本数	総割れ長さ mm	総割れ面積 mm^2
3S	屋根あり天然乾燥	24.2	17.9	3 (2)	623	223
8M		20.0	14.8	0 (0)	0	0
11M		21.0	15.5	3 (1)	561	485
13S		23.1	17.1	2 (0)	791	167
16S		24.6	18.2	4 (1)	934	322
18M		21.7	16.1	0 (0)	0	0
平均値		22.4	16.6	2.0	485	200
標準偏差		1.8	1.4	1.7	398	189
変動係数%		8.2	8.2	84	82	94
5M	屋根なし天然乾燥	16.6	12.3	2 (0)	616	279
8S		26.8	19.8	0 (0)	0	0
10S		27.4	20.3	5 (1)	1102	880
13M		29.7	22.0	3 (0)	471	139
15M		21.5	15.9	4 (0)	899	455
18S		22.0	16.3	2 (2)	325	101
平均値		24.0	17.8	2.7	569	309
標準偏差		4.8	3.6	1.8	397	321
変動係数%		20.1	20.1	66	70	104
全試験体						
平均値		23.2	17.2	2.3	527	254
標準偏差		3.6	2.6	1.7	381	258
変動係数%		15.4	15.4	72	72	101

( )内の数値は込栓穴に達していた初期割れ数

:割裂破壊とつながった初期割れ

表5.3.5-4　試験体B(通常選択しない土台の向き)の割裂試験結果

No.		最大荷重 kN	C_r N/mm$^{1.5}$	表面割れ 割れ本数	総割れ長さ mm	総割れ面積 mm^2
1M	屋根あり天然乾燥	23.8	17.6	4 (2)	1472	1575
5S		23.4	17.3	3 (2)	1026	1196
6S		25.7	19.1	7 (4)	1769	1248
10M		22.2	16.4	7 (3)	1223	917
15S		25.7	19.0	8 (3)	1223	755
20M		26.9	19.9	6 (4)	1403	1544
平均値		24.6	18.2	5.8	1353	1206
標準偏差		1.8	1.3	1.9	257	328
変動係数%		7.1	7.1	33	19	27
1S	屋根なし天然乾燥	23.4	17.3	5 (2)	1138	458
3M		20.5	15.2	3 (2)	651	1258
6M		24.6	18.2	5 (2)	1849	1446
11S		22.4	16.6	3 (2)	853	710
16M		25.0	18.5	5 (2)	814	420
20S		27.6	20.5	5 (3)	1762	838
平均値		23.9	17.7	4.3	1178	855
標準偏差		2.4	1.8	1.0	512	420
変動係数%		10.1	10.1	24	43	49
全試験体						
平均値		24.3	18.0	5.1	1265	1030
標準偏差		2.0	1.5	1.7	397	403
変動係数%		8.4	8.4	33	31	39

( )内の数値は込栓穴に達していた初期割れ数

:割裂破壊とつながった初期割れ

試験体Aの12体中5体、試験体Bの全12体が込栓穴につながるような初期割れを有しており、このような割れは割裂耐力を低下させると予想された。しかしながら、表5.3.5-3及び表5.3.5-4に示したように、割裂破壊とつながった初期割れは試験体Aの1体、試験体Bの5体のみであった（表中の色付き)。また、試験体Bの割れ数、総割れ長さ、総割れ面積は試験体Aに比べて明らかに大きかったが、前述したようにC_r及び最大荷重に違いは認められなかった。

図5.3.5-5に試験体AのC_rと割れ特性値の関係を示し、図5.3.5-6に試験体Bの関係を示す。試験体A、Bの違い、天然乾燥時の屋根の有無のいずれも明確な傾向は認められなかった。このことは、割裂耐力性能に天然乾燥による割れが影響を及ぼさないことを示唆するものであった。

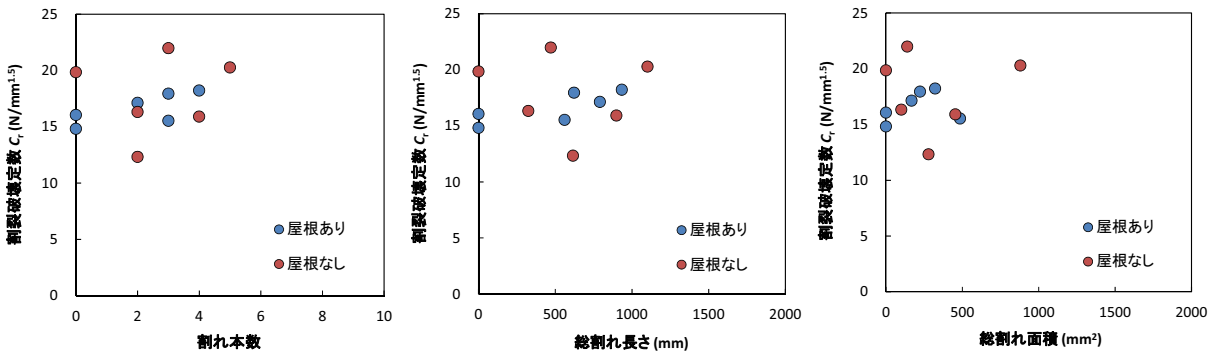


図5.3.5-5　試験体Aの割裂破壊定数C_rと割れ特性値との関係

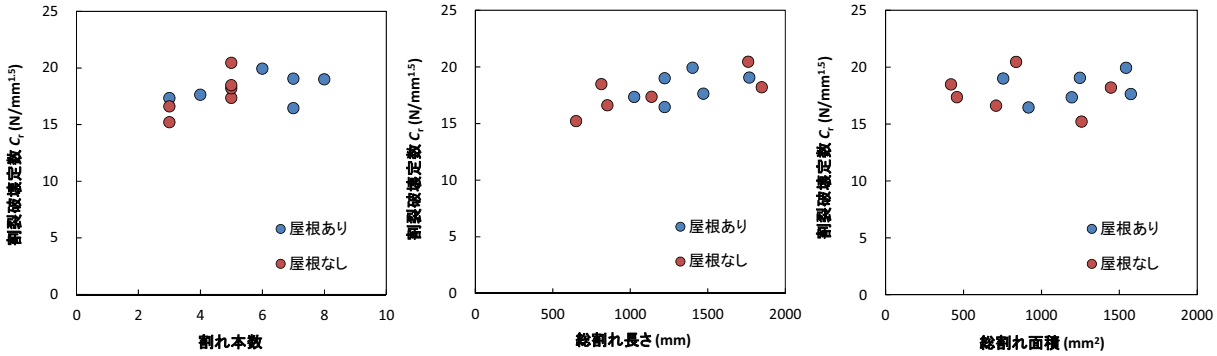


図5.3.5-6　試験体Bの割裂破壊定数C_rと割れ特性値との関係

(d)材質指標との関係

図5.3.5-7に割れ本数、密度及び縦振動ヤング係数とC_rの関係を示す。密度のみに危険率1%で有意な相関が認められた。また、密度とC_rの回帰式は、5.3.5-1式で表される木質構造設計規準の評価式（岩崎晃治ほか,2005）と近く、今回のC_rは岩崎らの結果と概ね一致する結果が得られているものと考えられた。

C_r=0.03959x-4.438　　(5.3.5-1)

以上のことから、天然乾燥による初期割れの有無に関係なく、密度が高い土台については高い割裂耐力が期待できると言えた。

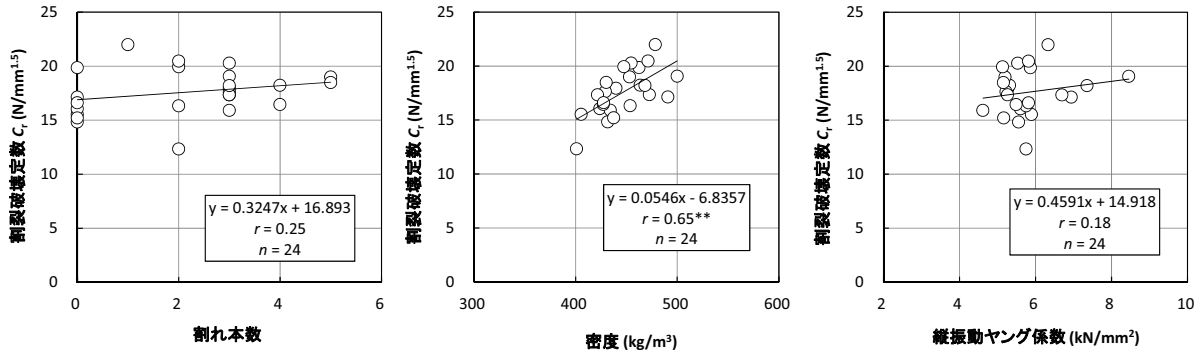


図5.3.5-7　材質指標とC_rの関係

（4）まとめ

温暖地で桟積み天然乾燥した土台の曲げ型割裂試験を行い、天然乾燥による割れ及び天然乾燥時の屋根の有無が割裂耐力に及ぼす影響を調査した結果、以下の知見を得た。

① 割裂破壊は込栓穴の下辺部から発生・進展し、クロスヘッド移動量30mm時には割れが材端部まで達するか、曲げ破壊が生じた。

② 込栓穴につながる割れが存在しても、穴下辺部に位置しない限りは、必ずしも割裂破壊に影響するものではないことがうかがえた。

③ 割裂耐力に天然乾燥による割れや天然乾燥時の屋根の有無が影響を及ぼすことはないことが示唆された。

④ 込栓穴から割裂破壊するような土台接合部は、込栓穴付近の割れの有無にかかわらず大きな変形能力を有していると言えた。

⑤ 今回得られた割裂破壊定数の5%下限値は、木質構造設計規準に定めるスギ基準値を上回った。

⑥ 密度と割裂破壊定数の間には統計的に有意な相関が認められ、その回帰式は木質構造設計規準に示された式とほぼ一致した。

５．３．６　屋外乾燥と屋内常態乾燥の比較

（１）目的

屋外天然乾燥と屋内常態乾燥のスギ製材について、乾燥の過程で製材に発生する表面割れが土台－込栓接合部の引張強度特性に及ぼす影響を実験的に明らかにすることを目的とする。併せて、実務者が製材の特性（反り、節、表面割れなど）を勘案して土台として使用場合の「木取り」の影響についても検討を行う。

（２）試験体

1)試験体に用いる製材と試験体の採取方法

試験体に供する製材は、2010年度に製材の乾燥表面割れの実験に使用した長さ2mのスギ製材で、埼玉県秩父近辺で伐採された原木から製材したものである。乾燥による表面割れの実験では、製材としての物性値に大きな偏りが生じないようにエンドマッチングを行っている。試験体に供した製材の詳細な情報については、前年度実施された平成22年度国土交通省補助事業「伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験検討委員会」報告書（特定非営利活動法人 緑の列島ネットワーク，平成23年3月）を参照いただきたい。表5.3.6-1に、試験体に用いる製材の乾燥方法を示す。

表5.3.6-1　試験体に用いる製材の乾燥方法

製材採取年度	乾燥方法	製材本数	採取試験体数
2010	屋外天然乾燥（つくば・建築研究所屋外）	20	40
	常態天然乾燥（温度20℃湿度65%の恒湿恒温槽にて養生）	20	40
	未乾燥状態でほぞ・貫穴加工後、常態天然乾燥	20	20

試験体は下記①、②、③の3種類の製材（各20本）から、土台の割裂試験用の試験体を採取した。未加工の製材①、②については、長さ2mの製材より長さ1mの試験体を2体（各条件それぞれ40体の試験体）採取した。また、③については、既加工の貫穴が込栓位置から最も離れるようにして、試験体を各1体採取した（1種類各20体）。

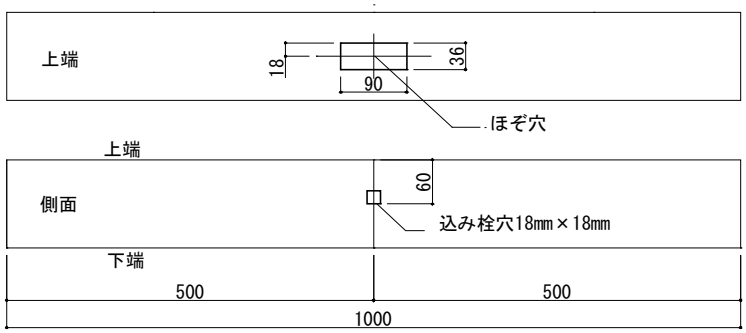
①屋外天然乾燥（約1年間）後の断面135mm角、長さ2mの製材。

②常態天然乾燥（20℃65%の恒湿恒温室、約1年間）後の断面135mm×135mm、長さ2mの製材。

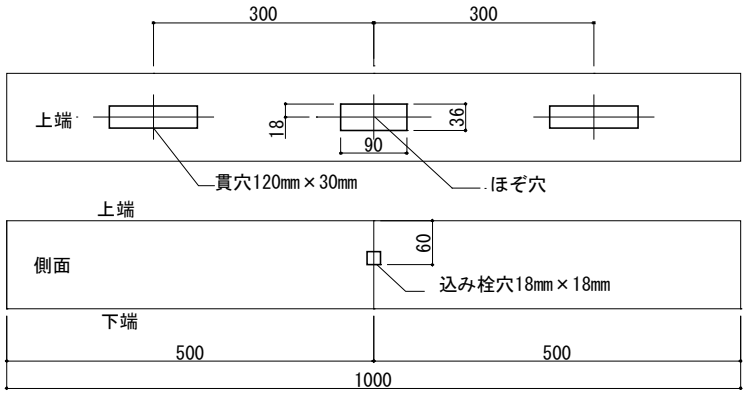
③原木から製材後、すぐにほぞ加工および貫穴加工した材。

2)試験体の形状

試験体は、図5.3.6-1(a)および(b)に示す断面寸法120mm×120mm（4寸角）、長さ1mのスギ製材である。これを土台として使用することを仮定して、材長方向中央部に長ほぞ込栓接合のほぞ穴（幅36mm、長さ90mm、通し穴）と込栓穴（18mm角）を加工した。ほぞ穴の位置は材中央部とし、込栓穴は、土台上端より60mm下方に込栓穴の下端が位置するように配置した。なお、乾燥による表面割れに部材の加工が及ぼす影響についての実験を行った材（③）については、材中央部より両側に300mmの位置に、貫穴（30mm×120mm）の通し穴が存在している。



(a)　未加工製材より採取した試験体



(b)　既加工製材より採取した試験体

図5.3.6-1　試験体

3)実務者の木取り

試験体(土台)のほぞ穴および込栓穴の位置については、プレーナー加工前の製材の状況を見て、実務者の判断によって決めた。木取りの判断は、実務者である綾部委員が行った。実務者はほぞ穴および込栓穴の加工面の判断を、次の①～⑤ような原則に沿って決めている。

① 製材の状態で材の反りを見る。材が凸となる面（材の背）を土台下端とする（梁および桁として使用する時は、その逆で、材の凸となる面を横架材上端として使用する。）プレーナー仕上げする前に、材の反り（クセ）を見る。そうすることによって、これから乾燥収縮による変形の方向を予想することができる。

② 材の表面割れが大きい面を土台下端とする。(表面割れが下端だと、)製材の多くは、材の凸となる面（材の背）の方が表面割れが大きい傾向が見られる。またこの場合、材芯が材の背に偏っていることが多い傾向が見られるようである。①を優先して、次に②の条件で加工面を決める場合が多くを占めるようである。しかしながら、その逆の場合もあるようで、実務者は、①および②を参考に、場合によってはそれ以外の要素も考慮して総合的に判断するようである。

③ 材が2方向に反っている場合、反りが大きい方を上下端とし反りが小さい方を側面にする。外壁面に位置する横架材については、外々に凸（土台）若しくは内々に凸（胴差し）となるように建物内に配置する。(今回の実験には直接関係しない)

④ 柱ほぞの位置は、込栓位置に節や表面割れなどの欠点に重ならないように、材長方向に移動できる範囲で適当にずらす。逆に、意図的にほぞ穴が節に重なるように配置して、ほぞ穴を加工することにより、節を無くしてしまうようなほぞ穴の配置を行う場合もある。

⑤ 材が反っていなければ、基本的には、①の材の反りによる判断は行われず②の表面割れの判断で材の土台下端を決める。なお、欠点が多い面を土台下端に配置して、見栄えをよくすることも実務者は考えている。

4)試験体の材料特性と表面割れ

① 動ヤング係数

2010年度のほぞや貫穴の加工が施されていない製材（2種類、各20本）については、縦振動の1次固有振動数から動ヤング係数を求めた。長さ2mのスギ製材木口に圧電型の加速度計を専用ワックスで取り付け、玄翁を用いて木口を加振して自由振動を励起した。得られた加速度波形をFFT処理して、スペクトルのピークから1次固有振動数を求めた。

② 含水率

試験時の試験体の含水率は高周波式の含水率計を用いて測定するとともに、割裂試験の後、ほぞ穴より30mm以内の範囲で厚さ約15mm～25mmの試験片を採取し、全乾法により含水率を求めた。

③ 表面割れ

試験体（土台）側面の表面割れについて、2010年度の報告書に示される干割れの測定方法と同様の方法で、表面割れの測定を行った。

5) 試験体の種類

試験体の種類は表5.3.6-2に示すように、乾燥条件、実務者の木取りの判断、および表面割れの大小から、2010年度材は9種類に分類される。試験条件ごとに試験体記号をa～iとし、試験体名称を下記のように定めた。

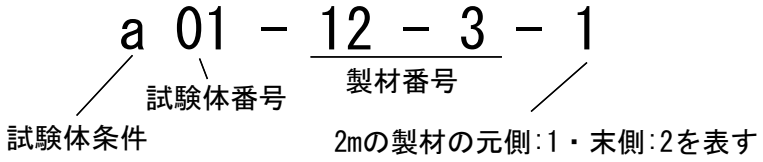


表5.3.6-2 試験体の種類

試験体記号	製材年度	製材の乾燥条件	実務者の木取り	表面割れ	試験体数
a	2010	屋外天然乾燥(つくば)	適当	小	10
b		屋外天然乾燥(つくば)	適当	大	10
c		屋外天然乾燥(つくば)	不適当	小	10
d		屋外天然乾燥(つくば)	不適当	大	10
e		常態天然乾燥(20℃65%)	適当	小	10
f		常態天然乾燥(20℃65%)	適当	大	10
g		常態天然乾燥(20℃65%)	不適当	小	10
h		常態天然乾燥(20℃65%)	不適当	大	10
i		加工後、常態天然乾燥(20℃65%)	適当	ー	20

（３）試験方法

図5.3.6-2に、土台の割裂試験の方法を示す。一般的な、土台一柱の込栓接合部の引き抜き試験を擬似的に再現するように、土台の支点間距離を800mmとして、土台上端を下側にして支点上に配置

する。鋼製の込栓（断面寸法18mm×18mm）を込栓穴に打ち込み、込栓を鋼製込栓加力治具により加力する。

加力は、一方向単調加力とし、加力速度を5mm/1min.とした。変位は、鋼製込栓加力治具（クロスヘッドの制御変位）と、試験体スパン中央部（試験体側面両側）において電気式変位計（CDP-50：精度1/200mm）により測定した。写真5.3.6-1に試験の状況を示す。

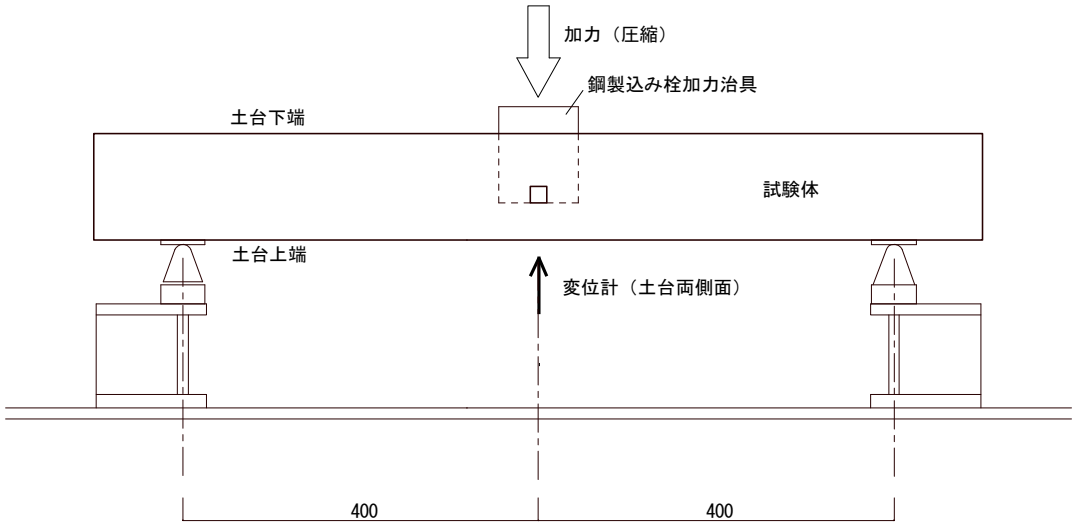


図5.3.6-2　試験方法

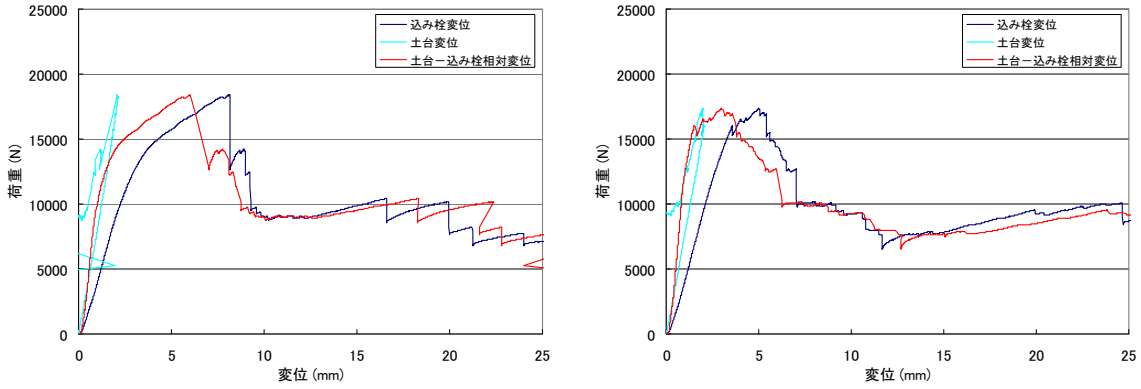


写真5.3.6-1　試験状況

（４）試験結果とその考察

1)荷重と変位の関係

図5.3.6-3に、荷重と変位の関係（e：常態天然乾燥，実務者：適，割れ：小）を例示する。荷重と変位の関係(a)は土台込栓位置における材の割裂破壊時の荷重が最大荷重となるもの、荷重と変位の関係(b)は土台込栓位置における材の割裂破壊後割裂が進展するとともに荷重が上昇して最大荷重を迎えるものである。試験体の大多数については、図5.3.6-3(a)のような荷重と変位の関係を示す結果であった。



(a)　割裂破壊時の荷重＝最大荷重（e1）　　(b)　割裂破壊時の荷重く最大荷重（e8）

図5.3.6-3 荷重と変位の関係（e：常態天然乾燥，実務者：適，割れ：小）

破壊性状が図5.3.6-3(a)について、変位の増加に伴う試験体の変形の推移は、以下の①～⑤であった。

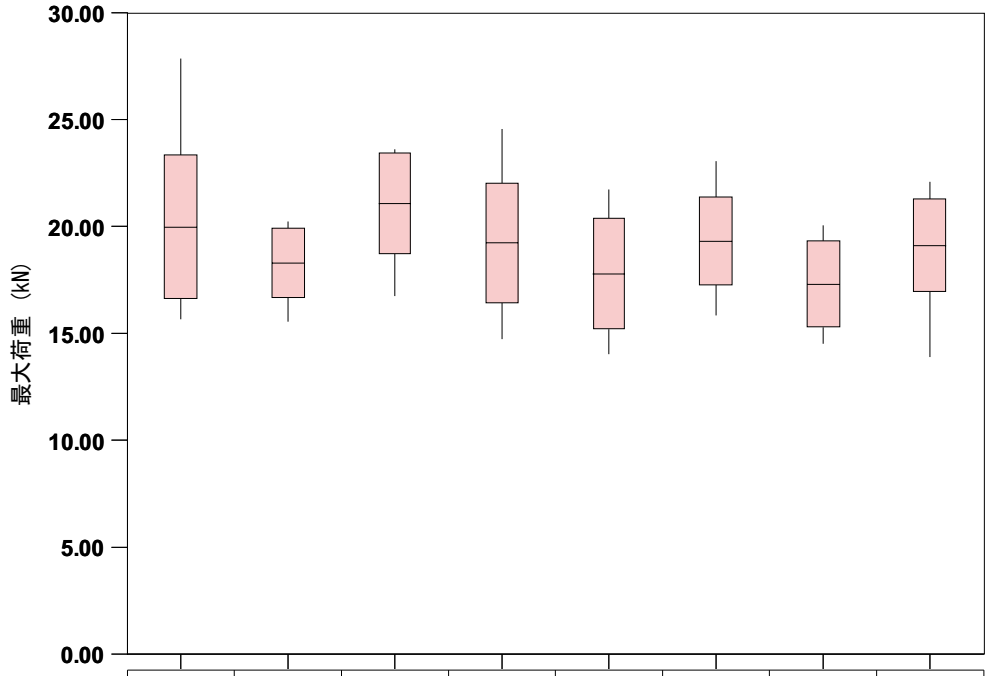
①土台の弾性曲げ変形と鋼製込栓の弾性めり込み変形
②鋼製込栓の塑性めり込み
③込栓下部位置での土台の割裂
④込栓より下部の土台の曲げ破壊
⑤割裂破壊の割れの繊維方向への進展

2)最大荷重と表面割れ・実務者の木取り・乾燥条件の比較

表5.3.6-2に、2010年度の製材から作成した試験体条件a～hについての最大荷重の値および、平均値、標準偏差、変動係数が示してある。また、これらの試験結果に基づき、図5.3.6-4には、試験条件に対応した最大荷重の値とそのばらつきが示してある。これらの図表より、次のことがわかる。

表5.3.6-2　最大荷重の一覧

試験体番号	最大荷重 (kN)							
	a	b	c	d	e	f	g	h
1	15.65	20.22	19.04	18.18	18.39	15.83	16.63	18.57
2	27.84	15.69	22.32	14.73	21.72	23.04	19.21	19.04
3	22.24	19.24	23.03	19.15	14.83	19.10	15.49	13.91
4	18.46	15.56	20.93	17.79	14.02	19.52	17.87	22.07
5	18.54	18.79	23.27	20.68	19.79	19.21	19.26	18.07
6	16.04	19.95	20.34	19.39	18.47	17.42	19.54	20.74
7	21.70	20.06	17.97	24.54	21.61	21.76	20.04	19.85
8	18.32	18.56	16.75	17.48	17.35	18.56	14.50	21.05
9	19.82	17.43	23.38	23.26	16.19	17.67	14.65	17.89
10	21.13	17.31	23.61	16.94	15.37	20.93	15.83	19.93
平均値	19.97	18.28	21.06	19.21	17.77	19.30	17.30	19.11
標準偏差	3.36	1.64	2.34	2.80	2.58	2.04	2.03	2.15
変動係数	0.168	0.089	0.111	0.146	0.145	0.106	0.117	0.113



	a	b	c	d	e	f	g	h
最大値	27.84	20.22	23.61	24.54	21.72	23.04	20.04	22.07
平均値＋標準偏差	23.33	19.91	23.41	22.01	20.35	21.34	19.33	21.26
平均値	19.97	18.28	21.06	19.21	17.77	19.30	17.30	19.11
平均値－標準偏差	16.61	16.64	18.72	16.42	15.19	17.26	15.28	16.96
最小値	15.65	15.56	16.75	14.73	14.02	15.83	14.50	13.91

図5.3.6-4 最大荷重の一覧

①表面割れの影響

屋外天然乾燥の製材より加工した試験体a～dに着目すると、実務者の木取り方法が適当である試験体について、表面割れが大きなb（18.28kN）は割れが小さなa（19.97kN）に比べて最大荷重が約10%低い値を示した。また、同様に、実務者の木取り方法が不適当である試験体についても、表面割れが大きなd（19.21kN）は割れが小さなc（21.06kN）に比べて最大荷重が約10%低い値を示した。これとは逆に、常態天然乾燥の製材については、実務者の木取り方法が適当・不適当と判断した両者ともに、表面割れが大きなf,hは表面割れが小さいe,gよりも約10%大きな値を示した。試験種類a～h全体の最大荷重の平均値が19.00kNであり、これに対して、平均値の最大であるc（21.06kN）と平均値の最小であるg（17.30kN）は±10%の範囲である。これより、表面割れが土台込栓接合部の土台割裂強度に及ぼす影響はほとんど無いと言ってよかろう。なお、木取り方法が適当である試験体については、表面割れが大きな面はほとんど土台下端に配置されていた。

②実務者の木取りの判断の影響

屋外天然乾燥材および常態天然乾燥ついて、実務者の木取り方法が適当であるものと不適当であるものを比較すると、木取りが適当な試験体a,b,e,fの最大荷重の平均値は18.83kNであるのに対して、木取りが不適当な試験体c,d,g,hの最大荷重の平均値は19.17kNであり、木取りが不適当な試験体の方が最大荷重が若干大きな値を示している。このことは、土台込栓接合部の土台の割裂強度について、実務者の木取りの判断の影響はほとんど無いことを意味するものである。

③屋外天然乾燥と常態天然乾燥の比較

屋外天然乾燥の試験体（a,b,c,d）と常態天然乾燥の試験体（e,f,g,h）の最大荷重を比較すると、屋外天然乾燥の試験体の最大荷重の平均値が19.63kNであるのに対して常態然乾燥の試験体の最大荷重の平均値は18.37kNであり、屋外天然乾燥材の試験体の方が常態天然乾燥材の試験体より若干強度が大きい傾向を示した。しかしながら、その差は7%程度であり、屋外天然乾燥と常態天然乾燥による乾燥方法の違いが土台込栓接合部の土台の割裂強度に及ぼす影響はほとんど無いと言えよう。なお、試験体加工前の常態天然乾燥の製材は、屋外天然乾燥の製材に比べて、表面割れの最大割れ幅が大きいように見て取れた。

3)　最大荷重と製材の物理的性質等の比較

表5.3.6-4(a)～(i)に、2010年度の製材より取り出した全ての試験体について、最大荷重、密度、ヤング係数、含水率および表面割れの値が示してある。また、５．４．３の（5.4.3-1）式により最大荷重より算出した割裂破壊定数(Cr)を併せて示す。これらの結果より、以下の①～③について考察を行った。

表5.3.6-4(a)　試験結果一覧　（条件：a）

試験体名	土台下端シール面	密度	ヤング係数	含水率		最大荷重	割裂破壊定数(Cr)	表面割れ		
				含水率計	全乾法			本数	総長さ	総面積
		g/cm^3	N/mm^2	%	%	kN	N/mm$^{1.5}$	本	mm	mm^2
a 1 － 2-4-1	B	0.39	7735	13.6	15.6	15.65	11.59	4	1430.2	1147.4
a 2 － 3-1-1	A	0.48	6652	20.1	17.1	27.84	20.62	2	342.0	147.4
a 3 － 5-3-2	A	0.48	9092	13.5	15.5	22.24	16.47	5	1090.1	606.4
a 4 － 11-1-1	A	0.45	7919	20.9	18.6	18.46	13.67	5	878.1	472.7
a 5 － 13-3-2	A	0.45	8806	17.0	15.5	18.54	13.73	4	1300.6	789.2
a 6 － 14-4-1	B	0.39	7735	11.1	15.8	16.04	11.87	7	1685.1	1296.4
a 7 － 15-1-2	C	0.44	9888	16.8	16.1	21.70	16.07	1	629.1	715.6
a 8 － 16-2-1	B	0.39	8023	13.1	12.3	18.32	13.56	2	1013.1	967.4
a 9 － 19-1-1	B	0.45	7251	19.6	16.8	19.82	14.67	2	165.5	50.5
a 10 － 21-2-2	D	0.45	9625	17.3	16.2	21.13	15.65	4	815.2	323.8
	平均値	0.43	8272	16.3	15.9	19.97	14.79	3.60	934.9	651.7
	標準偏差	0.03	992	3.2	1.5	3.36	2.49	1.74	450.2	392.6
	変動係数	0.075	0.120	0.194	0.095	0.168	0.168	0.484	0.482	0.602

表5.3.6-4(b)　試験結果一覧　（条件：b）

試験体名	土台下端シール面	密度	ヤング係数	含水率		最大荷重	割裂破壊定数(Cr)	表面割れ		
				含水率計	全乾法			本数	総長さ	総面積
		g/cm^3	N/mm^2	%	%	kN	N/mm$^{1.5}$	本	mm	mm^2
b 1 － 1-3-1	B	0.42	8278	13.0	16.8	20.22	14.97	6	2143.3	1610.5
b 2 － 4-2-1	C	0.35	4888	10.0	15.3	15.69	11.62	8	1933.8	1203.1
b 3 － 6-4-2	D	0.41	8279	11.4	14.5	19.24	14.24	8	2186.5	3085.1
b 4 － 7-1-2	C	0.37	7404	10.1	14.5	15.56	11.52	3	1839.2	2023.3
b 5 － 8-2-1	A	0.43	6868	11.9	15.1	18.79	13.92	5	1750.5	1460.8
b 6 － 9-3-2	B	0.41	9523	13.6	15.3	19.95	14.77	2	785.2	1141.4
b 7 － 10-4-1	B	0.41	8048	13.0	14.8	20.06	14.85	5	2187.5	1658.1
b 8 － 12-2-2	C	0.37	6611	11.8	15.2	18.56	13.74	3	1272.1	1073.6
b 9 － 17-3-2	D	0.45	9803	13.8	14.7	17.43	12.90	2	1061.0	671.5
b 10 － 18-4-2	A	0.45	9853	12.9	15.5	17.31	12.82	1	164.0	75.9
	平均値	0.41	7955	12.1	15.2	18.28	13.54	4.30	1532.3	1400.3
	標準偏差	0.03	1496	1.3	0.6	1.64	1.21	2.37	652.2	764.1
	変動係数	0.077	0.188	0.105	0.043	0.089	0.089	0.551	0.426	0.546

表5.3.6-4(c)　試験結果一覧　（条件：c）

試験体名	土台下端シール面	密度	ヤング係数	含水率		最大荷重	割裂破壊定数(Cr)	表面割れ		
				含水率計	全乾法			本数	総長さ	総面積
		g/cm^3	N/mm^2	%	%	kN	N/mm$^{1.5}$	本	mm	mm^2
c 1 － 2-4-2	A	0.40	7735	11.0	15.4	19.04	14.10	9	1621.1	1139.4
c 2 － 3-1-2	B	0.45	6652	15.9	16.3	22.32	16.53	3	519.1	285.0
c 3 － 5-3-1	C	0.47	9092	14.0	16.1	23.03	17.05	3	1339.3	1920.9
c 4 － 11-1-2	A	0.47	7919	16.5	20.5	20.93	15.50	7	1190.1	929.4
c 5 － 13-3-1	B	0.44	8806	15.4	15.2	23.27	17.23	4	1180.8	1536.8
c 6 － 14-4-2	D	0.41	7735	14.0	16.2	20.34	15.06	7	1587.8	2073.7
c 7 － 15-1-1	D	0.44	9888	16.8	16.6	17.97	13.31	4	1151.1	1780.4
c 8 － 16-2-2	B	0.38	8023	10.8	14.8	16.75	12.41	8	1412.7	1685.4
c 9 － 19-1-2	B	0.44	7251	16.1	17.3	23.38	17.31	2	716.1	739.6
c 10 － 21-2-1	C	0.44	9625	14.4	16.7	23.61	17.48	7	1202.0	1470.2
	平均値	0.44	8272	14.5	16.5	21.06	15.60	5.40	1192.0	1356.1
	標準偏差	0.03	992	2.0	1.5	2.34	1.74	2.33	330.5	540.8
	変動係数	0.063	0.120	0.140	0.092	0.111	0.111	0.432	0.277	0.399

表5.3.6-4(d)　試験結果一覧　（条件：d）

試験体名	土台下端シール面	密度	ヤング係数	含水率		最大荷重	割裂破壊定数(Cr)	表面割れ		
				含水率計	全乾法			本数	総長さ	総面積
		g/cm^3	N/mm^2	%	%	kN	N/mm$^{1.5}$	本	mm	mm^2
d 1 － 1-3-2	A	0.41	8278	11.8	16.2	18.18	13.46	4	1615.6	2606.0
d 2 － 4-2-2	D	0.35	4888	9.8	15.2	14.73	10.91	3	1187.9	2878.7
d 3 － 6-4-1	A	0.41	8279	10.9	14.7	19.15	14.18	3	2051.2	3833.2
d 4 － 7-1-1	D	0.39	7404	10.5	15.1	17.79	13.17	5	1870.2	2624.5
d 5 － 8-2-2	C	0.44	6868	14.9	15.6	20.68	15.31	5	1726.1	1705.5
d 6 － 9-3-1	C	0.41	9523	12.4	15.2	19.39	14.36	4	1641.3	2321.8
d 7 － 10-4-2	A	0.42	8048	14.8	14.8	24.54	18.17	1	998.5	3619.6
d 8 － 12-2-1	D	0.39	6611	12.1	16.0	17.48	12.95	3	758.9	559.4
d 9 － 17-3-1	C	0.44	9803	13.1	15.5	23.26	17.22	4	1297.9	2150.0
d 10 － 18-4-1	B	0.43	9853	13.1	15.6	16.94	12.55	3	1642.2	3324.8
	平均値	0.41	7955	12.3	15.4	19.21	14.23	3.50	1479.0	2562.4
	標準偏差	0.03	1496	1.6	0.5	2.80	2.07	1.12	384.7	916.2
	変動係数	0.068	0.188	0.131	0.030	0.146	0.146	0.319	0.260	0.358

表5.3.6-4(e)　試験結果一覧　（条件：e）

試験体名	土台下端シール面	密度	ヤング係数	含水率		最大荷重	割裂破壊定数(Cr)	表面割れ		
				含水率計	全乾法			本数	総長さ	総面積
		g/cm^3	N/mm^2	%	%	kN	N/mm$^{1.5}$	本	mm	mm^2
e 1 － 1-2-2	A	0.40	8688	10.9	12.5	18.39	13.61	2	885.1	1758.1
e 2 － 3-4-2	B	0.45	9055	13.1	11.3	21.72	16.08	5	2660.1	4754.6
e 3 － 4-1-1	A	0.33	4765	9.8	11.3	14.83	10.98	0	0.0	0.0
e 4 － 7-4-1	B	0.39	7636	10.4	11.1	14.02	10.38	3	1421.0	1356.5
e 5 － 8-1-1	A	0.44	5561	10.9	12.4	19.79	14.66	3	551.0	215.1
e 6 － 10-3-1	A	0.40	8231	10.5	10.9	18.47	13.67	3	1527.0	1126.6
e 7 － 11-4-1	C	0.47	7276	11.1	12.6	21.61	16.00	1	892.0	301.1
e 8 － 14-3-2	C	0.38	8396	10.5	11.1	17.35	12.85	4	1055.5	604.7
e 9 － 16-1-2	A	0.36	7682	12.1	10.9	16.19	11.99	1	129.5	56.7
e 10 － 21-1-1	C	0.42	10328	12.3	12.9	15.37	11.38	1	418.1	710.8
	平均値	0.40	7762	11.2	11.7	17.77	13.16	2.30	953.9	1088.4
	標準偏差	0.04	1543	1.0	0.8	2.58	1.91	1.49	742.7	1340.6
	変動係数	0.099	0.199	0.088	0.064	0.145	0.145	0.646	0.779	1.232

表5.3.6-4(f)　試験結果一覧　（条件：f）

試験体名	土台下端シール面	密度	ヤング係数	含水率		最大荷重	割裂破壊定数(Cr)	表面割れ		
				含水率計	全乾法			本数	総長さ	総面積
		g/cm^3	N/mm^2	%	%	kN	N/mm$^{1.5}$	本	mm	mm^2
f 1 － 2-3-1	A	0.37	8086	10.1	9.5	15.83	11.72	0	0.0	0.0
f 2 － 5-2-1	B	0.47	9263	10.6	9.7	23.04	17.06	1	268.0	124.0
f 3 － 6-3-1	A	0.39	8375	10.1	9.4	19.10	14.14	3	1259.1	522.9
f 4 － 9-2-2	A	0.41	9202	10.4	9.2	19.52	14.45	0	0.0	0.0
f 5 － 12-1-1	D	0.40	6045	13.3	11.0	19.21	14.22	0	0.0	0.0
f 6 － 13-2-2	D	0.42	9302	10.8	9.2	17.42	12.90	0	0.0	0.0
f 7 － 15-4-1	B	0.46	8701	11.3	10.0	21.76	16.11	0	0.0	0.0
f 8 － 17-2-2	B	0.44	10222	12.4	9.6	18.56	13.74	0	0.0	0.0
f 9 － 18-3-2	A	0.42	9719	10.8	9.9	17.67	13.08	0	0.0	0.0
f 10 － 19-4-2	D	0.42	8064	11.0	9.3	20.93	15.50	2	1105.0	608.4
	平均値	0.42	8698	11.1	9.7	19.30	14.29	0.60	263.2	125.5
	標準偏差	0.03	1106	1.0	0.5	2.04	1.51	1.02	467.5	223.9
	変動係数	0.068	0.127	0.087	0.053	0.106	0.106	1.700	1.776	1.784

表5.3.6-4(g)　試験結果一覧　（条件：g）

試験体名	土台下端シール面	密度	ヤング係数	含水率		最大荷重	割裂破壊定数(Cr)	表面割れ		
				含水率計	全乾法			本数	総長さ	総面積
		g/cm^3	N/mm^2	%	%	kN	N/mm$^{1.5}$	本	mm	mm^2
g 1 － 1-2-1	C	0.39	7735	13.6	15.6	15.65	11.59	6	2168.3	3515.4
g 2 － 3-4-1	B	0.48	6652	20.1	17.1	27.84	20.62	1	1000.0	3237.7
g 3 － 4-1-2	A	0.48	9092	13.5	15.5	22.24	16.47	1	634.7	1824.7
g 4 － 7-4-2	B	0.45	7919	20.9	18.6	18.46	13.67	2	1851.1	4044.0
g 5 － 8-1-2	C	0.45	8806	17.0	15.5	18.54	13.73	2	856.1	1629.8
g 6 － 10-3-2	C	0.39	7735	11.1	15.8	16.04	11.87	6	1805.1	1820.0
g 7 － 11-4-2	D	0.44	9888	16.8	16.1	21.70	16.07	3	2069.0	2613.2
g 8 － 14-3-1	B	0.39	8023	13.1	12.3	18.32	13.56	1	1000.0	3425.0
g 9 － 16-1-1	D	0.45	7251	19.6	16.8	19.82	14.67	1	1000.0	2150.0
g 10 － 21-1-2	D	0.45	9625	17.3	16.2	21.13	15.65	3	1127.2	1530.5
	平均値	0.43	8272	16.3	15.9	19.97	14.79	2.60	1351.2	2579.0
	標準偏差	0.03	992	3.2	1.5	3.36	2.49	1.85	530.8	866.2
	変動係数	0.075	0.120	0.194	0.095	0.168	0.168	0.713	0.393	0.336

表5.3.6-4(h)　試験結果一覧　（条件：h）

試験体名	土台下端シール面	密度	ヤング係数	含水率　4面平均		最大荷重	割裂破壊定数(Cr)	表面割れ		
				含水率計	全乾法			本数	総長さ	総面積
		g/cm^3	N/mm^2	%	%	kN	N/mm$^{1.5}$	本	mm	mm^2
h 1 － 2-3-2	B	0.37	8086	8.1	9.7	18.57	13.75	2	1089.0	3826.9
h 2 － 5-2-2	C	0.45	9263	11.3	9.9	19.04	14.10	4	1278.1	3853.0
h 3 － 6-3-2	B	0.40	8375	8.8	8.8	13.91	10.30	3	2026.3	5963.7
h 4 － 9-2-1	B	0.41	9202	9.6	9.3	22.07	16.34	2	1056.1	3488.1
h 5 － 12-1-2	A	0.37	6045	9.0	8.8	18.07	13.38	4	1135.8	2094.2
h 6 － 13-2-1	A	0.41	9302	9.8	9.0	20.74	15.36	2	1191.5	3362.8
h 7 － 15-4-2	A	0.37	8701	10.1	9.4	19.85	14.70	1	1000.2	2675.5
h 8 － 17-2-1	A	0.44	10222	11.5	9.7	21.05	15.58	3	1041.1	1641.5
h 9 － 18-3-1	B	0.43	9719	9.9	9.6	17.89	13.25	2	1039.2	1907.6
h 10 － 19-4-1	A	0.41	8064	8.9	9.0	19.93	14.76	1	1000.0	4500.1
	平均値	0.41	8698	9.7	9.3	19.11	14.15	2.40	1185.7	3331.3
	標準偏差	0.03	1106	1.0	0.4	2.15	1.59	1.02	292.4	1252.3
	変動係数	0.069	0.127	0.105	0.041	0.113	0.113	0.425	0.247	0.376

表5.3.6-4(i)　試験結果一覧　（条件：i）

試験体名	土台下端シール面	密度	ヤング係数	含水率		最大荷重	割裂破壊定数(Cr)	表面割れ		
				含水率計	全乾法			本数	総長さ	総面積
		g/cm^3	N/mm^2	%	%	kN	N/mm$^{1.5}$	本	mm	mm^2
i 1 － 1-4	A	0.42		9.6	11.3	18.33	13.57	0	0.0	0.0
i 2 － 2-1	A	0.35		9.0	9.8	16.00	11.85	1	154.0	109.7
i 3 － 3-2	C	0.43		10.0	11.1	21.97	16.27	1	138.0	38.0
i 4 － 4-3	A	0.35		9.5	10.2	16.11	11.93	0	0.0	0.0
i 5 － 5-4	A	0.47		10.0	10.2	22.20	16.44	0	0.0	0.0
i 6 － 6-1	C	0.40		9.4	10.7	18.29	13.54	1	646.0	944.8
i 7 － 7-2	A	0.38		10.1	10.4	18.35	13.59	2	724.1	467.9
i 8 － 8-3	C	0.42		10.0	9.3	18.36	13.60	4	989.4	310.8
i 9 － 9-4	A	0.41		9.6	10.0	18.57	13.75	0	0.0	0.0
i 10 － 10-1	C	0.43		10.5	11.0	18.44	13.66	0	0.0	0.0
i 11 － 11-2	A	0.45		10.6	11.7	18.82	13.93	0	0.0	0.0
i 12 － 12-3	C	0.36		9.5	10.6	16.17	11.98	0	0.0	0.0
i 13 － 13-4	A	0.53		10.1	10.2	17.21	12.74	1	1000.0	587.5
i 14 － 14-1	A	0.36		9.6	10.3	14.55	10.77	0	0.0	0.0
i 15 － 15-2	C	0.43		10.6	10.4	15.90	11.77	0	0.0	0.0
i 16 － 16-3	C	0.39		10.8	10.5	19.95	14.77	0	0.0	0.0
i 17 － 17-4	A	0.46		10.9	10.5	18.24	13.51	1	857.2	203.6
i 18 － 18-1	A	0.39		9.6	10.7	14.40	10.66	2	856.0	565.6
i 19 － 19-2	C	0.41		10.0	10.3	17.43	12.90	0	0.0	0.0
i 20 － 21-3	C	0.45		10.3	10.2	21.61	16.00	0	0.0	0.0
	平均値	0.41	－	9.99	10.48	18.04	13.36	0.65	268.2	161.4
	標準偏差	0.04	－	0.50	0.51	2.16	1.60	1.01	386.8	265.3
	変動係数	0.107	－	0.050	0.049	0.120	0.120	1.559	1.442	1.644

①最大荷重と動ヤング係数の関係

図5.3.6-5には、試験体a～hについて、土台割裂試験の最大荷重と動ヤング係数の関係が示してある。同図より、最大荷重と動ヤング係数の間には相関を看取することができない。

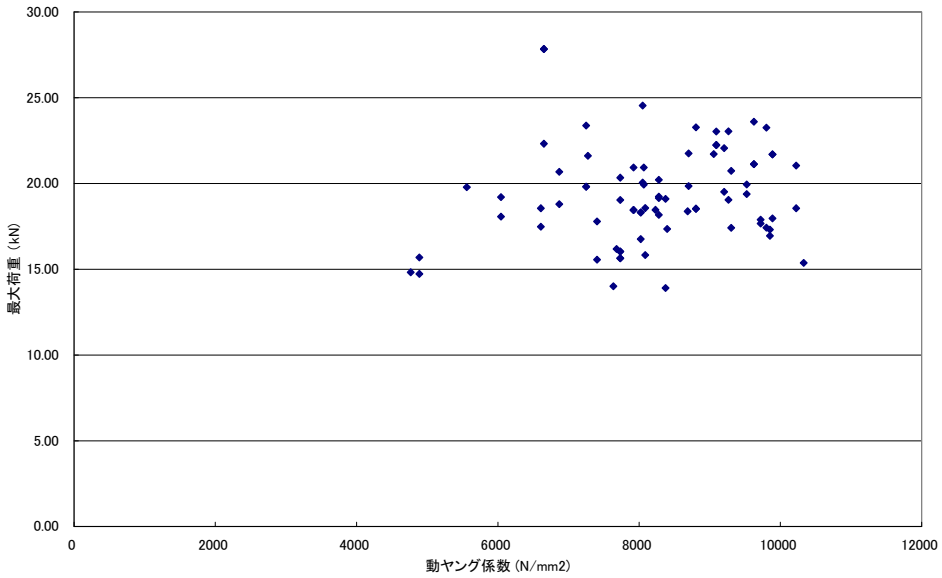


図5.3.6-5 最大荷重と動ヤング係数の関係

②最大荷重と密度の関係

図5.3.6-6には、土台割裂試験の最大荷重と試験体製材の密度との関係（試験体a～h）が示してある。同図より、最大荷重と密度の間にはある程度の相関が看取できる。最大荷重と密度の関係を1次直線により回帰すると、相関係数のRの2乗は約0.46であった。

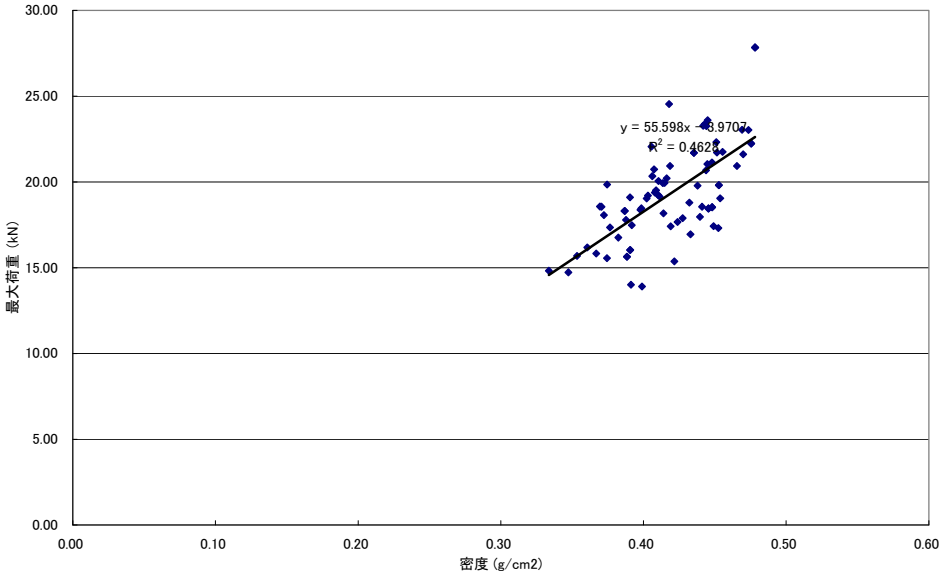


図5.3.6-6 最大荷重と密度の関係

③最大荷重と材側面割れの関係

図5.3.6-7には、試験体a～hについて、(a)最大荷重と材側面割れ本数の関係、(b)最大荷重と材両側面の割れ総長さの関係、(c)最大荷重と材両側面の割れ総面積の関係が示してある。これらの図より、最大荷重と材側面割れの間には相関を看取することができない。これより、材側面の割れが土台込栓接合部の土台の割裂強度に及ぼす影響はほとんど無いと言えよう。

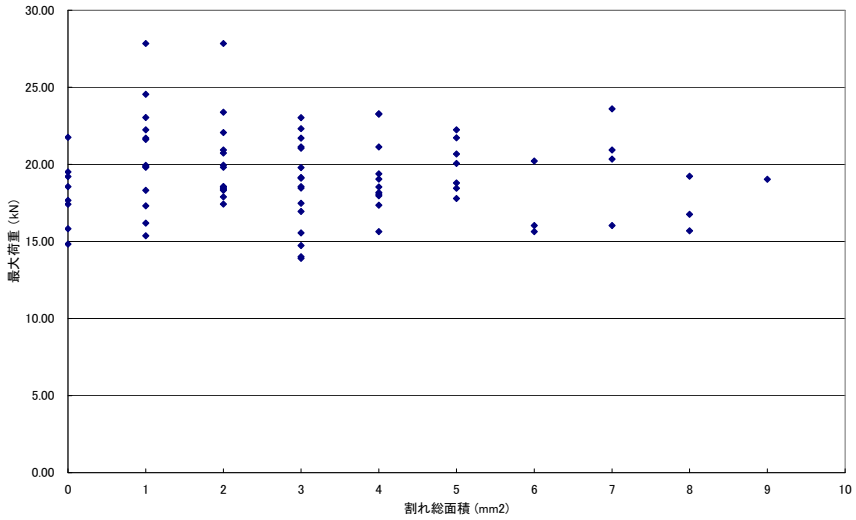


図5.3.6-7(a) 最大荷重と材側面割れ本数の関係

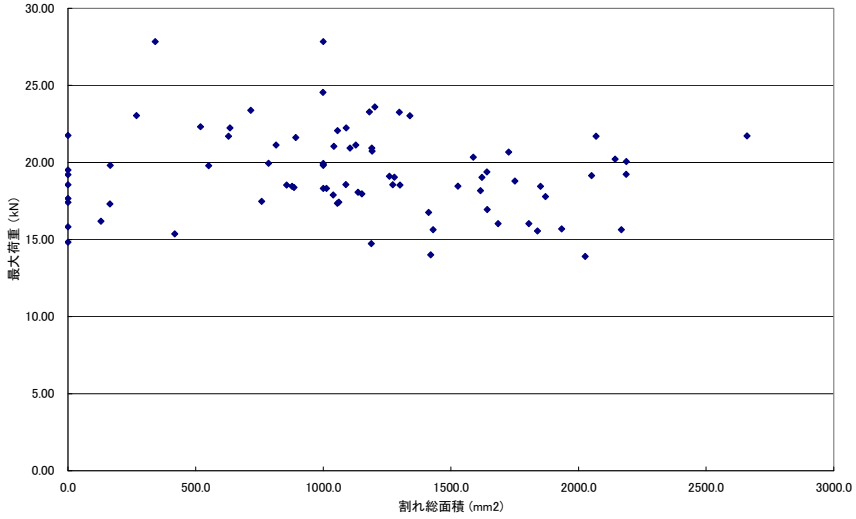


図5.3.6-7(b) 最大荷重と材側面割れ総長さの関係

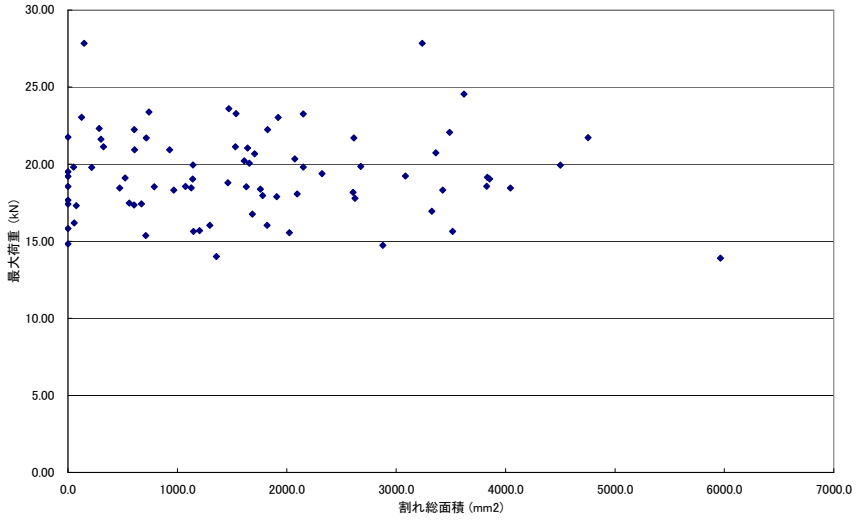


図5.3.6-7(c) 最大荷重と材側面割れ総面積の関係

4)破壊性状

写真5.3.6-2(a)～(c)に、土台の割裂試験の破壊性状示す。前出（４）1)で述べたように、①土台の弾性曲げ変形と鋼製込栓の弾性めり込み変形、②鋼製込栓の塑性めり込み、③込栓下部位置での土台の割裂、④込栓より下部の土台の曲げ破壊、⑤割裂破壊の割れの繊維方向への進展の順序で破壊が進展した。



(a) 込栓下端での割裂破壊　　(b) 込栓下部の土台の曲げ破壊　　(c)割裂破壊の進行

写真5.3.6-2 破壊性状

（５）まとめ

乾燥方法の違い、表面割れおよび実務者の木取り等が土台－込栓接合部の引張強度特性に及ぼす影響を実験的に検討した結果、以下のような知見が得られた。

① 製材の表面割れは、土台－込栓接合部の土台の割裂強度にほとんど影響を及ぼさない。
② 実務者の木取りによる材面の決定方法は、土台の割裂強度にほとんど影響を及ぼさない。
③ 土台の割裂強度と製材の気乾密度の間には、相関が認められた。

５．３．７　人工乾燥材と天然乾燥材の比較

（１）目的

人工乾燥と屋内天然乾燥のスギ製材について、乾燥方法の差異が土台－込栓接合部の引張強度特性に及ぼす影響を実験的に明らかにすることを目的とする。併せて、製材が未乾燥状態でほぞ穴や貫穴の加工を行った場合の影響についても検討を行う。

（２）試験体

1)試験体に用いる製材と試験体の採取方法

試験体に供する製材は、2009年度に製材の乾燥表面割れの実験に使用した長さ2mのスギ製材で、埼玉県秩父近辺で伐採された原木から製材したものである。乾燥による表面割れの実験では、製材としての物性値に大きな偏りが生じないようにエンドマッチングを行っている。試験体に供した製材の詳細な情報については、平成21年度国土交通省補助事業「長期優良住宅等実現のための技術基盤強化を行う事業」伝統的構法の設計法作成及び性能検証報告書（一般社団法人 木を活かす建築推進協議会, 平成22年3月）を参照いただきたい。表5.3.7-1に、試験体に用いる製材の乾燥方法を示す。

表5.3.7-1　試験体に用いる製材の乾燥方法

製材採取年度	乾燥方法	製材本数	採取試験体数
2009	常態天然乾燥一定期間経過後ほぞ・貫穴加工、再度、常態天然乾燥	21	21
	未乾燥状態でほぞ・貫穴加工後、常態天然乾燥	21	21
	人工乾燥（乾燥温度50℃～75℃）後、貫穴加工	21	21

試験体は、長ほぞと貫穴が加工された下記①～③の3種類の製材（各21本）から、土台の割裂試験用の試験体を採取した。土台の試験体は、既加工の貫穴が長ほぞ込栓接合部の位置から最も離れるようにして、試験体を各1体採取した（1種類各21体）。

①常態天然乾燥（温度20℃湿度65%の恒湿恒温槽にて養生）一定期間（約50日）経過後、長ほぞおよび貫穴の加工を行い、再度、常態天然乾燥を継続。

②未乾燥状態で長ほぞおよび貫穴の加工後、常態天然乾燥。

③人工乾燥（乾燥温度50℃～75℃）後、長ほぞおよび貫穴の加工。

（本試験の製材は平成21年度に実施された乾燥による表面割れの実験に供した製材を使用している）

2)試験体の形状

試験体は、図5.3.7-1に示す断面寸法120mmm×120mm（4寸角）、長さ1mのスギ製材である。これを土台として使用することを仮定して、材長方向中央部に長ほぞ込栓接合のほぞ穴（幅36mm、長さ90mm、通し穴）と込栓穴（18mm角）を加工した。ほぞ穴の位置は既存の貫穴の影響が最も少なくなるように材中央部としているが、材中央部より両側に300mmの位置に貫穴（30mm×120mm）の通し穴が存在する。込栓穴は、土台上端より60mm下方に込栓穴の下端が位置するように配置した。

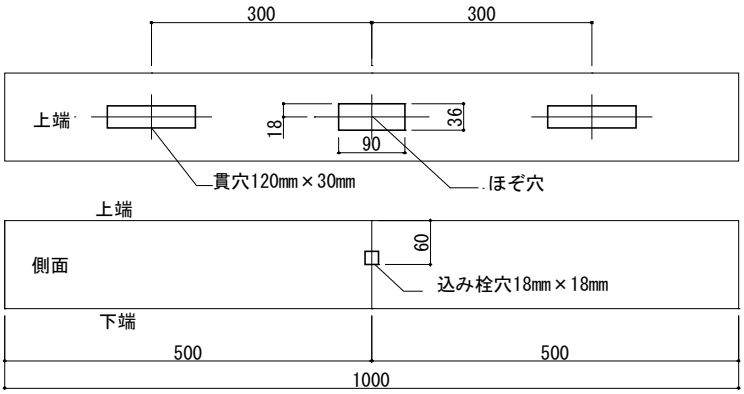


図5.3.7-1　試験体

3)実務者の木取り

試験体（土台）のほぞ穴および込栓穴の位置については、割裂強度に既存の貫穴の影響が少なくなるように、貫穴の面にほぞ穴を配置することとした。そのため、実務者（綾部氏：綾部工務店）は､基本的には､製材の割れが大きな面を土台下端面となるように土台の使用面の配置を判断した。なお、既存の貫穴の存在のため、製材の表面割れは貫穴の面に集中していた（割れ幅が大きな表面割れはそのほとんどが貫穴面に存在し、大きな表面割れは貫穴を繋ぐように存在するものが多かった)。

4)試験体の密度、含水率および表面割れ

①比重

試験体の重さは重量計で測定し、製材の幅を長さ方向で3ヶ所、長さを1ヶ所測定して試験体の体積を求め（貫穴は幅30mm長さ90mmとして減じた)、密度を求めた。

②含水率

試験時の試験体の含水率は高周波式の含水率計を用いて測定するとともに、割裂試験の後、ほぞ穴より30mm以内の範囲で厚さ約15mm～25mmの試験片を採取し、全乾法により含水率を求めた。

③表面割れ

試験体（土台）側面の表面割れについて、2009年度の報告書に示される干割れの測定方法と同様の方法で、表面割れの測定を行った。

5)試験体の種類

試験体の種類は表5.3.7-2に示すように、乾燥条件から、2009年度材は3種類に分類される。試験条件ごとに試験体記号をj～lとし、試験体名称を下記のように定めた。

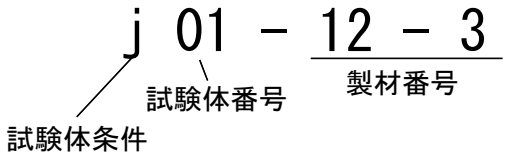


表5.3.7-2　試験体の種類

試験体記号	製材年度	製材の乾燥条件	実務者の木取り	表面割れ	試験体数
j	2009	常態天然乾燥(20℃65%)後、貫穴加工	適当	ー	21
k		貫穴加工後、常態天然乾燥(20℃65%)	適当	ー	21
l		人工乾燥後、貫穴加工	適当	ー	21

（３）試験方法

試験方法は、前出５．３．６（３）と同じである。図5.3.7-2に土台の割裂試験の方法を、写真5.3.7-1に試験の状況を示す。

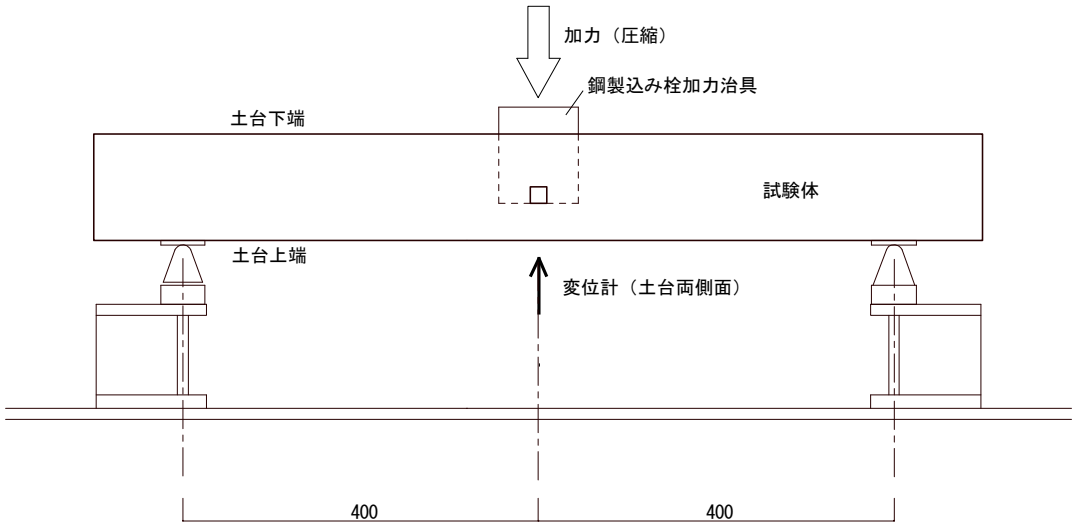


図5.3.7-2　試験方法

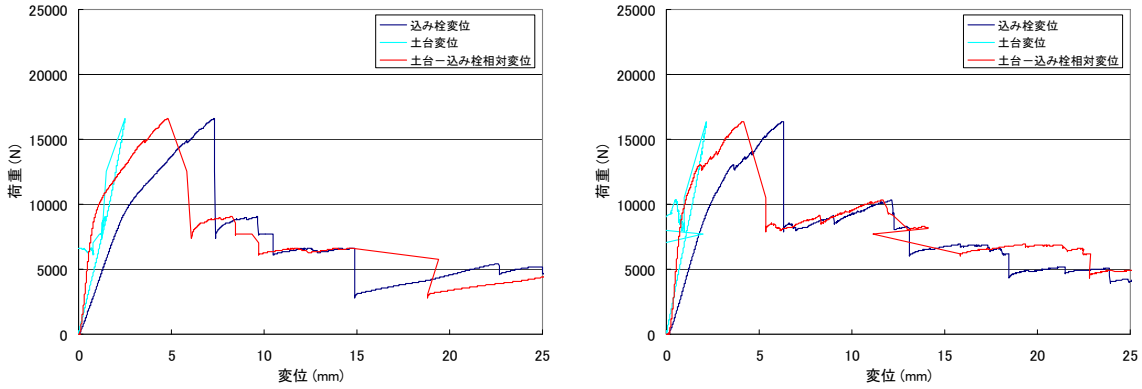


写真5.3.7-1　試験状況

（４）試験結果とその考察

1)荷重と変位の関係

図5.3.7-3に、(a)常態天然乾燥材および(b)人工乾燥材についての荷重と変位の関係を例示する。両図の荷重－変位曲線の形状は概ね同じ形状を示し、荷重と変位の関係に差異を見出せなかった。



(a)　常態天然乾燥材（j1）　　(b)　人工乾燥材（l4）

図5.3.7-3 荷重と変位の関係

破壊性状は前出５．３．６（４）と同じで、変位の増加に伴う試験体の変形の推移は、以下の①～⑤であった。

①土台の弾性曲げ変形と鋼製込栓の弾性めり込み変形
②鋼製込栓の塑性めり込み
③込栓下部位置での土台の割裂
④込栓より下部の土台の曲げ破壊
⑤割裂破壊の割れの繊維方向への進展

2)最大荷重と乾燥条件の比較

表5.3.7-3に、2009年度の製材から作成した試験体条件j～lについての最大荷重の値および、平均値、標準偏差、変動係数が示してある。また、これらの試験結果に基づき、図5.3.7-4には、試験条件に対応した最大荷重の値とそのばらつきが示してある。これらの図表より、次のことがわかる。

①常態天然乾燥と人工乾燥の比較

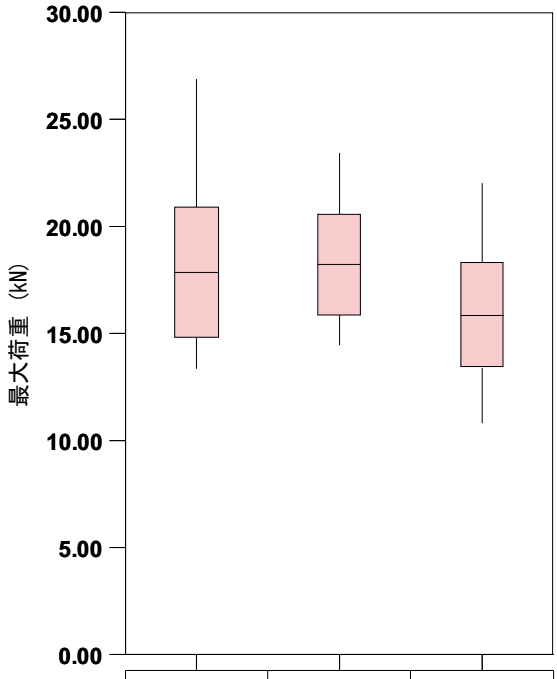
常態天然乾燥の試験体（j）と人工乾燥の試験体（l）の最大荷重を比較すると、常態天然乾燥の試験体の最大荷重の平均値が17.86kNであるのに対して人工乾燥の試験体の最大荷重の平均値は15.85kNであり、人工乾燥の試験体の方が常態天然乾燥材の試験体より若干強度が小さい傾向を示した。しかしながら、その差は約10%であり、屋外天然乾燥と常態天然乾燥による乾燥方法の違いが土台込栓接合部の土台の割裂強度に及ぼす影響は非常に小さいと言えよう。

②常態天然乾燥後に長ほぞおよび貫穴の加工を行った製材と未乾燥状態で加工を行った常態天然乾燥の製材の比較

常態天然乾燥後に長ほぞおよび貫穴の加工を行った製材の最大荷重の平均値は17.86kNであるのに対して、未乾燥状態で加工を行った常態天然乾燥の製材の最大荷重の平均値は18.23kNであった。未乾燥状態で加工を行うことによって、貫穴の加工面には表面割れが集中して表面割れが大きくなるものの土台込栓接合部の割裂強度の低下に繋がる影響は無いと言える。

表5.3.7-3　最大荷重の一覧

試験体番号	最大荷重（kN）		
	j	k	l
1	16.63	19.28	10.80
2	15.69	15.10	14.47
3	17.95	17.31	15.58
4	15.88	19.09	16.40
5	26.87	23.44	20.09
6	20.23	15.76	14.85
7	19.22	18.59	13.81
8	17.82	18.21	16.84
9	17.16	18.25	14.70
10	23.59	20.72	22.04
11	15.61	17.96	15.79
12	17.51	17.48	15.91
13	17.46	16.24	17.89
14	17.52	15.66	12.55
15	18.61	14.44	15.90
16	16.15	16.44	15.44
17	20.60	23.07	19.61
18	13.74	18.71	16.07
19	15.88	16.90	14.49
20	17.63	20.31	15.52
21	13.34	19.87	14.08
平均値	17.86	18.23	15.85
標準偏差	2.06	2.45	1.85
変動係数	0.115	0.134	0.117



	j	k	l
最大値	26.87	23.44	22.04
平均値＋標準偏差	20.87	20.55	18.30
平均値	17.86	18.23	15.85
平均値－標準偏差	14.85	15.91	13.40
最小値	13.34	14.44	10.80

図5.3.7-4 最大荷重の一覧

3)最大荷重と製材の密度および表面割れの比較

表5.3.7-4(j)～(l)に、2009年度の製材より取り出した全ての試験体について、試験体ごとに最大荷重、密度、含水率および表面割れの値が示してある。また、５．４．３の（5.4.3-1）式により最大荷重より算出した割裂破壊定数(Cr)を併せて示す。これらの結果より、最大荷重と密度の関係および最大荷重と材側面割れの関係について考察を行った。

表5.3.7-4(j)　試験結果一覧　（条件：j）

試験体名	土台下端シール面	密度	含水率		最大荷重	割裂破壊定数(Cr)	表面割れ		
			含水率計	全乾法			本数	総長さ	総面積
		g/cm^3	%	%	kN	N/mm$^{1.5}$	本	mm	mm^2
j 1 － 1-2	A	0.44	12.4	12.5	16.63	12.32	0	0.0	0.0
j 2 － 2-2	C	0.38	10.0	11.9	15.69	11.62	4	1909.4	3169.5
j 3 － 3-1	A	0.44	11.5	12.2	17.95	13.29	2	1049.0	3730.7
j 4 － 4-3	C	0.39	10.4	11.0	15.88	11.76	0	0.0	0.0
j 5 － 5-3	A	0.52	15.3	12.3	26.87	19.90	2	244.0	249.2
j 6 － 6-1	C	0.41	11.0	12.5	20.23	14.98	1	212.2	416.5
j 7 － 7-2	A	0.39	10.4	11.3	19.22	14.23	3	798.7	1234.3
j 8 － 8-1	A	0.44	14.4	11.7	17.82	13.19	4	2145.1	5294.7
j 9 － 9-1	A	0.42	11.5	12.0	17.16	12.70	0	0.0	0.0
j 10 － 10-2	C	0.46	13.0	12.2	23.59	17.47	0	0.0	0.0
j 11 － 11-3	C	0.39	9.9	12.0	15.61	11.56	4	1127.0	1268.2
j 12 － 12-1	C	0.43	12.8	11.7	17.51	12.96	2	812.2	392.0
j 13 － 13-2	C	0.39	10.3	12.1	17.46	12.93	1	271.2	172.9
j 14 － 14-1	C	0.41	10.4	11.3	17.52	12.97	2	1308.1	447.4
j 15 － 15-3	A	0.42	11.8	12.3	18.61	13.78	0	0.0	0.0
j 16 － 16-2	C	0.41	13.3	11.8	16.15	11.96	1	288.1	385.3
j 17 － 17-3	C	0.42	11.0	11.4	20.60	15.25	1	782.0	4721.3
j 18 － 18-3	A	0.35	10.6	11.5	13.74	10.17	1	733.1	1667.7
j 19 － 19-1	C	0.42	11.1	11.2	15.88	11.76	2	1078.0	3060.2
j 20 － 20-3	A	0.39	11.4	12.1	17.63	13.05	1	1000.0	5025.0
j 21 － 21-2	C	0.39	11.3	11.2	13.34	9.88	0	0.0	0.0
	平均値	0.42	11.59	11.82	17.86	13.23	1.48	655.1	1487.4
	標準偏差	0.03	1.41	0.46	3.01	2.23	1.33	624.3	1814.3
	変動係数	0.082	0.121	0.039	0.168	0.168	0.902	0.953	1.220

表5.3.7-4(k)　試験結果一覧　（条件：k）

試験体名	土台下端シール面	密度	含水率		最大荷重	割裂破壊定数(Cr)	表面割れ		
			含水率計	全乾法			本数	総長さ	総面積
		g/cm^3	%	%	kN	N/mm$^{1.5}$	本	mm	mm^2
k 1 － 1-3	A	0.43	10.3	11.9	19.28	14.28	1	543.3	780.9
k 2 － 2-3	C	0.38	9.9	11.7	15.10	11.18	0	0.0	0.0
k 3 － 3-2	A	0.43	10.6	12.2	17.31	12.82	0	0.0	0.0
k 4 － 4-1	C	0.40	10.8	11.1	19.09	14.13	0	0.0	0.0
k 5 － 5-1	A	0.51	12.8	11.6	23.44	17.36	2	1212.0	464.3
k 6 － 6-2	C	0.43	10.9	12.1	15.76	11.67	0	0.0	0.0
k 7 － 7-3	A	0.38	10.9	10.9	18.59	13.77	0	0.0	0.0
k 8 － 8-2	A	0.42	12.6	11.5	18.21	13.49	0	0.0	0.0
k 9 － 9-2	A	0.42	11.1	11.8	18.25	13.52	2	455.0	339.3
k 10 － 10-3	A	0.45	12.1	11.6	20.72	15.34	0	0.0	0.0
k 11 － 11-1	C	0.38	9.8	11.4	17.96	13.30	2	921.2	2454.6
k 12 － 12-2	C	0.43	11.4	11.5	17.48	12.94	0	0.0	0.0
k 13 － 13-3	C	0.36	10.0	11.2	16.24	12.03	2	1153.2	5404.8
k 14 － 14-2	C	0.39	11.1	11.0	15.66	11.60	0	0.0	0.0
k 15 － 15-1	C	0.43	12.9	12.0	14.44	10.69	0	0.0	0.0
k 16 － 16-3	A	0.41	12.4	11.4	16.44	12.17	0	0.0	0.0
k 17 － 17-1	C	0.42	11.6	11.2	23.07	17.08	1	241.0	445.9
k 18 － 18-1	A	0.37	10.4	11.0	18.71	13.85	2	900.1	1681.3
k 19 － 19-2	C	0.42	10.8	11.2	16.90	12.51	0	0.0	0.0
k 20 － 20-1	C	0.42	12.1	11.9	20.31	15.04	0	0.0	0.0
k 21 － 21-3	A	0.39	12.5	11.0	19.87	14.71	1	550.0	1045.0
	平均値	0.41	11.27	11.49	18.23	13.50	0.62	284.6	600.8
	標準偏差	0.03	0.97	0.38	2.32	1.72	0.84	415.2	1248.2
	変動係数	0.076	0.086	0.033	0.127	0.127	1.363	1.459	2.078

表5.3.7-4(l)　試験結果一覧　（条件：l）

試験体名	土台下端シール面	密度	含水率		最大荷重	割裂破壊定数(Cr)	表面割れ		
			含水率計	全乾法			本数	総長さ	総面積
		g/cm^3	%	%	kN	N/mm$^{1.5}$	本	mm	mm^2
l 1 － 1-1	A	0.44	10.5	10.6	10.80	8.00	0	0.0	0.0
l 2 － 2-1	C	0.38	9.8	9.9	14.47	10.72	3	597.0	348.7
l 3 － 3-3	C	0.42	9.8	9.8	15.58	11.54	1	45.1	22.5
l 4 － 4-2	A	0.39	10.1	8.2	16.40	12.14	1	61.4	34.5
l 5 － 5-2	A	0.49	12.5	9.8	20.09	14.87	3	268.7	164.3
l 6 － 6-3	A	0.40	10.1	10.0	14.85	10.99	2	109.3	63.2
l 7 － 7-1	C	0.42	10.0	8.6	13.81	10.22	1	163.0	42.8
l 8 － 8-3	A	0.41	10.8	9.5	16.84	12.47	0	0.0	0.0
l 9 － 9-3	C	0.40	10.0	10.0	14.70	10.89	0	0.0	0.0
l 10 － 10-1	C	0.48	11.9	10.1	22.04	16.32	2	1087.3	827.5
l 11 － 11-2	C	0.39	9.9	9.4	15.79	11.69	0	0.0	0.0
l 12 － 12-3	C	0.43	10.5	9.1	15.91	11.78	0	0.0	0.0
l 13 － 13-1	A	0.41	10.4	9.7	17.89	13.24	0	0.0	0.0
l 14 － 14-3	A	0.37	9.5	8.1	12.55	9.30	1	53.3	24.0
l 15 － 15-2	A	0.43	10.5	9.4	15.90	11.77	1	99.0	43.3
l 16 － 16-1	C	0.44	11.9	9.7	15.44	11.43	3	210.1	134.5
l 17 － 17-2	C	0.41	9.9	8.0	19.61	14.52	0	0.0	0.0
l 18 － 18-2	A	0.36	9.4	7.9	16.07	11.90	0	0.0	0.0
l 19 － 19-3	C	0.40	10.0	8.0	14.49	10.73	3	180.3	123.1
l 20 － 20-2	C	0.39	9.9	8.7	15.52	11.49	0	0.0	0.0
l 21 － 21-1	A	0.38	9.5	8.1	14.08	10.42	0	0.0	0.0
	平均値	0.41	10.32	9.18	15.85	11.74	1.00	136.9	87.1
	標準偏差	0.03	0.81	0.83	2.45	1.81	1.15	253.6	184.8
	変動係数	0.079	0.078	0.090	0.155	0.155	1.155	1.853	2.123

①最大荷重と密度の関係

図5.3.7-5には、土台割裂試験の最大荷重と試験体製材の密度との関係（試験体j～l）が示してある。同図より、最大荷重と密度の間にはある程度の相関が看取できる。最大荷重と密度の関係を1次直線により回帰すると、相関係数のRの2乗は約0.39であった。

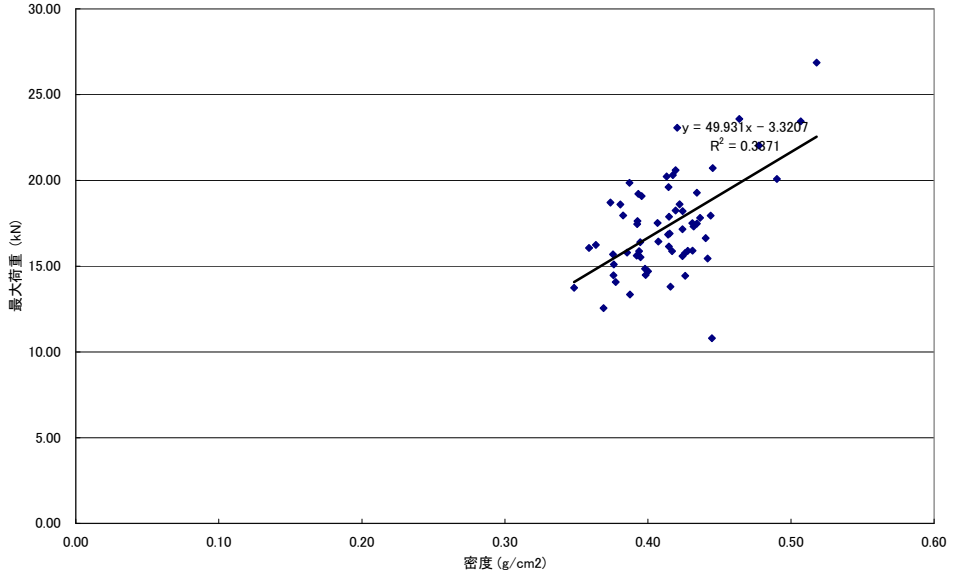


図5.3.7-5 最大荷重と密度の関係

②最大荷重と材側面割れの関係

図5.3.7-6には、試験体j～lについて、(a)最大荷重と材側面割れ本数の関係、(b)最大荷重と材両側面の割れ総長さの関係、(c)最大荷重と材両側面の割れ総面積の関係が示してある。これらの図より、最大荷重と材側面割れの間には相関を看取することができない。これより、前出５．３．６と同様、材側面の割れが土台込栓接合部の土台の割裂強度に及ぼす影響はほとんど無いと言えよう。

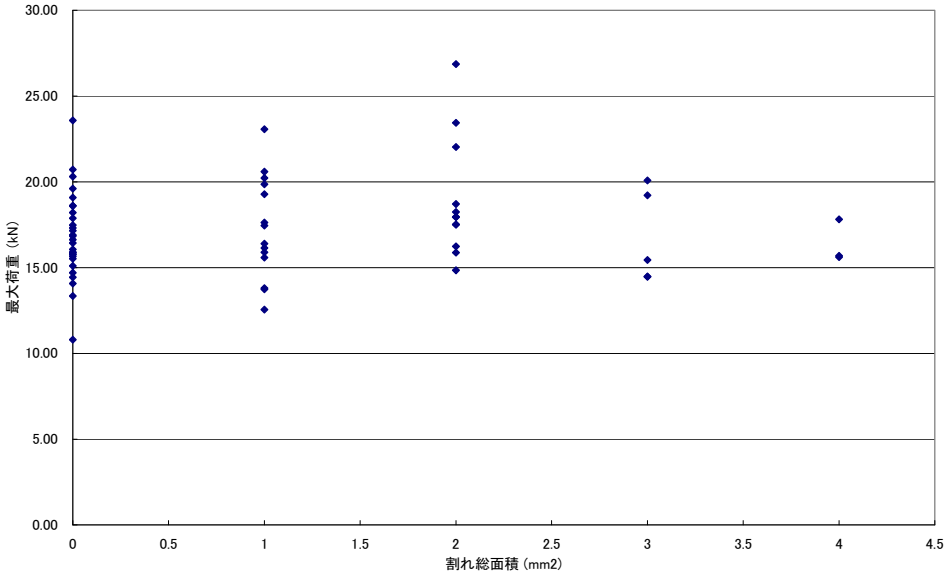


図5.3.7-6(a) 最大荷重と材側面割れ本数の関係

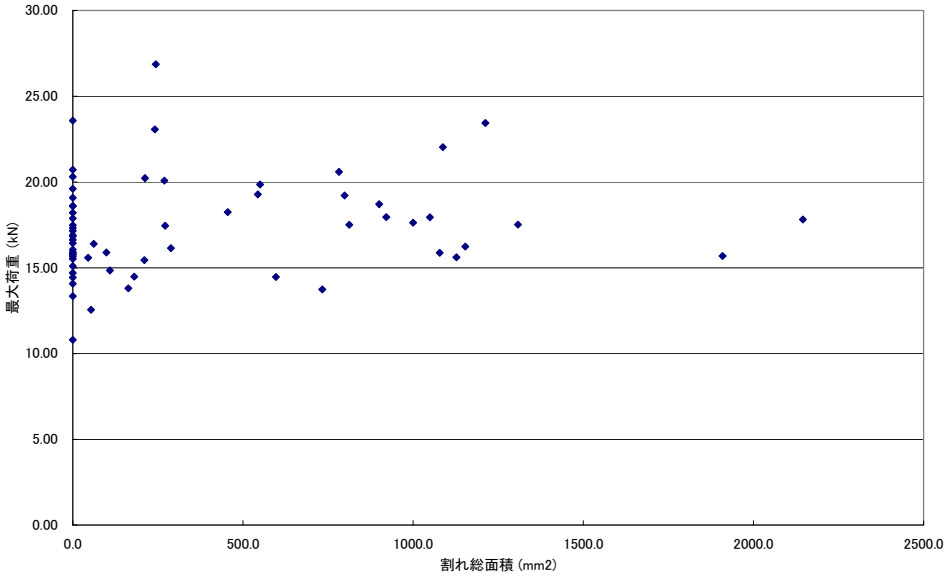


図5.3.7-6(b) 最大荷重と材側面割れ総長さの関係

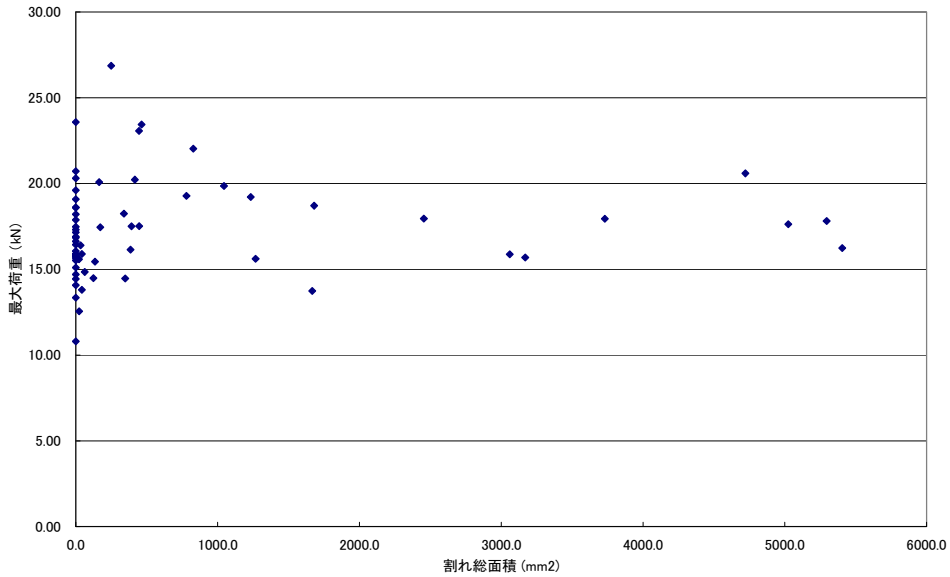


図5.3.7-6(c) 最大荷重と材側面割れ総面積の関係

4)破壊性状

写真5.3.6-2(a)～(c)に、土台の割裂試験の破壊性状示す。前出（４）1)で述べたように、土台の曲げ変形と鋼製込栓のめり込み変形の後込栓下部位置で土台の割裂(a)が生じ、込栓より下部の土台の曲げ破壊(b)が発生して、その後割裂破壊の割れが繊維方向に進展した。



(a) 込栓下端での割裂破壊　　(b) 込栓下部の土台の曲げ破壊　　(c)割裂破壊の進行

写真5.3.7-2 破壊性状

（５）まとめ

乾燥方法の違いが土台－込栓接合部の引張強度特性に及ぼす影響を実験的に検討した結果、以下のような知見が得られた。

① 人工乾燥の材による土台の割裂強度は常態天然乾燥の材よりも約10%低い値を示した。
② 製材の表面割れは、土台－込栓接合部の土台の割裂強度にほとんど影響を及ぼさない。
③ 土台の割裂強度と製材の気乾密度の間には相関が認められた。

５．４　天然乾燥の条件と乾燥過程の評価

５．４．１　屋外屋根付き環境における干割れの進行と標準状態との比較

現代工法で主に採用されている人工乾燥材料は表面を高温でセットし表面割れの発生を抑制している。伝統的構法に携わる実務者らは天日干しした天然乾燥材料を好むが、人工乾燥材料と対照に材料表面に干割れが生じることは一般的に知られている。それぞれの方法で乾燥した材料は構法や志向を含めると一長一短あるが、天然乾燥方法における干割れを抑制したいと考えている実務者らは多く、製材所及び実務者らは各々に乾燥方法の工夫を施し、また、加工後に乾燥したり、干割れ状況を目視して、建築物内での使用部位や加工部位を決定するなどを試みている。

そこで、本節では、幾つかの乾燥方法と干割れ発生状況の過程を検証し、乾燥方法及び乾燥状態と干割発生の関係性を定量的に把握する。なお、天然乾燥は長期にわたるため本試験は前年度の継続課題である。

（２）干割れ影響試験の概要

表5.4.1-1には乾燥過程の異なる乾燥方法と対応する試験体名称を示した。22年度同様の恒温恒湿室内で標準状態の雰囲気で乾燥させた屋内常態乾燥、同様の雰囲気であるが、生材の状態で仕口加工して乾燥させた生材加工後常態乾燥及び屋外の屋根付き桟積みで乾燥させた屋外天然乾燥の3通りが対象である。材料は丸太より2mにクロスカットし135mmに粗挽き製材してある。また、生材加工後常態乾燥は図5.4.1-1に示す形状で加工した。

2010年11月30日にすべて同時に桟積み乾燥を開始し、約8か月後の2011年7月21日付近に、材料の密度変化及び推定含水率が平衡状態に概ね達したと判断し乾燥を終了させた（その後も乾燥を継続したが、設備の不具合もあり、本報告では評価の対象としない)。その期間の干割れの経時変化、重量変化を記録し、本節で報告する。なお、材料の入手方法、3通りの材料のマッチング方法、桟積み方法及び測定方法などの詳細は22度報告書を参考されたい。

表5.4.1-1　干割れ影響試験の乾燥種類（それぞれ20本）

名称	乾燥方法の概略
屋内常態乾燥	恒温恒湿室内の年間平均温室度20度65%で製材桟積み乾燥する方法
生材加工後常態乾燥	生の状態でほぞ、貫あな、加工した生材を恒温恒湿室内で桟積み乾燥する方法。20度65%
屋外天然乾燥（つくば市屋外）	一般的に天然乾燥といわれる、製材桟積み乾燥方法。なお、屋根付きとする。

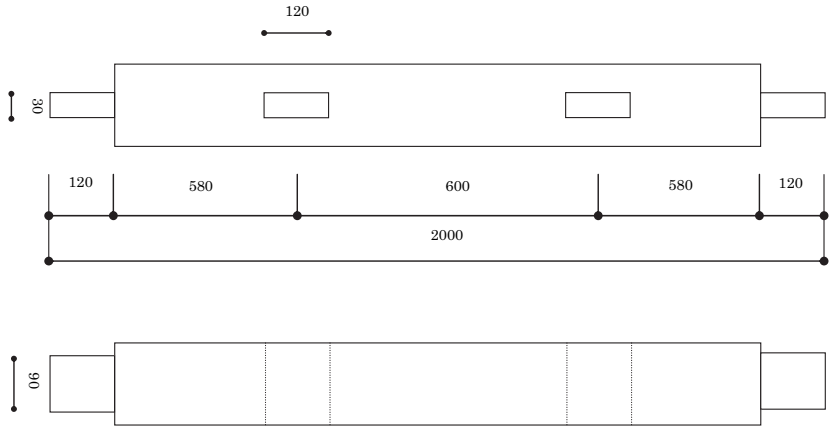


図5.4.1-1　生材加工後常態乾燥試験体の加工寸法

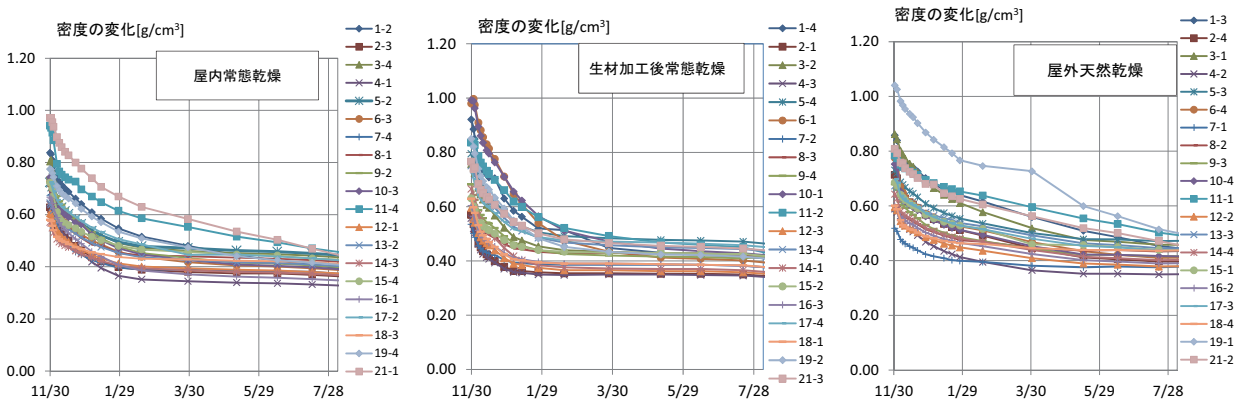
（３）密度と推定含水率の経時変化

図5.4.1-2から図5.4.1-4及び表5.4.1-2には材料の見かけの密度と密度の変化率を、図5.4.1-5と表5.4.1-3には式5.4.1-1で算出した推定含水率を示した。密度は乾燥開始後から約8か月で概ね平衡状態となり0.4g/cm³付近に、図5.4.1-4の密度変化率は平均値で0.6付近に収束した。

屋内常態乾燥及び生材加工後常態乾燥は乾燥開始後の2か月において密度が大きく低下し、図5.4.1-4の変化率の平均値が0.66及び0.63にまで低下した。また、1月29日（60日経過）以降は密度の低下率は徐々に増加し、緩やかな密度の低下となる。

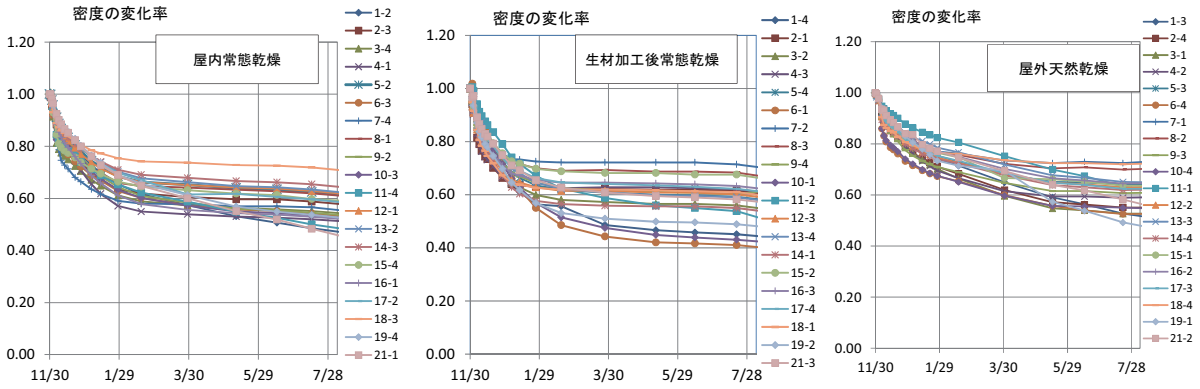
常態乾燥に比して屋外天然乾燥は密度低下の程度が緩く7月21日（233日経過）付近にまで徐々に低下していることが確認できる。

なお、7月21日の時点での密度の平均値は、屋外天然乾燥が0.43 g/cm³、生材加工後常態乾燥が0.41 g/cm³、屋内常態乾燥が0.41g/cm³であり、推定含水率はそれぞれ、24.7%、21.2%、17.8%である。



屋内常態乾燥　　生材加工後常態乾燥　　屋外天然乾燥

図5.4.1-2　みかけの密度



屋内常態乾燥　　生材加工後常態乾燥　　屋外天然乾燥

図5.4.1-3　密度の変化率（11月30日基準化）

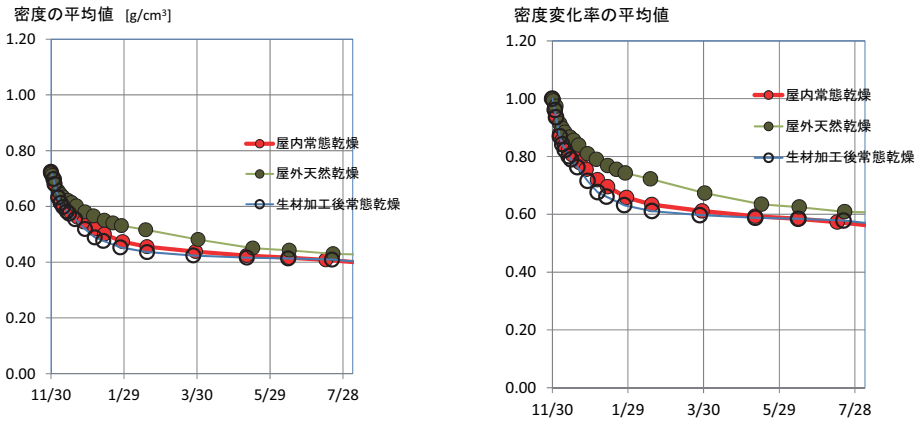
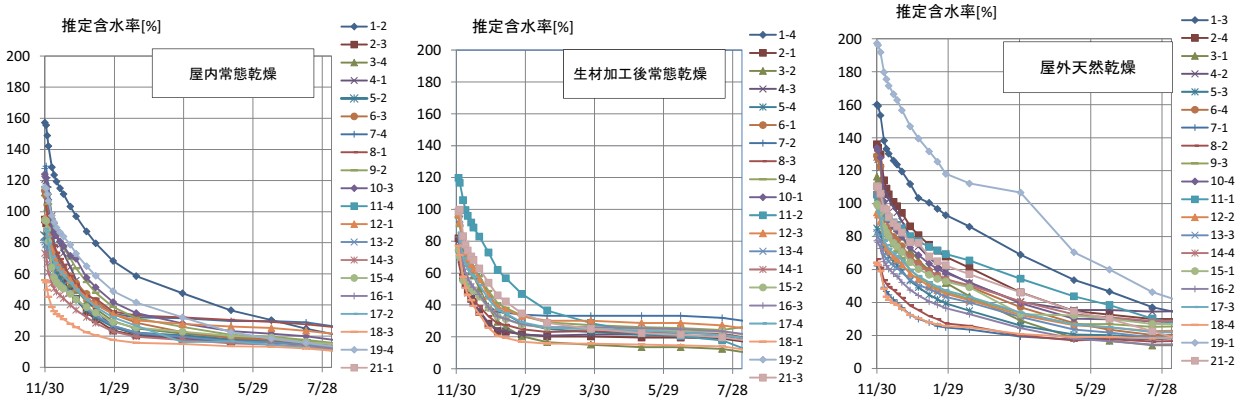


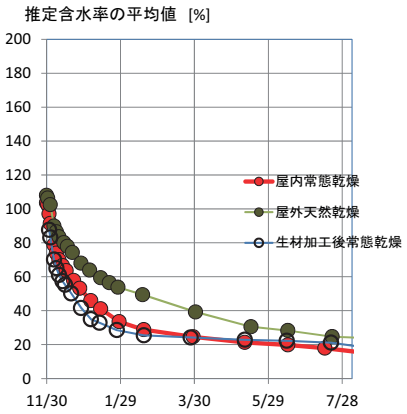
図5.4.1-4　密度と密度の変化率の平均値

表5.4.1-2　密度の最大最小値と平均値（7月21日の233日経過付近）

	屋内常態乾燥	生材加工後常態乾燥	屋外天然乾燥
最大値	0.47	0.47	0.51
平均値	0.41	0.41	0.43
最小値	0.33	0.35	0.35



屋内常態乾燥　　生材加工後常態乾燥　　屋外天然乾燥



平均値

図5.4.1-5　推定含水率の経時変化

表5.4.1-3　推定含水率の最大最小値と平均値（7月21日の233日経過付近）

	屋内常態乾燥	生材加工後常態乾燥	屋外天然乾燥
最大値	28.9	31.9	46.3
平均値	17.8	21.2	24.7
最小値	12.1	12.4	14.0

$$M_{mean} = W / W_S (1 + M_s) - 1$$

W：測定した重量　　W_S: 粗挽き製材時点の重量　　M_S: 粗挽き製材時点の全乾法含水率　　式5.4.1−1

（４）干割れ数の経時変化

図5.4.1-6から図5.4.1-8に各材料の干割れ数を、図5.4.1-9から図5.4.1-11には各乾燥材料20本の干割れ数を加算した総数を示した。

屋外天然乾燥の干割れ発生は6月29日の200日経過の時点まで散発的に増加するが、屋内常態乾燥及び生材加工後常態乾燥は100日経過時点で概ね干割れ発生が収束している。また、3通りの乾燥方法に共通で乾燥開始から50日経過まで著しく干割れが発生していた。

干割れの数を比較すると屋外天然乾燥の干割れ数が多く、生材加工後常態乾燥及び屋内常態乾燥はそれに比して少ない傾向にある。図5.4.1-9から図5.4.1-11に示した20本の干割れ数を加算した干割れ総数でみるとその傾向は明確であり、次に生材加工後常態乾燥が多く、屋内常態乾燥の干割れ数が最も少ない傾向にある。

一方、経時的変化に着目すると、前述した密度及び推定含水率の傾向と同様に屋外天然乾燥は200日間経てもわずかに増加する傾向にあるが、他は60日付近で干割れ数の増加が収束している。

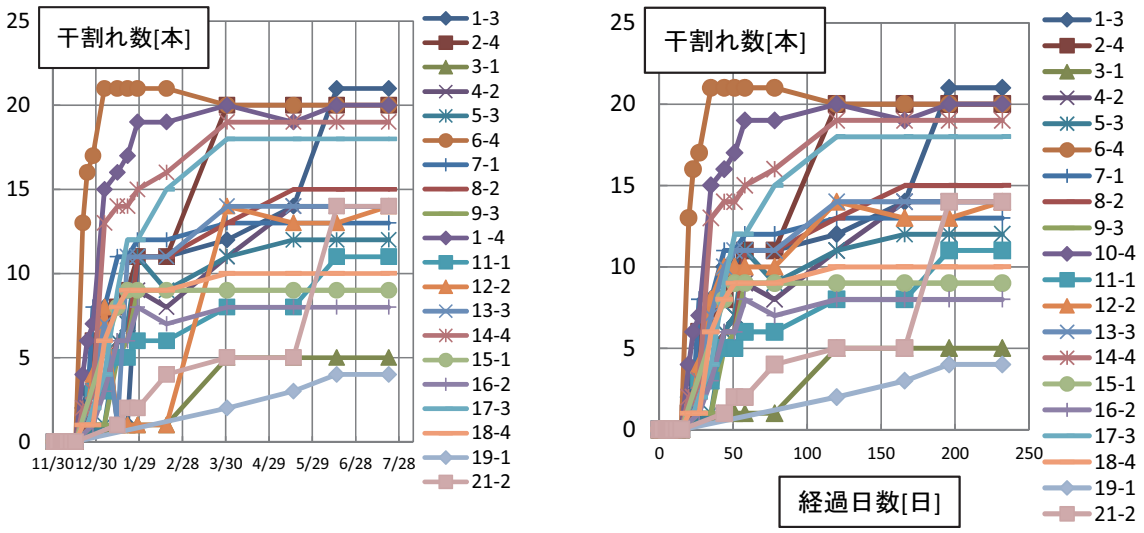
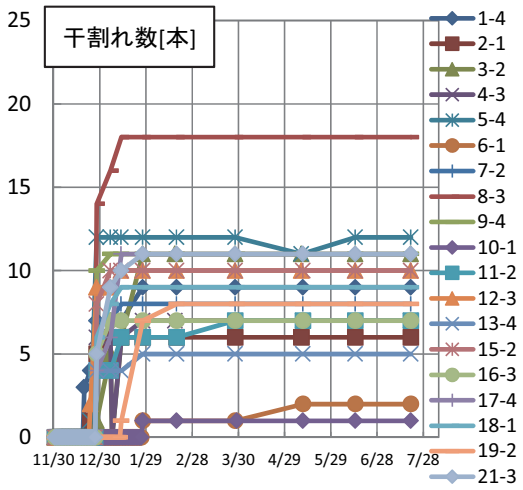


図5.4.1-6　屋外天然乾燥の干割れ数



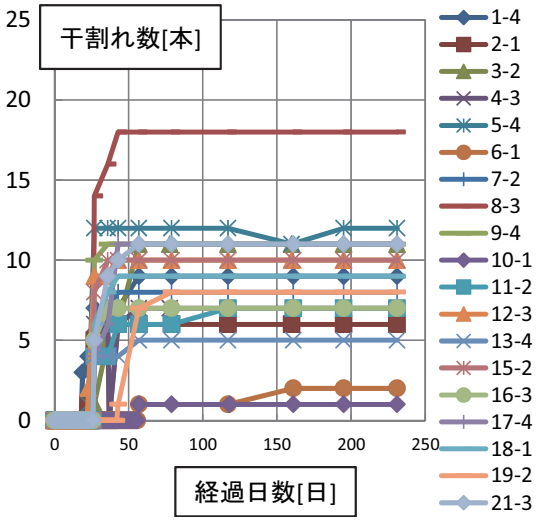
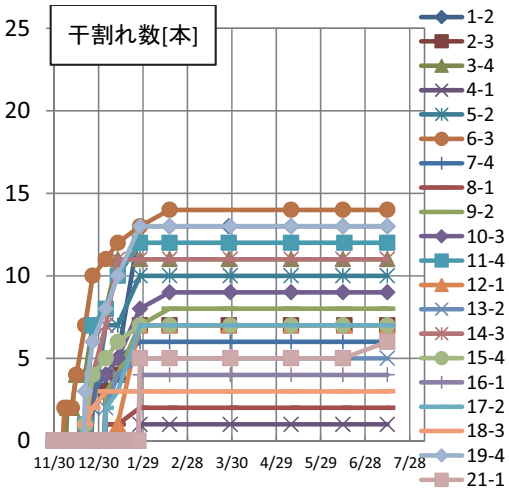


図5. 4. 1-7　生材加工後常態乾燥の干割れ数



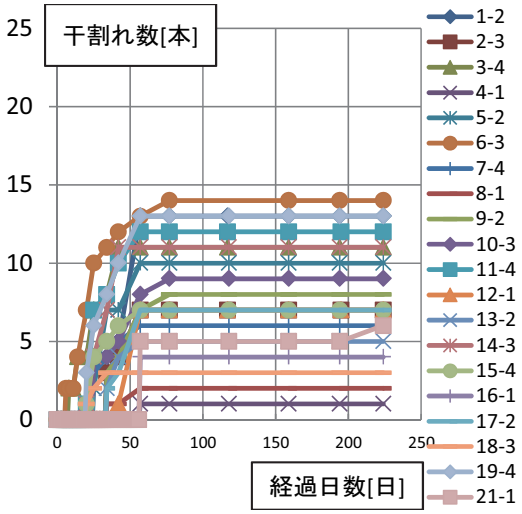
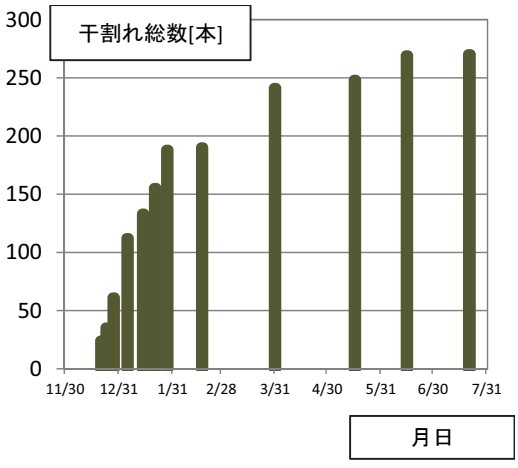


図5. 4. 1-8　屋内常態乾燥の干割れ数



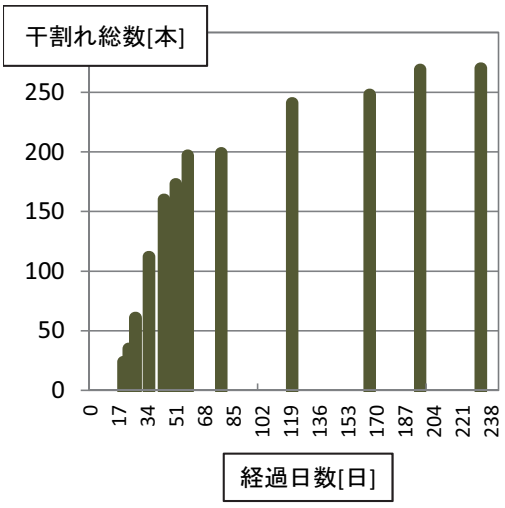


図5. 4. 1-9　屋外天然乾燥の干割れ総数

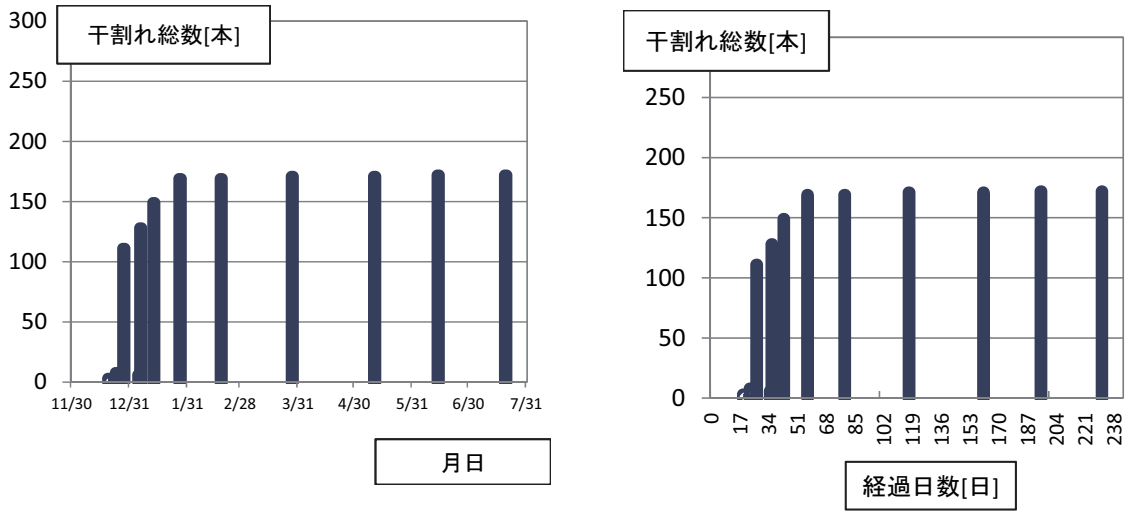


図5.4.1-10　生材加工後常態乾燥の干割れ総数

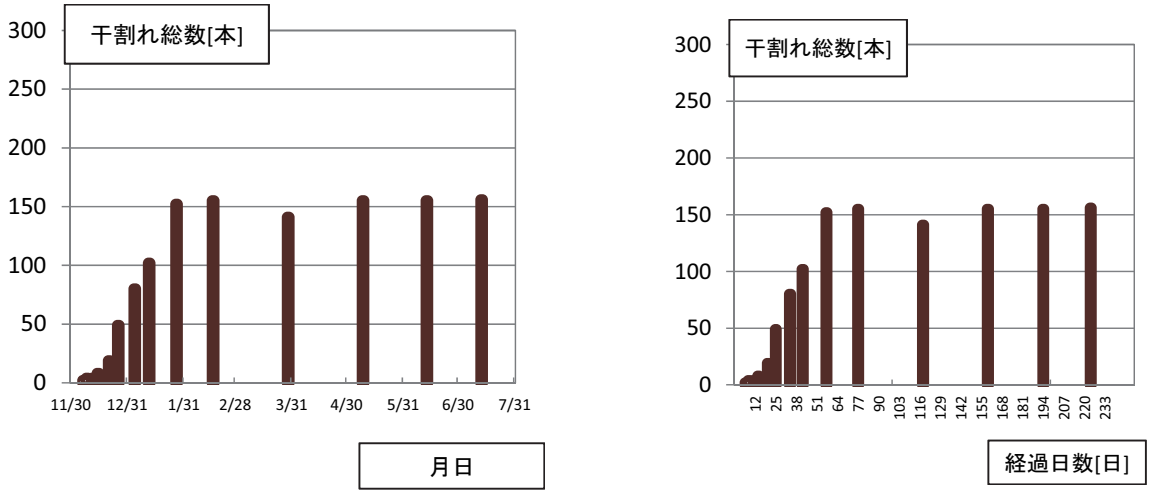


図5.4.1-11　屋内常態乾燥の干割れ総数

（５）干割れ長さの合計

図5.4.1-12から図5.4.1-14に各材料の干割れ長さの合計を、図5.4.1-15に各乾燥材料20本の平均値を示した。干割れ長さ合計の平均値によると屋外天然乾燥の干割れ合計値が最も大きく、次に、屋内常態乾燥、生材加工後常態乾燥の合計値が最も小さかった。乾燥開始の初期には大きな差は見られないが、1月29日の60日経過以降に大きく差が生じている。また、図5.4.1-12から図5.4.1-14をみると、生材加工後常態乾燥の干割れ長さの合計は2000mmから4000mmの範囲に数多く分布しているが、他の乾燥では短い干割れから長い干割れがあり、広い範囲で分布していた。

一方、屋外天然乾燥は200日経過まで多くの材料の干割れが伸び続けているが、屋内常態乾燥と生材加工後常態乾燥は60日経過時点で概ね収束している。しかし、200日経過以降にも散発的に伸びている材料もあった。

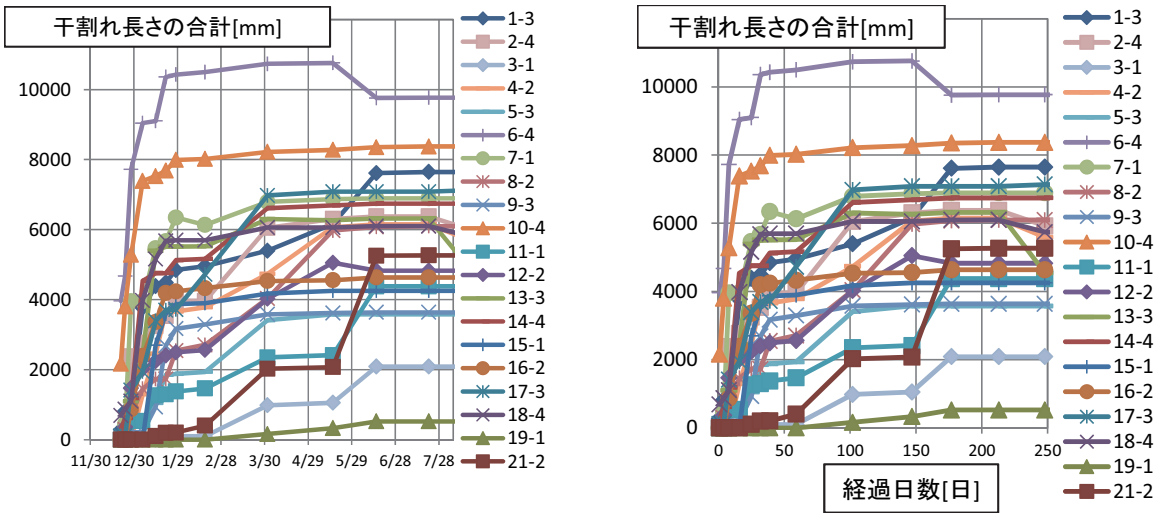


図5.4.1-12　屋外天然乾燥の干割れ長さの合計

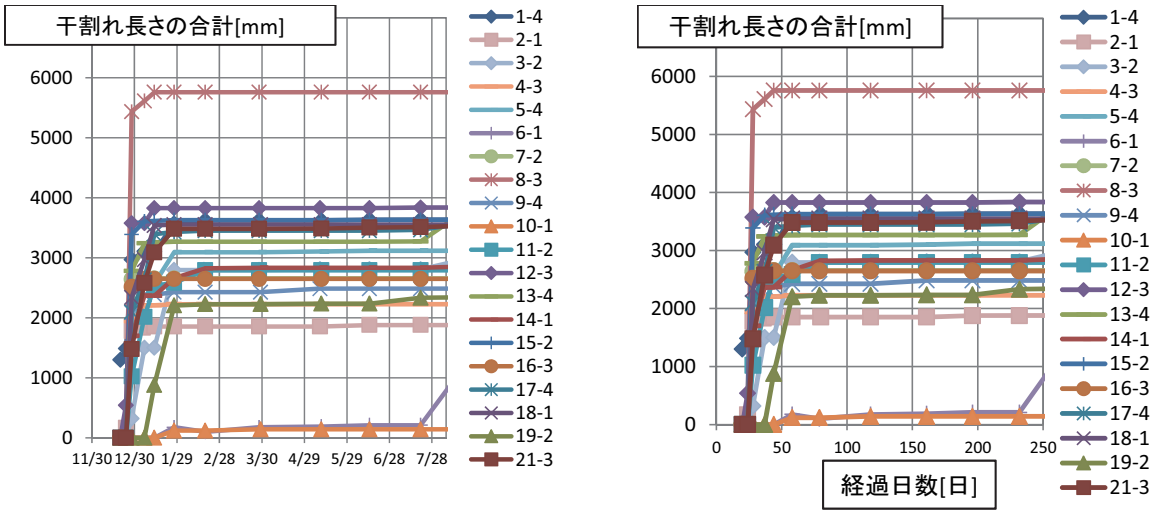


図5.4.1-13　生材加工後常態乾燥の干割れ長さの合計

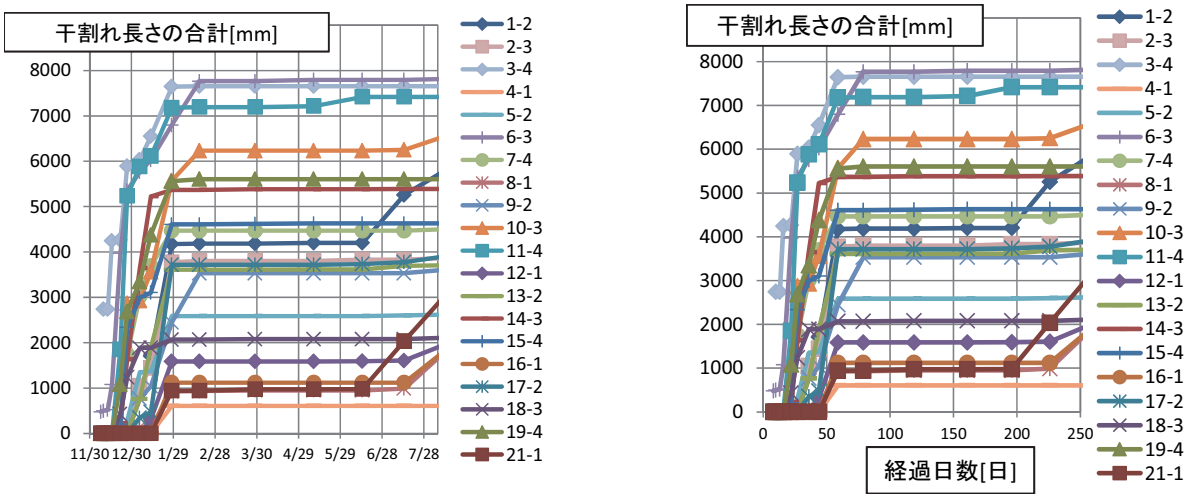


図5.4.1-14　屋内常態乾燥の干割れ長さの合計

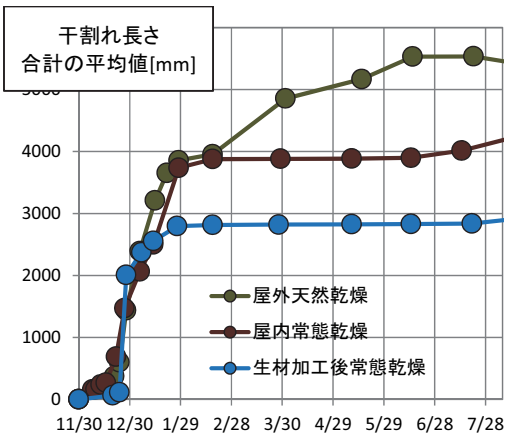


図5.4.1-15　干割れ長さ合計の平均値

（６）干割れ最大幅と最大深さ

図5.4.1-16から図5.4.1-19に干割れ最大幅とその平均値を、図5.4.1-20から図5.4.1-23には干割れ最大深さとその平均値を示した。233日経過した7月21日付近までは、干割れ最大幅は3通りの乾燥方法ともに概ね同程度の値を示すが、屋外天然乾燥が小さい値を示した。

最大深さも同様で、屋内常態乾燥または生材加工後常態乾燥が最も大きな値を示し、屋外天然乾燥は他の乾燥材料に比して、その値が著しく小さい傾向にある。また、屋外天然乾燥は他の乾燥方法に比して緩やかに最大幅の値が収束している。

屋外天然乾燥の干割れは、他の乾燥方法に比して幅が狭く、浅い干割れであることがわかる。

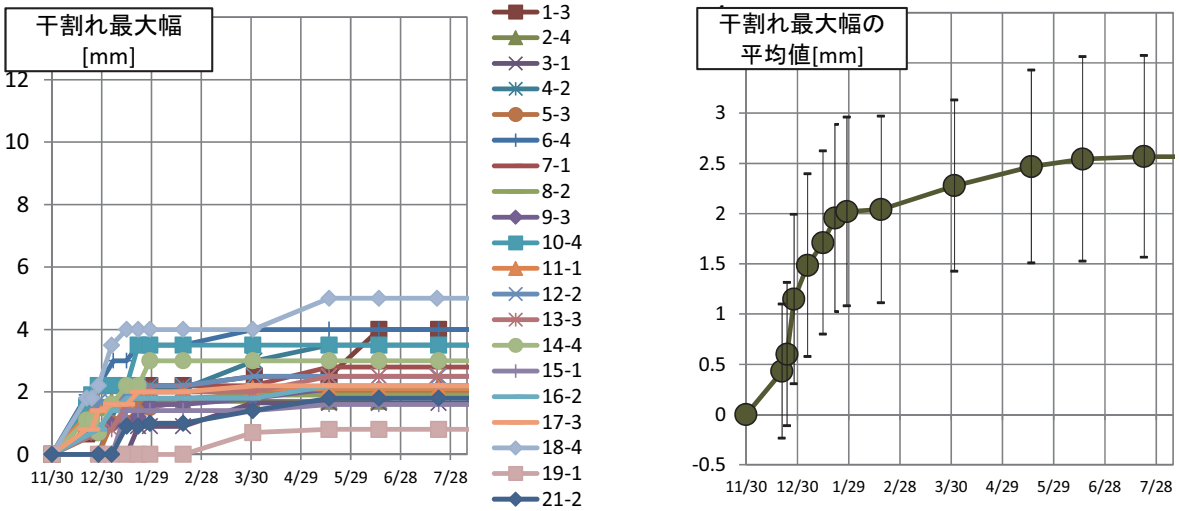


図5.4.1-16　屋外天然乾燥の干割れ最大幅

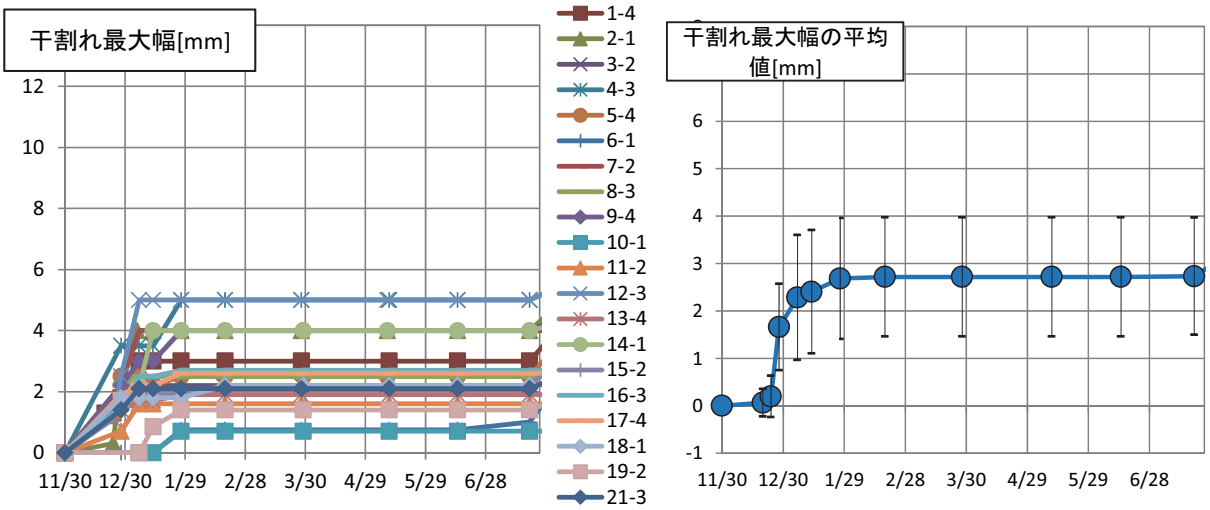


図5.4.1-17　生材加工後常態乾燥の干割れ最大幅

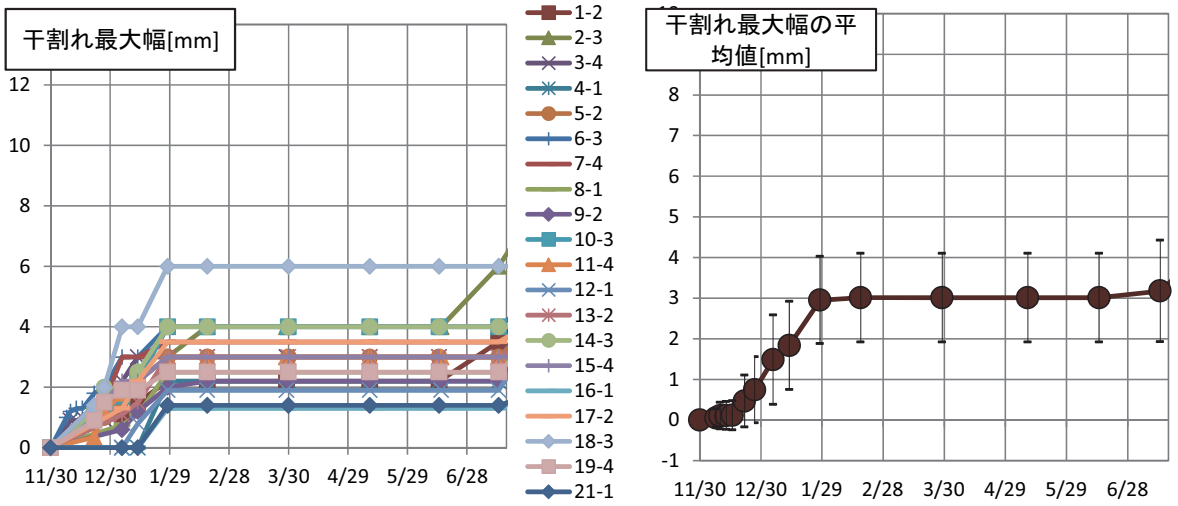


図5.4.1-18　屋内常態乾燥の干割れ最大幅

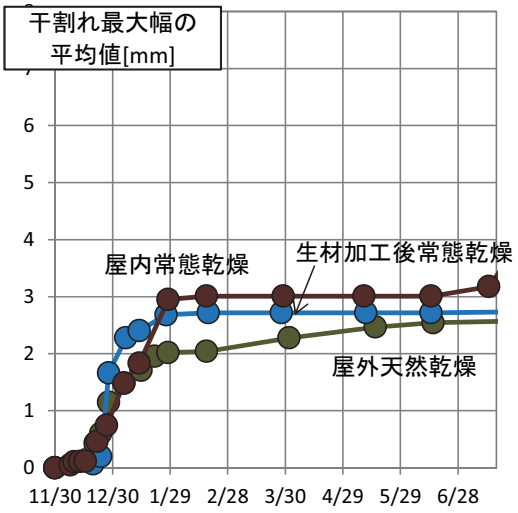


図5.4.1-19　干割れ最大幅の平均値

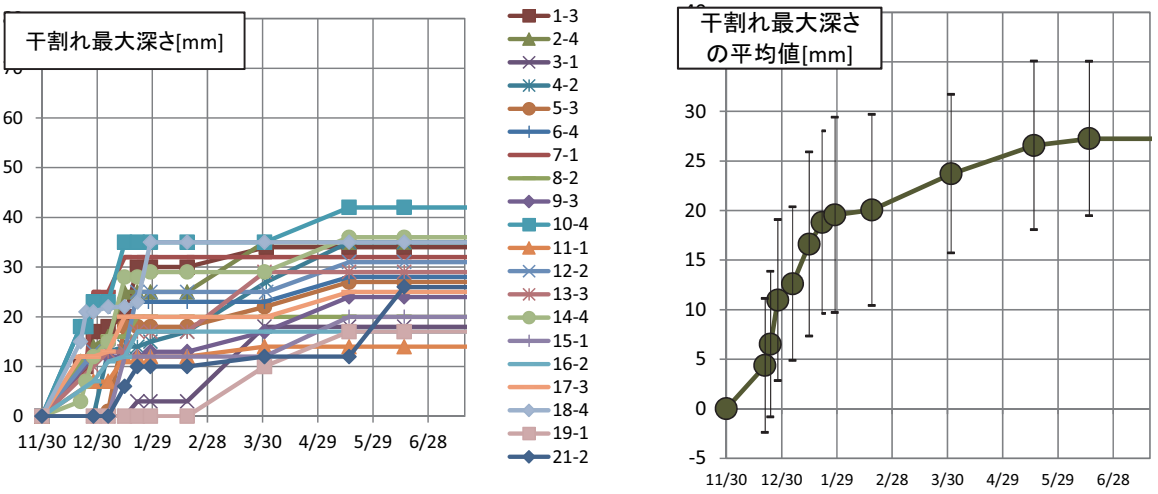


図5.4.1-20　屋外天然乾燥の干割れ最大深さ

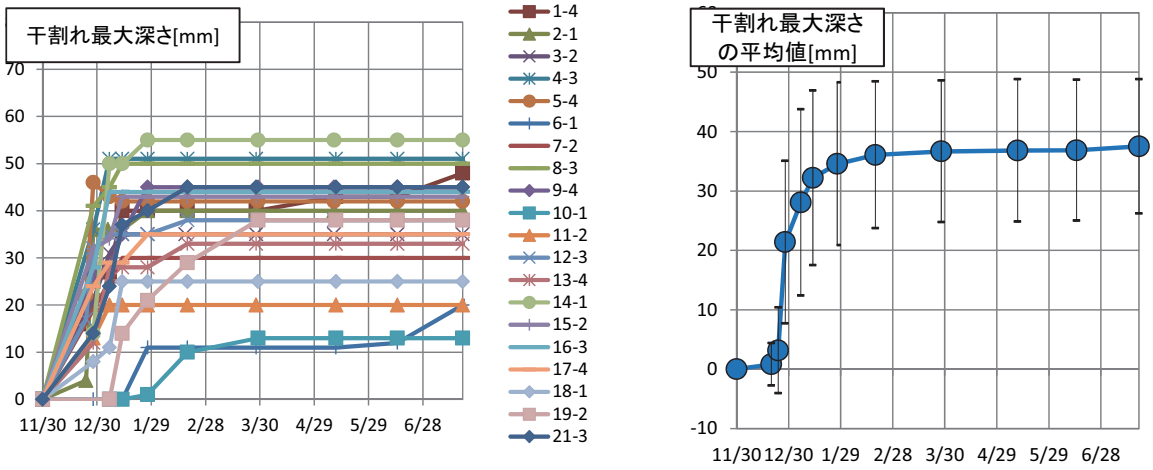


図5.4.1-21　生材加工後常態乾燥の干割れ最大深さ

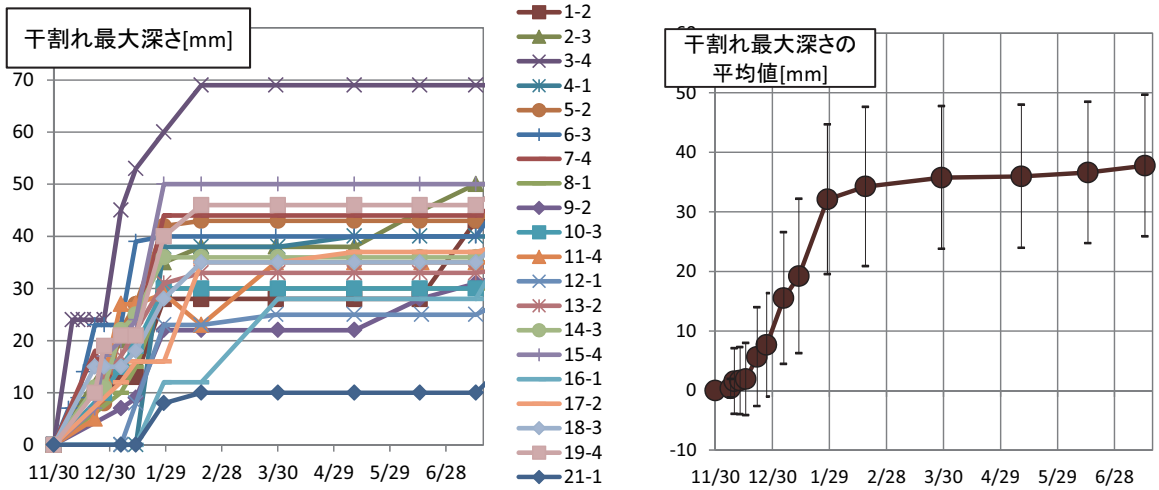


図5.4.1-22　屋内常態乾燥の干割れ最大深さ

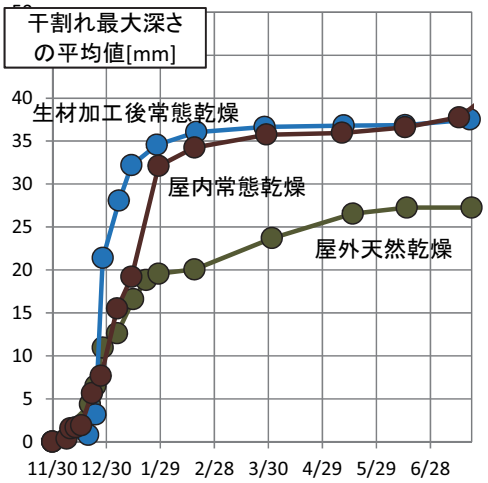
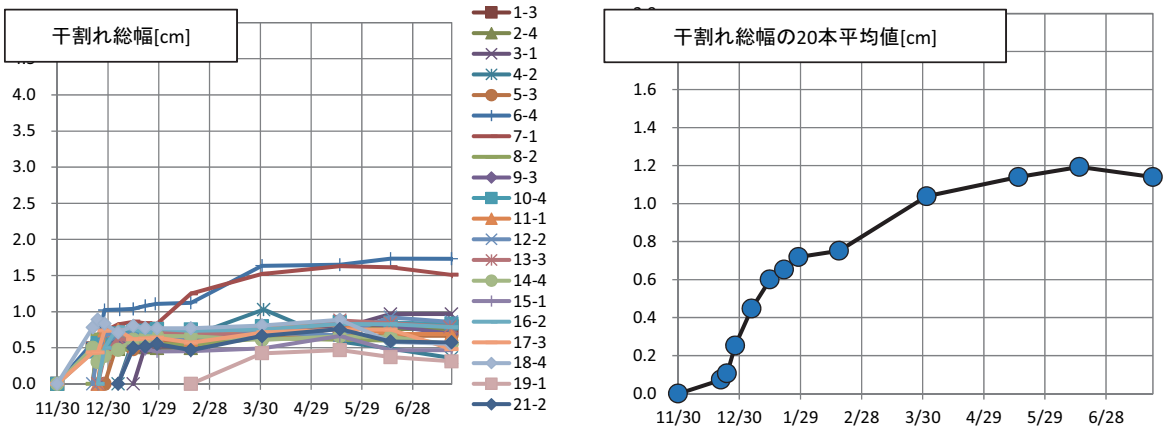
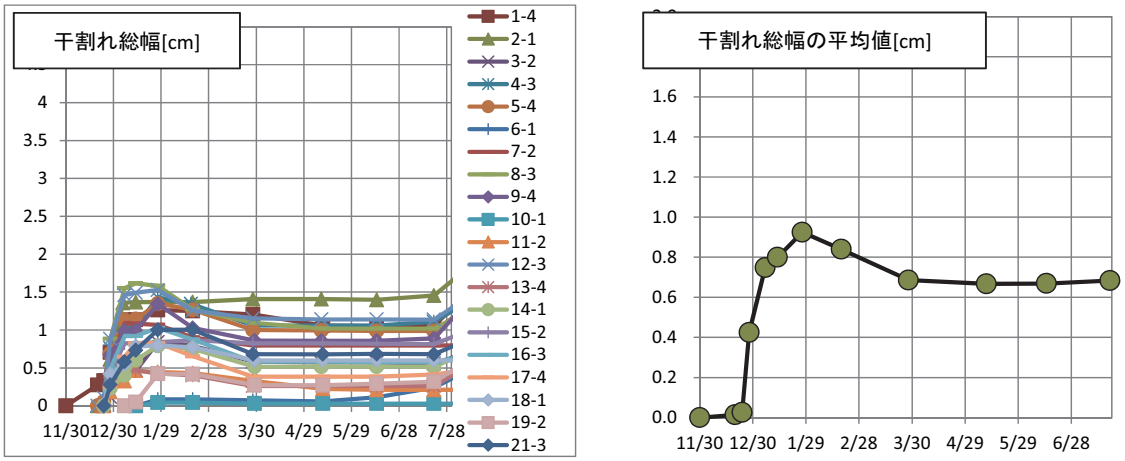


図5.4.1-23　干割れ最大深さ

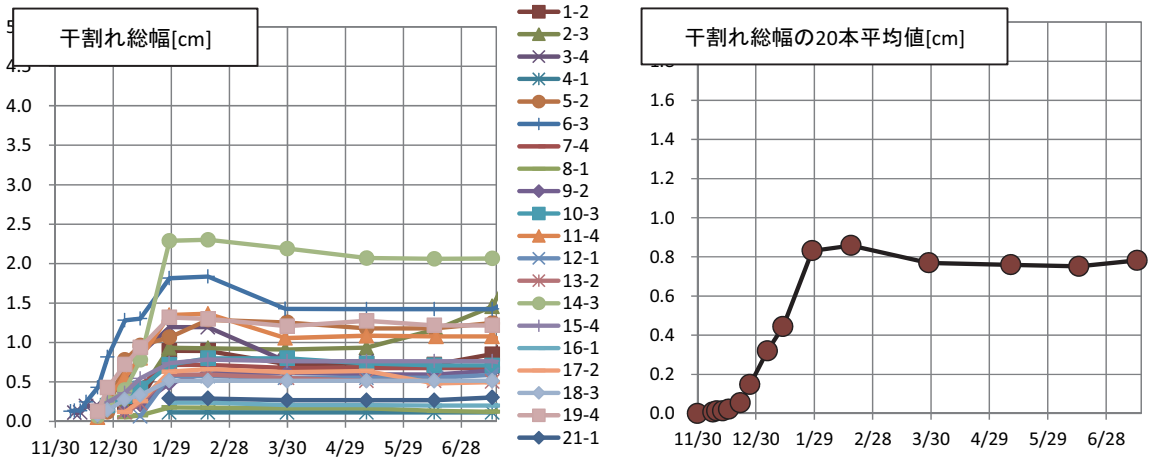
（７）干割れ総幅



屋外天然乾燥



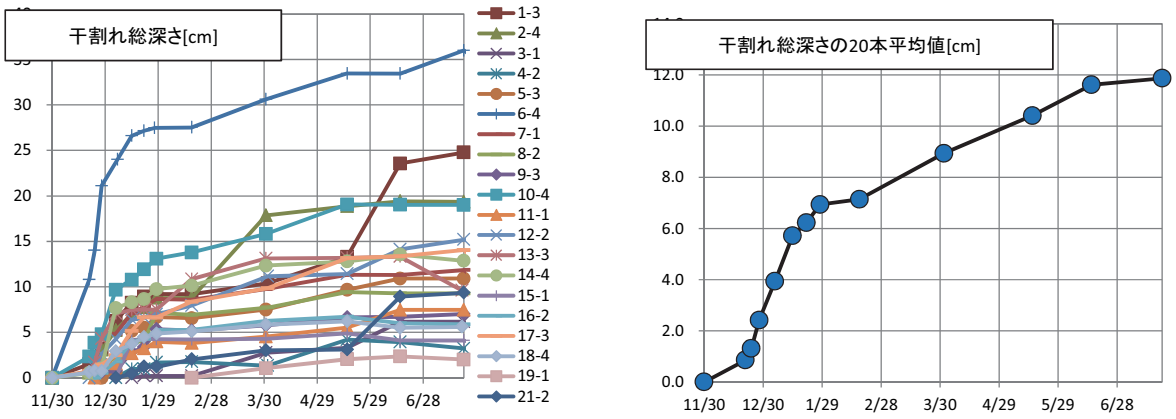
生材加工後常態乾燥



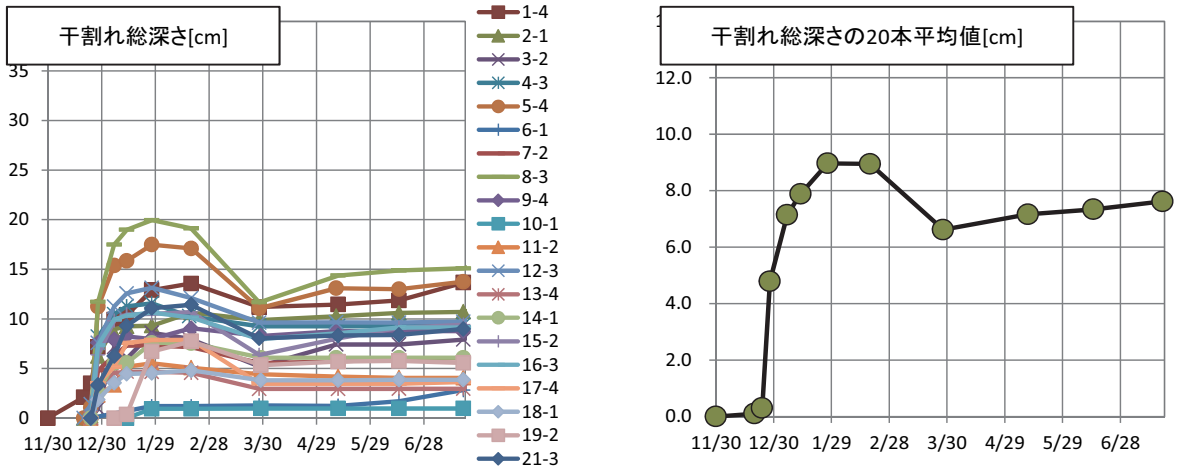
屋内常態乾燥

図5.4.1-24　干割れ総幅（左図）と平均値（右図）

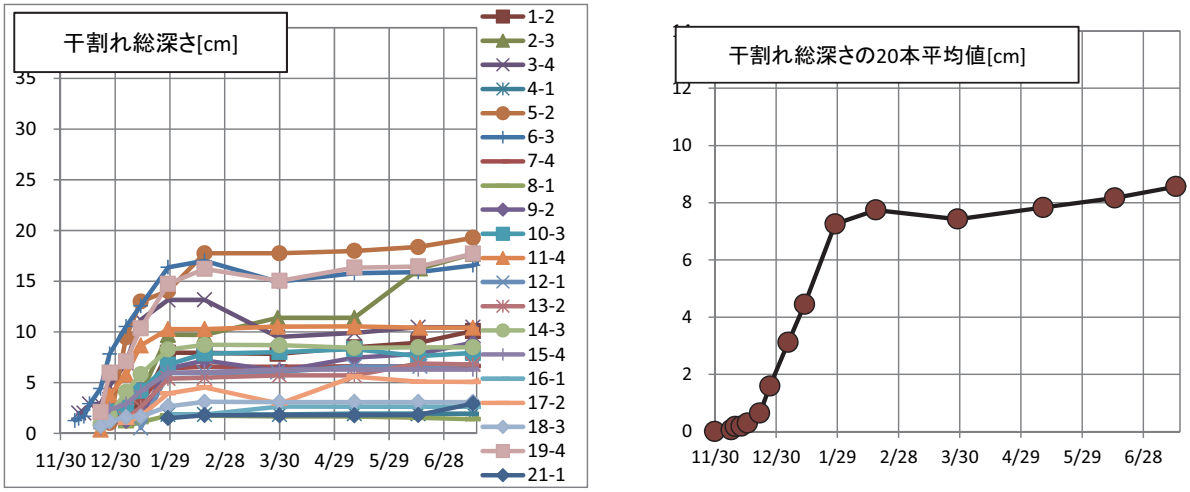
（８）干割れ総深さ



屋外天然乾燥



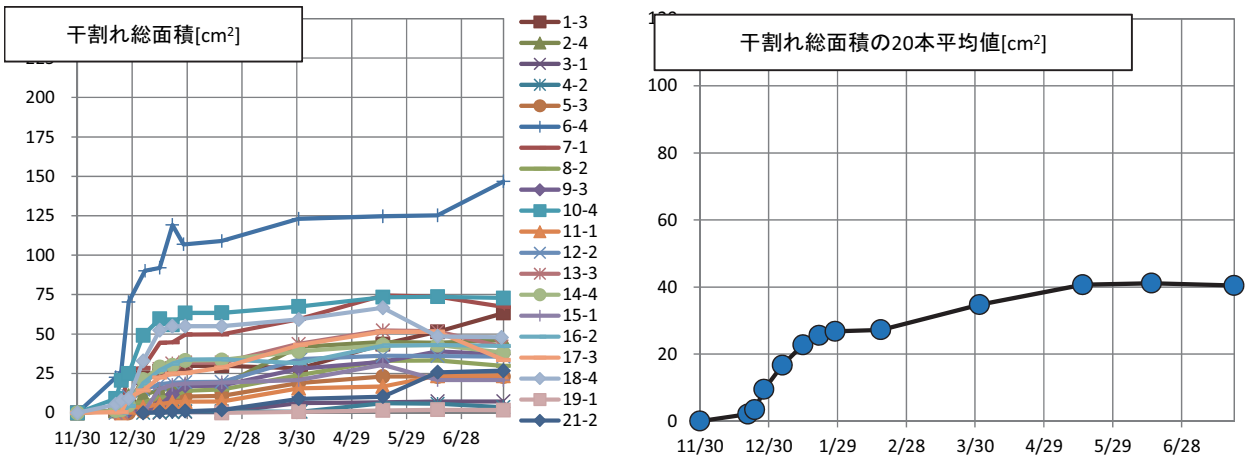
生材加工後常態乾燥



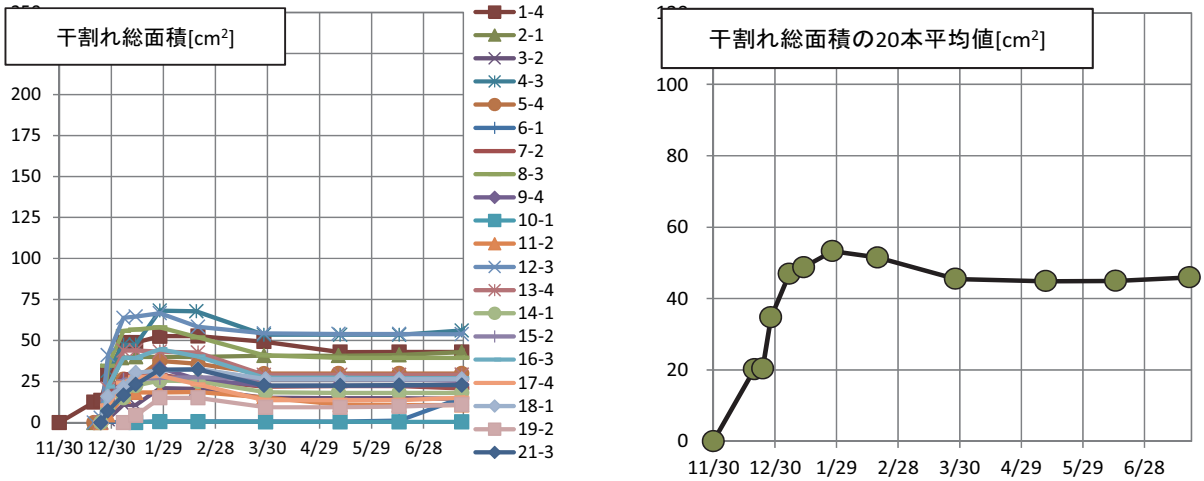
屋内常態乾燥

図5.4.1-25　干割れ総深さ（左図）と平均値（右図）

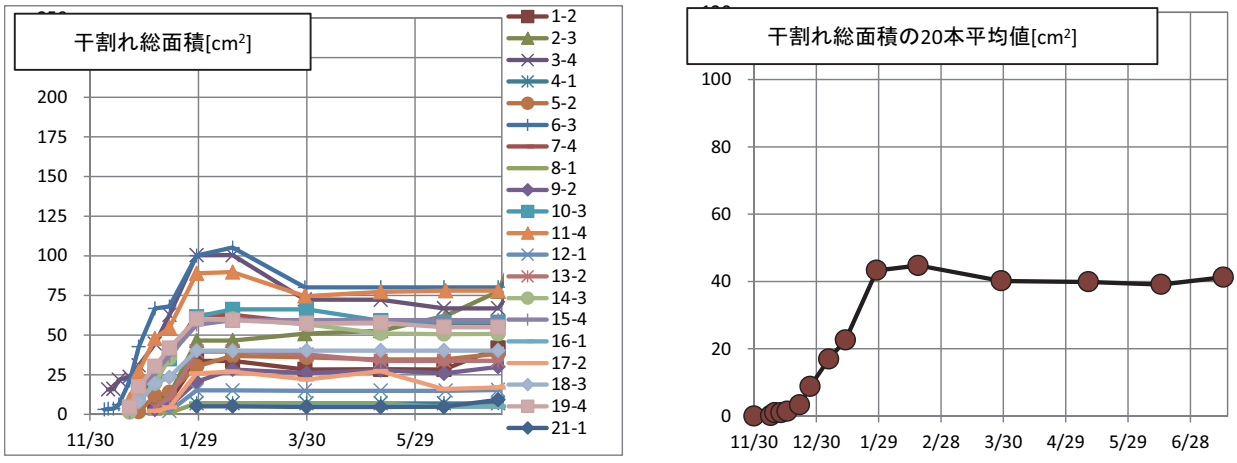
（９）干割れ総面積



屋外天然乾燥



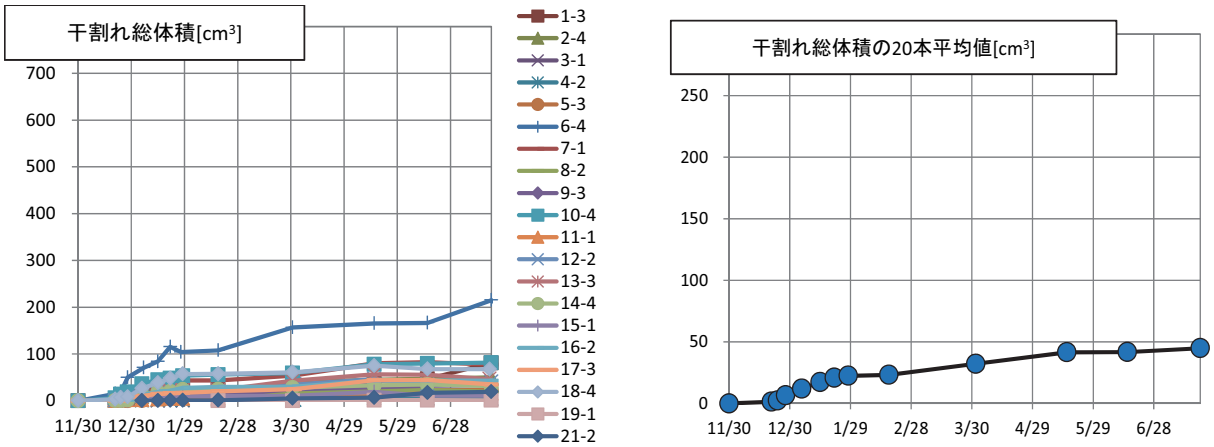
生材加工後常態乾燥



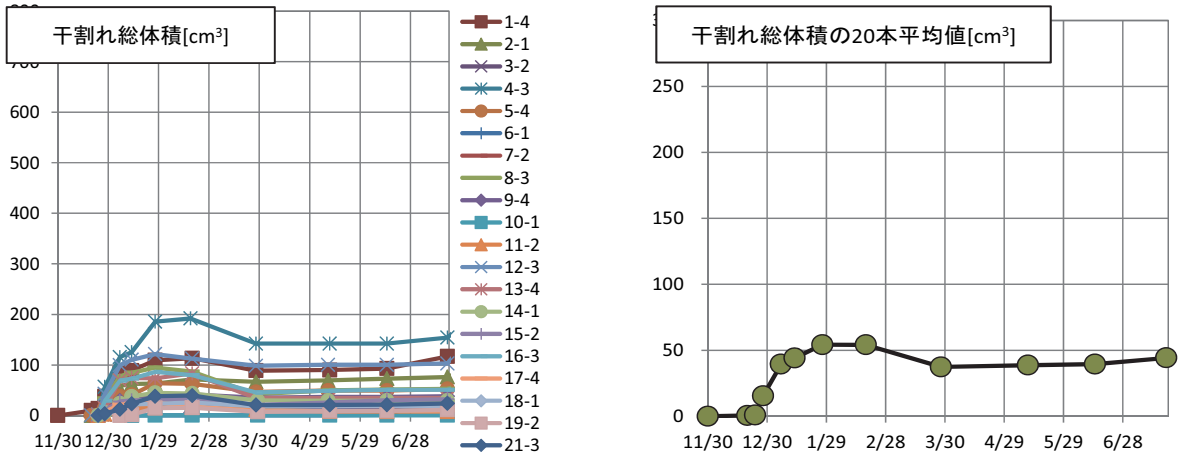
屋内常態乾燥

図5.4.1-26　干割れ総面積（左図）と平均値（右図）

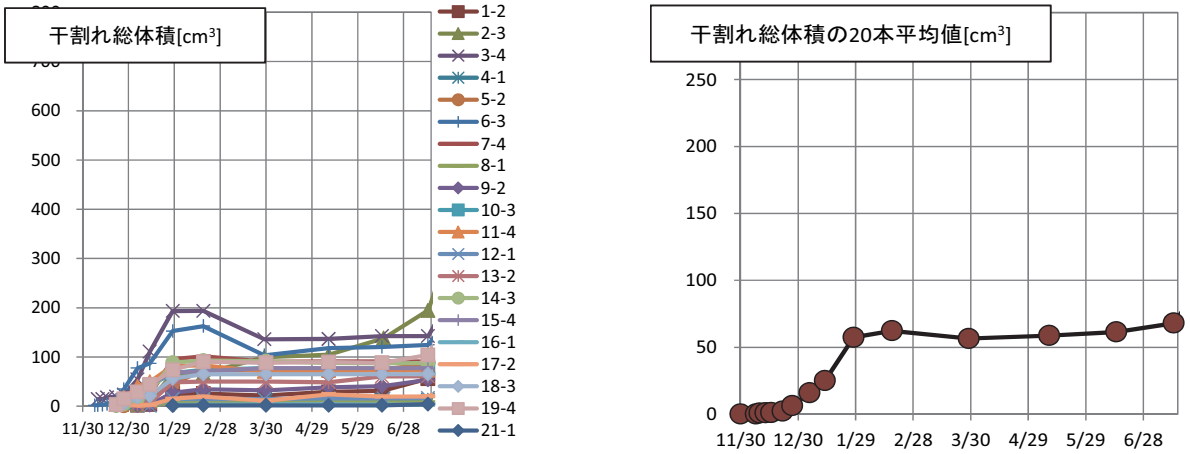
（１０）干割れ総体積



屋外天然乾燥



生材加工後常態乾燥



屋内常態乾燥

図5.4.1-27　干割れ総体積（左図）と平均値（右図）

（１１）干割れ幅、深さ、面積及び体積の平均値

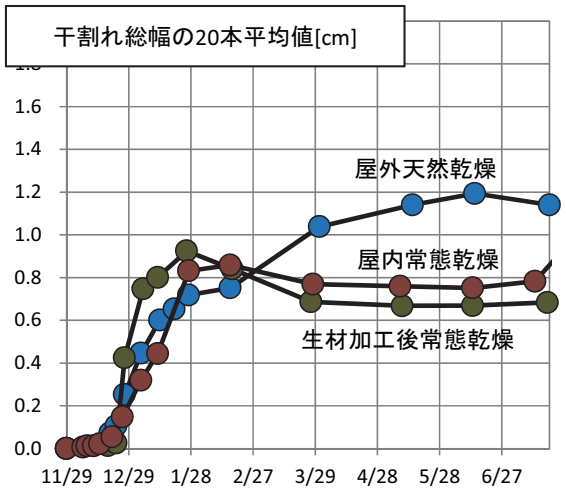


図5.4.1-28　干割れ総幅の20本平均値

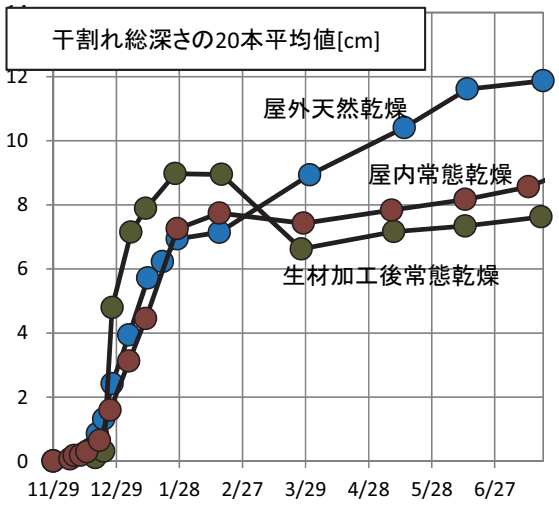


図5.4.1-29　干割れ総深さの20本平均値

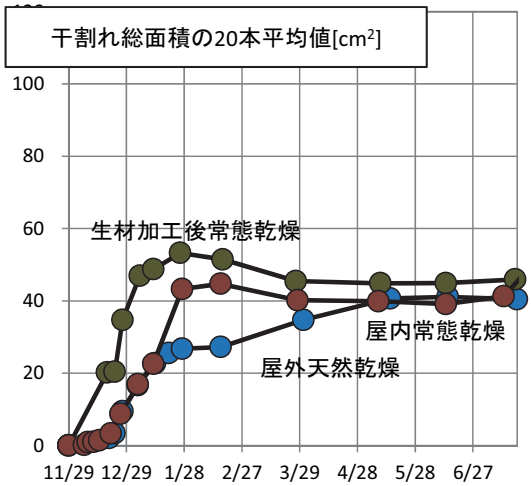


図5.4.1-30　干割れ総面積の20本平均値

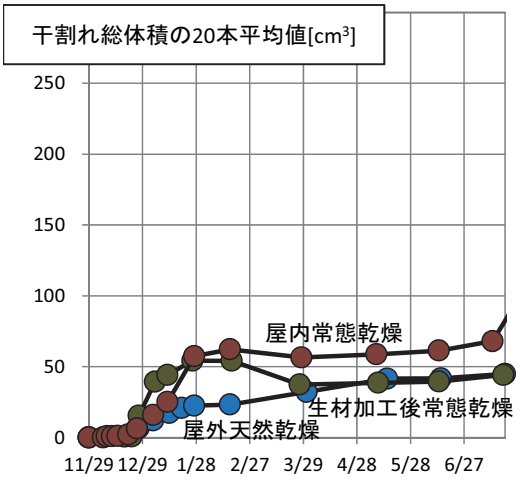
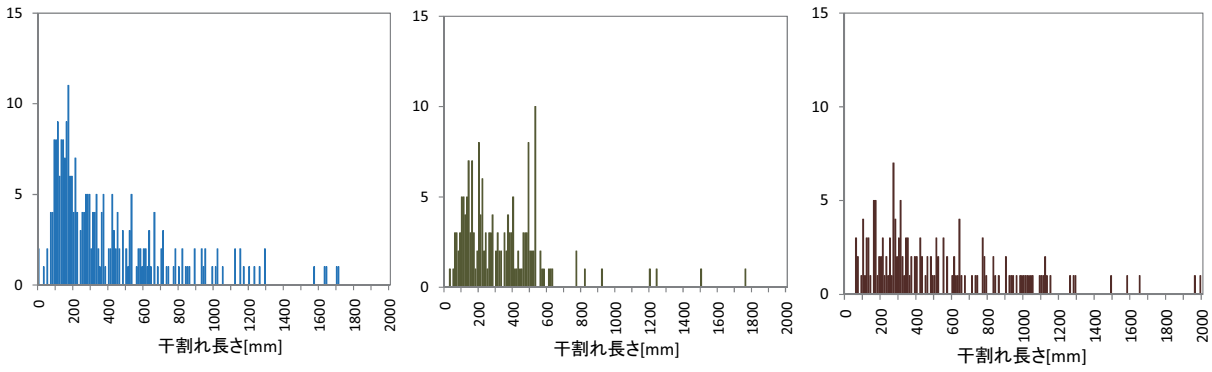


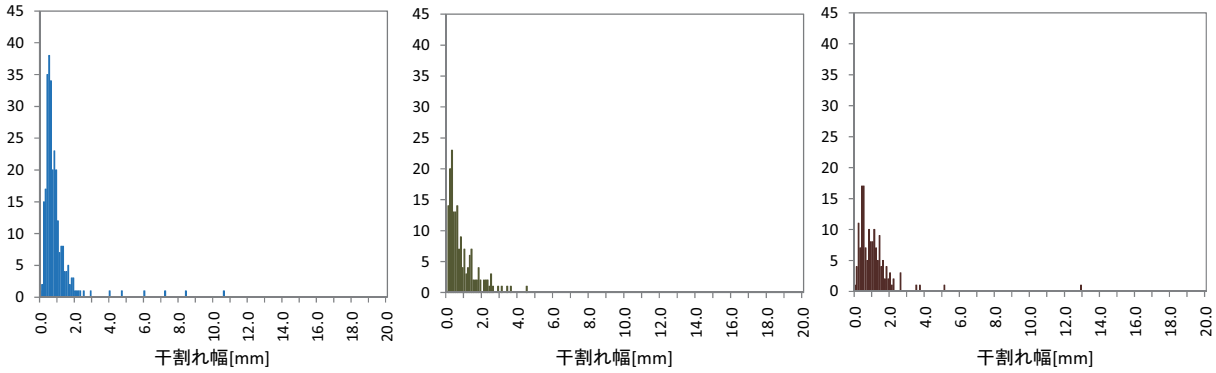
図5.4.1-31　干割れ総体積の20本平均値

（１２）干割れ長さ、幅及び深さの分布



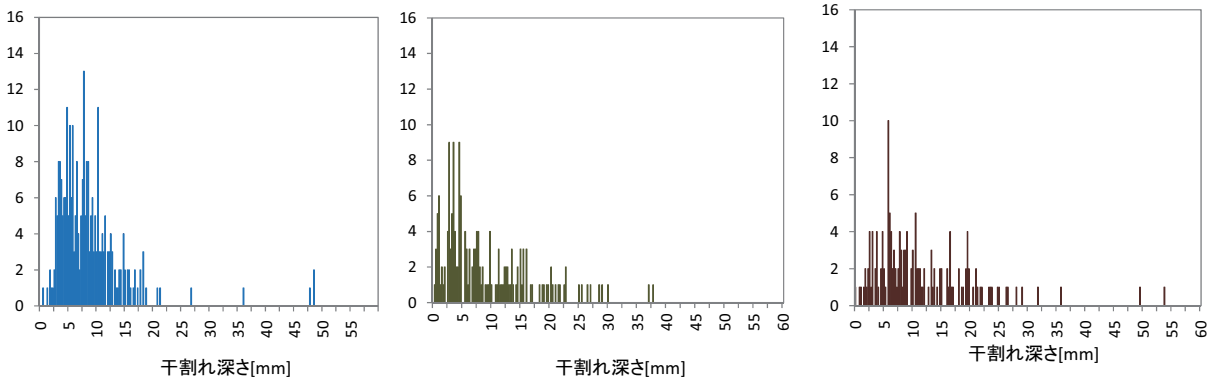
屋外天然乾燥　　生材加工後常態乾燥　　屋内常態乾燥

図5.4.1-32　干割れ長さの分布



屋外天然乾燥　　生材加工後常態乾燥　　屋内常態乾燥

図5.4.1-33　干割れ幅の分布



屋外天然乾燥　　生材加工後常態乾燥　　屋内常態乾燥

図5.4.1-34　干割れ深さの分布

干割れ総幅、総深さ、総面積及び総体積の値とそれぞれの20本平均値の経時変化を図5.4.1-24から図5.4.1-31に、それぞれの頻度分布を図5.4.1-32から図5.4.1-34に示した。

3通りの乾燥方法における20本の経時変化は、それぞれの値が広い範囲に分布し、また、前述した最大値によると幅は12mm以下程度、深さは70mm以下程度に収まる。

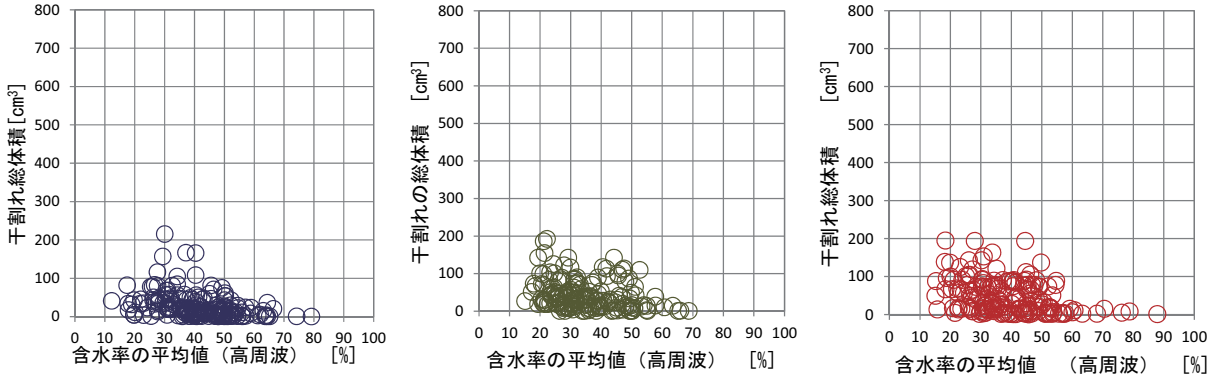
幅、深さ等の各合計（総）値は乾燥期間の経過とともに上下しながら増加し、7月21日の233日経過時点では、総幅の20本の平均値は屋外天然乾燥が最も大きく、続いて屋内常態乾燥、生材加工後常態乾燥であった。屋外天然乾燥は図5.4.1-6から図5.4.1-11に示したように、屋外天然乾燥の干割れ数が最も多く、ここでの各合計（総）はすべての干割れの幅と深さを加算した値であるため、干割れ総幅及び総深さは屋外天然乾燥が大きい値を示す結果となっている。

材面の干割れ総面積では、生材加工後常態乾燥が大きく、屋内常態乾燥と屋外天然乾燥は同程度であった。前述のように屋外天然乾燥の干割れ数が最も多いことから、干割れ1本あたりでは屋外天然乾燥の干割れは概ね最も小さい面積及び体積であると考えられる。

図5.4.1-32から図5.4.1-34の頻度分布より、干割れ状態を確認した。それぞれの干割れは100mmから600mmの範囲に多く分布し、生材加工後常態乾燥を除いて600mmから材長の2000mmの範囲にも数多く分布している。600mm以上の範囲は、屋内常態乾燥よりも屋外天然乾燥の頻度の方が高い。

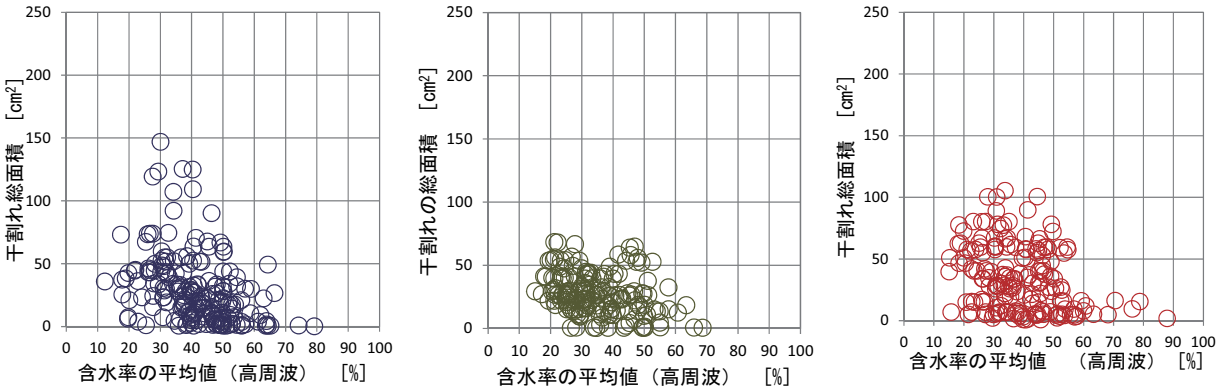
干割れ幅は0.1mmから2mmの範囲に数多く分布していた。干割れ深さでは屋外天然乾燥は20mm以下の深さが殆どであるが、他の乾燥方法では屋外天然乾燥よりも広い範囲で分布している。

（１３）干割れ面積及び体積と含水率



屋外天然乾燥　　生材加工後常態乾燥　　屋内常態乾燥

図5.4.1-35　干割れ総体積と含水率（高周波）



屋外天然乾燥　　生材加工後常態乾燥　　屋内常態乾燥

図5.4.1-36　干割れ総面積と含水率（高周波）

次に、材料の含水率（高周波式。深さ10mmで設定。）と干割れの面積及び体積の関係を図5.4.1-35と図5.4.1-36に示した。含水率が低下するにしたがいその値は増加し、含水率30%より高い範囲でも表面干割れは多く発生するが、含水率が30%付近で面積及び体積の値が大きい。

（１４）まとめ

屋外天然乾燥、屋内常態乾燥及び生材加工後常態乾燥の3通りの乾燥方法による材料の干割れの経時変化を検証した結果、次のことを確認した。

１）干割れ数は屋外天然乾燥が最も多く、それに比して屋内常態乾燥及び生材加工後常態乾燥は少ない傾向にある。

２）屋外天然乾燥の干割れは、屋内常態乾燥及び生材加工後常態乾燥の干割れに比して、最大幅及び最大深さが小さく、狭く浅い干割れが数多く発生していた。

３）干割れの幅、深さの合計値である総幅及び総深さの試験体20本平均値は屋外天然乾燥の値が大きい結果であったが、屋外天然乾燥の干割れ数が他に比して最も多いことより、干割れ1本あたりの幅及び深さは、屋外天然乾燥が概ね最も小さいと推測できる。これは最大幅、最大深さの結果からも判断できる。

４）生材加工後常態乾燥と屋内常態乾燥の比較より、生材の時点で加工することにより材料表面積が大きくなることもあり、生材で加工していない材料よりも密度低下及び含水率低下の割合が大きかった。加えて、干割れ長さ、干割れ幅、干割れ総深さ及び干割れ総体積では生材加工後の乾燥の方の値が小さい結果であった。しかし、乾燥期間が90日程度まではこの傾向は異なる。

５．４．２　葉枯らし乾燥の有無と天然乾燥における干割れの進行

（１）葉枯らし乾燥が製材初期含水率に与える影響

1)葉枯らし乾燥概要

京都地域における天然乾燥材の干割れ測定の重点評価項目は、葉枯らし乾燥の有無が干割れ発生に与える影響の評価である。葉枯らし乾燥により、樹幹内の初期含水率が低下または平均化した生材料の場合、その後の干割れの発生に対し抑制効果がある可能性がある。

昨年度報告したように、干割れ測定対象材において葉枯らし乾燥の有無による影響を特徴的に抽出するため、注意深い材料のマッチングやスケジュール調整を行った。すなわち葉枯らし乾燥材と非葉枯らし乾燥材は基本的に同一林地から採取し、葉枯らし乾燥用丸太のみを先行して伐採し、一定期間葉枯らし乾燥を行った後に、非葉枯らし乾燥丸太と同時に林地から搬出し、その後の製材行程を同一に行い、同時に天然乾燥-干割れ計測をスタートさせる試験条件を定めた。

試験体用丸太を採取した林地は、京都府京都市京北地域（京都市右京区京北下宇津町）における南向きの斜面で、山国苗を用いた同一品種のスギ人工林で概ね樹齢50年程度の林地である。ここからランダムに60本を選択し、うち半数を葉枯らし乾燥用材、残り半数を非葉枯らし乾燥用材とした。試験開始前の調整に時間がかかったため、実験は京北地域での一般的な葉枯らし実施期間においては最後半と言うべき時期（冬期）に実施する運びとなった。2010年12月13日に、まず葉枯らし乾燥用材の伐倒を行った。山側に樹幹が倒れるようにチェーンソーで倒木し、伐採後の木口は基本的には切り株に載っている状態とした。

その後2011年5月17日までのおおむね5ヶ月間、林地内にて葉枯らし乾燥を継続した。なお、この間葉枯らし乾燥用丸太の一部について、期間中の乾燥度合いを進行を計測するため、クレーン車を用いた実地重量計測を計3回行った。その際、重量計測に供した丸太は林道の脇まで引き下ろしたため、木口の一方が地面に接した。

今回の葉枯らし乾燥方法は一般的な皆伐方式とは異なり、択伐方式であるため、全体的な日当たり条件にやや影響があった可能性がある。また、葉枯らし乾燥時期が冬期であったため、林地においては低温かつ積雪のある期間もあり、これらが葉枯らし乾燥の進行に影響を与えた可能性はある。

葉枯らし期間終了時（2011年5月17日）に非葉枯らし乾燥用材を伐採し、葉枯らし乾燥材と同時に林地から引き上げ、京北森林組合において製材し、干割れ計測に供した。表5.4.2-1に葉枯らし乾燥の全体的なスケジュールを示す。

表5.4.2-1　葉枯らし乾燥スケジュール

<table>
<tr><th></th><th>葉枯らし乾燥材</th><th>非葉枯らし乾燥材</th></tr>
<tr><td>2010/12/13</td><td>• 伐採（30/30）
• 胸高直径、5mおきの直径、全長、樹幹長の計測（10/30）
• 丸太重量計測（10/30）
• 円盤採取（木口）（10/30）</td><td rowspan="4">林地にてそのまま育成</td></tr>
<tr><td></td><td>3.5ヶ月</td></tr>
<tr><td>2011/4/1</td><td>• 丸太重量計測（10/30）
• 円盤採取（木口）（10/30）</td></tr>
<tr><td></td><td>1.5ヶ月</td></tr>
<tr><td>2011/5/17</td><td>• 丸太重量計測（10/30）
• 円盤採取（3カ所）（10/30）</td><td>• 伐採（30/30）
• 丸太重量計測（4/30）
• 円盤採取（3カ所）（4/30）</td></tr>
<tr><td>2011/5/20</td><td colspan="2">林地引き上げ</td></tr>
<tr><td>2011/5/26</td><td colspan="2">製材　（シートがけ保管）</td></tr>
<tr><td>2011/6/2</td><td colspan="2">それぞれ30本中20本を選抜</td></tr>
<tr><td>2011/6/8</td><td colspan="2">それぞれ20本中10本を選抜、干割れ計測開始</td></tr>
</table>

2)葉枯らし乾燥用材計測項目

葉枯らし期間中、葉枯らし乾燥用材は林地にて30本中10本を選別し、ナンバリングを行った後に以下のような計測を行った。

ア）樹幹情報計測：伐採前に木製輪尺にて胸高直径を計測し、さらに伐倒後に根本から5mおきに樹幹までの各点における直径を計測した。また樹木全長と樹幹長を5mステンレス製メジャーで計測した。

イ）丸太重量計測：その後丸太を林道付近まで引き下ろし、許容荷重20tfのクレーンにて釣り上げ、全体重量の計測を行った。クレーンにはワイヤ先端に鋼製リングを介して東京測器製の引張型荷重計TLP-10KNB（容量10kN）を取り付け、現場用デジタルロードメータTC-31L（ケーブル長10m）にて重量値を読みとることで行った（写真5.4.2-1）。伐倒木は平均22m程度の全長があったが、クレーンのワイヤを出来るだけ重心に取り付け、樹木が全体にわたって接地しないように注意した

ウ）円盤採取：伐採直後、葉枯らし乾燥期間中および葉枯らし乾燥終了時の計3回、伐採丸太の木口付近（おおむね切断木口より30cm程度中に入った位置）から5cm厚程度の円盤を採取し、気密袋に密閉し試験室に持ち帰り、全乾法により含水率を計測した（丸太重量を計測した材料のみ実施）。

3)葉枯らし乾燥終了後処理項目

葉枯らし乾燥期間終了後、非葉枯らし乾燥材も伐倒し、それぞれ現地で玉切りを行った。末口径が20cm程度になるように位置取りを考慮し、1.5番玉程度の位置から4m材を採取し、干割れ測定用材として試験に供した。なお、1.5番玉の上部から2.5番玉も玉切りしたが、両者の中間部および2.5番玉上部からも円盤を採取し（葉枯らし材10本、非葉枯らし材4本）、根元部から採取した円盤と同様に含水率計測に供した。搬出した葉枯らし乾燥材、非葉枯らし乾燥材それぞれ30本を135mm角の正角材に製材した後、実務者らによって節、目切れ、木理等を考慮してそれぞれ20本ずつを選別し、さらにそのうち10本はダミーとして、残り10本を干割れ測定を行った。

写真5.4.2-2に葉枯らし乾燥期間中の丸太の樹幹の様子、および乾燥期間終了後の木口の様子を示す。今回の葉枯らし期間は冬季であったこともあり、開始から5ヶ月を経過した終了時においてもなお、葉はしおれてはいるもののいまだ緑を保っている様子が見て取れる。一方で伐採した木口では非葉枯らし乾燥丸太と比べると辺材付近から染み出してくる水分量が少なく、乾燥が進展している様子が見て取れた。図5.4.2-1に葉枯らし乾燥丸太の各項目の計測位置と丸太や円盤の木取りを示す。

表5.4.2-2　計測用葉枯らし丸太

No	直径				全長	樹冠長	重量①	重量②	重量③	円盤含水率	平均辺材厚	備考
	0m	5m	10m	15m			2010/12/13	2011/4/1	2011/5/17	12/13		
	cm	cm	cm	cm	m	m	kg	kg	kg	%	mm	
1	26.2						539	503.0	447.52	93%	35.3	枝が一番多い
7	27.6						620	560.8	495.34	143%	43.7	他の木の上にあった。枝が多く残っていた。
12	26.9	23	19.4	15.4	20	11	570	549.3	510.24	158%	39.7	樹冠破損
13	24.1	21.4	18	14	23.1	7	507	502.0	434.37	97%	43.0	
14	24	22	17.6	12.3	20.8	5.8	417	411.9	358.12	104%	41.7	
15	24.2	22.5	17.2	14.5	22.1	5.9	393	381.4	344.41	85%	33.0	樹冠が接地していた可能性あり。
16	24.8	22.7	19.6	14.8	22.9	6.5	520	501.0	449.34	81%	37.7	
17	24.8	23.2	19.3	15.2	26	5.2	593	593.6	504.38	150%	41.7	
18	23.5	19.2					457	435.2	393.45	131%	42.7	樹冠破損
19	28.4	23.4	19.4	16.2	24	5.4	696	650.0	627.06	171%	46.0	



写真5.4.2-1　東京測器製引張型荷重計と現場用デジタルロードメータ(左)、重量計測風景(中・右)



写真5.4.2-2　葉枯らし伐採木の様子（左）4/1、(中)5/17、(右)葉枯らし乾燥終了後の木口

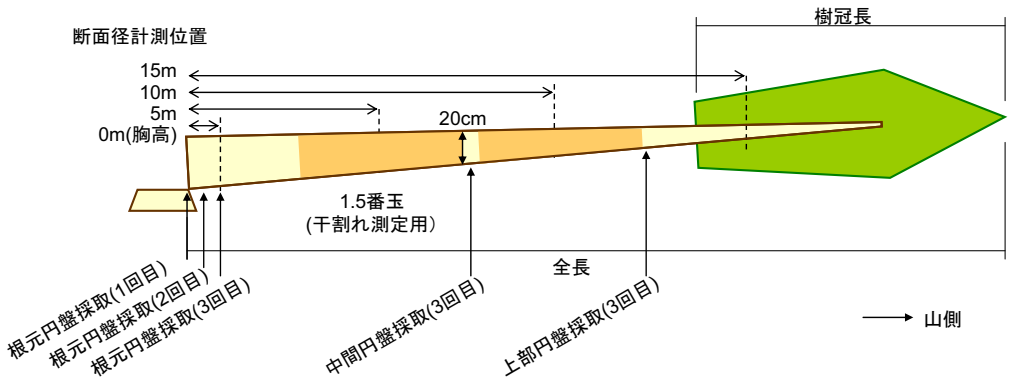


図5.4.2-1　葉枯らし乾燥丸太の計測位置、木取り

4)葉枯らし乾燥における丸太重量変化

(a)丸太重量変化

図5.4.2-2に葉枯らし乾燥期間における林地での丸太の重量変化量（上）と初期値に対する変化率（下）を示す。経過日数約100日における変化率は平均で約5%程度の低下にとどまったのに対し、経過日数150日における変化率は平均約15%程度と後半に大きく重量が減少し、乾燥が進行したのが見て取れる。これは今回の葉枯らし期間が冬季であったためと、京北地域の気候に影響されたと考えられる。図5.4.2-3には伐採現場（北緯35度9分、東経135度35分）近辺に設置された気象庁アメダスによる気象情報の計測データを示す。近辺にはアメダス京北（北緯35度10.8分、東経135度65分）およびアメダス美山（北緯35度16.5分、東経135度33分）が設置されている。このうちアメダス京北は降水量のみの記録であるため、やや離れた位置であるが伐採場所と同一の京都北部山間地域に属するアメダス美山で計測された積雪量や気温情報を参考値として示した。図より、この地域では葉枯らし乾燥期間に20cm以上の積雪があった期間が約30日程度もあったことが読み取れる。またこの期間は気温も低かったことから、葉よりの蒸散機能が働かず、葉枯らし乾燥が進行しなかったと考えられる。一方最後の50日間程度は日照時間も多く、平均気温が上昇していった期間と一致する。写真5.4.2-2で示したように、葉枯らし乾燥終了の5/17になっても、丸太にはまだ葉が緑の状態で残っていたため、この時期に蒸散が大きく進行したと考えられる。

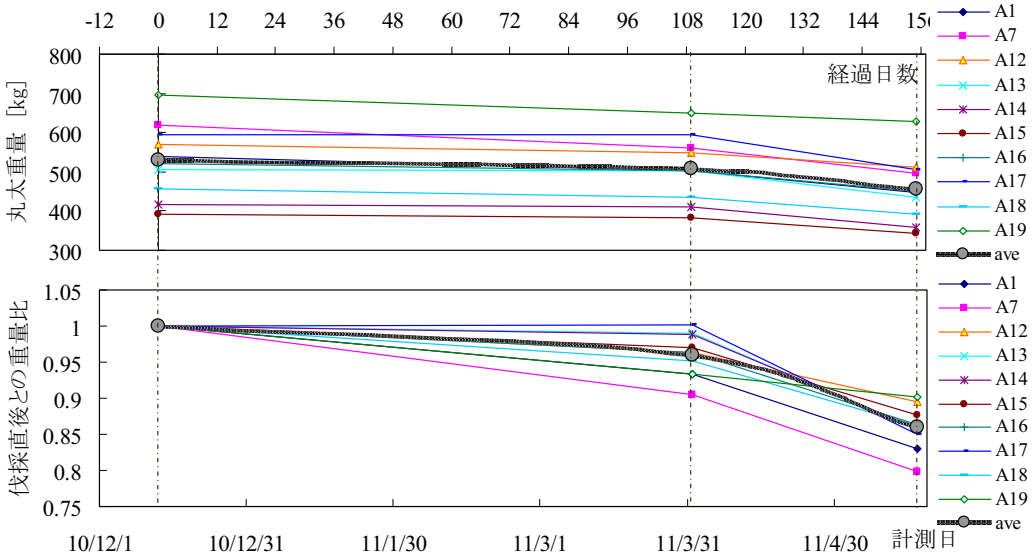


図5.4.2-2　葉枯らし乾燥丸太の重量変化量（上）、変化率（下）

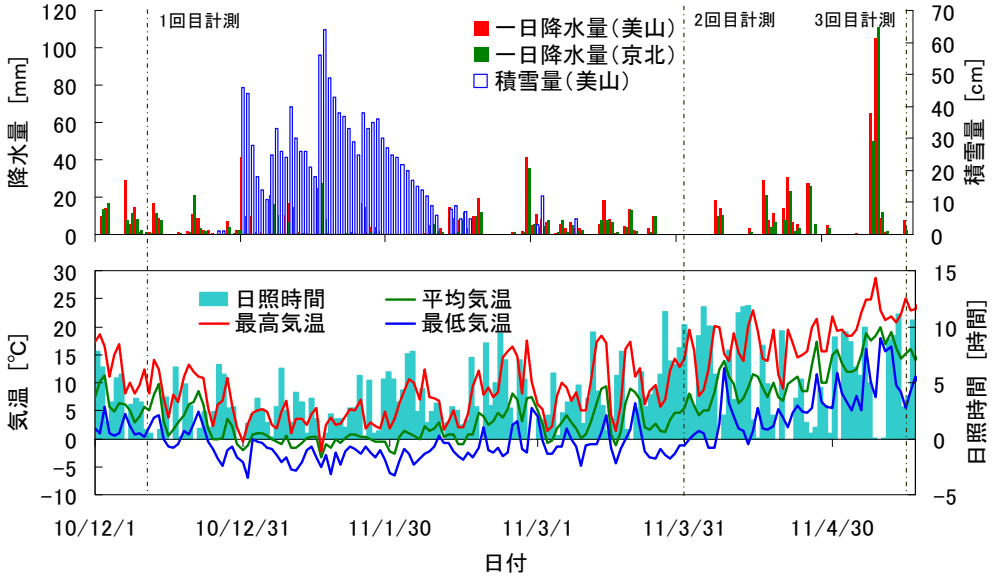


図5.4.2-3　美山・京北地域におけるアメダス降水量・積雪量推移（上）、気温・日照時間推移（下）
（気象庁・気象統計情報より：http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html）

(b) 円盤内部含水率分布とその処理方法

林地で採集した円盤はそのつど気密袋に密閉し試験室に持ち帰り、全乾法による含水率計測に供した。図5.4.2-4は含水率測定用供試体の採取方法を示す。円盤内で髄を通る直線上で幅20mm厚さ40mm程度の板状に加工し、これを髄を中心として20mmごとに切り分けてL×R×T=40×20×20(15) mmの小片を作成し、含水重量を計測後105℃のオーブン中で48時間乾燥させた後に全乾重量を計測することで全乾法による含水率を計測した。なお、全乾法による含水率は以下の定義による。

乾法による含水率(%)＝（含水重量－全乾重量）／全乾重量×100

測定された含水率はその試験片を採取した位置情報と関連付けて記録した。

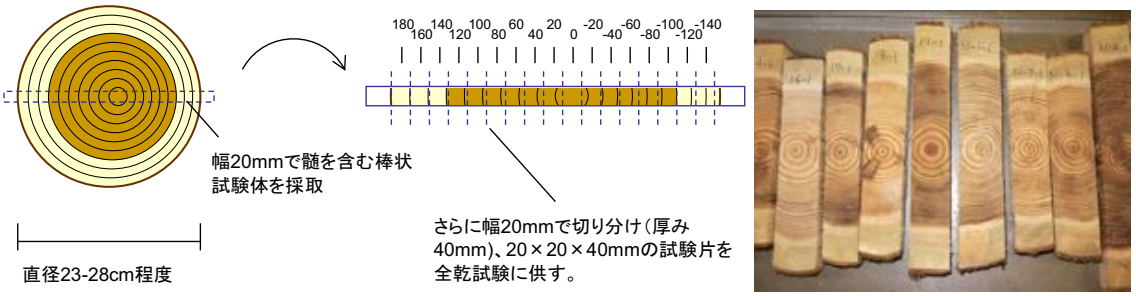


図5.4.2-4　左）全乾法含水率測定用供試体の採取方法、右）円盤断面（N：非葉枯らし）

図5.4.2-5は丸太の根元近辺から採取した円盤内における含水率の分布の実測例を示す。根元部分では12/13、4/1、5/17の三回に渉って円盤を採取したため、含水率変動の経過を見ることができる。そこで同じ丸太から3回採取した含水率分布を重ねて示した。図中log no.は表5.4.2-2の計測された丸太の番号と、1st,2nd,3rdの各曲線は、林地計測を行った時期のものとそれぞれ対応する。初期の根元円盤含水率分布は大まかな傾向として、最外層辺材部が最も高く（200%程度)、その後心辺材境界の白線帯まで徐々に低下して最低値（50%程度）を示し、心材部では髄付近が最も高い含水率（100%程度）を示した。葉枯らし乾燥期間の終了時には、全体として、特に辺材部分の含水率が

低下した傾向が見られた。なお、辺材部での含水率の変化については、12/13-->4/1の早い段階で低下を示したものと、4/1-->5/17の段階で低下を示したものがあった。

ところで根元付近で3回に分けて採取した円盤は、個体ごとにその傾向に大きなばらつきがあることや、そもそもの径や辺材厚が様々に異なるであるため、含水率分布の統計的比較が困難であることが図5.4.2-5からも分かる。そこで、根元で採取した円盤に対し、辺材位置を基準に規格化を行うことで個体間の比較を行った。すなわち、髄から心辺材境界までの距離を100%として、15%刻みの距離における含水率値を周辺2点の実測値から比例換算で補完し、個体全体の平均値を求めた。図5.4.2-6は、現地計測1回目と3回目の全数10体の補完含水率分布曲線と、その平均値を示す。

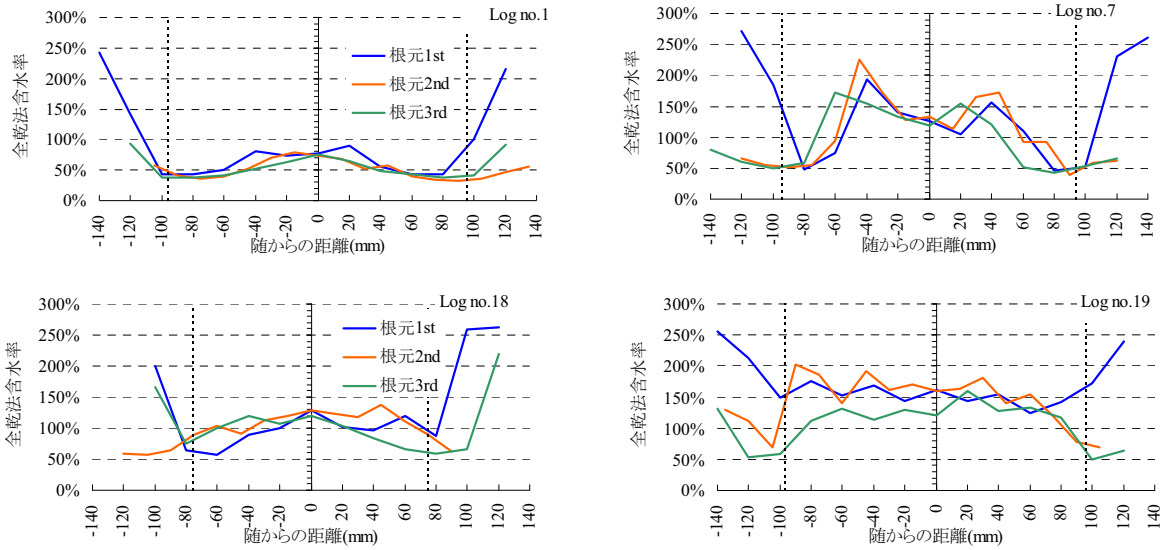


図5.4.2-5　円盤内含水率分布の実測例
根元円盤の含水率の変化（12/13, 4/1, 5/17）（log1, 7, 18, 19）

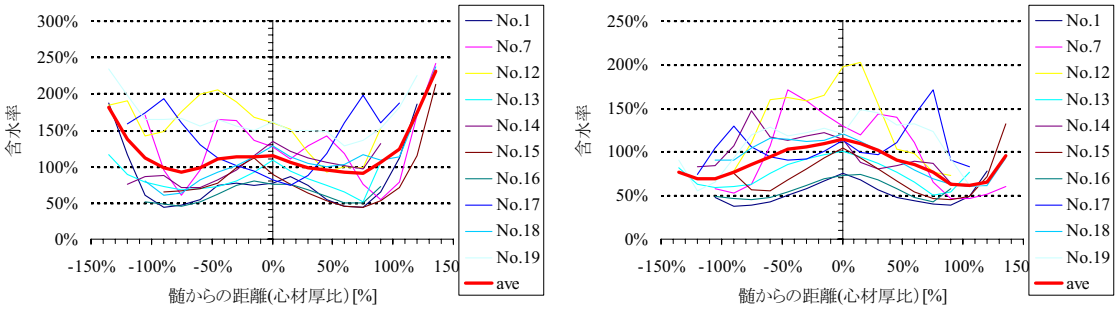


図5.4.2-6　含水率分布の規格化と1回目と3回目の平均値

(c)根元円盤含水率

(b)で述べた平均化処理をすることで、ばらつきの大きい計測結果の全体的な傾向を捕らえることができる。図5.4.2-7は1回目（12/13：葉枯らし開始時）と3回目（5/17:葉枯らし終了時）の根元円盤規格化含水率分布の全体の平均値同士を比較した。また上記に加え、1回目と3回目の差すなわち含水率の低下量を棒グラフで示したものを重ねて示した。また、表5.4.2-3にはそれぞれの個体の、心材部、辺材部、および全体における平均含水率の値を示した。その結果、以下の点が明らかとなった。

①　図5.4.2-7より、含水率低下は辺材部に集中しており、そこでは期間中に50-100%もの低下が見

られた。葉枯らし期間終了時には平均70%程度の含水率にまで低下した。さらに白線体を含む、心辺材境界を越えたすぐ内側でも20-40%程度の含水率の低下が見られた。

② 一方、さらに芯側の心材部分ではほとんど含水率に変化が見られなかった。髄付近においては、平均で含水率100%以上の高い値を葉枯らし乾燥期間中維持した。

③ 表5.4.2-3より、初期含水率の全体平均値は121%から終了時には全体平均値90%へと低下した。

④ この間に、辺材部の含水率平均値と心材部の含水率平均値の比は辺材/心材=1.73から0.99へと低下し、心材と辺材の含水率平均値がほぼ等しくなった。

⑤ 結果として、葉枯らし乾燥処理により辺材部の含水率が低下することで円盤内の含水率分布が平均化される効果があったといえる。一方で心材部の含水率低下には葉枯らし乾燥はほとんど影響しなかったといえる。

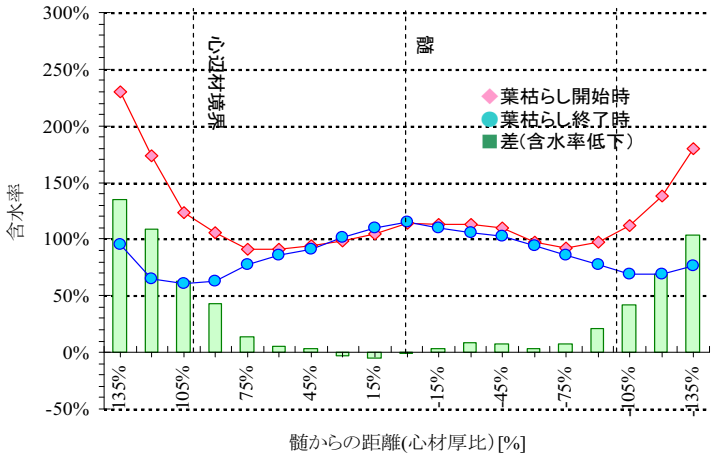


図5.4.2-7　1回目3回目平均値同士の比較と含水率低下

表5.4.2-3　葉枯らし開始時と終了時の根元含水率の変動

			No.1	No.7	No.12	No.13	No.14	No.15	No.16	No.17	No.18	No.19	ave
1st	全体	ave	0.93	1.43	1.58	0.97	1.04	0.85	0.81	1.50	1.31	1.71	1.21
		cv	0.69	0.54	0.34	0.49	0.32	0.58	0.62	0.40	0.54	0.22	0.47
	心材	ave	0.62	1.11	1.47	0.76	0.98	0.68	0.61	1.32	0.99	1.52	1.01
		cv	0.30	0.44	0.30	0.24	0.23	0.37	0.23	0.37	0.23	0.10	0.28
	辺材	ave	1.49	2.00	1.81	1.34	1.15	1.37	1.41	2.03	1.75	2.06	1.64
		cv	0.55	0.45	0.38	0.47	0.43	0.56	0.56	0.34	0.54	0.22	0.45
	心/辺		2.40	1.80	1.23	1.78	1.17	2.01	2.29	1.53	1.76	1.36	1.73
3rd	全体	ave	0.56	0.94	1.13	0.86	0.95	0.78	0.65	1.01	1.07	1.07	0.90
		cv	0.36	0.50	0.48	0.41	0.30	0.41	0.49	0.36	0.44	0.33	0.41
	心材	ave	0.51	1.12	1.33	0.78	1.05	0.69	0.56	1.07	1.00	1.27	0.94
		cv	0.26	0.44	0.40	0.24	0.26	0.30	0.22	0.35	0.20	0.11	0.28
	辺材	ave	0.66	0.62	0.69	0.96	0.79	1.04	0.91	0.83	1.17	0.71	0.84
		cv	0.46	0.20	0.22	0.53	0.29	0.48	0.65	0.39	0.62	0.47	0.43
	心/辺		1.28	0.55	0.51	1.23	0.75	1.50	1.61	0.77	1.16	0.56	0.99

(d) 樹幹内鉛直含水率分布

先に述べたように、葉枯らし乾燥終了時、丸太を山から搬出する際に、葉枯らし材10本、生材4本の丸太から、「1番玉下（根元）」、「1.5番玉と2.5番玉の中間」、「2.5番玉の上部」の3地点において含水率測定用の円盤を採取した。そこで、これを用いて樹幹内での鉛直方向の含水率分布とそれに及ぼす葉枯らし乾燥の影響を評価した。なお、(c)節で述べた根元円盤の場合と同様に、円盤同士、個体同士の相互比較を行い、統計処理を行うため芯を基準とした規格化を行ったが、高さ方向に採取した円盤に関しては辺材位置を記録しなかったため、根元円盤の場合と若干異なり、規格化のための基準となる値を円盤の径とした。すなわち、髄から円盤端までの距離を1として、0.1刻みの含水率分布を比例配分によって計算した。

図5.4.2-8に規格化した含水率分布から算出した全個体平均値を樹幹内高さ位置同士で比較した。位置によって辺材厚さが異なるため、最低含水率を示す髄からの距離に若干の差が見られるが、葉枯らし材では1番玉下でも2番玉上でも辺材含水率が概ね100%強を示し、図5.4.2-7に示す、葉枯らし開始時の根元部分の辺材含水率（200%強）と比べて大幅に低下しており、樹幹内の高さ位置によらず乾燥が進んだことが見て取れる。一方で非葉枯らし材においては当然のことながら、樹幹内高さ位置全体にわたって、辺材部分の含水率は200%程度と高く、葉枯らし材とは全く異なる傾向が見て取れる。

一方で仮にこの非葉枯らし材の高さ方向の含水率分が、葉枯らし材の葉枯らし乾燥開始時に同様に分布していたものと仮定し、高さ位置ごとに比較したものを図5.4.2-9に示した。図中にはその際の円盤内位置における非葉枯らし材と葉枯らし材の含水率差を併せて棒グラフで重ねた。その結果、樹幹内位置が上部にいくほど元々の辺材含水率が低く、葉枯らし乾燥後の辺材含水率が高かった様子がうかがえる。その結果として、葉枯らし乾燥の効果（辺材含水率の低下）は樹幹内位置が低いほど顕著であった。この結果はそもそも伐採時期が異なり（非葉枯らし乾燥材は5月中旬の伐採時の値であり、根元からの水分移動が始まる頃であったとも言える）、さらに異なる個体グループ間の比較であるため正確とは言えないが、参考のために示した。

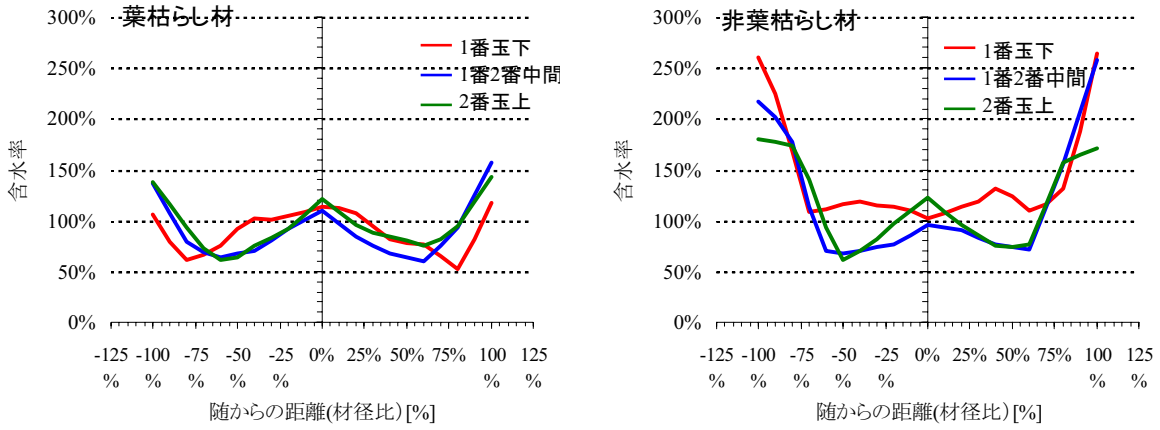


図5.4.2-8　規格化含水率分布の樹幹内高さ位置による差異

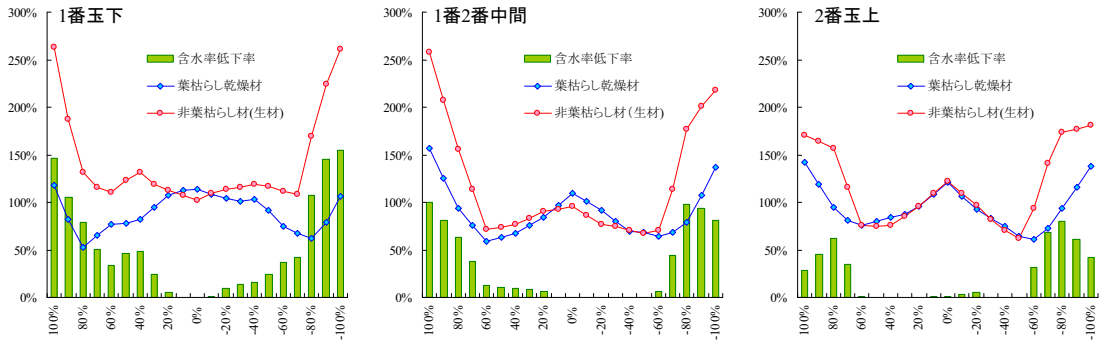


図5.4.2-9　規格化含水率分布の比較（葉枯らし-非葉枯らし）

5)製材後含水率

これまでの考察により、葉枯らし乾燥により含水率が低下する効果が見られるが、その部分は主に辺材部であることが分かった。一方で、辺材部分は製材されるとある程度除去されてしまう。そこで製材後の試験体の含水率分布を評価した。葉枯らし乾燥材と非葉枯らし材について、製材後すぐの全乾法含水率と表面含水率を調査した。葉枯らし乾燥材と非葉枯らし材はそれぞれ干割れ測定に供したものを対象とした（全数それぞれ30体から選別された10体)。すなわち、4mの角材をそれぞれ2mに切断したが、その際、両者の中央から5cm厚程度の横断板を採取し、全乾法により全体の平均含水率を計測した。表面含水率は2m製材の各面3カ所で計測した電気抵抗式含水率計(moco-II、設定：スギ・10mm）による値の平均値とした。

図5.4.2-10に、全乾法と表面電気抵抗法における、葉枯らし乾燥材、非葉枯らし材それぞれの含水率の発生頻度を示した。両方とも概ね正規分布様の分布形状を示したが、非葉枯らしに対して葉枯らし乾燥材分布形が減少方向に移動し、またその減少量（%）はそれぞれ13%（全乾法含水率)、17%（表面含水率）であった。表面含水率の減少度合いが大きかったのは辺材部での乾燥が進展したためと思われる。

表5.4.2-4は葉枯らし乾燥終了後に根元部で採取した円盤から求めた全乾法含水率の計測値と併せて比較したものである。製材含水率の葉枯らし乾燥材／非葉枯らし材の含水率比率は円盤のそれと比べて1に近く、葉枯らし乾燥による効果が減少していることを示した。これは非葉枯らし材の円盤含水率を高くしている辺材部分が製材では大部分除去されていることによる。一方で完全に除去された訳ではないため、製材後も非葉枯らし材が葉枯らし乾燥材より含水率が高い値を示した。なお、葉枯らし乾燥材においても円盤含水率が製材含水率より高い値を示すのは、製材によって断面が減少することにより、最も含水率が小さい辺心材境界部が全体に与える影響の度合いが、相対的に大きくなるためと考えられる。

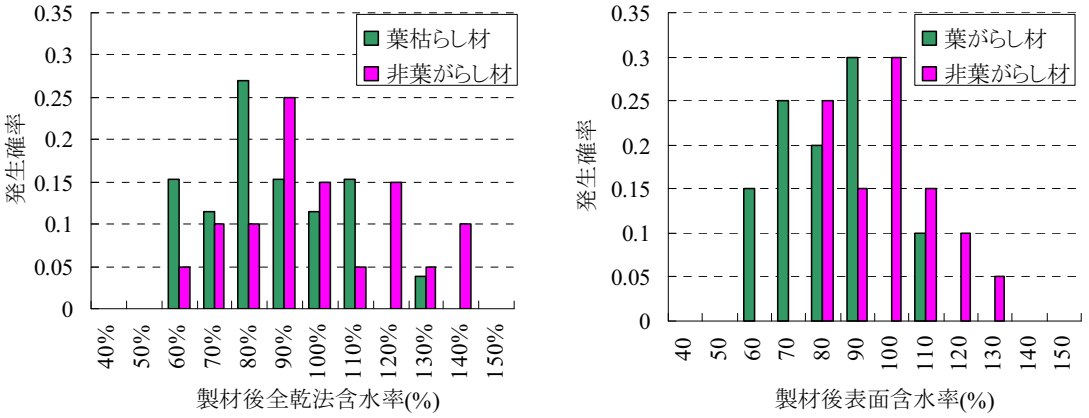


図5.4.2-10　製材後の試験体含水率分布

表5.4.2-4　製材後の試験体含水率平均値とばらつき係数

		根元円盤	全乾法	表面
葉枯らし材	平均(%)	90.1	82.2	75.0
	c.v.	0.08	0.22	0.19
非葉枯らし材	平均(%)	144.1	95.6	92.4
	c.v.	0.27	0.24	0.15
葉枯らし/非葉枯らし		0.63	0.86	0.81

		葉枯らし材心材	葉枯らし材辺材	生材心材	生材辺材
参考(根元円盤)	平均(%)	94.0	83.7	100.7	164.0
	c.v.	0.10	0.19	0.10	0.07

※非葉枯らし材の円盤含水率は5/17伐採の4体の平均値

（２）葉枯らし乾燥材を用いた干割れ測定

1)概要

本項では京都地域における、葉枯らし乾燥材を用いた干割れ測定の結果について述べる。

干割れ測定に供した材料は、前項、前々項で述べた、京都府京北地域で採取した、葉枯らし乾燥材、非葉枯らし材をそれぞれ20本ずつである。ただし、各条件20本からさらに実際に干割れ測定に供する試験体を各10本選び、残りはダミー試験体10本として選別し、ダミー試験体については計測を行わなかった。試験体の木取りや割れ計測に際しての配置については、他地域において実施した同様の試験と基本的に同一のため、ここでは詳しくは述べないが、林地から降ろした後、直ちに長さ4m強、断面約135mmの正角材に製材し、さらにそれを各2mに切断し、図5.4.2-11の様に元末を考慮して、試験体設置位置を決定した。なお、図中墨塗り部分が計測用試験体、色無しの部分はダミー試験体を表す。なお、京都地域では、通常の小屋がけ条件：雨ざらし条件に加えて、葉枯らし乾燥材：非葉枯らし材の条件が加わるため、計4条件の比較となる。

小屋がけ 葉枯らし

15M	A6M	18S	A12M	A4S
A19S	17M	A1M	X16S	14M
A2M	XA10M	19S	A7S	A11S
A20S	X12M	A8M	X1S	A13S

屋根無し 葉枯らし

15S	A6S	18M	A12S	A4M
A19M	17S	A1S	X16M	14S
A2S	XA10S	19M	A7M	A11M
A20M	X12S	A8S	X1M	A13M

小屋がけ 生材

N13M	ON5	N11M	ON18	N19S
N9M	ON15	N8S	ON4	N10M
ON14	ON6	N25M	ON24	ON23
N3M	ON22	N16S	ON1	N2M

屋根無し 生材

N13S	ON5	N11S	ON18	N19M
N9S	ON15	N8M	ON4	N10S
ON14	ON6	N25S	ON24	ON23
N3S	ON22	N16M	ON1	N2S

図5.4.2-11　干割れ計測用試験体の配置

干割れ計測用の試験体の設置場所は京都大学宇治キャンパス内のアスファルト地面の駐車場であり、北側4mに2階建てRC建築物、西側に灌木およびその後背地に空き地、東側30mに平屋RC建築物、南側に草原のある土地である（写真5.4.2-3(左)）。

試験体は材軸が南北に向くよう20本ずつを1ブロックとして設置した。小屋がけの方法、桟木の挿入法、コンクリート製ブロック上に載せる間隔や地面との距離等の試験体設置に関わる諸条件は他地域の内容と同一である。写真5.4.2-3(右)は全4条件の試験体ブロックの設置状況を示す。

干割れ計測期間中は通年にわたり、データロガー付温湿度計（おんどとり）を用いて、小屋がけ条件の小屋裏（2箇所)、小屋がけ条件の足場ブロック部（1箇所)、および雨ざらし条件の足場ブロック部（1箇所）の計4箇所で温湿度を1時間おきに記録した。

計測項目についても、他地域と基本的に同様であるが、測定用試験体については①全体重量、ABCDの各表面において②表面含水率（各面3箇所)、③中央幅、④干割れ本数、⑤干割れ長さ、⑥干割れ幅、⑦干割れ深さ、をそれぞれ計測した。なお、京都地域においてはダミー試験体に関していずれの計測項目も実施しなかった。計測スケジュールは複数日に渉った回もあるが、概ね6/8、6/15、6/20、6/28、7/4、7/29、9/14、10/27である。





写真5.4.2-3　試験体設置場所（左)、小屋がけ材、雨ざらし材の設置状況（右）

図5.4.2-12に京都地域のアメダスによる、干割れ計測期間の降水量、日照時間、平均湿度、気温、平均風速の経過記録を示す。今回の干割れ計測は6月上旬に開始したが、特に梅雨の時期に降水量が多くなることは無かった。また湿度は概ね60%以上であり、特に乾燥した雰囲気では無かったと言える。7月から8月にかけて日照時間が長く、気温も30℃を上回る日が続いた。

写真5.4.2-4a～dは干割れ測定期間における、試験体の表面の見えがかりの変遷を写真で示した。計測開始からおよそ1ヶ月強たった7/26の段階で既に大きな割れが入り始めているのが見て取れる。また、夏期を経て直射光に晒された試験体は、10/26の写真で見られるように、全体が薄黒く劣化した。小屋がけ乾燥条件においては、このような表面の劣化の程度は、雨ざらし乾燥条件と比べて少なかった。

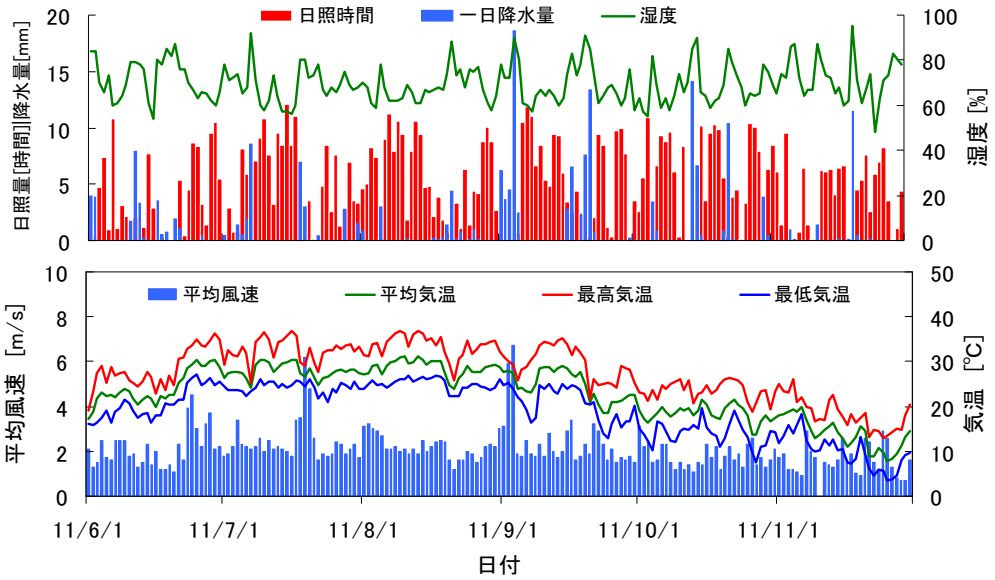


図5.4.2-12　京都地域におけるアメダス降水量・日照時間・湿度推移（上）、気温・平均風速推移（下）
（気象庁・気象統計情報より：http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html）




写真5.4.2-4a　6/18製材後の断面　左）葉枯らし材、右）非葉枯らし材




写真5.4.2-4b　7/26計測時　左）非葉枯らし小屋がけ、右）葉枯らし雨ざらし




写真5.4.2-4c　9/13計測時　左）非葉枯らし小屋がけ、右）葉枯らし雨ざらし




写真5.4.2-4d　10/26計測時　左）非葉枯らし小屋がけ、右）葉枯らし雨ざらし




写真5.4.2-4e　干割れ計測の様子

2)重量減少から見た乾燥の進行

干割れ計測期間中の乾燥の進行の度合いを図るのに、全体の重量を用いた。図5.4.2-13は重量減少の経過を示したものである。梅雨や真夏期の影響を余り受けずに、概ね一律に経過時間の逆数に対する指数関数的に減少している様子が見て取れる。

製材直後の重量に対する重量変化の比率の経過を図5.4.2-14に示した。9/14から10/27にかけ、重量減少がほとんど進行せず、概ね平衡状態に達したことがわかる。干割れ測定を開始してから約100日経過後のことであった。その状態に至るのに葉枯らし乾燥材と非葉枯らし材で、あるいは小屋がけ乾燥条件と雨ざらし乾燥条件でどちらが早く達するという傾向は認められず、天然乾燥の開始から概ね同じ時間で平衡状態に至ったと考えられる。

今回の供試体は、干割れ測定開始前に2分した際に全乾法による含水率計測を行った。そこでその含水率を試験体全体の初期含水率であると見なすことで、重量変化から任意の測定時の含水率の値を推定できる。

推定含水率[%]:$MC_e=\alpha(MC_o+100)-100$

ただし、α：重量変化率、MC_o：全乾法による初期含水率[%]

この関係を図5.4.2-15に示した。また10/28の段階でのその平均値等を表5.4.2-5にまとめた。いずれの条件でも20%程度にまで低下した。

図5.4.2-16はそれぞれの条件での推定含水率の平均値を取り、その変化を比較したものである。初期含水率は葉枯らし乾燥材が非葉枯らし材に比べてやや低い状態で計測が開始したが、その後もしばらくは低い値を維持するものの、含水率減少速度は非葉枯らし材がやや大きく、両者の差は縮まった。全ての条件で天然乾燥を開始してからおおよそ100日を経過した段階でおよそ平衡状態（含水率20%）に達したことを考えると、その間の含水率変動は、葉枯らし乾燥材で概ね60%、非葉枯らし材ではおよそ80%である。すなわち、非葉枯らし材では葉枯らし乾燥材に比べて早い速度で乾燥が進むため、干割れの誘発に対しての影響が考えられる。同図右には各条件ごとの推定含水率の

差を示した。曲線Aは小屋がけ乾燥同士の比較（非葉枯らし-葉枯らし乾燥）、曲線Bは雨ざらし乾燥同士の比較（非葉枯らし-葉枯らし乾燥）、曲線Cは葉枯らし乾燥材同士の比較（雨ざらし-小屋がけ）、曲線Dは非葉枯らし材同士の比較（雨ざらし-小屋がけ）をそれぞれ示している。

曲線Aでは天然乾燥を開始してからおおよそ50日を経過した段階で推定含水率の差は7%程度であったが、雨ざらし状態の曲線Bではその佐賀2%以下にまで低下した。すなわち、雨ざらし状態の葉枯らし乾燥材は、非葉枯らし材との差が認められなくなった。また曲線Cでも同様に葉枯らし材同士での推定含水率差が広がっており、このことから葉枯らし乾燥材を雨ざらし状態で天然乾燥を行うと、一度やや乾燥し他辺材付近が再度雨水を含み、非葉枯らし条件と変わらなくなってしまうことが示唆された。

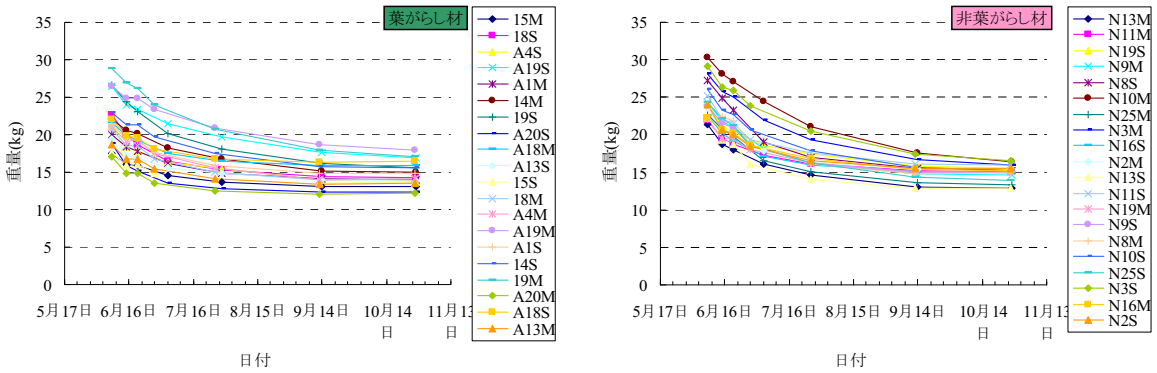


図5.4.2-13　重量減少量の経過

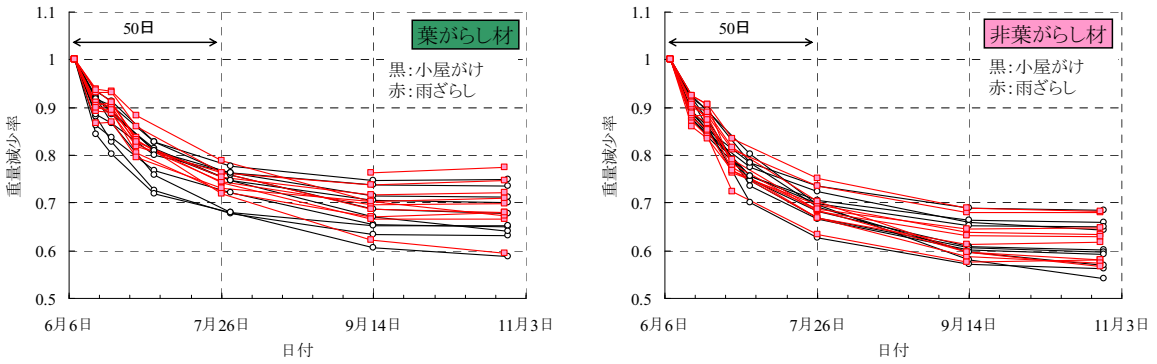


図5.4.2-14　重量変化率の経過

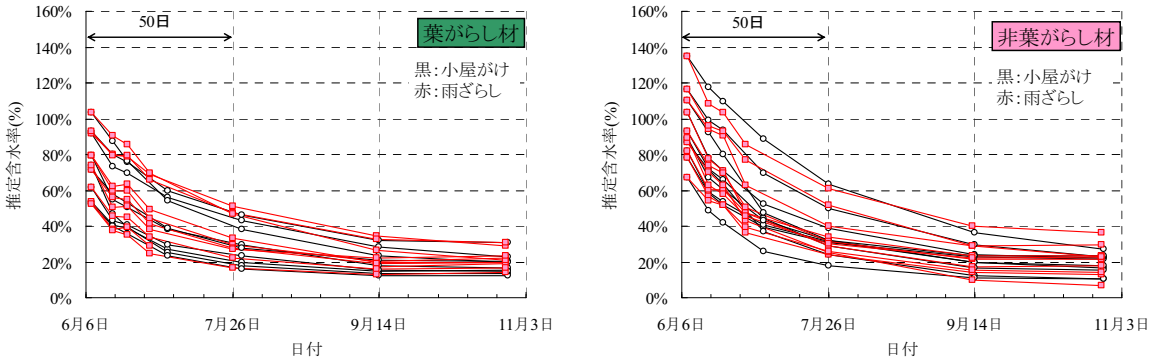


図5.4.2-15　推定含水率の経過

表5.4.2-5　10/28時点での推定含水率

葉枯らし	小屋がけ	ave	17.9%	非葉枯らし	小屋がけ	ave	18.8%
		cv	31.5%			cv	30.1%
		max	30.6%			max	27.0%
		min	12.2%			min	10.2%
	雨ざらし	ave	21.5%		雨ざらし	ave	20.8%
		cv	24.3%			cv	40.5%
		max	31.0%			max	27.0%
		min	13.9%			min	7.0%

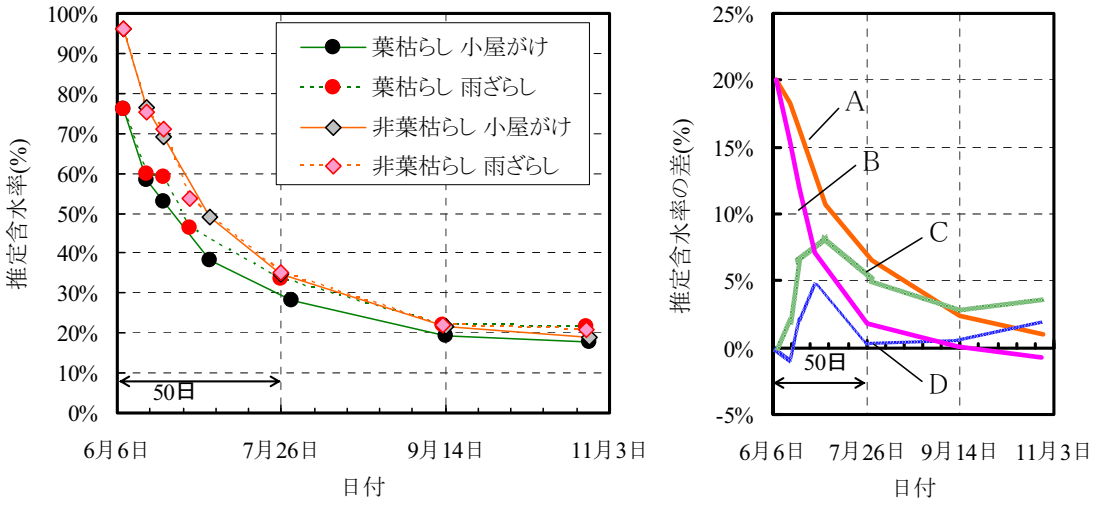


図5.4.2-16　推定含水率平均値の経過と条件ごとの比較（左）、および各条件ごとの差（右）
A: 小屋がけ同士（非葉枯らし-葉枯らし乾燥）
B: 雨ざらし同士（非葉枯らし-葉枯らし乾燥）
C: 葉枯らし同士（雨ざらし-小屋がけ）
D: 非葉枯らし同士（雨ざらし-小屋がけ）

3) 干割れ測定結果

図5.4.2-17に干割れ測定点における、干割れの深さと幅の分布を示す。干割れは6/28の測定時から急激に発生し始めた。これは概ね推定含水率が40-50%程度に達した時期と一致する。割れは局部的に含水率が繊維飽和点である30%以下に達しないと発生しない。図5.4.2-18に示す、表面含水率と推定含水率の関係を見ると、表面含水率は6/20-6/28のおよそ一週間で急激に低下した。この間若干梅雨気味であった天候が明けたため、晴天の日が多くなったためであると考えられる。実際、電気抵抗式含水率計の計測値でも6/28に30%程度まで急激に表面含水率が低下した様子が見て取れる（図5.4.2-19）。ところで6/20に一度含水率が上昇しているのは数日前が雨天であったためだが、葉枯らし乾燥材の雨ざらし条件では天然乾燥の開始時前よりも大幅に表面含水率が増加した。その上昇率は非葉枯らし材の雨ざらし条件よりも大きく（図5.4.2-19）、葉枯らし乾燥で乾いた表面に雨水がしみこみやすかったためであると考えられる。一方でその一週間後の6/28には再度急激に含水率が低下しており、このような急激な含水率変化は干割れの発生にとっては望ましいものでないと言える。

図5.4.2-17に示した、干割れの深さと幅の分布からは干割れの最大深さや幅が、乾燥後の日がたつほどに徐々に増大していく様子が見て取れる。また、ある点における割れ幅と深さの間には一定

の相関関係があり、その近似直線を定めると、割れは平面において発生すると仮定した場合、原点を通る直線で近似でき、その傾きである割れ深さ：幅比は、割れの大きさによらず概ね8-10程度であった。この点は表面において割れ幅を計測することでその深さを知るおおよその手がかりと捕らえることが出来、今後の欠点予測のために有用な重要な手がかりといえる。

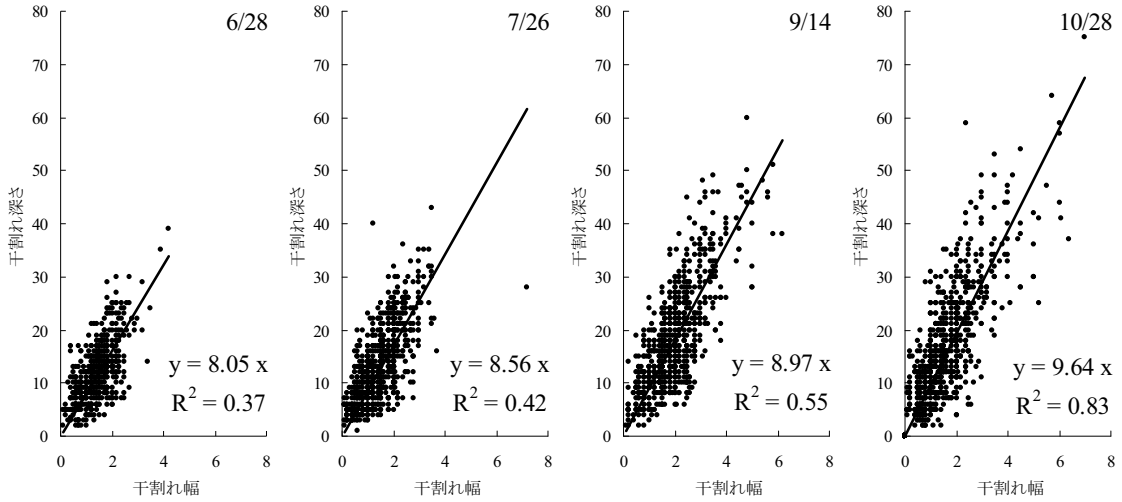


図5.4.2-17　割れ測定点における干割れ深さと幅の関係

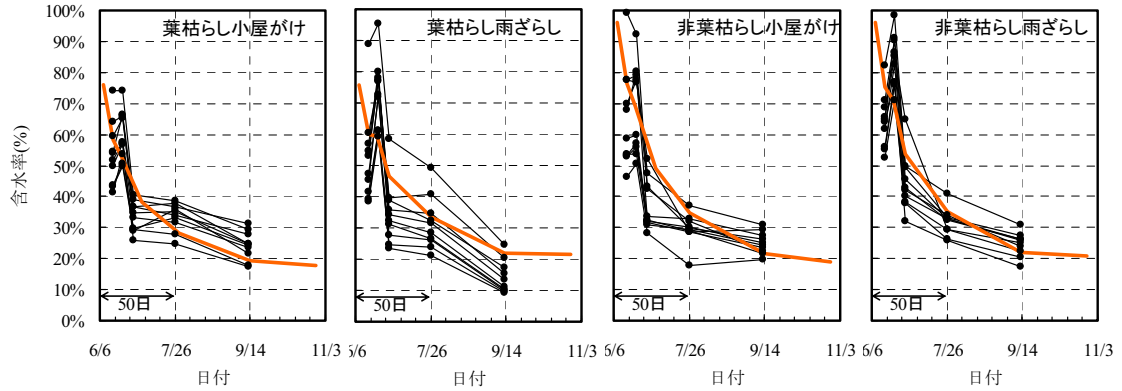


図5.4.2-18　各条件表面含水率と推定含水率の関係

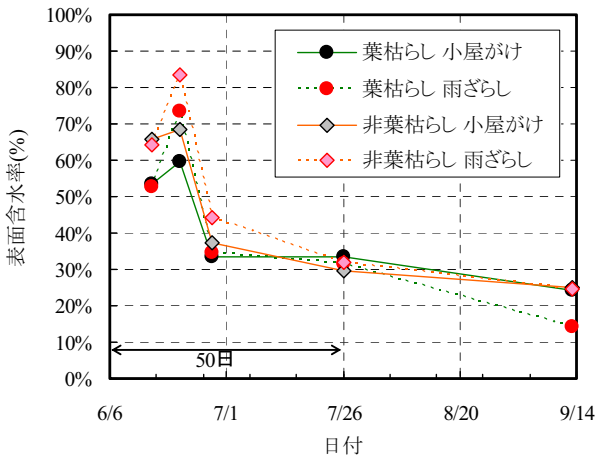


図5.4.2-19　各条件表面含水率の平均値の推移

干割れが大きく発生し始めた6/28から10/28の期間において、計測用材料の4周において計測した干割れの幅、深さ、計測点間距離、割れ長さ等の情報を用いて、個々の干割れの表面積と空隙体積を計算し、それを各面ごとに集計した。割れ面積の集計結果を図5.4.2-22に、割れ体積の集計結果を図5.4.2-23に示す。図中で色の濃い面ほど、広くて深い割れが発生したことを示す。結果を比較しやすくするために各面ごとに分けてグラフ化したものが図5.4.2-20と図5.4.2-21である。これらの図より、各面ごとに割れの発生確率や程度に傾向があるか判断できる。

図5.4.2-20上図は4周の比較である。東面と西面とに有意な差異は見出せないが、上面と下面では干割れの発生程度に大きな差が見られ、特に上面において割れの発生が著しい。さらにいずれの面でも葉枯らし乾燥材の雨ざらし条件が最も大きな割れ面積を有した。一方葉枯らし乾燥材の小屋がけ条件では特に下面において、他よりも有意に割れの発生の程度が小さかった。また総体的に雨ざらし条件が小屋がけ条件よりも大きな割れが発生したように見受けられた。これは先にも述べたように、降雨-晴天の繰り返しにより急激な表面含水率の変動が大きく、割れを大きく押し広げる働きをするためと考えられる。さらに同下図では上段と下段の比較、および総計としての各ブロック全面の割れ面積の合計値を示した。段の違いによる差異は認められなかった。また、割れ面積においては9/14まで雨ざらし条件が小屋がけ条件に比べて割れの進行が著しい傾向を示したが、最終的に内部含水率が平衡状態に達した10/28の段階では両条件の差は小さいものとなった。

同様の傾向は空隙体積についても言うことが出来（図5.4.2-21）、上面においては特に葉枯らし乾燥材の雨ざらし条件が割れの進展が最も著しく、他方で下面では葉枯らし乾燥材の小屋がけ条件が最も割れの程度が小さかった。さらに上段、下段とでは差は見られなかった。総計値としては、表面積と同様に、9/14までの期間では小屋がけ条件と雨ざらし条件、葉枯らし乾燥材と非葉枯らし材との間にある程度の差が発生する傾向が見受けられたが、最終的にその差が小さくなり、有意であるとは判断できないものとなった。

なお、総計値として、割れの表面積はいずれの乾燥条件でも概ね1200cm^{2}程度に達し、これは全表面積の約11.1%程度に及ぶものであった。割れによる空隙総体積はおよそ2500cm^{3}程度であり、これは全体積の6.8%強である。

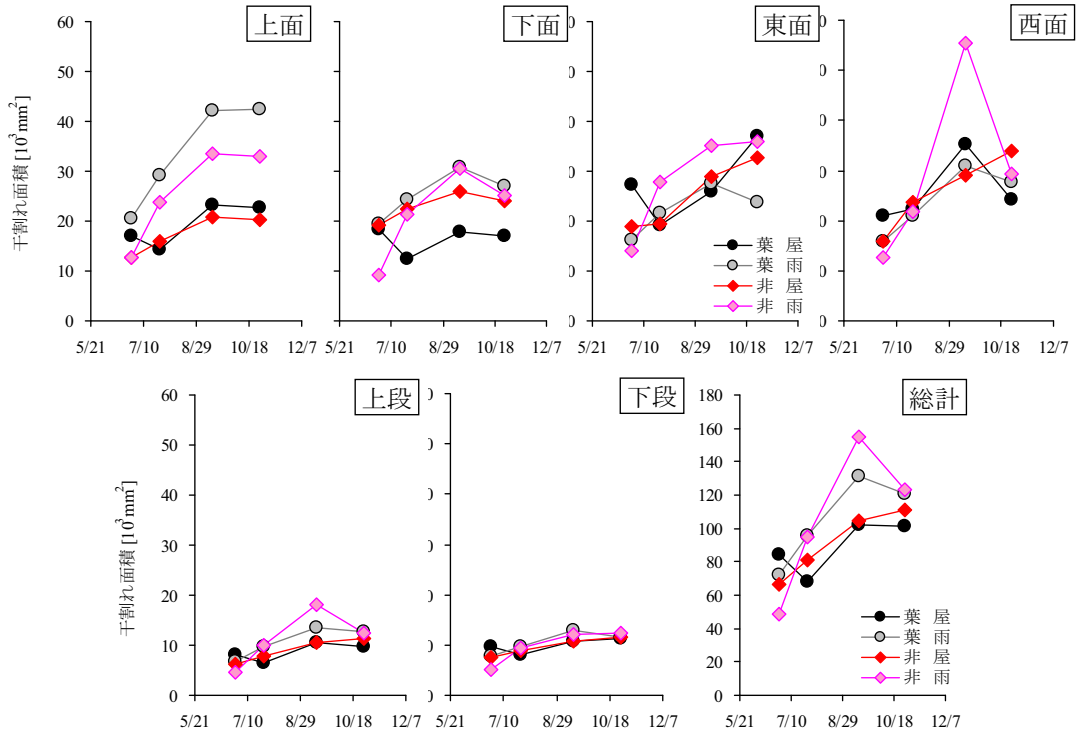


図5. 4. 2-20　各面における干割れ表面積の総和の推移：4周の比較（上）、および各段と全体値（下）

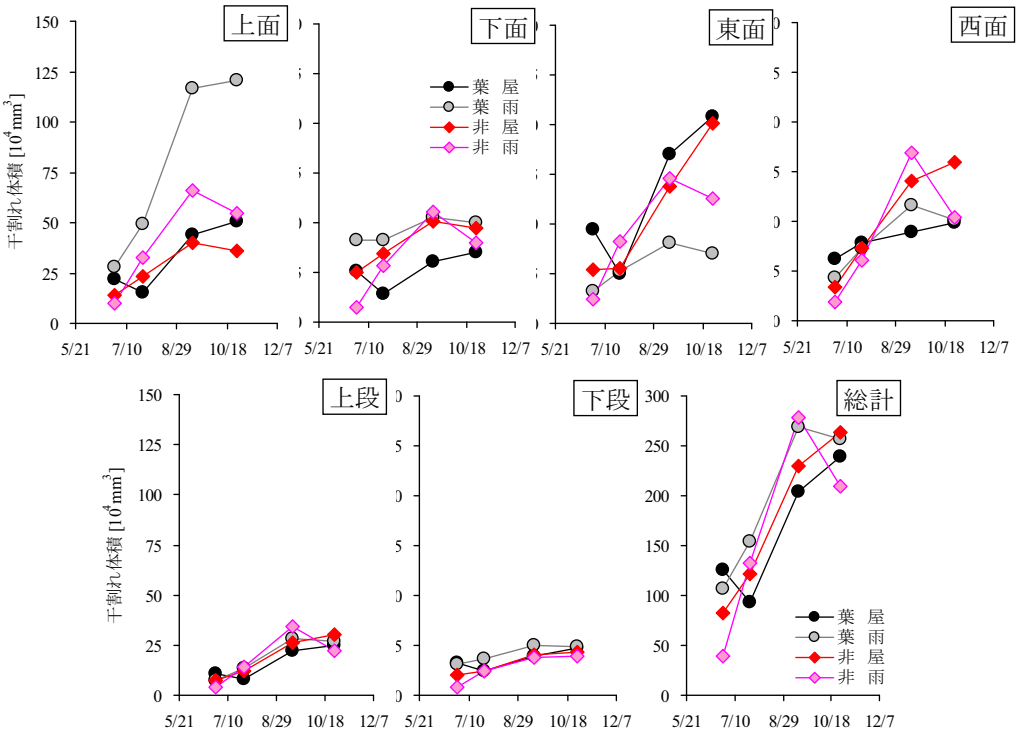


図5.4.2-21　各面における干割れ空隙体積の総和の推移:4周の比較(上)、および各段と全体値(下)

（３）まとめ

本課題では天然乾燥と干割れの進展の関係を評価する目的の調査について、京都地域において特に葉枯らし乾燥材のもたらす影響について重点的に評価を行った。得られた知見を以下にまとめる。

① 葉枯らし乾燥の過程で、特に辺材部分において含水率の顕著な低下が見られた。含水率低下は白線帯をやや越えて心材外層付近に及び、円盤内の全体的な含水率分布を平滑にすることが分かった。一方で心材内部の含水率低下にはほとんど寄与しなかった。

② 葉枯らし乾燥は、丸太状態の含水率を平均して100%弱程度に低下させた。

③ 葉枯らし乾燥した丸太を製材して辺材部分を除去することで、葉枯らし乾燥の効果は少なくなったが、平均して10数%初期含水率を低下させた。

④ 京都地域における夏期を挟んだ時期の、柱角材の天然乾燥では、葉枯らし乾燥材、非葉枯らし材を問わず、また小屋がけ乾燥、雨ざらし乾燥に関わらず、およそ100日程度で含水率が平衡状態である20%程度に低下した。

⑤ 葉枯らし乾燥材を雨ざらし乾燥を行うと、特に天側に向いた面において割れの進展が通常よりも大きくなる傾向が見られた。これは葉枯らし乾燥により一旦乾きかけた表面が雨水で濡れ、さらにまた乾燥するといった急激な含水率変化を繰り返し受けるためと考えられた。

⑥ 葉枯らし乾燥材を小屋がけ乾燥した場合、含水率が平衡状態に達する直前までは有意に干割れの進展が鈍くなる効果が見られた。ただし最終的にはその傾向が明確には見られなくなった。

⑦ 今回の試験範囲内では、天然乾燥による割れの幅と深さとの間にはおよそ1:9程度の高い相関関係が認められた。

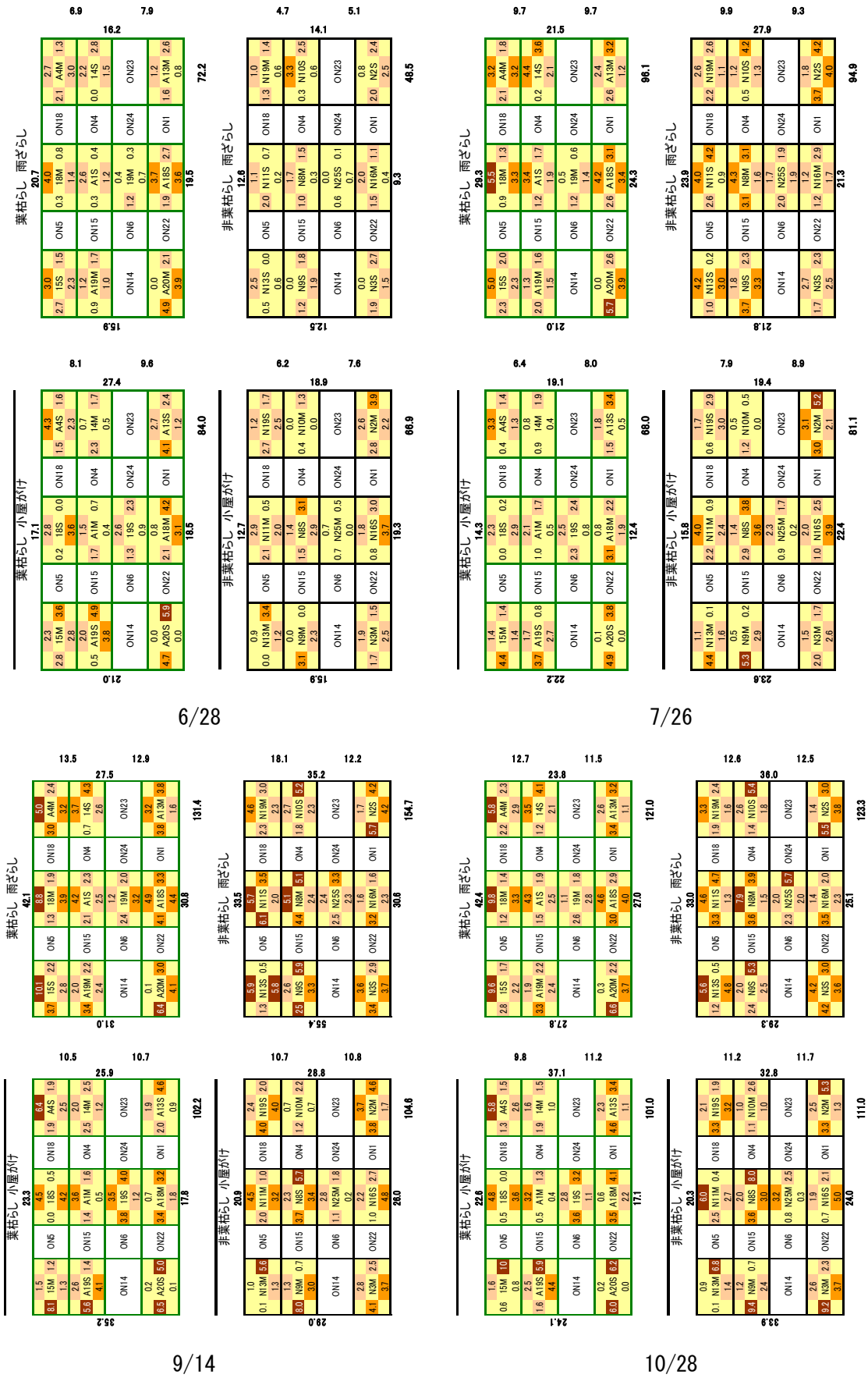


図5.4.2-22　干割れの総面積の変遷

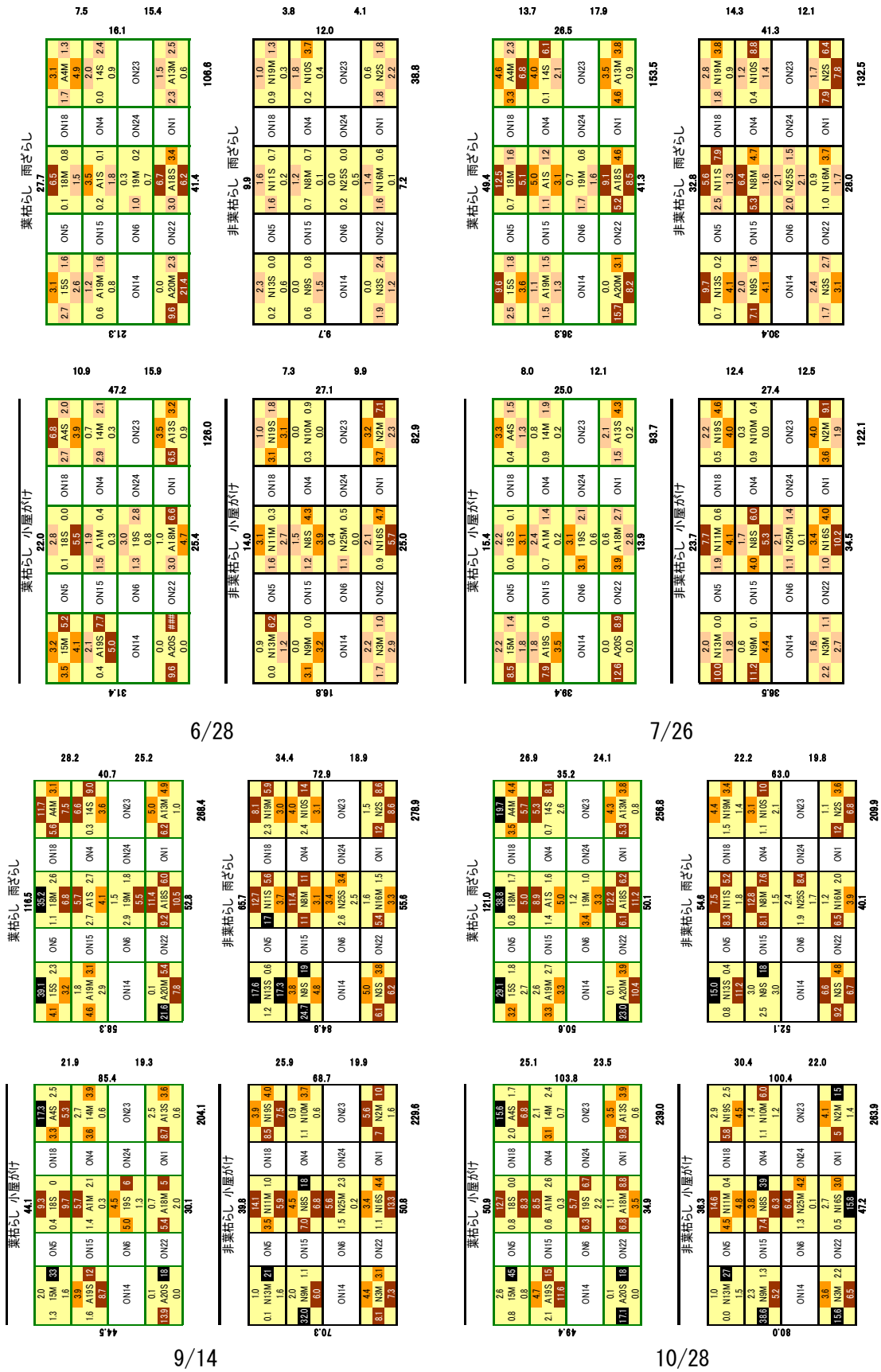


図5.4.2-23　干割れの総体積の変遷

５．４．３　多雪地での屋外における天然乾燥と干割れの進行

ここでは、多雪地である富山県で冬季から約1年間行った天然乾燥とそれに伴う干割れの発生状況について、桟積みに屋根を設けた場合設けない場合の差異を中心に報告する。

（１）試験材

富山県産スギ（タテヤマスギ）を試験材とした。図5.4.3-1に試験体の作成手順を示す。ただし、より精度を期すため、本報では試験体の含水率、比重、心材率は、試験前に採取した試験片ではなく、後で述べる試験終了後に試験体から採取した試験片の値を用いた。

平成22年11月に丸太を伐採した。根曲り部を除いた2番玉とし、末口径16～22cm（平均19.6cm）、長さ4m程度の丸太31本を採取した。丸太の時点では、末口径のみ選別し、欠点等による選別は行っていない。

採取した丸太を135mm角に粗製材し、4m材を2mに切断し、元側と末側をマッチングした2つの試験体に加工し、それぞれ31本ずつのロットとした。加工は同年12月4日に行った。

62本の2m製材から、実務者らが目視観察により、元材と末材のマッチングを考慮しつつ、実務使用上の優劣材を均等に含むように、20体2組の試験体を選別し、供試体とした。以降、屋根をかけた試験体の桟積みの組は「屋根あり」、屋根をかけない試験体の桟積みの組は「屋根なし」と略す。選別は同年12月6日に行った。加工直後から選別までの間は、ビニールシートで各ロットを梱包し、屋根のある作業小屋で養生保管した。

試験体の初期含水率、比重、心材率は表5.4.3-1に示す。マッチングに配慮したため、「屋根あり」と「屋根なし」の差異はわずかであった。

なお、試験材の丸太、採取、加工、選別などの詳細は昨年度の報告[5.4.3-1)]を参照されたい。

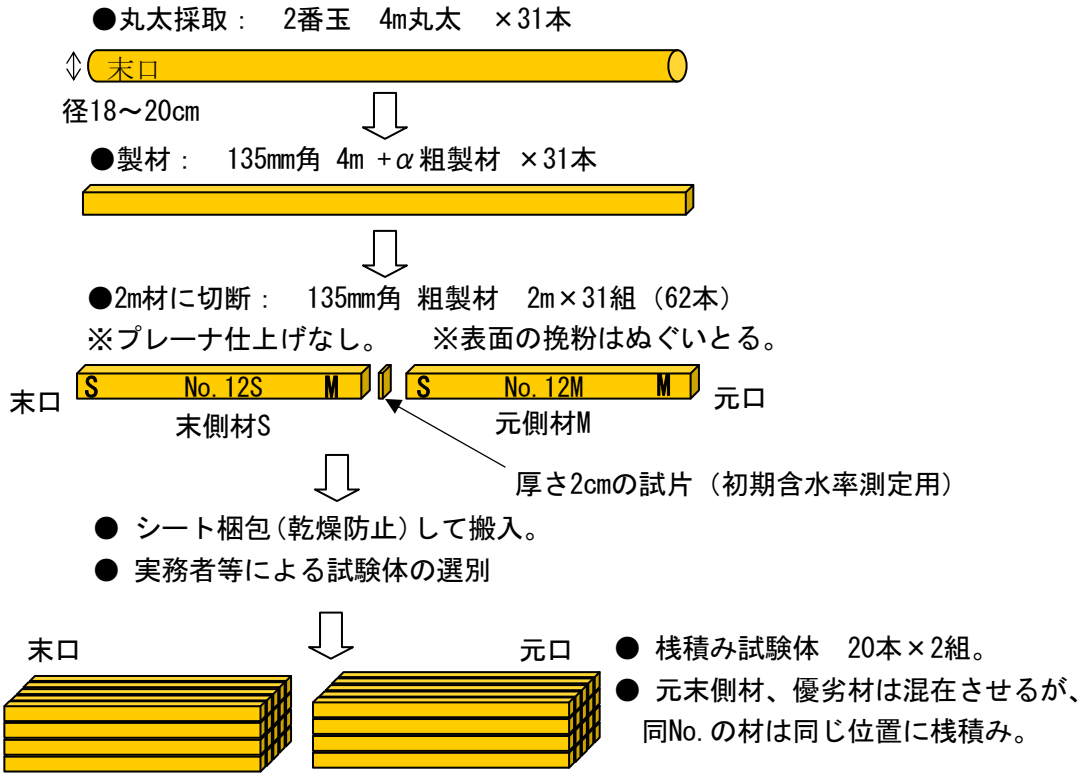


図5.4.3-1　試験体の作成手順

表5.4.3-1　各桟積み試験体の状況

桟積み	生材含水率	生材比重	気乾比重r_{15}	心材率
屋根あり	74.2%(23.9%)	0.647(12.3%)	0.442(9.9%)	93.2%(6.9%)
屋根なし	75.5%(22.0%)	0.652(11.4%)	0.440(9.7%)	90.9%(11.2%)

※生材含水率は製材加工直後の値。
※生材比重は屋外暴露の開始直前（平成22年12月7日）の値。
※気乾比重は暴露終了時の試験体の体積で、含水率15%時の推定重量を除した。
※（数値）は変動係数（＝標準偏差／平均値)。

（２）実験方法

以下に実験方法を述べる。なお、詳細は昨年度の報告[5.4.3-1)]を参照されたい。

1)天然乾燥の方法

平成22年12月4日に試験材を製材加工し、12月6日に試験体選別を行い、桟積み配置の決定ならびに各初期設定・測定を行ったのち、12月8日より屋外暴露した。

富山県農林水産総合技術センター木材研究所（富山県射水市黒河新4940）敷地内の屋外に桟積み試験体を設置・暴露した（写真5.4.3-1)。桟積みの詳細は図5.4.3-2の通りであった。

屋根あり、屋根なしとも試験体の長軸方向をほぼ南北方向とした。設置場所の南面には建物があり、朝・夕に東西からの日射の直射はあるが、昼前後の直達日射は多くない。



写真5.4.3-1　桟積みの屋外暴露状況

2)測定方法

(a)計測の概要

経時的に、暴露中の桟積みの雰囲気（周囲空気の温湿度)、重量、表面含水率、形状、表面干割れを測定した。雰囲気以外の計測は桟積みを一時的に屋内に移して行った。測定間隔は、加工日から7日間は毎日、以降2、3、4、8日間隔、24日目からは30日間隔とすることを基本とした。

(b)温湿度と気象データ

雰囲気は、各桟積みの上下計4ヶ所で温湿度を1時間間隔で計測した。測定にはティアンドディ社製Thermo Recorder TR-72Sを用いた。センサは、防滴と通気確保のため、カバーで保護した。

直達日射の影響防止ならびにセンサ・ロガーの保護のため、桟積み上部設置のセンサ・ロガーは、屋根内に設置した。暴露開始初期に暴風雨により、屋根付き桟積み下部のセンサが損傷したため、テープ被覆や暴風板を設けた。なお、試験体の屋内での測定時は、センサ・ロガーも同じ環境に移動した。また、最寄りのアメダス気象データ（富山県射水市伏木）も参照した。

●「屋根なし」の桟積みには、屋根はかけない。

●上端の桟木は「屋根アリ」のみ使用。

※　周囲は80cm(1ロット分の幅)以上あける。

主試験体(記号:数字+M or S、12体/桟積)
・M: 元側2m材、S: 末側2m材。
・「屋根なし」桟積みはM/Sが逆になる。

副試験体(記号:(数字)、8体/桟積)
・重量、含水率、寸法のみ測定。

・桟積み内の位置や向きを変えない。

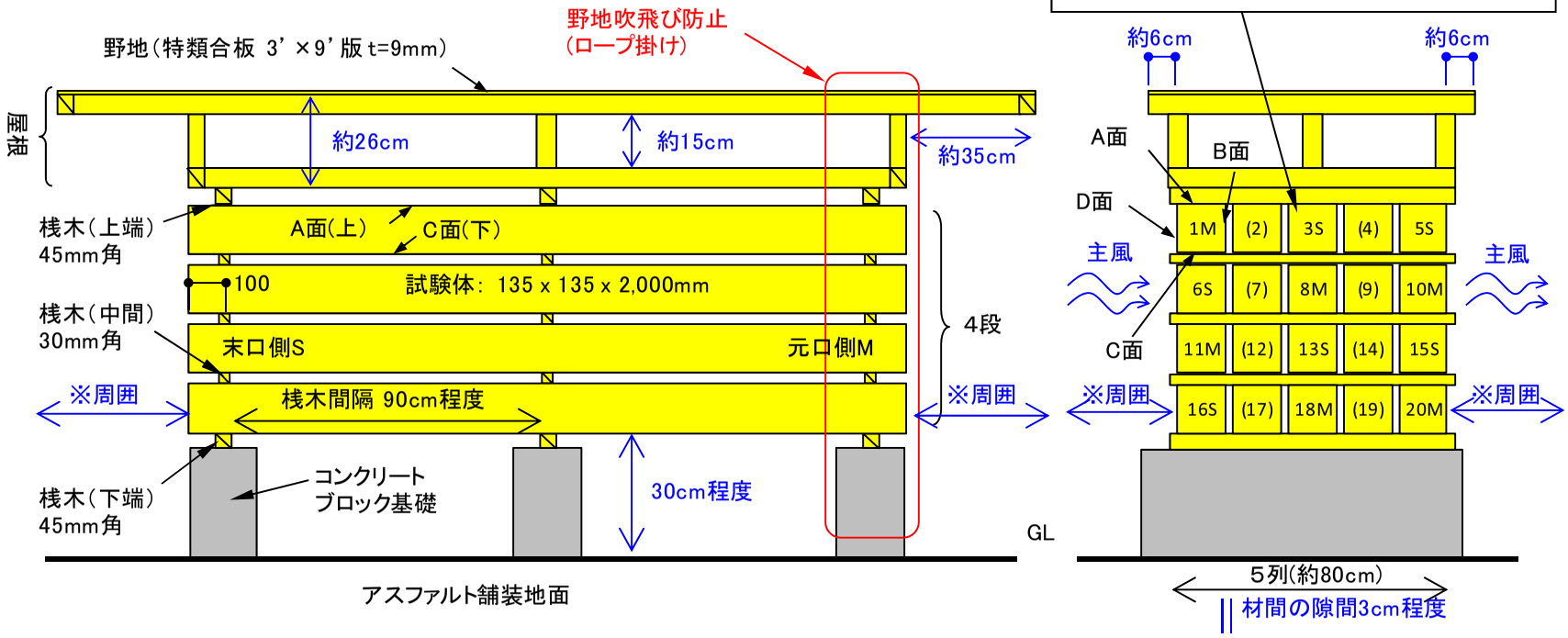


図5.4.3-2　屋外天然乾燥の桟積み方法

(c)表面含水率

表面含水率は、静電容量式のケツト科学研究所社製木材水分計HM-520を用い、設定は、厚さを10mm、比重を「スギ」、温度補正をAUTOとした（水分補正、比重補正は行っていない）。測定は各面の両木口付近と中央の計12点で行った（図5.4.3-3）。

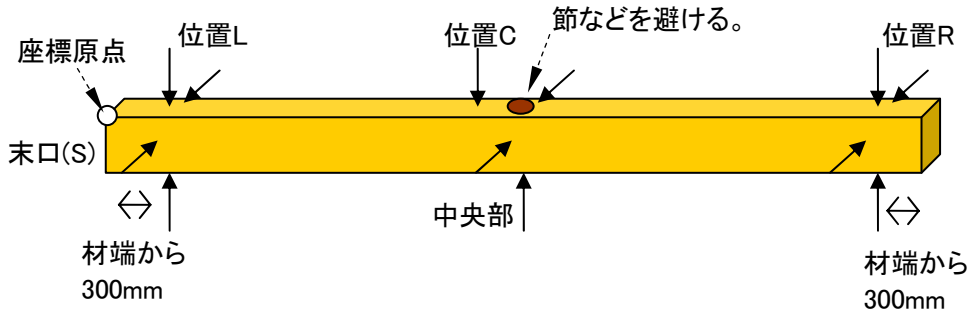


図5.4.3-3　表面含水率の測定

(d)形状測定

形状は、長さと幅を計測した（図5.4.3-4）。

長さの測定には1mm目盛刻みの建築用コンベックスを用い、試験体のA面中央を0.5mm単位で測定した。

幅の測定には読取0.01mm単位のデジタルノギスを用い、各面の両木口付近と中央の計12点で計測した。

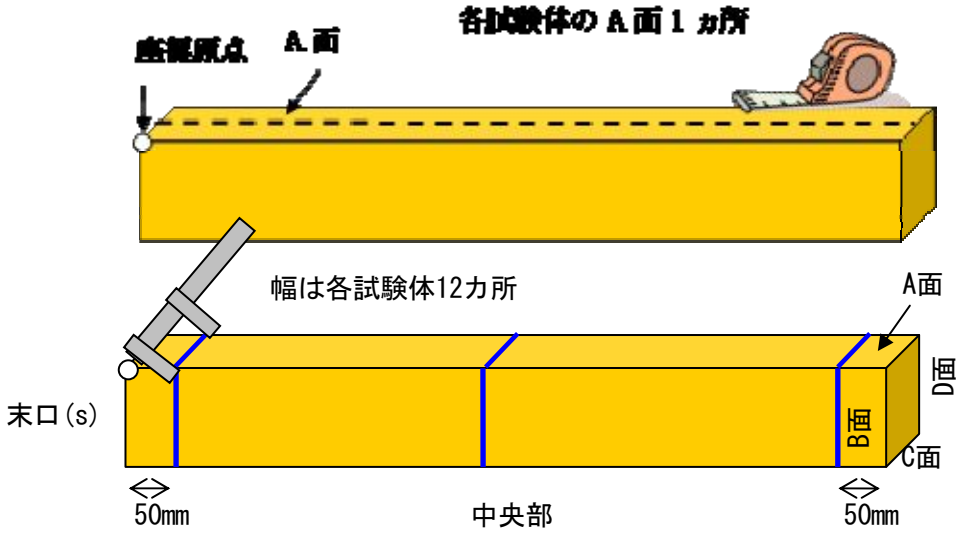


図5.4.3-4　形状の測定部

(e)干割れの測定

干割れは表面から、長さ、幅、深さを計測した。測定対象とした試験体は、各桟積みについて、外周に面した縦2列と真中の縦1列計各12体（図5.4.3-2の（番号）を除く試験体）を基本とし、若干追加した。測定面は全4面とした。測定対象とした干割れは、目視で最大幅を確認し、最大幅が0.5mm以上のものとした。また、木口から50mmの範囲に収まる干割れや節等の欠点の割れは測定対象から除外した（図5.4.3-5）。

干割れの長さ、幅、深さの評価方法は概ね図5.4.3-6のようなものとした。なお、極端な屈曲点がある場合は標点を追加した。

干割れの長さは、干割れの両先端を目視確認し標点を記入し、標点の座標を求め、長さを算出した。座標測定は、長軸方向は試験体の長さ測定に、幅方向は試験体の幅測定に、それぞれ順じた測定器具を用いた。乾燥が進み割れが延伸した場合は、最初の標点は維持し、延伸した点に標点を設け、この標点を更新して経時変化を計測した。

干割れの幅の測定には、クラックゲージを用い、次に述べる標点の割れ幅を測定した。長さ測定の最初の両標点から1cm内側及び中央に標点を設け、これを基本とした。乾燥が進み割れが延伸した場合は、最初の標点は維持し、延伸した先端から1cm内側に標点を設け、この標点を更新して経時変化を計測した。また、延伸が40cmを超えるときは、延伸部分の中央にも標点を設けた。

干割れの深さの測定には、割れ深さゲージ（栗崎ゲージ）[5.4.3-1)]を用いた。測定点は割れ幅と同じ標点とした。

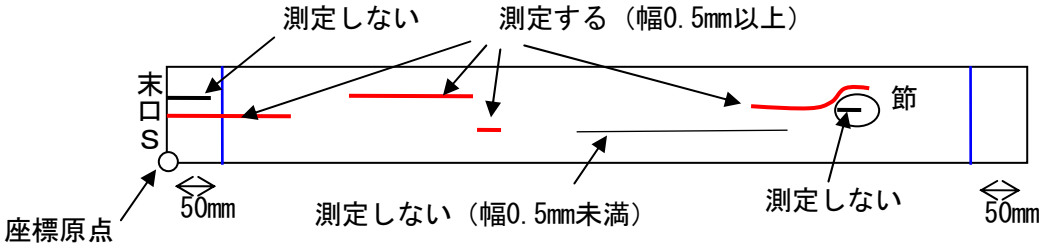


図5.4.3-5　測定対象とした干割れ

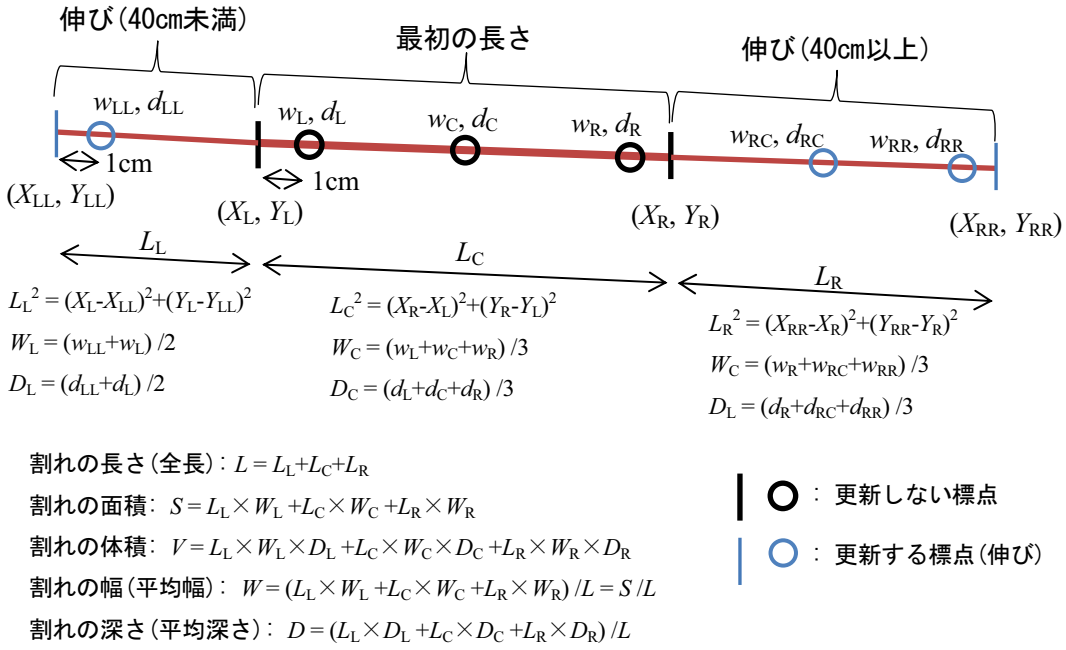


図5.4.3-6　干割れの長さ、幅、深さの評価

(f) 天然乾燥終了時の処理

天然乾燥240日目付近で、重量変化が安定したことを確認し、一応の乾燥終了とした。その後、一部の試験体を5.3.4の込栓接合部の強度試験に用いるため、強度試験の仕様が決まるまで屋外暴露を継続し、380日目に干割れ以外の項目を測定し、図5.4.3-7に示す方法で厚さ2cmの断面試片を採取し、心材率の測定ならびに全乾法による含水率の測定を行った。

断面試片から得た含水率は試験体の長軸方向に顕著な差異がみられなかったので、試験体ごとに

断面試片の含水率を平均し、各試験体の380日目の含水率M_1とした。このときの試験体の重量をW_1、ある時点tにおける試験体の重量をW_tとすると、ある時点tにおける試験体の含水率M_tは次式で推定できる。なお、式中で含水率Mの単位は(%)である。

$$M_t = W_t / W_1 \times (M_1 + 100) - 100 \qquad (5.4.3\text{-}1)$$

この式を用いて、各時点における試験体の重量より含水率（推定平均含水率）を求めた。

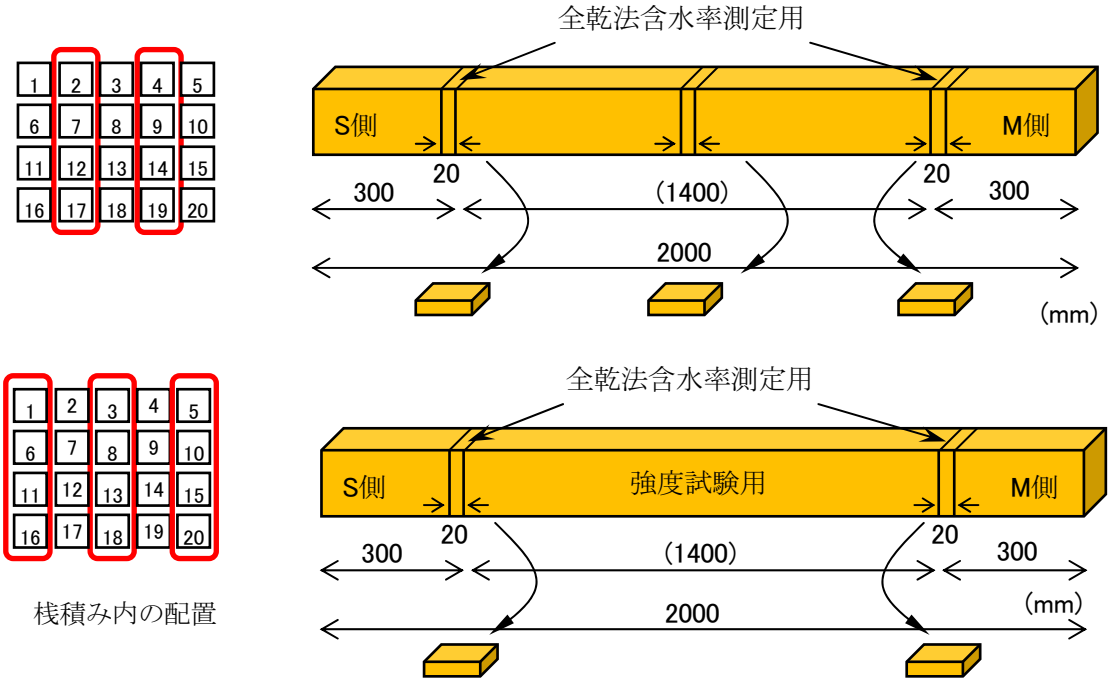


図5. 4. 3-7　天然乾燥終了時の処理

（３）結果と考察

1) 測定期間中の気象と試験体周辺の温湿度

図5.4.3-8に暴露中の試験体桟積みの雰囲気（周囲の温湿度）の日平均値の推移を、また、図5.4.3-9～13にアメダス気象データ（伏木）を示す。図5.4.3-8と9を比較すると、試験体桟積み周囲とアメダス観測点での温湿度はほぼ一致している。温度は、概して、0～30℃の範囲で季節による周期変動をしていたことがわかる。湿度は、3月中旬～5月中旬が低いものの、年間を通じて80%R.H.程度の湿度であった。図5.4.3-10の平年データからもわかるように、富山県地域は年間を通じて降水量が比較的大きな湿潤な気候である。日照時間は春・夏季に比べ冬季は半分程度となり、6月下旬～7月上旬の梅雨時期も日照時間が低下する（図5.4.3-11）。日照時間は、暴露期間中は概ね平年並みであったとおもわれる。12月～3月は降雪期であるが、特に、本暴露試験の初期にあたる平成22年12月～平成23年2月は平年に比べて記録的な積雪となった（図5.4.3-12、写真5.4.3-2）。積雪による桟積みへの影響については、昨年度の報告書で詳しく述べた[5.4.3-1)]。風速は年間を通じてほぼ一定で、平均3m/秒弱であった（図5.4.3-13）。

図5.4.3-14に「屋根あり」、「屋根なし」それぞれの上下測定点での温湿度の差（上点-下点の差）を示す。温度差は概ね±1℃内、湿度差は概ね±5%R.H.の範囲にあった。センサのカタログ上の測定精度は温度が±0.3℃、湿度が±5%R.H.であるが、同一環境での予備測定で表示にそれほどの差がみられなかったので、以下、表示値に差がないものとみなして考察する。試験体周囲の気温は、年間

を通じて桟積み上部が桟積み下よりも高くなる傾向がみられ、(温度差が概ね正)、関係湿度は、年間を通じて下部が上部よりも高くなる傾向がみられた（湿度差が概ね負)。また、図5.4.3-15に示すように、湿度差―温度差関係をみると、概ね負の相関がみられ、すなわち、下部の湿度が上部よりも高い（湿度差が負の）ときは、上部の温度が下部よりも高い（温度差が正となる）傾向がみられた。特に屋根をかけない桟積みでその傾向が顕著であった。また、年間を通じて、上部の方が温度が高く湿度が低いケースが多かった。

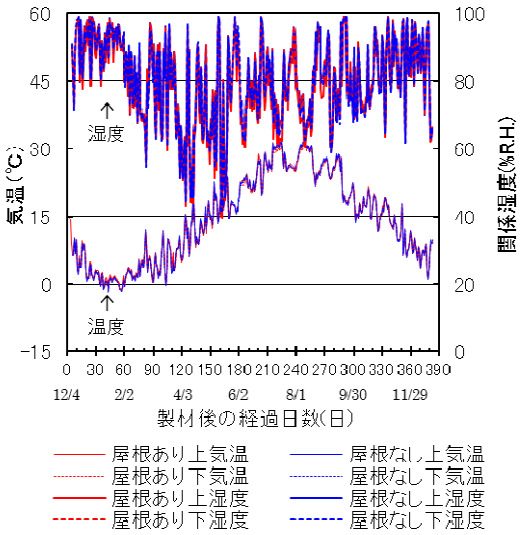


図5.4.3-8　桟積み周囲の温湿度の経時変化
※温湿度ともに日平均値

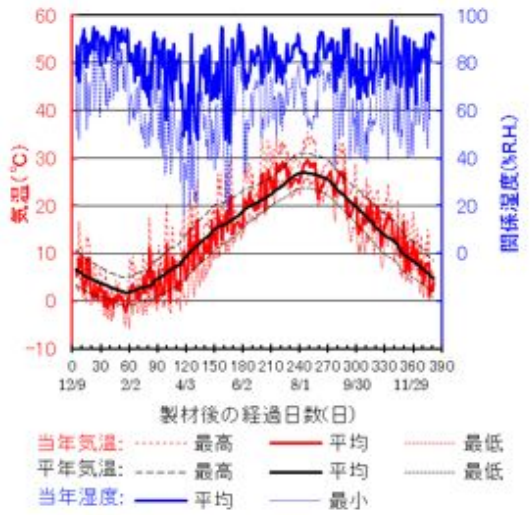


図5.4.3-9　観測値付近の温湿度（アメダス：伏木）
※温湿度とも日平均値。平年値は過去30年間の平均値。

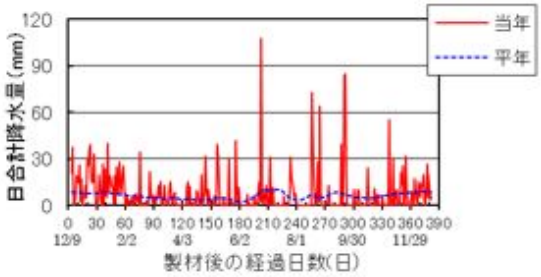


図5.4.3-10　降水量（アメダス：伏木）

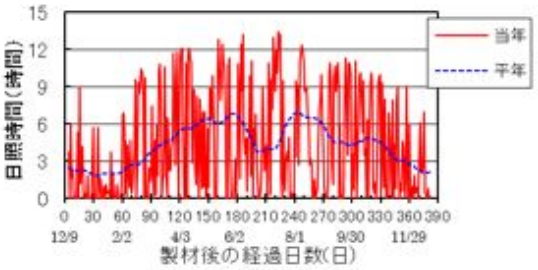


図5.4.3-11　日照時間（アメダス：伏木）



図5.4.3-12　降雪量（アメダス：伏木）

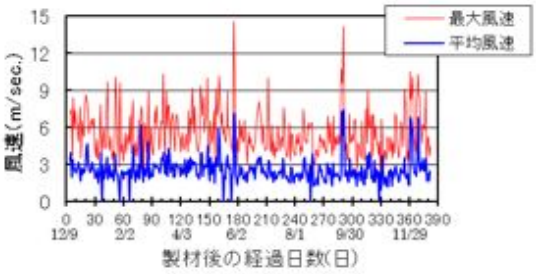


図5.4.3-13　風速（アメダス：伏木）



写真5.4.3-2　桟積み試験体の積雪

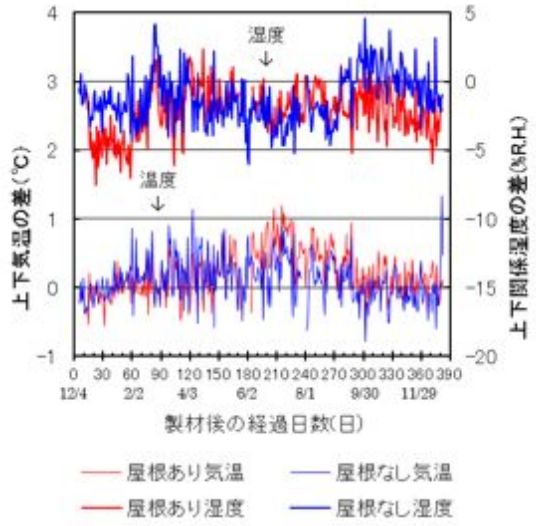


図5.4.3-14　桟積み上下での温湿度の差の経時変化

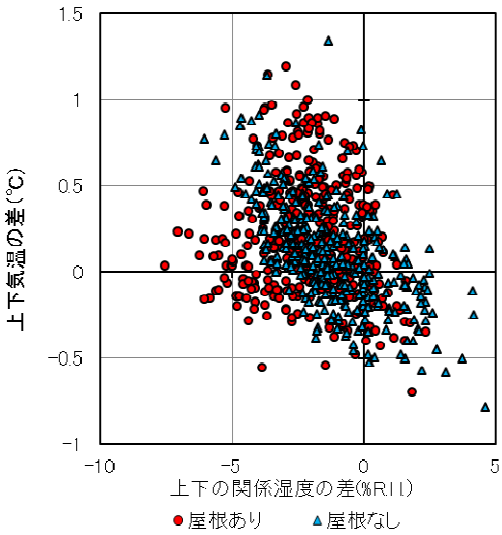
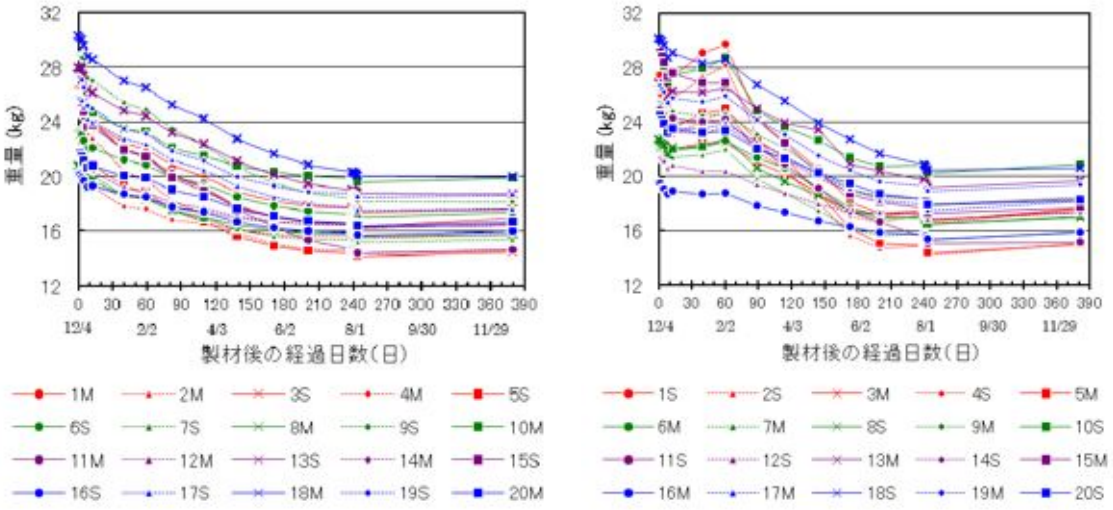


図5.4.3-15　桟積み上下の温湿度の差の関係
※上下差は上部―下部の値。

2)含水率の変化

(a)重量の経時変化

図5.4.3-16に各試験体重量の経時変化を示す。各試験体とも暴露期間240日目付近まで暴露日数の増加とともに重量が減少した。ただし、屋根なし桟積みでは、降雪期に桟積み上部に積雪があるため、表面での結氷や積雪の融解水による短期的な重量増加がみられた[5.4.3-1)]。桟積み上の積雪は測定時等の一定期間ごとに除雪したが、多雪地域における冬季の天然乾燥の難しさを示しているといえる。



ア）屋根あり　　イ）屋根なし

図5.4.3-16　各試験体の重量の経時変化

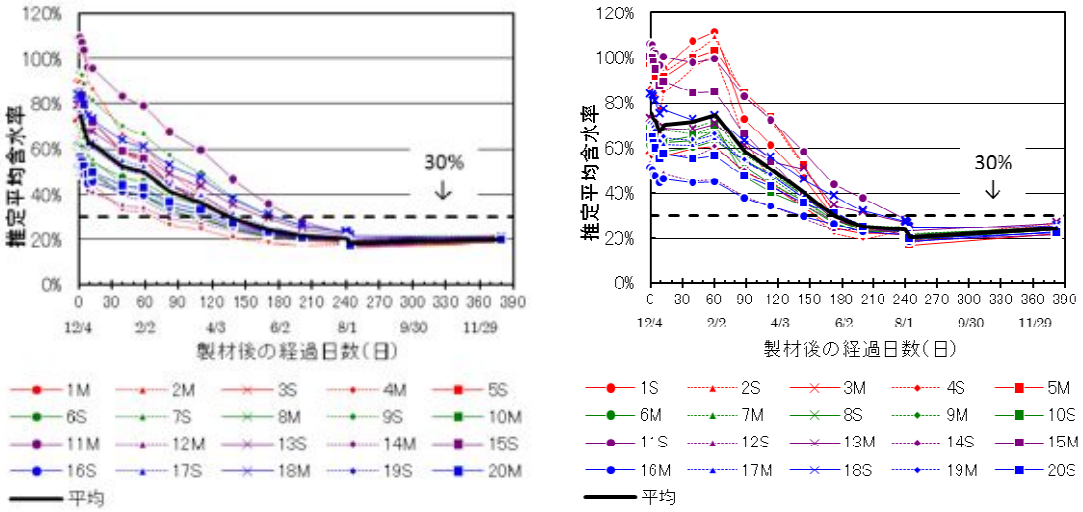
※凡例は試験体の桟積み配置に合わせた。

(b)全乾法による含水率の経時変化

図5.4.3-17に推定平均含水率の経時変化を示す。試験方法で述べたとおり、推定平均含水率は、暴露終了後に各試験体より採取した断面試片の全乾含水率をもとに、各時点での重量から推定した。

重量変化と同様に、暴露期間240日目付近で概ね平衡状態となり、それまでは暴露日数の増加とともに含水率が低下した。重量変化と同様に積雪期には、屋根なし桟積みでは一時的な含水率上昇がみられた。全乾試片から求めた暴露終了時（約380日間暴露）の含水率は、表5.4.3-2のとおりで、屋根あり桟積みに比べ、屋根なし桟積みは最終含水率もばらつきも若干大きな値を示した。試験体が平衡状態に達した後も、降雨雪の影響により含水率が変化しやすかったためと推察される。

また、含水率30%に達するまでの暴露日数は、屋根ありに比べ、屋根なしの方が長い期間を要した。この点については、事項でより詳細に検討する。



ア）屋根あり　　イ）屋根なし

図5.4.3-17　各試験体の推定平均含水率の経時変化

※推定平均含水率は暴露期間終了後に試験体を切断・採取した試片の全乾含水率よりもとめた。

表5.4.3-2　全乾法による暴露終了時の含水率の平均値

桟積み	244日目	380日目
屋根あり	18.5%(7.5%)	20.0%(4.4%)
屋根なし	20.4%(9.4%)	24.3%(5.7%)

※(数値)は変動係数。

(c)含水率30%に到達する期間の推定

乾燥加工において、仕上がり含水率までの到達時間は実務上重要である。ここでは、含水率30%を目安とし、実際にどの程度の乾燥期間を要したかについて考察する。ただし、ここでの具体的な到達時間は試験体の品種、寸法、気象など限定された条件のもとであることに注意されたい。

表5.4.3-3に生材から含水率30%への到達日数（以下、到達日数と略す）を示す。参考に表5.4.3-4に文献値[5.4.3-2)]を示す。寸法や初期含水率が異なるため、一概に比較できないが、同じ中部地域でも気象条件が違うためか、乾燥期間は異なるようである。

図5.4.3-18に初期含水率と到達日数の関係を示す。到達期間は初期含水率との関係が強いようである。桟積み配置の内部、最上段（上面）、側面を比較すると、最上段は比較的早く乾燥する傾向がうかがえる。安定した雰囲気中での木材の乾燥速度は理論上は次の式で表現される[5.4.3-3)]。

$$U - U_e = (U_o - U_e)\exp(-kt) \qquad (5.4.3\text{-}2)$$

ここで、Uは乾燥時間tにおける含水率、U_eはその雰囲気中での木材の平衡含水率、U_oは初期含水率、kは乾燥速度係数。

この式を用いると、含水率30%における乾燥期間tは次のようになる。

$$t = 1/k \ln[(U_o\text{-}U_e)/(30\%\text{-}U_e)] \qquad (5.4.3\text{-}3)$$

本実験のように屋外暴露による天然乾燥では、乾燥期間中に気象条件が変化し、平衡含水率も変化するので、厳密には本式の適用は困難であるが、同一条件下に各試験体があったことを考慮し、初期含水率と配置の影響を確認するため、本式で初期含水率を補正して、到達日数との関係を確認する（図5.4.3-19）。なお、仮の平衡含水率U_eとして「屋根あり」の収束値である240日目の含水率18.5%を用いた。

横軸の値は初期含水率以外は定値をとるので、補正初期含水率とみなせる。プロットの傾きの逆数に-1を乗じると乾燥速度係数に相当する。補正初期含水率と到達日数とは相関が認められる。また、最上段に配置された試験体は比較的早く乾燥する傾向がここでも確認された。

本実験は同一樹種・品種の場合であるが、図5.4.3-20にみられるように初期含水率は初期みかけ比重からある程度推定可能である。また、図5.4.3-21にみられるように、初期含水率ほど明確ではないが、初期見かけ比重からも到達日数が推定できそうである。このことから、初期含水率が測定できない場合、重量と寸法の測定から初期見かけ比重を求めることで、含水率30%への到達日数がある程度推定できることが示唆される。

以上から、次の知見を得た。

① 富山県地域で当該期間に、含水率30%まで天然乾燥を行う場合、桟積みに屋根をかけた方が、かけない場合に比べ、平均して40日程度早く乾燥した。
② 生材から含水率30%までの乾燥日数は初期含水率の影響がみられた。
③ 最上段に配置された材は早く乾く傾向がみられた。
④ 初期含水率が求められない場合は、初期見かけ比重である程度代替できる。

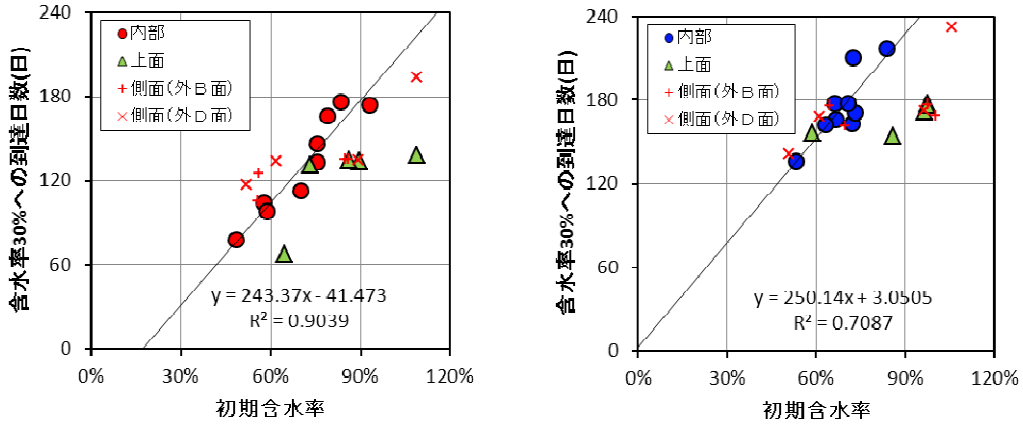
表5.4.3-3　生材から含水率30%への到達日数（日）

桟積み	到達日数	平均値	標準偏差
屋根あり	67～193	136	31.9
屋根なし	136～232	172	23.4

表5.4.3-4　生材から含水率30%、25%への到達日数の文献値[2]（日）

断面	開始日	5/　29		8/　30		11/　15		1/　17	
(mm)	含水率	30%	25%	30%	25%	30%	25%	30%	25%
105 ×　105		52	72	15	24	26	48	72	88
150 ×　105		43	52	33	58	—	—	53	66

※試験体は岐阜県産スギ（気乾比重0.41～0.45）の芯持ち鉋仕上げ製材品。長さ1m。
※試験体両木口を銀ニスでエンドコーティングし、屋根をかけた乾燥棚で屋外暴露した。
※試験地は岐阜県美濃市。



ア）屋根あり　　イ）屋根なし

図5.4.3-18　初期含水率と含水率30%への到達日数の関係

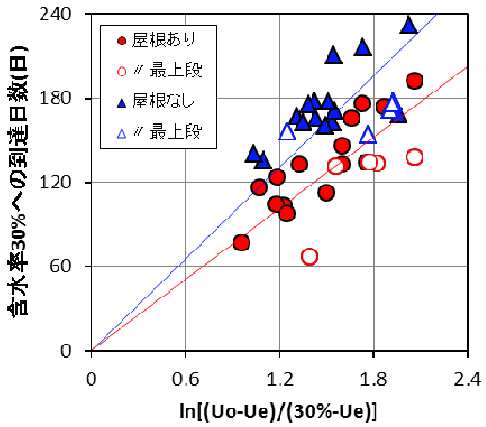


図5.4.3-19　補正初期含水率と含水率30%への到達日数の関係
※Uoは初期含水率、Ueは仮の平衡含水率(18.5%)

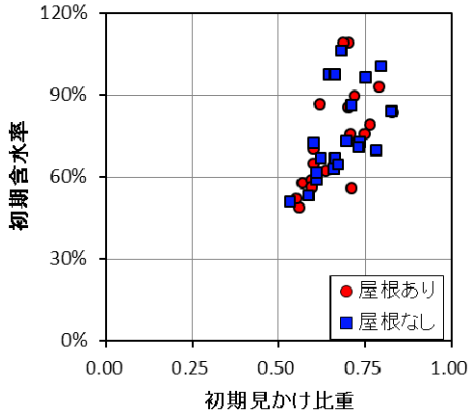


図5.4.3-20　初期見かけ比重と初期含水率

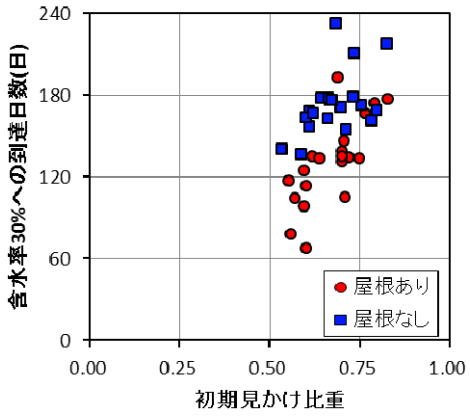


図5.4.3-21　初期見かけ比重と含水率30%への到達日数の関係

(d)表面含水率の変化

図5.4.3-22に表面含水率の試験体ごとの平均値の経時変化を示す。図5.4.3-16の全乾法と試験体重量に基づく含水率と比べると、高い値を示している。これは、試験方法で述べたように、含水率計の比重設定を樹種「スギ」としたことによると思われる。この含水率計のスギの設定比重（全乾比重）は0.34とおもわれるが、試験体の全乾比重は平均0.38より大きい値と推測されるので、誘電率と密度の関係から、表示含水率が高めに評価されたものと思われる。また、冬季には凍結などで中央の桟木に接する表面含水率が高くなる傾向がみられた[5.4.3-1)]。ここでは、表面含水率の具体的な値よりも相対的な経時変化に視点をおいて検討する。

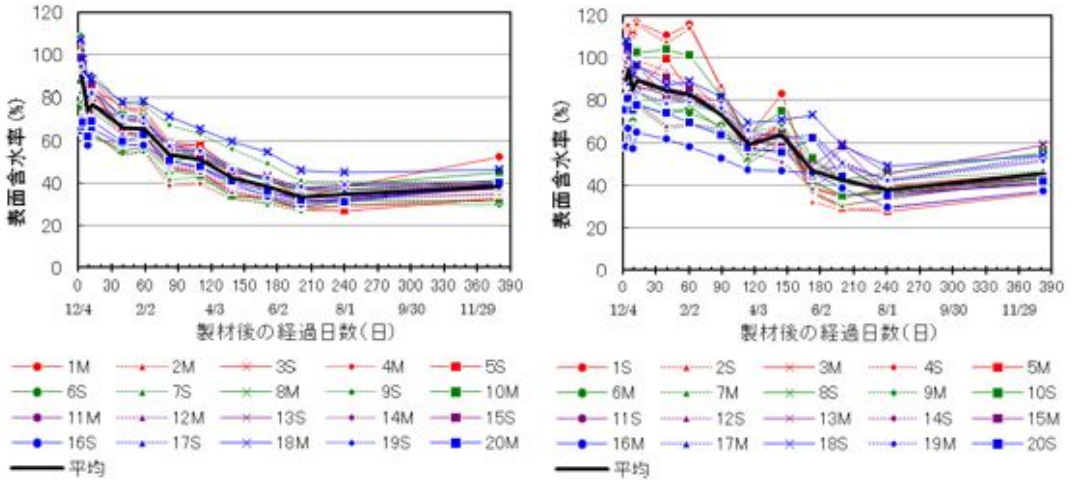
「屋根あり」に比べ、積雪や降雨雪の影響を受けやすいため、「屋根なし」は顕著にばらつきが大きくなった。また、重量から推定した含水率と同様に、240日目（8月1日）付近で表面含水率は概ね収束しているが、380日目付近では増加傾向もみられた。図5.4.3-23に示すように配置ごとでの差異を確認すると、「屋根あり」では、内部に配置された試験体は両日でほぼ同様の値を示しているが、上部や側面に配置された試験体は表面含水率が微増した。「屋根なし」では配置に関わらず表面含水率は増加している。これは、図5.4.3-10・13の気象データにみられるように、測定日までに降雨雪があったため、屋根で保護された試験体以外が影響を受けたためとおもわれる。

また、「屋根なし」では内部に配置された試験体と比較して、外周に配置された試験体の表面含水率は冬季は高く、春季以降は低くなる傾向がみられた。このことは、内部に配置された試験体に比べ、外周に配置された試験体が周囲環境の変化を受けやすいことを示したものと推察される。

乾燥期間中に桟積み外周の表面含水率から桟積み内部に配置された材の含水率が推定可能か検討した。図5.4.3-24に示すように、両者には強い関係が認められ、外周の表面含水率は桟積み内部の材の乾燥傾向を把握するための指標となりうると言える。含水率補正に関する知見があれば、具体的な含水率の値も推定可能と言えよう。

以上をまとめると次のとおり。

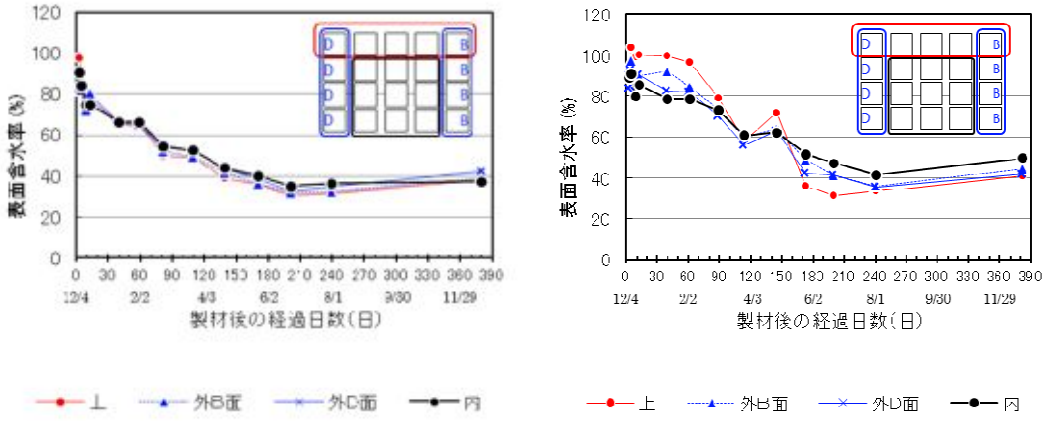
① 表面含水率の変化は、重量から推定した平均含水率と概ね同様の経時変化を示した。
② 桟積み配置では、屋根をかけない場合は、内部よりも外周に配置された試験体の表面含水率の方が気象の影響を受けやすく、屋根をかけると保護効果がみられる。
③ 桟積み外周の表面含水率の測定は、桟積みの含水率管理の指標となりうると考えられる。



ア）屋根あり　　イ）屋根なし

図5.4.3-22　各試験体の平均表面含水率の経時変化

※凡例は桟積み配置にあわせた。



ア）屋根あり　　イ）屋根なし

図5.4.3-23　表面含水率の経時変化における配置の差異

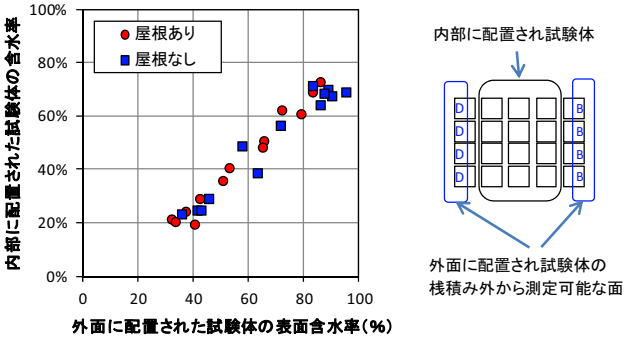


図5.4.3-24　外面に配置された試験体の表面含水率の値から内部に配置された試験体の含水率の推定

※表面含水率は密度補正を行っていない。

3) 寸法の変化

(a) 幅の経時変化

幅の乾燥収縮は、元の寸法に比べ微小ではあるが、製材時に対する乾燥終了時の寸法誤差は実務上重要である。実大材の乾燥収縮は、JISなどの試験法でみられる小試験体から得られた収縮率に比べ、水分傾斜による拘束や表面割れによる応力開放の影響があるために小さく、また測定面によって異なる値を示すことが知られている[5.4.3-4)]。

図5.4.3-25に各試験体の幅の経時変化を示す。生材時の幅が137mm程度であったのに対し、縦軸は最小値を133mmとしており、幅の変化は重量や含水率と比べ、同様の経時変化の傾向がみられたが、変化は微小であることがわかる。「屋根あり」に比べ「屋根なし」の方が幅の変化が小さいが、後述するようにこれは含水率の違いによるものとおもわれる。

図5.4.3-26に配置による差異を示す。「屋根なし」では最終的な表面収縮は内部よりも上面や側面の方が大きかったが、表面含水率のような経時的な逆転はみられない。

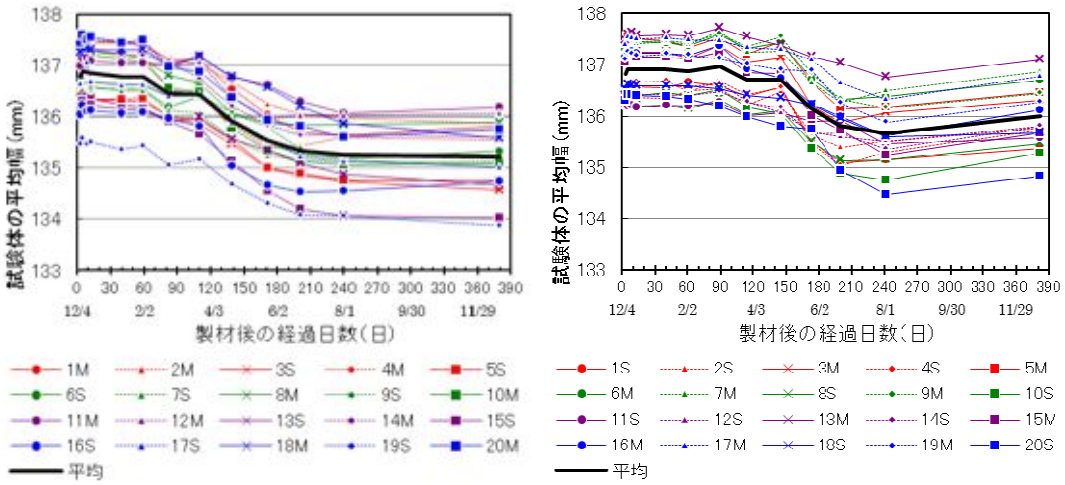
図5.4.3-27に生材からの幅の収縮率の経時変化を、図5.4.3-28に含水率と幅の収縮率の関係を、図5.4.3-29に含水率と幅の収縮率の桟積みごとの平均値の関係を示す。幅の収縮率は、経時変化に比べ、含水率との関係の方が試験体ごとのばらつきが小さい。このことから、幅の収縮率は乾燥期間や気象よりも含水率の影響が強いと考えられる。また、生材の初期含水率はまちまちなものの、含水率50%までは収縮率の変化はわずかなようである。含水率35%以下に乾燥すると直線的に収縮率が増加した。このときの収縮は、含水率が1%減少するごとに約0.054%収縮率が増加した。この傾向は屋根の有無にあまり影響されないようである。「屋根なし」で収縮率が0.9%まで上昇した後、含水率の増加によって収縮が回復した（240日目と380日目の観測値に相当）が、同一直線上にもどらなかったのは一種のヒステリシスと考えられる。含水率25%における収縮率は約0.75%であったが、105角断面のスギ材の文献値[5.4.3-2, 4)]（含水率25%時で0.7～1.2%）と概ね一致した。

以上をまとめると、天然乾燥中に次のことが確認された。

① 240日目の収縮率は屋根ありが平均1.13%（含水率18.5%）、屋根なしが平均0.86%（含水率20.4%）で、含水率25%時の収縮率0.75%は文献値と概ね一致した。

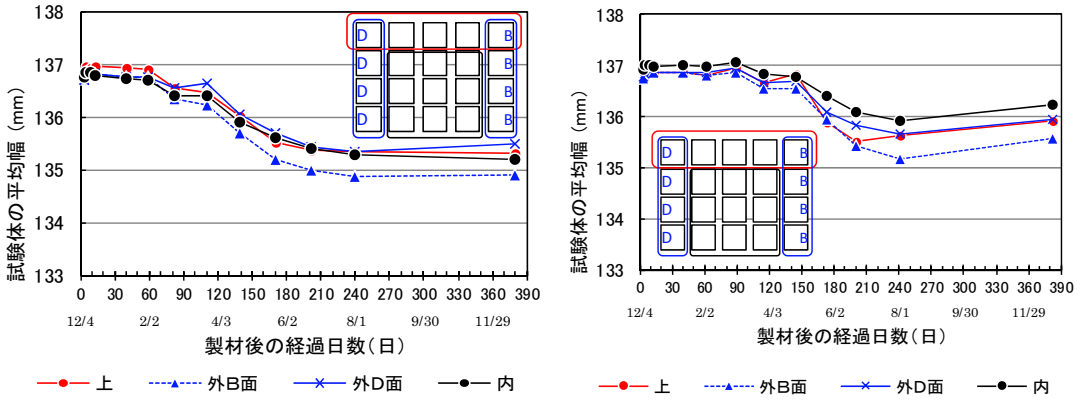
② 幅の収縮率は含水率に強く影響され、収縮率の変化は屋根の有無によりほとんど変わらない。

③ 含水率が35%以下になると含水率が1%減少するごとに約0.054%収縮率が直線的に増加した。



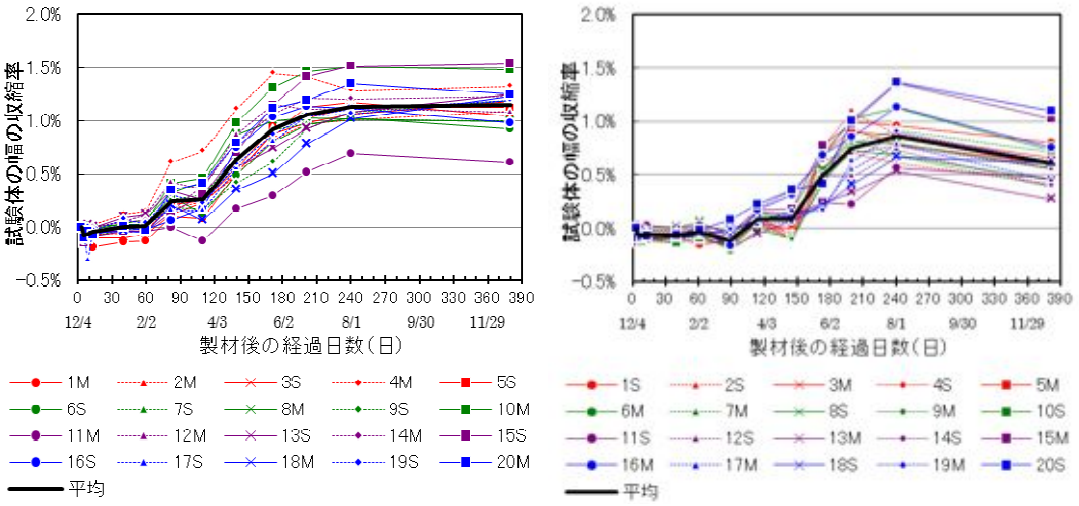
ア）屋根あり　　イ）屋根なし

図5.4.3-25　各試験体の幅の平均値の経時変化



ア）屋根あり　　イ）屋根なし

図5.4.3-26　各試験体の幅の平均値の経時変化の配置による差異



ア）屋根あり　　イ）屋根なし

図5.4.3-27　生材からの幅の収縮率の経時変化

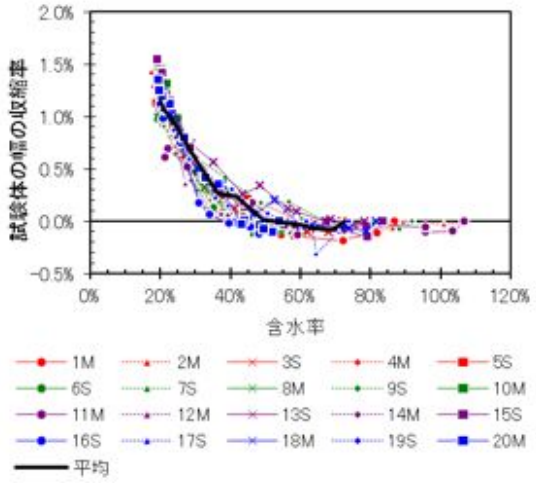


図5.4.3-28　各試験体の含水率と幅の収縮率（屋根あり）

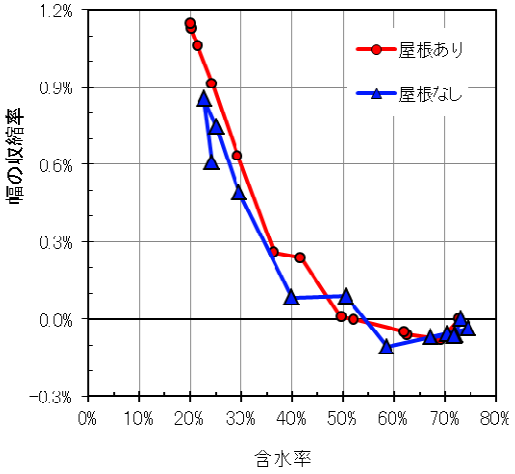
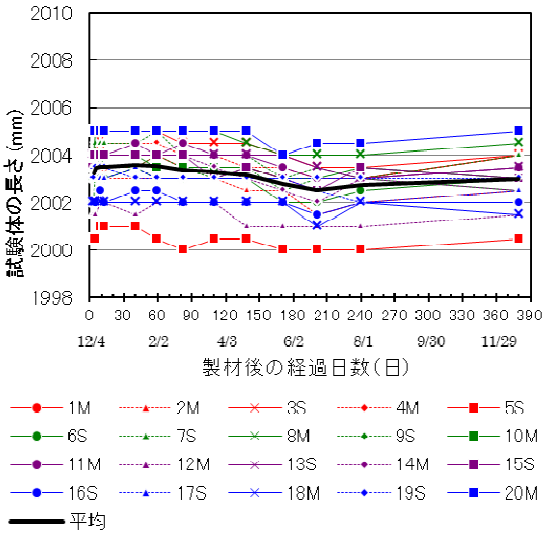


図5.4.3-29　含水率と生材からの幅の収縮率
※各桟積みの試験体の全平均値

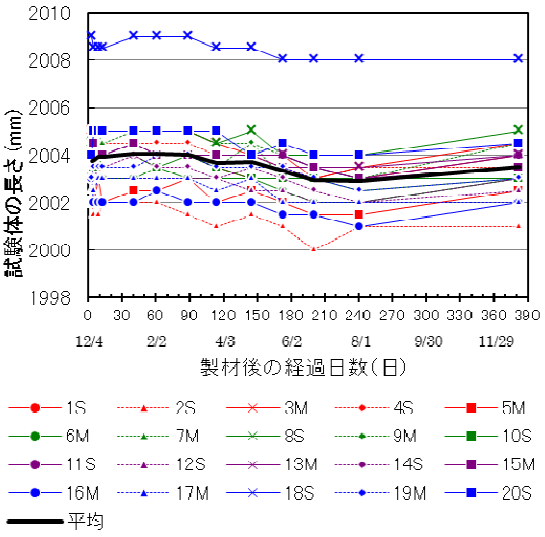
(b)長さの経時変化

図5.4.3-29に試験体の長さと長さ方向の伸びの経時変化を示す。試験体の長さは、1mm目盛刻みの建築用コンベックスで測定し、0.5mmまで読み取った。そのため、試験体の長さの変化割合に対してあまり精度はよくない。

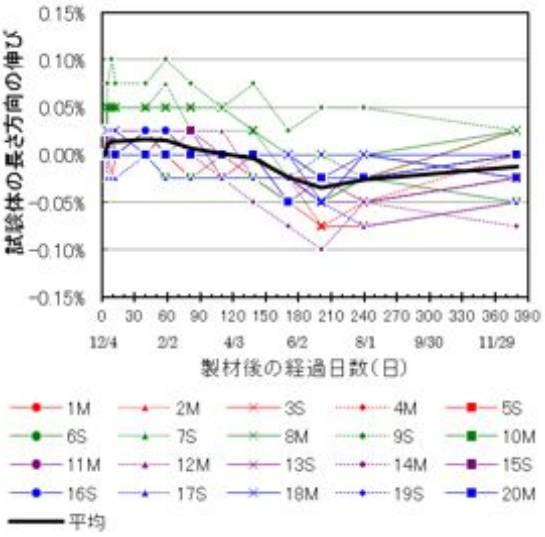
特に伸びの変化は幅の変化と同様に経時変化が見受けられるが､幅の変化に比べてわずかである。繊維方向の収縮は接線方向や放射方向に比べ非常に小さいことはよく知られているが、本測定では精度上の問題もあるため、具体的な収縮率までは言及しない。



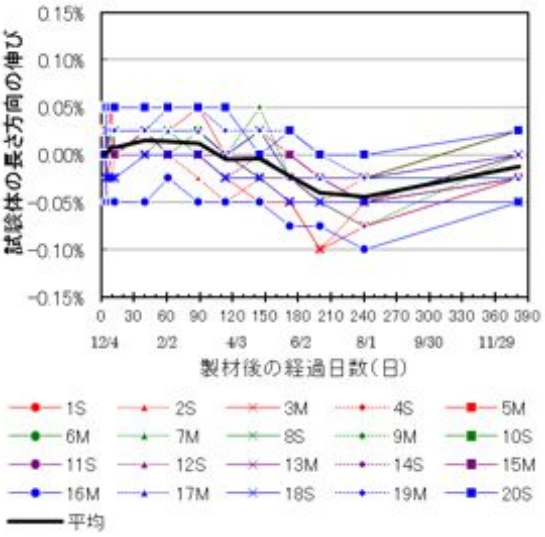
ア）長さの変化（屋根あり）



イ）長さの変化（屋根なし）



ウ）伸びの変化（屋根あり）



エ）伸びの変化（屋根なし）

図5.4.3-30　各試験体の長さの経時変化

4)干割れ

(a)天然乾燥終了時の桟積みの状況

写真5.4.3-3・4に天然乾燥前後の桟積みの状態を示す。開始直後は平成22年12月8日に、終了時は翌年8月5日に撮影した写真である。

「屋根あり」､「屋根なし」とも桟積み日射を受ける表面が日焼けをし、顕著に退色した。「屋根あ

り」と「屋根なし」を比較すると、屋根なしは表面全体が顕著に退色したのに対し、「屋根あり」は側面での退色が著しかったものの、木口や上面はあまり退色しなかった。両桟積みとも、桟積み内部や下面には顕著な変色はみられなかった。

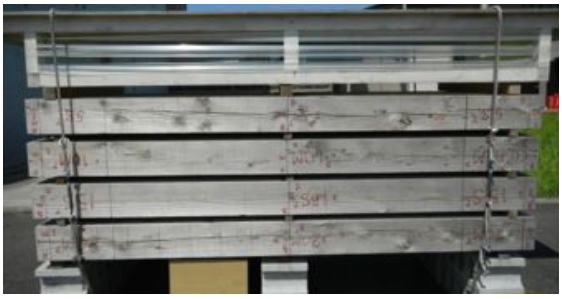
干割れは桟積み状態でも材表面や木口の割れが確認できる。



（ア）開始直後の桟積み



（イ）開始直後の木口



（ウ）乾燥終了時の桟積み



（エ）終了時の木口

写真5.4.3-3　屋根あり桟積みの天然乾燥前後の状態



（ア）開始直後の桟積み





（イ）乾燥終了時の桟積み



（ウ）開始直後の木口



（エ）終了時の木口

写真5.4.3-4　屋根なし桟積みの天然乾燥前後の状態

(b)干割れの経時変化

表5.4.3-5に最終的な干割れの状況を示す。「屋根あり」に比べ、「屋根なし」の方が本数は多いが、各値とも概ね同様の値を示した。暴露期間中に発生した干割れを観察すると、試験体や面によって割れの生じやすさや割れの大きさに差異がみられた。大きな割れが生じるときは数が少なく、細かい割れ生じるときは比較的数が多く、より大きな割れと並行する割れは成長し難いなどの印象をうけた。これらの傾向と屋根の有無、桟積み内での配置、面の向き、材質などとの関係については本報では定量的な知見を得るに至っていない。また、いったん生じた割れも雨雪で濡れると幅や（測定上の）深さが小さくなるケースが観察された。

図5.4.3-31～36に干割れの本数、総長さ、総面積、総体積、平均幅、平均深さの経時変化を示す。なお、各図の横軸は気象や含水率の経時変化の図に合わせた。また、図中の含水率MCは干割れ測定対象の試験体の平均の値を示し、図5.4.3-17の平均とは若干差異が生じることがある。ちなみに、図5.4.3-31で干割れの本数が減少する場合があるのは、複数の割れが伸びることによりつながり、1本と数え直したことによるものである。

図5.4.3-31～36を見ると、干割れの傾向は含水率と関係があるようにみられる。そこで、図5.4.3-37に含水率と各値の関係も合わせて示す。「屋根あり」では、40日目（平均MC53%）から発生が始まり、140日目（平均MC30%）まで増加・成長するが、以降安定し始め、190日目（平均MC22%）からはほぼ平衡状態となった。「屋根なし」では、90日目（平均MC59%）から発生が始まり、5月頃の150日目付近（平均MC41%）から発生と増加・成長が顕著となり、170日目（平均MC30%）以降成長が鈍化し始め、200日目（平均MC26%）以降になると平衡するものが多いが増加・成長するものもみられた。

概していえば、「屋根あり」に比べ「屋根なし」は干割れの発生や増加・成長が遅く、また試験体によるばらつきも大きかった。これは、「屋根なし」は冬季に積雪の影響を受け、図5.4.3-17にみられるように120日目付近までは水分増加もみられ、それ以降から「屋根あり」と同等の乾燥条件になったことが影響したためとおもわれる。「屋根なし」はやや干割れの発生・増加・成長が急な印象を受けるのは、この頃から気温が上昇するためとおもわれる。

当然ではあるが、干割れの発生開始期、増加・成長期、平衡期は暴露日数は異なるが、「屋根あり」・「屋根なし」とも平均含水率は似通った値の期間に生じている。干割れの発生が50～60%あたりの比較的高い含水率からみられるのは、表面含水率の低下や試験体によるばらつきの影響と思われる。

図5.4.3-32・33の「屋根あり」の干割れの総面積ならび総体積をみると、210日目付近から減少傾向がみられる。これは、図5.4.3-35の平均幅の傾向にみられるように、幅が狭くなったことの影響が大きい。干割れ幅は、降水による影響を受けやすく、特に屋根がない場合は顕著となるが、「屋根あり」に強くみられた傾向であることから、乾燥応力の転移など他の要因が考えられる。

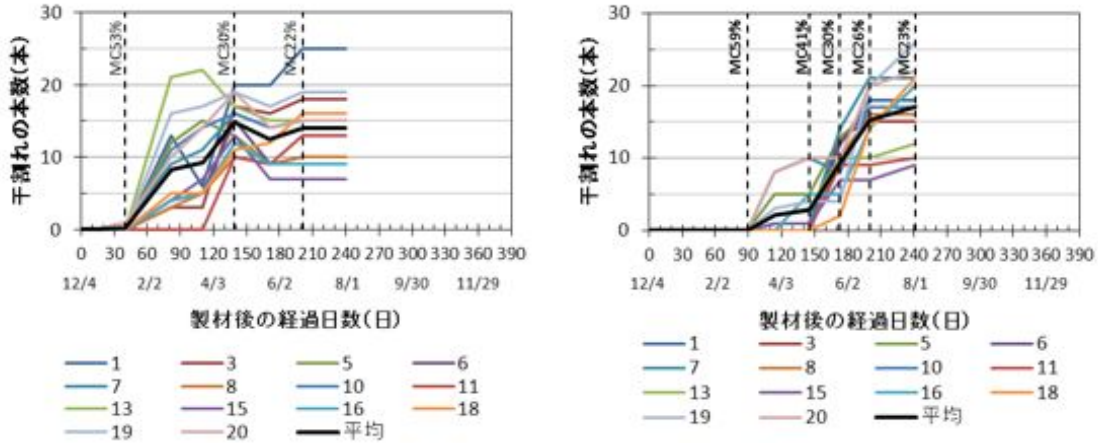
表5.4.3-5　最終的な干割れの状況（240日目）

	本数 （本／本）	総長さ （m/本）	総面積 （cm^2/本）	総体積 （cm^3/本）	平均幅 （mm）	平均深さ （mm）
屋根あり	14.0	8.01	45.9	65.7	0.513	9.92
屋根なし	17.1	8.56	50.4	68.4	0.479	9.14

※本数、総長さ、総面積、総体積は、試験体1本当たりの値の試験体数による平均。

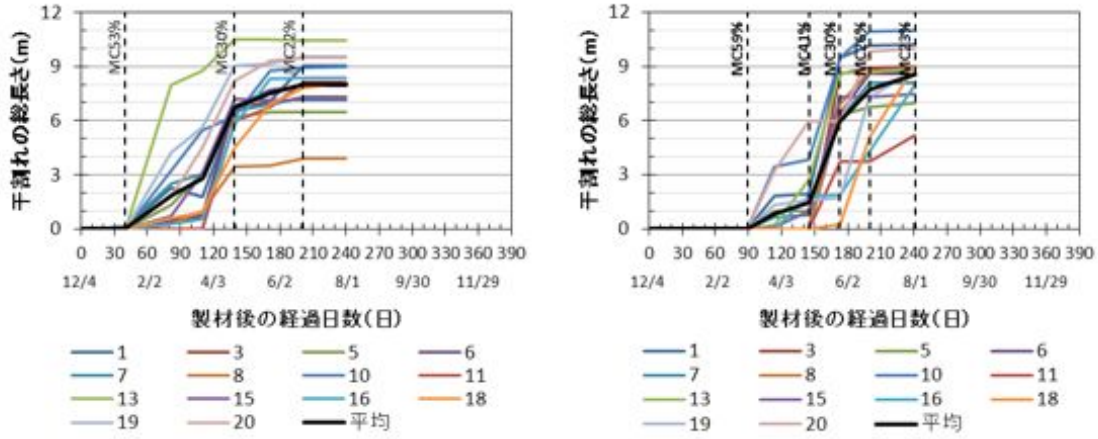
※平均幅と平均深さは、試験体1本につき、干割れ1本の値（図5.4.3-6のWまたはD）の合計を干割れの本数で除した値の試験体数による平均。

※平均幅と平均深さには、統計的に長さの重みが乗じられていないので、それぞれ総面積／総長さや総体積／総面積とは差異が生じる。



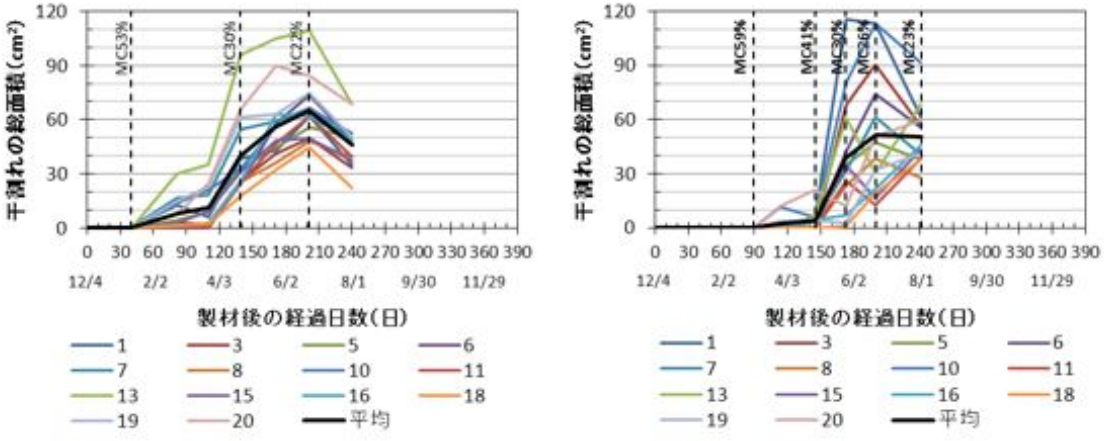
ア）屋根あり　　イ）屋根なし

図5.4.3-31　試験体1本あたりの干割れの本数の経時変化



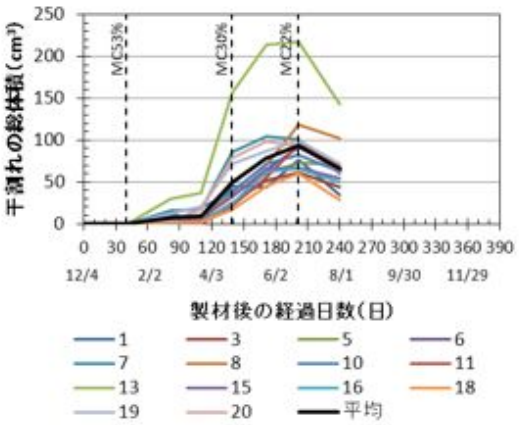
ア）屋根あり　　イ）屋根なし

図5.4.3-32　試験体1本あたりの干割れの総長さの経時変化

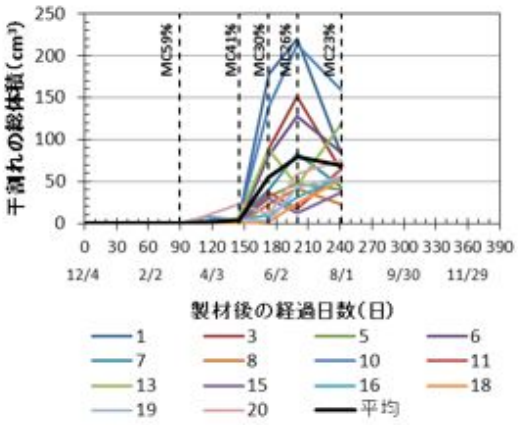


ア）屋根あり　　イ）屋根なし

図5.4.3-33　試験体1本あたりの干割れの総面積の経時変化

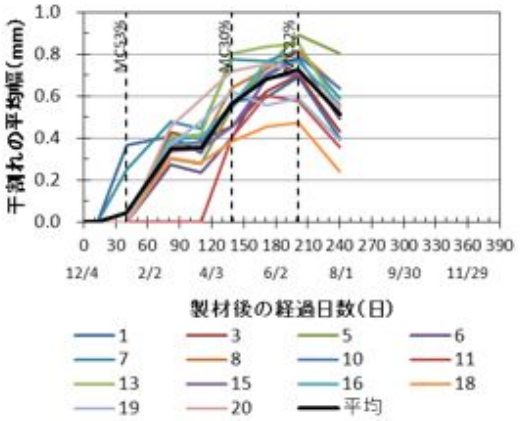


ア）屋根あり

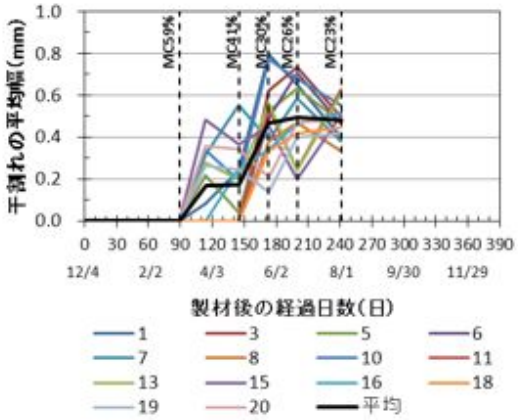


イ）屋根なし

図5.4.3-34　試験体1本あたりの干割れの総体積の経時変化



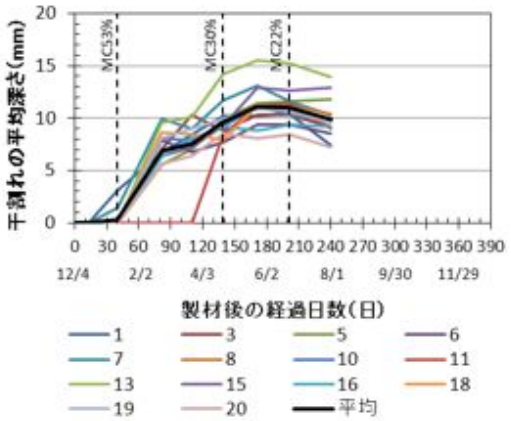
ア）屋根あり



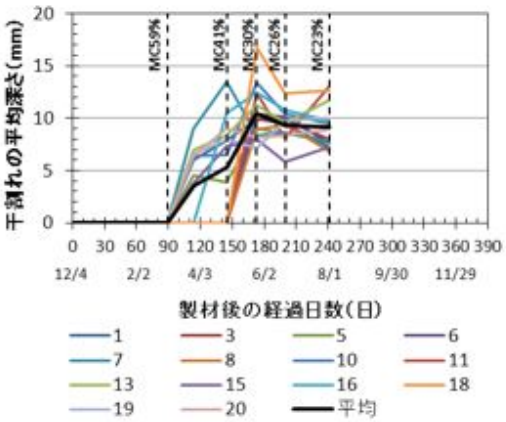
イ）屋根なし

図5.4.3-35　試験体1本あたりの干割れの平均幅の経時変化

※平均幅は、試験体1本について、1本の干割れの幅Wの合計を干割れの本数で除した値。
長さあたりの平均幅（総面積／総長さ）とは異なる。



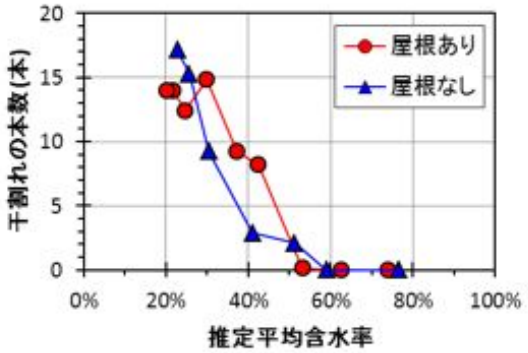
ア）屋根あり



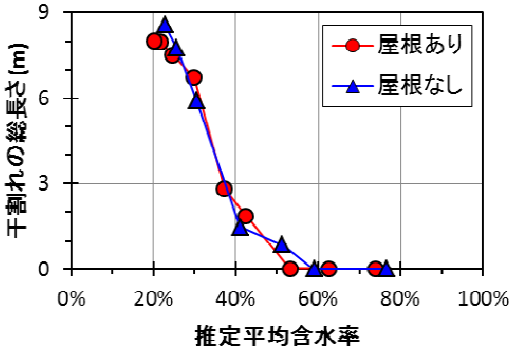
イ）屋根なし

図5.4.3-36　試験体1本あたりの干割れの平均深さの経時変化

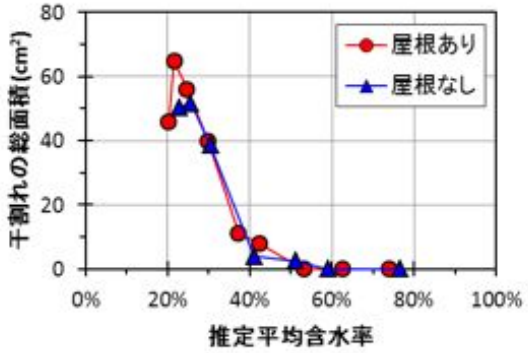
※平均深さは、試験体1本について、1本の干割れの深さDの合計を干割れの本数で除した値。



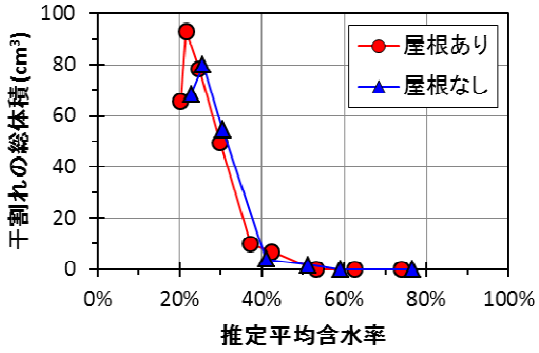
ア）含水率と干割れの本数



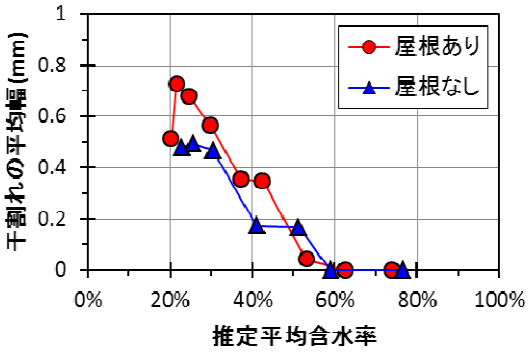
イ）含水率と干割れの総長さ



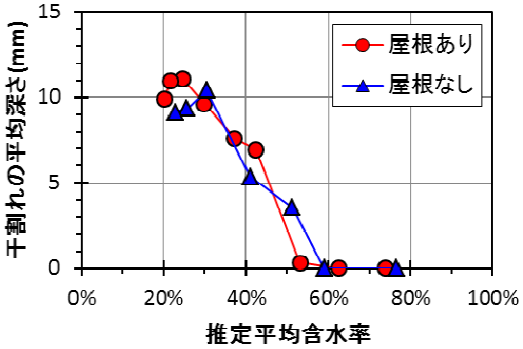
ウ）含水率と干割れの総面積



エ）含水率と干割れの総体積



オ）含水率と干割れの平均幅



カ）含水率と干割れの平均深さ

図5.4.3-37　含水率と試験体1本あたりの干割れの各値の関係

※干割れの各値は図5.4.3-31～36に同じ。

※横軸の推定含水率は干割れ対象の試験体の重量から求めた含水率の平均値。

(c)干割れと物性の関係

天然乾燥前に生材に関する情報から仕上がり時の割れの程度を推定することは実務上重要である。そこで、生材で得られる情報として初期含水率、気乾比重（含水率15%時相当)、心材率を、仕上がり時の割れの状態として干割れの本数、総長さ、総面積、総体積、平均幅、平均深さの関係を確認した。なお、干割れの情報は前項(a)の240日目におけるデータを用いた。

図5.4.3-38にこれらの関係を示す。総長さに対して、気乾比重と心材率に若干の関係がみられるものの、ここで用いた生材の情報には、仕上がり時の干割れの程度を推測できるほどの明確な指標はみられなかった。

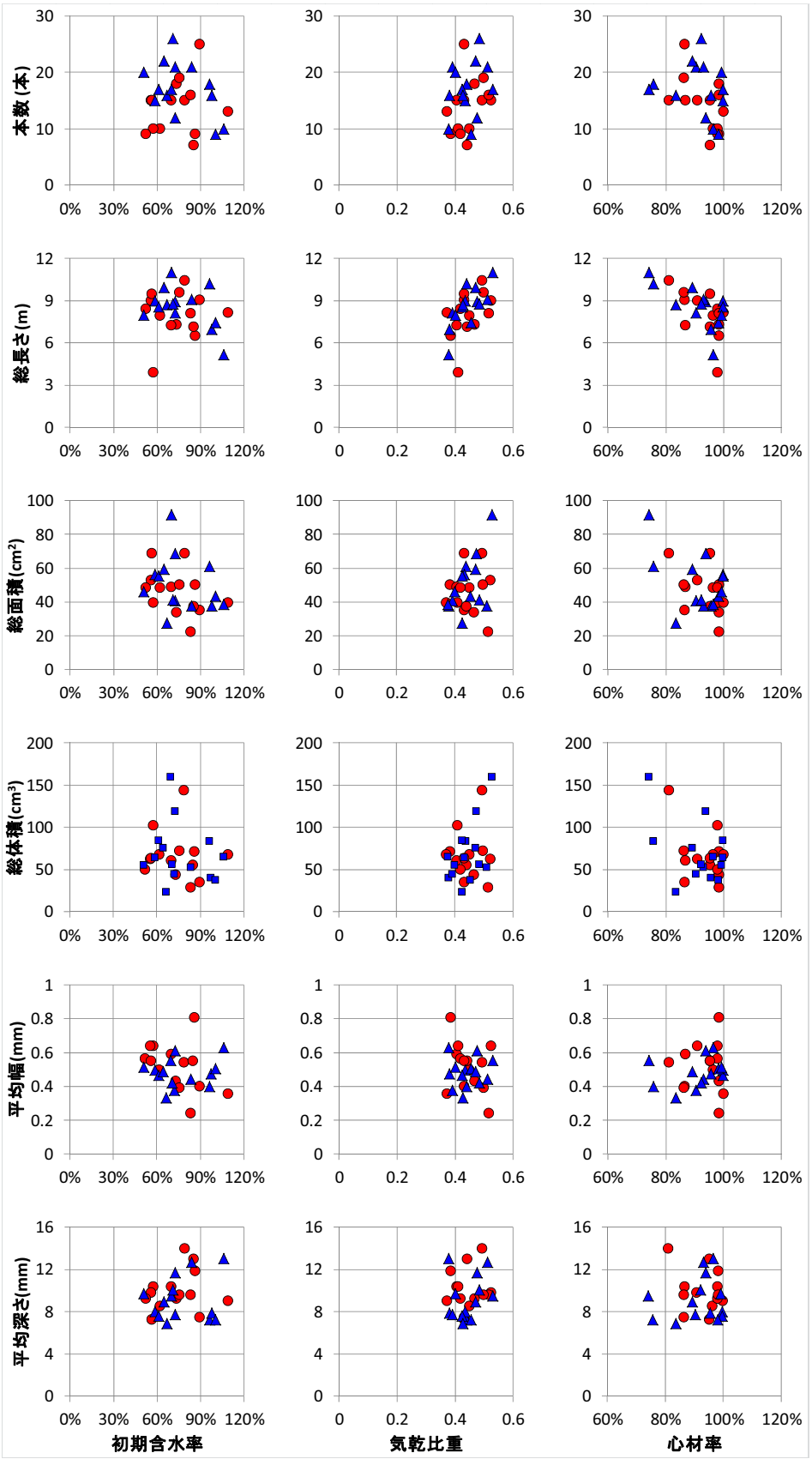


図5.4.3-38　生材での情報と天然乾燥終了時の干割れの状態の関係

※気乾比重は含水率15%相当の値

(d)干割れの幅と深さの関係

表面割れの幅は簡単に目視判別できるが、深さは表面からは簡単には判断できない。そこで、干割れの幅から深さを推定できるか検討した。

図5.4.3-39に干割れの幅と深さの関係を示す。この図は計測時点に関係なく、同一点で測定した割れの幅と深さを全てプロットしたものである。なお、深さは計測の方法上、割れ幅が極端に小さい場合はゲージを貫入できない。また、割れ深さが小さい場合は読み取り誤差が大きく、割れ深さが大きいときに割れが年輪に沿って階段状となることがあり、この場合はゲージが割れ先端まで貫入できないので、深さを過少評価することになる。一度発生した干割れは、水分状態などで幅が縮まることがあるが、深さは基本的に小さくはならない。

「屋根あり」・「屋根なし」とも同様に干割れの幅と深さに概ね関係がみられる。この関係が線形であれば、割れ幅と割れ深さを割れ幅で除した比率（以降、比と略す）とは、割れ幅に関係なく概ね一定値をとるはずである。図5.4.3-40にこの関係を示す。「屋根あり」・「屋根なし」とも同様の傾向を示すが、割れ幅が小さいほど比のばらつきは大きく、かつ大きな値をとっている。すなわち、割れ幅が小さいほど、幅の割に深さは大きいことが定量的に示された。樹種や乾燥条件による知見が必要ではあるが、ここで得られた干割れの幅と深さの関係は、目視で割れ深さを推定する上で有効とおもわれる。

天然乾燥終了時の目安として、図5.4.3-41に240日目の割れの最初の中央の幅と深さ（図5.4.3-6のw_Cとd_C）の分布を示す。割れ幅は0.75mm以下が大半（屋根ありが平均0.56mm、屋根なしが平均0.59mm）で、割れ深さは15mm以下が大半（屋根ありが平均13.9mm、屋根なしが平均13.2mm）で、ともに屋根の有無の差異はみられない。比較的大きな割れである幅1mm以上の割れは全体の12.8%、深さ20mm以上の割れは15.6%で、小さな割れが大半を占めたことがわかる。

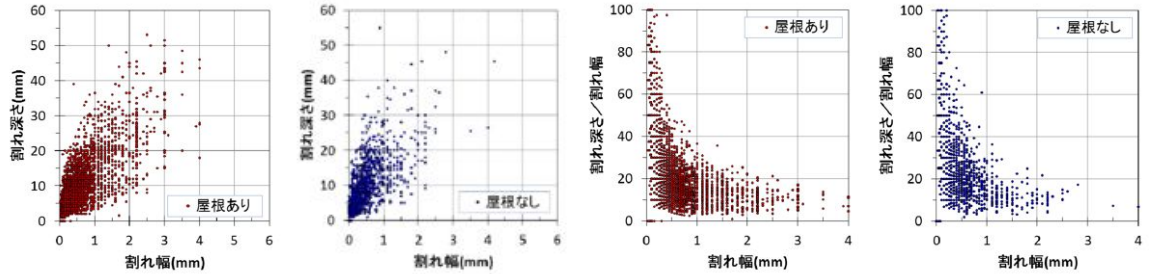


図5.4.3-39　干割れの幅と深さの関係

図5.4.3-40　干割れの幅と深さとの比の関係
※割れ幅4mm以上と縦軸100以上は省略。

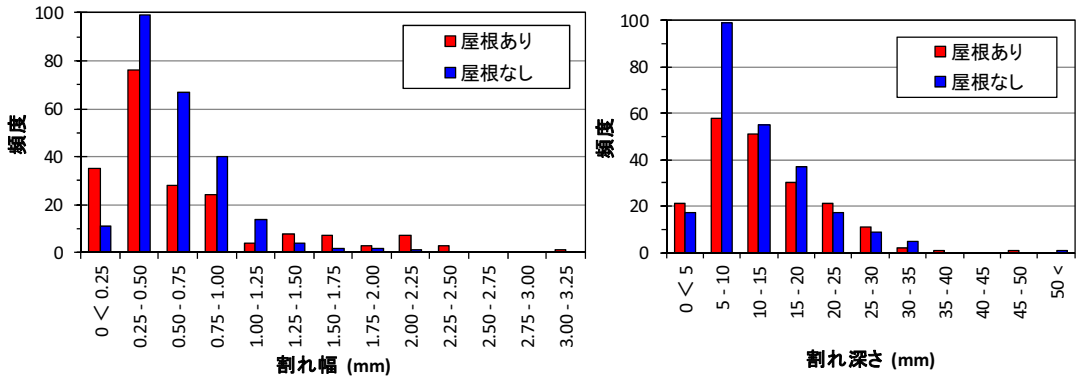


図5.4.3-41　干割れの幅と深さの分布（乾燥終了240日目）

（4）まとめ

伝統的構法で用いる木材の天然乾燥に関する知見を得るために、多雪地域（富山県射水市）において、生材のタテヤマスギの桟積みを屋根の有無の2条件で天然乾燥した。冬季からの約1年間の乾燥過程における乾燥程度や干割れ等の変化を観察し、以下の知見を得た。

① 多雪地域で12月から屋外で天然乾燥を行ったところ、屋根をかけた桟積みでは当初から重量減少がみられたが、屋根をかけない桟積みでは、積雪の影響で冬季に重量が減少しない（増加する）傾向がみられた。多雪地域における天然乾燥の難しさが示された。

② 含水率を屋根の有無で比較すると、加工後60日後（平成23年2月1日）では「屋根あり」49.6%、「屋根なし」74.6%と積雪の影響が顕著に表れた。この遅れは、含水率30%への乾燥期間が、「屋根あり」131日間、「屋根なし」172日間と、屋根の有無で40日間の差となった。多雪地域の冬季の天然乾燥では屋根を設けることが効果があることが示された。

③ 多雪地域の冬季の天然乾燥においても、乾燥期間が初期含水率に大きく影響される傾向が確認された。また、屋根の有無にかかわらず、最上段に配置された材は乾燥が早くなる傾向がみられた。

④ タテヤマスギ一品種、同一ロットでの確認ではあるが、初期見かけ比重を初期含水率の代替として、天然乾燥の難易の判断に適用できる可能性が示唆された。

⑤ 桟積み外周に配置された材の表面含水率の計測により、内部に配置された材の乾燥傾向が概ね把握できることが示された。ただし、表面含水率は材の雨がかりなどの影響を受けやすいので注意が必要である。

⑥ 部材の幅収縮は屋根の有無よりは材の乾燥状態と対応しており、収縮率は含水率35%以下で直線的に増加する傾向がみられた。含水率25%時の収縮率は約0.75%で既往の文献値と概ね一致した。

⑦ 干割れの発生や成長は含水率との関係がみられ、平均して含水率50～60%頃から発生がみられ、含水率が20%から40%に乾燥する過程で干割れの成長がみられた。

⑧ 初期含水率、気乾比重、心材率と割れとの間に明確な関係は見いだせなかった。

⑨ 割れ幅と割れ深さの関係の知見を得た。割れ幅が大きいときは、割れ深さはその10倍程度の大きさとなるが、割れ幅が小さいと、割れ幅に対する割れ深さの比は急激に大きくなる。

⑩ 天然乾燥終了時では、割れ幅は0.75mm以下（平均0.6mm程度）が、割れ深さは15mm以下が大半（平均13mm程度）で、割れの大きさの割合に屋根の有無による明確な差はみられなかった。比較的大きな割れではある幅1mm以上の割れは全体の13%、深さ20mm以上の割れは全体の16%程度で、小さな干割れの割合が高い。

文献

5.4.3-1）園田里見:“天然乾燥の干割れ―多雪地での屋外暴露における屋根の有無の影響”,“平成22年度国土交通省補助事業報告書　伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験検討委員会報告書”, p.6- 39-52, NPO法人緑の列島ネットワーク, 2011.3.

5.4.3-2）野原正人, 岩田隆昭, 山本和雄:“針葉樹材の天然乾燥速度について”, 岐阜県林セ研報, No.5, p.31-48(1977).

5.4.3-3）寺澤眞:“木材乾燥のすべて”, p.417, 海青社, 大津, 1994.

5.4.3-4）鷲見博史:“木材は乾かして使う”,p.31-33, 産調出版, 東京, 1998.

５．４．４　温暖地での屋外における天然乾燥と干割れの進行

（１）供試材と実験スケジュール

宮崎県日南市の国有林から平成22年11月にオビスギ丸太を伐採し、2番玉の赤心材30本を供試丸太とした。表5.4.4-1に丸太の概要を示す。丸太を135mm角に製材し、試験に適した材20本を実務家が選別した後、4m材を2mに切断した。その後、元末側を混在させるように桟積みし、平成22年11月29日に桟積み試験を開始した。表5.4.4-2に実験スケジュールを示す。

表5.4.4-1　供試丸太の概要

植林地	宮崎県日南市　小布瀬国有林
林　　齢	55年
樹　　種	オビスギ
番　　玉	2番玉
末口径	18～20cm
長　　さ	4m
植林方法	挿し木
伐採日	平成22年11月初旬

表5.4.4-2　実験スケジュール

平成22年　11/26	135mm角に製材
11/27	試験体20本を選別
11/29	桟積み試験開始
11/30	1日経過後測定
12/1	2日　〃
12/2	3日　〃
12/3	4日　〃
12/4	5日　〃
12/5	6日　〃
12/6	7日　〃
12/8	9日　〃
12/10	11日　〃
12/14	15日　〃
12/24	25日　〃
平成23年　1/25	57日　〃
2/22	85日　〃
3/21	112日　〃
4/22	144日　〃
5/23	175日　〃
6/24	207日　〃
7/25	238日　〃　、測定終了
12/12	試験体回収(378日後)

（２）桟積み試験体の設置

桟積み試験は、コンクリートブロック上に1列5本×4段、合計20本の配置とし、屋根ありと屋根なしの2条件で行った。桟積みした試験体の上部及び下部に温湿度計（試験体上部：ティアンドデ ィ社TR-72U、試験体下部：TR-72S）を設置し、1時間に1回記録した。図5.4.4-1に試験体の配置と温湿度計の設置状況を示す。

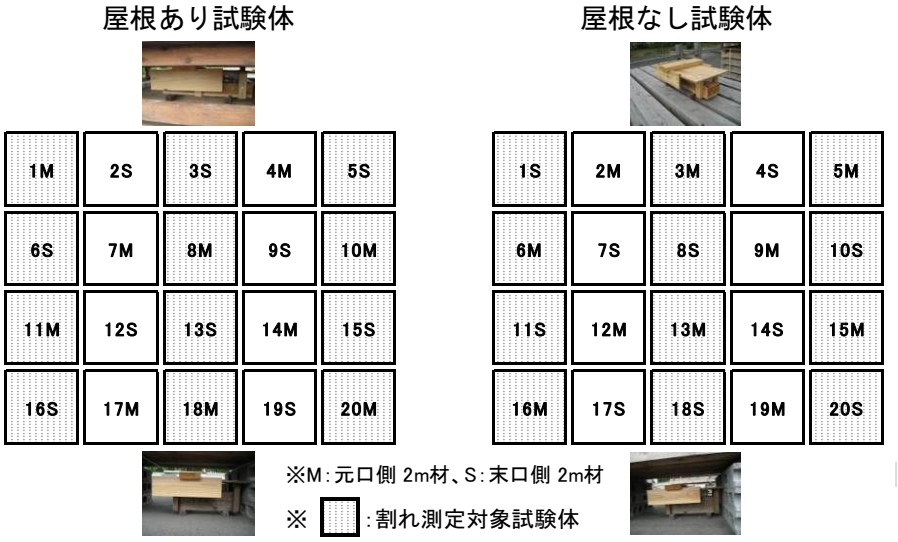


図5.4.4-1　桟積み試験体の配置と温湿度計の設置

（３）測定項目

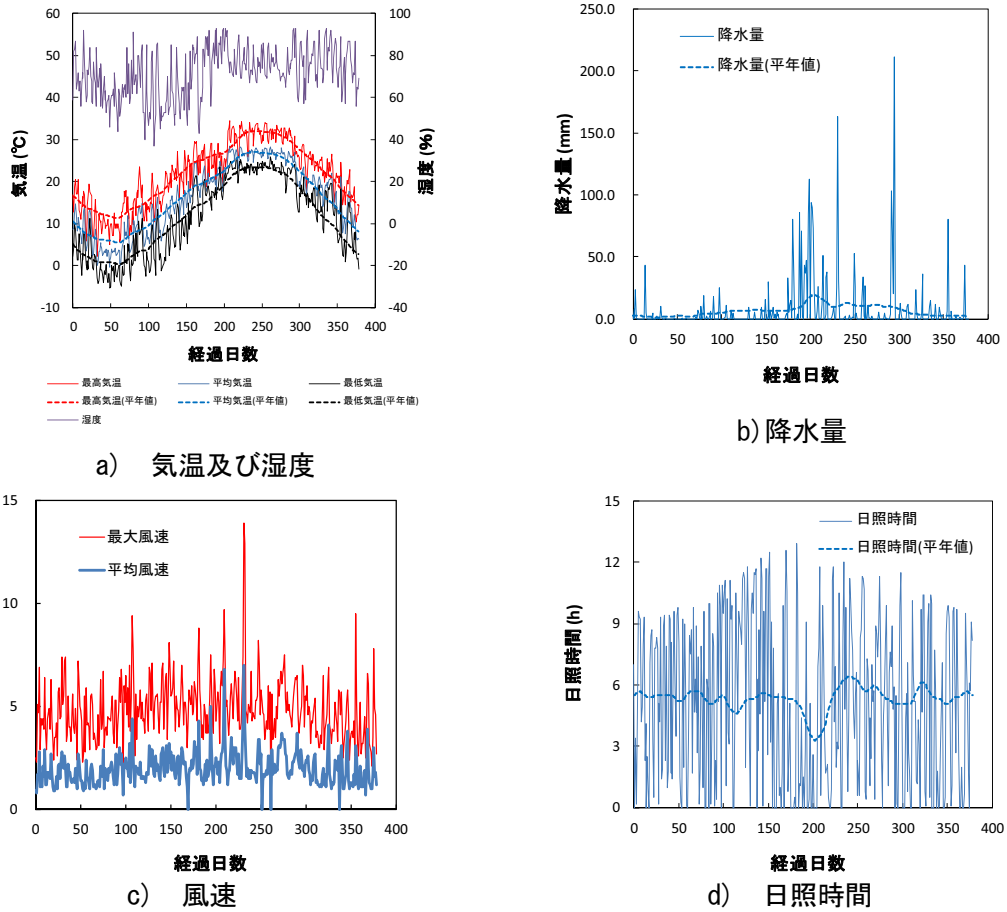
寸法、重量、縦振動ヤング係数、表面含水率、幅0.5mm以上の割れの位置、幅、深さを測定した。表面含水率は、静電容量式のケット科学研究所HM-520（モコ2）を用いて、厚さを10mm、比重をスギ、温度補正をAUTOに設定し、1面あたり3か所、4材面を測定した。割れの幅及び深さは、割れ長さ中央部及び両端部から約10mm内側の合計3か所を基準点として測定した。割れが伸長した場合には、従来の測定点に加えて、新たに伸びた割れ端部から約10mm内側を測定した。また、1試験体の中で最大幅を示した割れについてのみ、その最大深さを記録した。なお、割れの測定については図5.4.4-1に示す1、3、5列目の試験体を対象とし、寸法、重量、縦振動ヤング係数、含水率については全試験体を対象とした。

重量及び割れの変動がほぼ落ち着いたと思われた平成23年7月25日（238日経過後）に測定を終了し、その後12月12日（378日経過後）に試験体を回収した。回収後直ちに全乾法により含水率を求めた。このとき、割れ測定対象試験体については両木口から300mmの位置から試験片を採取し、割れ測定対象外試験体については、両木口から300mm、600mm及び中央の5か所から試験片を採取し含水率を求めた。

（４）結果及び考察

1)気象データの変動

図5.4.4-2に試験期間中の温度、湿度、降水量、風速、日照時間の変動を示す。この気象データは、宮崎県都城市を観測地点とする気象庁データを元に作成したものである。平年値との比較では、1月（33～63日経過後）の気温が低く、氷点下以下の最低気温を示した日が25日存在した。また、5月23日からの1か月間（175～205日経過後）に降水量が多く、日照時間が少ない日が多く見られた。その期間以外の気温、降水量、日照時間については、ほぼ平年並みと言えた。



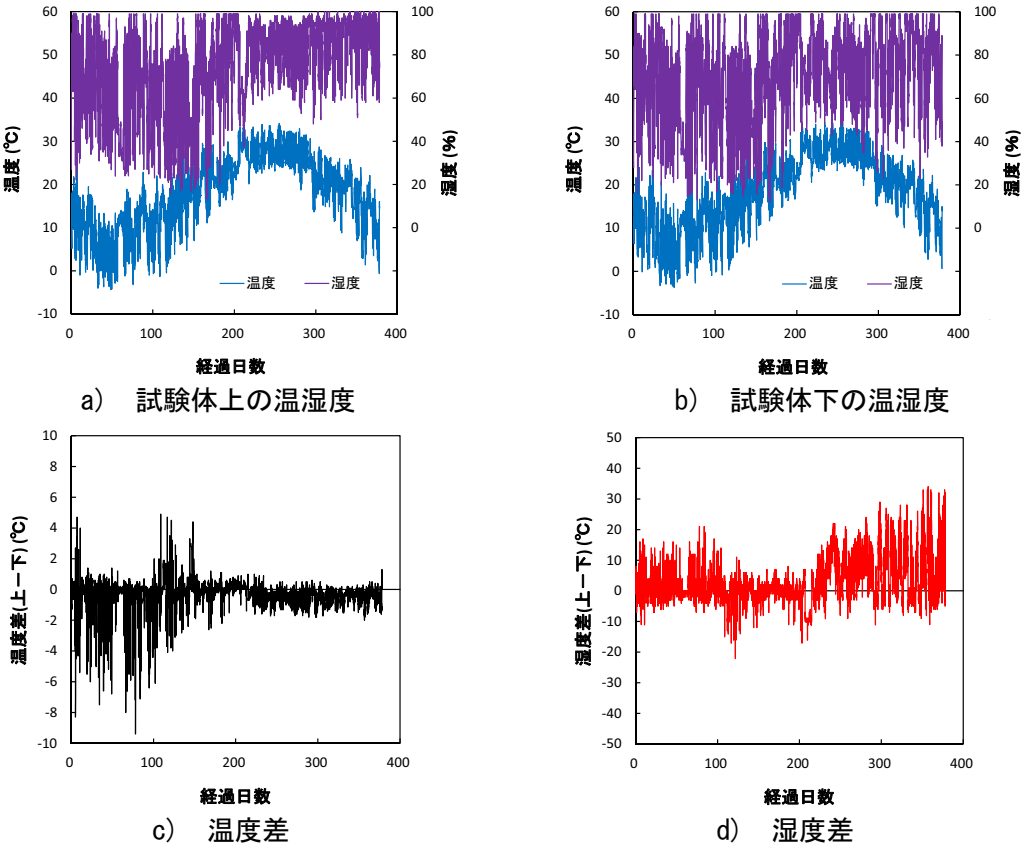
a)　気温及び湿度

b)降水量

c)　風速

d)　日照時間

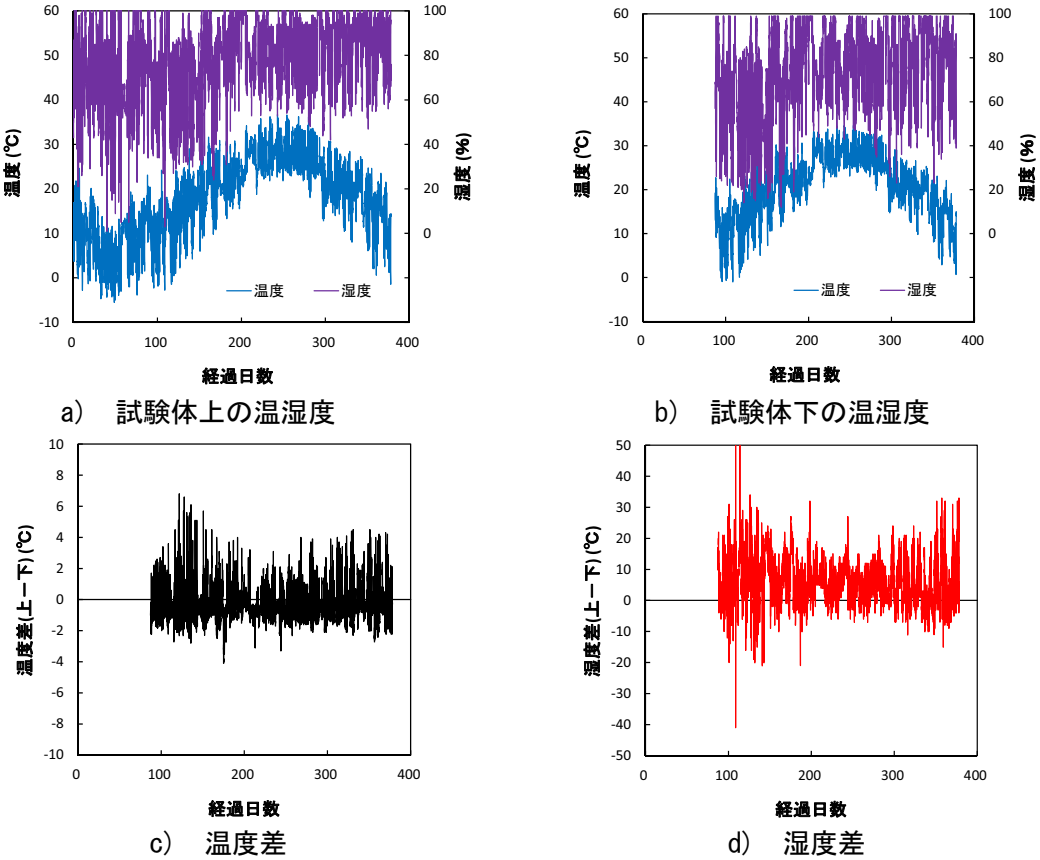
図5.4.4-2　桟積み期間中の気象データの変動（気象庁データ）



a)　試験体上の温湿度　　b)　試験体下の温湿度

c)　温度差　　d)　湿度差

図5.4.4-3　屋根あり試験体上下に設置した温湿度計の気象データの変動



a)　試験体上の温湿度　　b)　試験体下の温湿度

c)　温度差　　d)　湿度差

図5.4.4-4　屋根なし試験体上下に設置した温湿度計の気象データの変動

※試験体下に設置した機器故障のため測定開始から86日間のデータ欠落

図5.4.4-3に屋根あり試験体の上下に設置した温湿度計の気象データを示し、図5.4.4-4に屋根なし試験体の気象データを示す。いずれの条件についても、ばらつきはあるものの、試験体下の温度が僅かに高い傾向を示し、湿度は試験体上が高い傾向を示した。

2) 重量及び密度変動

図5.4.4-5に試験期間中の重量変動を示し、図5.4.4-6に密度変動を示す。重量及び密度は4/22（144日経過後）まで桟積み試験経過とともにほぼ単調に減少した。屋根あり試験体では全試験期間中（378日間）の重量減少量の91.5%がこの期間で減少し、屋根なし試験体では90.2%が減少した。すなわち、それ以降の重量減少は全期間の約10%であり、変動量がかなり小さいことが分かった。屋根なし試験体は降水による影響を受け、6/24（207日経過後）に一時的に重量が増加したが、試験終了時の重量、密度の平均値及び変動係数は、屋根あり試験体と屋根なし試験体でほとんど違いが認められなかった。

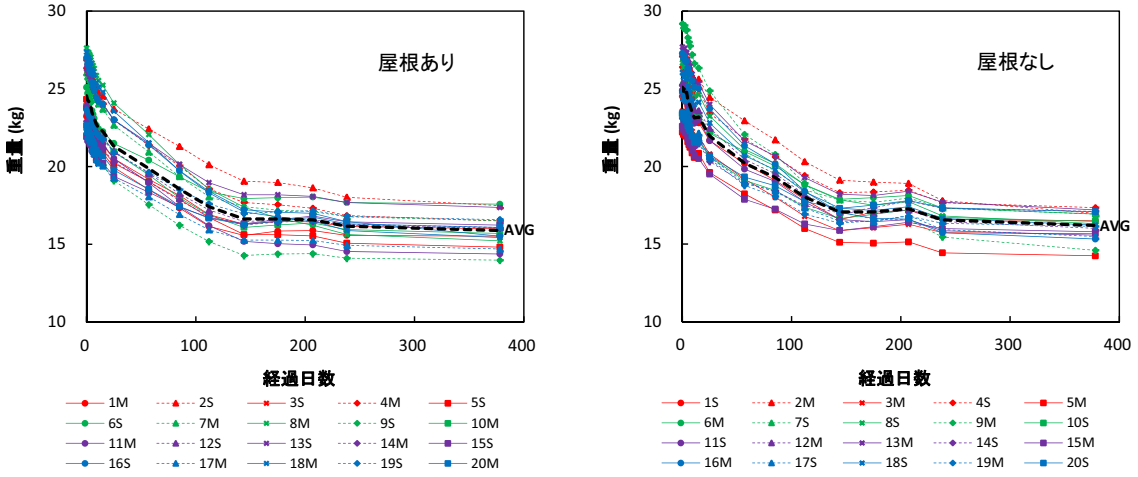


図5.4.4-5　重量の変動

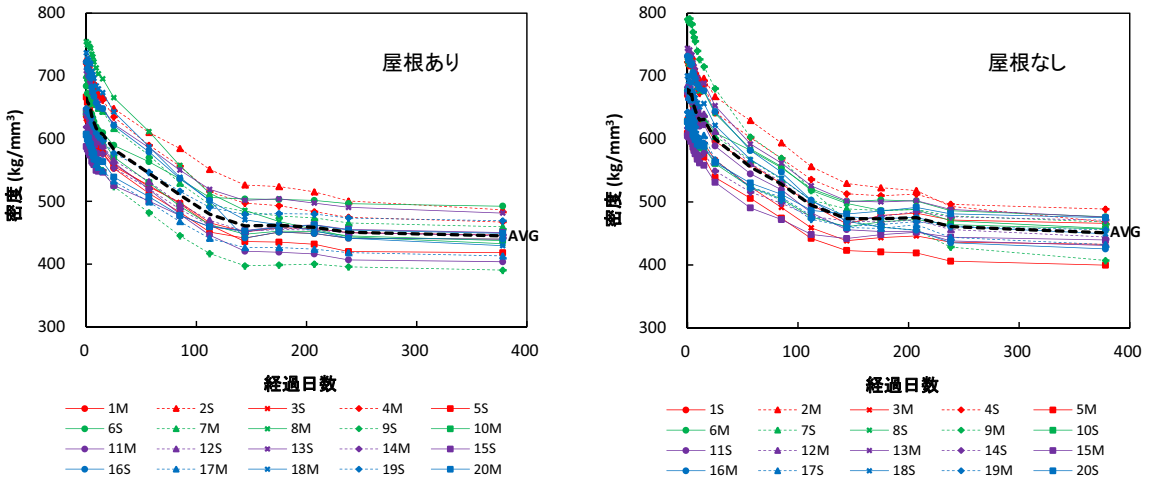


図5.4.4-6　密度の変動

3) 縦振動ヤング係数変動

図5.4.4-7に縦振動ヤング係数の経時変化を示す。7/25（238日経過後）までは初期値に対して僅かな変動が認められるだけで、乾燥に伴う縦振動ヤング係数の向上は認められなかった。その後の試験体回収日にはヤング係数の向上が認められ、初期値に対して屋根あり試験体で9.2%（平均値5.7→6.2kN/mm²）、屋根なし試験体で6.6%（平均値5.6→6.0kN/mm²）上昇した。

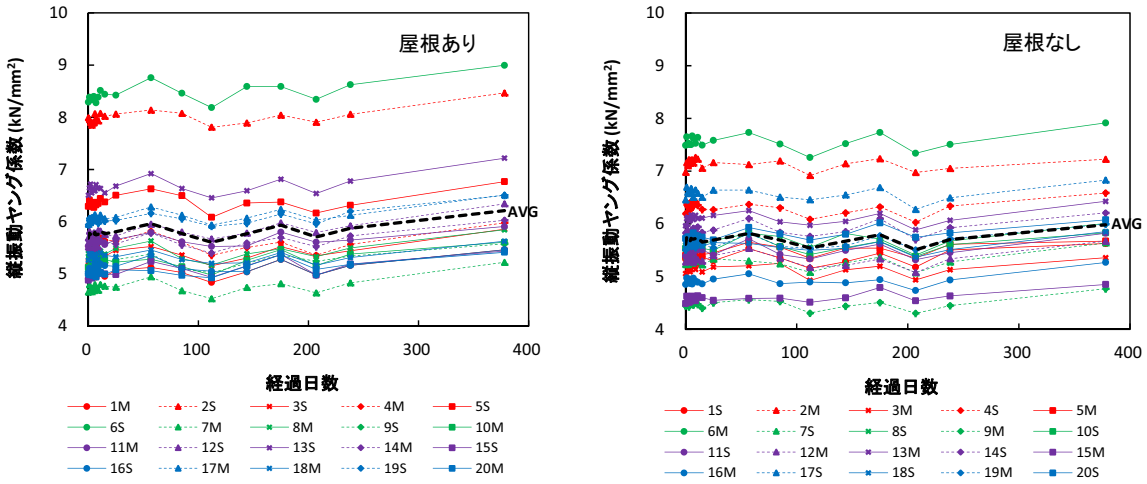


図5. 4. 4-7　縦振動ヤング係数の変動

4) 含水率変動

図5.4.4-8にモコ2による表面含水率の経時変化を示し、図5.4.4-9に試験終了後に全乾法で測定した含水率から逆算した試験体含水率の経時変化を示す。いずれも経過日数とともに減少傾向を示したが、モコ2による表面含水率は降雨による材表面の状態に影響を受けるため、非常に変動が大きい。なおかつ、試験終了時の最終含水率は全乾法による含水率と大きく異なる結果となった。

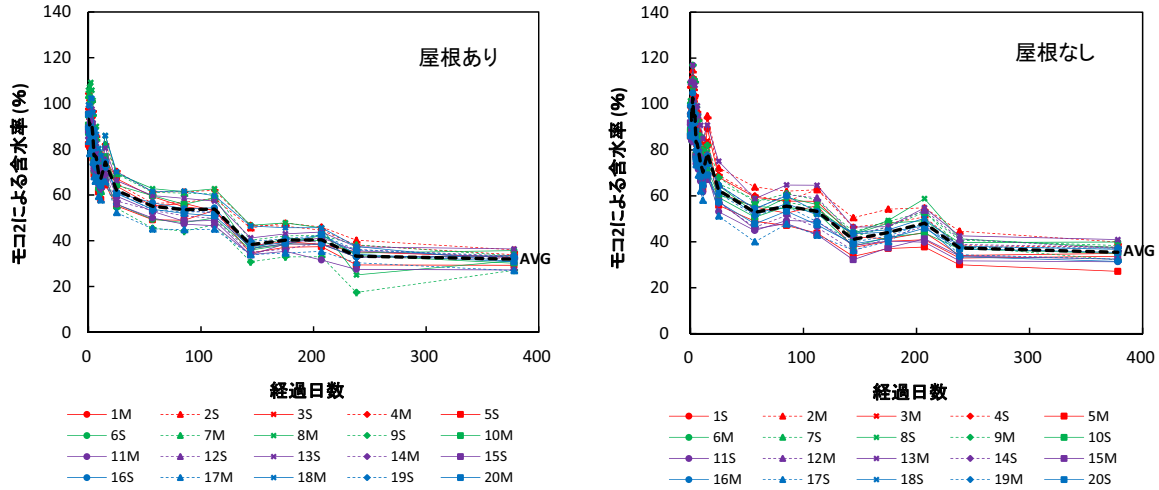


図5. 4. 4-8　モコ2による表面含水率の変動

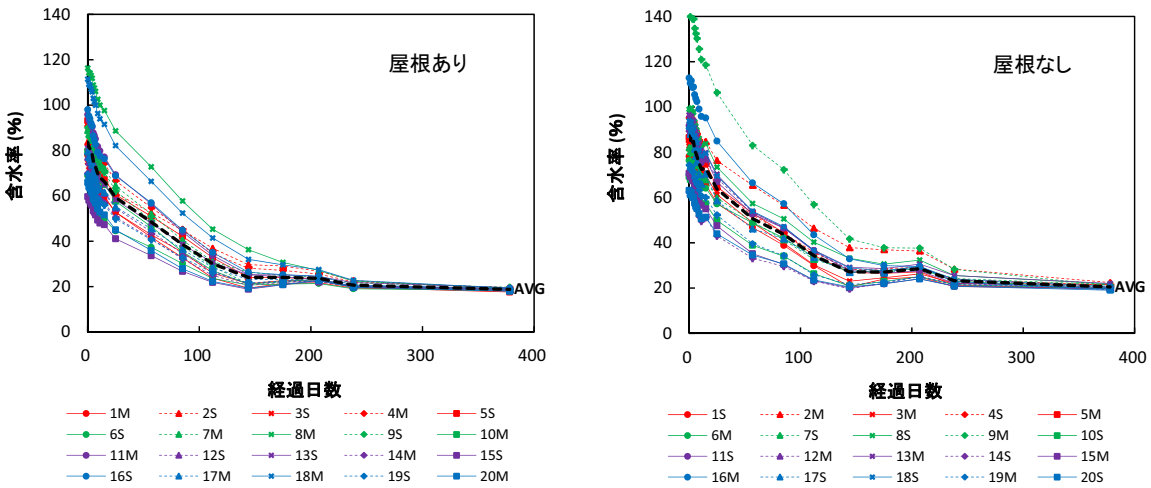


図5. 4. 4-9　含水率（全乾法）の変動

一部の試験体の表層10mm（4面）を全乾法で求めたところ約16%であり、明らかにモコ2の測定値と異なった。これは、モコ2の設定を厚さ10mmにして材表面の含水率を計測しようと試みたが、本来は材厚を設定するものであり、本来の使用方法とは異なるため、機器の特性上の問題であろうと思われた。

全乾法による含水率は、屋根の有無に関わらず、4/22（144日経過後）までは試験経過とともにほぼ単調に減少し、4/22時点の含水率は屋根あり試験体で24.1%、屋根なし試験体で27.1%であった。それ以降は含水率減少が落ち着く一方で、試験体間のばらつきが小さくなる傾向を示し、最終含水率の平均値及び変動係数は屋根ありで18.8%及び3.0%、屋根なしで20.5%及び4.9%であった。なお、屋根あり試験体の含水率は屋根なし試験体に比べて経時変化が小さく、かつ早く収束する傾向を示し、気象条件の影響を比較的受けにくい屋根ありの効果が現れたものと考えられた。

5)割れの発生状況

図5.4.4-10に割れ本数の経時変化を示す。4/22（144日経過後）までは桟積み試験経過とともにほぼ単調に増加したが、それ以降の変動は比較的小さいものとなった。これは重量及び含水率の変動の傾向とほぼ一致し、両者が急激に減少する過程において割れが一気に発生することが分かった。その後についても割れ数は漸増する傾向にあるが、4/22までに発生した割れ数に比べると極めて少なく、7/25（238日経過後）時点の割れ（写真5.4.4-1）を考慮すると以後急増するとは考えにくい状況であった。

図5.4.4-11に7/25（238日経過後）時点の割れ本数の分布を示す。屋根なし試験体は内側の列ほど（3列目）、さらには下段に行くほど（4段目）割れが少ない傾向にあった。一方で屋根なし試験体は明確な傾向は認められず、割れがどの桟積み位置においても発生しやすい状況にあると言えた。

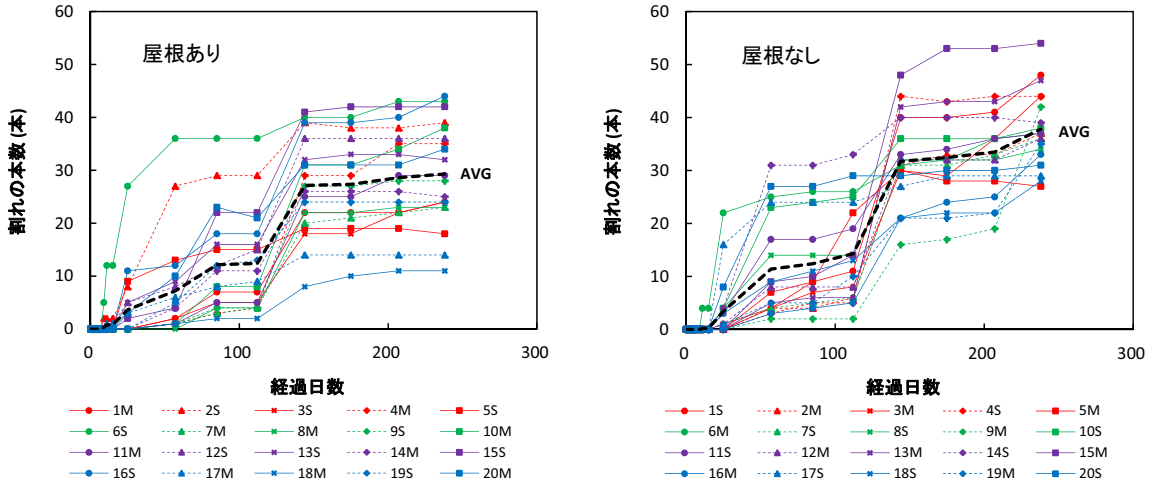


図5.4.4-10　割れ本数の変動



写真5.4.4-1　7/25（238日経過後）時点の割れの状況（屋根なし試験体）

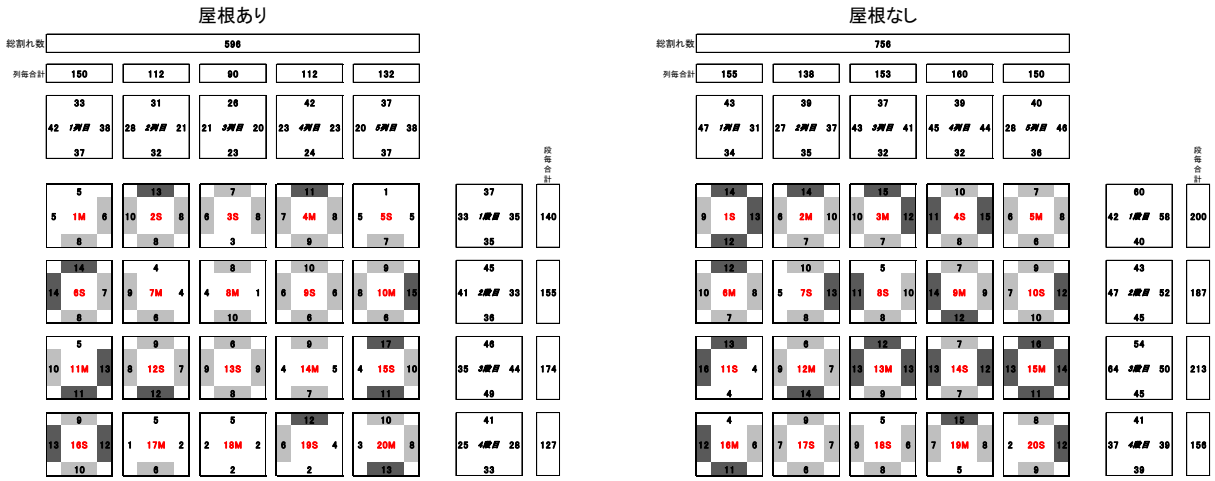
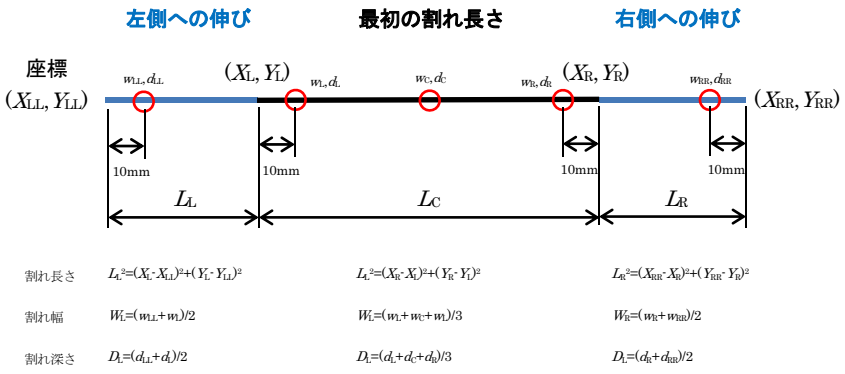


図5.4.4-11　7/25（238日経過後）時点の割れ本数の分布

図5.4.4-12に割れ長さ、割れ面積、割れ体積、割れ幅（平均幅）、割れ深さ（平均深さ）の算出方法を示す。図5.4.4-13に最大割れ長さの経時変化を示し、図5.4.4-14に総割れ長さの経時変化を示す。最大割れ長さは4/22（144日経過後）までは試験経過とともに単調に増加し、その後はほぼ一定となった。最終的な最大割れ長さは屋根あり試験体で720mm、屋根なし試験体で692mmであり（いずれも平均値）、最も長い割れでも材長2000mmの1/2以下である試験体がほとんどであった。

一方、総割れ長さも同様の傾向を示したが、4/22以降も僅かながら漸増傾向にあった。4/22時点の総割れ長さを4で除した値は、屋根あり試験体で1689mm、屋根なし試験体で1789mmとなり、ほぼ材長と同じ割れが4材面ともに発生している状況に相当した。心持ち正角材の場合、材幅の中央部付近に大きな割れが生じやすく、長さ方向につながるような割れが発生すると他の部位に大きな割れは生じにくい。4/22時点でほぼこのような状況にあり、このことが以後割れ長さがほとんど増加しない要因であると考えられた。



割れ長さ（全長）	$L=L_L+L_C+L_R$
割れ面積	$S=L_L\times W_L+L_C\times W_C+L_R\times W_R$
割れ体積	$V=L_L\times W_L\times D_L+L_C\times W_C\times D_C+L_R\times W_R\times D_R$
割れ幅（平均幅）	$W=(L_L\times W_L+L_C\times W_C+L_R\times W_R)/L=S/L$
割れ深さ（平均深さ）	$D=(L_L\times D_L+L_C\times D_C+L_R\times D_R)/L$

図5.4.4-12　割れ長さ、割れ面積、割れ体積、割れ幅（平均幅）、割れ深さ（平均深さ）の算出方法

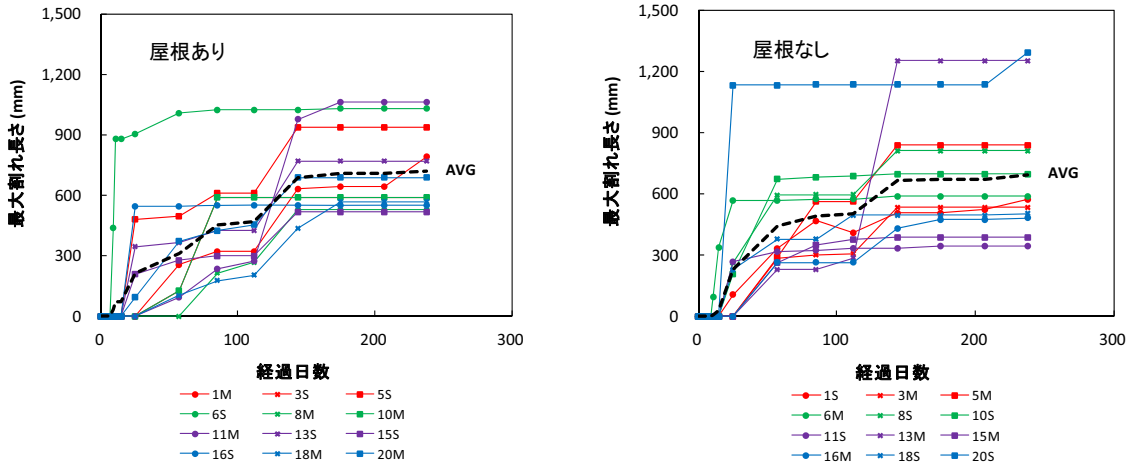


図5. 4. 4-13　最大割れ長さの変動

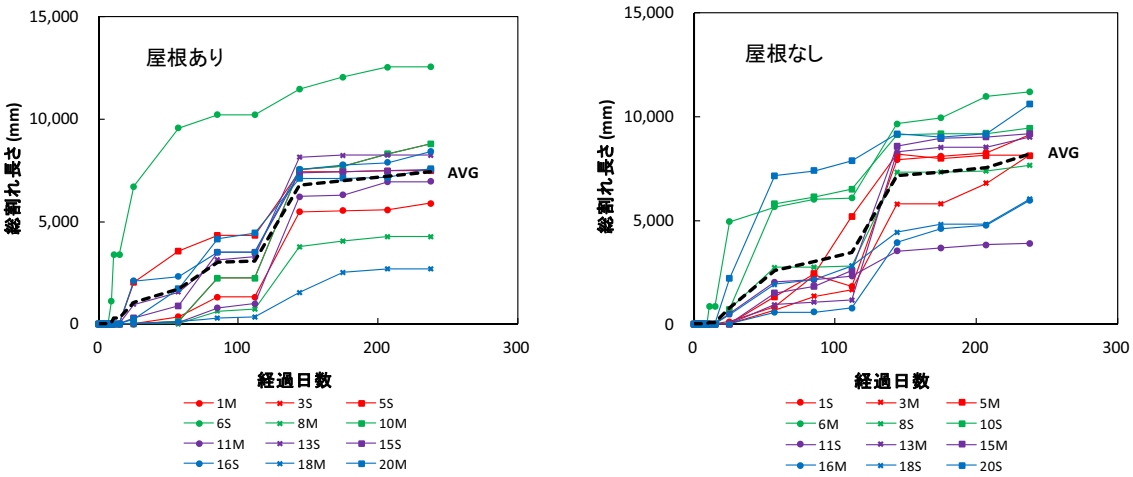


図5. 4. 4-14　総割れ長さの変動

図5.4.4-15に平均割れ幅の経時変化を示し、図5.4.4-16に平均割れ深さの経時変化を示す。両者ともに1/25（57日経過後）以降はほぼ一定となり、屋根の有無による違いは認められなかった。ただし、平均割れ深さに比べて平均割れ幅は測定日により変動が大きい傾向を示した。これは、割れ幅が測定日前までの気象条件に影響を受けやすく、降水量が多かった時期は材の膨潤により割れ幅が小さく晴天が続いた時期には材の収縮により割れ幅が大きくなることによるものと考えられた。

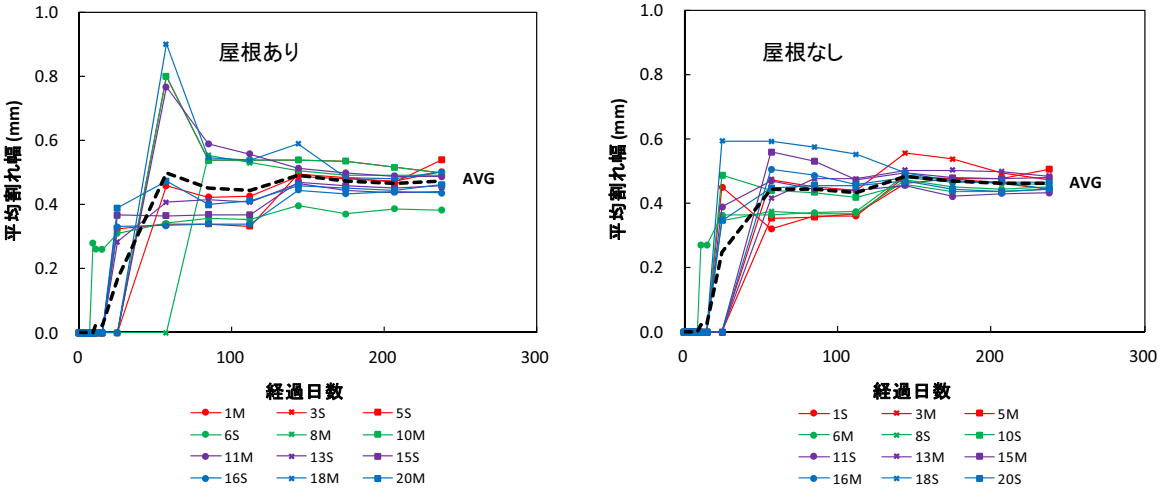


図5. 4. 4-15　平均割れ幅の変動

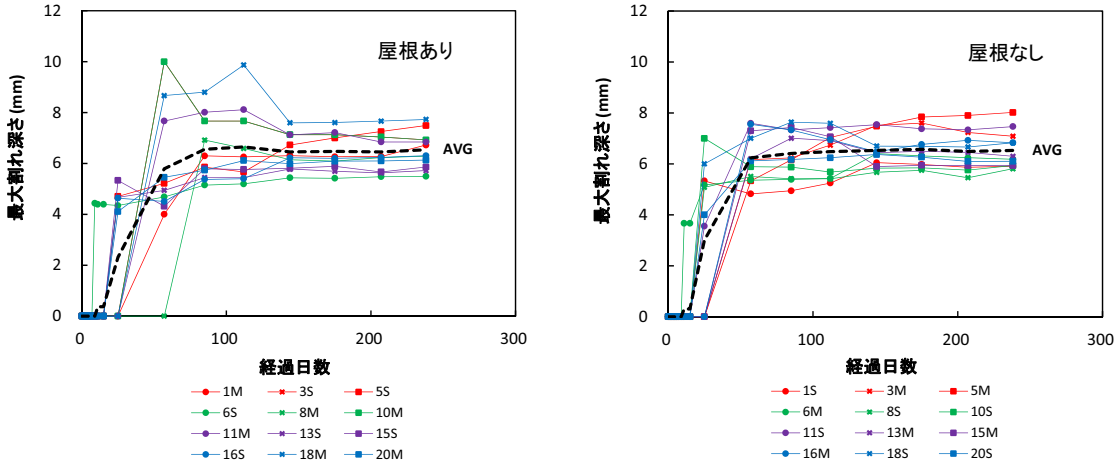


図5. 4. 4-16　平均割れ深さの変動

図5.4.4-17に総割れ面積の経時変化を示し、図5.4.4-18に総割れ体積の経時変化を示す。最終的な総割れ面積及び総割れ体積に屋根の有無による違いはほとんど認められなかった。

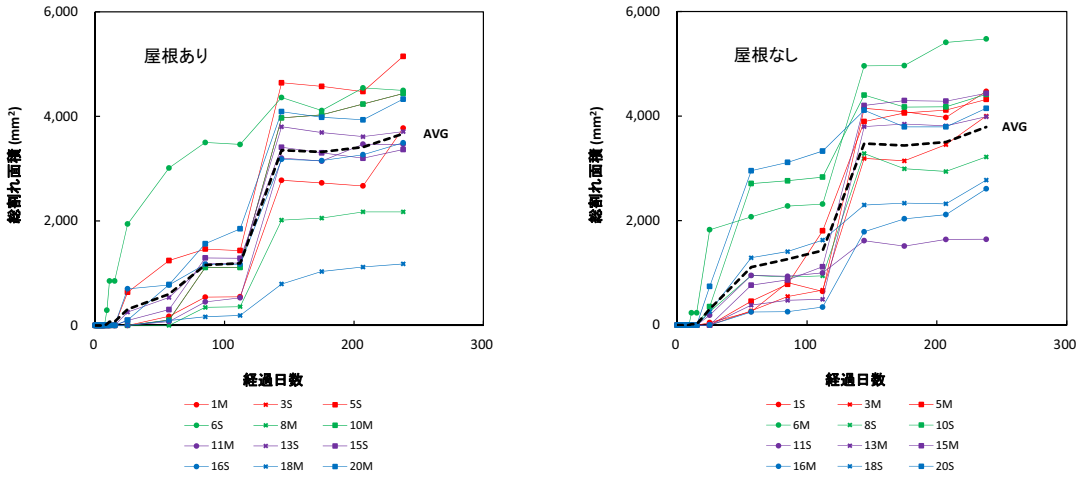


図5. 4. 4-17　総割れ面積の変動

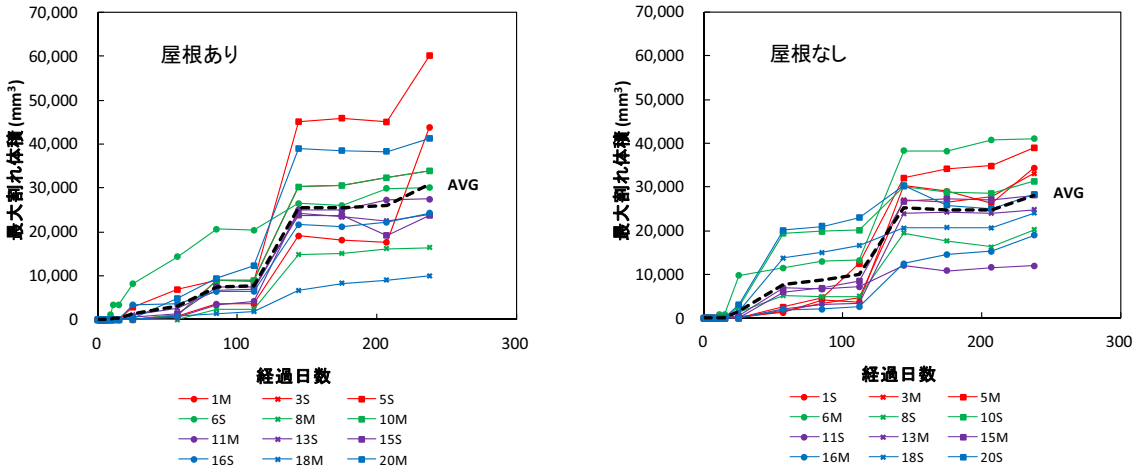


図5. 4. 4-18　総割れ体積の変動

6)割れ幅と割れ深さの関係

図5.4.4-19に7/25（238日経過後）時点における平均割れ幅と平均割れ深さの関係を示す。ばらつきが大きく、必ずしも線形回帰とは言えない可能性もあるが、割れ幅が大きいほど割れ深さも増大する傾向にあることは明らかである。仮に線形回帰式で表すと、7/25時点において、屋根ありでy=12.3x、屋根なしでy=13.1xとなり、両者の回帰式に大きな違いは認められない。また、割れ本数が増加し始めた1/25（57日経過後）以降の回帰式を比較しても、その傾きは屋根ありで11.8～14.1、屋根なしで12.5～13.9であり、両者に大きな違いはなく、傾きの経時変化も大きなものではない。実務的に考えると、割れ幅1mmのときに12～14mmの割れ深さであろうことが予測でき、天然乾燥後の製材工程等において深さを推測する際に、割れ幅が有用な指標になり得ると考えられる。

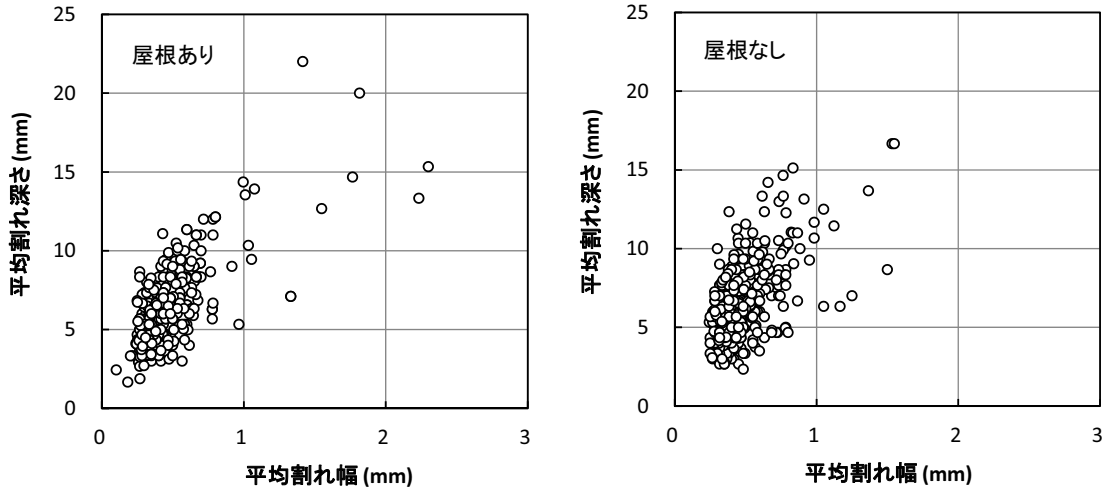


図5.4.4-19　平均割れ幅と平均割れ深さの関係（7/25（238日経過後）時点）

7)割れの発生位置

割れが末口側、元口側のどちらに発生しやすいかを判断するために、割れ中央の座標を求め、それが試験体の末口側に位置する割合（%）を算出した。図5.4.4-20に割れ座標（中央値）の末口側に占める割合の経時変化を示す。乾燥初期は割れ本数が少ないために変動が大きいものの、末口側に位置する割れの割合が比較的高く、屋根なし試験体は2/22（85日経過後）まで全体の約60%を占めた。しかしながら、経過日数とともに50%に収束し、いずれの屋根条件についても最終的には元口側にも末口側にも同様に割れが位置することが分かった。

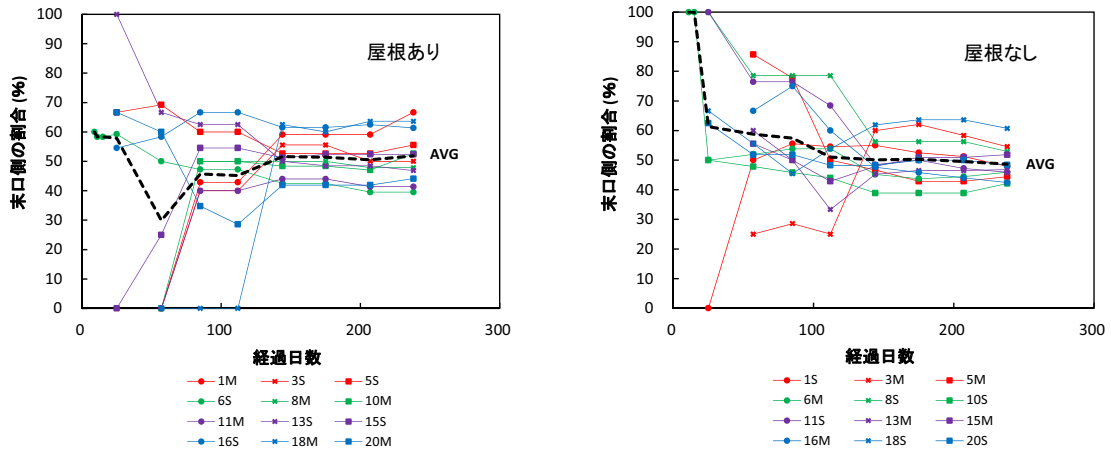


図5.4.4-20　割れ座標（中央値）の末口側に占める割合の変動

8)天然乾燥による材色の変化

写真5.4.4-2に屋根なし試験体の材色の変化を示す。桟積み位置に関わらず外周部が全体的に退色し、特に最上段の試験体上面は晩材部が浮き上がる状態（浮造り）であった。写真5.4.4-3に屋根あり試験体の木口の状況と材色を示す。側面は大きく退色したものの、木口の退色は屋根の効果によって比較的小さいものとなった。また、桟積み位置によって材色に違いが認められ、側面に比べて内側に桟積みされた試験体の退色は小さかった。写真5.4.4-4に屋根なし試験体の木口と切断面の比較を示す。含水率試験片採取のために木口から300mm以上内側を切断した際の切断面であるが、材内部に退色は認められなかった。また、表面の変色も表層のごく一部であることが分かる。写真5.4.4-5に120mm角に鉋掛けした後の材色を示す。約133mm角（7/25時点）から120mm角に、すなわち4面ともに6.5mmを切削したことになるが、退色した部分は全て取り除かれていた。



a)試験開始時（H22.11.29）　b)試験終了時（H23.12.12）　c)試験終了時の上面の状況

写真5.4.4-2　試験開始及び終了時点の材色の状況（屋根なし試験体）



写真5.4.4-3　桟積みの木口、側面、内部の材色の状況（屋根あり試験体）



写真5.4.4-4　木口と切断面の比較
（屋根なし試験体）



写真5.4.4-5　120㎜角に鉋加工後の材色

（5）まとめ

温暖地での天然乾燥における干割れの進行を明らかにするために、宮崎県都城市においてオビスギ製材の桟積み天然乾燥試験を実施した結果、以下の知見を得た。

① 温暖地の主に冬期の天然乾燥期間である11月から4月までの約140日間に、初期含水率85%から繊維飽和点以下の26%程度まで減少した。この期間の重量減少量は全天然乾燥期間（378日間）の約90%であった。

② 屋根あり試験体については桟積みの内側の列及び下段ほど割れが少ない傾向にあり、屋根なし試験体はどの桟積み位置においても割れが発生しやすい状況にあった。

③ 重量及び含水率が急激に減少する過程（140日間）で割れが急激に発生・進行することが分かった。

④ 140日後の総割れ長さは、4材面ともに材長と同じ長さの割れが発生している状況に相当し、これ以降の割れの発生は極めて少ない状況であった。

⑤ 屋根の有無にかかわらず、割れ幅1mmに対し割れ深さ12～14mmの関係にあり、実務的に割れ幅から割れ深さを推定する目安になると考えられた。

⑥ 乾燥初期の割れは末口側に発生する割合が比較的高いものの、乾燥後期には元口側と末口側で差がなかった。

⑦ 378日の天然乾燥により材色が大きく退色したものの、退色は表層のごく一部であり、表面の鉋加工あるいは木口の切断により退色部は容易に取り除くことが可能であった。

５．４．５　まとめ

前節までにおいて報告した天然乾燥の進行や干割れの発生状況について、常態（20℃±2℃、RH 65%±5%）乾燥時と比較して、結論を述べる。

・屋外における天然乾燥の速度は、屋内での常態乾燥より概して遅い。
・屋外における天然乾燥によるスギ材の平衡含水率は、屋内での常態乾燥によるものより、概して高い。
・屋外における天然乾燥によるスギ材の干割れは、屋内での常態乾燥によるものより、概して多いが、割れの深さは浅い。
・屋外において、大半のスギ材が含水率が約20%台まで低下する日数は、北関東（つくば）や多雪地（富山）で約180日、温暖地（宮崎）で約140日、京都で約100日である。ただし、これらの日数のうち、京都のみ夏季を含み、北陸は積雪期間を含む。
・天然乾燥時の屋根は、積雪期にその乾燥速度を維持し、温暖地でも屋根なしに比べて多少乾燥速度が速いが、京都（夏季を含む）ではほとんど影響がなかった。
・屋根の有無による干割れの発生状況は、多雪地や京都では余り差がないものの、温暖地では、屋根ありで乾燥したときの下の方に位置する材料で干割れが少ない傾向にあった。

また、天然乾燥と干割れの進展の関係を評価する目的の調査について、京都地域において特に葉枯らし乾燥材のもたらす影響について評価を行った。得られた知見をまとめると以下の通りとなる。

① 葉枯らし乾燥の過程で、特に辺材部分において含水率の顕著な低下が見られた。含水率低下は白線帯をやや越えて心材外層付近に及び、円盤内の全体的な含水率分布を平滑にすることが分かった。一方で心材内部の含水率低下にはほとんど寄与しなかった。
② 葉枯らし乾燥は、丸太状態の含水率を平均して100%弱程度に低下させた。
③ 葉枯らし乾燥した丸太を製材して辺材部分を除去することで、葉枯らし乾燥の効果は少なくなったが、平均して10数%初期含水率を低下させた。
④ 京都地域における夏期を挟んだ時期の、柱角材の天然乾燥では、葉枯らし乾燥材、非葉枯らし材を問わず、また小屋がけ乾燥、雨ざらし乾燥に関わらず、およそ100日程度で含水率が平衡状態である20%程度に低下した。
⑤ 葉枯らし乾燥材を雨ざらし乾燥を行うと、特に天側に向いた面において割れの進展が通常よりも大きくなる傾向が見られた。これは葉枯らし乾燥により一旦乾きかけた表面が雨水で濡れ、さらにまた乾燥するといった急激な含水率変化を繰り返し受けるためと考えられた。
⑥ 葉枯らし乾燥材を小屋がけ乾燥した場合、含水率が平衡状態に達する直前までは有意に干割れの進展が鈍くなる効果が見られた。ただし最終的にはその傾向が明確には見られなくなった。
⑦ 今回の試験範囲内では、天然乾燥による割れの幅と深さとの間にはおよそ1：9程度の高い相関関係が認められた。

なお、以上の結論は乾燥条件の違いによるものとして考察しているが、各地で試験用材料として入手したスギの品種が異なることを断っておく。

５．５　天然乾燥の実態調査

５．５．１　調査目的

伝統的構法による木造建築物の建築には、天然乾燥材が好まれると同時に、天然乾燥材と称する材料が使用されている場合が多い。構造設計を適切に行うためには、構造材に使用する材料に品質・性能が確認できるものを使用することが必要である。現行の製材の日本農林規格（JAS、平成19年農林水産省告示第1083号）には、天然乾燥による乾燥材の位置づけがないが、建築基準法施行令第46条第2項を適用して壁量規定を適用除外することは伝統的構法の計画・設計の自由度を向上させることは言うまでもない。そこで、天然乾燥材のJASにおける定義付けを意識し、我が国で実際に生産されている天然乾燥材の製造方法、天然乾燥材の範囲を整理することを目的として実態調査を行った。

５．５．２　調査方法

（１）用語の定義

本節で使用する用語について、以下のとおり定義する。

表5.5.2-1　用語の定義

用語	定義
天然乾燥	自然エネルギー（日射、風等）を利用する乾燥方法。「自然乾燥」と呼ぶこともあるが、「天然乾燥」という言葉が一般的に定着している。
天然乾燥材	一般には、天然乾燥の工程を経た材料。 当該調査では、主体が天然乾燥であれば、高温セット等の前処理や仕上げの人工乾燥を含むものも天然乾燥材に準じるものとして調査対象としている。
干割れ	材内の含水率の低下とともに組織が収縮し、半径方向と接線方向の収縮率の違いから、材料にはいるひび割れをいう。
～処理	それ自体は乾燥目的が主ではなく、あくまで本乾燥のための前（後）処理、割れや含水率調整（場合によっては材質の改変）等を目的としたものは「乾燥」ではなく、「～処理」と呼ぶこととする。 処理の代表例：高温セット、水中処理、燻煙熱処理
人工乾燥	人工的な装置および熱源を使用して乾燥する方法。乾燥を促す熱源としてはボイラーによる水蒸気減圧による蒸気圧差、もしくは高周波・マイクロ波による加熱、ヒートポンプを用いて熱を効率的に使う除湿方式などが主に用いられている。
乾燥等	広義の意味で「等」を付与しており、乾燥以外の処理、養生等の補助的な工程も含んでいる。
製材前乾燥等	丸太の状態で行う乾燥工程をいう。予備的に含水率を調整するものの、大きく含水率が低下することはない場合がほとんどである。代表的なものとして切り倒した場所で行う葉枯らし乾燥や適当な長さにカットし、土場等で乾燥させる野積み乾燥がある。「等」には前述の「処理」も含んでいる。
製材後乾燥等	製材後に行う乾燥工程をいう。主として製材工場や大工が行う。木材の含水率を低下させる工程の大部分がこれに含まれる場合が多い。 代表的なものとして、製材桟積み乾燥がある。「等」には前述の「処理」、「養生」も含んでいる。

（２）実施計画

天然乾燥材の生産方法は、地域や樹種等によって様々な方法や特色を有していると考えられる。当該調査では、全国の製材所等（林家、林業家、製材所、プレカット工場等）を対象とした天然乾燥材の生産に関する内容について実態調査を行い、前述の観点を踏まえて体系的な分類整理を行う。

平成21年度は、アンケート調査を行い、林業事業者向け調査25社、製材業等向け調査68社の回答の整理・分析を行った。

平成22年度は、アンケート調査の回答結果から選別し、21カ所のヒアリング調査を行った。

平成23年度（本年度）は、平成22年度に引き続き13カ所のヒアリング調査を行った。

本年度は、21年度のアンケート回答者の未調査分に加え、ホームページから天然乾燥材を扱っている製材所を探してヒアリングを行った。

今年度における実務者へのヒアリング調査は、表5.5.2-2のとおりである。

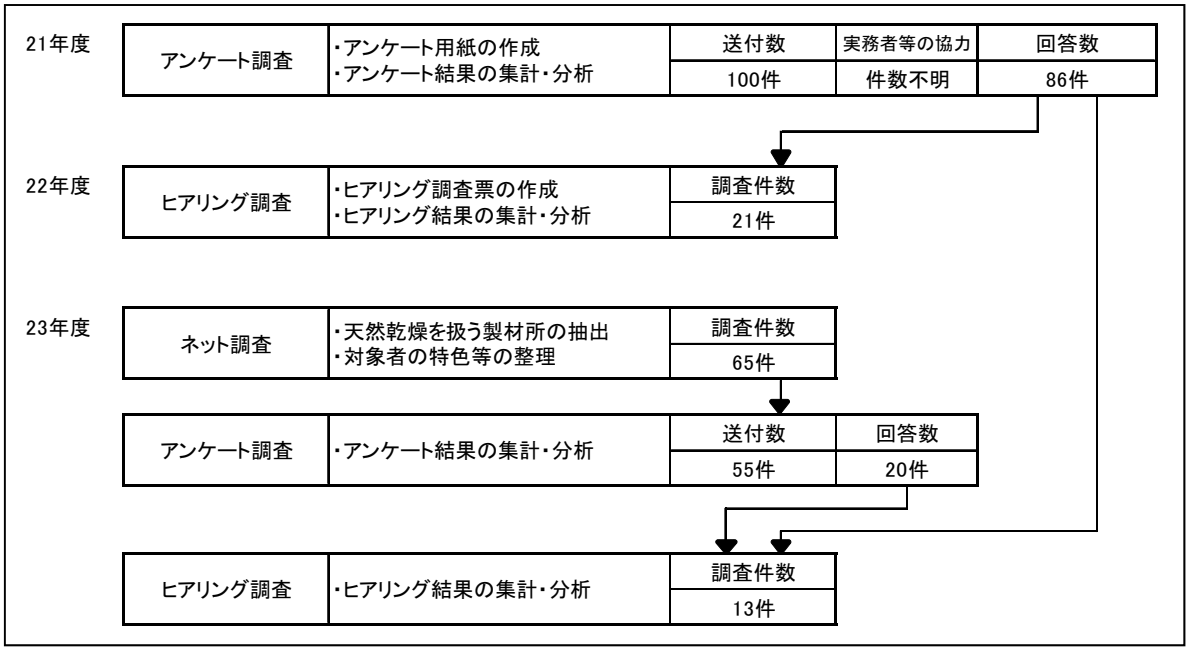


図5.5.2-1　調査フロー図

表5.5.2-2　ヒアリング調査の実施スケジュール

	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
ネット調査										
アンケート調査										
ヒアリング対象者の選定										
ヒアリング調査実施										
調査結果の整理										

（３）ヒアリング調査内容

昨年度と同様に天然乾燥の乾燥方法についての分類整理を行うために、乾燥方法、乾燥期間、気候風土等への対応等に関する乾燥や流通経路等の実態調査を中心として、乾燥の定義や干割れを欠点とみなしているか等の考え方についても聞き取りを行った。

ヒアリング調査シートは別紙5.5.2-1、5.5.2-2のとおりである。シートは、属性・概要を書き込む

ベースシートと、詳細に乾燥方法等を纏める樹種別・用途別シートに大別している。ヒアリング調査は、アンケート調査対象者から選別しているため、アンケートでの回答を予め記入しておき、それを踏まえてヒアリングを実施した。

また、乾燥方法の工程毎の区分として、前処理、本乾燥、仕上げ処理に大別する考え方もあるが、境界が曖昧であることも考えられるため、当該調査においては、丸太の状態で行う葉枯らし乾燥、輪掛け乾燥等及び水中処理等を「製材前乾燥等」、最終的な含水率を調整し、製材として出荷するまでに行う乾燥を「製材後乾燥等」と2種類に大別して調査を行った。

別紙5.5.2-1　ヒアリング調査シート（ベースシート）

現地ヒアリング調査チェック表

調査対象者	会社名及び個人事業者名	
	会社住所・連絡先	
	調査対応者	
	業態	
調査担当者名		
調査日時	平成22年　　月　　日（　）　　：　　～　　：　　（ヒアリング） ：　　～　　：　　（現地見学）	

0. はじめに

※ここでは便宜的に丸太の状態で行う葉枯らし乾燥、輪掛け乾燥等及び水中乾燥等を「製材前乾燥」、最終的な含水率を調整し、製材として出荷するまでに行う乾燥を「製材後乾燥」と呼びます。

※樹種と用途で異なるものがあれば、別紙にそれぞれご記入ください。乾燥の種類に複数の工程がある場合は、それが分かるように別々にご記入ください。

1. 天然乾燥材の種類

項目	アンケートでの回答		ヒアリング内容
①樹種	質問3	スギ、ヒノキ	
②産地	質問3	○○県	
③製品の種類	質問2	構造材、造作材、銘木、下地材、その他1棟分全ての部材	
④用途・材種	質問6	柱、梁、板材、その他（羽柄材、家具材）	

2. ～5. 樹種別用途別シート（別紙記載）

6. その他（※樹種別・用途別シートの後に記載）

※アンケートで聞き漏らした内容等を含めてご記入ください。

項目	ヒアリング内容
樹種と主な用途の出荷の割合の内訳が不明	

※青字部分はアンケート調査での記入例

別紙5.5.2-2　ヒアリング調査シート（樹種別・用途別シート）①

現地ヒアリング調査チェック表

■樹種別、用途別シートの記入の仕方
・樹種別、用途別に乾燥方法等が異なる場合には、「樹種及び用途」欄に種類をご記入の上、ヒアリング内容をそれぞれ別の行にご記入ください。また、この場合、点線をなぞり、境界を明確にしてください。

2. 天然乾燥の方法

項目		アンケートでの回答		ヒアリング内容				
樹種及び用途								
乾燥についての実施体制 （※自社、他社、組合内等の役割分担をお書きください。）								
（①製材前乾燥 （自社及び組合内）	乾燥の種類	質問9	丸太：野積み	名称：				
	乾燥方法 （場所含む）			方法： 場所：				
	乾燥時期			（　　）月～（　　）月 （　　）月～（　　）月				
	乾燥期間	質問9	3～6ヶ月	（　　）ヶ月				
	気候風土等への対応について							
	選木基準							
	乾燥終了の判断基準			目標含水率：（　　）% その他：				
	品質管理			方法： 検査数量：（　　）本・%　1ロットの数量（　　）本 ※数量の場合はロットの数量も記入				

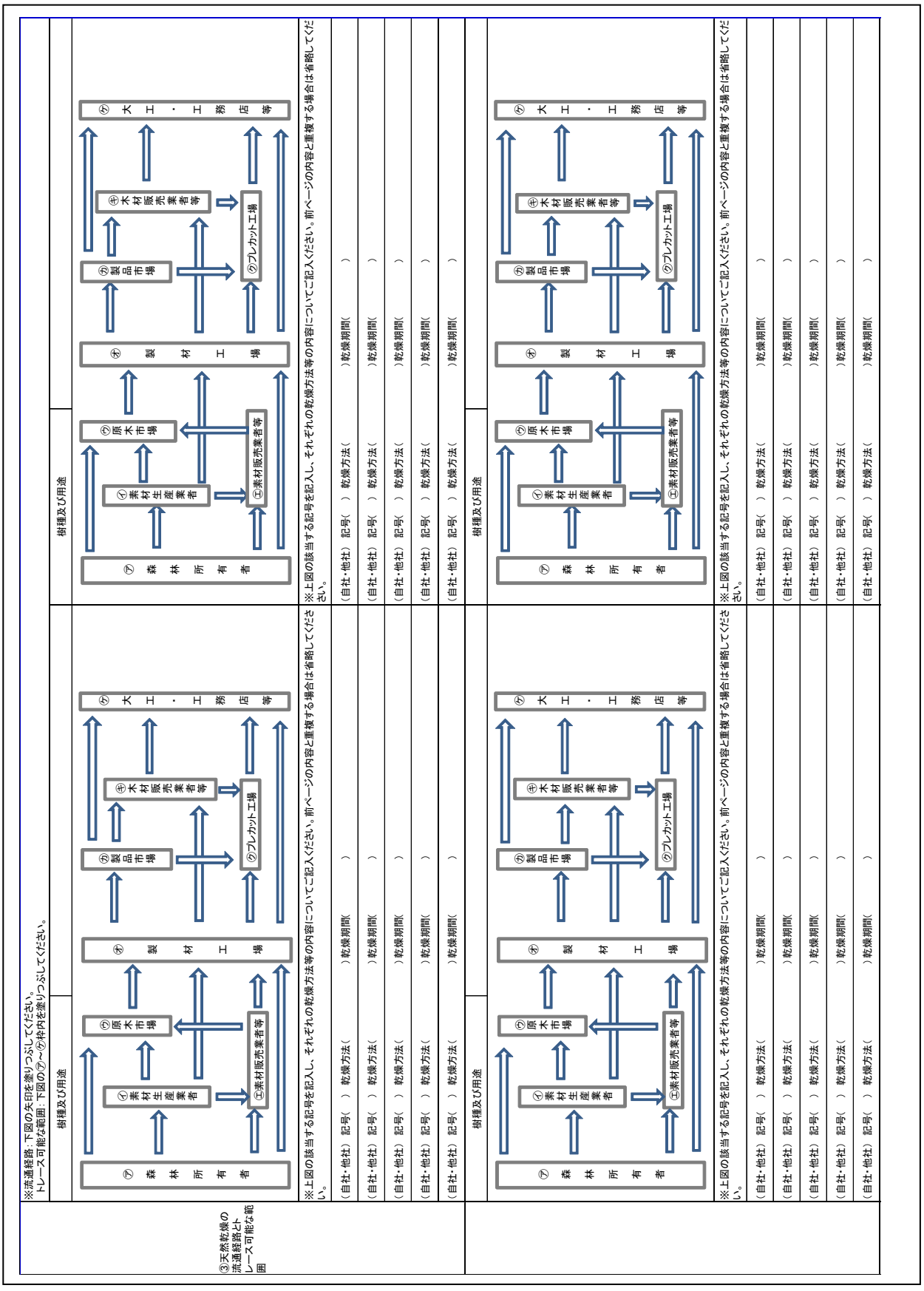
※青字部分はアンケート調査での記入例

別紙5.5.2-2　ヒアリング調査シート（樹種別・用途別シート）②

項目		アンケートでの回答	ヒアリング内容								
樹種及び用途											
乾燥についての実施体制 （※自社、他社、組合内等の役割分担をお書きください。）											
②製材後乾燥（自社及び組合内）	乾燥の種類	質問9	製材・桟積み	名称：							
	乾燥方法（場所含む）			方法： 場所：							
	乾燥時期			（　　）月～（　　）月 （　　）月～（　　）月							
	乾燥期間	質問9	15～30ヶ月 屋内	（　　）ヶ月							
	気候風土等への対応について										
	材料の受け入れ基準										
	乾燥終了の判断基準	質問5	目標含水率20～25％	目標含水率：（　　）％ その他：							
	品質管理	質問11	寸法、含水率、節、割れ、反り 全数検査	方法： 検査数量：（　　）本・％　1ロットの数量（　　）本 ※数量の場合はロットの数量も記入							

※青字部分はアンケート調査での記入例

別紙5.5.2-2　ヒアリング調査シート（樹種別・用途別シート）③



※青字部分はアンケート調査での記入例

別紙5.5.2-2　ヒアリング調査シート（樹種別・用途別シート）④

項目		アンケートでの回答	ヒアリング内容					
樹種及び用途								
④切り旬について	時期		（　　）月～（　　）月 （　　）月～（　　）月					
	切り旬を決めている理由							
⑤材料の挽き方について	製材機械等	質問7	シングルソー、ツインソー					
	挽き寸法		断面120mmなら、(+　　)（mm or %）					

3. 乾燥材の定義

項目	アンケートでの回答	ヒアリング内容					
①含水率何%以下を乾燥材と捉えているか。							
②製品として出荷できる状態であるとの具体的な方法（含水率？期間？出荷の相手次第？）							

4. 干割れについて

項目	アンケートでの回答	ヒアリング内容					
①どこまでの干割れを欠点でないと考えるか。							
②干割れを防ぐための工夫							
③干割れについての品質管理の方法	検査方法						
	検査数量						
④許容範囲を超えた干割れ材の処理方法		再乾燥・使い回し・廃棄・（その他：　　）					

5. 背割りについて

項目	アンケートでの回答	ヒアリング内容					
①背割りの有無	質問10	両方生産している					
②背割りを入れる理由について（干割れのコントロール＝表しに使うため？or乾燥促進？）							
③背割りをしない理由について（強度確保のため？or干割れしない工夫がある？）							

※青字部分はアンケート調査での記入例

５．５．３　調査結果

（１）ネット調査

本年度はインターネット上で検索ができた天然乾燥実施企業を調査・集計をした。

近年頻度高く利用されている2社の検索サイトを通して、ネット調査を実施した。下記に示す方法で検索を実施し、加えて、検索したホームページ（以降HPと記述）やブログ等に記載してある企業名やLinkを通した検索まで実施した。また、日本の全都道府県の天然乾燥実施企業を調査することを意識して、キーワードに都道府県名も加えた検索も行った。

1)2社の検索サイト上において次のキーワードで検索
①：天然乾燥、②天然乾燥、木材、③天然乾燥、製材、④自然乾燥など。加えて、特定の都道府県名などのキーワードも含めた検索も実施

2)検索した天然乾燥に関わる企業等HPから、推奨しているまたは、実施している天然乾燥の内容（記述や写真など）を記録収集。

3)検索した天然乾燥に関わる企業HPやブログに記述してある天然乾燥に関係していそうな企業名を抽出し、新たに、検索サイトでキーワードによる検索を実施

4)検索した天然乾燥に関わる企業HPやブログにリンクしてある天然乾燥に関わる企業HPまたはブログへアクセス。

5)上記の3)または4)でたどりついた天然乾燥実施企業HPの内容及び写真の記録収集

検索サイトのキーワード検索で表示された一覧の上位ランクよりすべて調査していき、天然乾燥に関わる企業HPまたはブログから前述の方法でくまなく調べた。また、最終的には、2つの検索サイト共に100ページを超えるところまで調査を実施した。

天然乾燥に関わる企業HPやブログには、天然乾燥という名称で様々な乾燥方法を提案または表記していた。その内容や写真により天然乾燥実施しているかを調査者が任意に判断し収集した。なお、本調査では人工乾燥などを併用する実施企業も含めている。

表5.5.3-1に示したように65社（事業所による分類も含む）の天然乾燥実施企業を集計した。実施者の事業はさまざまであるが、建築業または建設業企業の倉庫などで天然乾燥しているものもいくつか含まれている（事業名などはHP記載内容から関係する部分のみ記載しているため、実際と異なることもある)。

表5.5.3-1　ネット調査による天然乾燥等実施企業　　集計一覧

No	主な所在地	事業内容
1	秋田県	建築用材製造、販売
2	秋田県	住宅部材として供給
3	千葉県	製材業
4	福井県	木材（杉・桧・松）、部材の紹介、在庫照会
5	福岡県	製材業、 山林管理
6	福島県	木造注文住宅施工販売
7	福島県	製材、乾燥、販売
8	福島県	製材・乾燥・加工、木材・建材の販売
9	福島県	建築資材の製造・販売、建築設計、ほか
10	岐阜県	製材業・建築業
11	岐阜県	製材業、素材販売
12	広島県	製材業
13	石川県	製材及び販売
14	香川県	材木業、製材業
15	熊本県	製材業

16	熊本県	建築、、不動産、木材加工、建材販売
17	神奈川県	製材
18	京都	販売
19	三重県	製材・伐採・搬出・山林管理
20	三重県	製材・伐採・搬出・山林管理
21	三重県	建設業
22	宮城県	森林育成、立木の伐採・仕入、素材、製材の販売
23	宮城県	組合（森林の管理、植栽、保育、伐採、木材生産、販売）
24	新潟県	建設業、プレカット
25	新潟県	建設工事請負、伐採・製材・設計・施行
26	新潟県	製材業
27	新潟県	製材業
28	長野県	建築工事・土木工事
29	長野県	木材製材業、一般建築業
30	奈良県	銘木・建築材の製造・販売、設計・施工、山林経営及び育林事業
31	奈良県	製材と材木販売
32	奈良県	製材、販売
33	奈良県	木製品販売
34	奈良県	製材業、加工および販売、立木、林業
35	奈良県	製造、販売
36	奈良県	製材
37	長崎県	製材業・建設業
38	長崎県	製材、木材加工、資材販売
39	大分県	製材業
40	大分県	製材
41	岡山県	製材、販売山林育成・立木購入・伐採
42	岡山県	建築業
43	岡山県	製品の製造および販売
44	岡山県	製材業
45	佐賀県	製材業、販売、古材販売
46	滋賀県	製材業、一般建築材
47	滋賀県	製材業・製造業・販売、設計・施工管理
48	滋賀県	住宅建築材料販売、不動産事業
49	滋賀県	建築業
50	島根県	木材の製造及び販売
51	埼玉県	組合（製材・伐採・搬出・山林管理）
52	埼玉県	組合（製材・伐採・搬出・山林管理）
53	埼玉県	建築設計・施工 木材製材・販売
54	埼玉県	NPO、紹介
55	埼玉県	調達、設計、施工
56	埼玉県	木材製材・販売、建築、設計
57	静岡県	材木事業、加工事業、建築事業、建材事業
58	静岡県	製材業
59	静岡県	組合（製材、販売、伐採）
60	静岡県	製材
61	静岡県	製材・木材販売・建築
62	東京都	組合
63	徳島県	製材業　プレカット加工　木材販売
64	徳島県	組合（製材、森林管理）
65	富山県	組合（森林の整備、加工、販売）

（２）アンケート調査

ネット調査結果65件から、調査済みのものを除いた55件を対象としてアンケート調査を実施し、20件の回答が得られた。回答率は36%と高い結果となった。

（３）ヒアリング調査対象者の選定

調査対象者の候補は、アンケート調査から回答が得られた20件に加え、前年度ヒアリング調査を行っていないものの中から一定以上の年間生産量があるものを選抜して9社、地元業者からの推薦により4社を候補に加えた（表5.5.3-2参照）。調査対象者は同表から、所在地（地域性）、年間生産量及び乾燥方法等を考慮して選別を行った。網掛けしていないものが実施した会社である。

表5.5.3-2　ヒアリング候補者一覧

整理番号	ヒアリング対象者	情報源	所在地	属性	年間生産量			目標含水率	取扱い樹種	乾燥方法
					全製品の年間生産量（㎥）	天乾材の年間生産量（㎥）	天乾／全製品の割合（%）			
1		本年度ネット調査による候補	秋田県	製材業	11000	330		30～25%	スギ	製材桟積み
2	24		宮城県	製材業、木材加工業	10620	4200	40%	25%	スギ、アカマツ	製材桟積み、丸太・野積み
3	25		石川県	製材業	3000	500	17%	30%	スギ、ノトヒバ	製材桟積み
4			富山県	製材業	1500	300	20%	30～40%	スギ	製材・桟積み
5			長野県	製材業、建築業	130	100	77%	15%	マツ、スギ、ヒノキ	製材桟積み、丸太野積み
6			埼玉県	森林組合	年間伐採量1,000m3				スギ、ヒノキ	葉枯らし乾燥、丸太野積み
7	28		神奈川県	製材業	300	300	100%	25～30%	スギ、ヒノキ	製材桟積み
8			静岡県	製材業	860	860	100%	25%	スギ、ヒノキ	製材桟積み、葉枯らし
9			滋賀県	製材業	500	50	10%	無回答	スギ	製材・桟積み
10			三重県	製材業、建築業	50	50	100%	20%	地マツ	製材桟積み
11			奈良県	製材業	420	400	95%	20%	ヒノキ	製材桟積み
12			奈良県	製材業	400	400	100%	20%	ヒノキ	製材桟積み
13			奈良県	製材業	200	200	100%	25%	ヒノキ	製材・桟積み
14			奈良県	その他（磨き丸太製造）	500	500	100%	25%	スギ、ヒノキ	管理型天然乾燥
15			奈良県	製材業、建築業	2000	400	20%	20%	スギ、ヒノキ	製材桟積み、丸太・野積み
16			岡山県	建築業		1000		18%	スギ、ヒノキ	製材桟積み
17			岡山県	製材業	2000	200	10%	20%	マツ	製材桟積み、丸太・野積み
18			徳島県	製材業				無回答	スギ	製材桟積み、丸太・野積み
19			長崎県	製材業、木材加工業		550		無回答	ヒノキ	製材桟積み、丸太・野積み
20	34		熊本県	製材業	1500	1400	93%	25～30%	スギ、ヒノキ	製材桟積み

21		平成21年度アンケートによる候補	埼玉県	製材業、木材加工業	1000	1000	100%	25%	スギ、ヒノキ	製材・桟積み桟積み
22	29		千葉県	製材業	5300	1600	30%	20%	スギ、ヒノキ	丸太野積み、製材桟積み
23	26		東京都	製材業	1000	500	50%	40%	スギ、ヒノキ	丸太野積み、製材桟積み
24			愛知県	建築業	600	600	100%	25%	スギ、ヒノキ	無回答
25	30		三重県	製材業	2000	1800	90%	20%	ヒノキ	無回答
26			香川県	その他	800	720	90%	25%	スギ、ヒノキ	製材桟積み、立て掛け乾燥
27			福岡県	製材業	5000	500	10%	30%	スギ	製材桟積み
28	33		福岡県	製材業	2000	1200	60%	25%	スギ	丸太野積み、製材桟積み
29	31		岡山県	製材業	1000	400	40%	18～25%	マツ	製材桟積み
30	22	地元業者からの推薦	秋田県	製材業	1800	1800	100%	25%	スギ	製材桟積み・立て掛け乾燥
31	23		秋田県	製材業、木材加工業	8250	1650	20%	30%	スギ	丸太野積み
32	27		山梨県	製材業	360	360	100%	なし	アカマツ、スギ、ヒノキ	低温乾燥+製材桟積み、製材桟積み
33	32		岡山県	製材業	1080	700	65%	25%	ヒノキ	製材桟積み、製材桟積み＋中温乾燥

（4）ヒアリング結果

今年度のヒアリング調査内容を一覧表に纏めたものが、表5.5.3-4～表5.5.3-10である。

1) ヒアリング対象者の地域分布

ヒアリングの調査対象となった地域は図5.5.3-1のとおりである。図中、黒星が昨年度実施のもの、赤星が今年度実施分である。ヒアリング対象を選定する際には、なるべく各地域に万遍なく実施するため、今年度は日本海側や北部を網羅し、更に生産量や低含水率、乾燥方法を考慮して選定した。このため、本節の成果は、無差別に抽出したものでないことを前提にデータを読み取る必要がある。

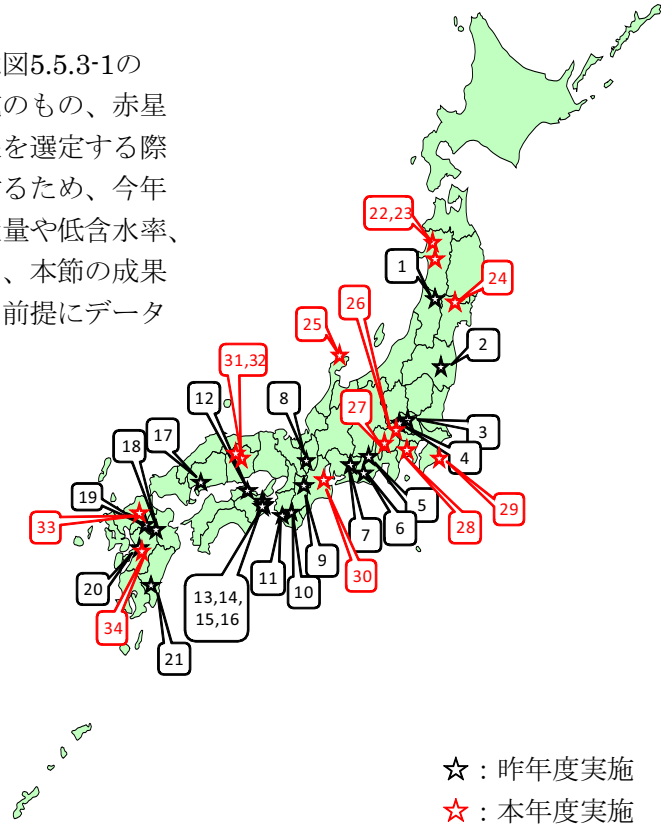


図5.5.3-1　調査対象の所在地

2)産地（表5.5.3-4他）

地元材を使用しているところが多い結果となった。前年度の結果と合わせると、県内23件、県内外10件、県外1件という結果であった。スギやヒノキは地元材が多く、アカマツは産地が限定されるため県外で購入される場合もある。

3)樹種（表5.5.3-4他）

圧倒的に多いのがスギ材、次いでヒノキの順番である。今年度調査では、アカマツを取り扱っている業者は3社あるが、アカマツを取り扱う業者を意図的に選んでいる結果であり、割合的にはかなり少ない（アンケートでは86件中6件のみ）。

4)切り旬（表5.5.3-4）

昨年度調査では、切り旬を決めている業者がほとんどであった（切り旬を決めている業者が9割）が、本年度調査では3割程度が年中伐採しているという回答をしている。今年度は比較的寒い地域も対象にしていることや葉枯らし乾燥を行っているところが少ないためと推測される。

5)乾燥方法等の種類

昨年度からの調査分を合わせて当該調査で扱ってきた乾燥方法等の種類は表5.5.3-3のとおりである。

天然乾燥に於ける代表的な乾燥方法は、葉枯らし乾燥と桟積み乾燥であるが、現在、様々な乾燥方法の試みがなされている。当該調査では、人工乾燥で使われる工程を含むものであっても、事前のアンケート調査において、天然乾燥の特徴を損なわない等の回答があったものについては、天然乾燥に準ずる方法として調査対象に含めている。人工乾燥の工程を経るものは製材前乾燥を行わない傾向にある。

表5.5.3-3　本調査で対象とした乾燥方法等の種類

製材前乾燥			製材後乾燥		
山での乾燥等	貯水池等での乾燥等	土場での乾燥等	製材所等での乾燥等		
			前処理	本乾燥	後処理
・葉枯らし乾燥	・水中処理	・輪掛け乾燥（井桁） ・野積み乾燥	・低温処理 ・中温処理 ・高温セット ・燻蒸熱処理	・桟積み乾燥 ~~・立て掛け乾燥~~ ~~・低温乾燥~~ ~~・中温乾燥~~ ~~・（高温乾燥）~~	・低温乾燥（処理） ・高温乾燥（処理） ・桟積み養生

乾　燥　・　処　理　の　順　番

6)製材前の乾燥方法等（表5.5.3-5）

①葉枯らし乾燥

昨年度調査では、葉枯らし乾燥を行っている業者が6割を占めていたが、今回の調査では、葉枯らし材を扱っている業者は少なく、1割程度であった。理由としては、人工乾燥（処理）を行うためや市場買いが多かったことが挙げられる。

②丸太野積み乾燥（写真5.5.3-1）

今年度の調査では4社のみの回答。昨年度調査と同様、製材するまでの仮置きやストックという意識が強い。例外として、No23は輪掛け乾燥と組み合わせて乾燥目的で野積みしている。当該乾燥では丸太野積み乾燥に虫害防止のため、剥皮を行っているということであったが、昨年度実施した他の製材業者では、正反対の回答を得ている（虫害防止のため、皮は剥がないとしていう回答であった）。

③輪掛け乾燥

土場で丸太樹皮付きを井桁に組んで乾燥させる方法。No23の業者では、海岸沿いの土場で乾燥させることによって、海風による乾燥促進効果を期待している。まだ実験的に行っているもので、a）野積みしたもの、b）輪掛けしたもの、c）輪掛けの上に野積みしたもの（写真5.5.3-2）を比較して乾燥の度合い等を確認している。6～10ヶ月乾燥させる。



写真5.5.3-1　丸太野積み乾燥



写真5.5.3-2　輪掛け（5段）＋野積み乾燥

7)製材後の乾燥方法等（表5.5.3-6）

丸太を粗挽きした後の天然乾燥方法は、桟積み乾燥（写真5.5.3-3、写真5.5.3-4）が多く、前年度からの調査対象では立てかけ乾燥（写真5.5.3-5）を除く全てがこの乾燥方法を実施している。

桟積み乾燥は、乾燥の前後に前処理や仕上げ処理を行っているところもある。そのほとんどが、熱風により乾燥及び処理する方法である。

①前処理

前年度調査では、高温セットは割れ防止目的、低温・中温前処理は低温・中温でゆっくり乾燥させることにより水分傾斜を軽減し、割れ防止を目的としたものであるので、乾燥ではなく、処理と定義した。また、単に乾燥促進のために低温・中温乾燥させるために実施する場合もあり、どちらの効果を有する可能性があるが、本調査では実施者の主観による効果を表した言葉で区別している。

No24は、燻煙熱処理を行っている業者である。燻煙熱処理は装置に入れて火種を燃やし、その熱によって乾燥させる方法である（写真5.5.3-6）。

②後処理

No32は、仕上げ処理として、乾燥促進及び含水率を一定のレベルに下げる目的（含水率調整）で、桟積みの後に乾燥を行っていた。

昨年度の結果と合わせて見ていくと、気候風土等への対応としては、乾燥させることを目的としてどの地域でも風通しが重視されており、桟の大きさを季節毎に変えたり、早く乾燥させたい場合に厚い桟に変えている業者もある。その反面、急激な乾燥による干割れを懸念して、日射を避けたり、風が通りにくい場所を選ぶ場合もある。これは地域それぞれの気候風土の特性によって変わってくる。日照条件についても、乾燥条件を均等にするため、上下の入れ替えを行ったり、直射日光を避けるために寒冷紗を掛ける等の工夫を行っている。また、雪や雨の多い地域では屋根を掛けている。効果のほどは不明だが、乾燥初期に敢えて雨水に当てると乾きやすい、干割れしにくい等の効果があるとしている業者もある。

桟の大きさについて着目すると、板材より構造材の方が厚いものが使用されている。また、地域性（気候）はほとんど見られないが、樹種によって違いが見られる。構造材ではスギは平均43mm、中央値30mmだが、アカマツはたった4件の回答であるが、90mm2件、60mm2件という結果であった。用途（アカマツは平角が大半）に依存しているとも考えられるが、スギ、ヒノキを梁材に用いた場合であっても最大60mmである。

桟積み乾燥を行った柱材の乾燥期間は6ヶ月程度が多く、人工乾燥と組み合わせたものはこれより短くなる。

乾燥終了時の構造材の含水率は低いもので18%、高いもので30%と開きがある。出荷前の含水率

の管理方法については､昨年度からの結果を合計すると､発注者からの依頼があった場合等を除き、重量で判断している業者が12社、含水率計のみを使って測定している業者が13社、重量と含水率の両方で判断している業者が4社であった。含水率計の種類については、ハンディタイプ21件、設置型2件、ハンディタイプと設置型の併用2件であった。



写真5.5.3-3　桟積み乾燥



写真5.5.3-4　桟積み乾燥



写真5.5.3-5　立て掛け乾燥



写真5.5.3-6　燻煙熱処理のための乾燥炉

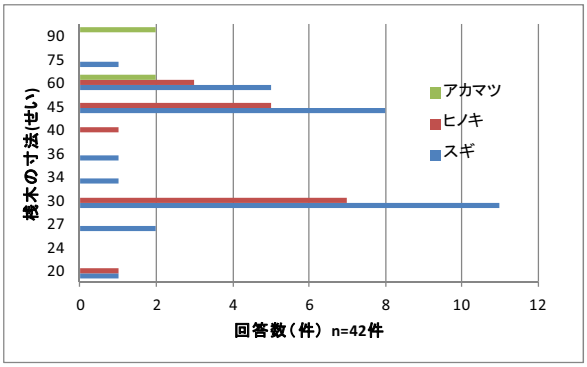


図5.5.3-2　柱、梁の桟木の寸法（せい）

8)製材乾燥前の挽き寸法（表5.5.3-7）

乾燥後の製材の断面寸法を狙って、製材乾燥前の粗挽き工程において大きめに挽くが、このときの歩増し寸法について、ヒアリングを行った。スギ製材120角の製材前の歩増し寸法は図5.5.3-3に示すとおり、+15mmが最も多く、ついで+10mmという結果となった。

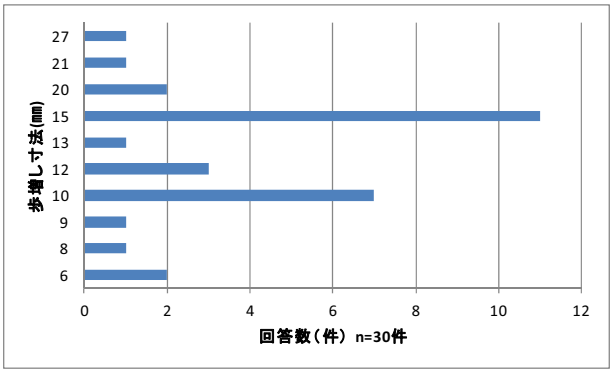


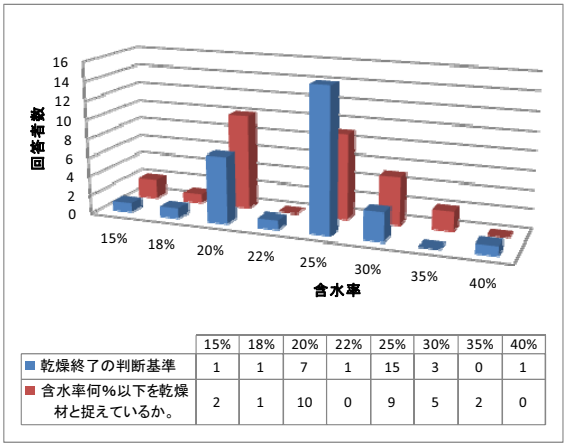
図5.5.3-3　スギ製材乾燥前の歩増し寸法（120角の場合）

9) 乾燥材の含水率（表5.5.3-7、表5.5.3-8）

乾燥終了の含水率の判断基準と、何%以下を乾燥材として認識しているかという質問の回答結果（昨年度からの結果の合計）を比較した（図5.5.3-4、図5.5.3-5）。集計は2つの質問に対する回答が両方とも得られているもののみとし、「含水率15～20%」などのような回答の場合、「20%以下」に含めている。

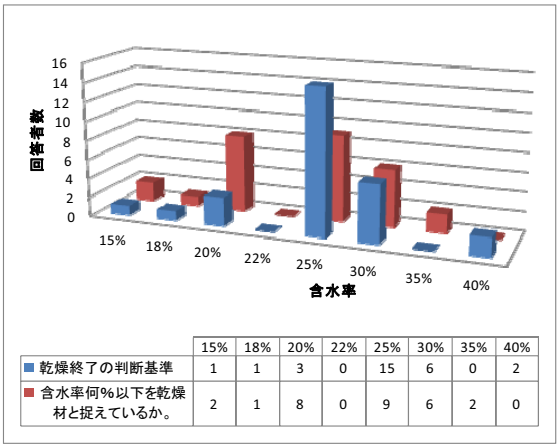
柱材より梁材の判断基準の方が含水率が高めになる傾向にあり、柱材で最も多いのは含水率25%、次いで20%、梁材で最も多いのは25%、次いで30%という結果となった。

また、乾燥材と認識している含水率より、実際の判断基準の方がやや高めになっている。個別の回答では大工の施工性を考えると高めの方が良いとの意見もあり、実際の判断基準より高い含水率を乾燥材と考えている業者もあった。



	15%	18%	20%	22%	25%	30%	35%	40%
乾燥終了の判断基準	1	1	7	1	15	3	0	1
含水率何%以下を乾燥材と捉えているか。	2	1	10	0	9	5	2	0

図5.5.3-4　柱材の実際の乾燥終了含水率と認識上での乾燥材の含水率の比較(n=29)



	15%	18%	20%	22%	25%	30%	35%	40%
乾燥終了の判断基準	1	1	3	0	15	6	0	2
含水率何%以下を乾燥材と捉えているか。	2	1	8	0	9	6	2	0

図5.5.3-5　梁材の実際の乾燥終了含水率と認識上での乾燥材の含水率の比較(n=28)

10) 干割れ（表5.5.3-8）

化粧材を除いた場合、干割れは欠点でないとする回答は昨年度と合わせて16社であった。干割れ対策としては、急激な乾燥による割れを防ぐため、割れ止め剤（ボンド、ニス）、サランラップ巻き、背割りの他、寒冷紗や屋根を掛けて直射日光を防いだり、前処理として低温乾燥（蒸気で蒸らす）等の工夫がされている。また、客先のニーズによって判断基準が変わるという回答も少なくなかった。

11) 背割り（表5.5.3-9）

背割りを入れるのは、化粧柱や大黒柱のみという回答が多かった。背割りを入れる理由は、割れ防止という理由が多く、背割りを入れない理由では耐力低下（昨年度回答）、高温セットしているため不要（昨年度回答）、芯去り材を用いているため不要等の回答があった。

12) 天然乾燥材の流通について（表5.5.3-10）

前年度は林業事業者から原木を購入する場合や立木買いが多かったが、今年度の調査対象は原木市場から購入するケースが多かった。市場買いでは、葉枯らし材と一般材の区別がつけられていない場合が多いため、製材後乾燥も同じ乾燥スケジュールで行っている場合が多い。供給先のニーズにより低含水率のものが好まれる傾向にあり、人工乾燥材に移行したり、天然乾燥材と人工乾燥材を使い分ける製材業者も増えている。

表5.5.3-4　調査結果（切り旬）

番号	業態	産地	樹種	用途	切り旬	
					時期	切り旬を決めている理由
22	製材業	秋田:8割 他県(山形、福島、栃木、新潟、岩手、青森、宮城):2割	スギ	柱、梁(受注生産)、下地材 造作材、銘木(天井板)	国有林:6～11月まで 民有林:1～2月	市場買いのため、意識はしていない。
23	製材業、木材加工業、プレカット工場	秋田県	スギ	板材、羽柄材	1年中	なし
24	林家、素材生産者、製材業、木材加工業	山形県、宮城県	スギ(90%)、アカマツ(10%)、その他、ヒノキ、カラマツ、クリ(ごく少量)	柱、梁、板材、羽柄材、フローリング(アカマツは梁のみ)	1年中	冬場が良い。
25	製材業	能登	ヒバ スギ	柱、梁、板	1年中	
26	製材業	多摩周辺地域	スギ ヒノキ	柱、梁、板材	9月中旬～1月下旬	虫害、水の吸い上げる時期を避ける。
27	製材業	山梨県	アカマツ、ヒノキ、スギ、その他	柱、梁、土台 板材	10月～2月（スギ、ヒノキ）10月～1月（アカマツ）	虫害防止。水が上がっていない時期に伐採する。
28	製材業	神奈川県	スギ ヒノキ	柱、梁、土台、板材、その他	10～3月	虫害防止。水が上がっていない時期に伐採する。
29	製材業	千葉県	スギ(サンブスギ) ヒノキ	柱、梁、板、土台、大引き、母屋	9～1月	水分が上がる時期を避ける。カビ、虫害を避ける。
30	製材業	岐阜、愛知、三重、静岡	ヒノキ	柱材、梁材 板材 役物	8月下～3月上	虫害防止、水の吸い上げる時期を避ける
31	製材業	限定していない。	マツ(アカマツが主。一部クロマツ)	構造材、造作材	9月～3月	虫害防止。青変菌やカビ防止。
32	製材業	岡山県	ヒノキ	柱材、土台材 板材	1年中	
33	製材所	日田、小国、浮羽、英彦山、阿蘇、筑後川流域	スギ	平角、柱(4m以上)	9～2月	水の吸い上げる時期を避ける
34	製材所	熊本がメイン、その他宮崎など	スギ(80%)、ヒノキ(15%)、その他(5%)	―	9～3月	水の吸い上げる時期を避ける。ただし、価格次第で購入する

表5.5.3-5　調査結果（製材前の乾燥方法）

「－」：あり得ない場合の「なし」　　「なし」：選択可能な状況において「なし」としているもの

番号	業態	樹種	用途	製材前の乾燥方法							
				名称	乾燥方法	乾燥時期	乾燥期間	気候風土等への対応について	選木基準	乾燥終了の判断基準	品質管理
22	製材業	スギ	柱、梁(受注生産)、下地材	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
			造作材、銘木(天井板)								
23	製材業、木材加工業、プレカット工場	スギ	板材、羽柄材	丸太野積み+輪掛け乾燥	皮なし丸太を①野積み、②輪掛け、③野積み+輪掛けのいずれかで乾燥させる。	1年中	6～10ヶ月	虫害を防ぐため、剥皮する。乾燥促進のため、海風の強い海外近くの土場で乾燥。	直径(φ20～22㎜)で選木	目標含水率30%。実際には期間や木口割れの度合いで判断	木口割れを全数検査
24	林家、素材生産者、製材業、木材加工業	スギ(90%)、アカマツ(10%)、その他、ヒノキ、カラマツ、クリ(ごく少量)	柱、梁、板材、羽柄材、フローリング(アカマツは梁のみ)	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
				なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
25	製材業	ヒバ	柱、梁、板	丸太野積み	屋外で野積みする	1年中	1年以内(スギよりヒバの方が時間が掛かる)	特になし	曲り具合を見て、径級を選択する。節の有無	なし	ヒバは夏割れしやすいので、野積みの位置を入れ替える。
		スギ									
26	製材業	スギ	柱、梁、板材	丸太野積み	丸太の状態で土場に積む。ストックとして、乾燥目的として実施している。	1年中	平均4ヶ月	夏切りはすぐに製材する。	目詰まり、樹齢(60～80年)、あてが少ないこと。径級(スギ:φ30～40㎝、ヒノキ:φ20～㎝)	特になし	目視で全数検査(カビ、曲がり等)
		ヒノキ									
27	製材業	アカマツ、ヒノキ、スギ、その他	柱、梁、土台	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
			板材	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
28	製材業	スギ	柱、梁、土台、板材、その他	葉枯らし乾燥(一部のみ)	樹木を山側に倒し、枝を落とさない状態で乾燥させる。	12～5月	3～6か月。5月までに終わらない場合は葉の色に関係なく降ろす。	虫を避けるため、入荷してからなるべく早く製材する。	市場買いのときは目視で曲り、割れ等を見る。立木買いするときは山を見に行く。	前述のとおり葉の色に関係なく、期間で決まってしまうこともある。	特になし
		ヒノキ		なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
29	製材業	スギ(サンブスギ)	柱、梁、板、土台、大引き、母屋	葉枯らし乾燥(1割程度)	間伐材を葉枯らし乾燥させる。	9月～1月の時期に開始	2，3ヶ月	水分が上がる時期を避ける。カビ、虫害を避ける。	皮肌や木取りを考えて選木する。	葉の色で判断するが、時期(3月ごろ)によっては、早く降ろす場合もある。	特になし
		ヒノキ		なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
30	製材業	ヒノキ	柱材、梁材	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
			板材								
			役物								
31	製材業	マツ(アカマツが主。一部クロマツ)	構造材、造作材	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
32	製材業	ヒノキ	柱材、土台材	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
			板材								
33	製材所	スギ	平角、柱(4m以上)	丸太野積み	丸太の状態で土場に積む。乾燥目的よりもストックの意味合いの方が強い。また、半年以上置くと色あいが良くなる。	1年中	柱6ヶ月、平角24ヶ月(白太を使う場合には6ヶ月)	切り旬を守ること。元口が直射日光に当たるようにする(元口を南、末口を北側に置く)。役物は半屋内に入れる。	品種、樹齢、白太が少ないこと、目詰まり、寒切りであること。その他、用途によってチェック項目が様々である。	白太の痛み具合	目視で全数検査(割れ、ヤケ、虫、カビ、アオ等)
34	製材所	スギ(80%)、ヒノキ(15%)、その他(5%)	－	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし

表5.5.3-6　調査結果（製材後の乾燥方法①）

「－」：あり得ない場合の「なし」　　「なし」：選択可能な状況において「なし」としているもの

番号	業態	樹種	用途	製材後の乾燥方法①				
				名称	乾燥時期	乾燥方法	桟木の寸法	気候風土等への対応について
22	製材業	スギ	柱、梁(受注生産)、下地材	桟積み乾燥	1年中(雪は30cmくらいしか積もらないので問題ない)	屋外(屋根無し)桟積み乾燥3ヶ月以上	45㎜	木の中の水分が凍ると割れるため、冬は避けている。
			造作材、銘木(天井板)	立て掛け乾燥		屋外(屋根有り)立て掛け乾燥2ヶ月以上	なし	
23	製材業、木材加工業、プレカット工場	スギ	板材、羽柄材	桟積み乾燥	1年中	工場内倉庫で桟積み6～10ヶ月		雨や雪を避けるため、倉庫内で乾燥させている。
24	林家、素材生産者、製材業、木材加工業	スギ(90%)、アカマツ(10%)、その他、ヒノキ、カラマツ、クリ(ごく少量)	柱、梁、板材、羽柄材、フローリング(アカマツは梁のみ)	燻煙熱処理+桟積み乾燥	1年中	製材後、桟積みして釜に入れ、温度60～80℃で5～7日間燃やし、2日間放置。その後、屋外(屋根無し)で桟積み乾燥3ヶ月以上	36～45㎜	風通しが良いところで乾燥させる。冬は温度が下がるため、時間が掛かる。
				桟積み乾燥		屋外(屋根無し)桟積み乾燥6ヶ月以上		
25	製材業	ヒバ	柱、梁、板	桟積み乾燥(なげしのみ立て掛け乾燥)	1年中	構造材:屋内(屋根無し)桟積み乾燥3～6ヶ月(できれば1年) 板　材:人工乾燥材	大きめ	風通しが良く、屋根のあるところが良い。
		スギ				構造材:屋内(屋根無し)桟積み乾燥6～12ヶ月 板　材:3～5ヶ月		
26	製材業	スギ	柱、梁、板材	製材桟積み、一部立て掛け乾燥	1年中	構造材:屋外(屋根あり)柱3ヶ月、平角6ヶ月 内装材、造作材:屋内板1ヶ月 立て掛け乾燥は羽柄材のみ。	柱20～30㎜ 平角45㎜、 板材20㎜	1回雨に当てる。造作材はあまり日射に当てない。
		ヒノキ		中温乾燥+桟積み		乾燥機60～70℃　柱及び板4～5日間、平角1～2週間。 その後、桟積み2～3ヶ月		
27	製材業	アカマツ、ヒノキ、スギ、その他	柱、梁、土台	低温乾燥+桟積み乾燥	1年中	乾燥機58℃、10日間で乾燥させる。除湿はせず、蒸気を当てる。 その後、桟積み1ヶ月以上。	60㎜以上	雨が掛からないように屋根を付けている。風通しを考えている。現在倉庫が南北に風が通るようになっているが、東西に向きを変える予定
			板材	桟積み乾燥		桟積み1ヶ月以上(本当は炉に入れたいが、空きがない)	15㎜ 急ぐ場合24㎜	
28	製材業	スギ	柱、梁、土台、板材、その他	桟積み乾燥	1年中	屋内桟積み乾燥(屋外のものはﾄﾀﾝを乗せる。) 柱材3～6か月、梁材6か月、板もの・下地材1か月、間柱2か月	構造材30～45㎜。 板材15㎜。	雨よけのため、屋根を掛ける。風通しが良い場所で乾燥させる。
		ヒノキ						
29	製材業	スギ(サンブスギ)	柱、梁、板、土台、大引き、母屋	桟積み乾燥	1年中	屋外(屋根あり)桟積み乾燥。柱6か月、梁1年近く、板材1か月	構造材30～40㎜。 板材20㎜。	雨ざらしにしない。風とおしの関係で入れ替える。入れ替えは天地替え(日射目的)ではなく、左右に入れ替える(風通し目的)
		ヒノキ						
30	製材業	ヒノキ	柱材、梁材	中温乾燥+製材桟積み(従来の方法)	1年中	中温乾燥55℃2週間の後、製材桟積み。柱の場合3か月、梁の場合3～6か月		すぐに中温乾燥しない場合は、シートをかぶせて急激な乾燥を避ける。風通し、日射はあまり気にしていない。板は雨ざらしの方が乾きやすい。板材以外は屋根をかけている。
			板材	製材桟積み+中温乾燥(従来の方法)		製材桟積み1か月の後、中温乾燥55℃3日間		
			役物	中温乾燥+製材桟積み(最近実施している方法)		中温乾燥の温度と期間は企業秘密、その後製材桟積み3日間		
31	製材業	マツ(アカマツが主。一部クロマツ)	構造材、造作材	桟積み乾燥	10月～4月から乾燥開始	屋外(屋根付き)桟積み乾燥3～6か月 その後、ストックとして屋内に12か月置いているが、乾燥目的ではない。	45×90㎜	乾燥には日射と風が重要。日当たりの向きを変えて割れにくいように工夫している。雨に対しては屋根を掛けることによって対処している。梅雨の時期に材を購入した場合は、人工乾燥にしてしまう。
32	製材業	ヒノキ	柱材、土台材	桟積み乾燥or 桟積み乾燥+中温乾燥	1年中	屋外(屋根付き)桟積み乾燥、柱6m未満6ヶ月、柱6m超え3，4か月。大断面1年。 柱桟積み後、中温乾燥するものは70～72℃で2～3日。	冬18㎜程度、夏40～45㎜	梅雨の時期はなるべく乾燥させたいため、桟木を厚くしている。
			板材	桟積み乾燥		屋外(屋根付き)桟積み乾燥、下地材2ヶ月、造作材4か月		
33	製材所	スギ	平角、柱(4m以上)	製材桟積み	1年中	屋外(屋根無し)桟積み乾燥。柱:4ヶ月(30%)、6ヶ月(25%)、平角:4ヶ月(30%) 目切れ及び曲がりを防ぐため、元口と末口で桟の大きさを変えている。	柱材4寸角30～45㎜、4寸角超え60～75㎜。 板材は30㎜くらい。	風の向き。日射調整(南側には割れても良いもの。役物は日射を避ける。)。雨掛かりは気にしていない(板材、造作材以外)。屋根を掛けても台風で飛んでしまうため、屋外は屋根なし
34	製材所	スギ(80%)、ヒノキ(15%)、その他(5%)	－	製材桟積み(一部屋内に立て掛け乾燥)	1年中	構造材:屋外(屋根無し)製材またはタイコ桟積み乾燥 化粧材:屋内桟積み乾燥 乾燥期間は12～36ヶ月	構造材21分、柱材45㎜、板材は12㎜	風通し。北側に置くとゆっくり乾燥するため、割れにくい。化粧材等は、屋内で乾燥させる。

表5.5.3-7　調査結果（製材後の乾燥方法②）

「－」：あり得ない場合の「なし」　　「なし」：選択可能な状況において「なし」としているもの

番号	業態	樹種	用途	製材後の乾燥方法②			
				名称	材料の受け入れ基準等	乾燥終了の判断基準	品質管理
22	製材業	スギ	柱、梁(受注生産)、下地材	桟積み乾燥	材料(丸太)を選ぶときは、役物比率が何%以上取れるかが判断基準になる。適さない物は転売。	含水率25%	含水率は、乾燥期間と重量で判断するが、要望に応じて抜き取り検査。節の有無、色等の外観検査でグレード分けをする。
			造作材、銘木(天井板)	立て掛け乾燥		含水率は気にしていない	
23	製材業、木材加工業、プレカット工場	スギ	板材、羽柄材	桟積み乾燥	製材後、無節の材を選別する。	含水率20% 期間と含水率計によって判断	含水率測定は、500本につき5本測定。 干割れの外観チェックは全数
24	林家、素材生産者、製材業、木材加工業	スギ9割、アカマツ1割(その他、ヒノキ、カラマツ、クリはごく少量)	柱、梁、板材、羽柄材、フローリング(アカマツは梁のみ)	燻煙熱処理+桟積み乾燥	燻蒸熱処理は、材種、寸法に関わらず、一緒に処理している。割れがひどいものは羽柄材、小径木。曲がり材はチップにする。	燻蒸熱処理では、判断基準ではないが、処理後は薄物20%、太物は40%くらいの含水率になる。 桟積み後、柱材は含水率25%、造作材は20%	高周波含水率計で含水率を測定。割れ、反りなどの外観検査を実施。いずれも全数検査。
				桟積み乾燥			
25	製材業	ヒバ	柱、梁、板	桟積み乾燥(なげしのみ立て掛け乾燥)	特になし	構造材は含水率30% 造作材は20%、フローリング・羽目板は15%	公共建築物用の場合はほぼ全数含水率を測定。それ以外は期間と割れ方等で判断。
		スギ					
26	製材業	スギ、ヒノキ	柱、梁、板材	製材桟積み、一部立て掛け乾燥	特になし	含水率:スギ40%、ヒノキ25% 重量と目視で判断。要請があれば含水率計(5～10本/ロット)で測定。	目視全数検査を実施
				中温乾燥+桟積み		含水率:スギ35%、ヒノキ20% 重量と目視で判断。要請があれば含水率計(5～10本/ロット)で測定。	
27	製材業	アカマツ、ヒノキ、スギ、その他	柱、梁、土台	低温乾燥+桟積み乾燥	節の有無、目の積み方(中心部が積んでいないと狂う)、曲がり	測定しない。含水率の測定注文があったら、注文者にやってもらうか、断るかの2択。 含水率は打音のみで判断している。	材料を挽くときに割れ、節の有無等を確認する。
			板材	桟積み乾燥			
28	製材業	スギ	柱、梁、土台、板材、その他	桟積み乾燥	用途によるが、曲り、ねじれ、節等を判断している。黒芯は避ける	含水率30%以下。板ものは、日焼け等の見た目で判断している。	外観チェックを全数実施。含水率は高周波含水率計で1ロットあたり3～10体測定している。構造材は挽いた日にちを記載。
		ヒノキ					
29	製材業	スギ(サンブスギ)	柱、梁、板、土台、大引き、母屋	桟積み乾燥	価格、目の具合、年輪、芯、節	目標含水率20%(板材は測定しない)	大工に確認し、必要ならば含水率計で測る。測定は、1ロットに2～3本。 外観検査は全数目視で確認。
		ヒノキ					
30	製材業	ヒノキ	柱材、梁材	中温乾燥+製材桟積み(従来の方法)	あて、曲り、割れ、狂いなど	目標含水率18%(板材は15%)	高周波含水率計を使用。重くて含水率があやしいもののみ測定。
			板材	製材桟積み+中温乾燥(従来の方法)			
			役物	中温乾燥+製材桟積み(最近実施している方法)			
31	製材業	マツ(アカマツが主。一部クロマツ)	構造材、造作材	桟積み乾燥	夏はできるだけ避ける。外観は曲り、鉄砲、節、アテ等を見る。	構造材は、含水率18～25% 含水率計はモコ2を使用。	製品を倉庫に入れるときに等級分けをしている。挽くときに青変菌やカビをチェックする。 含水率を測定するのは、乾燥期間の短い(4か月程度)ものであり、1年以上置いたものは測定していない。
32	製材業	ヒノキ	柱材、土台材	桟積み乾燥or 桟積み乾燥+中温乾燥	市場買いのため、購入時に節の有無、年輪幅、曲り、色、アテの有無等を目視判断する。	構造材は、含水率20～22% 製品市場か、外注先の乾燥炉を所持している会社が含水率を測定。 自社では、乾燥期間や重量、外観で判断している。	役物中心なので、節、虫、傷、アテ、割れ、根回り、年輪幅、風倒木等の目視検査が重要。全数検査を行っている。 赤身が大きく、年輪幅が小さいものは含水率が落ちにくいため、注意している。
			板材	桟積み乾燥		乾燥期間のみで判断	
33	製材所	スギ	平角、柱(4m以上)	製材桟積み	特になし	含水率25%前後。全数含水率計で測定している。含水率計はメルリン(高周波)を使用。	目視全数検査を実施(曲がり、割れ、ヤケ、節)
34	製材所	スギ(80%)、ヒノキ(15%)、その他(5%)	－	製材桟積み(一部屋内に立て掛け乾燥)	価格、樹齢50年、用途、径級をチェックしている。曲がり材でも購入する。めごまや黒芯は意外と曲がらないので、購入している。	構造材25～30%、造作材20%前後	重量で判断。重いものは再乾燥させる。含水率計はほとんど使わない。外観検査は、目視で全数チェック

表5.5.3-8　調査結果（乾燥材の定義、干割れ）

「－」：あり得ない場合の「なし」　　「なし」：選択可能な状況において「なし」としているもの

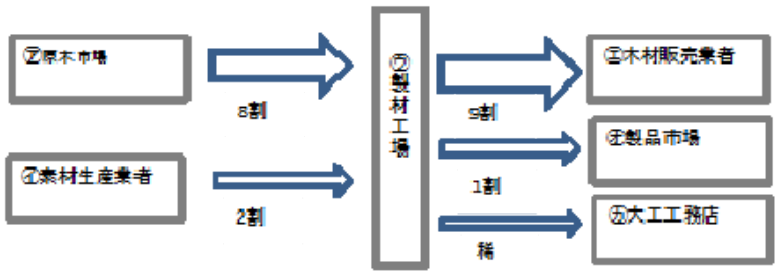
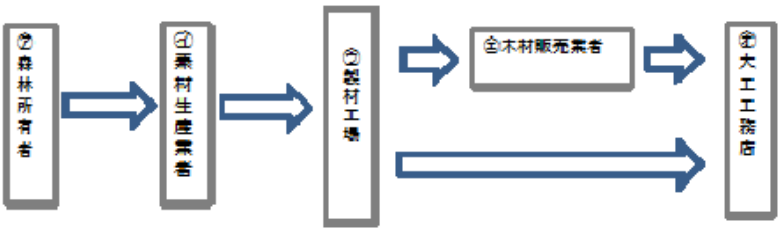
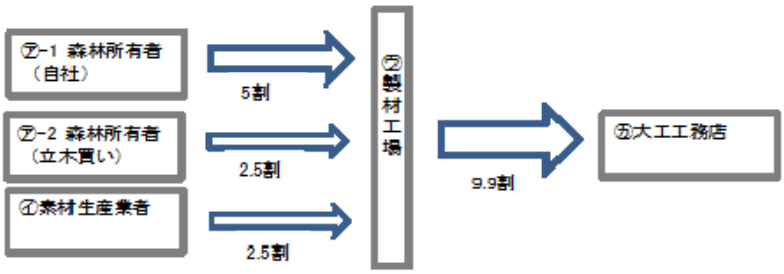
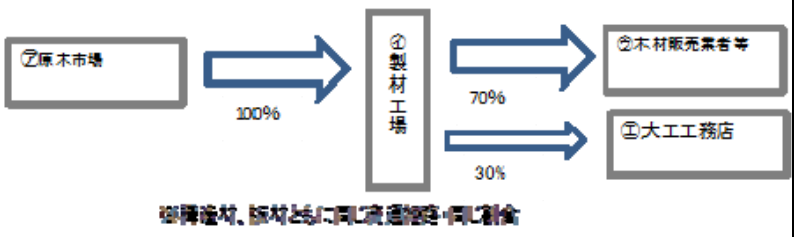
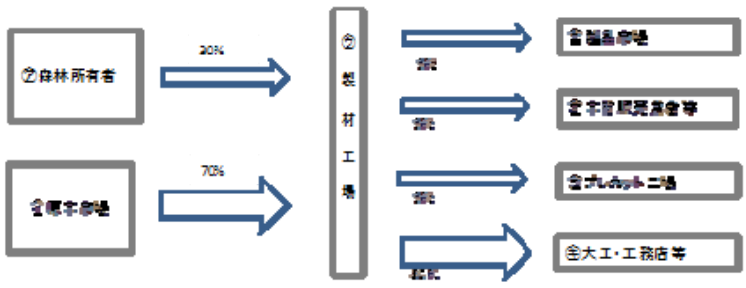
番号	業態	樹種	用途	乾燥材の定義		干割れについて			
				含水率何%以下を乾燥材と捉えているか。	製品として出荷できる状態であるとの見極め方法	どこまでの干割れを欠点でないと考えるか。	干割れを防ぐための工夫	干割れについての品質管理の方法	許容範囲を超えた干割れの処理方法
22	製材業	スギ	柱、梁(受注生産)、下地材	20%以下	期間と重量で判断	干割れは欠点として認識していない。目割れや雷割れ、台風による横割れ、もめは避けている。	目廻りに割れそうな場合は、その部分をセットする。辺材の木表にボンドを塗布する。四面無節は木裏にも塗布する。	目視検査は行っているが、干割れは管理していない。	目割れなどの場合は、再割り
			造作材、銘木(天井板)	15%以下	特にないが、鴨居や枠材は乾燥要求有り				
23	製材業、木材加工業、プレカット工場	スギ	板材、羽柄材	人工乾燥材15%以下、天然乾燥材40%以下	期間と含水率で判断	少しでも割れたら欠点とみなす	木口付近に桟を入れる	目視で全数検査	干割れのない部分を小さく挽き直す
24	林家、素材生産者、製材業、木材加工業	スギ9割、アカマツ1割(その他、ヒノキ、カラマツ、クリはごく少量)	柱、梁、板材、羽柄材、フローリング(アカマツは梁のみ)	20%以下	相手との話し合いで25%になるときもある。	干割れは幅と深さで判断(客先にもよる)。	特になし	目視検査を全数	貫通割れは再割りする。
25	製材業	ヒバ	柱、梁、板	構造材20%、フローリング・羽目板15%、造作材10%	含水率測定(公共建築物)。それ以外は乾燥期間で判断。	JAS規格やメーカーの規格に合わせている。	大黒柱には割れ止めを塗布	目視等級全数検査	再割りする
		スギ							
26	製材業	スギ、ヒノキ	柱、梁、板材	自由水が抜けた時点、35%以下。板材は20%	出荷先のニーズ、考え方による	目廻りや貫通割れはダメ。化粧材は顧客に確認を取る。	割れ止めを塗る。かすがいを付ける。化粧材には背割りを入れる。	プレーナー掛けの際に目視でチェック。全数。	再割りや端部切り落としを行う。
27	製材業	アカマツ、ヒノキ、スギ、その他	柱、梁、土台	分からない	打音で判断している。乾燥していると高い音が出る。	目割れ、目廻り、貫通割れは欠点と見なしている。通常の干割れは欠点と思わない。	低温乾燥(蒸気)で蒸すこと。 木工用ボンドを木口面と側面に塗布。役物の場合は、障子紙をボンドで貼り付ける。 桟積みの際、横に並ぶ材同士を密着させる。	プレーナー掛けの際に目視でチェック。全数。	再割りや端部切り落としを行う。 あて材は梁材にする。
			板材						
28	製材業	スギ	柱、梁、土台、板材、その他	構造材25%以下、造作材は15%以下	含水率で判断	干割れが多く、大きいものは化粧材に向かないが、基本的に貫通割れ以外は欠点としていない。	背割りをしている。造作材や化粧材は割れ止め(ボンドのようなもの)を塗布	全数・4面すべてを目視検査している。挽き直すときにチェック	挽き直す
		ヒノキ							
29	製材業	スギ(サンブスギ)	柱、梁、板、土台、大引き、母屋	18～20%	含水率20%前後	欠点と認識していない。干割れが多いものは下地材、屋根材などの構造に関係ないところに使えばよい。サンブスギは目粗が多いため、干割れも多くなる。 貫通割れ、目廻りの割れは欠点と考えている。	割れ止めにボンドを塗布しているが、気休めに過ぎない。背割りが良い。	目視検査、全数	再割りする
		ヒノキ							
30	製材業	ヒノキ	柱材、梁材	18%(板材は15%)	含水率。重量で選別。	貫通割れ以外。	割れ止めを塗布。製材後、すぐに乾燥機にいれること	目視、全数検査	再割りする
			板材						
			役物						
31	製材業	マツ(アカマツが主。一部クロマツ)	構造材、造作材	20%以下(25%くらいがやりやすいが、20%以下でないと割れや曲りが出てしまう)	乾燥期間が短いものや挽いたときにあやしいと判断したものは含水率計で測っている。	干割れは欠点でないと考える。天乾材で干割れ幅1㎜以内とか2㎜以内という要求があった場合には不可能なので、断っている。	割れ止め剤(ニスやボンド)を塗布している。ボンドは青変菌が入る場合もあるようなので、現在使用を検討中。材を厚めに挽くこと	目視の全数検査。	端部落とし、再割りする。
32	製材業	ヒノキ	柱材、土台材	構造材25%以下	乾燥期間	木口から100㎜以上の長さの割れは欠点とみなしている。	木口にニスを塗っている。大断面(4寸5分以上)はすべての面にニス塗り。3,4月～秋までに乾燥させるものについては、板目にニスを塗る。ニスと併用して、両木口付近にサランラップを巻く(木口には巻かない)	目視の全数検査	再割りしたり、等級を下げて使う。
			板材	考えていない	乾燥期間				
33	製材所	スギ	平角、柱(4m以上)	30%以下	含水率計で測定し、25%以下。出荷先のニーズによる	目廻りや貫通割れはダメ。化粧材は割れ方を見て判断する。	割れ止め（ボンド）を塗る。側面と木口付近にラップを巻く。化粧材には背割りを入れる。背割り材の置く向きを考えている。役面同士をくっつける。	プレーナー掛けの際に目視でチェック。全数。	再割りや端部切り落としを行う。
34	製材所	スギ(80%)、ヒノキ(15%)、その他(5%)	－	30%以下	手に持ったときの重量で判断。出荷先のニーズによる	構造材の場合、貫通割れ以外で幅1分強までは欠点と見なさない。	化粧材には割れ止め（ボンド）を塗る。	モルダー掛け時に外観で全数チェック	小割りする

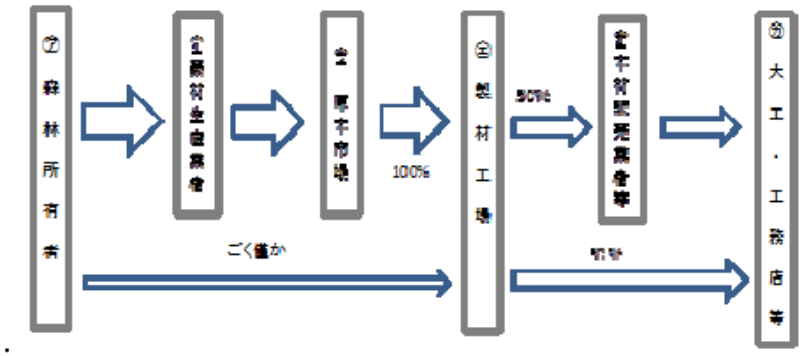
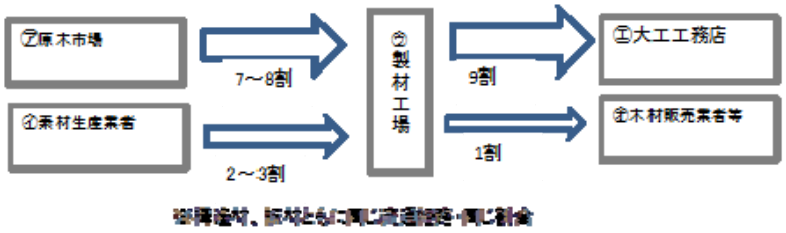
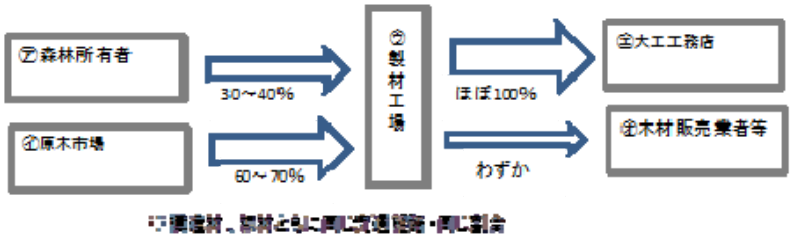
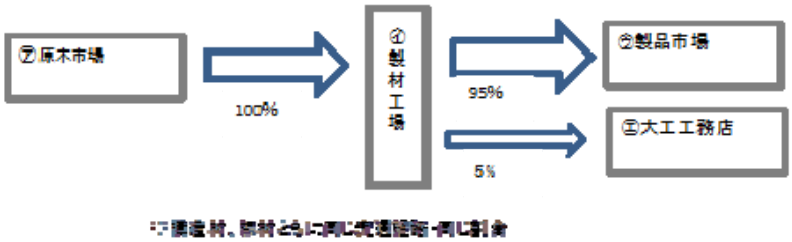
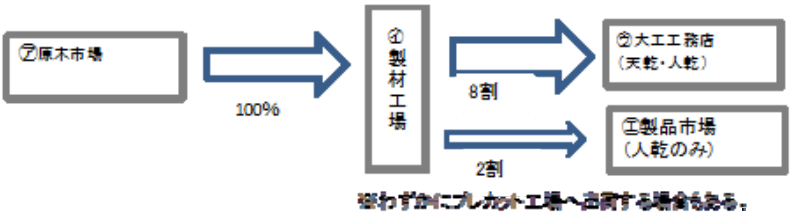
表5.5.3-9　調査結果（材料の挽き方、背割り）

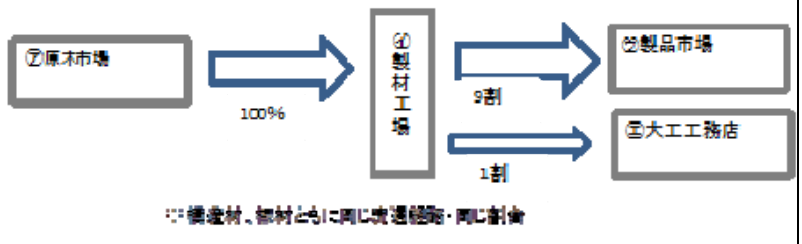
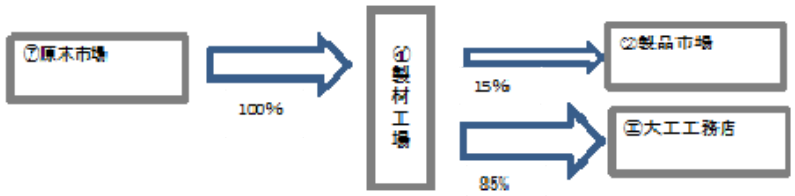
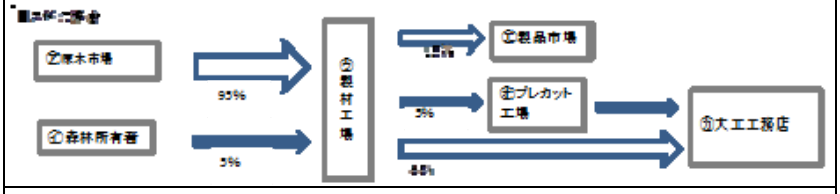
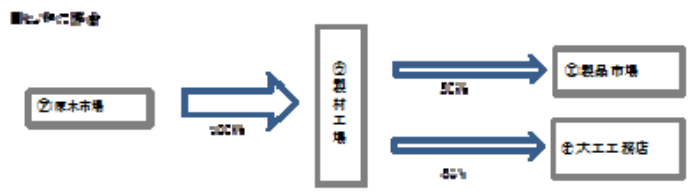
「－」：あり得ない場合の「なし」　　「なし」：選択可能な状況において「なし」としているもの

番号	業態	樹種	用途	材料の挽き方		背割りについて		
				製材機械等	挽き寸法	背割りの有無	背割りを入れる理由	背割りをしない理由
22	製材業	スギ	柱、梁(受注生産)、下地材	ｼﾝｸﾞﾙｿｰ	120㎜角：+15㎜ 105㎜角：+15㎜	背割り無し		柱が芯去り材のため、必要ない。
			造作材、銘木(天井板)		天井板、板材は+1㎜、鴨居や枠材は+3～10%			
23	製材業、木材加工業、プレカット工場	スギ	板材、羽柄材	シングルソー、ツインソー	120㎜角：+12㎜ (材種に関わらず+10%)	背割りなし		特に必要性を感じない。注文もない。
24	林家、素材生産者、製材業、木材加工業	スギ9割、アカマツ1割(その他、ヒノキ、カラマツ、クリはごく少量)	柱、梁、板材、羽柄材、フローリング(アカマツは梁のみ)	シングルソー、ツインソー	断面120角なら+10㎜ 板材なら+6㎜、フローリング+2㎜	柱の3割は背割りを入れている。梁材は背割りしない。	客先の要望による。	客先の要望による。
25	製材業	ヒバ	柱、梁、板	シングルソー	KD柱材4分 AD柱材3分	背割り有り	背割りを入れないとロスが大きくなるため	
		スギ			材寸+9分 長尺+5～7分	役物柱のみ背割りあり		
26	製材業	スギ、ヒノキ	柱、梁、板材	シングルソー	断面120㎜なら+15㎜ 平角なら+15㎜ 板材なら+5㎜	化粧柱には入れているが、一等材には入れていない。ユーザーの要望(真壁or大壁)によって異なる。	化粧材に使うため	大壁工法や、貫工法(耐力が低下する)のため
27	製材業	アカマツ、ヒノキ、スギ、その他	柱、梁、土台	ｼﾝｸﾞﾙｿｰ	基本的には、あるものから取れる部材を取る(乾燥前に用途を絞っていない)。 断面120㎜なら+30㎜ 断面90角なら+21㎜ 断面105角なら+21㎜ 7分～1寸増し	樹種に関わらず柱材には背割りを入れている。	干割れ防止のため背割りが無くても、3面に障子紙を貼ると、残りの一面のみが割れてくれる。	
			板材					
28	製材業	スギ	柱、梁、土台、板材、その他	シングルソー	断面120㎜なら、+15㎜ 断面105㎜なら、+15㎜ 長ものは、+20㎜(反るため) 梁せいが1尺以上のものは+20㎜	柱材はほとんど全てに入れる	割れ防止	
		ヒノキ						
29	製材業	スギ(サンブスギ)	柱、梁、板、土台、大引き、母屋	シングルソー、ツインソー	全て+12～13%。職工の経験、判断に任せている。 曲がりが大きい場合はもっと大きくなる。	化粧柱のみ背割りしている。	割れ防止	
		ヒノキ						
30	製材業	ヒノキ	柱材、梁材	シングルソー(6m材)、ツインソー(3m材)	断面120㎜なら、+15㎜ 断面105㎜なら、+15～20㎜ 105角は曲がりやすいため、大きく挽く 板材は、+4㎜	背割りあり。土台は生材出荷のため、なし。	割れ防止	
			板材					
			役物					
31	製材業	マツ(アカマツが主。一部クロマツ)	構造材、造作材	シングルソー	断面120㎜なら、+15～20㎜。割れやねじれを避けるため、大き目に挽いている。梁せいはできるだけ大き目に取っておく。	なし。寺社物件で入れることもある。		梁桁が中心であるため
32	製材業	ヒノキ	柱材、土台材	シングルソー	断面120㎜なら、+15㎜ 断面105㎜なら、+15㎜	芯去り材は背割りしない。心持ち柱材は全て入れる。	割れ防止	
			板材		板材、造作材は厚さ60㎜なら+5㎜くらい。フローリング厚さ15㎜は18.5㎜。			
33	製材所	スギ	平角、柱(4m以上)	シングルソー	断面120㎜なら+15㎜ 平角なら+15㎜ 板材なら+6㎜	三方無節及び二方無節の場合に背割りを入れる。	化粧材に使うため	断面欠損になるので、化粧材以外は入れない。
34	製材所	スギ(80%)、ヒノキ(15%)、その他(5%)	－	シングルソー	断面120㎜なら+9㎜ 平角なら+12㎜ 板材なら+3㎜ 乾燥の過程で曲がったら、他の用途に使う。	ヒノキの化粧柱のみ背割り	化粧材に使うため	スギの化粧材は需要がないため

表　5.5.3-10　天然乾燥材の流通経路

番号	属性	流通経路
22	業態：製材業 産地：秋田県（8割） 樹種：スギ 用途：柱、梁、板材、その他建具・内装材	
23	業態：製材業、木材加工業 産地：秋田県 樹種：スギ 用途：板材、羽柄材	
24	業態：林家、素材生産者、製材業、木材加工業 産地：山形、宮城 樹種：スギ、アカマツ、その他 用途：柱、梁、板材、羽柄材、フローリング	
25	業態：製材業 産地：能登 樹種：ヒバ、スギ 用途：柱、梁、板	
26	業態：製材業 産地：東京都 樹種：スギ、ヒノキ 用途：柱、梁、板	

番号	属性	流通経路
27	業態：製材業 産地：山梨 樹種：アカマツ、ヒノキ、スギ、その他 用途：柱、梁、板材、土台	
28	業態：製材所 産地：神奈川県 樹種：スギ、ヒノキ 用途：柱、梁、土台、板材、その他	
29	業態：製材所 産地：千葉県 樹種：スギ、ヒノキ 用途：柱、梁、土台、大引き、母屋	
30	業態：製材業 産地：岐阜、愛知、三重静岡 樹種：ヒノキ 用途：柱、梁、板	
31	業態：製材業 産地：限定していない 樹種：マツ（アカマツが主） 用途：構造材、造作材	

番号	属性	流通経路
32	業態：製材業 産地：岡山県 樹種：ヒノキ 用途：柱、土台、板材	
33	業態： 製材所 産地： 日田、小国、浮羽、英彦山、阿蘇、筑後川流域 樹種： スギ 用途： 柱、梁、板	
34	業態：製材所 産地：熊本がメイン、その他宮崎 樹種：スギ、ヒノキ 用途：柱、梁、板	 

５．５．４　まとめ

今回の調査により、地域による切り旬の違い、地域・樹種及び用途等による乾燥方法の違い、含水率及び干割れの品質管理方法等について整理・分析を行うことができた。今年度の結果の要点を纏めると以下のとおりとなる。

- 産地は地元材を使用しているところが多い。アカマツは産地が限定されるため県外で購入される場合もある。
- 製材後の乾燥方法としては、桟積み乾燥が多い。桟積み乾燥は、乾燥の前後に人工乾燥（処理）を行っているところもある。これには割れ防止、寸法安定の目的のものと乾燥目的のものがある。
- 気候風土等への対応として、風通しや日射、雨に当てないことなどが重視されている。
- 桟の寸法（背）は、板材より構造材の方が厚いものが使用されている。また、スギ、ヒノキよりアカマツの方が背が高い傾向にある。
- 桟積み乾燥を行った柱材の乾燥期間は6ヶ月程度が多く、人工乾燥と組み合わせたものはこれより短くなる。
- 製材乾燥前の粗挽きの際の歩増し寸法は、スギ製材120角では、+15mmが最も多く、ついで+10mmという結果となった。
- 乾燥材と認識している含水率よりも高い含水率を判断基準としている傾向にある。
- 干割れ対策としては、急激な乾燥による割れを防ぐため、様々な対策が行われている（割れ止め剤（ボンド、ニス)、サランラップ巻き、背割りの他、寒冷紗や屋根を掛けて直射日光を防いだり、前処理として低温乾燥（蒸気で蒸らす）等)。
- 背割りを入れる理由は、割れ防止目的が多い。
- 今年度の調査対象は原木市場から購入するケースが多かった。供給先のニーズにより低含水率のものが好まれる傾向にあり、人工乾燥材に移行したり、天然乾燥材と人工乾燥材を使い分ける製材業者も増えている。

５．６　伝統的木造建築物の耐久性

近年の大地震後に実施された家屋被害の調査によると、倒壊した木造家屋の損傷部位には腐朽や虫害といった生物劣化が認められることが多いことが報告されている。このことは建物の耐震性と同時に、耐久性の確保が伝統的木造に重要であることを示している。

また多くの実務家の間では、耐久性確保の重要性は認識されているものの、建物木部の腐朽や虫害、実際の劣化、その診断方法や対策のための判断基準などに関する基本的な知見が整備されていないのが実情である。その結果、劣化に対する正しい認識と、それに基づく対策の体系化が非常に遅れている。また銅板を用いた木部の保護など、伝統的な家造りにおいてもいくつかの特徴的な劣化対策が施されているものの、その効果についての科学的な検証はほとんど行なわれていない。

耐久性WGでは、平成22年度に引き続き、全国の伝統的木造の劣化調査を行い、伝統的木造における劣化の特性について分析した。また木部保護を目的とした銅板の使用状況の調査や銅板の腐朽抑制効果の実験的検証を行った。さらに全国の実務家が伝統的木造の耐久性や劣化状態を調査するための手引きをとりまとめた。本節ではその結果を報告する。

５．６．１　伝統的木造建築物の耐久性調査

（１）調査の概要

平成22年度に引き続き、全国の伝統的な木造建築について、主要構造部材の腐朽や虫害など生物劣化の発生状況を調査した。調査対象物件は、築年数がおよそ60年以上の木造建築物で、現在住居や店舗などして利用されている物件とした。調査の結果から、建物の設置されている環境、構造や仕様、施工技術や住まい方と劣化との関係を検討した。

（２）調査対象物件

調査対象物件の一覧を表5.6.1-1に示す。

表5.6.1-1　調査対象物件の一覧

番号	調査日	所在地	対象物件の概要	調査範囲	調査で認められた生物劣化の概要
1-1	6月18日	京都府与謝郡与謝野町	山門	外周	桁に甲虫穿孔痕、柱や貫、上層床板に水しみ
1-2	6月19日	京都府与謝郡与謝野町	鐘楼	外周	梁に甲虫穿孔痕
1-3	6月18日	京都府与謝郡与謝野町	本堂	床下・小屋裏・外周	床下は補修の履歴あり、大引・柱に甲虫穿孔痕、シロアリ食害痕
1-4	6月19日	京都府与謝郡与謝野町	庫裏	床下・外周	床下全体に甲虫穿孔痕、建物東側の床下2か所にシロアリが生息
1-5	6月18日	京都府与謝郡与謝野町	民家	床下・室内・外周	床下全体に腐朽・シロアリ食害痕
1-6	6月18日	京都府与謝郡与謝野町	蔵	床下	比較的乾燥しているが、地割れあり
1-7	6月18日	京都府与謝郡与謝野町	民家	床下・室内・外周	床下の建物外周部に腐朽およびシロアリ食害痕、西側水回り床下にシロアリ食害痕が多い
1-8	6月18日	京都府与謝郡与謝野町	民家	床下	床下はかなり湿っている、玄関付近にシロアリ食害痕、床下端材にシロアリが生息

1-9	7月10日	京都府与謝郡 与謝野町	民家	外周	2011年春先に室内で羽アリが発生、床下は湿気あり
1-10	7月10日	京都府与謝郡 与謝野町	民家	外周	外壁・軒先に漆喰の剥落・崩落
1-11	7月10日	京都府与謝郡 与謝野町	民家	外周	床下の通気はよくない
1-12	7月10日	京都府与謝郡 与謝野町	民家	外周	外壁柱脚元にシロアリ食害痕、土台に水しみ、外壁の剥落・崩落
2	9月1日	京都市上京区	町屋	床下・室内・ 外周	建物の北・東側に蟻害、浴室柱・戸に蟻害と腐朽、大引に甲虫の穿孔痕
3-1	9月5日	秋田県仙北市	武家屋敷	床下・室内・ 小屋裏・外周	床下は建物北東の一角に蟻害・腐朽・甲虫穿孔痕が集中、南面を除く外周で蟻害・腐朽
3-2	9月6日	秋田県仙北市	武家屋敷	床下・室内・ 小屋裏・外周	建物南西の床下に蟻害・腐朽・甲虫穿孔痕、南面を除く外周で蟻害・腐朽
3-3	9月6日	秋田県仙北市	武家屋敷	外周	板壁裾に蟻害・腐朽、壁土の崩落
3-4	9月4日	秋田県南秋田郡	茅葺農家	外周	屋根に雑草、小壁の壁土崩落
3-5	9月4日	秋田県南秋田郡	茅葺農家	室内・外周	桁・柱上部に腐朽もしくは蟻害
3-6	9月4日	秋田県南秋田郡	茅葺農家	室内・外周	建物脚元が腐朽
3-7	9月6日	秋田県	茅葺農家	室内・外周	軒先にクマバチの穿孔痕
3-8	9月7日	秋田県	茅葺農家	外周	—
4	9月16日	大阪府堺市	庄屋屋敷	床下・外周	建物北東の床下で主に蟻害
5	9月21日	京都市中京区	町屋	土間・外周	壁裾に蟻害、柱根継
6	10月1日	京都市伏見区	町屋	床下・室内・ 小屋組み	補修の履歴あり、床下にシロアリ生息を確認、床下・小屋組みに蟻害ありで、一部は被害程度大
7	10月27日	京都市伏見区	農家	床下・室内・ 外周	床下は甲虫穿孔痕と地割れあり、桁や軒に蟻害
8-1	10月29日	熊本県菊池市	民家	小屋裏	壁の膨れと水しみ、梁に蟻害
8-2	10月29日	熊本県菊池市	蔵	小屋裏	外壁の崩落、野地板腐朽、甲虫穿孔痕
8-3	10月29日	熊本市	民家	床下・室内・ 小屋裏	床下に甲虫穿孔痕と蟻害、小屋裏に蟻害
8-4	10月30日	熊本県上益城郡	民家＋ 酒蔵2棟	室内・外周	蔵の構造部材に蟻害、外壁の崩落、民家の小屋組み材に甲虫かシロアリの食害痕
9-1	11月5日	岐阜県高山市	民家	外周	野地板に水しみ、壁の剥落
9-2	11月5日	岐阜県高山市	民家	外周	土台に水しみ
10-1	11月6日	富山県高岡市	民家	室内・外周	壁土の崩落、壁の水しみ、窓台の甲虫穿孔痕、敷居の蟻害
10-2	11月6日	富山県高岡市	民家	外周	壁土の剥落
10-3	11月6日	富山県高岡市	蔵	室内	屋根構造材や柱梁接合部の蟻害
11-1	11月12日	栃木市	民家	室内・外周	壁の剥落、床板と階段板に蟻害
11-2	11月12日	栃木市	民家	室内・外周	天井・土台に水しみ

12-1	11月12日	宮崎県日南市	重伝建地区（飫肥）	外周	セメント瓦に雑草、壁の剥落
12-2	11月13日	宮崎県日南市	重伝建地区（美々津）	外周	軒先・モルタルと柱の接触面に蟻害、漆喰の剥落、壁の汚損
13-1	11月13日	埼玉県川越市	民家	室内	桁と天井付近の束に蟻害
13-2	11月13日	埼玉県川越市	民家	室内	柱と小屋組み材に蟻害
14-1	11月24日	徳島県吉野川市	民家	床下・室内・小屋裏・外周	建物北東部に蟻害と腐朽で一部は被害程度大、床下はその他に甲虫穿孔痕
14-2	11月24日	徳島県吉野川市	民家	床下・室内・小屋裏・外周	床下と小屋裏に甲虫穿孔痕と蟻害、柱脚元に腐朽、壁に亀裂
14-3	11月25日	徳島県吉野川市	農家	床下・室内・小屋裏	床下と室内横架材に甲虫穿孔痕
15	11月27日	大阪府富田林市	民家	床下・室内・小屋裏	玄関奥の上り口土台にシロアリが生息、主に建物外周の脚元に蟻害と腐朽
16	12月6日	滋賀県大津市	農家	床下・室内・小屋裏	床下は地割れと床板の甲虫穿孔痕、野地板に水しみ
17	12月12日	京都市	民家（旧新島邸）	床下・室内・小屋裏	平成3年に修理工事済み、土台に甲虫穿孔痕、隅木と煙突付近の野地板に水しみ
18-1	12月17日	岡山県倉敷市	民家	室内	軒桁に蟻害、梁に甲虫穿孔痕
18-2	12月17日	岡山県倉敷市	蔵	室内	大引と床板、柱に蟻害、野地板に水しみ

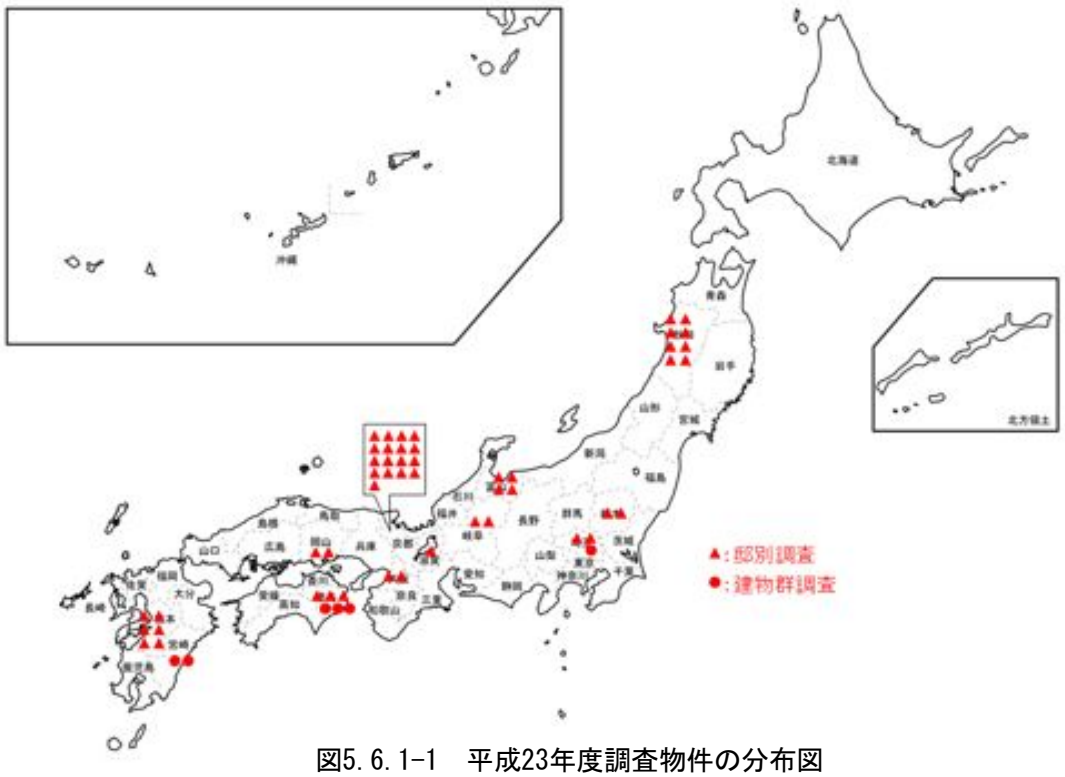


図5.6.1-1　平成23年度調査物件の分布図



調査建物 1-1



調査建物 1-2



調査建物 1-3



調査建物 1-4



調査建物 1-5



調査建物 1-6



調査建物 1-7



調査建物 1-8

写真5.6.1-1 調査建物外観等



調査建物　1-9



調査建物　1-10



調査建物　1-11



調査建物　1-12



調査建物　2



調査建物　3-1



調査建物　3-2



調査建物　3-3

写真5.6.1-1　調査建物外観等（続き）



調査建物　3-4



調査建物　3-5



調査建物　3-6



調査建物　3-7



調査建物　3-8



調査建物　4



調査建物　5



調査建物　6

写真5.6.1-1　調査建物外観等（続き）



調査建物 7



調査建物 8-1



調査建物 8-2



調査建物 8-3



調査建物 8-4



調査建物 9-1



調査建物 9-2



調査建物 10-1

写真5.6.1-1　調査建物外観等（続き）



調査建物　10-2



調査建物　10-3



調査建物　11-1



調査建物　11-2



調査建物　12-1



調査建物　12-2



調査建物　13-1



調査建物　13-2

写真5.6.1-1　調査建物外観等（続き）



調査建物　14-1



調査建物　14-2



調査建物　14-3



調査建物　15



調査建物　16



調査建物　17



調査建物　18-1



調査建物　18-2

写真5.6.1-1　調査建物外観等（続き）

（３）調査方法

調査範囲は建物所有者等と協議し、床下、内装・室内、小屋裏、屋根・外周のうち可能な領域とした。調査は専門的な道具を用いない、いわゆる一次診断で、目視、ドライバによる突き刺診、打診、触診を行った。生物劣化が生じていると認められた部位については写真を撮影した。床下においては、劣化の種類（T：シロアリ、D：腐朽、B：甲虫類）および推定した劣化程度（1：被害程度小～3：被害程度大）をチョークで記して写真を撮影するとともに、劣化部位を図面に記した。調査方法の詳細については5.6.3に詳述する。

（４）調査結果（邸別の耐久性評価結果）

1)調査建物1-1

調査建物1-1は、京都府与謝郡与謝野町にある木造の山門である。屋根は本瓦葺きで大屋根のみで下屋はないが、2層構造になっており、上層には高欄が取り付けられている。

調査範囲は地面から観察して見える範囲とした。桁に甲虫の穿孔痕（No.1-1-1）が認められる他、山門に接する塀の柱脚元に欠損が認められる（同1-1-2）。また、門の柱と貫、上層の床板裏側に水しみが認められる（同1-1-3、1-1-4）。



No. 1-1-1　桁の甲虫穿孔痕



No. 1-1-2　塀の柱材脚元の欠損



No. 1-1-3　柱と貫の水しみ



No. 1-1-4　上層床板の水しみ

写真5.6.1-2　調査建物1-1の生物劣化等

1)のつづき　調査建物1-2

調査建物1-2は、京都府与謝郡与謝野町にある木造の鐘楼である。屋根は本瓦葺きで、柱は礎石の上にのっており、貫は柱脚元から1mほどのところに設置されている。

調査範囲は地面から観察して見える範囲とした。桁に甲虫の穿孔痕（No.1-2-1）が認められる

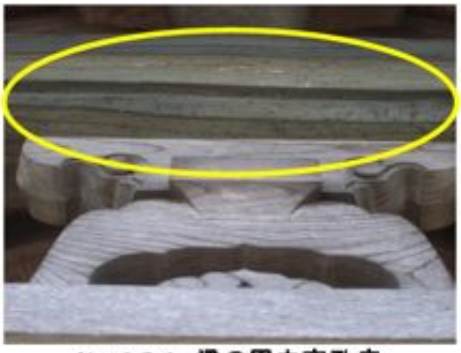


写真5. 6. 1-3　調査建物1-2の生物劣化等

1)のつづき　調査建物1-3

調査建物1-3は、京都府与謝郡与謝野町にある寺院の本堂である。屋根は入母屋形式で桟瓦葺き、床下は土壌あらわし、壁は土壁で外側は漆喰仕上げとトタン貼りである。改修の履歴があり、建物西側外周は腰高までコンクリートの布基礎となっている他、床下には束が多数設置されているが、大引と束の接合はV字型の金物のみのようである（No.1-3-1）。

調査範囲は床下・小屋裏・外周とした。床下は南側外周にシロアリ食害痕、東側外周と古い大引、柱に甲虫穿孔痕、南側柱1か所に腐朽が認められた（同1-3-2、1-3-3、1-3-4、1-3-5）。また、向背の階段部分にもシロアリ食害痕が認められた。外周では、漆喰の剥落、甲虫の穿孔痕が認められた。

2011.06.18　調査建物1-3

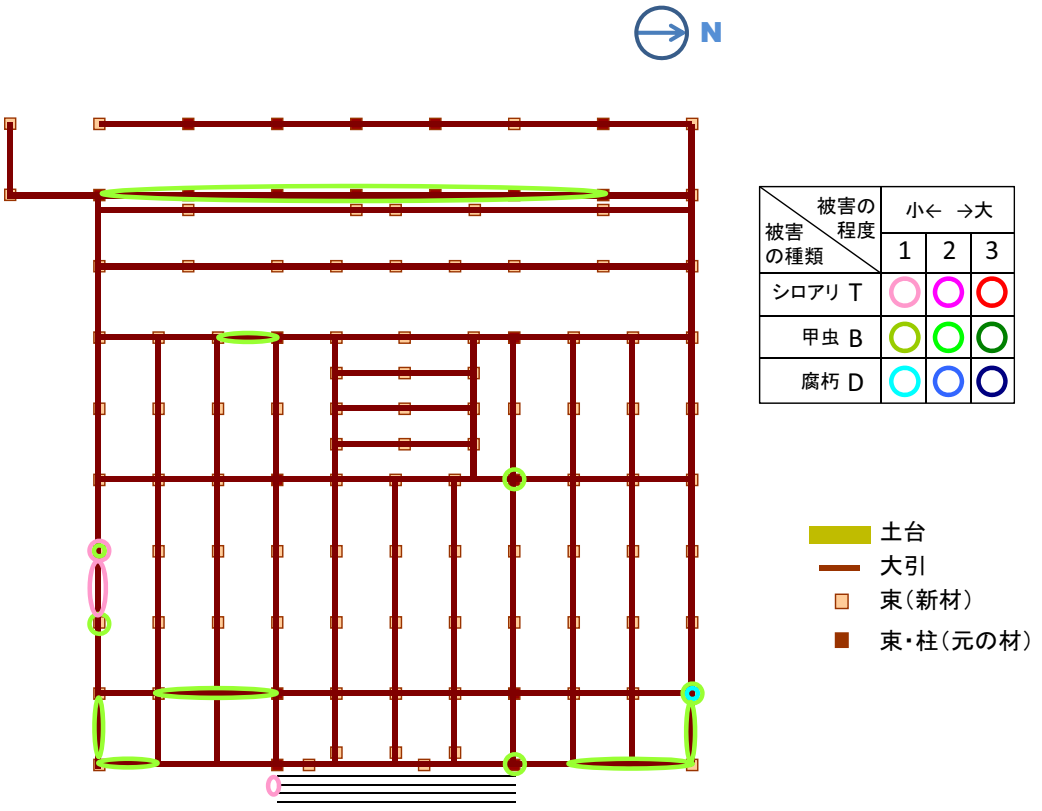


図5. 6. 1-2　調査建物1-3の床下生物劣化分布



No. 1-3-1　床下の様子



No. 1-3-2　床下横架材のシロアリ食害痕



No. 1-3-3　東のシロアリ食害痕



No. 1-3-4　床下横架材の甲虫穿孔痕



No. 1-3-5　東表面の腐朽

写真5.6.1-4　調査建物1-3の生物劣化等

1)のつづき　調査建物1-4

調査建物1-4は、京都府与謝郡与謝野町にある寺院の庫裏である。屋根は桟瓦葺き、床下は土壌あらわし部分と一部土間コン、壁は土壁で外側は漆喰仕上げとトタン貼りである。改修の履歴があり、建物東側の来客用手洗いの改修、土間の床上げなどが行われているようである。いくつかの建物が廊下などでつながっており、間取りは複雑である。建物西側には山の斜面が迫っている。

調査範囲は床下・外周とした。ただし、改修部分および入れないところは調査していない。床下は湿っており、束や大引の多くには甲虫の穿孔痕が認められ（No.1-4-1）、それらの一部は腐朽も伴っていた。庫裏と本堂の間にある玄関の間の布石の蟻道内、庫裏東側の大引と束にヤマトシロアリの生息が確認された（同1-4-2、1-4-3）。シロアリ食害痕は一部の後補材にも認められた（同1-4-4）。断熱材が床下に落下している箇所があった（同1-4-5）。外周では、漆喰や壁土の剥落、離れになっている平屋の柱と土台にシロアリ食害痕が認められた。

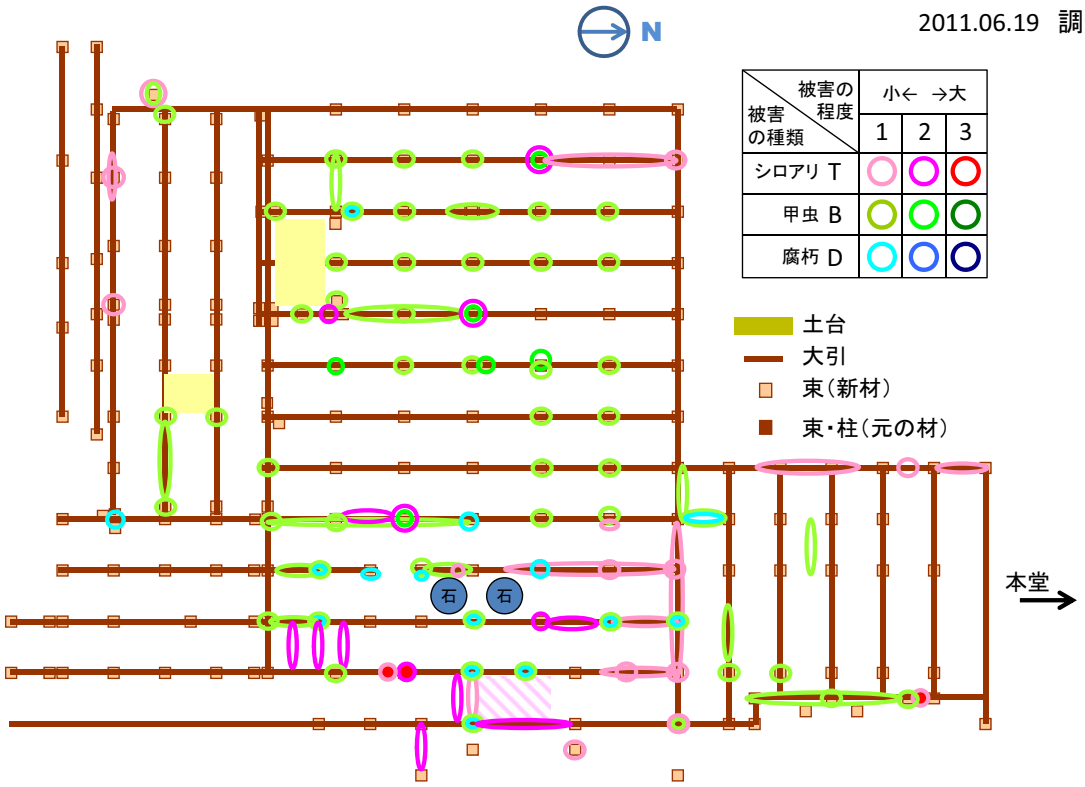


図5.6.1-3　調査建物1-4の床下生物劣化分布



No. 1-4-1　甲虫による穿孔痕



No. 1-4-2　布石上の蟻道内にいたシロアリ



No. 1-4-3　束にいたシロアリ



No. 1-4-4　後補材のシロアリ食害痕



No. 1-4-5　断熱材の落下

写真5.6.1-5　調査建物1-4の生物劣化等

1)のつづき　調査建物1-5

調査建物1-5は、京都府与謝郡与謝野町にある木造2階建て民家である。屋根は桟瓦葺き、床下は土壌あらわし部分と一部土間コン、壁は土壁で外側は漆喰仕上げとトタン貼りである。改修の履歴がある。敷地のすぐ西側に溝がある。

調査範囲は床下・外周とした。床下は全体的に湿り気味であるが、西側は特に湿っており、土台に進行性であることが疑われる腐朽が認められた（No.1-5-1）。部屋の中央付近でも腐朽や水しみが認められた（同1-5-2）。シロアリ食害痕は床下全体に認められ、土台のコーナー部分に部材の欠損が認められたり（同1-5-3）、大引や根太に蟻土が詰まっている様子も観察された（同1-5-4）。甲虫による穿孔痕は床下の2か所で認められたが、いずれも軽微であった。

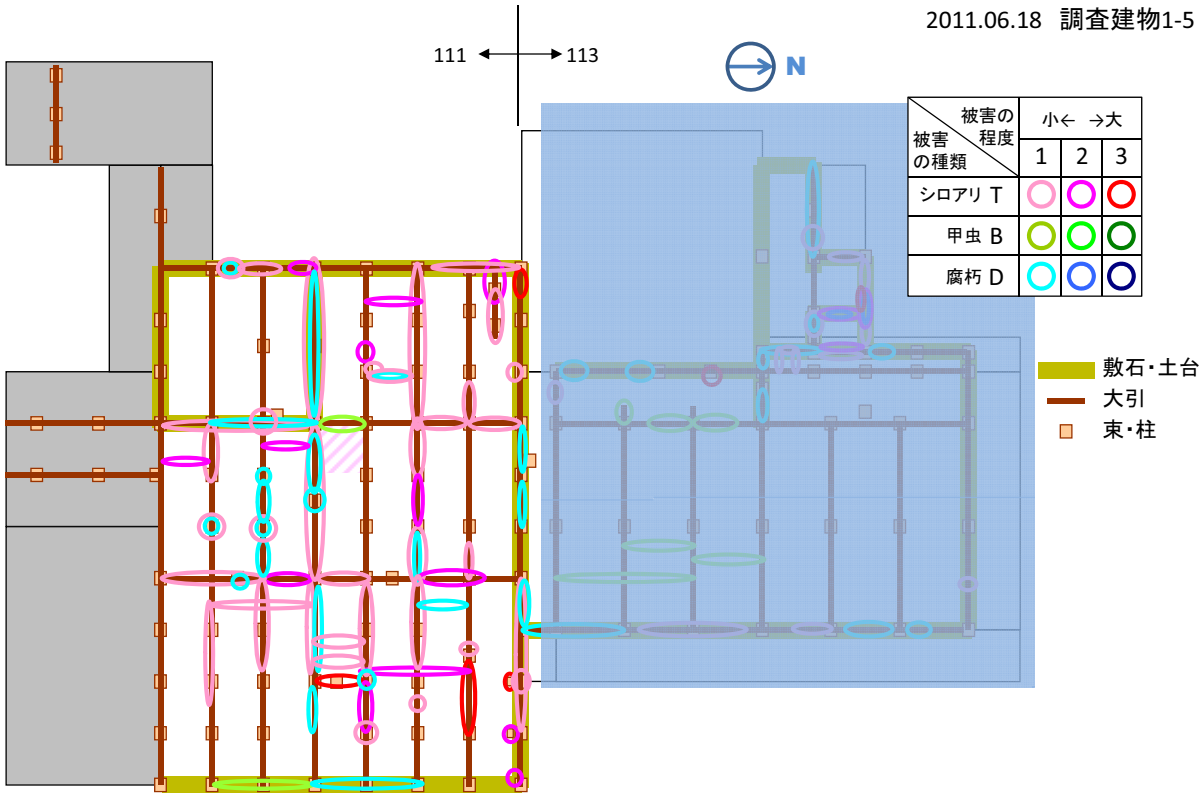


図5.6.1-4　調査建物1-5の床下生物劣化分布



No. 1-5-1　進行性の腐朽が疑われる箇所　　No. 1-5-2　腐朽の終盤状態

写真5.6.1-6　調査建物1-5の生物劣化



No. 1-5-3　土台のシロアリ食害痕による欠損



No. 1-5-4　根太のシロアリ食害痕

写真5.6.1-6　調査建物1-5の生物劣化（続き）

1)のつづき　調査建物1-6

調査建物1-6は、京都府与謝郡与謝野町にある木造2階建ての蔵である。屋根は桟瓦葺き、床下は土壌あらわし、壁は土壁で外側は漆喰仕上げとトタン貼りである。

調査範囲は床下とした。床下は乾いていたが、地割れが認められた（No.1-6-1）。調査できた範囲の中では特に生物劣化やその兆候は認められなかった。



No. 1-6-1　床下の様子

写真5.6.1-7　調査建物1-6の床下

1)のつづき　調査建物1-7

調査建物1-7は、京都府与謝郡与謝野町にある木造2階建ての民家である。屋根は桟瓦葺き、床下は土壌あらわし、壁は土壁で外側は漆喰仕上げとトタン貼りである。改修の履歴があり、土間の床上げが行われたようである。

調査範囲は床下・室内とした。床下はやや湿っていた。部屋の中央付近の大引や根太に甲虫による穿孔痕が認められた。建物周囲の土台には水しみが認められることが多く（No.1-7-1）、腐朽している箇所もあった（同1-7-2）。建物西側の水回り付近や東側土台にはシロアリ食害痕が認められた（同1-7-3）。

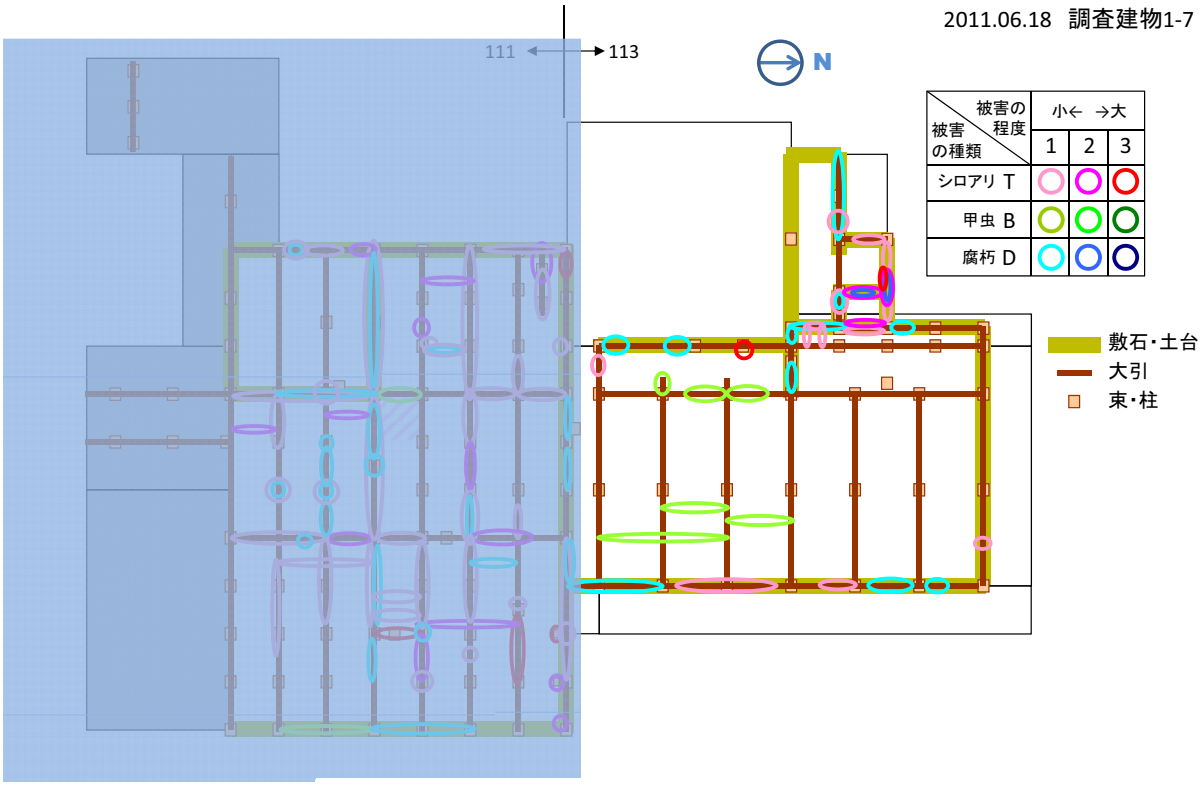


図5.6.1-5　調査建物1-7の床下生物劣化分布



No.1-7-1　土台の水しみ



No.1-7-2　土台の腐朽痕跡



No.1-7-3　土台のシロアリ食害痕

写真5.6.1-8　調査建物1-7の生物劣化

1)のつづき　調査建物1-8

調査建物1-8は、京都府与謝郡与謝野町にある木造一部2階建ての民家である。屋根は桟瓦葺き、床下は土壌あらわし、壁は土壁で外側は漆喰仕上げと板貼りである。建物南東側の敷地が低くなっており、その部分では石を積んで敷地を上げた部分に建物が建てられている。改修の履歴があり、床板、屋根、壁等が補修されている。

調査範囲は床下とした。床下は低く、建物の北側2/3（石積み部分以外）は床下土壌がかなり湿っていた。建物北東の玄関付近（No.1-8-1）、北側棟と石積み部分にある南側棟をつなぐ階段の部材にシロアリ食害痕が認められた。また、床下に放置してあった木片の下にシロアリの生息が確認された（同1-8-2）。



図5.6.1-6　調査建物1-8の床下生物劣化分布



No.1-8-1　玄関付近のシロアリ食害痕

写真5.6.1-9　調査建物1-8の生物劣化等



No. 1-8-2　端材下に生息していたシロアリ

写真5.6.1-9　調査建物1-8の生物劣化等（続き）

1)のつづき　調査建物1-9

調査建物1-9は、京都府与謝郡与謝野町にある木造2階建ての民家である。屋根は桟瓦葺き、床下は換気口から見る限り土壌あらわしで、壁は土壁で外側はほとんどがトタン貼りである。

調査範囲は外周とした。聞き取り調査では、2011年5月頃、室内で羽アリを目撃したとのことであった。換気口から床下を見ると、大引にシロアリ食害痕のような劣化が認められた他、土壌に藻が生えている様子もうかがえた（No.1-9-1）ことから、土壌が湿っており、床下が湿気ている可能性がある。



No. 1-9-1　換気口から見える床下の様子

写真5.6.1-10　調査建物1-9の生物劣化等

1)のつづき　調査建物1-10

調査建物1-10は、京都府与謝郡与謝野町にある木造2階建ての蔵である。屋根は桟瓦葺き、壁は土壁で外側は漆喰とトタン貼りである。独立した建物ではなく、木造2階建ての建物とつながっている。

調査範囲は外周とした。軒や壁の漆喰に剥落が認められた（No.1-10-1）。



No. 1-10-1　軒と壁の漆喰の剥落

写真5.6.1-11　調査建物1-10の生物劣化兆候

1)のつづき　調査建物1-11

調査建物1-11は、京都府与謝郡与謝野町にある木造2階建ての民家である。屋根は桟瓦葺き、壁は土壁で外側は荒壁、漆喰仕上げである。近年改修されている。

調査範囲は外周とした。調査した範囲の中で目立った劣化は認められなかったが、桁が屋根よりも外側に出ている箇所があった（No.1-11-1）。また、土台と土壌が接しているように見受けられるところがあり（No.1-11-2）、外壁が土台まで下りていることから、床下の通気がよくない可能性が考えられた。



No. 1-11-1　屋根の端より桁が出ている



No. 1-11-2　土台が土壌と接しているようである

写真5.6.1-12　調査建物1-11の生物劣化兆候

1)のつづき　調査建物1-12

調査建物1-12は、京都府与謝郡与謝野町にある木造2階建ての民家である。屋根は桟瓦葺き、壁は土壁で外側は荒壁である。

調査範囲は外周とした。床下は石積みの上に土台が設置されている（No.1-12-1）。外壁の仕上げ材が剥落しているところがあり（同1-12-2）、柱の脚元と土台にシロアリ食害痕が認められ（同1-12-2）、石積みの上の土台に水しみが認められた。



No. 1-12-1　床下の様子



No. 1-12-2　壁仕上げ材の剥落

写真5.6.1-13　調査建物1-12の生物劣化等



No. 1-12-3　柱脚元と土台のシロアリ食害痕　　No. 1-12-4　土台の水しみ

写真5.6.1-13　調査建物1-12の生物劣化等（続き）

2)調査建物2

調査建物2は、京都市内にある木造2階建ての町屋である。床下は土壌あらわしで束石に束建て、壁はほとんどが土壁で、屋根は桟瓦葺きであった。改築の履歴があり、戦後、厩であった建物南側に平屋建ての店舗を増設、台所部分の土間の床上、北西角に書斎、渡り廊下を介して離れを増築している。周囲は住宅が多く、高層の建物はない。建物東面は道路に面しており、北側には庭がある。

調査範囲は床下と室内、外周とした。床下は北側の一部がかなり湿っており、その付近でシロアリの激しい食害痕が認められた。その被害は柱から室内の窓枠上部にまで達していた（No.2-1）。また、北端にある浴室の入口両側柱と扉の枠材に腐朽やシロアリの食害痕が認められた（同2-2）。増築された北西角の書斎と当初からある部屋の境界辺りでは、柱や束の脚元にシロアリ食害痕や腐朽が認められた（同2-3、2-4）。その他、束の脚元に水しみが認められるものが多く（同2-5）、大引に甲虫による穿孔が認められるものがあった（同2-6）。

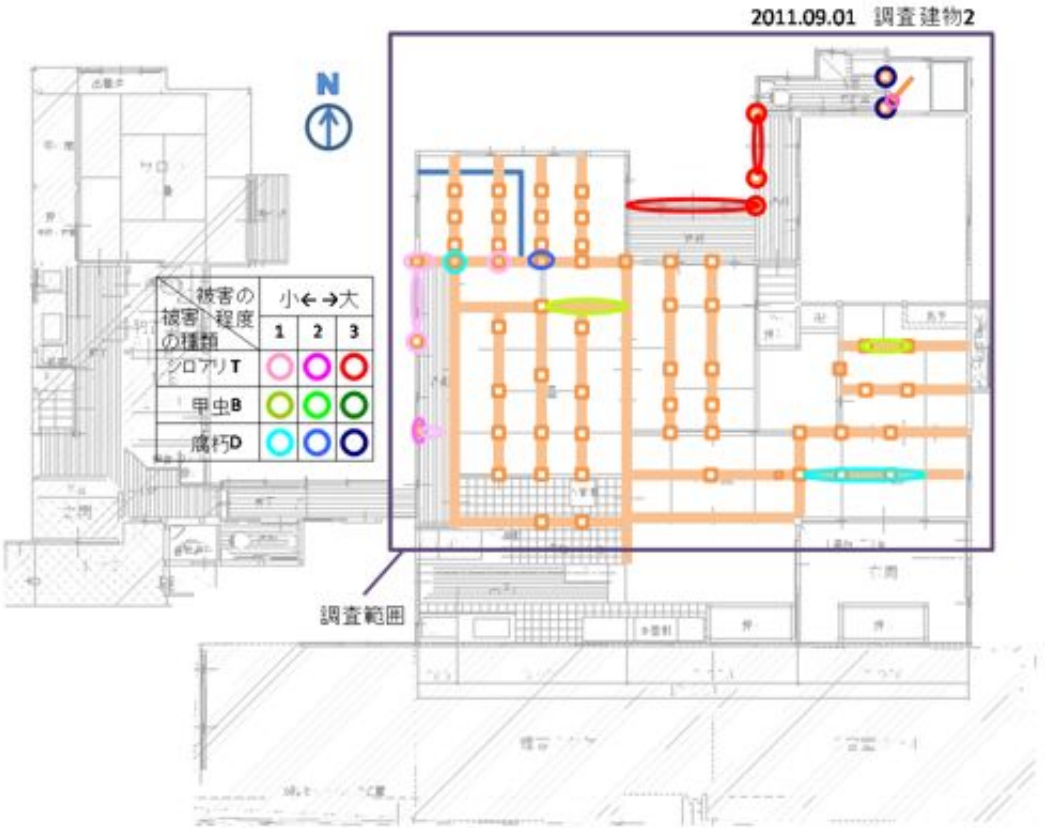


図5.6.1-7　調査建物2の床下生物劣化分布



No. 2-1 北側廊下の柱のシロアリ食害痕



No. 2-2 浴室入口の柱と扉枠材の
シロアリ食害痕



No. 2-3 床束のシロアリ食害痕



No. 2-4 床束の腐朽



No. 2-5 床束の水しみ



No. 2-6 大引の甲虫被害

写真5. 6. 1-14 調査建物2の生物劣化等

3)調査建物3-1

調査建物3-1は秋田県仙北市角館にある木造平屋建ての武家屋敷である。建物の脚元は敷石に土台がまわしてあり、その上に柱が立てられている。床下は土壌あらわしで、敷石の上に土台を敷設し、短い束を挟んで脚固めが取り付けられており、床下では各部屋を行き来できないところが多い（No.3-1-1）。外壁は板張りと土壁である。屋根は木羽葺である。建物周囲は庭で、高木が多数ある。昭和55年に修理工事が行われている。

調査範囲は、床下、室内、小屋裏、外周とした。床下は北東角の和室および板間以外は乾燥していた。西側の主だった部屋は土台と敷石が接している部分で軽微な腐朽（同3-1-2）や甲虫による穿孔が認められた。北東角の和室と板間は土壌が湿っており、土台、大引きや柱などの主要な構造部材にシロアリ食害痕や腐朽が認められた（同3-1-3、3-1-4）。北東角の板間では、地面に接する土台にシロアリの生息が確認された。土壌が湿っているこの辺りには、もともと蔵が建っていたようである。建物外周では北側土台の下端が腐朽していた（同3-1-5）。また、柱の脚元が腐朽やシロアリ食害で欠損しているところもあった（同3-1-6）。小屋裏の観察できた範囲には生物劣化の兆候は特に認められなかった。

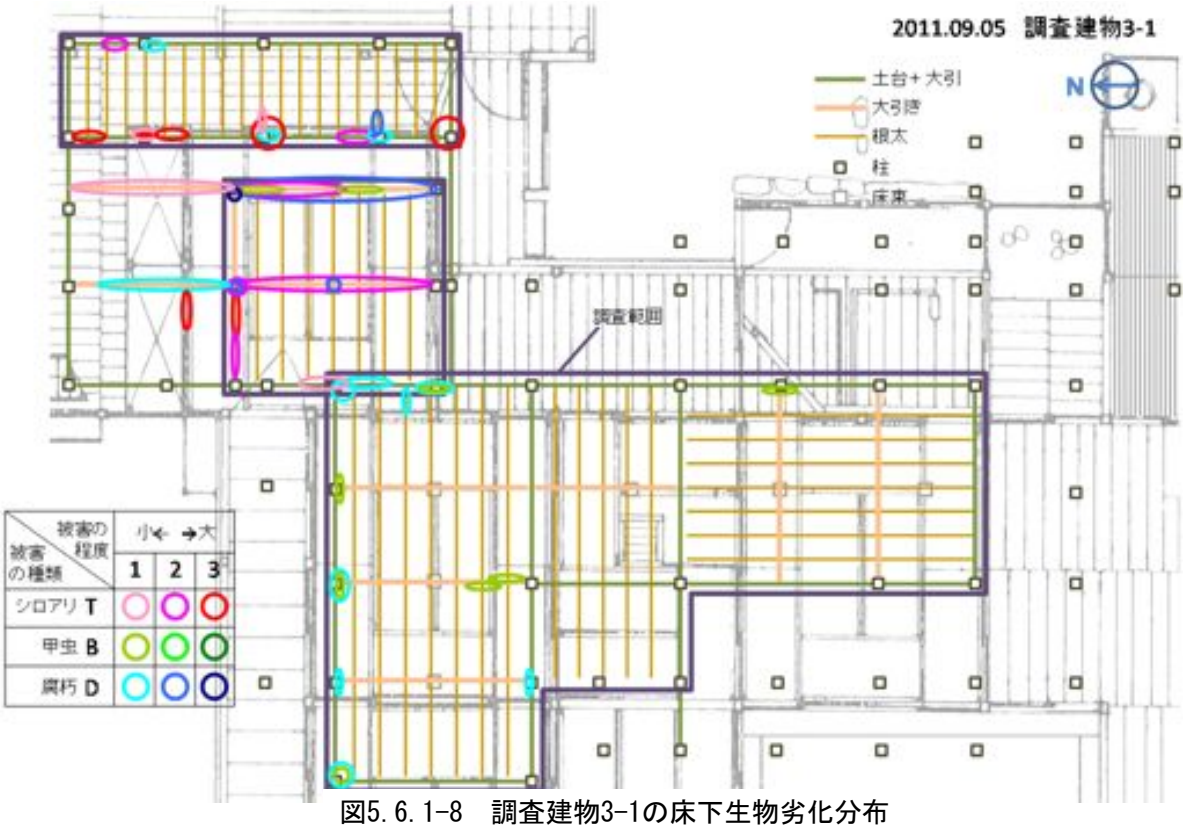


図5.6.1-8　調査建物3-1の床下生物劣化分布

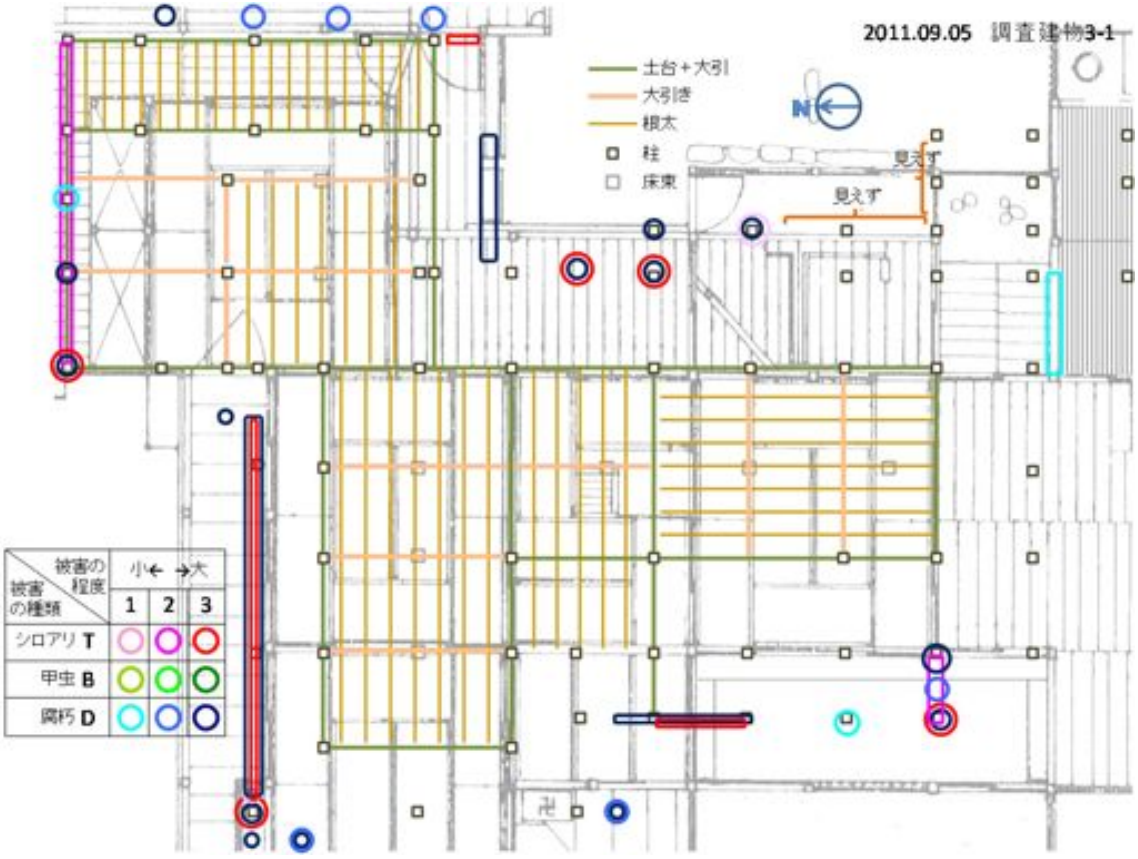
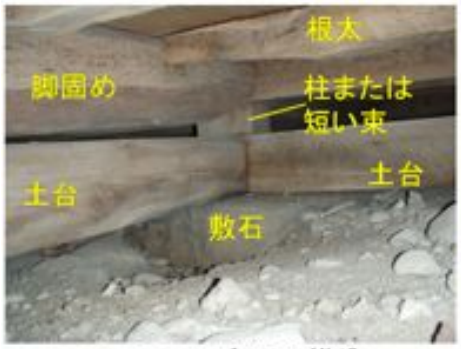


図5.6.1-9　調査建物3-1の外周生物劣化分布



No. 3-1-1　床下の構造



No. 3-1-2　北側板間床下土台の束石と
接する部分の腐朽



No. 3-1-3　北側和室床下の大引と束のシロアリ食害痕と腐朽



No. 3-1-4　北側板間の柱・敷居等接合部の
シロアリ食害



No. 3-1-5　縁側土台の
シロアリ食害痕



No. 3-1-6　柱脚元の
シロアリ食害痕(左)と腐朽(右)

写真5.6.1-15　調査建物3-1の生物劣化等

3) のつづき　調査建物3-2

調査建物3-2は秋田県仙北市角館にある木造平屋建ての武家屋敷である。建物の脚元は、東面の縁側部分を除き、敷石に土台がまわしてあり、その上に柱が立てられている。床下は土壌あらわしで、束石に束建てである。外壁は板張りと土壁である。屋根は木羽葺である。周囲には高木が多数ある。昭和55年に屋根の葺替工事が行われている。

調査範囲は、床下、室内、小屋裏、外周とした。床下はやや湿っていた。シロアリ食害痕は、玄関付近の土台や束（No.3-2-1、3-2-2）、建物中央付近の仏間下あたりに認められ、東側縁側には土壌から束に伸びる蟻道が見られた（同3-2-3）。建物の南西側では甲虫による穿孔が多数あり、直径が300mm以上ある太い大引はドライバが容易に刺さった（同3-2-4）。建物外周は所々で柱の脚元にシロアリ食害や腐朽が認められ、それらは北側に多かった。小屋裏は棟に接している垂木にシロアリ食害痕らしいものが認められたが、それ以外は観察できた領域において生物劣化の兆候は特に認められなかった。建物は補修の履歴があり、束が取り換えられていたり、柱脚元が根継されたりしている部分がある。補修の際に、劣化した部材を覆っている箇所もあった（同3-2-5）。

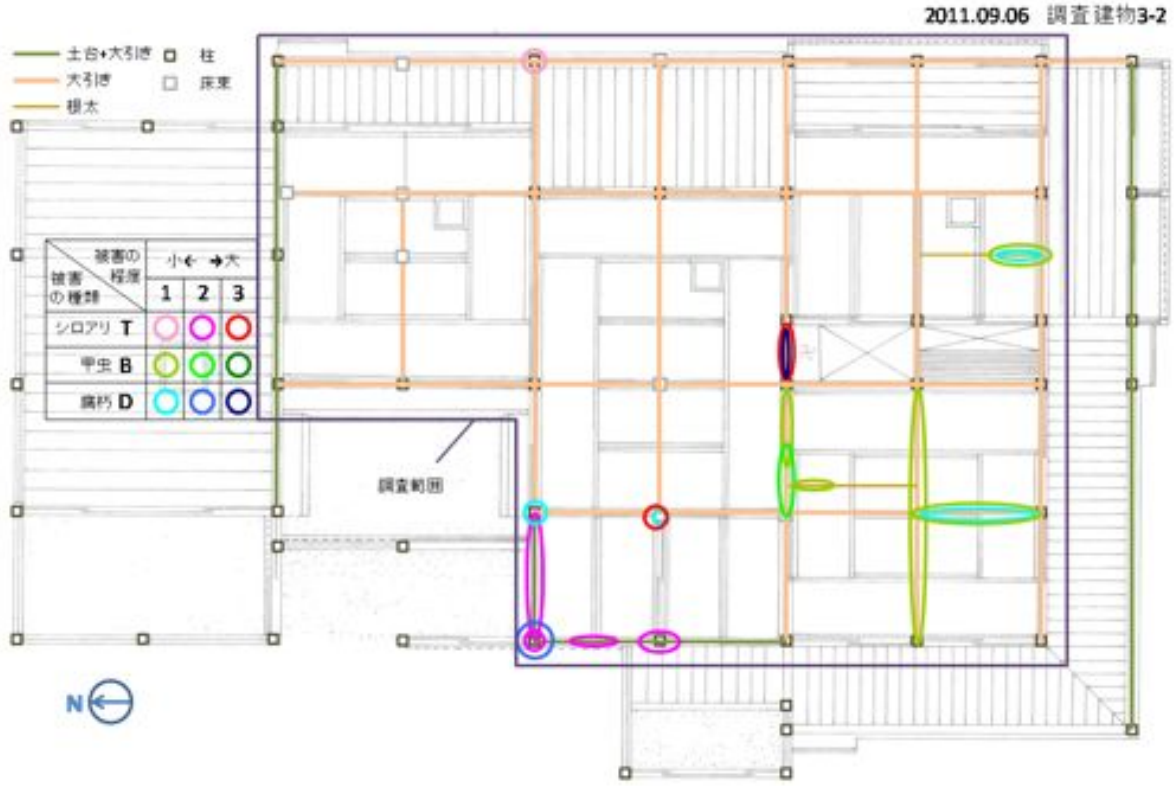


図5.6.1-10　調査建物3-2の床下生物劣化分布

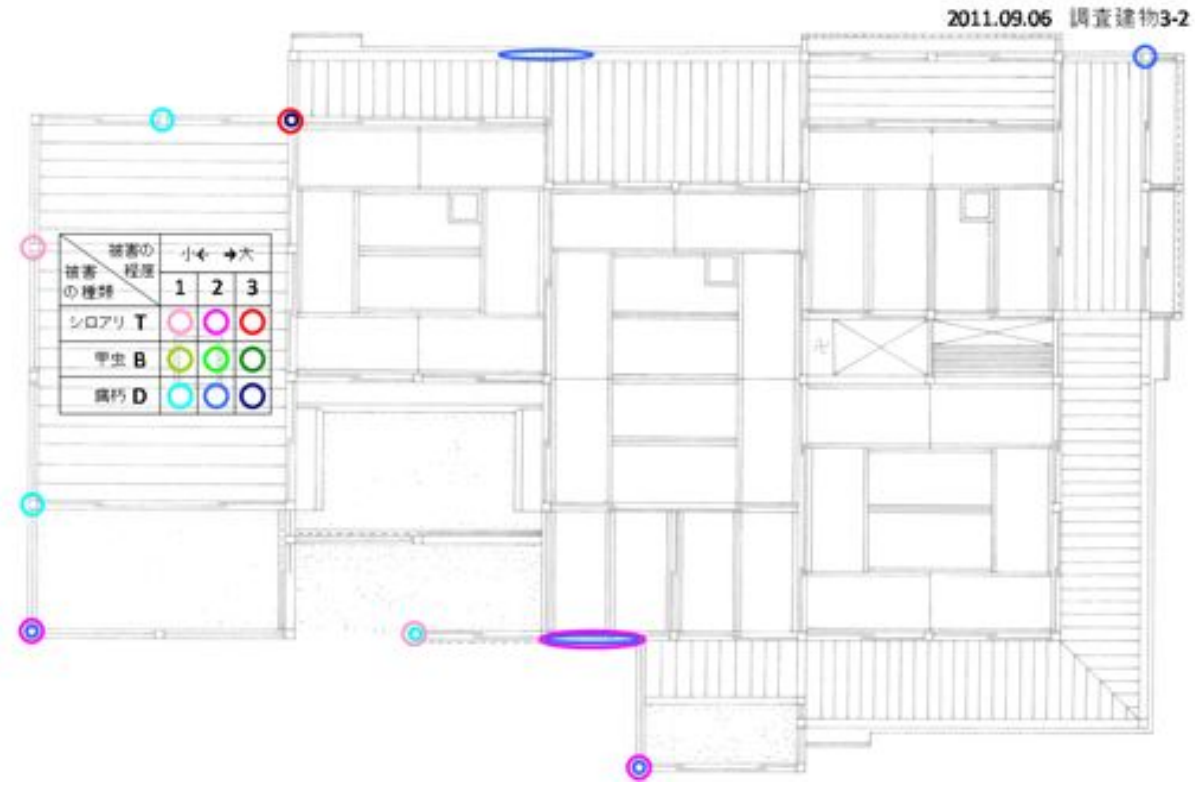


図5.6.1-11　調査建物3-2の外周生物劣化分布



No. 3-2-1　土台のシロアリ食害痕



No. 3-2-2　後補材のシロアリ食害痕および腐朽



No. 3-2-3
束石の上の蟻道





No. 3-2-4　大引の甲虫被害

写真5.6.1-16　調査建物3-2の生物劣化等



No. 3-2-5　補修材で覆われた劣化部分

写真5.6.1-16　調査建物3-2の生物劣化等（続き）

3)のつづき　調査建物3-3

調査建物3-3は秋田県仙北市角館にある木造2階建ての武家屋敷と蔵である。外壁は板壁と土壁ある。周囲には高木が多数ある。昭和57年に修理工事が行われている。

調査範囲は外周のみとした。下見板を抑える材の脚元にシロアリ食害痕および腐朽が認められた（No.3-3-1）。また、蔵の屋根を支える部材と壁を接続する金具付近の土壁が崩落している箇所があった（同3-3-2）。



No. 3-3-1　板壁（左）裾のシロアリ食害（中）および腐朽（右）



No. 3-3-2　金具付近の壁土の崩落

写真5.6.1-17　調査建物3-3の生物劣化等

3) のつづき　調査建物3-4

調査建物3-4は秋田県南秋田郡五城目町にある木造茅葺の民家である。外壁は建具のないところはトタン張りで、小壁は土壁であった（No.3-4-1）。建物東側に高木がある。

調査範囲は外周のみで、屋根を中心とした。雑草が生えたところ（同3-4-2）もあったが、屋根は比較的きれいな状態であった。屋根に小窓が設けられており、その小屋根から雨落ちする部分には板が差し込まれていた（同3-4-3）。小壁の壁土が崩落している部分があった（同3-4-4）。





No. 3-4-1　建物外観



No. 3-4-2　屋根に生えた草



No. 3-4-3　雨落ち部分に板がさし込まれている



No. 3-4-4　小壁の壁土の崩落

写真5.6.1-18　調査建物3-4の生物劣化等

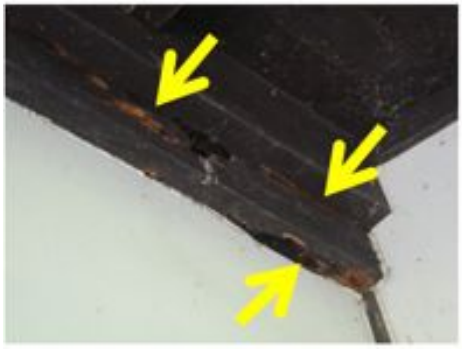
3) のつづき　調査建物3-5

調査建物3-5は秋田県南秋田郡五城目町にある木造茅葺の民家である。外壁は腰高まで板張りでその上は土壁の漆喰塗りであった（No.3-5-1）。建物周囲は庭である。近年修理されている。

調査範囲は室内の立ち入りできる領域と外周とした。桁や柱上部に腐朽もしくは虫害で木部が欠損しているところがあった（同3-5-2、3-5-3）。修理の際に床下の部材は新しく取り換えられたようであった（同3-5-4）。また、室内も見た範囲には目立った劣化の兆候は認められなかった（同3-5-5）。



No. 3-5-1　建物外観



No. 3-5-2　桁の腐朽もしくは虫害



No. 3-5-3　柱上部の腐朽もしくは虫害



No. 3-5-4　床下の様子



No. 3-5-5　室内の様子

写真5.6.1-19　調査建物3-5の生物劣化等

3)のつづき　調査建物3-6

調査建物3-6は秋田県南秋田郡五城目町にある木造茅葺の民家である。建物の脚元は土台敷きである。外壁は腰高まで板張りでその上は土壁の漆喰塗りと一部はトタン張りであった。建物周囲は庭と畑であった。

調査範囲は室内の立ち入りできる領域と外周とした。土台の水平方向の接合部や柱の脚元に劣化している箇所があった（No.3-6-1、3-6-2)。無人の隣家は傷みが激しく、屋根が崩壊しているものもあった（同3-6-3)。



No. 3-6-1　土台接合部の劣化



No. 3-6-2　柱脚元の劣化



No. 3-6-3　無人になった隣家

写真5. 6. 1-20　調査建物3-6の生物劣化等

3) のつづき　調査建物3-7

調査建物3-7は秋田県内の木造茅葺の民家である。外壁は板張りと土壁の漆喰塗りであった。

調査範囲は室内の立ち入りできる領域と外周とした。軒のあたりにクマバチによる穿孔が認められた（No.3-7-1、3-7-2)。屋根に雑草が生えている場所があった（同3-7-3)。



No. 3-7-1　外周部材のクマバチによる穿孔1

写真5. 6. 1-21　調査建物3-7の生物劣化等



No. 3-7-2　外周部材のクマバチによる穿孔2　　No. 3-7-3　屋根に生えた草

写真5.6.1-21　調査建物3-7の生物劣化等（続き）

3)のつづき　調査建物3-8

調査建物3-8は秋田県内の木造茅葺の民家である。外壁は板張りと土壁の漆喰塗りであった。建物周囲には高木が何本かあった。

調査範囲は外周のみとした。顕著な生物劣化やその兆候は見た範囲の中では認められなかった。建物周囲はきれいに片づけられていた（No.3-8-1、3-8-2、3-8-3）。



No. 3-8-1
建物外周1　　No. 3-8-2　建物外周2　　No. 3-8-3　建物外周3

写真5.6.1-22　調査建物3-8

4)調査建物4

調査建物4は大阪府堺市の木造2階建ての庄屋屋敷である。床下は土壌あらわしで束石に束建て、外壁はほとんどのところで腰高まで板壁でその上が土壁の漆喰塗りで、屋根は本瓦葺であった。建物周囲は庭である。

調査範囲は床下と外周とした。床下は建物の東側でシロアリ食害痕が多く認められた（No.4-1）。また、掘炬燵に接する部材やその周囲の部材、玄関の登り口付近にもシロアリ食害痕が認められた（同4-2、4-3、4-4、4-5）。甲虫による穿孔痕や腐朽も複数個所で認められた（同4-6）。外壁で漆喰が剥がれ落ちている箇所があった。



図5.6.1-12　調査建物4の床下生物劣化分布



No. 4-1　大引のシロアリ食害部にめり込む束頭部

No. 4-2　堀炬燵に接する大引のシロアリ食害痕



No. 4-3　堀炬燵に接する根太のシロアリ食害痕

No. 4-4　堀炬燵に接する材がシロアリに食い尽くされた

写真5.6.1-23　調査建物4の生物劣化等



No. 4-5　玄関の上り口裏のシロアリ食害痕



No. 4-6　大引の腐朽

写真5. 6. 1-23　調査建物4の生物劣化等（続き）

5)調査建物5

調査建物5は京都市内の木造2階建ての町屋である。床下は土壌あらわしで束石に束建て、外壁はほとんどのところがトタン張りで、屋根は桟瓦葺であった。建物北側は道路に面し、南側に坪庭があり、西側はRC造のマンション、東側は隣家の駐車場である。

調査範囲は室内の土間部分と外周とした。東側壁の裾付近にシロアリ食害痕が認められた（No.5-1)。また、その周囲の柱は根継をされていた（同5-2)。床下は閉じられているようである（同5-3)。



No. 5-1　壁裾のシロアリ食害痕

写真5. 6. 1-24　調査建物5の生物劣化等



写真5.6.1-24　調査建物5の生物劣化等（続き）

6)調査建物6

調査建物6は京都市内の木造2階建ての町屋である。床下は土壌あらわしで束石に束建て、外壁はほとんどのところがトタン張りで、屋根は桟瓦葺であった。建物は改築の履歴があり、土間の床上げ、床下部材の補強等が行われていた。建物西側は道路に面し、南北両側には隣家、東側には庭がある。

調査範囲は床下と室内、室内から見える小屋組みとした。床下はやや湿っており、確認できた生物劣化はシロアリ食害痕がほとんどであった。地中に埋もれた横架材（土台か？）があり、それと接する柱に食害痕が認められた(No.6-1)。また地面と接する土台にも食害痕が認められた(同6-2)。大引の食害部分を両脇から挟むように補修材が取り付けられていた（同6-3)。建物南側の階段から台所に至るまでの柱脚元はすべてシロアリ食害痕が認められ（同6-4)、そのうち1本ではシロアリが生存していた（同6-5)。台所は吹き抜けであるが、そこから見える小屋組み材や柱上部の割れ目や隙間に蟻土が詰められている箇所があった（同6-6)。また、小屋組み横架材で断面が欠損しているのが確認できるものがあった（同6-7)。

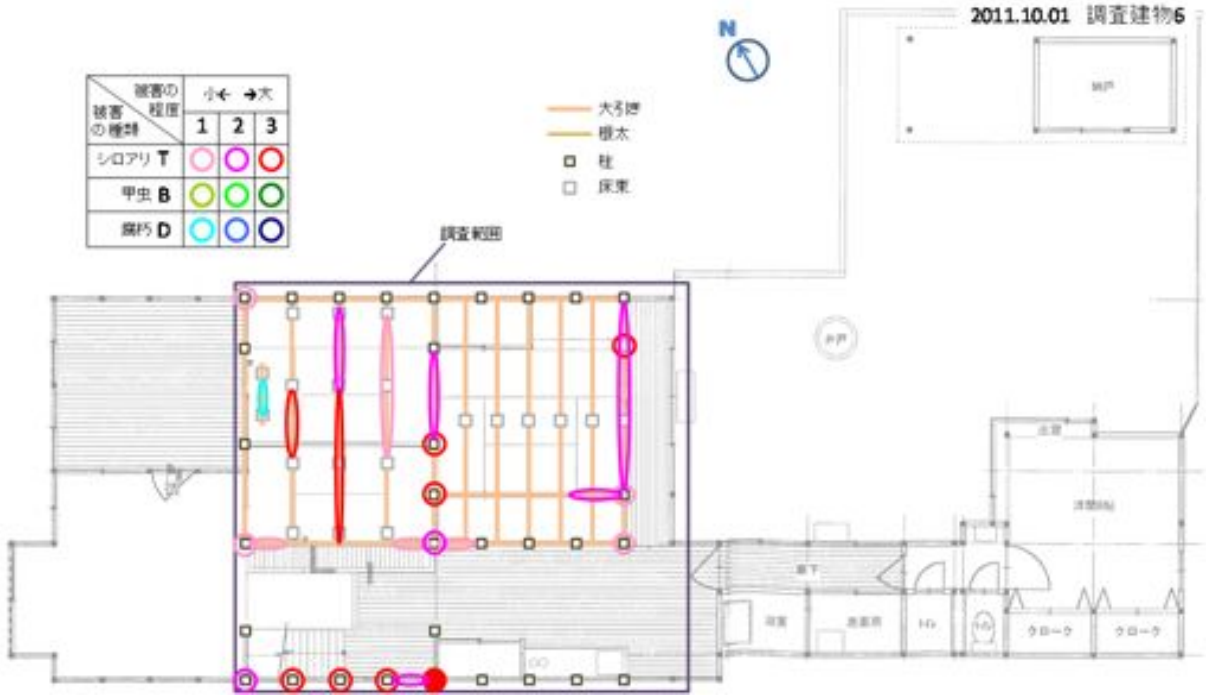


図5.6.1-13　調査建物6の床下生物劣化分布



No. 6-1 地中に埋もれた材と
それに接する食害痕



No. 6-2 地面と接する部材
のシロアリ食害痕



No. 6-3 補修材で補強された
大引の食害部



No. 6-4 柱脚元の食害痕



No. 6-5 シロアリの生息が確認された柱脚元



No. 6-6 小屋梁割れ目や
部材接合部の蟻土



No. 6-7 小屋組み材の
シロアリ食害痕

写真5.6.1-25　調査建物6の生物劣化等

7) 調査建物7

調査建物7は京都市内の木造2階建ての町屋である。床下は土壌あらわしで束石に束建て、外壁は土壁、屋根は桟瓦葺であった。建物は改築の履歴があり、土間の床上げが行われていた。建物東側は道路に面し、南北両側には隣家、西側には庭がある。

調査範囲は床下と室内、外周とした。床下で確認できた生物劣化は甲虫による穿孔痕（No.7-1）、腐朽（同7-2）と水しみ（同7-3）であった。また、地割れが何か所かで認められた（同7-4）。建物北東の壁際の柱で脚元が圧潰しているものがあった（同7-5）。室内で認められた生物劣化の兆候は建物西側の別棟に続く廊下の天井付近の水しみ（同7-6）と壁の膨れ（同7-7）である。この付近の戸当たりや桁材などにはシロアリ食害痕が認められた（同7-8、7-9）。また、廊下外側の軒先にも水しみとシロアリ食害痕が認められた（同7-10）。

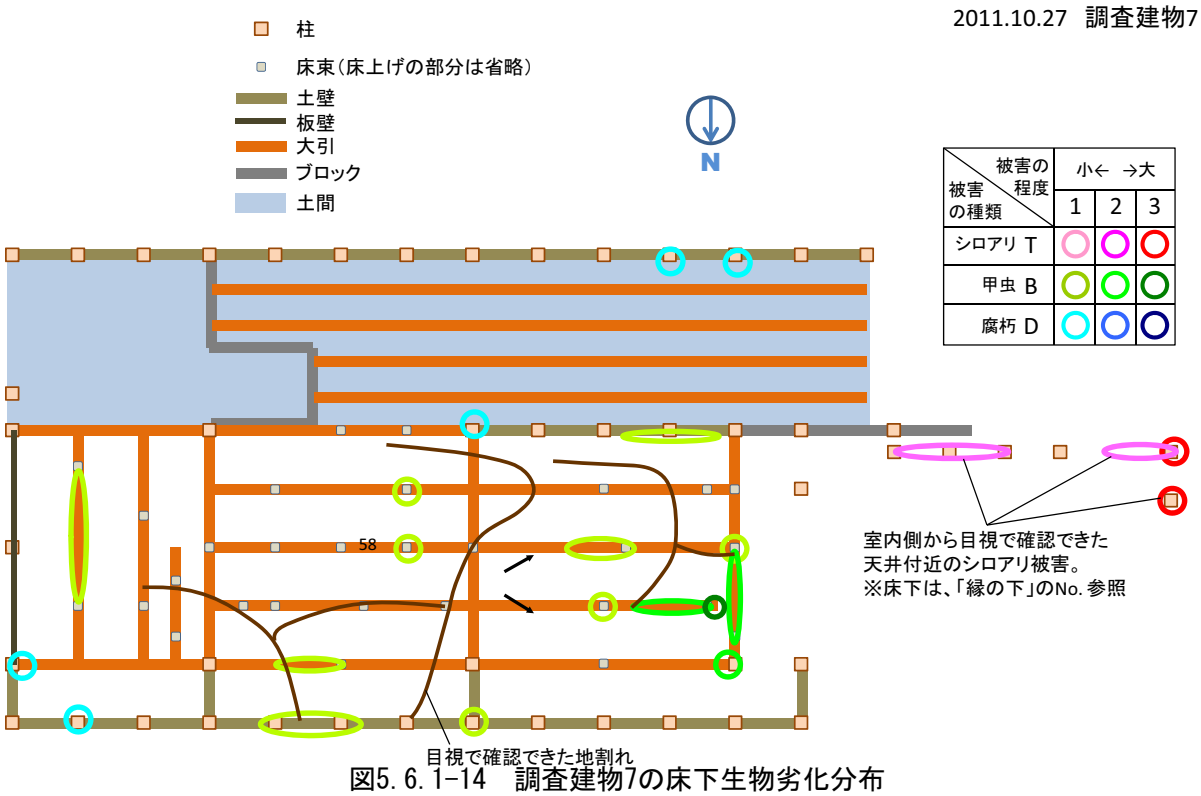


図5. 6. 1-14　調査建物7の床下生物劣化分布



写真5. 6. 1-26　調査建物7の生物劣化等



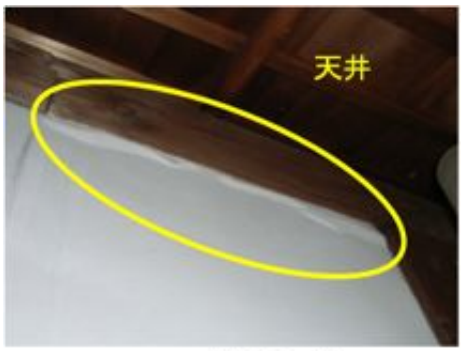
No. 7-4 地割れ



No. 7-5 柱脚元の圧潰



No. 7-6 天井付近の水しみ



No. 7-7 壁のふくれ



No. 7-8 戸当たり脚元の蟻害



No. 7-9 天井付近の蟻害



No. 7-10 軒先の水しみと蟻害

写真5.6.1-26 調査建物7の生物劣化等（続き）

8)調査建物8-1

調査建物8-1は熊本県菊池市の木造2階建ての民家である。1階部分は店舗に改装している。屋根は桟瓦葺であった。

調査範囲は建物2階部分にあたる広い小屋裏とした（No.8-1-1)。壁にふくれ（同8-1-2）や水しみ（同8-1-3）が認められる箇所があった。また、梁の一端にシロアリ食害痕が認められた（同8-1-4)。登梁等に甲虫による穿孔痕が認められた（同8-1-5)。



No. 8-1-1 小屋裏の様子



No. 8-1-2 壁のふくれ　　No. 8-1-3 水しみ



No. 8-1-4 梁の蟻害　　No. 8-1-3 登梁下面の甲虫による穿孔

写真5. 6. 1-27　調査建物8-1の生物劣化等

8)のつづき　調査建物8-2

調査建物8-2は熊本県菊池市の木造2階建ての蔵である。壁は漆喰仕上げで、屋根は桟瓦葺であった（No.8-2-1）。

調査範囲は建物2階部分にあたる小屋裏とした（同8-2-2）。野地板に水しみや腐朽が認められる箇所があった（同8-2-3）。登梁と壁の取合い部分で甲虫による穿孔・食害が認められた（同8-2-4）。建物端の梁と壁の取合いのところでシロアリ食害のような痕が認められた。その部材はドライバが根元まで容易に刺さるほど食害を受けていた（同8-2-5）。



No. 8-2-1　建物外観



No. 8-2-2　建物内部(2F)



No. 8-2-3　野地板の腐朽



No. 8-2-4　登梁と壁の取合い部分の甲虫被害



No. 8-2-5　梁の食害痕(シロアリかどうかは不明)

写真5.6.1-28　調査建物8-2の生物劣化等

8) のつづき　調査建物8-3

調査建物8-3は熊本市植木町の木造2階建ての建物である。屋根は桟瓦葺であった。建物は増改築の履歴があり、もとの建物の西側に建て増しをしている。建て増し部分の床下は土間コン、もとの建物の床下は土壌あらわしで、どちらも束建てであった。建物東側は道路に面し、南北側は隣家（2階建て）、西側には庭がある。

調査範囲は床下、室内、小屋裏とした。床下は土壌あらわし部分の南側で束、大引、根太に甲虫による穿孔痕（No.8-3-1）、シロアリ食害痕（同8-3-2）、腐朽（同8-3-3）の認められるものがあった。室内では、壁の亀裂（同8-3-4）、天井板の水しみ（同8-3-5）が認められた。小屋裏は垂木と野地板の間に蟻土が確認された（同8-3-6）。

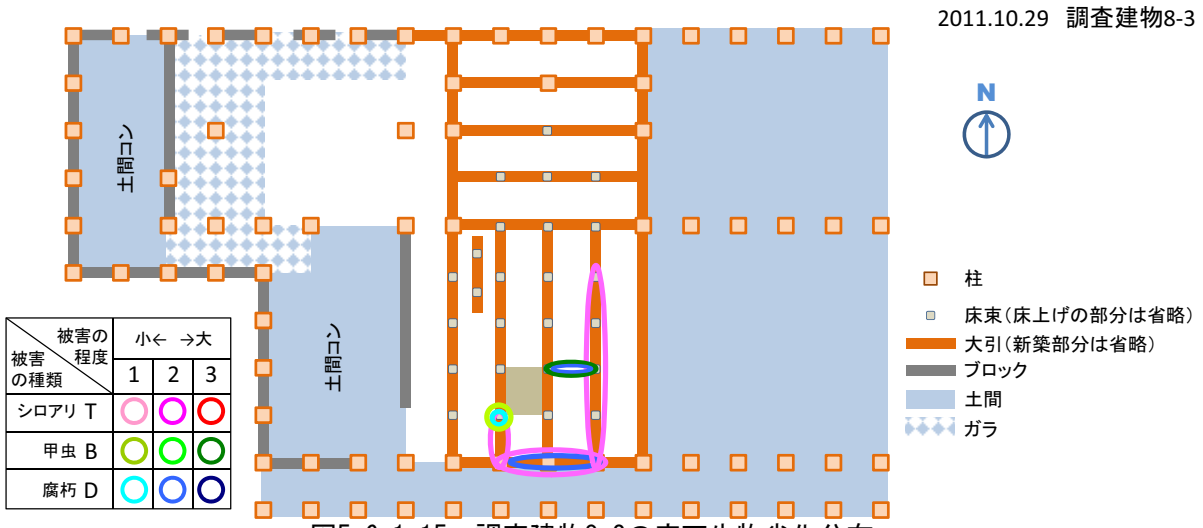


図5. 6. 1-15　調査建物8-3の床下生物劣化分布



No. 8-3-1　根太の甲虫による食害痕



No. 8-3-2　大引のシロアリ食害痕



No. 8-3-3　根太の腐朽



No. 8-3-4　壁の亀裂

写真5. 6. 1-29　調査建物8-3の生物劣化等



No. 8-3-5 天井板の水しみ



No. 8-3-6 垂木と野地板の蟻土

写真5.6.1-29　調査建物8-3の生物劣化等（続き）

8)のつづき　調査建物8-4

調査建物8-4は熊本県上益城郡御船町の木造2階建て民家と酒蔵（2棟）である。民家は寮として使われていたことがあり、増改築が繰り返されており、部屋が多数ある。酒蔵は地面から天井までが高く、壁面を構成する構造部材は柱と横架材が格子状に配置されていた（No.8-4-1）。蔵の外壁は漆喰仕上げであった。

調査範囲は室内および外周とした。蔵は壁面の柱や横架材にシロアリ食害痕が認められ（同8-3-2）、被害が床から3mほどの高さにある部材まで及んでいるところもあった（同8-4-3）。外壁が剥落しているところがあった（同8-4-4）。民家（同8-4-5）天井付近に現れた小屋組み材等に甲虫による食害や腐朽と思われる劣化が認められた（同8-4-6、8-4-7）。



No. 8-4-1 蔵内部の様子



No. 8-4-2 柱のシロアリ食害痕



No. 8-4-3 床から3mほどの高さにある水平部材のシロアリ食害痕



No. 8-4-4 外壁の剥落

写真5.6.1-30　調査建物8-4の生物劣化等



No. 8-4-5 寮内部の様子



No. 8-4-6 小屋組み材の食害痕　　No. 8-4-7 天井付近の材の食害痕

写真5.6.1-30　調査建物8-4の生物劣化等（続き）

9)調査建物9-1

調査建物9-1は岐阜県高山市の木造2階建ての建物である。建物外周の脚元が見えていた領域は土台敷きで、外壁は土壁とトタン、屋根は桟瓦葺きであった。明治時代の建物のようである。建物周囲は高木もなく、開けた雰囲気である。

調査範囲は外周のみとした。建物の軒が深い（No.9-1-1）のが特徴的であった。外周の劣化としては、野地板に水しみが認められ（同9-1-2）、壁が所々剥落していた（同9-1-3）。見た範囲の中では、外周土台に目立った生物劣化は認められなかった。



No. 9-1-1 深い軒　　No. 9-1-2 野地の水しみ　　No. 9-1-3 壁の剥落

写真5.6.1-31　調査建物9-1の生物劣化等

9) のつづき　調査建物9-2

調査建物8-2は岐阜県高山市の木造2階建ての建物である。建物外周の脚元は見えていた領域は土台敷きで、外壁は土壁とトタンと一部板壁、屋根はコンクリート製の桟瓦葺きであった。大正時代の建物のようである。建物周囲は高木もなく、開けた雰囲気である。

調査範囲は外周のみとした。土台の一部に水しみが認められた（No.9-2-1）。



No. 9-2-1　土台の水しみ

写真5. 6. 1-32　調査建物9-2の生物劣化等

10) 調査建物10-1

調査建物10-1は富山県内の木造2階建ての建物である。傾斜地に立っており、周囲には高木が多数あった。建物脚元は一部土台敷きが認められ、外壁は土壁および板壁、屋根は桟瓦葺きである。

調査範囲は室内と外周とした。外周では壁土の剥落が認められた（No.10-1-1、10-1-2）。室内では窓台が甲虫による食害を受けているのと水しみおよび壁の剥落が認められた（同10-1-3）。また、水回りにある勝手口の敷居にシロアリ食害痕が認められた（同10-1-4）。



No. 10-1-1
壁土の剥落1



No. 10-1-2
壁土の剥落2



No. 10-1-3　窓周りの劣化



No. 10-1-4　水周りにある勝手口敷居のシロアリ食害痕

写真5. 6. 1-33　調査建物10-1の生物劣化等

10) のつづき　調査建物10−2

調査建物10-2は富山県内の木造2階建ての建物である。建物周囲には高木が数本立っていた。屋根は桟瓦葺きで、勾配は急である。

調査範囲は外周のみで、壁土の剥落が認められた（No.10-2-1）。窓台の下に水切銅板が取り付けられていた（同10-2-2）。



No. 10-2-1　壁土の剥落



No. 10-2-2　窓台下の水切銅板

写真5. 6. 1−34　調査建物10−2の生物劣化等

10) のつづき　調査建物10−3

調査建物10-3は富山県内の木造2階建ての蔵である。蔵は庭を挟んで母屋の隣にあり、3棟が隣接して建てられていた。入口前の通路には屋根と壁が取り付けられていた（No.10-3-1）。

調査範囲は室内のみとした。入口上の屋根野地に水しみと腐朽が認められた（同10-3-2）。2階の屋根構造材と壁の取合い付近にシロアリ食害痕が認められ、隣接する同じ部材は食害部を覆うように補修されていた（同10-3-3）。また、1階部分の柱と梁の接合部にシロアリ食害が認められた（同10-3-4）。2階床を受ける横架材の継ぎ手部分に蟻土が付着しているところがあった（同10-3-5）。



No. 10-3-1　入口の前の様子



No. 10-3-2　入口上の屋根野地の腐朽



No. 10-3-3　屋根構造材のシロアリ食害痕とそれを覆う補修材



No. 10-3-4　接合部のシロアリ食害

写真5. 6. 1−35　調査建物10−3の生物劣化等



No. 10-3-5　2階床を受ける水平材継手部分の隙間を埋める蟻土

写真5.6.1-35　調査建物10-3の生物劣化等（続き）

11)調査建物11-1

調査建物11-1は木造2階建ての民家と隣接する蔵で、屋根はどちらも桟瓦葺きである。主屋の風呂は主屋に隣接して建てられている（No.11-1-1）。

調査範囲は室内と外周とした。蔵内部の壁に剥落が認められた（同11-1-2）。また、蔵内部の床板（同11-1-3）、棚の敷居、階段板（同11-1-4）にシロアリ食害が認められ、階段に隣接する柱脚元には甲虫による穿孔痕が認められた（同11-1-4）。



No. 11-1-1　主屋に隣接する風呂



No. 11-1-2　蔵壁の剥落



No. 11-1-3　蔵床板のシロアリ食害痕



No. 11-1-4　柱脚元の甲虫穿孔痕と階段板のシロアリ食害痕

写真5.6.1-36　調査建物11-1の生物劣化等

11)のつづき　調査建物11-2

調査建物11-2は木造2階建ての民家である。外壁は板壁と土壁で、屋根は桟瓦葺きである。道路に面して店の間があり、奥に住居（No.11-2-1）がある。

調査は室内と外周とした。室内はエアコン上部の天井板に水しみが認められた（同11-2-2）。外周から床下の様子を確認したところ、土台の地面と接する部分に水しみと白化が認められた（同11-2-3）。また、基礎部分に銅板が敷設されていた（同11-2-4）。



No. 11-2-1　奥の間



No. 11-2-2　天井の水しみ



No. 11-2-3　土台の水しみ



No. 11-2-4　基礎の銅板

写真5.6.1-37　調査建物11-2の生物劣化等

12)調査建物12-1

調査建物12-1は宮崎県日南市の飫肥重要伝統的建造物群保存地区である。この地区は飫肥城下の武家町で、藩主の屋敷や武家屋敷が残る（No.12-1-1）。外壁は板壁と土壁で、建物の屋根はほぼすべてが桟瓦葺であった。建物周囲には庭が設けられている場合が多い。

調査は外周のみで、敷地に入れない建物は道路からの目視確認のみとした。明らかな劣化ではないが、セメント瓦に藻類や雑草が生えていたりしたものがあった（同12-1-2、12-1-3）。また、壁の一部剥落しているものがあった（同12-1-4）。地区内では塀の裾や門柱の脚元など水がかりのところに銅板が取り付けられているのを目にすることが多かった（同12-1-5、12-1-6、12-1-7）。



No. 12-1-1　重伝建地区



No. 12-1-2　セメント瓦を覆う藻類

写真5.6.1-38　調査建物12-1の生物劣化等



No. 12-1-3　セメント瓦隅棟の雑草



No. 12-1-4　壁の剥落



No. 12-1-5　窓下の部材に取り付けられた銅板



No. 12-1-6　塀の板張り
下部の水切銅板



No. 12-1-7　木口を銅板で隠す

写真5.6.1-38　調査建物12-1の生物劣化等（続き）

12)のつづき　調査建物12-2

調査建物12-2は宮崎県日向市の美々津重要伝統的建造物群保存地区である。この地区は日向と京や上方を結ぶ港町として栄え、江戸時代から明治時代の建物が多く残る（No.12-2-1）。建物はほとんどが道路に面して建てられており、壁は板壁やトタンが多かった。小壁は土壁の漆喰塗のものも認められた。屋根は桟瓦葺きがほとんどであった。

調査は外周のみである。外周に現れた生物劣化として、建物の2階の野地板（同12-2-2）や柱とモルタル接触面（同12-2-3）にシロアリ食害痕が認められた。また、漆喰の剥落（同12-2-4）や水が関係すると考えられる壁の汚損（同12-2-5）も認められた。また、資料館として開放されていた建物内の梁には甲虫による穿孔が認められた（同12-2-6）。



写真5.6.1-39　調査建物12-2の生物劣化等

13)調査建物13-1

調査建物13-1は木造2階建ての建物で、屋根は桟瓦葺きである。現在は観光案内所として利用されている。

調査範囲は室内の立ち入り可能な範囲のみとした。桁にはケヤキが使われていたが、シロアリ食害痕が認められるところがあった（No.13-1-1）。また、天井付近の束脚元にもシロアリ食害痕が認められた（同13-1-2）。



No. 13-1-1 ケヤキ桁の
シロアリ食害痕



No. 13-1-2 天井付近の束の
シロアリ食害痕

写真5.6.1-40　調査建物13-1の生物劣化等

13)のつづき　調査建物13-2

調査建物13-2は木造2階建ての蔵であった建物で、現在は観光施設として利用されている（No.13-2-1）。

調査範囲は室内の立ち入り可能な領域から見える木部とした。壁際や室内中央付近の柱にシロアリ食害痕が認められた（同13-2-2）。また、小屋組み材と桁の接合部付近で金物が留められている部分にもシロアリ食害痕が認められた（同13-2-3）。建物のすぐ脇に立派な植栽があるが、その落ち葉が樋にあふれていた（同13-2-4）。



No. 13-2-1 建物内部



No. 13-2-2 柱の
シロアリ食害痕



No. 13-2-3 小屋組み材のシロアリ食害痕

写真5.6.1-41　調査建物13-2の生物劣化等



No. 13-2-4 建物横の植栽(左)と
樋にあふれる落ち葉(右)

写真5.6.1-41　調査建物13-2の生物劣化等（続き）

14)調査建物14-1

調査建物14-1は徳島県吉野川市山川町の木造民家である。屋根はもともと茅葺であったが、現在はその上にトタンが葺かれており、下屋は桟瓦葺きである。外壁は土壁の上にトタンがはってある。床組は部屋の境界にあたるところでは敷石に土台敷きが多く、外と内の境界部分は土壁が下まで下りている。部屋の下は束石に束建てである。床下には穀類を貯蔵していた「イモ穴」とよばれる大きな穴（No.14-1-1）が3か所にある。建物は山の斜面に位置し、建物東面と山肌は狭いところで600mm程度しか離れていない。

調査範囲は床下、室内、小屋裏、外周である。床下は蟻害、腐朽、甲虫による穿孔痕が認められた。シロアリ食害痕は東側に多く、土壌から束石を通って束や柱に伸びる蟻道（同14-1-2）や大引が束頭と接する部分の圧潰などが認められた（同14-1-3）。甲虫による穿孔痕（同14-1-4）は大引・束・土台に認められたがその場所は点在していた。腐朽は特に北東角で多数認められ、白い綿状の菌糸が大引や束を覆っていたり（同14-1-5）、菌糸と蟻道の両方が認められる大引もあった（同14-1-6）。この領域は土壌の上に防水シートが敷いてあったが、その下の土壌はぬれた状態であった。小屋裏は蟻害もしくは腐朽で断面欠損の著しい梁（同14-1-7）や、小屋組みを接合する木栓の隙間を蟻土が埋めているところがあった（同14-1-8）。また、北東角は軒桁と垂木の取合い部分で腐朽やシロアリ食害が認められた（同14-1-9）。その外側の軒先には腐朽が認められた（同14-1-10）。

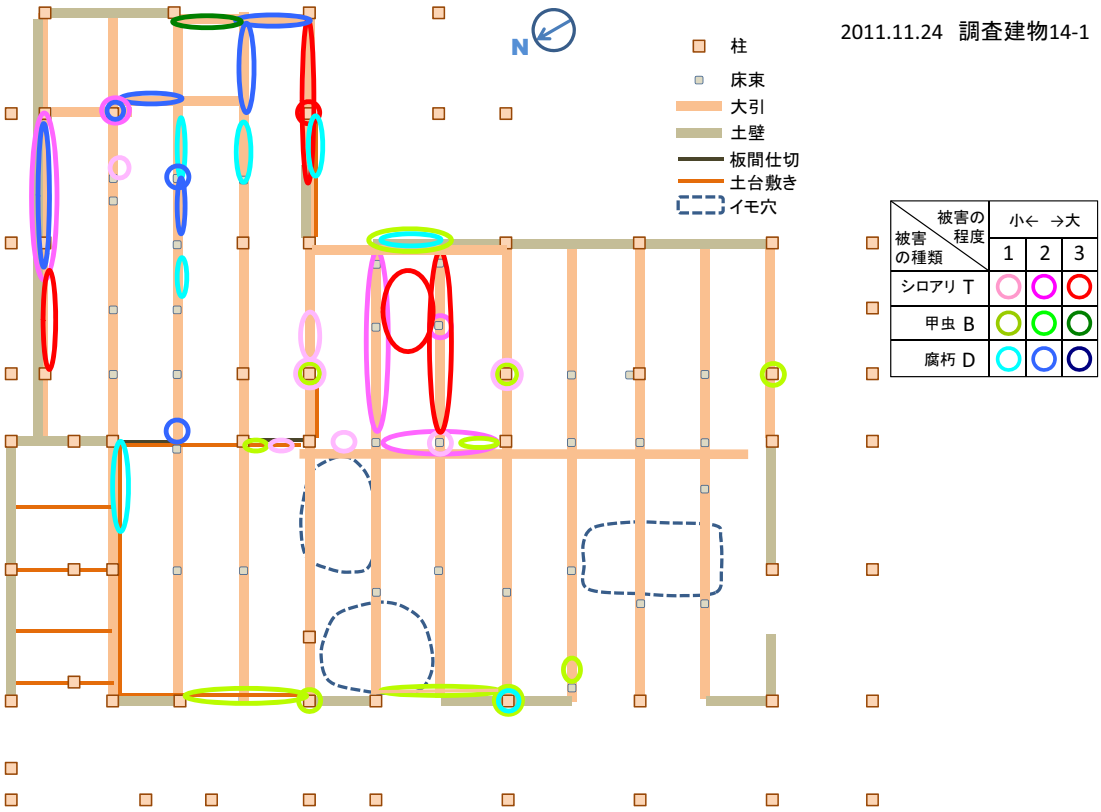


図5.6.1-16　調査建物14-1の床下生物劣化分布

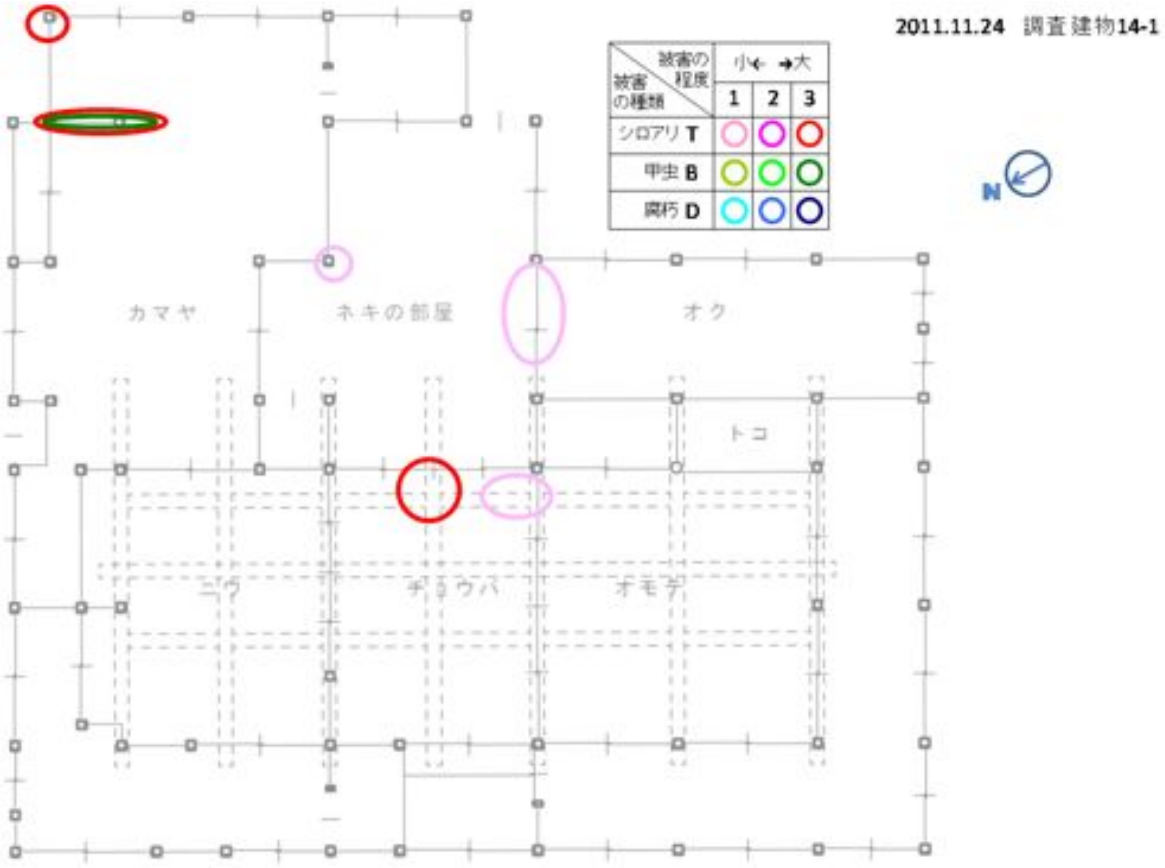


図5.6.1-17　調査建物14-1の小屋裏生物劣化分布



No. 14-1-1 イモ穴



No. 14-1-2 束石を
通って束に伸びる蟻道



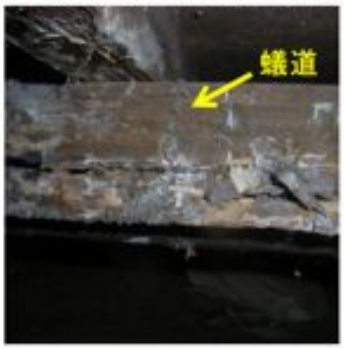
No. 14-1-3 激しい食害を受けた
大引が束との取合い部分で潰れる



No. 14-1-4 土台の
甲虫による穿孔



No. 14-1-5 大引を覆う菌糸



No. 14-1-6 蟻道と菌糸



No. 14-1-7 断面欠損の著しい梁



No. 14-1-8 栓の隙間を埋める蟻土



No. 14-1-9 軒桁と垂木取合いの
腐朽とシロアリ食害



No. 14-1-10 軒先の腐朽
(No. 14-1-9の外側)

写真5.6.1-42　調査建物14-1の生物劣化等

14) のつづき　調査建物14-2

調査建物14-2は徳島県吉野川市山川町の木造民家である。屋根はもともと茅葺であったが、現在はその上にトタンが葺かれており、下屋は本瓦葺きである。外壁は土壁の漆喰塗と土壁の上に板張りである。床組は束石に束建てであるが、外と内の境界部分では柱間の壁が敷石まで下りているところがある。土壌は砂地で、ドライバが根元まで容易に突き刺さった。

調査範囲は床下、室内、小屋裏、外周とした。床下は束や大引に甲虫の穿孔痕が多く認められた（No.14-2-1）。また南側壁面、玄関の隅（同14-2-2）と東側にシロアリ食害痕が認められた。北側にある柱の脚元は腐朽で褐色に変色していた（同14-2-3）。小屋裏にも甲虫の食害痕が認められ、屋根の構造材の外側が食害により崩落し、断面寸法が小さくなっていた（同14-2-4）。室内では天井板にカビが認められ（同14-2-5）、壁に亀裂が走っているところがあった（同14-2-6）。また、建物北側の窓台下端にシロアリか甲虫による食害痕が認められた（同14-2-7）。

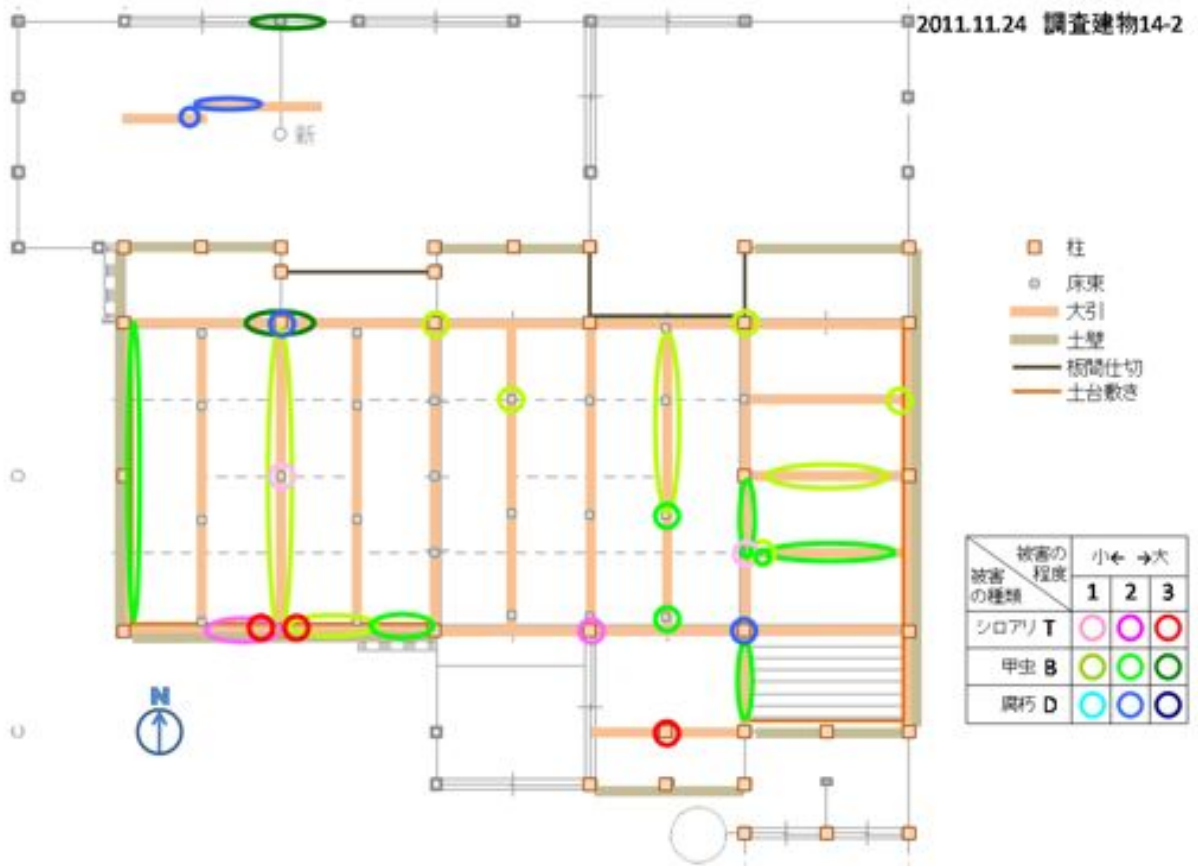


図5.6.1-18　調査建物14-2の床下等の生物劣化分布



No. 14-2-2
束の間を上がる蟻道



No. 14-2-1 甲虫による
食害と束の水しみ



No. 14-2-3 束脚元の腐朽



No. 14-2-4 甲虫による食害で
先細りした屋根構造材



No. 14-2-5 天井のカビ



No. 14-2-6 壁の亀裂



No. 14-2-7 窓台下の虫害

写真5.6.1-43　調査建物14-2の生物劣化等

14)のつづき　調査建物14-3

調査建物14-3は徳島県吉野川市山川町の木造民家である。屋根はもともと茅葺であったが、現在はその上にトタンが葺かれており、下屋は桟瓦葺きである。床組は束石に束建てであるが、外と内の境界部分では柱間の壁が敷石まで下りているところがある。床下には穀類を貯蔵していた「イモ穴」とよばれる大きな穴が2か所にある。

調査範囲は床下、室内、小屋裏の一部とした。床下はバルサンが大量に焚かれたようで、部材や土壌に白い粉が付着していた（No.14-3-1）。床下の生物劣化としては甲虫の穿孔痕が最も多く、大引きや束や根太に被害が認められた（同14-3-2、14-3-3）。室内では横架材が甲虫による穿孔でドライバの容易に刺さるところがあった（同14-3-4）。また、天井付近の梁と桁の取り合い部にもシロアリか甲虫の食害痕が認められた（同14-3-5）。

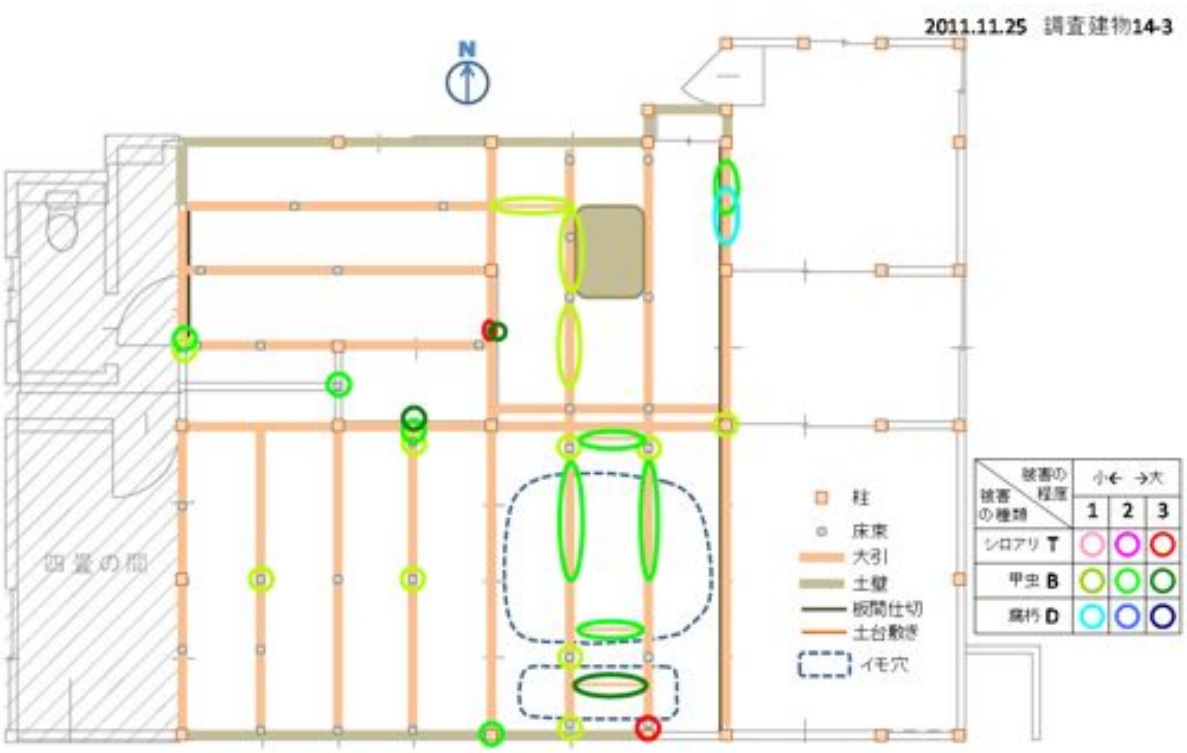


図5.6.1-19　調査建物14-3の床下生物劣化分布



No. 14-3-1　床下の様子



No. 14-3-2
甲虫による束の食害



No. 14-3-3　甲虫による
根太の食害



No. 14-3-4　甲虫による横架材の食害



No. 14-3-5　梁と桁の接合部の虫害

写真5.6.1-44　調査建物14-3の生物劣化等

15)調査建物15

調査建物15は大阪府富田林市の木造茅葺の民家である。茅葺屋根は棟と下屋が桟瓦葺きとなっており、外壁は土壁と板壁であった。床下は束石に束建てであった。建物東側には増築された6畳間が2室ある。

調査範囲は床下、室内、小屋裏とした。建物外周部と床まで煉瓦の積んであるところでシロアリ食害痕が認められた。束石から柱に蟻道が伸びており、その柱の脚元はドライバが容易に刺さるところがあった（No.15-1）。また、北東の勝手口付近の土壌と接する部材にシロアリが生息していた（同15-2）。腐朽は建物の南北方向に中央の通りの柱や束、大引と外周の柱脚元などで認められた（同15-3）。甲虫による穿孔痕が認められたのは玄関付近と建物南側であった（同15-4）。玄関上り口のところの土台は敷石と接している部分に水しみと白化が認められた（同15-5）。



図5.6.1-20　調査建物15の床下生物劣化分布



No.15-1　束石の上の蟻道と内部が食害された柱脚元

No.15-2　接地した部材の進行性のシロアリ食害

写真5.6.1-45　調査建物15の生物劣化等



No. 15-3 柱脚元の腐朽　No. 15-4 束の甲虫による穿孔　No. 15-5 敷石と接する部分の白化

写真5.6.1-45　調査建物15の生物劣化等（続き）

16) 調査建物16

調査建物16は滋賀県大津市の木造2階建ての農家である。外壁は土壁の漆喰塗と板壁で屋根は桟瓦葺きであった。床下は束石に束建てであった。建物は水回りが別棟になっており、台所は建物のすぐ北側に、もともとのトイレは建物の北東の方の少し離れたところにある。建物東側の平屋部分は改築されている。建物2階部分は小屋裏であるが、部屋として使えるように改築されていた。

調査範囲は床下、室内、小屋裏とした。床下（No.16-1）はやや湿っており地割れ（同16-2）が認められたが、調査した範囲の中では柱、束、大引に顕著な生物劣化は認められなかった。柱の脚元に水しみ（同16-3）と上り口近くの床板に甲虫の穿孔痕が認められた（同16-4）。室内は観察できた範囲の中では生物劣化の兆候は認められなかった。小屋裏は野地板の一部に水しみが認められた（同16-5）。

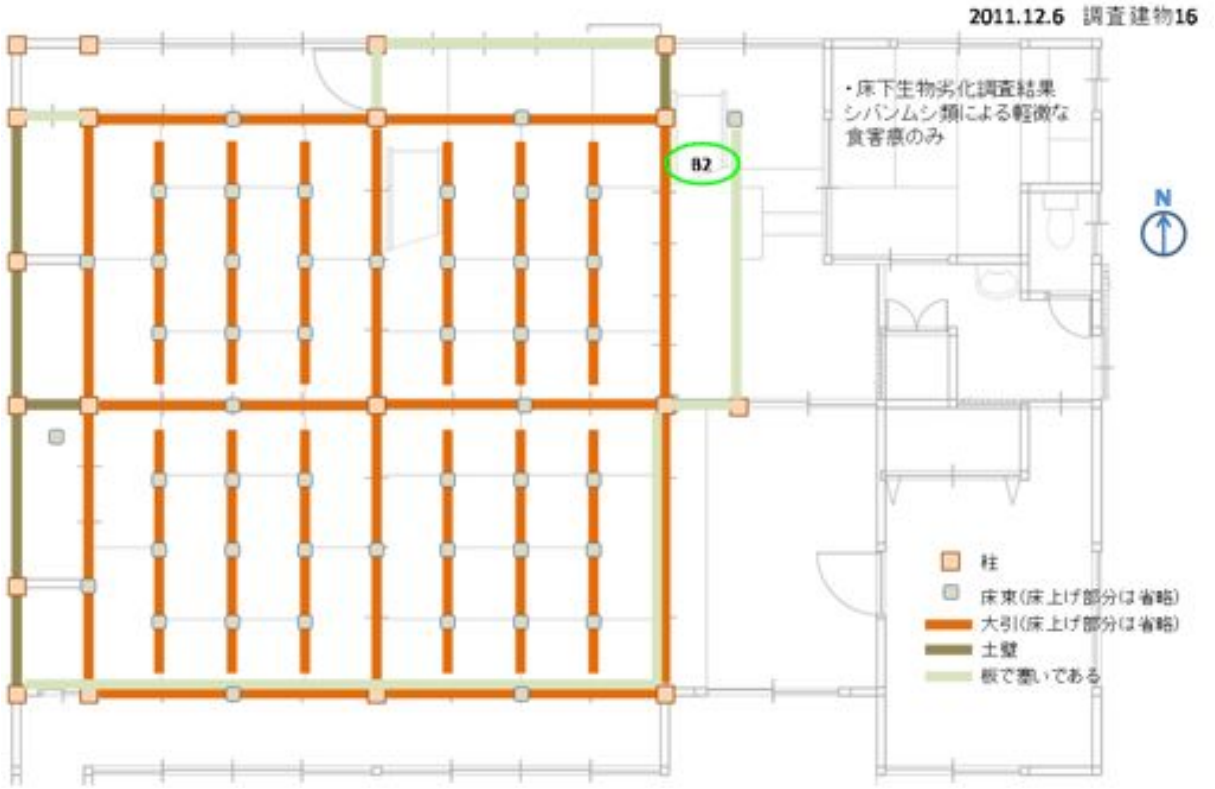


図5.6.1-21　調査建物16の床下生物劣化分布



No. 16-1 床下の様子



No. 16-3 柱脚元の水しみ



No. 16-2 地割れ



No. 16-4 床板の甲虫被害



No. 16-5 野地板の水しみ

写真5.6.1-46　調査建物16の生物劣化等

17)調査建物17

調査建物17は京都市内の木造2階建て民家である。現在は生活の場としては使われておらず、定期的に公開されている。建物は周囲に基礎をまわしてあり、その上に土台が敷かれ柱が立っている。床下は平成3年の修理工事の際にコンクリートが敷かれ、その上に束石で束建てである。外壁は漆喰仕上げであるが、建物北東の水回りがある平屋の区画は一部板壁である。屋根は桟瓦葺きである。

調査範囲は床下、室内、小屋裏とした。床下（No.17-1）は乾燥しており、主に建物西側で土台および大引にシロアリ食害痕、土台に甲虫の穿孔痕と腐朽（同17-2）が認められたが、いずれも軽微であった。暖炉下から換気口に向かって板で仕切られた領域があり、使用されていた仕切り板表面には腐朽が認められた（同17-3）。小屋裏は北東隅木の上（同17-4）と煙突脇の野地板（同17-5）に水しみが認められた。

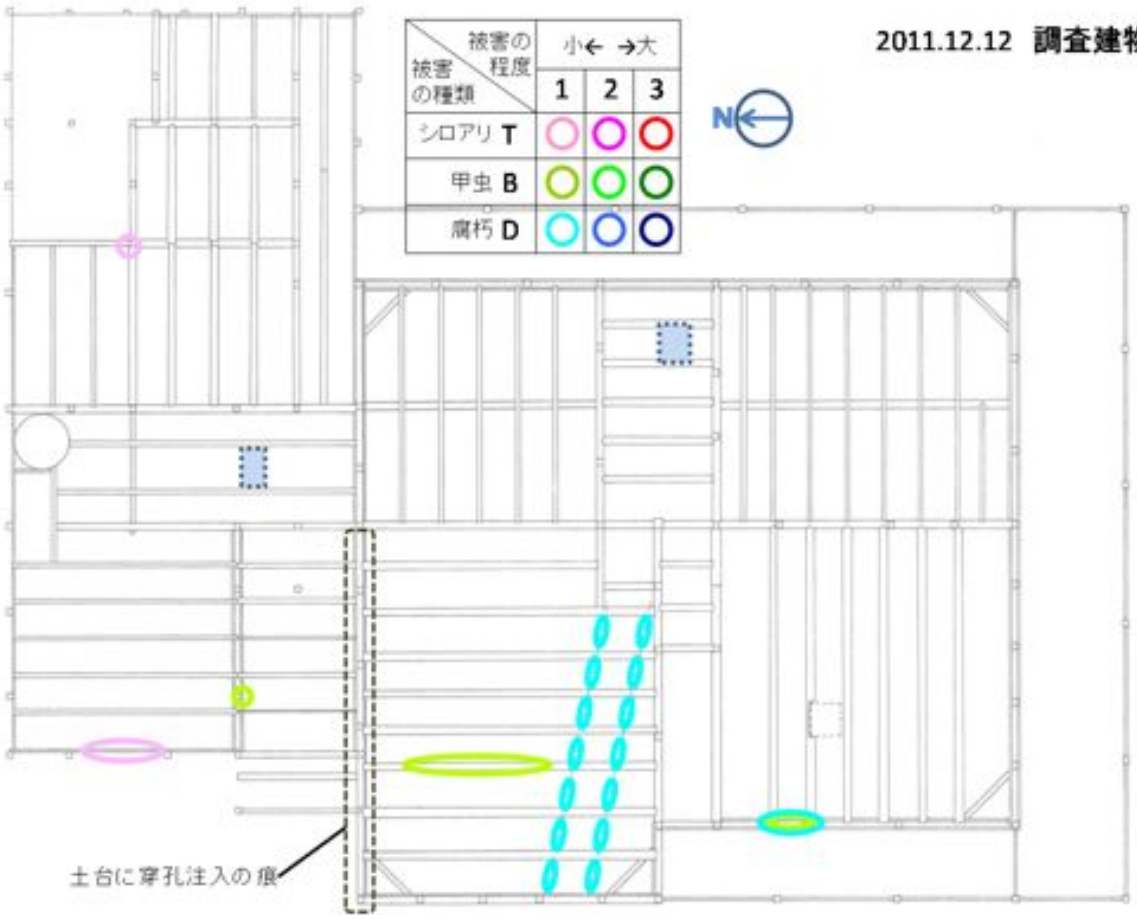


図5.6.1-22　調査建物17の床下生物劣化分布



No. 17-1　床下の様子



No. 17-2　土台の甲虫被害と腐朽



No. 17-3　暖炉下から換気口に続く仕切り板の腐朽

写真5.6.1-47　調査建物17の生物劣化等



No. 17-4　小屋裏隅木の水しみ



No. 17-5　煙突付近の野地板の水しみ

写真5.6.1-47　調査建物17の生物劣化等（続き）

18)調査建物18-1

調査建物18-1は岡山県倉敷市内の木造民家（改修中）である。外観は2階建てであるが、2階部分はつし2階で床板は一部にのみ設けられており、小屋組み材が見える状態である。外壁は荒壁仕上げで屋根は桟瓦と一部トタン葺きである。

調査範囲は室内（小屋組み材を含む）とした。建物裏手の出入り口付近の水平部材（No.18-1-1）と軒桁（同18-1-2）にシロアリ食害痕が認められた。また、梁に甲虫による穿孔痕が認められた（同18-1-3）。



No. 18-1-1　出入り口付近の
水平部材のシロアリ食害痕



No. 18-1-2　軒桁のシロアリ食害痕



No. 18-1-3　梁の甲虫による食害

写真5.6.1-48　調査建物18-1の生物劣化等

18)のつづき　調査建物18-2

調査建物18-2は岡山県倉敷市内の木造の蔵（改修中）である。外壁はトタンとしくい仕上げで屋根は本瓦葺きであった。

調査範囲は室内（小屋組み材を含む）とした。大引の長さ方向にシロアリ食害が進行しており、それに接する床板にも被害が認められた（No.18-2-1）。ジャッキアップされている柱下の断面を観察したところ、一部の柱で表面および内部にシロアリ食害痕が認められた（同18-2-2）。登梁付近で雨漏りと思われる水しみが多く見られた（同18-2-3）が、高所で詳細な観察ができず、その部分での蟻害・腐朽の有無を確認できなかった。



No. 18-2-1　大引の蟻害



No. 18-2-2　柱の蟻害



No. 18-2-3　登梁付近での
野地板の雨しみ

写真5.6.1-49　調査建物18-2の生物劣化等

（５）調査結果の総括

調査対象物件に共通して見られる劣化現象や建物の構造や材料などとの関連でみられる特徴的な現象をまとめると以下のようになる。

1)建物の構造・仕様と劣化との関連

(a)床下の構造・仕様と虫害・腐朽

- 多くの伝統的木造建築の床下は土壌現しなっており、シロアリが侵入しやすい状況にある。シロアリは多くの場合、土中から礎石の表面に蟻道を構築し、柱や床束の下端にたどり着き、そこを起点に食害を開始している。
- 床下が土壌現しになっている場合、木部が土壌の湿気の影響を受け、劣化しやすい。
- 床下が低く、閉じられているため通気や換気が十分ではなく、木部が劣化しやすい。
- 土壌からの浸潤水によって柱、束が土台が下端部を中心に腐朽しやすい。
- 水周り設備や外壁の近傍では劣化がおきやすい。

(b)屋根や小屋裏の構造・仕様と虫害・腐朽

・屋根部に発生する劣化は、主に雨漏りによる腐朽や、雨水浸潤部に発生したシロアリ食害のほか、シバンムシなど甲虫類による食害が多い。
・床下からのシロアリ食害が小屋裏にまで達している場合もある。
・妻面、破風尻や隅木周りは雨水が浸潤しやすい、劣化しやすい。
・棟木は、漆喰部からの雨水の浸潤などで長年の間に劣化していることが多い。

(c)壁の仕様と虫害・腐朽

・土壁と柱などとの隙間からの水分の発生や虫の侵入によって土壁の芯を構成している貫や木舞竹に虫害（シロアリやシンクイムシ類）が発生している事例がある。
・外壁や軒側から雨水浸潤によって芯材が腐朽している場合がある。
・土壁が床下まで降りた状態で、床下土壌に接している場合には、シロアリ食害が発生しやすい。
・土蔵などの大壁では、表層の漆喰の剥離や瓦屋根部からの雨水の浸潤によって壁芯材が劣化していることがある。

2)材料や施工方法と劣化との関連

(a)構造用材の劣化症状

・比較的耐久性の高いとされているヒノキ材については劣化の発生頻度は比較的低い。
・ヒノキやスギについては特に辺材（白太）に劣化が多い。
・マツ、クリやケヤキでは主に辺材（白太）に、甲虫の食害や腐朽が発生しやすい。またこれらの材にもシロアリ食害は発生しうる。
・心材（赤身）は劣化しにくい。
・蟻害は、材料の割れ、背割りなどの隙間や部材通しの隙間を伝って発達することが多い。
・かまどや囲炉裏、線香などの煙に長年暴露された部材は、甲虫類の食害が発生しにくい。

(b)施工方法と劣化との関連

・伝統的な劣化対策として銅板を用いて木材表面を被覆している場合がある。腐朽対策として有効と思われるが、表面の銅板と内部の木部との間隙に水分が浸潤したり、滞留したりする場合などでは腐朽抑制効果が発揮されていない場合がある。
・水周りを中心とする改築の際に、土壌からのシロアリ侵入や結露などの対策が不適切であったり、十分でないために劣化が起きている場合がある。

3)建物周囲環境と劣化との関連

(a)土壌

・建物周囲の土壌やそこでの水分状態（乾燥状態）によっては、建物への湿気や水分の侵入が阻止できず劣化しやすい環境になっている場合がある。また降雨時に薄いが床下方向に流入してくる場合も同様である。
・池、手水、流水のある側溝などとの関連での水分浸潤も劣化の原因となる場合がある。

(b)周囲環境

・植栽が建物に近く根元付近に発達したコロニーからのシロアリ侵入が起きやすい場合がある。また植栽の落ち葉が雨どいを詰まらせ排水不良となり、あふれた水分が軒や壁を濡らして腐朽や虫害が起きている場合がある。
・玄関、勝手口や縁側部、建物周囲の塀などからのシロアリ侵入や水分浸潤による腐朽が認められる場合がある。

4)住まい方と劣化との関連

(a)日常の建物の使い方と維持管理

・近年では畳や床を上げての大掃除などの住まい手による維持管理の機会が減少し、早期での劣化の発見や処置が困難になりつつある。

・床下や小屋裏などの空間が物置状態や放置状態になっており劣化の発生と進行が発見されないことが多い。

・住まい手の劣化に対する知識や意識が十分ではなく、劣化を過小評価した結果、劣化が甚大化していることがある。

(b)増築や改築

・農家や町屋などで、台所を中心に土間の床上げを行った結果、床下部分の換気や通気が阻害され、腐朽や虫害が発生している。またこれらの領域では床高さが低く、維持管理がしにくい。

・伝統的な木造では、本来風呂やトイレなどの水周り設備は邸内になく、別棟に配置されていたが、時代とともにこれらの設備が家屋内に配置されるようになった。これに伴いこの周囲に腐朽や蟻害が発生しやすくなり、周囲にまで拡大していることが多い。またこれらの設備では大壁構造、閉鎖基礎や防水処理工事によって、被害が見えにくく、顕在化する頃には相当に深刻になっている。

（６）補足調査・京町家における銅板施工事例の調査

京都市内の5領域109件の町屋について、通り側の面に見られる銅板の施工状況を調査した。ここでは調査方法と結果の一例を報告する。

1)調査方法

(a)調査準備

①調査対象通りの設定

今回の調査では京都市内の町屋を対象とした。1調査対象区域（比較的大きな東西南北の通りに囲まれた領域）内の小幅な南北の通り（調査対象通り）に面した町屋を対象とした（通りから東西に入った東西方向の路地に面した町屋は対象としない)。

②調査対象区域の地図および調査シートの準備

地図はインターネットから検索して作成した。建物の位置や大きさがわかる程度の倍率で調整したもので、現地で記入できるよう印刷したものを準備した。

(b)調査

当該の通りに出かけて、通りの東西に面した建物の表外観を観察し、調査シートに観察結果を記録した。調査事項は以下の通りである。

通りに面した建物の数（A）と、そのうち下記の条件に合致する建物の数（B）について、（A）は数をカウントするだけとし、（B）は地図にマークと番号を記入した。

合致条件：建物の表面が伝統的な町屋（木造）の構造や仕様をほぼ留めているもの。大幅な増築・改造したものは対象外。住居、店舗、住居付店舗を対象とする。

抽出した町屋について、土台、柱、軒周りの木部に雨水などへの暴露からの保護の目的で銅板を取り付けてある建物について、調査シートに記録した（写真5.6.1-50)。



写真5.6.1-50　銅板の施工事例

2)調査対象領域

以下の5領域について調査した。

京都市上京区（東北角）下立売西洞院（南西角）油小路椹木町
京都市上京区（東北角）堀川一条通（南西角）大宮中立売通
京都市上京区（東北角）大宮寺之内（南西角）智恵光院硯屋町
京都市下京区（東北角）大宮松原（南西角）五条壬生川
京都市下京区（東北角）新椹木町竹屋町（南西角）麩屋町夷川

3)調査結果

調査結果の一例を表5.6.1.-2に示し、町家の分布例を図5.6.1.-18に示す。

4)今後の方針

今回の調査は、町家での銅板の施工事例を調査するにあたっての予備調査的な位置づけにある。今後は抽出された物件について、施工状況の詳細な調査を行う必要がある。また調査方法についても検討し、より一般化した調査手法を確立しながら、今後継続してより多くの地域で調査を行う予定である。さらに実務家に対するアンケート調査を行い、銅板を施工する目的や施工方法に関する実態調査を行うことも必要である。

表5.6.1-2　データシートの一例

調査領域	1
調査日	平成23年11月21日
調査時刻	10時から15時
調査者	＊＊＊

調査領域番号	1	（東北角）下立売西洞院（南西角）油小路椹木町					
調査通番号	1						
調査通にあった戸数	24						
調査通にあった町屋数	3						
町屋番号	種別	間口間数	銅板の施工				
			柱下端	土台	桁	軒垂木	その他
1-1	店舗	3.9					
1-2	住居	5.6					
1-3	店舗	7.4	●		●		柱角
2-1	住居						
2-2	住居				●		柱側面
2-3	寺院						
3-1	住居						
3-2	店舗						柱角
3-3	店舗						柱角

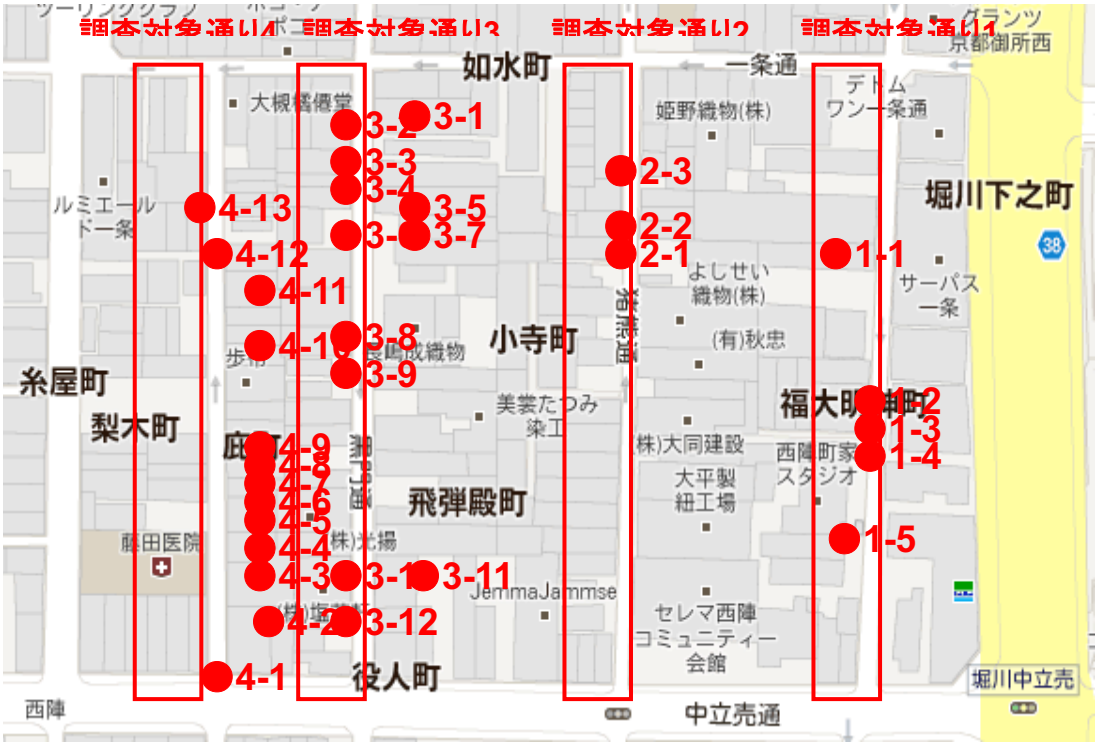


図5-6-1.23　調査対象となった町家の分布例

５．６．２　銅製金物の腐朽抑制効果の検証

（１）はじめに

耐久性WGでは、劣化対策例の検証として銅金物の腐朽抑制効果について検討を行っている。平成22年度は、銅金物の使用事例の調査、銅の基礎的な殺菌・防腐作用の確認、銅金物から木材への銅イオン溶出の検出法の検討を行った。平成23年度は、銅金物の使用事例の調査を継続するとともに、銅金物から木材への銅イオン移行の検証実験、ならびに銅板の接触が木材の腐朽に及ぼす影響を検討する実験を実施した。なお、銅金物の使用事例の調査は５．６．１で一部紹介したので、本節では割愛する。

（２）　銅金物から木材への銅の移行の検証実験

平成22年の事例調査では、銅金物から雨水へ溶出した銅イオンが劣化抑制に寄与したのではないかと思われる事例として、京都市の三条大橋の青銅製擬宝珠を冠した木製欄干の様子を示した（写真5.6.2-1)。この事例では、青銅製擬宝珠へ降った雨水に銅イオンが溶出し、その雨水が下部の木材へ浸透して劣化を抑制したのではないかと考えられた。下部の木材部分の銅の含有量を機器分析で分析すれば擬宝珠からの銅イオンの移行を検証できるが、実際には大型の分析装置を現場に持ち出すことは困難であり、また三条大橋から試料を切り出して採取することも不可能である。そこで、構造や立地条件が三条大橋と共通の五条大橋の花崗岩欄干から採取した粉体の組成を分析し、青銅擬宝珠から欄干への銅の移行の可能性を検討するとともに、銅金物を施工した数種類のモデル試験体を作成して強制湿潤条件と屋外の2条件で曝露し、金物から周辺木材への銅の移行状況を分析した。



写真5.6.2-1　三条大橋の木製欄干に取り付けられた青銅金物とその周辺

1) 五条大橋から採取した堆積物の分析

五条大橋は、鴨川の三条大橋下流約1500mにかけられている。その欄干は花崗岩製であるが三条大橋の木製欄干とほぼ同じ構造で、青銅擬宝珠も同じデザインである（写真5.6.2-2,5.6.2-3)。このように両者の欄干は、構造や立地条件が極めて近いことから、欄干へ降った雨水の流下経路も共通していると考えられる。この五条大橋の欄干を詳細に観察したところ、擬宝珠下方の雨水が滞留しやすい石材継ぎ目部分に、多量の青灰白色の粉体が沈着していた（写真5.6.2-4)。この粉体から銅が検出されれば、銅擬宝珠中の銅が雨水を介して周辺の欄干へ移行することの傍証となると考え、五条大橋から粉体を採取して、成分分析を行った。



写真5.6.2-2　三条大橋の木製欄干



写真5.6.2-3　五条大橋の花崗岩欄干

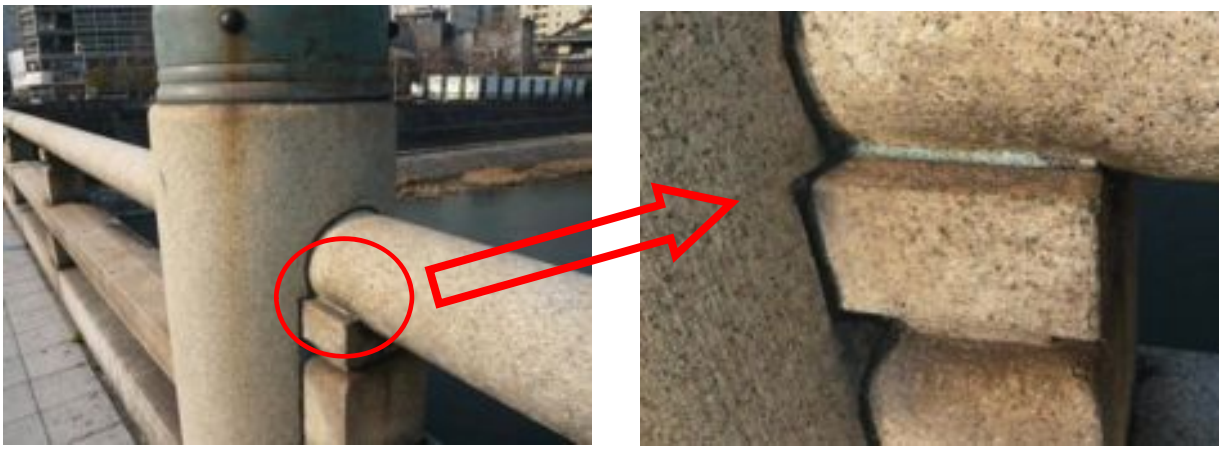


写真5.6.2-4　五条大橋の花崗岩欄干の継ぎ目に沈着した青灰白の粉体

(a)分析方法

分析には、微小部蛍光X線分析装置　μEDX－1300（島津製作所製）を用いた。

まず、粉体の化学組成を把握するため、少量の粉体を凹型試料台に乗せて装置にセットし、無作為の3点で分析径50μmでの元素分析を行った。

元素分析は、重元素側のTi－U（50kV）と軽元素側のNa－Sc（15kV）の2つのチャンネルでNet強度値（cps/μA）を測定し、各種元素分析線と照合してプロファイルを作成するとともに、各分析線のNet強度をPCMEDX Ver.1.02 Rel 001のFP計算法で解析し、各元素の定量を行った。

さらに、粉体全体のCu分布を巨視的に分析するため、粉体を粘着テープ上に広げてセットし、分析径50μm、100μmステップでスキャンして、CuKα線強度についてのマッピング分析を行った。

(b)分析結果と考察

堆積物の3点で得られたNet強度のプロファイルは、いずれもCu、Fe、CaのKα線領域に大きなピークが認められ、特にCuKα線が突出して大きなピークを示した。プロファイルの1例を図5.6.2-1に示す。

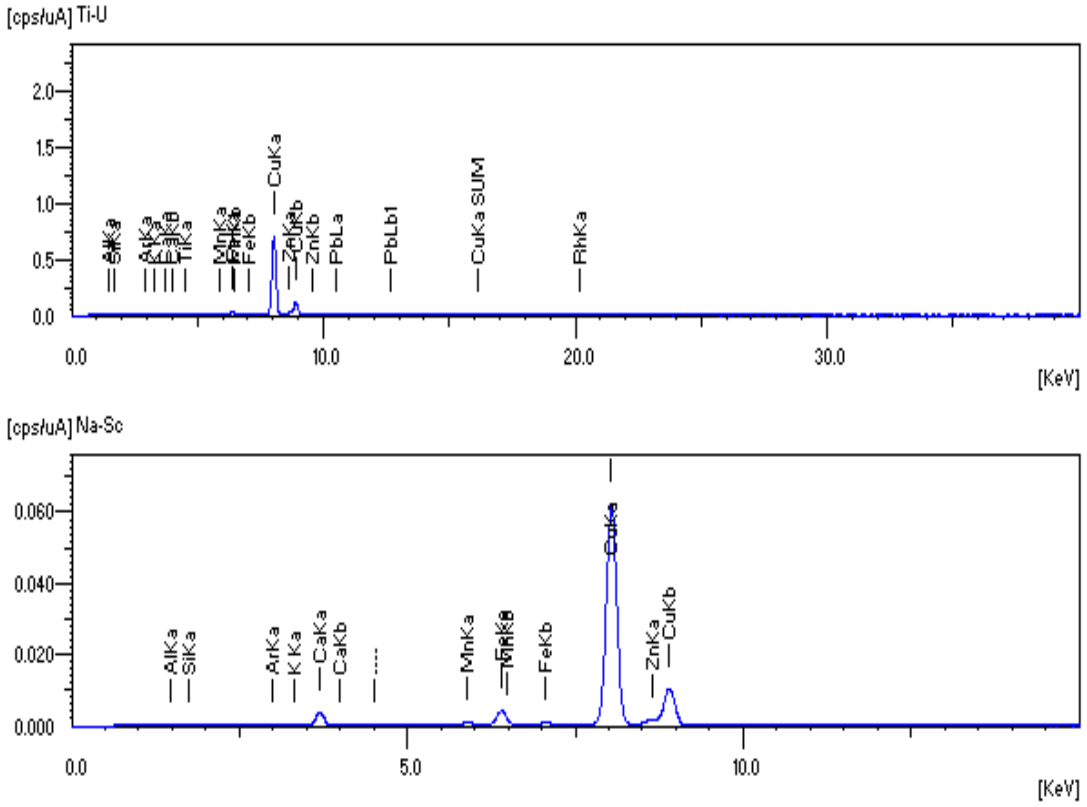


図5.6.2-1　五条大橋の擬宝珠下部から採取した堆積物の定性分析結果の例

表5.6.2-1は、各測定点で得られたNet強度値から求めた定量値である。3点の定量値はおおむね近似しており、含有量の高い元素はCu：67～76%、Si：10～15%、Al：5～7%、Ca：3～5%で、粉体は銅とケイ素が主要成分であることが確認された。

表5.6.2-1　五条大橋の擬宝珠下部から採取した堆積物試料の組成

定量元素		試料3点における定量結果					
		1点目		2点目		3点目	
	分析線	分析線強度 (cps/uA)	組成 (%)	分析線強度 (cps/uA)	組成 (%)	分析線強度 (cps/uA)	組成 (%)
Cu	CuKa	13.356	67.24	30.5	67.87	28.038	76.35
Si	SiKa	0.014	13.04	0.038	15.31	0.02	10.19
Al	AlKa	0.002	7.36	0.005	6.15	0.003	5.08
Ca	CaKa	0.108	5.38	0.233	5.24	0.116	3.08
Pb	PbLb1	0.042	2.33	0.11	2.73	0.071	2.31
Fe	FeKa	0.539	1.78	0.95	1.41	0.605	1.00
S	S Ka	0.007	0.51	–	–	0.004	0.33
Zn	ZnKa	0.354	1.77	0.202	0.44	0.381	1.04
K	K Ka	0.005	0.43	0.005	0.43	0.005	0.43
Mn	MnKa	0.082	0.35	0.051	0.10	0.072	0.15
Ti	TiKa	0.032	0.32	0.049	0.23	0.029	0.15
Ni	NiKa	–	–	–	–	0.148	0.01

図5.6.2-2は、複数の粉塊をCuマッピング分析を行った結果である。図の右側のCuマッピング画像は、CuKα線強度を右端のカラースケールに従って表示した画像である（以降のマッピング像も同様）。視野には5個の粉粒があるが、その中の青灰白色の4粒はいずれも非常に強いCu Kα線を発生しており、青灰白色粉体はほぼ均一にCuを含有することが確認された。

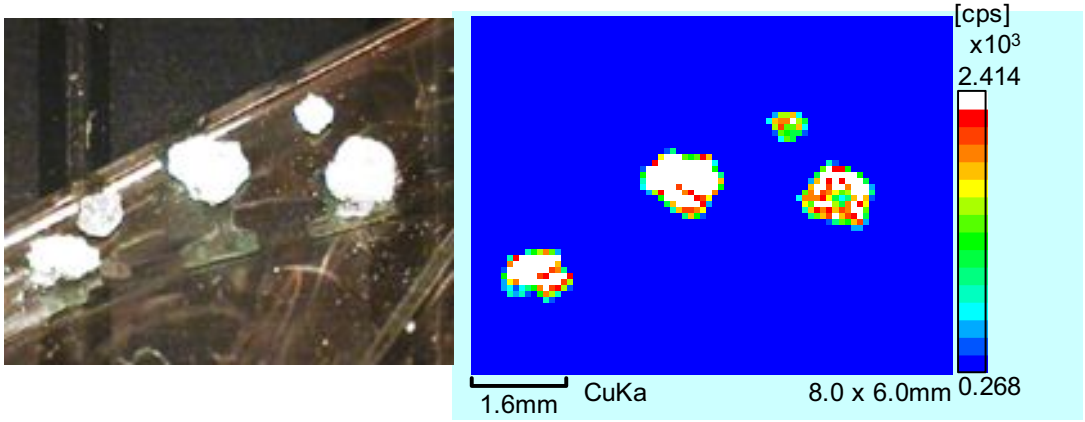


図5.6.2-2　五条大橋の擬宝珠下部から採取した堆積物のCuマッピング像

以上のように、五条大橋の青銅製擬宝珠下部の石材継ぎ目から採取した青灰白色の粉体は、高濃度でCuを含有し、Siも比較的高濃度で検出された。五条大橋の材料は花崗岩であり、その主成分はケイ酸カルシウムである。したがって、粉体中のSiは欄干自体に由来すると考えられるが、花崗岩中に銅は含まれない。したがって、粉体中のCuは欄干上部に取り付けられた青銅擬宝珠に由来するものと考えられる。Cuが石材継ぎ目に集積している経緯については、青銅製の擬宝珠に降った雨水に銅イオンが溶出し、それが下方に流れ落ちて継ぎ目部分に滞留している間に、花崗岩中の無機成分と反応して、不溶性銅化合物を生成したと考えられる。三条大橋の欄干は五条大橋と同じデザインであるので、三条大橋においても青銅擬宝珠から流下した雨水は、擬宝珠下の木材へと流下して、下方の横木接合部に滞留したはずであるが、三条大橋では五条大橋のような粉体は見られない。三条の木製欄干は無機成分が乏しいため不溶物生成反応はほとんど起こらず、また木材のは石材より吸水性が高いため、銅イオンを含む雨水はそのまま欄干へ浸透したものと考えられる。

以上のように、五条大橋の青灰白色粉体の分析結果は、擬宝珠など銅金物からは雨水を介して銅が溶出して周辺の木材に移行することを示唆しており、三条大橋の欄干では青銅擬宝珠から移行した銅成分が木材の劣化抑制に寄与したと考えられる。

2) モデル試験体を用いた銅移行の検証実験

様々なケースでの銅金物から木材への銅の移行を検証するために、数種類の木材に銅金物を取り付けたモデル試験体を作成して強制的な湿潤条件下と屋外曝露条件下におき、金物から周辺木部へ銅が移行する様子を微小部蛍光X線分析装置で分析した。

a) 実験方法

試験材はスギ心材、同辺材、ヒノキ心材、同辺材、アカマツ心材、同辺材、ケヤキ心材の7種類で、寸法は①薄物：80(L)×50(T)×20(R)mm、②厚物：80(L)×50(T)×50(R)mmの2種類である。

銅金物は①銅板：30×30mm銅板（0.6mm厚）を銅釘（φ1.0×10mm）4本で四隅固定、②銅金網：30×30mm銅金網（10メッシュ）を銅釘4本で四隅固定、③銅釘：前2種と同じ位置に銅釘4本打ち込みの3種類で、木表LT面中央に取り付けた（写真5.6.2-5）。薄物試験体は1条件につき1体、厚物試験体は3体とした。

強制湿潤条件下として、各試験体の両端に給水のためのガーゼを巻付け、湿潤ペーパータオルを敷いたプラスチック容器に入れて27℃の恒温槽に保管した（写真5.6.2-6）。

屋外曝露条件下として、富山県農林水産総合技術センター木材研究所敷地内（富山県射水市黒河新）の露天と軒がかりの2箇所に、地上高15cmのステンレス格子架台を設置し、金物を上にして試験体を並べ、プラスチック製結束バンドで固定した（写真5.6.2-7）。

分析は、（２）1)(a)と同じ微小部蛍光Ｘ線測定装置を用いた。今年度は強制湿潤条件について

のみ分析を行った。薄物試験体は、金物取り付け面を分析径50μm、100μmステップでスキャンして、CuKα線強度についてのマッピング分析を行った。スキャンの最大領域が50mm四方であるため試験体の左右2回に分けてマッピング分析を行った。分析終了後の薄物試験体は、湿潤容器に戻し強制湿潤を継続した。厚物試験体は、6ヶ月以上湿潤させた後、金物取り付け箇所で切断して内部の銅分布をマッピング分析する予定である。屋外曝露条件についても、6ヶ月以上曝露した後、同様に分析する予定である。

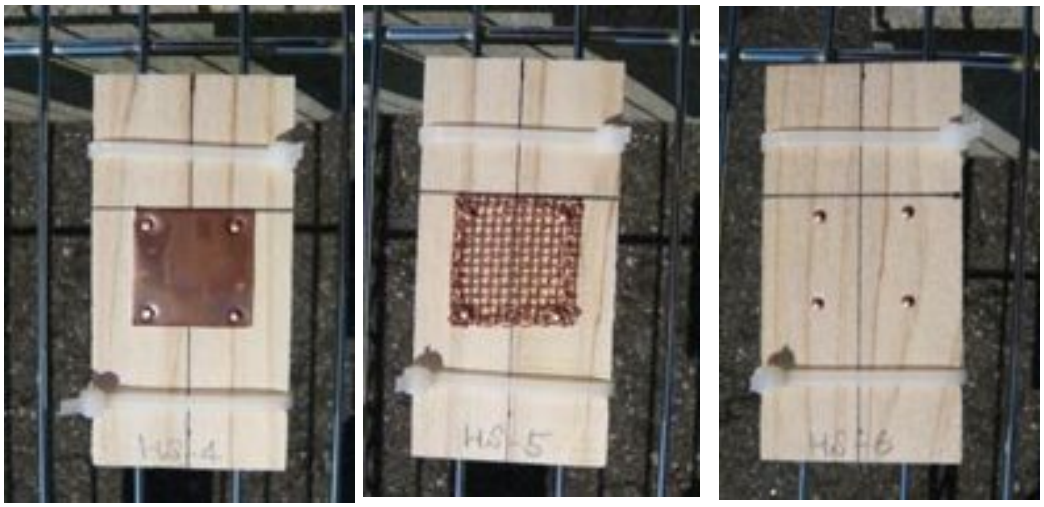


写真5.6.2-5　銅板、銅金網、銅釘を施工した試験体（ヒノキ辺材）



写真5.6.2-6　強制湿潤条件下の試験体（右は27℃設定の恒温槽）

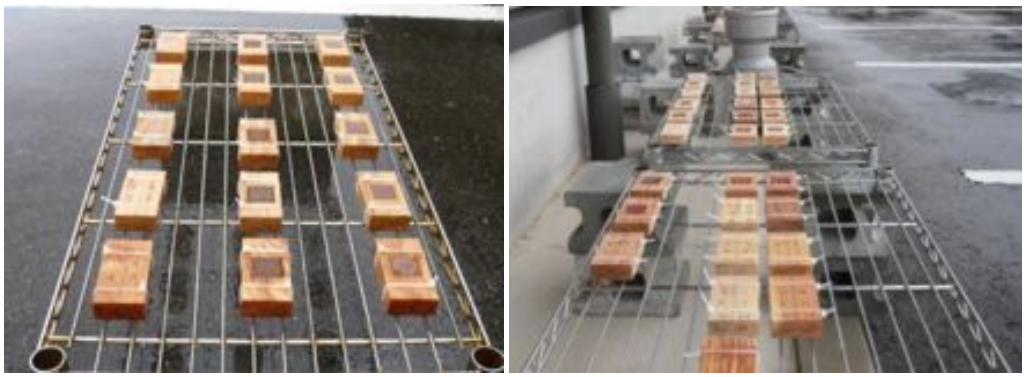


写真5.6.2-7　屋外曝露条件下の試験体（左：露天　右：軒がかり）

b)分析結果と考察

マッピング分析の所要時間が当初の見込みより大幅に長くなったため（1条件あたり7時間)、今年度は試験体種類を限定して分析した。

銅が木材へ移行していく過程を検討するため、強制湿潤条件下の試験体を2、4、20週間経過時点で取り出し、測定した。測定した試験体は、銅板を取り付けたスギ辺材、ヒノキ辺材、アカマツ辺材、ケヤキ心材、ならびに銅金網と銅釘を取り付けたスギ辺材に限定した。測定の結果、いずれの試験体においても、銅は2～4週間後から金物から周囲の木材へ、主に繊維方向に沿って移行しはじめ、移行領域は湿潤期間とともに拡がっていくことが確認できた。一例として、銅板を施工したアカマツ辺材試験体のCuマッピング画像を図5.6.2-3に示す。

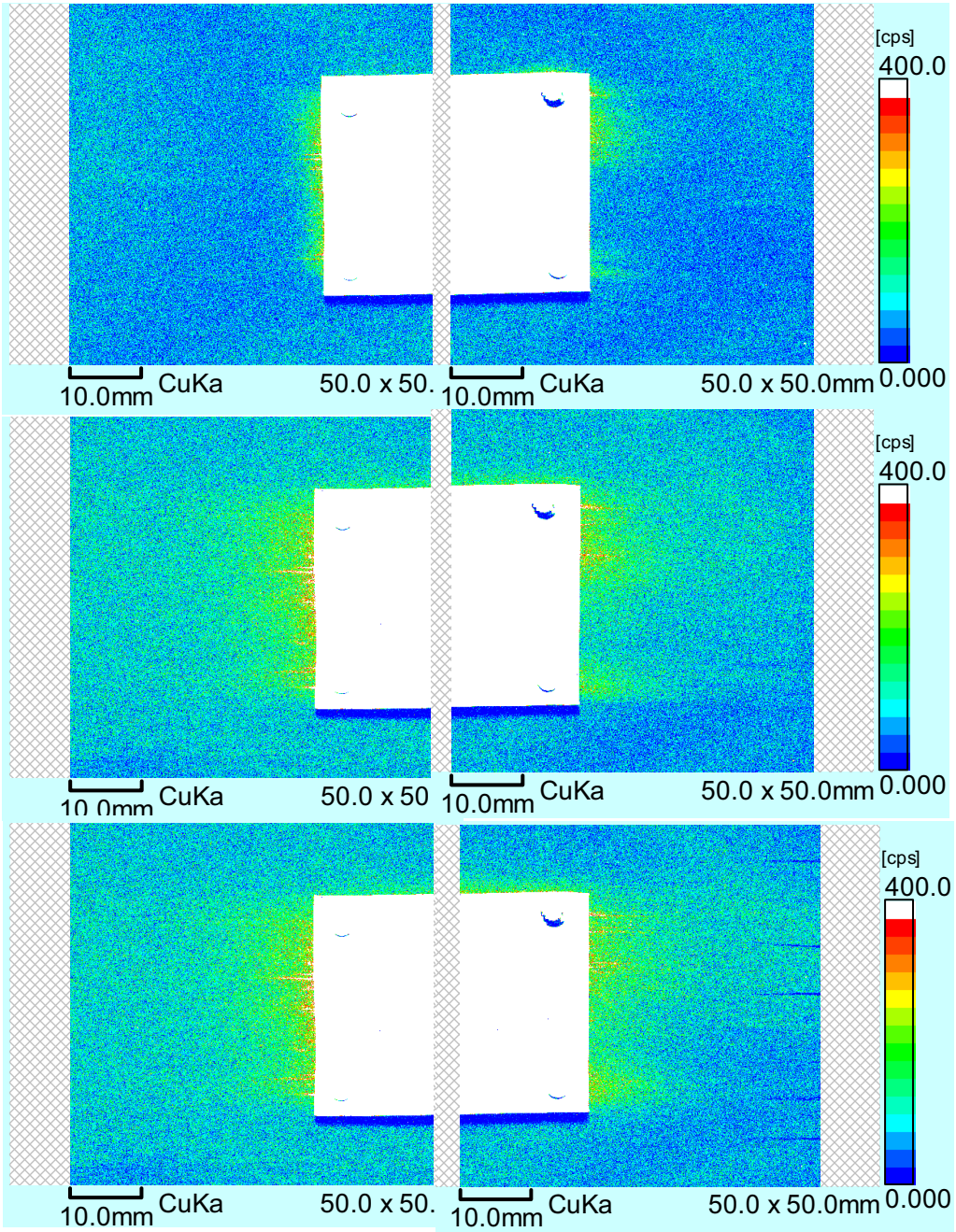


図5.6.2-3　強制湿潤下（上から2、4、20週後）のアカマツ辺材試験体
（左右半分ずつ測定したマッピング画像を合体。以下のマッピング像も同様）

樹種間で銅の移行状況を比較すると、移行パターンに若干の差異が見られた。図5.6.2-4は、20週間後の各種辺材試験体とケヤキ心材試験体のCuマッピング像であるが、スギ、ヒノキの各辺材試験体はアカマツ辺材とほぼ同様のパターン、すなわち銅は繊維方向に沿って移行しているが、ケヤキ心材では、銅は銅板の縁周辺の比較的狭い範囲に、銅が高濃度で集中する傾向が見られた。

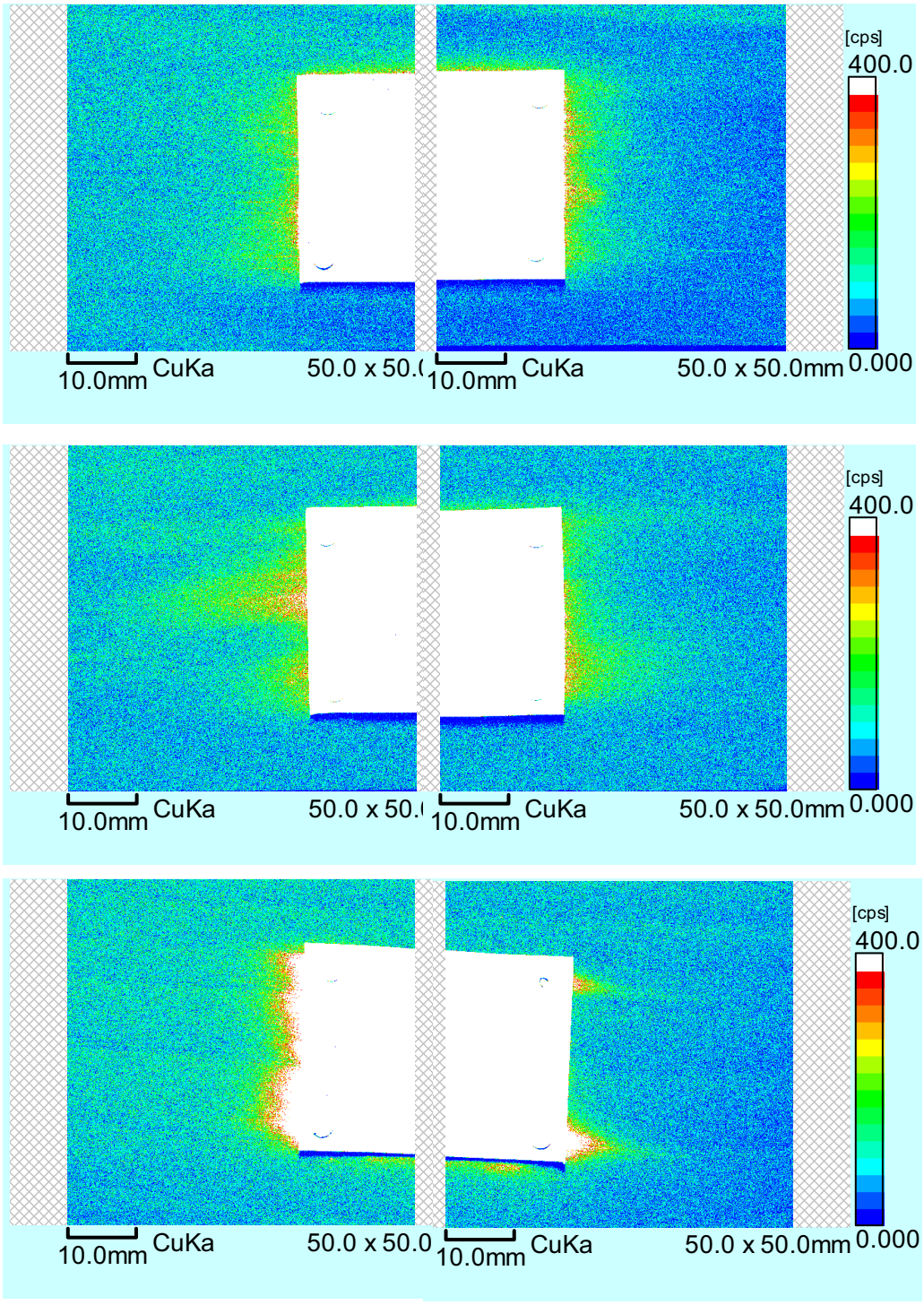


図5.6.2-4　強制湿潤20週後の各種試験体
（上から、スギ辺材、ヒノキ辺材、ケヤキ心材。いずれも銅板を施工）

金物の種類（形状）による銅移行状況の差異について、強制湿潤条件下20週間時点の、銅金網スギ辺材試験体と銅釘スギ辺材試験体のマッピング画像を、図5.6.2-5に示した。銅金網試験体、銅釘試験体のいずれにおいても、図5.6.2-4の銅板試験体と同様に木材へ銅が移行しており、移行領域は繊維方向に沿って拡がっていた。移行領域の面積は　銅板＞銅金網＞銅釘　の順で、金物の接触面積に対応して増減した。

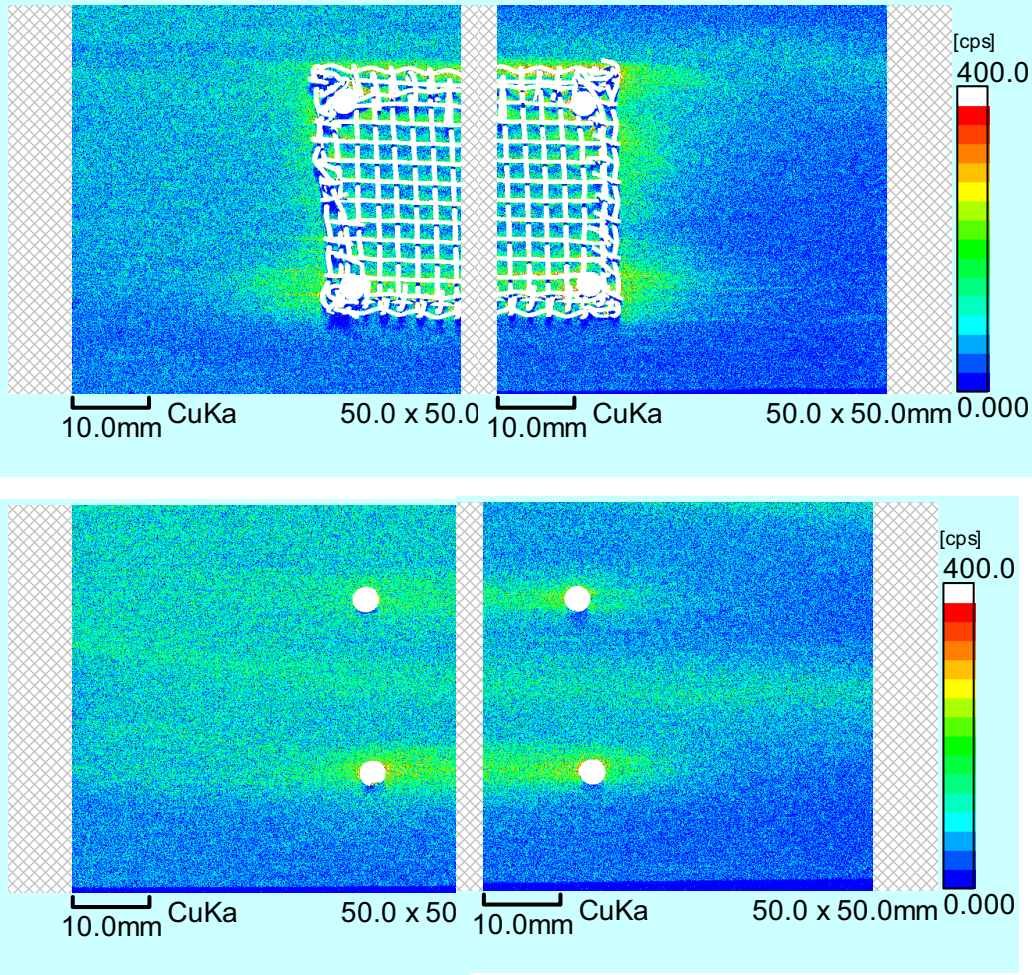


図5. 6. 2-5　強制湿潤20週後の銅金網試験体と銅釘試験体
（いずれもスギ辺材）

（３）銅板との接触が木材腐朽菌の腐朽力に及ぼす影響

銅イオンは、銀、水銀、ニッケルなどとともに殺菌性のある金属イオンとして知られており、銅板などの金属板や金属皮膜の殺菌効果は金属表面から表層の液中に溶解した金属イオンによるものとされてきた[1)]。木材腐朽菌に対する銅イオンの効果に関しては、平成21年度に水溶性銅化合物である硫酸銅を用いて発育阻止効果と木材防腐効果を室内実験により確認している。しかし、バクテリアや酵母に対する銅板の殺菌作用について、菌体と金属表面との直接接触が大きく寄与するとの報告もなされている[2)]。木材腐朽菌は担子菌類であり、形態的にバクテリアや酵母と大きく異なっているが、銅と菌体の直接接触が担子菌類にも何らかの影響を及ぼす可能性もある。そこで、木材腐朽菌が銅板と直接接触するような状態で強制腐朽実験を行い、銅板との接触が木材腐朽に及ぼす影響を検討した。

a)実験方法

JIS　K1571：2004　木材保存剤の防腐性能試験及び性能基準4.2.1.1を応用した方法で、強制腐朽試験を行った。

試験体は、20(T)×20(R)×10(L)mmスギ辺材と30×30mmの各種金属板からなる。腐朽菌がスギ辺材にアタックする際に、菌体が確実に金属板に接触し、かつ金属板がスギ辺材を完全に隠蔽しないように、スギ辺材3片を金属板4片でサンドイッチ状に交互に挟んでプラスチック製結束バンドで固定した。重ねる際にはスギ辺材と金属板の1辺を揃え、残り3辺は金属板がはみ出す状態とした（写真5.6.2-8　左）。

金属板の種類は、銅板、黄銅板（真鍮　C2600：Cu 68.5～71.5%、Pb 0.05%以下、Fe 0.05%以下、残はZn)、ステンレス板（SUS304：Cr 18.00～20.00%、Ni 8.00～10.50%、Mn 2.00%以下、Si 1.00%以下、その他は0.08%以下、残Fe)、アルミニウム板（A5052：Mg 2.2～2.8%、Fe 0.40%以下、Si 0.25%以下、Cr 0.15～0.35%、その他は0.10%以下、残はAl)、ガルバリウム鋼板（メッキ金属成分　Al 55%、Zn 43.4%、Si 1.6%）の5種類の板と銅金網（10メッシュ）の合計6種類とした。

上記の試験体をエチレンオキシドガスで滅菌した後、B培地と石英砂からなる培養基で培養したオオウズラタケ、ならびにカワラタケの菌叢上に設置して12週間培養し、強制的な腐朽条件下においた（写真5.6.2-8右)。腐朽前後の試験片乾燥質量から質量減少率を算出し、防腐性能を評価した。

JIS　K1571は、長期的な薬剤の効力を評価するための試験法であるため耐候操作（試験片の浸水、乾燥を繰り返す操作）が規定されているが、本試験は金属板の影響の確認が目的であるため耐候操作は行わなかった。



b)試験結果と考察

表5.6.2-2に、各種金属板で挟んだスギ辺材の質量減少率を示した。

オオウズラタケを用いた強制腐朽試験では、金属板で挟んだ試験体はいずれも明かな腐朽を受けたが、供試金属板の中で最も腐朽が軽微であったのは、黄銅試験体であった。表5.6.2-2の質量減少率をみると、アルミ板試験体、ならびにガルバリウム鋼板試験体はスギ辺材の腐朽が軽度なように見えるが、試験終了後のスギ辺材はステンレス板試験体（質量減少率は54%）と同程度に腐朽して脆弱化していた。なお、アルミ板試験体やガルバリウム板試験体のスギ辺材質量減少率が低かった原因として、金属板から溶出した金属イオン（アルミニウムイオンや亜鉛イオン）がオオウズラタケの生成したシュウ酸と反応してスギ辺材に再沈着した可能性があるが、この点については蛍光X線分析などによるさらなる確認が必要である。

カワラタケを用いた強制腐朽試験では、むき出しのスギ辺材の質量減少率が34～38%であったのに対し、アルミ板試験体やステンレス板試験体のスギ辺材質量減少率は約30%、ガルバリウム鋼板試験体は約20%で、これら金属板にはスギ辺材の腐朽を抑制する効果は認められなかった。一方、

黄銅板試験体や銅板試験体ではスギ辺材の腐朽が著しく抑制され、中でも黄銅板試験体では質量減少を全く生じなかった。銅金網試験体のスギ辺材質量減少率は、銅・黄銅試験体より高かったが、それ以外の金属板試験体より低い値を示し、銅金網にも腐朽抑制効果が認められた。現在、試験終了後のスギ辺材表面を微小部蛍光X線で分析中であり、その途中経過では黄銅板試験体や銅板試験体のスギ辺材からは銅や亜鉛が検出されており、腐朽試験においても金属板から銅イオンが溶出していると考えられる。しかし、これまでのところ、銅板サンドイッチ試験体におけるCuKα線の強度は、ACQ処理材、CUAZ処理材などの銅系保存処理材で得られる値より低いレベルであり、今回の試験における銅板や黄銅板の腐朽抑制効果は、溶出した銅イオンの作用に加えて、金属板の直接接触も寄与している可能性がある。この点については、さらに試験体の蛍光X線分析を進めて、確認する必要がある。

表5.6.2-2　各種金属板で挟み込んだスギ辺材の腐朽試験結果

金属板の種類*	腐朽による質量減少率（平均±標準偏差）	
	オオウズラタケ	カワラタケ
銅板	36.8%　±9.2%	6.0%　±7.7%
銅網	53.6%　±4.0%	14.0%　±7.4%
なし	49.9%　±5.5%	38.3%　±9.0%
ステンレス板	54.3%　±2.4%	29.7%　±8.6%
アルミ板	5.7%**　±6.3%	29.3%　±11.7%
ガルバリウム鋼板	8.6%**　±3.6%	20.7%　±20.5%
黄銅板	24.7%　±8.2%	−0.6%　±0.9%
なし	51.6%　±5.7%	34.3%　±8.2%

*2グループに分けて実施

**質量減少率は低いが木片はステンレス板試験体と同程度に脆弱化

（4）今後の展望

今年度開始したモデル試験体の強制湿潤、屋外曝露実験を継続して行い、銅金物から木材への銅の移行を明かにする予定である。また、銅板で挟んで腐朽試験を行ったスギ辺材試験片の金属分布についてもさらに分析を進め、銅金物接触の影響について検討を加える予定である。

引用文献

1）　堀口博：防菌防黴の化学、三共出版、1982

2）　熊田　誠ほか：伸銅技術研究会誌、40(1)、22-127（2001）

５．６．３　伝統的木造建築物の耐久性調査マニュアル

（１）調査の基本と種類

劣化診断をその要素（診断原理や対象）、診断のレベル（段階）、形態に応じて分類すると表5.6.3-1のようになる。最も基本的な診断となる一次診断は、視診、触診、打診といった簡単な方法で、木部の生物劣化を診断する診断である。この診断は最も基本となる診断で、機器を用いない単純な手法の診断であるものの、多くの場合この診断をもって劣化の状態の概要を正確に把握することが求められる。

一次診断で、劣化の種類や程度などを詳しく正確に判定することは難しいが、建物全体を見渡し、明らかな劣化部位や劣化が疑われる部位を確実に抽出することが一次診断の目的である。しかし一次診断は、診断者の技能や経験によって、結果が左右されやすい。そのため診断者は一定の経験や知識を積み重ねることが求められる。とりわけ一次診断では初期の劣化や分かりにくい症状などを的確に診断できることが望まれるが、診断士の主観、経験や技術などによって結果にばらつきがでやすい。一定の基準で診断した診断データを蓄積し、分析することでより信頼性や汎用性の高い診断技術を身につけることが望まれる。

表5.6.3-1　木材劣化診断の体系

診断の要素（原理や対象）での分類（3要素）	
生物劣化の因子（菌や昆虫）の検出	• 視診や顕微鏡観察による因子の検出と同定。 • 検体の培養と顕微鏡などによる形態観察による菌類の検出。 • 抗原抗体反応による腐朽菌の検出。 • 遺伝子技術を用いた因子の検出と同定。 • センサ類を用いた生物反応の検出（AE（食害時の微弱な振動））の検出、昆虫や菌類の代謝ガス検出、電磁波による昆虫の検出など）
劣化による欠損や強度低下の評価	• 超音波の伝搬時間や減衰、X線の透過、電磁波の反射や透過を利用した密度分布や内部欠損の評価。 • 鋼製ピンの衝撃打込み量による強度評価（ピロディン）の他、電動の細い錐を穿孔した際の抵抗（トルク）による強度や内部欠損の評価（レジストグラフ）や、木ねじのねじ込み仕事による強度評価など。
劣化促進環境の評価	• 木部の含水率計測や建物内外の温度・湿度計測。 • 土質、地形と植生、気候、風土や環境などの評価
診断方法の段階による分類（3段階）	
一次診断	• 視診、触診およびハンマによる打診やドライバによる突刺診。 • 訓練された検査員が、床下、天井裏、室内、外周を検査する。 • 明らかな劣化や、劣化の可能性がある部位をもれなく抽出するのが目的であるが、劣化の種類、程度をおよそ判断することも求められる。 • さらに劣化の進行性を判別することも求められる。
二次診断	• 現場用の機器による定量的な診断。 • 計測は非破壊で、材料の強度、欠損率や強度と関連する弾性や密度に関するデータ等を収集する。 • 1次と2次診断は同時に行うことがある。
三次診断	• 現場で採取した検体（サンプル）について、劣化の種類や程度を精密に判定する。腐朽の有無や程度、昆虫の種類等を同定する。専門の検査や研究機関において実施することが多い。 • 1次・2次診断の現場からのサンプルを検査する。

診断形態による分類　（2形態）	
不定期診断	• 不定期ではあるが、建物全体を集中的に調べる診断。 • 耐震診断や改修の際に行う診断。 • 台風や地震の後など不具合の発生の有無を調べるための診断。
定期診断	• 定期的に行う診断。診断のレベルや実施者（所有者・管理者か専門家か）によって診断の周期を設定する。 • 長期にわたる建物の維持管理の中で設定される診断。 • 常時監視型のセンサなどを用いて連続的にデータを取得する診断。

（２）事前準備

1)建物情報の入手と調査計画

事前の準備に関する注意事項は以下のとおりである。

- 事前に建物の概要（所在地（気候と環境)、所有者・管理者の情報、間取り、築年数、構造や建築様式、水周り設備の状況、改築や生物劣化防除の履歴、現状で確認されている劣化や不具合など）に関する情報が入手しておく。
- 可能な限り建物の図面を入手し、事前に調査の計画を検討し、必要な用具などを準備しておく。また建物だけでなく庭や周囲の状況についても把握しておく。
- 床下や小屋裏への入り口の確保、高所に上がるための脚立や足場の準備、養生などについては、所有者や管理者と打ち合わせの上、準備しておく。
- 構造調査も行う場合には、そちらを先に行い、構造を把握した上で劣化調査を行ったほうが調査だけでなくデータ整理の面でも効率的である。

2)用具と装備

劣化診断の際の装備の例を以下に紹介する。

- 床下や小屋裏に入るための服装
  作業服（裾、袖口や首筋のしまった作業服)、マスク、軍手、作業靴。
  帽子はつばのないものか、作業服にフードがついていればこれを利用する。
  また高所では安全帽（ヘルメット）や命綱が必要。
  床下を這う場合には、膝や肘用のパッドがあれば楽に動ける。
- 照明装置
  手持ちのライトやヘッドライト（高輝度LEDなど明るいもの)。
  別途必要に応じて床下や小屋裏に設置するライトと延長コード。
- マイナスドライバ
  取手に上述の手持ちライトをテープで巻きつけておくと調査の時に便利である。
- デジカメ
  小型の現場用カメラなど防塵や防水対策付のもの。ベルトをつけて首から吊るす。
- 現場記入用図面と筆記用具
- チョーク（チョークホルダ付)
  部材に識別記号や劣化状況を記入するためのもの。写真に写しこむ。
  チョークを用いることができない場合は、養生テープと油性マジック。

以上は、床下などの作業性が悪い場所に入る時の装備で、道具類はなるべく身体に装着し、現場では両手が自由になるように工夫する。道具類が多い場合には、手提げの袋や小型の道具入れに入れて持ち歩く。

床下や小屋裏のほこりや付着物には、過去に施工された防腐剤や防蟻剤などを含めて有害なもの

もあるので、素肌を露出しないことやマスクを着用すること。
その他に下記のものを準備しておき、適宜利用する。

- サンプルを採取用のノミ、手鋸、カッターナイフなどの工具
- ビニール製の小袋やサンプル瓶
- ハンマ（打診用）
- 小型の手鏡、ルーペ、双眼鏡、ファイバースコープなど
  物陰の観察、微細部分の観察、高所の観察、構造内部の観察に用いる。
- 含水率計
  二次診断の器具であるが、あれば便利である。腐朽などの劣化が疑われる点を中心に計測する。
- 脚立、養生用ビニールシート、足場板
- 大工道具や電動工具
- 掃除道具とゴミ袋

（３）調査の進め方と留意事項

劣化調査は、概ね建物外周、内部・内装について劣化症状の有無を概ね確認した上で、床下および小屋裏・屋根を調査する。その結果を踏まえて劣化が確認できた領域について、その範囲や程度などを詳しく調査し、劣化発生のメカニズムや原因を検討する。とりわけ生物劣化の温床は床下である。水分との関りで最も重要な診断領域である。また水分との関連で言えば、結露水のしみ込む壁や雨の漏る可能性のある小屋裏も要注意ポイントである。以下にこれらの領域の診断のポイントを解説する。

1)床下

・ 床下土壌の乾燥状態、臭い（カビ臭の有無）や換気の状態によって、腐朽が進行しやすい環境かどうかを判定する。
・ 柱や床束の足元について、水シミや腐朽の症状を検出する。また蟻道の有無を確認する。蟻道は礎石や材の表面だけでなく、材の内部の割れ目などを利用して発達している可能性がある。さらに床下外周が板や格子で囲われている場合には、それらの下部を中心に腐朽やシロアリの被害を検出する。
・ 大引き、貫、根太や床板について、カビ（菌糸）の有無、腐朽による材の劣化の有無を確認する。またシロアリの蟻道が、材の表面だけでなく、割れ目や隙間を利用して発達していることがあるので注意深く観察する。さらに甲虫類による虫穴の有無を確認する。
・ 寺院の本堂の床下では、外周部だけでなく中央部（内陣下）あたりや、正面階段の裏側が換気が悪く湿気が滞留しやすい。このあたりでの劣化を注意してみる。また向拝の両側面は庇の出が浅く、柱や束の足元が濡れやすいので注意が必要である。

2)外周り

・ 縁や外壁では、柱、梁、桁、貫材を中心に診断する。床下でシロアリ被害が確認されている場合には、それが床上まで上がっていないか十分注意する。またシバンムシなどの甲虫類やハチ類による加害痕跡も確認する。
・ 軒周り（下屋）では、庇を下側から注意深く観察し、水シミをはじめとする劣化の兆候を検出する。また雨樋の状態も確認する。少し大きな屋根であれば大雨の時に雨樋が雨水であふれることもあり、周囲の材料に劣化が起きていることがある。

3)小屋裏と屋根

・ 野地に見られる水シミの症状や劣化の症状を確認する。多くの場合、屋根では瓦の隙間から浸潤してくる雨水が瓦土を濡らし、これに接している野地板に腐朽や虫害が発生する。野地板を小屋裏側からみてもこの現象はわかりにくく、明らかな症状が認められる時には、屋根の野地部は相当劣化していると考えられる。
・ 小屋組み材や梁、桁材について、下層でシロアリの被害が確認されている場合にはそれが小屋裏まで上がっていないか確認する。また雨漏りなどによる屋根の劣化が小屋裏の部材に及んでいないか確認する。雨漏りによる濡れが恒常的になると、シロアリがその周囲に巣を形成し、食害しつづけるので注意が必要である。また小屋組み材に甲虫類による穴が発生していないか確認する。
・ 屋根の妻面、特に破風尻から隅木にかけては、雨仕舞いが十分でなく腐朽や虫害が多発するので注意が必要である。
・ 屋根の入り隅部の下部も雨仕舞いに不良がおきやすく、注意が必要である。

4)大壁

・ 土蔵や城郭でみられる大壁では、構造部材が壁内にあって壁土によって覆われている。壁の劣化（亀裂や表層のはく離）によって雨水や土壌からの水分が浸潤すると劣化しやすく、かつ診断が難しい。
・ 土蔵や城郭では床下構造を持たないことがあるため床材の裏側や柱の足元での腐朽や虫害に注意が必要である。

（4）診断手法ごとの劣化症状の判断のポイント

1)視診

視診の要点は、①部材の外観について、健全状態との差（変化）を見つけ出すことで、②その差が生物劣化と関連するかを判断すること、が基本である。視診の要点は、以下のようになる。

a)材表面の色などの視覚的特徴

①変色の有無とその領域（表面および深さ方向も）

健全材の材色と、辺材・心材や年輪構造など木材の組織と関連付けられる材色の変動とは異なる変色の領域の領域を検出する。腐朽部では、変色だけでなく材の変形や菌糸の付着などが見られるが、腐朽部の周囲は暗褐色に変色していることが多い。この部分では材の崩落などがみられなくても、細胞組織には菌糸が発達して強度低下を起こしてくることが多い。

材にみられるシミ状の変色に注意しなければならない。床束や柱の足元、土台、外周と接している部材の端部近く、小屋組み材や内装材に見られる水シミは、雨漏り、漏水、土壌からの浸潤水、結露水などによってできたものと考えられ、材料や構造の内部で腐朽が起き、強度が低下している可能性がある。

床束や柱の足元、土台の下場など礎石に接している部分が白化していることがあるが、恐らくこれは結露水とともに礎石の鉱物成分がシミ上がったものと考えられる。腐朽と見間違いやすいが、ドライバなどの突き刺しで十分な硬度があれば、腐朽は発生していないと考えられる。

漆塗りなどの建物外周の塗装面は、経年で太陽の紫外線などの影響で退色や変色する。それ自身は生物劣化とは関連しないが、塗膜の亀裂などが伴うと内部に水分が浸潤して腐朽を起こしている可能性があるので注意が必要である。

②材表面の性状（ささくれ、毛羽立ちや凹凸）

白色腐朽が進むと木部が退色し、材表面にささくれや毛羽立ちが目立つようになる。また部材の内部で腐朽が相当進行すると材内部の収縮により表面の凹凸や起伏が目立つようになる。

b)材の変形や破壊

①亀裂・割れ・折れ

木部に見られる亀裂や割れには、元々材にあったものや乾燥による材の収縮よって生じ、生物劣化と関係しないものが多々あります。一方、腐朽が相当進行すると材の収縮が起き、繊維に沿う割れや繊維に直交する割れが発生する。この状態では他の腐朽の症状である菌糸や変色も見られる。

荷重やモーメントのかかっている部分に見られる不自然な亀裂や割れは、その近辺での生物劣化による強度低下や、劣化による接合部のずれなどが原因となっている場合がある。

塗装面（外装面）の亀裂や割れは、そこからの水分の浸潤による内部腐朽の端緒となることがあるため、亀裂や割れの周囲の領域で内部に腐朽が発生していないか調べる必要がある。また床下部材などの割れや亀裂について、乾燥割れ以外に背割りや接合部に隙間があるとシロアリがその間隙を利用して蟻道を構築することがある。これらの隙間が土状の物質で充填されたようになっている時は蟻道かどうか確かめること。

亀裂や割れを発見した場合には、それが繊維方向に平行か直行か、分布・数や深さを把握する必要があり、その原因や生物劣化との関連を総合的に検討する必要がある。

②落ち込み、圧潰、欠け、ずれ

木部に見られる落ち込み、圧潰、欠け、ずれの症状は加重下にある材に生物劣化が生じて発生するもの（上述）と地盤沈下などによって発生する外力によるものがある。もちろん両者の相互作用でこれらの症状が顕在化する場合もある。

③隙間

木部が乾燥によって収縮すると隣接する部材との間に隙間が生じたり、接合部では緩みが生じる場合がある。また材の収縮、ねじれや反り等の変形によって構造内に隙間だけでなく変形や破壊を生むことがあり、これが新たな生物劣化の端緒となる場合がある。これらの原因と結果の連鎖反応は長年にわたって徐々に進行する。

c)穴（虫穴）

木材の表面に穴が見られる場合には穿孔性の木材加害昆虫の被害であることが多い。

シロアリの食害部位が材表面に穴となって現れることはないが、シロアリが材の表面近くを食害している場合には、そのあたりに小さな穴や裂け目が発生し、それが糞や土壌等でできた蟻土で埋められたような状態になる場合がある。

その他の木材加害昆虫には、シバンムシの類、カミキリムシの類、キクイムシの類、タマムシの類、シンクイムシの類（建築用材では主に竹類を加害する）、ハチやガの類がある。これらの虫はその成虫や幼虫が木材を穿孔して食害するが、シロアリのように短期間で集中的に食害を進めることはない。しかしシバンムシ類のような甲虫は、長年の間に世代交代を繰り返しながら食害領域を広げてゆく。虫の種類によって加害状況はことなるが、木材表面に円形状や楕円形状で、直径が1から2mm程度の穴が多数あいている場合や、穴に糞等が詰まっている場合等は、概ね穿孔性の木材加害昆虫と考えてよい。またドライバを突き刺して、内部の状態を調べておく。甲虫類の被害の場合は、材の表層近くを中心に内部に多数の孔道ができていたり、孔道が茶色粉状や砂粒状の虫糞で充填していることが多い。これらの被害は多くの場合、辺材にとどまるが、まれに材の断面を相当侵食することがあるので注意が必要である。生木の辺材で、樹皮の直下部を食害するカミキリムシなどの場合は、新築時に材料内に残っていた幼虫が建築後も食害を進め、成虫になり材から脱出し食害の痕跡を残すことはあるが、多くの場合その頃には材は枯死・乾燥しているので、成虫となったカミキリムシが再度その材に産卵することはない。

穴の大きさと分布だけで虫の種類まで特定することは困難である。床下や小屋裏の部材の場合は、ドライバで穴の周囲をほじると成虫や幼虫が出てくることがある。成虫であれば、その形態から虫

の同定が可能になる。穿孔が発見された場合には、穿孔の大きさ、形と数、分布、内容物等を記録しておく。

d)付着物

材の表面に付着しているものは診断の重要な手掛かりとなる。診断のポイントは、まずそれが表面に付着しているだけか、材表面近くで材に癒着したり材内部に発達し、材の性状に変化を起こしているか（菌糸や子実体）か、を見極めた上で、色、形、大きさ、数と分布、性状を把握する。

診断の流れは、

①付着物が非生物由来か生物由来か、を見極める

②昆虫とその痕跡か、を見極める

シロアリの蟻道・蟻土、虫糞（キクイムシやカミキリムシ）、ハチやクモの巣、蛹・・・

③植物かどうかを見極める

藻類やコケ類か・・・

④菌糸かどうかを見極める

木材腐朽菌と関連付けられる白い綿状の菌糸やそれらが集合した固まりや皮膜か、木材腐朽菌以外の菌類（カビ状）のものかを見極める。

2)触診

木部表面の触診では、以下の2つのポイントを調べる。

a)湿り気の有無

木部表面に結露等によって水滴状の水分が付着している、内部の含水率が約30%以上で繊維飽和点以上であると、木材腐朽菌が繁殖を始める。手で触って湿った感じがする、指で押してみて柔らかい感じしたり水分が滲んだりする場合には、具体的な腐朽の兆候が見えなくても「腐朽を促進する環境にある」と判定できる。

なお木部の湿り気とシロアリ被害の発生とを結びつけて診断する必要はない。イエシロアリもヤマトシロアリもそれらのコロニーのどこかは湿潤な領域とつながっているが、食害の先端領域や蟻道が展開している領域はむしろ乾燥している場合が多い。

b)指で押したときの硬さ・弾力（反発）

「内部に空洞（蟻道等）や脆弱部（腐朽）があるか？」を判定する。堅く弾力に富んでいれば健全と判断し、柔らかく表面を押しても戻りが悪いような場合には劣化があるのではないかと判断する。しかし指で押して反応のある領域（深さ）には限りがあり、触診ではあくまで表面近くのみの情報が得られるのみである。健全部、変色域、割れや穴等にマイナスドライバを突き刺し、その入り方や、採取された木片、突き刺した部位の状態から劣化の状態を判定する場合もある（突き刺し診）。

3)打診

打診では、木材表面をハンマで軽くたたいた時の音色から木材内部の状態を推定するが、打音が内部の空洞を予測させるような音か？（低く、うつろな音、割れたような響きかどうか・・・）を判定することになる。しかし、打診ではあきらかな内部空洞や水分状態の異常が判定できる程度である。鉄道車輪の検査やタイルの浮きを検査するのに打音を用いまるが、これらの場合は限定された一定の状況での繰り返し検査であるため健全状態のデータに変動が少なく、かつまた劣化に結びつく打音の変化が特徴的なために診断が可能となる。しかし住宅の木部のように状況が様々で、劣化による打音の変化が顕著でない場合には、相当熟練した人でも、きめ細かな判定を行うことは困難である。しかし打音診断のコツは、検査したい領域の周囲を含む領域を、なるべく一定の角度と強さで打診することで、領域内での音色の変化を感じ取ることである。

4)腐朽診断の難しさ

現場で木材腐朽（木材腐朽菌による劣化）を適切に判定することは難しい。あきらかな劣化の特徴がみられる場合は簡単であるが、腐朽の初期症状を検出するのは難しい。その理由として、

・ 腐朽菌による劣化は、床下や壁の中、材内部等見えない場所で進行する、
・ 腐朽菌の症状と他の菌類や変色等の兆候との区別が難しい、
・ 初期腐朽では明らかな兆候が見られない（目に見える兆候が現れない)、

等が挙げられる。

一次診断は特別の装置を用いない診断である、最近では現場用の腐朽診断キットが開発されてる（後述)。この診断では木部を少量削り取って検査するが、操作は比較的簡単である。特に腐朽診断の経験の浅い人が診断行う場合には、まず湿気の高い部位や腐朽の兆候を示している部位を視診・触診･打診で抽出し、それらについてキットを適用し、腐朽菌が検出されれば別途強度等を評価することで相当信頼レベルの高い生物劣化診断が可能になる。

5)木材腐朽菌とカビとの識別

材料の表面に綿毛のようなもので覆われたり、斑点状のシミのような変色領域が生じると「カビが生えて腐った」というが、これは木材の劣化診断では正しくない。

一般にカビと呼ばれている微生物の正体は菌類の中の真菌に属するが、この菌は、さらに5種類に分類される。ところが木材を腐朽させる（木材組織を分解する）のは、これらのうち、増殖の際にいわゆるキノコを生やす担子菌だけである（一部不完全菌と子嚢菌、一部の細菌等の例外もあるが)。それ以外は木材に発生しても表面を汚染するのみである。すなわちカビには、木材腐朽性のカビとそうでないカビが存在する。一般に､｢カビによって木材が腐る｣という表現は誤りではないが、劣化診断の現場では、カビ様のものが木材腐朽性の菌（担子菌）か否かを識別することが重要である。

実際の住宅によく現れるカビは、60種程度、腐朽菌は20種程度といわれている。カビも腐朽菌も増殖の過程で菌糸を発生させるので見分けがつきにくい。強いて言えば、木材腐朽菌の菌糸は総じて白い綿状で発達するが、カビの菌糸には、綿状の他、粉状、スス状、シミ（斑紋）状になって広がるものがあり、色も黒、暗緑色、土色、赤系、青系、黄系、灰褐色を呈する場合が多い。しかし、カビにも白い綿状の菌糸を発生させるものがあり、肉眼でカビと腐朽菌を区別することは不可能である（顕微鏡で菌糸を観察すれば、担子菌の細胞にはクランプと呼ばれる特徴的な突起があるので分かるが、この方法は劣化診断の現場には向かない)。

また多くの場合、腐朽は木材表面に付着した胞子が、20℃から35℃程度の温度で、適当な水分を得て発芽することから始まるので、木材表面から菌糸が発達するといってよいが、それが壁の内部であったり、背割した柱の内部であると外観から腐朽の進行を知ることはできない。

また腐朽の初期状態は、外観上の変化が殆どない割に、強度低下が発生しているケースもある。腐朽が相当進行すると、菌による劣化の特徴が顕著に現れだし、腐朽菌の場合、木材が褐色を帯び、材が萎んで炭のような割れが入る褐色腐朽と、白っぽくささくれたような崩れ方をする白色腐朽に分かれる。しかし、このような特徴が現れるまでになると、劣化診断を待つまでもなく、材の強度に影響している劣化が生じているのは自明である。

これまで、カビと腐朽菌を区別するように述べてきたが、劣化診断の現場で肉眼でこれを行うのは困難である。結局はどちらも似たような環境（適度な水分と温度環境）で生育するので、菌糸状のものが見えれば、腐朽菌が存在している可能性があるという、消極的ではあるが、ある種安全側の判定をせざるを得ないのが現実である。その際、含水率計等で木材の水分を計ったり、周囲の換気や温湿度環境から、腐朽菌やカビが発生し得ることを確認することは重要である。また腐朽菌検出用のキットを利用することもできる。

（５）劣化判定と記録

これまで視診・触診・打診技術について個別に解説してきたが、実際の診断では、部位ごとにこれらを一度に実施することになる。また腐朽や虫害のある部位では、視覚的にも、触感も、打音にも変化が現れている。一次診断では各手法の診断の所見を総合しながら、生物劣化の有無、種類（腐朽・シロアリ食害・甲虫類食害）、範囲と程度を判定する。詳細で正確な判定は難しい場合もあるが、以下の3つの項目を目標に症状を抽出し、判定する。

1)明らかな生物劣化（腐朽や虫害）を検出する。

生物劣化（腐朽や虫害）の有無と範囲を検出し、種類を判定する。さらに劣化部位については、その程

度を以下の3段階（レベル）程度で評価する。

レベル1　軽微な劣化がある（強度低下や断面欠損が最大3割程度ある）

レベル2　著しい劣化がある（同上最大7割程度）

レベル3　激しい劣化がある（同上7割から完全な欠損とみなせる程度）

判定の結果は、以下の方法で記録する。

a)部材へのマーキングと写真撮影

チョークで劣化の範囲を囲むようにマーキングし、劣化種類の符号と劣化レベルの符号を書き込み、写真撮影する。符号は、劣化の種類を示すローマ字（シロアリ食害は“T”、腐朽は“D”、甲虫食害は“B”）と劣化のレベルを示す数字（“1”、“2”および“3”）からなり、例えばシロアリ食害でレベル2と判定される場合には“T2”、腐朽でレベルが1と判定される場合には“D1”とする。後述するが劣化が進行性と判定される場合には符号の末尾に“P”を付し、“T2P”などとする。続いて判定結果が認識できるように劣化部位の写真撮影を行う。写真撮影の際には、小型の黒板に位置や部位名を書き込んで劣化部位の横に置き、写真に写しこんでもよいが、床下などでは作業しにくいので可能な場合のみでよい。また含水率測定などを行った場合には、その結果を部材に書き込んで写真撮影を行う。

これらの作業は判定結果を現場に残し、その後の調査や改修に役立てるためもあって行うが、同時にこれらの方法は床下や小屋裏の部材で、直接部材にチョークでマーキングしてよい場合に適用される。内外装部材などチョークでのマーキングが許されない場合には、養生テープや付箋を部材に貼り付けてこれに判定結果を書き込み、写真撮影を行い、撮影後はテープ類を除去することとする。

b)判定結果の記録

現場に携行した図面（床伏せ図や間取り図）の対応する位置に劣化の判定結果を書き込む。調査の目的や条件によっては写真撮影を行わない場合もあるが、この場合でも図面への劣化判定結果の書き込みを行うことが望ましい。

2)劣化の疑いがある部位を検出する

明らかな劣化とは判定できないが、劣化の疑いのある部位については、症状を記録するとともに、必要に応じて、経過観察と再診断や二次診断などの精密な診断を行う。

3)劣化部位が進行性か否かを判定する

生物劣化の進行性の判定については、定まった基準が十分あるわけではないが、以下のものがある。

a)シロアリ被害の場合

- 基礎、束石や木部に蟻道や蟻土が形成されている（中にシロアリがいれば進行性）。
- 木部の亀裂や割れ目に蟻土が詰まっている（中にシロアリがいれば進行性）。
- 木部等の材料や壁構造の内部に蟻道が形成されている（中にシロアリがいれば進行性）。

- 室内や床下にシロアリの羽蟻が飛んだ痕跡がある（羽が落ちている）。あるいは所有者や管理者がシロアリの群飛と判断できる症状を確認している
- 実際に木部等にシロアリが生息している。

b)木材腐朽の場合

- 典型的な褐色腐朽や白色腐朽の症状を示し、強度や密度の低下が著しく、かつ材が湿っている。
- 木部に子実体（キノコ）が生えていてかつ湿っている。
- 上記の症状を示さない場合で、木部表面に白い綿状の付着物があり、周囲の木部に変色、湿り気等が見られる。

（６）報告書

1)報告書の構成・体裁・記載内容

劣化診断における報告書の基本的な形式、記載項目および報告書作成上の注意点をまとめると以下のようになる。報告書は、表紙以下、調査の目的と方法、結果、評価・総括の各章からなる。各章において記載すべき項目は以下のとおりである。

(a)表紙

報告日、あて先、報告書表題、報告者の氏名と所属・連絡先を記す。

(b)調査の目的と方法

調査の目的について、生物劣化の現況を調査することは自明であるが、特に事前の打ち合わせ等で重点領域を設定したり､調査領域を限定している場合などはこれを目的において明確化しておく。また調査方法について、一次診断（視診・触診・打診）といった診断の段階とその範囲、二次診断にあっては使用した機器と測定条件、測定領域などを明らかにしておく。

(c)結果

結果の示し方は色々あるが、建物の図面に劣化診断の結果を書き込む方法、領域や部位毎に文書や表で結果をまとめる方法がある。

図面に書き込む場合には、床下、室内、小屋裏毎の図面に、腐朽や虫害の位置や範囲を記号などで示し、劣化の種類や程度を表すマークや記号を書き込む。例えばある部材に軽微なシロアリ食害があり、劣化の3段階のうち第1段階であれば、“T1”という記号（Tはシロアリ（Termite）の頭文字）を、第3段階の腐朽がある場合には“D3”という記号（Dは腐朽（Decay）の頭文字）を付す。含水率（記号M、単位%）、内部欠損率（C、単位%）や強度推定値（S、単位N/mm²や基準強度に対する割合（%））など、数値データがある場合には、同様に記入する。また進行性の生物劣化のある場合には記号“P”を付しておく。

さらに劣化の兆候や原因となる状況が検出されている場合には、これも記入する。例えば、雨漏りや漏水などによる水シミ、結露とそれによる材の変色の有無、腐朽菌以外のカビ類の発生状況、材の割れや破損、接合部のずれ・はずれなどの項目も記入しておく。

建物の図面がCAD化されている場合には、別途劣化診断の結果を記入するレイヤーを設けると効率的である。

結果を表にして示す場合には、部位・部材の名称や位置、劣化の種類と程度、数値データ、参考情報などを記入する列を設けた表で報告する。

劣化の症状が認められたが劣化の種類や程度がはっきりせず、より詳しい診断や経過観察が必要と思われる部位についてはその旨を書き記しておく。

(d)評価と総括

上述の結果を踏まえて、建物の生物劣化の現況（種類、分布と程度）を文章で簡潔に述べる。

また劣化の原因についての考察・推定結果も記しておく。この場合に特に重要なのは、劣化を誘引および拡大させる水分がどこからどのように浸潤してきたかを明確化することである。

また結果の報告において、劣化の症状が認められたが劣化の種類や程度がはっきりせず、より詳しい診断や経過観察が必要と思われるとした部位については、今後の方針、次段階の診断についてその必要性や種類を明らかにしておく。

さらにここでは劣化対策についての方針やアドバイスも記しておく。進行性の生物劣化が確認された場合には、駆除や殺菌、水分対策をまず講じることを指摘しなければならない。さらに劣化による部材の欠損や強度低下が生じている場合には、建物の構造強度との関連で、劣化した部材の交換、補修や補強などの対策の必要性を明らかにしておく。さらに劣化の予防のための維持管理計画についてもその方向を助言として明らかにしておく。

（７）調査の重点領域の設定

上述の調査手法に対して、建物の特徴、調査の目的や条件によっては、調査の手法を変更したり、注意点が発生したりする。以下にその事例を紹介する。

1)構造上重要な部材

大型の物件の調査を限られた時間と人員で調査する場合や、耐震改修との関連で構造強度に関る劣化を抽出することが望まれる場合などは、予め建物の構造を把握し、強度上重要な領域や部材を優先的・重点的に調査することが望まれる。例えば床下については、床束に対して床下まで降りている柱の足元などを重点的に調査することが望ましい。

2)構造・材料・施工上での弱点

水分浸潤しやすい部位、劣化しやすい部材や大壁構造など、劣化が発生しやすい領域、発生した劣化が見えにくい領域について必要に応じて重点的に調査する必要がある。

3)改築や住まい方によって生じる劣化のポイント

多くの伝統木造では、土間の床上げを行ったり、建物内に台所・風呂やトイレなどを移設したり、真壁を化粧大壁に変更したりしている。さらにこれらの領域では新たに劣化が起き易く、また見えにくい。これらの領域でも注意深く診断する必要がある。

4)建物環境による劣化のポイント

建物と周囲の土壌の質、植栽などの周囲環境、隣接家屋の状態が蟻害や腐朽発生に影響を及ぼすことが多い。これらに対する注意も必要である。

（８）調査目的ごとのポイント

1)維持管理と連動した調査

長年にわたる建物の維持管理は定期的な診断と補修で構成される。建物の耐震性能は、一度それを診断して適切に改修すれば、それ以後地震が来たり、地盤沈下が生じるなどして耐震性能が損なわれることがない限り概ね持続すると考えられる。その一方で、生物劣化は短期間の間に繰り返したり、再発する可能性が高く、定期的な診断と処置を繰り返し、劣化を早期に発見、早期に処置する必要がある。診断方法そのものは、前述の内容で対応できるが、維持管理では調査の結果や補修などについて継続的記録を残すことが重要である。また劣化診断で劣化部位が検出された場合、それが進行性であれば、駆除や殺菌といった劣化抑制対策が必要で、その後に再発の予防対策を講じる。また劣化部位については断面欠損や強度低下を評価して、その結果を耐震診断や改修に引き渡すことが求められる。

2)耐震診断やリフォームと連動した調査

耐震診断の計算において部材の劣化による強度低下を考慮する手法はまだ十分には開発されていない。しかし精密診断法のうち保有耐力診断法では、壁部材（土台、桁、梁、柱や筋交いなどの耐力要素）の劣化に応じた壁耐力低減係数を設定している。劣化の程度は以下の3段階の程度と判定方法によって定めており、劣化の程度と壁の基準耐力との組み合わせによって1.0から0.6までの耐力低減係数を定めている。しかしこの段階分けは前述の劣化のレベル分けとは異なることに留意が必要である。

第一段階　劣化が認められない

第二段階　部材に部分的な劣化が認められる

（ドライバーが刺さる、部材の腐朽が認められる）

第三段階　部材に著しい劣化が認められる

（ドライバーが簡単に刺さる、部材が劣化して接合部の耐力がない）

この方式に従って耐震診断を行う場合には、劣化あるいはそれによる強度低下を3段階で判定する必要がある。耐震診断における劣化症状の考慮方法については今後も検討が重ねられ、新規な方法が現れると思われる。

５．６．４　まとめ

平成22年度に引き続き、平成23年度は全国の伝統木造建築の劣化調査および銅板の腐朽抑制効果の調査および検証実験を実施した。前者については今後もより多くの調査結果を集める必要があるとともに、全ての物件の調査結果を詳しく分析し、構造、材料、施工、環境や住まい方と劣化との関係を検討する必要がある。また銅板に関する検証実験についても継続してより長期にわたる効果の発現状態を見極める必要がある。

伝統木造の調査を進めるにあたり各地域の実務者の方々に多大な協力を頂いた。これらの方々に深甚な感謝の意を表します。

（参考資料：講演会「対話で創ろう伝統構法の未来」配布資料から）

木造住宅の劣化判断及び対策について

近年の大地震後に実施された家屋被害の調査によると、倒壊した木造家屋の損傷部位には腐朽や虫害といった生物劣化が認められることが多いことが報告されている。このことは建物の耐震性と同時に、耐久性の確保が伝統的木造に重要であることを示している。本章では、現行法に基づく耐久性確保の方法を総括した上で、伝統的構法による木造にみられる劣化の特徴や対策の基本的考え方を述べる。

１．木造建築の耐久性確保の要点

現行の建築関係法令のうち、限界耐力計算を用いた構造計算書の計算手順における耐久性確保に関する規定は以下の通りである。

- 建築基準法施行令37条：構造部材の耐久性
  構造耐力上主要な部分で特に腐食、腐朽又は摩損のおそれのあるものには、腐食、腐朽若しくは摩損しにくい材料又は有効なさび止め、防腐若しくは摩損防止のための措置をした材料を用いなければならない
- 同41条：木材
  構造耐力上主要な部分に使用する木材の品質は、節、腐れ、繊維の傾斜、丸身等による耐力上の欠点がないものでなければならない
- 同49条：外壁内部等の防腐措置等
  木造の外壁のうち、鉄網モルタル塗その他軸組は腐りやすい構造である部分の下地には、防水紙その他これに類するものを使用しなければならない。
  2　構造耐力上主要な部分である柱、筋かい及び土台のうち、地面から1m以内の部分には、有効な防腐措置を講ずるとともに、必要に応じて、しろありその他の虫による害を防ぐための措置を講じなければならない

その他の関係法令として、住宅の品質確保に関する促進等に関する法律（品確法）では、住宅性能表示基準及び評価方法の基準において、劣化対策等級（構造躯体等）を定めている。また同法の既存住宅の評価では、特定現況検査によって生物劣化（腐朽・蟻害）の現況を調査することとしている。さらに参考となる項目として、長期優良認定制度では、品確法の劣化等級3に加えて維持管理に関する項目の他、特定住宅瑕疵担保責任法（雨漏りと基礎に関する規定類）が見られる。これらの法的根拠に基づいて様々な劣化対策が設計や施工の段階で採用されるが、実際の住宅で発生する劣化は環境や住まい方にも依存し、複雑で多様であり、各対策の効果には限界もある。

２．シロアリ食害

木材は植物（樹木）細胞からなる材料であるため、これを栄養源とする生物、すなわち昆虫類によって食害されたり、菌類によって分解され、強度が低下する。木材加害昆虫の代表はシロアリである。木造建物を加害するシロアリは、土壌中に集団（コロニー）で生息しており、主に床下土壌から蟻道を構築しながら密かに木部に這い上がり、柱や束の足元の表面や内部を食害しはじめ、やがて床組み材など上方に食い進んで行き、小屋組にまで食害が達することがある。土壁の中に侵入し、小舞竹を食害することもある。また材の割れ目や接合部などの隙間を巧みに利用しながら食い進み、材料の強度低下や破損、接合強度の低下をもたらす。コロニーは水分供給のために風呂場な

どの水周りに発生しやすいが、食害領域は乾燥した部材にも拡大する。シロアリの食害は見えない部分で密かに進行するため、長年放置しておくと著しい強度低下をもたらす。また春先から夏にかけてコロニーから羽アリが発生し、これが新しいコロニーを形成して、被害領域が拡大する(図1,2)。

シロアリ食害は、多くの場合、床下の基礎や礎石、部材の表面に発生した蟻道、部材の隙間や割れ目につまった蟻土によって検出することができ、食害が進むと材料の変形、折損や圧潰などがみられる。床下で蟻道などの症状がみられた場合には、その上方の構造体にまで食害が進行していないかどうかを詳しく調査する必要がある。

その一方で、水周り周辺の部材、閉鎖基礎の内側、土壁や大壁の内部などは被害が発生しやすい割に検出しにくい領域もある。また小屋裏では雨漏りなど雨水の浸潤状態が長年持続するような領域では、外部から飛来してきた羽アリに端を発するコロニーによる食害が発生することもある。

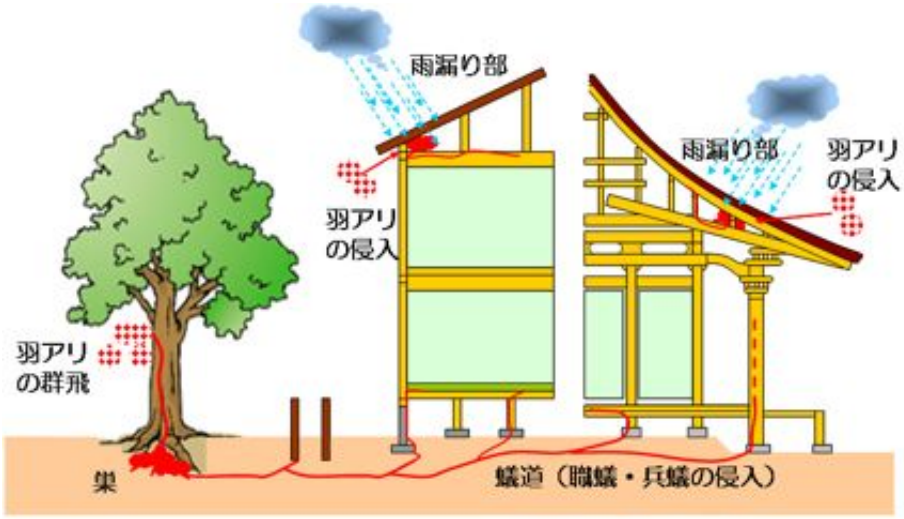


図5.6.4-1　シロアリの侵入経路

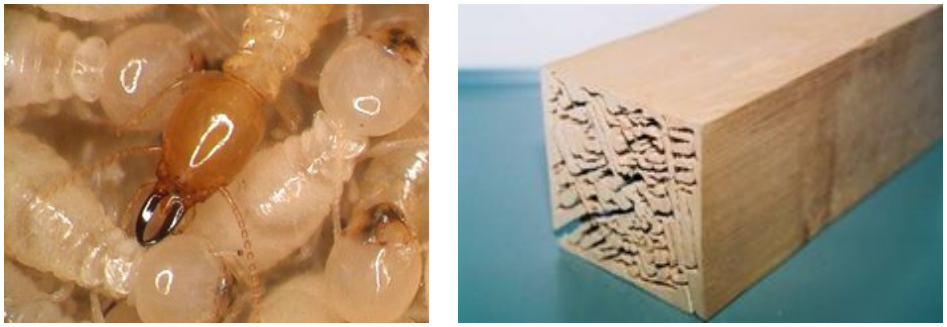


写真5.6.4-1　イエシロアリの職蟻と兵蟻（左）と食害材（右）

日本に生息し、住宅などに被害を与える主なシロアリはイエシロアリとヤマトシロアリである。両者の分布を図5.6.4-2に示すが、イエシロアリの生息地域にはヤマトシロアリも生息している。イエシロアリはヤマトシロアリに比べてコロニーの規模が大きく、土中の巣から蟻道のネットワークを構築しながら建物に侵入し、比較的短時間で大きな被害をもたらすことが多い。一方ヤマトシロアリはほぼ全国に分布しているが、コロニーの規模は小さく、土中に営巣する場合もあるし、木部の湿潤部位などに営巣していることもある。食害はイエシロアリに比べて緩慢であるとされるが、伝統木造などでは長期間の間に被害が甚大化していることも多い。既存住宅におけるシロアリ駆除は床下の土壌、床組みなどの木部に駆除剤を散布、塗布および穿孔注入することが基本である。駆

除薬剤によっては防腐効果を有するものもある。多くの駆除専門業者が用いる駆除薬剤は、(社) 日本しろあり対策協会などの業界団体が認定している薬剤である。これらは効果と安全性の確認されたもので、駆除業者はこれを所定の仕様で使用することになっており、これによって駆除効果を5年間保証することが通例である。一方近年では化学物質の人体や環境に対する影響を懸念する傾向が強く、駆除薬剤もよりマイルドなものに変わりつつあるが、化学物質に依存しないような防蟻工法も開発されつつある。



図5.6.4-2　シロアリの分布
（(社) 日本しろあり対策協会資料を元に作成）

３．シロアリ以外の虫害

木材や竹に発生するシロアリ以外の虫害として、甲虫類（シバンムシ類、キクイムシ類、カミキリ類など）やハチ類などによる食害がある。これらに属する昆虫類には乾燥材を加害し、そこに生息するものと、生材を加害するものがいるが、建築後の建物に被害を及ぼすのは前者である。これらの虫類の多くは、成虫（親）が外界から建物内に飛来し、表面近くに産卵した後、卵の孵化によって生まれた幼虫が木材を食害する。幼虫は脱皮を繰り返しながら成長し、やがて蛹（さなぎ）になり、一定期間の後に成虫になって材から飛び出す（多くの場合1から2年)。飛び出した成虫は交尾の後、また材に産卵に戻ってくる。この過程が繰り返されることによって材は次第に表層から食害されてゆく。小屋裏の梁などマツ材、ケヤキ材やクリ材などの表面に、直径が2から数mm程度の孔が多数見られる場合は､これらの昆虫による加害痕跡と考えられる(多くの場合､シバンムシ類)。甲虫類は成長過程を繰り返しながら、主に辺材（白太）部分を食害するが、時に心材にまで食害が及び、著しい強度低下をもたらすこともある。またシバンムシ類は建築後10年程度経ってから部材に侵入してくることが多いとされる。

一方、未乾燥材を用いると、そこに立木や生材時の時に侵入した生材を好む甲虫類（幼虫）が材に生き残っている場合があり、施工後に材から成虫が発生することもある。クロタマムシやカミキリ類などがこれに相当する。食害を受けた材料は既に建築部材として使用されており、次第に乾燥状態に推移するため、これらの甲虫類が材に再侵入することはないといえる。また内装材として用いられる合板については、時折ヒラタキクイムシが発生することがある。さらに小舞竹として多用される竹材に特有で多発する被害としてチビタケナガシンクイムシなどによる食害がある。また近年ではスギノアカネトラカミキリのようにスギやヒノキを食害するとともにトビクサレと呼ばれる腐朽も起こし、材の価値を著しく低下させる虫害も見逃せない状況にある。

これらの甲虫類は外界から成虫が飛来して発生し始めるため、小屋裏の部材、外周壁の構造部材の暴露部分、縁や床下部材に被害が発生する。既存建物において甲虫類の被害が発生した場合（材表面の穿孔が目立ってきた場合など）には、多くの場合、穿孔に駆除薬剤を注入するといった対策を講じる。この方法の効果は部分的で限定的であるが、実際的な現場処置としてはこの程度が限界である。またこれらの被害は概ね緩慢で、白太に留まるため、ガスくん蒸のような大規模な駆除対策は講じないのが一般的であり、忌避効果のある薬剤の表面塗布も実施されないことが多い。



写真5.6.4-2　甲虫類による食害（左：マツの梁、中：床束）とケブカシバンムシ（右）

４．腐朽（腐れ）

虫害と並ぶ生物劣化として菌類による腐朽（腐れ）がある。菌類の種に当たる微小な胞子は空気中を浮遊していたり、木部と接する土壌など含まれており、腐朽は木材表面に付着した胞子が発芽し、そこから菌糸が成長する際に木部を分解して起きる。

発芽と成長には水分が必要で、屋根や外壁から浸潤してくる雨漏り水、土壌からの浸潤水分、漏水や結露水などが供給され続けると菌糸が成長し、腐朽が進行し、強度が低下する。

木材を腐朽させる菌類の殆どは担子菌よばれ成長の過程でキノコ類を発生させ、またその菌糸は概ね白い綿状をしているのが特徴である。担子菌類も木材腐朽性を示さない菌類（カビ類）も湿った木材の表面に発生する。腐朽菌は多種に及ぶが、腐朽が進行するにつれ材が褐色状を示す褐色腐朽と、白色化する白色腐朽に大別される。木造建築の構造部材として用いる針葉樹には前者が多く、腐朽の進行とともに材に細かな割れや収縮が発生する。耐朽性の高い樹種としてヒノキ、ヒバやクリ材が知られているが、水分浸潤との兼ね合いでこれらについても注意が必要で、腐朽は床下、小屋裏、壁体内などへの水分浸潤によって発生し、見えにくい部位で密かに進行するため、気がついた頃には相当の強度低下をもたらせている場合が多い。



土蔵腰壁板に発生した菌糸



土台の褐色腐朽の終盤状態



接合部内部の腐朽と蟻害



土台裏側に発生した腐朽

写真5.6.4-3　伝統木造にみられる腐朽症状の例

５．木造建築に見られる特徴的な劣化症状

① 床下空間

床下は生物劣化が最も発生しやすい領域である。土壌から這い上がってくるシロアリ、土壌からの湿気や浸潤水による腐朽、礎石や金具と木部との間に発生する結露水による腐朽、外界から飛来してくる甲虫類による食害などが見られる。シロアリ食害を伴う腐朽部位も多く、土台敷きや土壌にまで達した土壁、低く通気や換気の悪い床下では劣化が生じやすい。



写真5.6.4-4　床下の蟻害と腐朽の事例

② 屋根部と外壁

瓦屋根では、経年で生じる瓦の不具合による下地への雨水の浸潤と、それによる野地や小屋組み部材の腐朽や、そこに発生したシロアリ被害に注意を払う必要がある。入母屋形式の屋根では、隅木周りや破風尻、明り取りの天窓や腰屋根周りなどが劣化しやすい。またマツ材の梁などでは甲虫の食害が見られる。外壁については特にその足元への雨水の浸潤による内部部材の腐朽や虫害に注意が必要である。土蔵のように土壁で塗り込められた木部は長年の間に発生した漆喰の剥離や亀裂から侵入した雨水によって劣化することが多い。このような劣化は棟木にも見られる。



写真5.6.4-5　小屋梁の蟻害（左）、隅木周辺の腐朽（中）と土蔵大壁内の腐朽と蟻害（右）

③ 改修部分と設備の周囲

多くの伝統的な木造建築では本来風呂や便所などの水周り設備は邸内にない場合が多いが、特に戦後の住宅事情の変化などに伴い、これらの水周り設備を母屋内に配置したり、土間を床上げしたりするなどの改築を行っている場合が多い。これに伴い水周りの湿気や漏水、床下の通気の阻害による湿気などによって劣化が発生している場合が多い。床上げされた部分では床下空間が閉鎖され

ている上、フローリング敷きなどにするため点検や補修ができない構造になっていることが多い。また真壁の内装壁にボード類をはって大壁とした場合や、外壁を板やトタン板などで覆っている場合には下地の土壁が劣化していることが多くまた点検しにくい。




写真5.6.4-6　改修部分の周囲に見られる劣化の事例

④　住まい方との関連

近年では定期的に畳をあげて床下を点検、清掃することがなくなったために劣化が甚大化していることが多い。土台、柱や束の足元を土が被ったまま放置しておくとシロアリが寄りやすい。またもはや物置や作業空間として利用しなくなった小屋裏、戸閉め状態の部屋や利用しなくなった土蔵などでは劣化が甚大化しやすい。庭木の手入れなどが十分でなく、樋への落ち葉の詰まりなど排水経路の傷みによって床下土壌に雨水が浸潤している場合もある。さらに広縁の下に色々なものを置いたり、閉じるために通気や換気が損なわれているケースや、台風や地震のあとの不具合を放置した結果、劣化が発生しているケースもある。また住み手の高齢化や核家族化によって家の維持管理が不十分になっている場合もある。住まいの維持管理は耐久性確保上非常に重要であり、これを実施するのは所有者や管理者であるが、実務者もその重要性を理解しておくべきである。

６．耐久性確保のための指針

建築物の耐久性（劣化）は、設計、材料と施工に依存するとともに、その建築物がたつ環境と住まい方（維持管理）に大きく依存する。実務者にとっては主に、設計、材料選択と施工における耐久性の確保対策が課題である。しかし対策を考える上で重要な点は、建築物を立てる環境とそこでの劣化リスクを知ること、劣化リスクに応じた対策を効果とコストをバランスさせながら選択することにある。シロアリ食害に対しては、土壌からの這い上がりをいかに阻止するか、腐朽に対しては木部の水分管理（水切れ・雨仕舞・結露対策）をいかに行うかが基本となる。耐久性向上は以下の観点から検討する。また維持管理の主体は所有者や管理者であるが、実務者は設計から施工の段階で、維持管理のための点検や補修に関する配慮も必要である。

①　建物を立てる環境に対する認識と対策

耐震性能を確保するために地盤の調査や改良を行うように、実務者は耐久性確保のための環境調査や対策を考えることも重要である。例えば土壌の水分状態、温湿度や降雨・降雪の季節変化、シロアリなどの分布状態、周囲の環境などを知り、基礎（床下）周囲や外壁などの仕様を耐久性確保の観点から最適化することが望ましい。一般的には床下からの湿気やシロアリ侵入を防ぐために、防湿や防蟻シートを施工する、土間コンやベタ基礎にすることで劣化のリスクは低減される。

②　材料に関する留意点

耐久性・耐蟻性に優れた材料の選択、乾燥材の使用、各種の防腐・防蟻処理の選択が求められる。伝統的な木造ではグリーン材を用いる場合もあるが、含水率が約30%以上の材については腐朽が発生しうるので注意が必要である。またグリーン材の辺材にはカミキリなどの昆虫が生息している可

能性があり、竣工後に発生する可能性もあるので注意が必要である。伝統的な木造では加圧注入処理材は敬遠され、現場で塗布する薬剤などを活用する傾向にあるが、薬剤の効果、持続性や安全性などに注意を払う必要がある。また近年ではVOCや環境問題への配慮から化学薬剤に依存しない手法も開発されつつある。断熱材を壁体、床に使用する場合には、これへのシロアリの侵入についても注意を払う必要がある。

③　仕様や施工上の留意点

木部は濡らさない、濡れてもすぐに乾燥する状態に保つ、土壌に着けないのが基本である。また石材、金物だけでなく断熱材など熱伝導性の異なる材料や湿気との接触による結露に注意を払う必要もある。床高さを十分取り、土壌に防湿対策を施し、床下空間の通気と換気を確保することなどは基本である。また軒の出を確保して外壁の雨かかりを抑えることも重要である。近年では耐水性の優れた外装材料が開発されてはいるが、経年での目地や窓周りからの雨水の浸入を極力さけるようにする。

④　維持管理

完璧で長期間持続する劣化対策を建築時に実現することは難しい。さらに建物が建築された環境と住まい方によって、時間とともに建物には劣化が生じる。建物の寿命を実質的に長らえるには点検と補修に基づく維持管理が基本となる。また設計・施工者は点検しやすく、補修しやすい構造、計画、材料や施工方法を選択すべきである。点検には、所有者が行う日常点検のほかに、専門家が数年に一度実施する床下などの定期点検の他、台風や地震のあとの不具合を点検する不定期点検が考えられる。

⑤　その他

市場には関連法規に適合させながら、これらを目的とした様々な工法や材料が提供されている。一般的には単一の対策で完全な防虫や防腐を実現することは難しく、複数の手法を組み合わせることが多い。しかし各対策の原理、効果や特性を理解した上で対策方法の組み合わせを決定する必要がある。

また既存建物の耐震改修など場合には、事前の調査によって、劣化の有無、種類、範囲や程度を明らかにした上で、改修を行う。腐朽や虫害があった場合、とくにそれが進行性の場合には、駆除や環境対策を実施する必要があり、その上で強度補償や環境改善などの措置が求められる。

7．実務者が信奉する迷信や妄信



劣化やその対策について設計者や大工が誤解しやすい点がいくつかある。また実務者の間では誤解にもとづく迷信や妄信のような言い伝えもあるようだ。多くの誤解は、例えばその対策が成立する条件を知らず何にでも有効であると勘違いしていたり、劣化のメカニズムや対策の基本に対する理解不足や、実際の状況への適用性の限界に対する理解不足、入手できる対策（例えば薬剤）の本当の実力を知らないことなどに由来している。迷信や妄信の例として、乾燥材はシロアリに食われない、柿しぶや木酢液は腐れやカビに効く、床下に炭を敷けば腐朽対策になる、ベタ基礎はシロアリを防ぐ、竹小舞はシロアリに食われない、断熱材はシロアリは食わない、塗装すれば外装に木をつかっても大丈夫、新月伐採の木は腐りにくい、などがある。これらは条件によっては正しい場合もあるが、誤っていたり、根拠に乏しいことが多い。

５．７　古材の強度性能と評価

５．７．１　古材の材料試験・めり込み試験と仕口接合部実験の意義と目的

我が国には古来より現在に至るまで木材を構造材料として利用してきた長い歴史があり、特に文化財をはじめとする寺院建築物など多くの伝統的な木造古建築群がある。これらの建築物には、台風・地震など幾多の災害を乗り越えて現代までその姿を伝えているものが多く、我が国が世界に誇ることのできる文化的財産である。これらに関する高度な構造技術や構成部材としての機能を長い年月にわたって支える古材についてその性状を科学的に解明し、また文化的な面からも歴史的技術を維持した上で修理・保全を行っていくことは、我が国の世界・未来に対する責任であり、このことは多くの人に認められるところであろう。

伝統的構法の木造の構造性能評価においては、再利用される古材の力学性能、および現存する伝統的木造建築物の保存・補強のための耐震性能評価も重要な課題となる。そのために、古材の材料力学的な特性、古材からなる仕口の復元力特性が新材とどのような差異があるかを解明し、設計用のデータベースが必要となる。

さらに、築年数の長い木造建築物等で大量に使用されている古材についてその特性を把握することは、これからの木材利用において更なる活用の幅を広げる上でも大変有用な結果をもたらすものと考えられる。世界に誇る伝統的木造文化の継承、そして古材の継続的利用を考える場合、古材強度特性の評価は必須である。

このような背景から、既存の伝統的木造建築物においてその構成部材の残存強度性能や仕口の復元力特性を把握することは大変重要である。ここでは、古材の評価法を検討し、この成果を伝統的木造建築物の保存・継承に資するものとする。

なお、ここで検討対象とする古材には、特に厳密な定義によるものではないが、一度建築物に使用され数十年以上経過した後に解体され再利用を意図する部材、および建築後数十年以上経過した現存する伝統的木造建築物で、構造的な評価に際して材料特性が不明または不確定なため、何らかの評価を必要とする部材を想定している。

５．７．２　実験計画

（１）対象とした古材

1)川越市の古民家解体部材

埼玉県川越市の古民家（推定築190年）解体部材を対象とする。樹種はスギとケヤキである。古民家の外観を写真5.7.2-1に示す。当該建物は瓦葺の平屋、間取りは現地の武家住宅の名残がある。



写真5.7.2-1　外観写真



写真5.7.2-2　実験対象部材（柱）

2)湖南市の古民家解体部材

滋賀県湖南市の古民家（推定築170年）解体部材を対象とする。樹種はスギとアカマツである。古民家の外観を写真5.7.2-3に示す。当該建物は藁葺（下屋部分は瓦葺）の平屋である。



写真5.7.2-3　外観写真



写真5.7.2-4　実験対象部材

3)長野県小諸市の古寺院解体部材

長野県小諸市の古寺院（曹洞宗鷹取山玄江院、推定築300年）解体部材（柱材）を対象とする。樹種はケヤキである。古寺院の外観を写真5.7.2-5に示す。



写真5.7.2-5　外観写真



写真5.7.2-6　実験対象部材（丸柱）

4)長野市の古寺院解体部材

長野市の古寺院（善光寺大勧進萬善堂、推定築110年）解体部材（梁材）を対象とする。樹種はアカマツである。古寺院の外観を写真5.7.2-7に示す。



写真5.7.2-7　外観写真



写真5.7.2-8　実験対象部材（小屋梁）

（２）実験計画の概要

1)古材の材料試験

古材の材料特性の把握を目的として、川越市古民家（上記1)・湖南市古民家（上記2)・小諸市古寺院の解体部材（上記3）に対し、縦圧縮・曲げ・せん断・引張・部分圧縮・硬さの試験を行った。

試験は日本工業規格JISZ2101に準拠し、試験体の作成および載荷を行った。材料試験はそれぞれ、縦圧縮・曲げを名古屋大学・立命館大学で、せん断を名古屋大学・京都大学で、引張・部分圧縮・硬さを名古屋大学で実施した。

2) 古材のめり込み試験

伝統木造建築物においては仕口部のめり込み抵抗が重要な耐震要素となる。特に仕口の変形性能には、降伏後から0.5以上の大ひずみに至るめり込み変形特性が重要な意義を持つ。したがって、建物の正確な耐震性能を検討する上で、古材のめり込み特性の把握は重要である。

そこで、古材のめり込み特性の把握を目的として、川越市古民家・湖南市古民家の解体部材に対し、めり込み試験を行った。めり込み試験は、日本工業規格JISZ2101の部分圧縮試験をベースとしながら、めり込み特性を得るために、載荷方法・解析手法などは独自の方法で実施した。めり込み試験は立命館大学で実施した。

3) 古材の実大強度性能

実大サイズの古材の材料特性の把握を目的として、湖南市古民家・長野市古寺院の解体部材に対し、実大曲げ試験を行った。試験は「構造用木材の強度試験法および評価法（木質構造限界状態設計指針（案）・同解説)、日本建築学会、2003.10」に準拠し、長野県林業総合センター（塩尻市）で実施した。

4) 古材・新材を用いた仕口接合部実験

入手した古材と比較のための新材から仕口試験体を作成し、仕口の回転抵抗モーメントの剛性・降伏値・復元力特性を得て、古材と新材の違いを検証する。

実際の仕口は多様で複雑であるが、複雑な要因やパラメータが入ると比較が困難となるため、仕口のタイプは最も単純で古材の特性が直接発現しやすい通し貫仕口の十字型試験体とすることで、古材と新材の材料としての違いが仕口の復原力特性に及ぼす影響を見る。

樹種は採取できた部材から可能な柱スギ、貫はスギとアカマツとし、サイズは柱100mm角、貫30mm×100mm程度で十字型通し貫仕口を作成して水平載荷を行い、荷重・変形を計測する。

実際の仕口には多くの場合に楔を伴うが、本実験の趣旨からは楔は無いことが望ましいが、無しの工作は困難なことと密着度合いが調整困難なことから、剛性・強度に最も影響しにくいタイプを検討する。

めり込みによる仕口の復元力は既往の実験から一般に弾性剛性は小さいが変形性能が大きく、降伏後も強度が増大し続ける特性が認められることから、層間変形角で0.2radまでの正負繰り返し載荷とする。

仕口接合部の実験結果の回転めり込み解析のために、貫の横圧縮ヤング係数と横圧縮降伏ひずみまたは応力度を求める。その方法は横圧縮試験を基本するが、既存建築物の耐震評価を視野にいれて、非破壊または準非破壊で推定する手法（携帯式載荷・応力波試験）も試みる。

５．７．３　古材の材料試験

（１）対象材料

1) 川越市古民家のスギ（G1およびC189）

柱材(105mm角)として使用されていた。試験体は柱脚の腐朽箇所を除いた健全部から切出した。

本報告ではG1およびC189とする。

2) 川越市古民家のケヤキ（G2およびZ189）

造作材（断面80mm×100mm角）として使用されていた。目視では特に劣化箇所は確認されなかった。本報告ではG2およびZ189とする。

3) 湖南市古民家のアカマツ（N1およびP170）

差鴨居（幅120mm、背360mm）として使用されていた。試験体は端部の虫害箇所を除いた健全

部から切出した。本報告ではN1およびP170とする。

4)湖南市古民家のスギ（N2およびC170）

柱材（200mm角）として使用されていた。試験体は健全部から切出した。本報告ではN2およびC170とする。

5)長野市古寺院のケヤキ（Z300）

本堂内陣の柱材（直径約260mm）として使用されていた。試験体は健全部から切り出した。本報告ではZ300とする。

1)～5)の古材より、各試験（縦圧縮・曲げ・せん断・引張・部分圧縮・硬さ）に対応した試験体を切出して試験を実施した。表5.7.3-1に各試験の試験体数および密度(気乾)の平均値(変動係数%)を示す。

表5.7.3-1　試験体概要

樹種		試験	試験体数	密度(kg/m^3)
G1（C189）	スギ	縦圧縮	6	404（8%）
		曲げ	6	355（2%）
		せん断	6	360（1%）
G2（Z189）	ケヤキ	縦圧縮	6	613（1%）
		曲げ	6	626（3%）
		せん断	6	603（1%）
N1（P170）	アカマツ	縦圧縮	6	501（10%）
		曲げ	6	469（1%）
		せん断	6	540（10%）
N2（C170）	スギ	縦圧縮	6	460（9%）
		曲げ	6	430（6%）
		せん断	6	460（2%）
Z300	ケヤキ	縦圧縮	21	649（9%）
		曲げ	20	664（4%）
		せん断	26	653（8%）
		引張	20	665（4%）
		部分圧縮	20	668（5%）
		硬さ	36	446（4%）

※（　）内は変動係数(%)

（２）試験方法

1)圧縮

Z300については、試験体寸法を断面25mm×25mm、高さ60mmの直方体とした。載荷は、変位速度0.4mm/minで試験体に座屈線が確認できるまで行った。ひずみは、試験体中央部の対面にひずみゲージを計2枚貼付して測定し、その平均値とした。

Z300以外については、縦圧縮試験の試験体寸法は、断面30mm×30mm、高さ60mmの直方体とした。縦圧縮ヤング係数は試験体のひずみ計測位置によって異なるため、図5.7.3-1に示す試験装置を用い、通常の試験体中央部におけるひずみゲージ（正面背面の2面）計測によるヤング係数（Ec）の他に、試験機のクロスヘッド間ひずみによるもの（Ea)、中間部ひずみ（Eb）（中間部30mm間を左右2個の変位計により計測）の3つのヤング係数を算出した。載荷速度は0.2mm/minとし、応力度-ひずみの履歴傾向を把握するためクロスヘッド間ひずみで2%程度まで載荷した。縦圧縮試験体を写真5.7.3-1に示す。

測定項目は圧縮ヤング係数（kN/mm^2）（Z300以外）及び圧縮強さ（N/mm^2）とした。

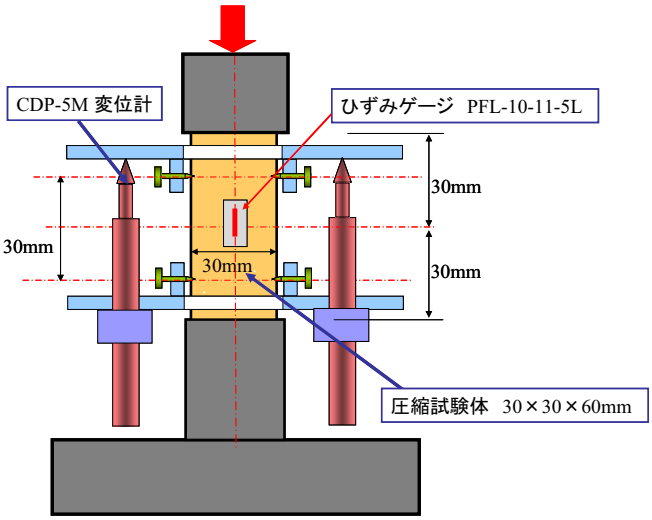


図5.7.3-1　中間部変位計測装置

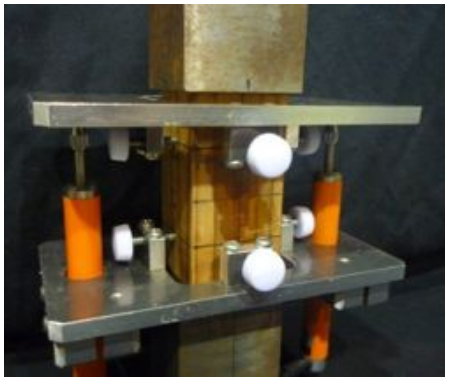


写真5.7.3-1　縦圧縮試験体

2)曲げ

曲げ試験体の試験体寸法は、断面20mm×20mm、長さ320mmとし、スパン長280mmの3点載荷とした。載荷速度は1.0mm/minとし、中央部のたわみを変位計で計測した。測定項目は曲げヤング係数（kN/mm²）及び曲げ強さ（N/mm²）とした。

3)せん断

せん断試験体は図5.7.3-2が示すように、断面30mm×30mm、高さ40mmとした。Z300以外は柾目面のみの、またZ300は柾目面および板目面の載荷試験を行い、断面10mm×10mmの切欠部を載荷速度1.0mm/minで載荷した。測定項目はせん断強さ（N/mm²）とした。

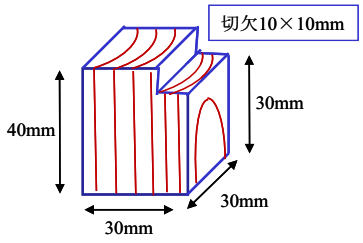


図5.7.3-2　せん断試験体

4)引張

試験体寸法は15×25×390mm、中央部柾目面にテーパーを設けた（最小断面は5×25mm）。ひずみゲージ（FLA-10-11）を貼り、荷重とひずみを測定した。試験は試験体が破壊するまで行った。測定項目は引張強さ（N/mm²）とした。

5)部分圧縮

試験体寸法は25×25×80mm、試験は加圧の際に、鉄製の直方体を試験体と試験機クロスヘッドの間に挟むことによって行った。鉄製の直方体の辺の長さは29mmであり、加圧面積を算出した。クロスヘッド速度は0.4mm/minとし、ストロークが1.4mmを超えるまで負荷した。ひずみゲージは用いず、ストロークからひずみを算出した。測定項目は5%部分圧縮強さ（N/mm²）とした。

6)硬さ

試験体寸法は25×25×25mmとした。小型材料試験機を使用し、ブリネル硬さ試験方法に準じて実施した。10mmの鋼球の圧入深さを1/π≒0.32mmとして実験を行った。 測定は木口面、柾目面、板目面の3断面で、1断面につき3回測定を行いその平均をとった。板目面では木表面に負荷した。測定項目はブリネル硬さ（木口面、柾目面、板目面）（N/mm²）とした。

（３）評価方法

強度試験の結果得られた古材の強度性能について、同一樹種の未使用新材（実験値）と比較した。強度比較にあたり、古材と新材の密度分布を同等にする必要がある。ここでは、新材と同等の密度分布を持つ古材の強度性能をモンテカルロシミュレーション法により推定した。方法は次のとおりである。

① 任意の密度を1つ抽出する。ここでは、モンテカルロシミュレーションの繰り返し計算全体を通じて、抽出した密度が新材の密度分布を模倣するようにノンパラメトリックに抽出した。
② 抽出した密度を古材の密度－強度関係式に当てはめ、これに回帰残差を加えて、任意の密度に対応する強度を得る。
③ 任意の密度に対応する強度の回帰残差は正規分布を示すものとした。平均値は回帰直線上の値とし、また残差標準偏差は密度－強度関係の決定係数と強度の標準偏差より算出した。
④ ①~③を十分多数回繰返し、古材の強度に関する推定分布を得た。繰返し回数は5000回とした。

以上の方法で推定した古材の強度分布と新材の強度分布について、累積頻度曲線の差異を検討するKS検定（コルゴモノフ－スミルノフ検定）および多重比較（多群間の平均値の差の検定、ここではボンフェローニ法を採用する）により比較した。なお、多重比較では有意差の検出力が過剰になるのを避けるために、古材の推定強度分布について、上記の推定分布から分布を維持するようにデータ（n=25）を抽出した。

（４）結果と考察

1) 力学性能

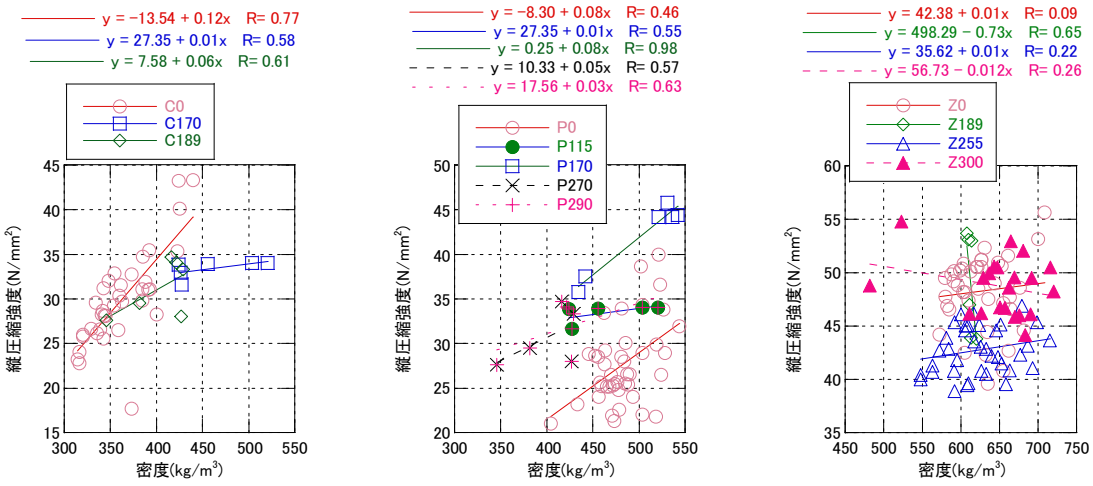
表5.7.3-2に、古材の無欠点小試験片による強度試験（JIS準拠）より得られた力学性能の平均値（変動係数%）を示す。

表5. 7. 3-2　力学性能ごとの平均値

樹種			圧縮ヤング係数 (kN/mm²)	圧縮強度 (N/mm²)	曲げヤング係数 (kN/mm²)	曲げ強度 (N/mm²)	せん断強度 (N/mm²)	引張強度 (N/mm²)	部分圧縮試験 (N/mm²)	硬さ (N/mm²)		
										木口面	柾目面	板目面
G1(C189)	スギ		5.9 (0.2)	31.2 (10.3)	6.6 (8.7)	56.1 (8.3)	6.9 (5.9)	－	－	－	－	－
G2(Z189)	ケヤキ		12.4 (0.02)	49.1 (9.7)	12.0 (1.2)	110.9 (3.7)	15.7 (7.4)	－	－	－	－	－
N1(P170)	アカマツ		13.3 (0.2)	42.0 (10.1)	10.4 (4.2)	68.6 (14.6)	9.3 (8.2)	－	－	－	－	－
N2(C170)	スギ		5.5 (0.05)	33.4 (2.9)	6.2 (12.8)	59.8 (11.6)	8.4 (37.8)	－	－	－	－	－
Z300	ケヤキ	全体	－	48.7 (5.5)	11.0 (14.5)	99.7 (11.9)	12.8 (16.5)	120.6 (24.7)	15.9 (7.5)	27.9 (35.2)	11.5 (26.3)	12.7 (21.5)
		辺材LR		－	－	－	13.0 (13.6)	－	15.3 (5.5)	29.6 (46.1)	10.9 (21.2)	12.0 (29.3)
		辺材LT					13.8 (7.8)		16.8 (7.5)			
		心材LR					11.8 (39.2)		15.3 (5.0)	26.1 (10.5)	12.0 (29.3)	13.8 (23.9)
		心材LT					12.4 (18.0)		16.3 (6.9)			

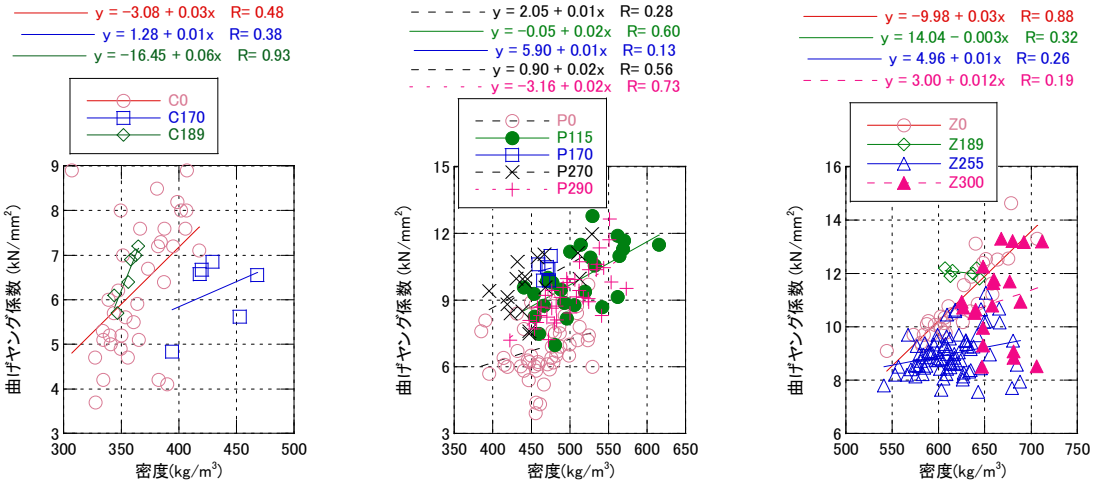
※（　）内は変動係数（%）

これらの力学性能と密度の関係について、圧縮強度、曲げヤング係数、曲げ強度、せん断強度、引張強度、硬さ、圧縮ヤング係数の結果をそれぞれ図5.7.3-3～図5.7.3-10に示す。ここでは、過去の研究で得られた古材の強度性能も併せて示す。図中の試験体記号について、頭のアルファベットは樹種を意味し、Cはスギ、P：アカマツ、Zはケヤキを指す。また、その後ろの数字は古材を採取した建物の解体時の推定築年数である。



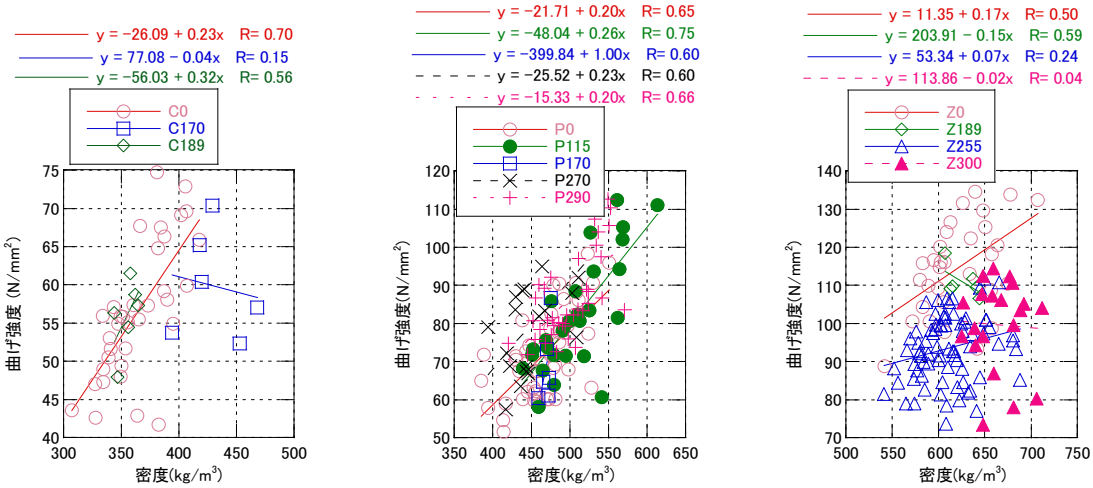
（a）スギ　（b）アカマツ　（c）ケヤキ

図5.7.3-3　密度と圧縮強度の関係



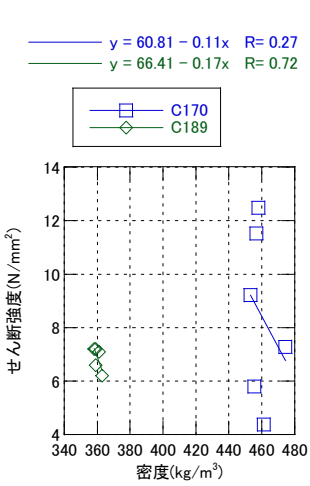
（a）スギ　（b）アカマツ　（c）ケヤキ

図5.7.3-4　密度と曲げヤング係数の関係

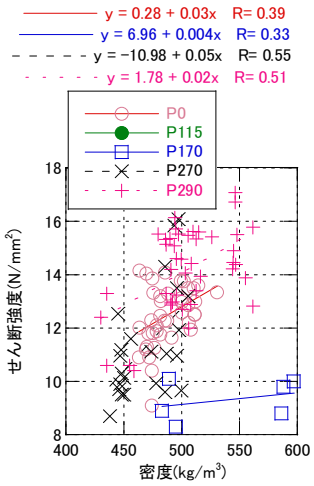


（a）スギ　（b）アカマツ　（c）ケヤキ

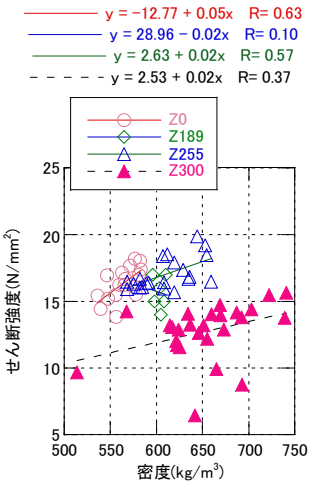
図5.7.3-5　密度と曲げ強度の関係



（a）スギ



（b）アカマツ



（c）ケヤキ

図5.7.3-6　密度とせん断強度の関係

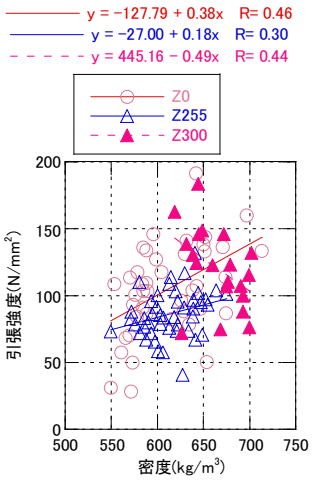


図5.7.3-7　密度と引張強度の関係

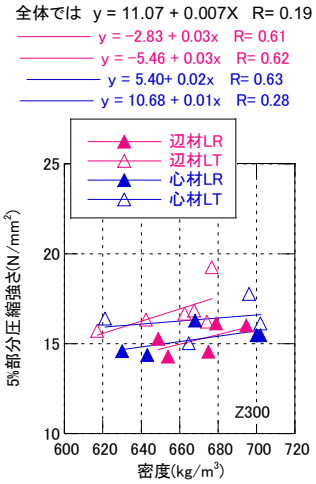


図5.7.3-8　密度と部分圧縮強度の関係
（Z300のみ）

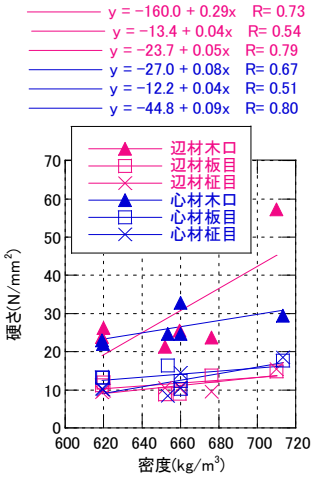


図5.7.3-9　密度と硬さの関係（Z300のみ）

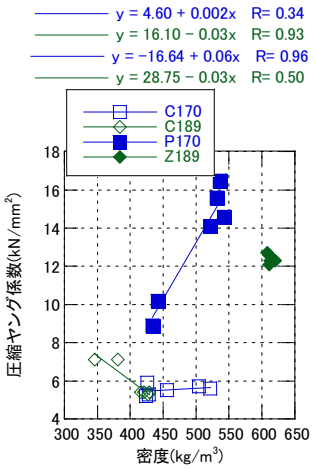


図5.7.3-10　密度と圧縮ヤング係数の関係
（Z300以外）

なお、縦圧縮ヤング係数について縦ひずみの測定法を検討した。表5.7.3-2にG1・G2・N1・N2におけるひずみ計測位置の違いによる縦圧縮ヤング係数を示す。

表5.7.3-3より、Ecを1.00とするとそれぞれ、(Ea : Eb : Ec) =G1 (0.60 : 1.08 : 1.00)、G2 (0.56 : 0.88 : 1.00)、N1 (0.50 : 0.93 : 1.00)、N2 (0.62 : 0.93 : 1.00) となった。この比率においては、新材や古材を対象とした既往の試験結果においてもほぼ同様の結果が得られている。したがって、縦圧縮においては、部材の経過年数や樹種の違いに拘らず、載荷時の各部位における変形度はほとんど変わらないと考えられる。

表5.7.3-3　ひずみ計測位置別における縦圧縮ヤング係数

樹種		縦圧縮ヤング係数		
		Ea (GPa)	Eb (GPa)	Ec (GPa)
G1	スギ	3.5 (0.60)	6.4 (1.08)	5.9 (1.00)
G2	ケヤキ	7.0 (0.56)	10.9 (0.88)	12.4 (1.00)
N1	アカマツ	6.6 (0.50)	12.4 (0.93)	13.3 (1.00)
N2	スギ	3.4 (0.62)	5.1 (0.93)	5.5 (1.00)

※（　）内の数値：Ecを1としたときの比率

2)新材との強度比較

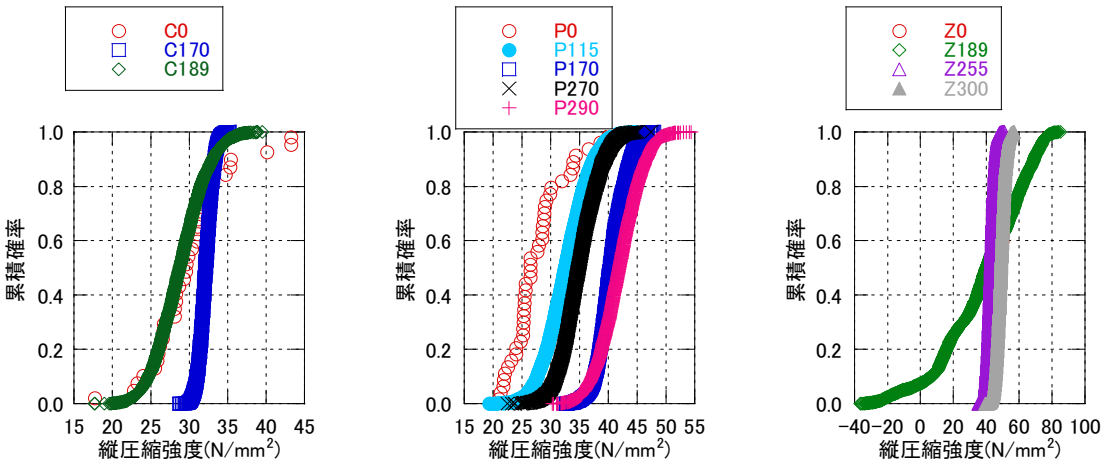
前述の結果から、古材と同一樹種未使用新材の強度性能を比較した。同一樹種の未使用新材の密度分布と同等の密度をもつ古材の強度分布をモンテカルロシミュレーション法により推定し、この推定強度分布と新材の強度分布について、累積頻度曲線の差異を検討するKS検定（コルゴモノフ－スミルノフ検定）および多重比較（多群間の平均値の差の検定、ここではボンフェローニ法を採用する）により比較した。

まず、KS検定の結果を表5.7.3-4にまとめる（KS検定の有意差は必ずしも強度の優劣を意味しないことに注意されたい)。図5.7.3-11～図5.7.3-15には、検定に用いた新材の強度分布と古材の推定強度分布の累積頻度曲線を併せて示す。

なお、幾つかの図において、シミュレーションによる推定強度値がマイナスの値をとる不自然なデータがある。これは、実験上、強度のバラツキあるいは試験体数の少なさの影響により、強度の実験値と密度の間に明確な関係が見られないことに起因する。不自然な結果ではあるが、下限および上限を決定することができないこと、また、上述のように実験結果に起因するシミュレーション結果であることから、ここではシミュレーションの結果をそのまま掲載する。

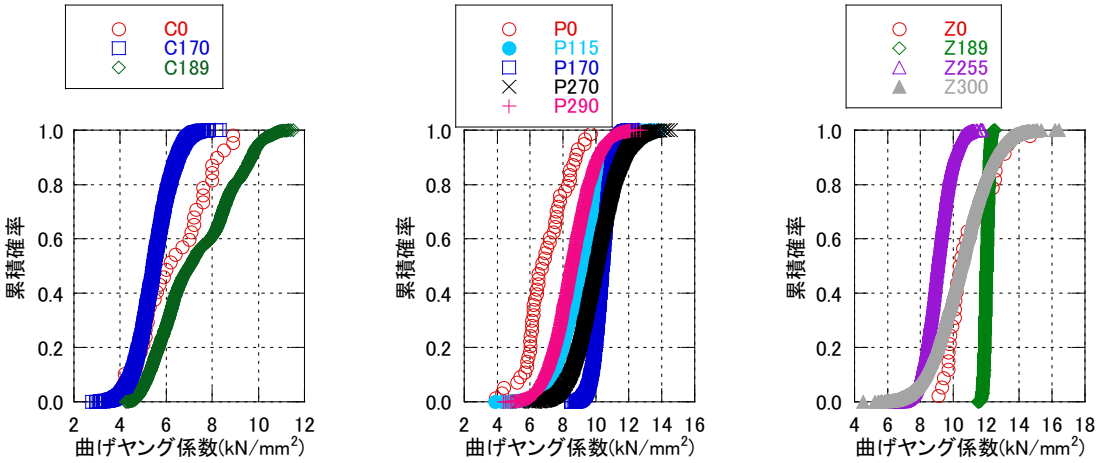
表5.7.3-4　古材の力学性能

表　KS検定の結果(累積頻度曲線の比較)					
	圧縮強度	曲げ ヤング係数	曲げ強度	せん断強度	引張強度
C0-C170	1%	5%	1%	-	-
C0-C189	NS	1%	NS	-	-
P0-P115	1%	1%	NS	-	-
P0-P170	1%	1%	NS	1%	-
P0-P270	1%	1%	1%	1%	-
P0-P290	1%	1%	1%	1%	-
Z0-Z189	1%	1%	1%	1%	-
Z0-Z255	1%	1%	1%	NS	1%
Z0-Z300	NS	5%	1%	1%	1%
※　1%:99%有意;　NS:有意差は認められない					



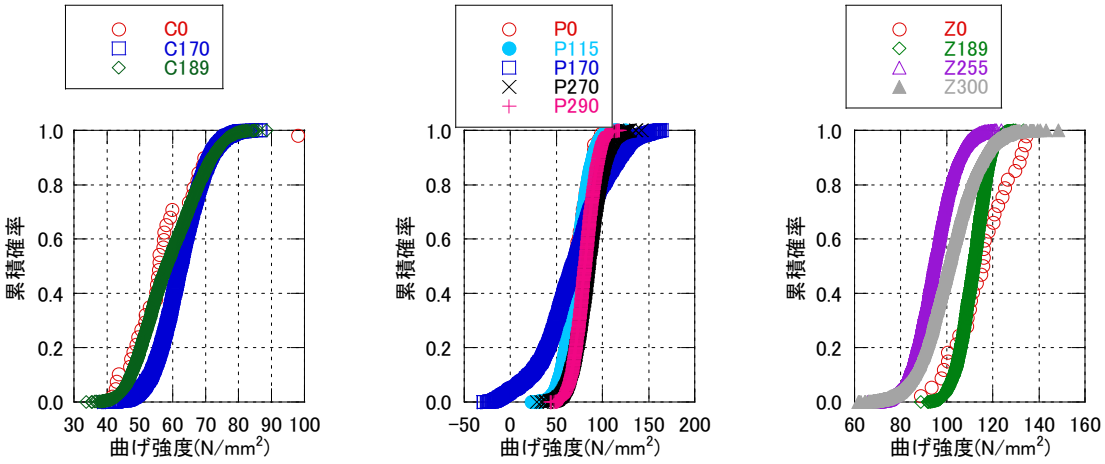
（a）スギ　（b）アカマツ　（c）ケヤキ

図5.7.3-11　古材と新材の比較（圧縮強度）



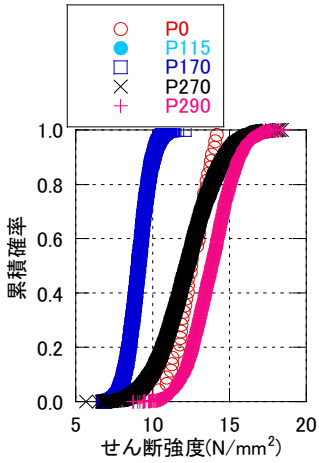
（a）スギ　（b）アカマツ　（c）ケヤキ

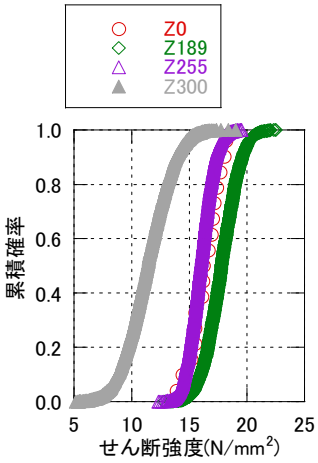
図5.7.3-12　古材と新材の比較（曲げヤング係数）



（a）スギ　（b）アカマツ　（c）ケヤキ

図5.7.3-13　古材と新材の比較（曲げ強度）





(a) アカマツ　　(b) ケヤキ

図5.7.3-14　古材と新材の比較（せん断強度）

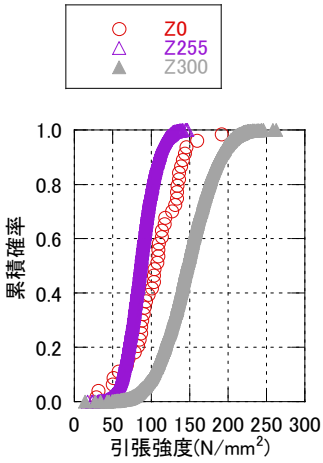
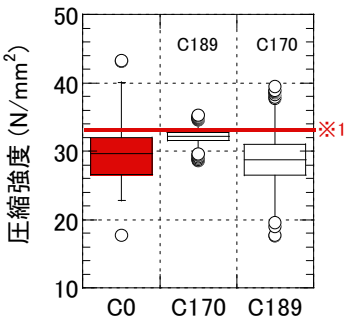
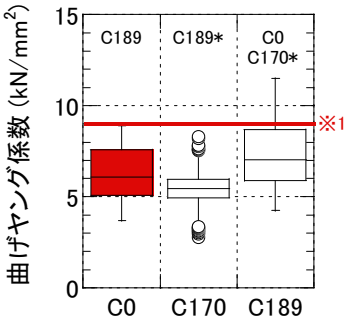
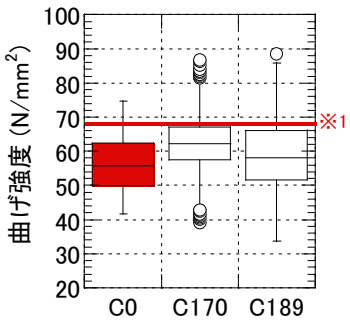


図5.7.3-15　古材と新材の比較（引張強度）

続いて、図5.7.3-16～図5.7.3-18に多重比較の結果（検定に用いたデータから箱ひげ図を作成）を示す。図中には、検定の結果、当該群と有意差が認められた他群の名称を記した。危険率5%で認められた場合は無印で、また危険率1%で認められた場合は*で示した。また、参考データとして、新材の文献値[5.7.3-1)]を併せて示す。

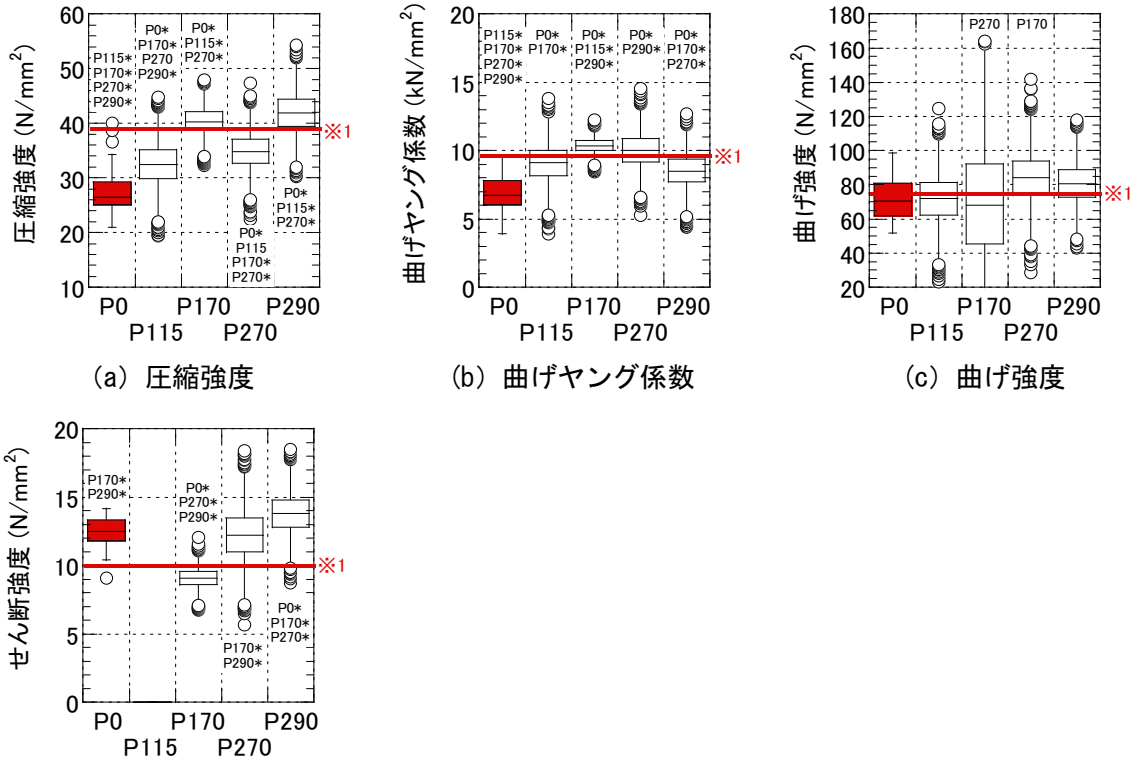






(a) 圧縮強度　　(b) 曲げヤング係数　　(c) 曲げ強度

図5.7.3-16　スギにおける古材と新材の強度比較（多重比較）
（図中の※1のラインはC0と概ね同様の密度を持つと思われる文献値[5.7.3-1)]）

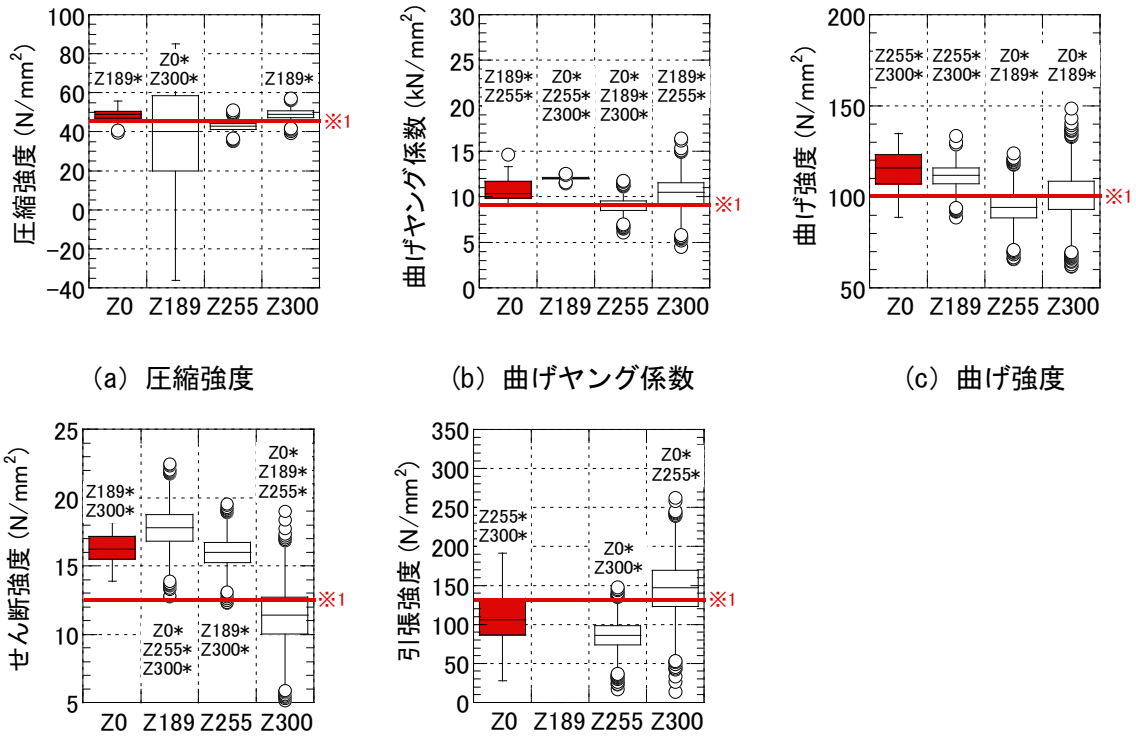


（a）圧縮強度　（b）曲げヤング係数　（c）曲げ強度

（d）せん断強度

図5.7.3-17　アカマツにおける古材と新材の強度比較（多重比較）

（図中の※1のラインはP0と概ね同様の密度を持つと思われる文献値[5.7.3-1)]）



（a）圧縮強度　（b）曲げヤング係数　（c）曲げ強度

（d）せん断強度　（e）引張強度

図5.7.3-18　ケヤキにおける古材と新材の強度比較（多重比較）

（図中の※1のラインは文献値[5.7.3-1)]。ただし、Z0と比べて密度が小さい）

以上の結果より、古材の材料試験の結果をまとめる。ただし、古材データ、比較対照の新材データともに限られた供試材からの試験結果であるので、ここで述べる見解はまだ限定的な予測の域を超えない。これについて、新材の強度性能については文献値[5.7.3-1)]も参考にしたが、いずれにしても、経年使用が木材の強度に与える影響を明確にするためには更なるデータの集積が必要であることに留意されたい。

① 圧縮強度
スギでは、全体として古材の圧縮強度は新材の圧縮強度と同程度と思われる。
アカマツでは、いずれの実験群も新材と比べて高強度であり、また、築年数とともに高い強度値を示す傾向にある。ただし、新材文献値[5.7.3-1)]と比較すればさほどの高強度ではない。
ケヤキでは、Z189で密度との関係が見られず、その後の統計評価で不自然な結果を生じた。全体としては古材の圧縮強度は新材の圧縮強度と同程度と思われる。

② 曲げヤング係数
スギおよびアカマツでは、全体に新材と比べて高ヤング率である。ただし、新材文献値[5.7.3-1)]と比較すればさほどの高ヤング率ではない。
ケヤキでは、変動はあるものの、全体として古材の曲げヤング係数は新材と同程度と思われる。

③ 曲げ強度
スギおよびアカマツでは、古材の曲げ強度は築年数の増加に伴いほんのわずかに大きくなるように見えるが、全体としては古材の曲げ強度は新材と同程度である。
ケヤキでは、Z189の曲げ強度は新材と同程度であるが、Z255およびZ300の曲げ強度は新材と比べてやや小さい傾向にある。ただし、新材文献値[5.7.3-1)]と比べればさほど低強度ではない。

④ せん断強度
アカマツでは、築年数と強度の間に明確な傾向が見られない。現段階では、P170およびZ300がやや小さい傾向にあるが、全体としては新材と同程度と考えられる。
ケヤキでは、Z189がやや大きいが、築年数とともに低強度となるようである。Z300の平均値は新材文献値[5.7.3-1)]を下回っており、文献値データの密度が本データ群より小さいことも考えると、若干の注意が必要かもしれない。

⑤ 引張強度
ケヤキの引張強度は、Z300がやや大きい傾向にあるものの、新材文献値と比べて同程度と思われる。

（参考文献）

5.7.3-1）中井孝、山井良三郎「日本産主要樹種の性質　日本産主要35樹種の強度性質」、林業試験場研究報告第319号（1982）

５．７．４　古材のめり込み試験

（１）試験方法

めり込み試験は、JISZ2101の部分圧縮試験をベースとしながら、載荷時における試験体両端の跳ね上がり防止を意図として図5.7.4-1に示す「挟み込み式載荷」とした[5.7.4-1)]。木口の年輪傾角等の変化を含む試験体間のばらつきを極力少なくするため、めり込み試験体は1個の部分圧縮試験体（P）と繊維方向の両隣の2個の全面横圧縮試験体（S）を1セットとし、部分圧縮試験結果と2つの全面横圧縮試験結果との比較によりめり込みに関わるパラメータを求める。めり込み試験は、柾目方向（LR方向載荷）、板目方向（LT方向載荷）、追柾方向（LRとLTの中間でLTRと称する）の3種の年輪方向（図5.7.4-2）に対し試験を行った。試験体寸法はめり込み試験体が断面30mm×30mm、長さ90mmの直方体、全面横圧縮試験体が一辺30mmの立方体とする。めり込み試験体長さは、高さの3倍であるが、挟み込み式とすることで有効高さは15mmとなって、載荷長比λは1、端距離比δは2となり、ほぼ無限長のめり込み条件が確保される。

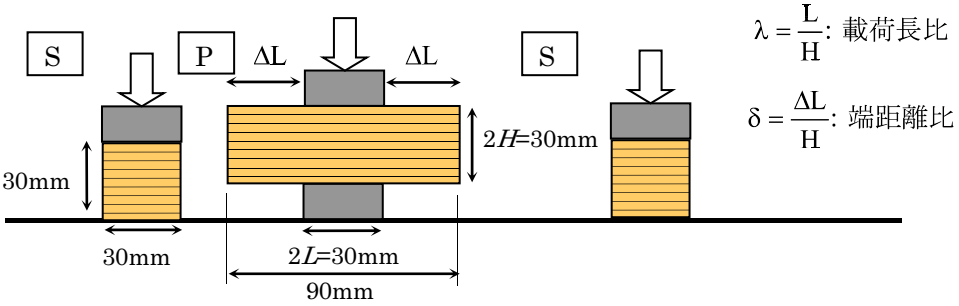


図5.7.4-1　めり込み試験体

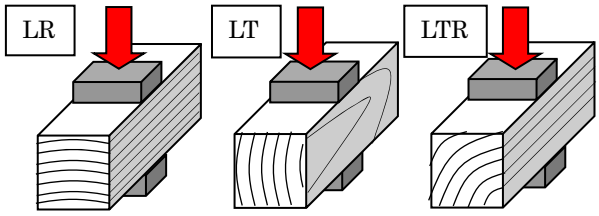


図5.7.4-2　年輪方向

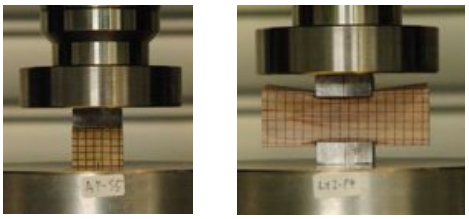


写真5.7.4-1　載荷の様子

表5.7.4-1　試験体概要

樹種		年輪方向	試験体数（セット）	密度（kg/m^3）
G1	スギ	LR	6	375 (3%)
		LT	6	365 (4%)
		LTR	6	349 (2%)
G2	ケヤキ	LR	6	620 (2%)
		LT	6	615 (1%)
		LTR	6	612 (1%)
N1	アカマツ	LR	6	462 (2%)
		LT	6	464 (1%)
		LTR	6	543 (8%)
N2	スギ	LR	6	420 (7%)
		LT	6	433 (8%)
		LTR	6	442 (6%)

載荷速度は、部分圧縮、全面横圧縮ともに0.5mm/minとし、各年輪方向それぞれ2セットは、大ひずみの挙動を確認するためにひずみ0.6を越える大ひずみまで載荷した。残りはひずみ0.2までの載荷とした。試験体数は1つの年輪方向で6セット（1つの古材で3方向18セット）とした。試験体概要を表5.7.4-1に示す。密度の（ ）内は変動係数を示す。

（２）評価方法

めり込み試験の評価法には弾塑性パステルナークモデル（以下EPMと略す）を用いる。

連続体の最も簡易な力学的モデルであるウィンクラーモデル（同WM：図5.7.4-3）を鉛直方向のせん断剛性Gで連続性を確保したものがパステルナークモデル（同PM：図5.7.4-4）で、めり込み表面変位は指数関数で表され、木材のめり込み現象に適したモデルである。

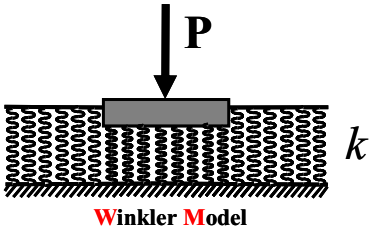


図5.7.4-3　ウィンクラーモデル

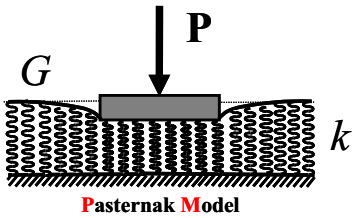


図5.7.4-4　パステルナークモデル

EPMはPMを弾塑性挙動に拡張したモデルで、指数関数のひずみ分布とひずみ硬化に基づく降伏メカニズムの概念図（図5.7.4-5）に示すように、部分圧縮試験結果と全面横圧縮試験結果の比較により、EPMパラメータを設定してシミュレートすることが可能であり、(1)-(8)式の均等めり込みの定式化は棚橋ら[5.7.4-1)]の提案による。

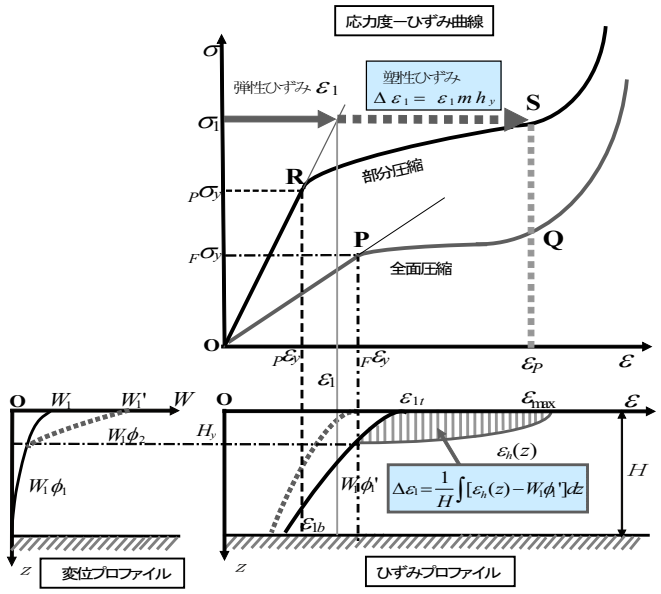


図5.7.4-5　降伏メカニズムの概念図

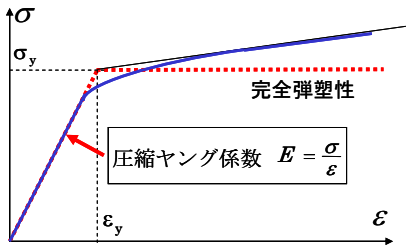


図5.7.4-6　降伏点の算定法

めり込み部の剛な載荷板のエッジ付近は、早い時期から降伏し塑性化が起こるとされているが、ある段階までは弾性と見なして部分圧縮の場合の内部の鉛直方向のひずみ分布を一個のひずみの形状関数(7)式で近似化し、その平均ひずみを ε_1、最上部でε_{1t}、最下部でε_{1b} と仮定する。荷重増大とともにε_1 が増大し、最上部のひずみε_{1t} が全面横圧縮の降伏ひずみ$_F\varepsilon_y$ に達して**R**点で明瞭に降伏が現れ、その点のひずみを部分圧縮降伏ひずみ $_P\varepsilon_y$ とすると、(8)式の関係より、η は**R**点と**P**点のひずみの比で決まる。表面からH_yまでの降伏した部分は全面圧縮の挙動に従いひずみが急増し、**S**点でひずみ硬化に至って落ち着くとする。荷重の増大に伴い、その塑性範囲が下部に拡大する関係を、降伏深さ比h_yと弾性ひずみに対する平均ひずみ増大率mの積で、ひずみプロファイルの塑性ひずみ量$\Delta\varepsilon$を表し、弾性段階の剛性増大率ζ_pと塑性のひずみ増大を(3)式の剛性関数$\zeta_p(\varepsilon)$でまとめて表現する。したがって剛性関数は、弾塑性挙動を制御する重要な機能をもつ。このようにして、弾塑性ひずみ-応力度関係が得られる。

なお、ここでのヤング係数E は、クロスヘッドの変位により求めた横圧縮ヤング係数とし、降伏点は図5.7.4-6に示すように降伏後の近似直線と弾性直線の交点と定義し、EPM解析の基本となる $\sigma_y = \varepsilon_y E$ の関係が確保される。この点で、JISZ2101による降伏点などとは若干異なる。

応力度－ひずみ関係：$\varepsilon_p = \dfrac{\sigma}{E\zeta_p(\varepsilon)}$ (1)

剛性増大率：$\zeta_p = 1 + \dfrac{1-e^{-\gamma\Delta L}}{\gamma L} = 1 + \dfrac{1-e^{-\gamma H\delta}}{\gamma H\lambda}$ (2)

剛性関数　：$\zeta_p(\varepsilon) = \dfrac{\zeta_p}{1+mh_y}$ (3)

無次元特性値：γH，端距離：ΔL，
部材高さ：H，載荷長：$2L$，
端距離比：$\delta = \Delta L / H$，載荷長比：$\lambda = L / H$

実用近似式

$$\begin{cases} \text{平均ひずみ増大率}：m = C(1-1/\kappa) \\ \text{降伏深さ比}：h_y = \dfrac{H_y}{H} = \dfrac{1}{\eta}\ln\kappa \quad (0 \le h_y \le 1) \end{cases} \quad (4)$$

塑性ひずみ倍率：C，　降伏深さ：H_y

降伏比　：$\kappa = \dfrac{\varepsilon}{_P\varepsilon_y} = \dfrac{\varepsilon\eta}{_F\varepsilon_y}$ (5)

実用ひずみ分布：$W_1\phi_1' = \varepsilon_1\eta e^{-\eta\frac{z}{H}}$ (6)

表面変位：W_1，その平均ひずみ：ε_1

ひずみの形状関数：$\phi_1' = \eta e^{-\eta\frac{z}{H}}$ (7)

パラメータ：　$\eta = \dfrac{_F\varepsilon_y}{_P\varepsilon_y}$ (8)

全面圧縮降伏ひずみ：$_F\varepsilon_y$，部分圧縮降伏ひずみ：$_P\varepsilon_y$

具体的には、部分圧縮試結果と全面横圧縮試験結果（いずれも載荷面積あたりの応力度と元の高さあたりのクロスヘッド間ひずみで示す）の比較により、(1)-(8)式を用いた均等めり込みの弾塑性応力度−歪関係のシミュレーションを行い、EPMのパラメータの特定を行った。パラメータは、E、ε_y（またはσ_y）、γH、η、Cの5つで、E、ε_yはめり込み試験体の両隣の全面横圧縮試験体2つのクロスヘッド間ひずみによる横圧縮ヤング係数と降伏ひずみの平均値である。その他のパラメータは、全面横圧縮試験結果とめり込み試験結果の剛性の比率より無次元特性値γH（値が小さいほど剛性増大率が大きくなる）、降伏ひずみの比率よりη、降伏後の剛性に沿うように定数Cを順次決定する。

（３）結果と考察

1)応力度–ひずみ曲線

各年輪方向別においてひずみ0.6以上まで載荷した際の応力度–ひずみ曲線と載荷後の試験体形状を図5.7.4-7～図5.7.4-10に示す。

なお、本報告においては、2010年に実施した既往の実験「新材＜スギ・ヒノキ・アカマツ・ケヤキ＞・古材＜ヒノキ（経過年数375年）・アカマツ（経過年数155年・300年）・ケヤキ（経過年数167年・375年）＞を対象」の結果[5.7.4-2)]も含めた検討を行う。

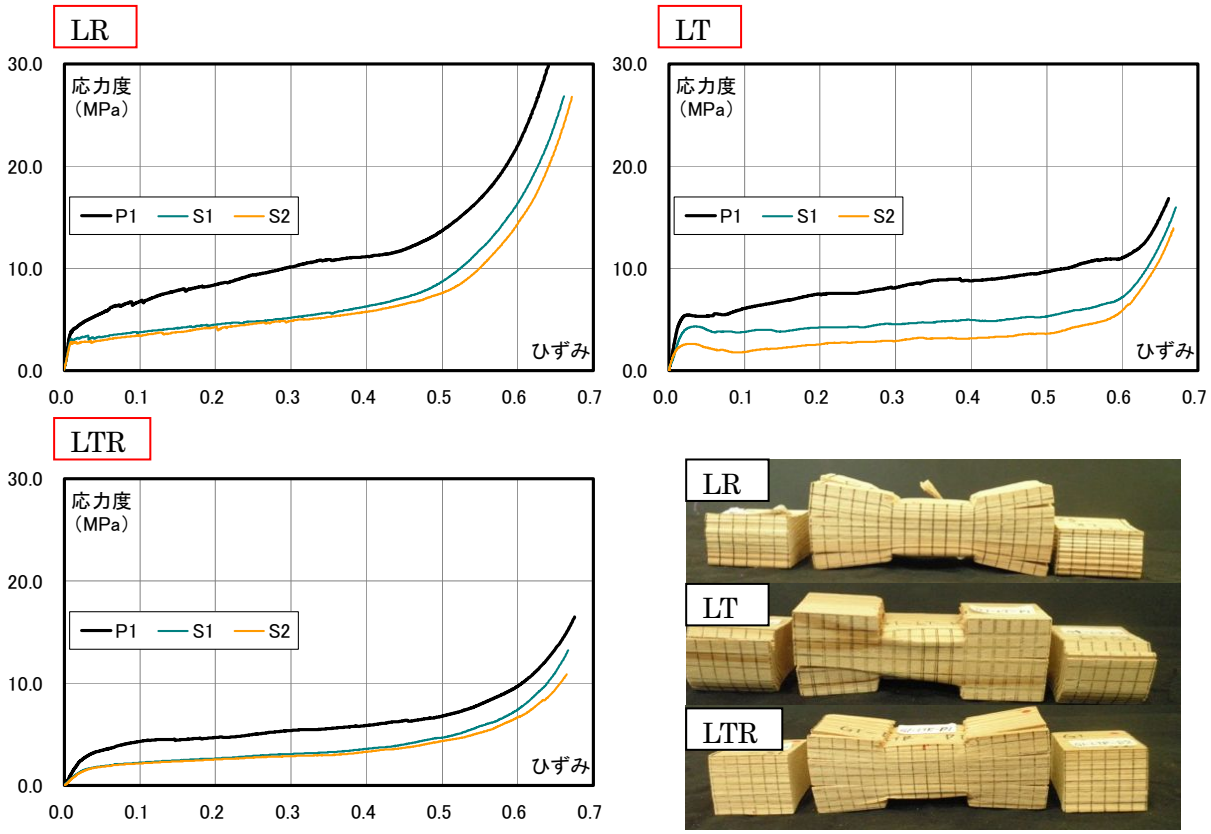


図5.7.4-7　G1（スギ）の応力度-ひずみ曲線と載荷後形状

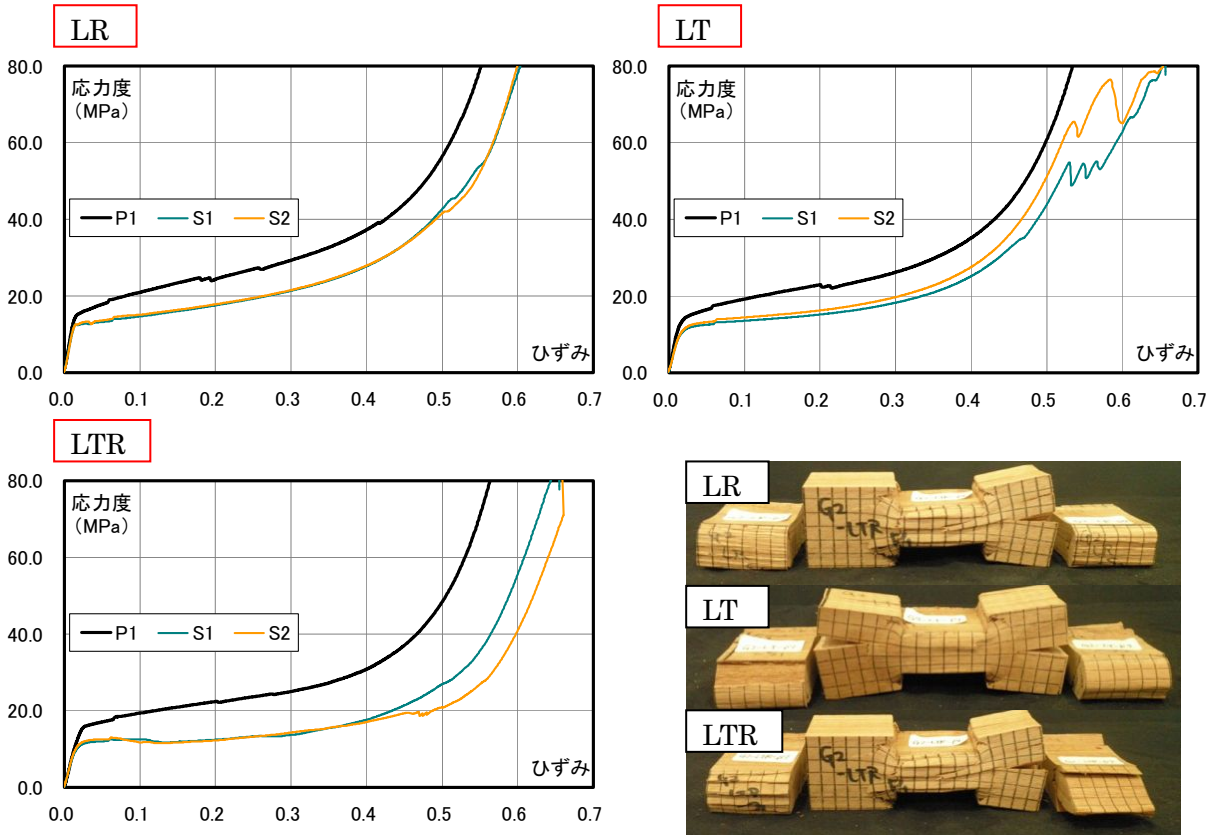


図5.7.4-8　G2（ケヤキ）の応力度-ひずみ曲線と載荷後形状

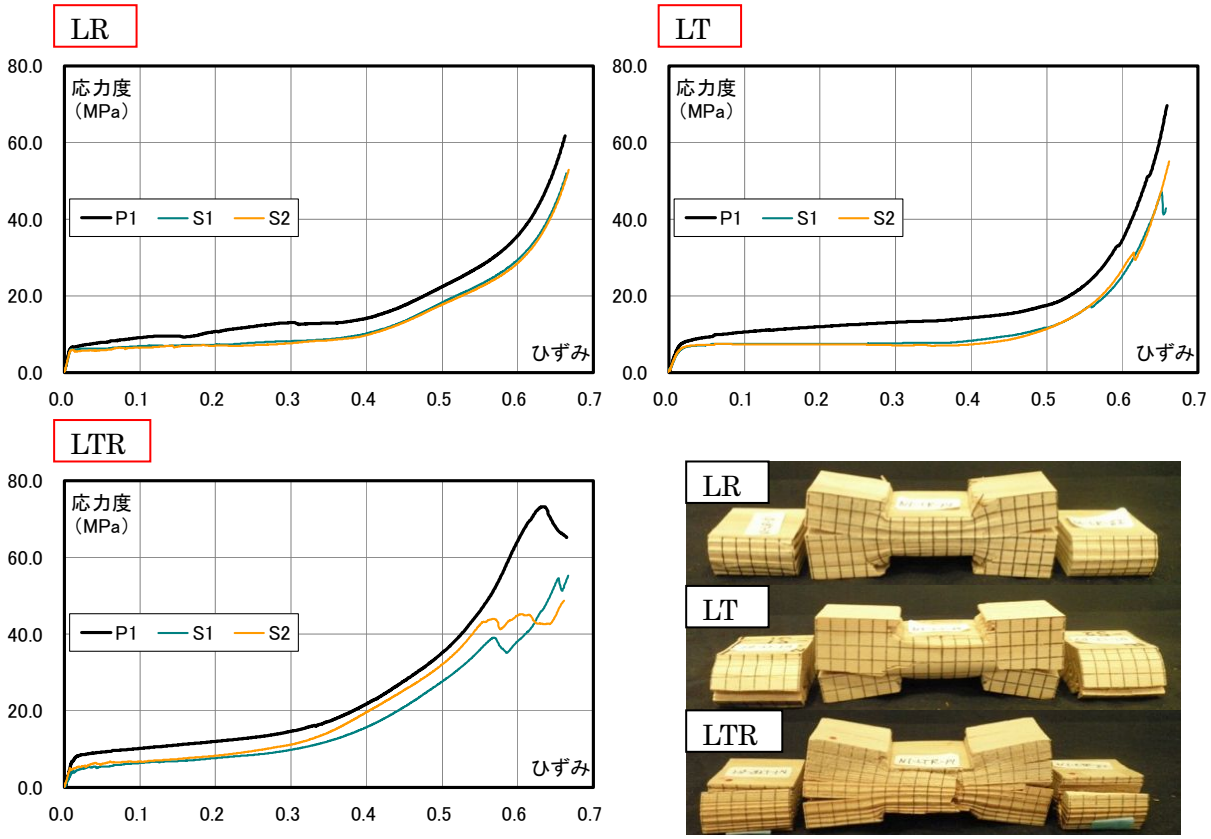


図5.7.4-9　N1（アカマツ）の応力度-ひずみ曲線と載荷後形状

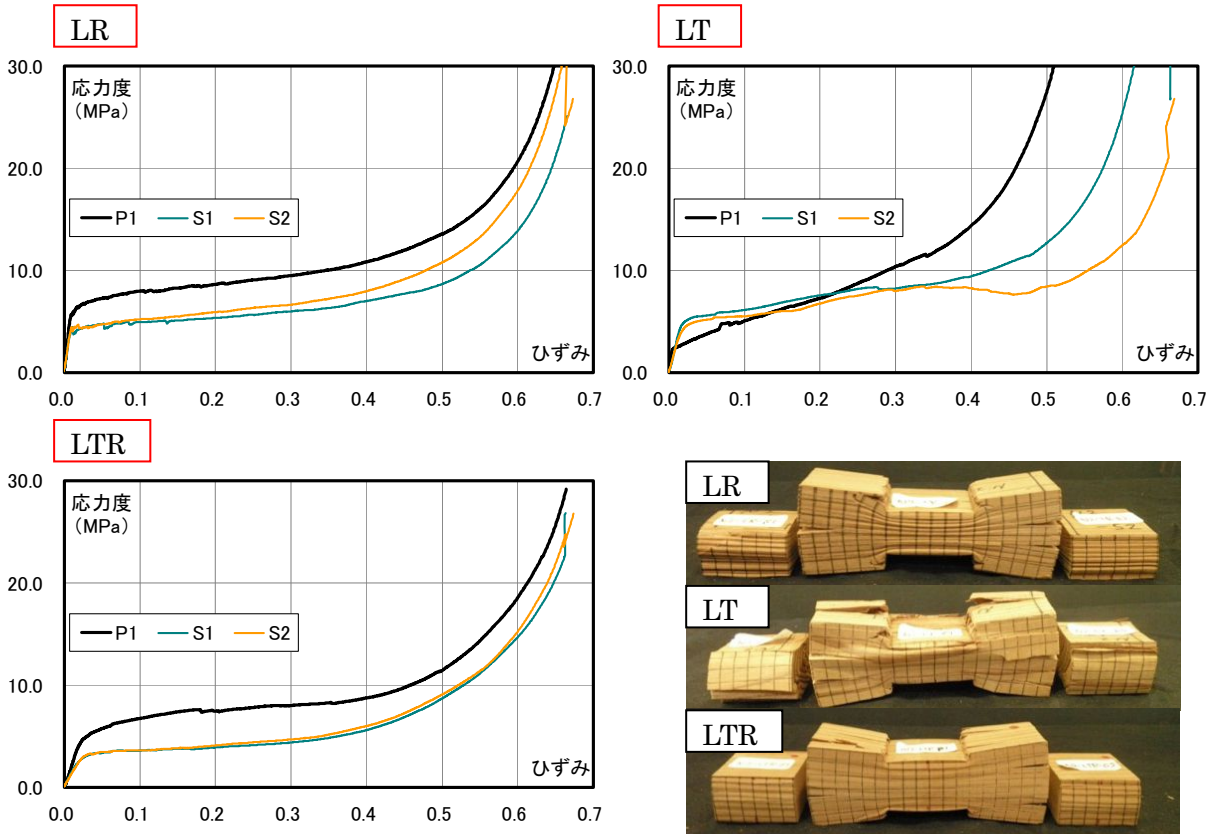


図5.7.4-10　N2（スギ）の応力度-ひずみ曲線と載荷後形状

樹種別で比較すると、ケヤキ（G2）においては、他の樹種よりも2次勾配が大きく、ひずみ硬化現象による応力度上昇も比較的ひずみの早い段階（ひずみ0.3あたり）で発生していることがわかる。載荷後（大変形時）の試験体形状を見ると、スギに比べアカマツとケヤキは端部が脆く崩れている試験体が多く見られた。

年輪方向別で見ると、LR方向においては全樹種で大変形時においても、目立った破損のない安定しためり込みが起こっている。それに対し、LT方向は全樹種で、LTR方向においてはケヤキ・アカマツで大変形時に脆く崩れる結果となった。この結果に関しては、スギLT・アカマツLTR・ケヤキLTの応力度-ひずみ曲線にも応力度の不安定さとして現れている。特にLT方向においては、載荷の途中で年輪が座屈するような現象が確認されている。

なお、全面圧縮試験における横圧縮ヤング係数Eと降伏応力度σ_yとの間には、2010年に実施した実験結果[5.7.4-2)]と今回の実験結果を統合して図5.7.4-11が示すように、高い相関関係（決定係数R^2=0.76）が得られている。したがって、樹種・部材の経過年数・年輪方向に関係なく、Eとσ_yのどちらか一方を把握することで、もう一方の数値を予測することが可能だと考えられる。ただし、精度の問題は残る。

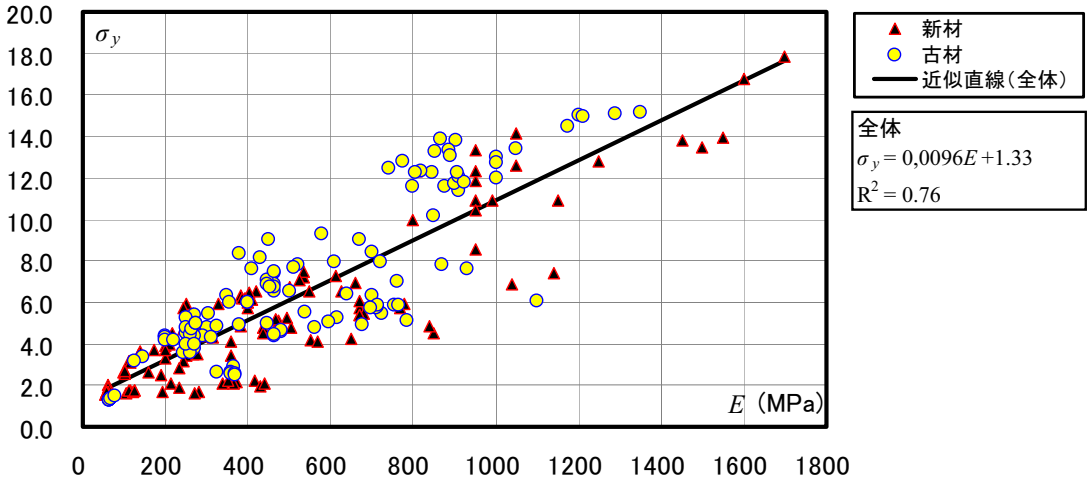


図5.7.4-11　$E-\sigma_y$の相関関係

2) EPMパラメータ特定

試験結果の応力度-ひずみ曲線に対し、EPMシミュレーションを行った。例としてG1のLR方向におけるEPMシミュレーション結果を図5.7.4-12に示す。また、得られたEPMパラメータの平均値（av）と変動係数（cv）を表5.7.4-2に示す。なお、全面圧縮の弾性直線が部分圧縮の直線より傾きが大きくなる試験体（例えば図5.7.4-10のLT方向）などγHが理論的に求められないケースがあり、材料のばらつきの可能性も否定できないが、原因は特定できなかったため、全体評価に取り入れるのは適切ではないと判断して、表5.7.4-2では除いて平均値を算定した。

表5.7.4-2より、全面圧縮による降伏ひずみと部分圧縮における降伏ひずみとの比を表すηにおいては、樹種・年輪方向関係なく、η = 1.1～1.4の範囲に収まる結果となった。この結果は、既往の実験においても同様の傾向が示されており、虫害・腐朽などが発生していない健全古材であればη = 1.1～1.4と判断してよさそうである。

塑性ひずみ倍率Cにおいては、ばらつきも大きく他のパラメータとの相関も見られないため、傾向の把握が困難な結果となった。Cの値は樹種・ヤング係数・降伏ひずみと最大ひずみ・年輪方向・全面圧縮の塑性剛性・せん断破壊・割裂破壊など多くの要因と関連する可能性があるが、現段階で

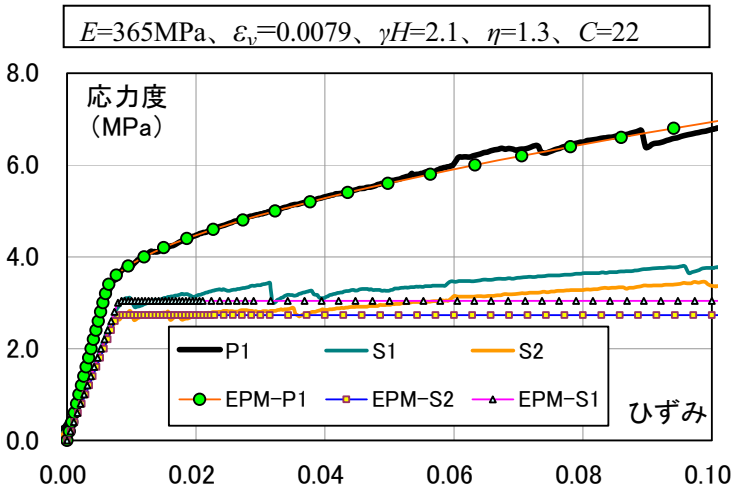


図5.7.4-12　G1（スギ）LR方向におけるEPMシミュレーション

表5.7.4-2　めり込み試験結果

古材	年輪方向		E (MPa)	ε_y	γH	η	C	σ_y (MPa)	$E\zeta_p$ (MPa)
G1スギ	LR	av.	358	0.0074	2.7	1.2	17	2.63	497
		cv.	4	7	16	12	21	5	8
	LT	av.	259	0.0153	1.7	1.2	70	3.98	413
		cv.	4	8	24	8	15	9	8
	LTR	av.	67	0.0198	1.0	1.1	5	1.33	127
		cv.	7	2	20	4	14	5	4
G2 ケヤキ	LR	av.	1179	0.0122	5.9	1.2	42	14.29	1388
		cv.	10	5	23	4	3	6	9
	LT	av.	885	0.0150	5.8	1.2	41	13.22	1052
		cv.	2	6	30	6	4	4	3
	LTR	av.	817	0.0151	7.4	1.1	41	12.24	992
		cv.	9	10	80	15	8	3	15
N1 アカマツ	LR	av.	732	0.0080	4.2	1.1	87	5.81	910
		cv.	3	3	12	10	5	1	3
	LT	av.	457	0.0152	3.8	1.4	41	6.95	579
		cv.	2	4	13	7	24	4	4
	LTR	av.	436	0.0135	3.0	1.0	52	4.98	585
		cv.	44	37	5	5	53	13	45
N2 スギ	LR	av.	511	0.0094	3.1	1.2	40	4.79	680
		cv.	10	9	17	8	40	7	11
	LT	av.	300	0.0182	2.7	1.2	38	5.43	414
		cv.	10	5	17	5	22	8	8
	LTR	av.	296	0.0176	2.1	1.2	25	4.20	433
		cv.	61	32	21	12	47	21	57

はそれらの相関関係は明らかではない。その数値が小さいほど塑性剛性を大きく評価することになるため、塑性剛性の過大評価を避けるためには、設計用の数値としては、平均値より上限値に近い数値が適当と考える。

めり込みによる剛性増大率を決定するパラメータγHにおいては、2010年の実験結果も含めて検討すると、横圧縮ヤング係数との相関が比較的高いことが分かった。図5.7.4-13にE-γH相関図を示す。図5.7.4-13が示すように、様々な樹種の新材・古材を含めた場合においても決定係数0.50となり、今回実施した古材においても決定係数0.68と高い結果が得られている。ただし、古材の方が新材と比べγHが大きい傾向があり、剛性増大率では小さめになる。

また、図5.7.4-14に示す、横圧縮ヤング係数Eとめり込み剛性増大後の弾性めり込み剛性$E\zeta_p$の相関関係においては、図5.7.4-13に比べばらつきが大きく減少し、非常に高い相関関係にあることがわかった。このことは、めり込み試験のめり込み剛性から横圧縮ヤング係数を推定する可能性を示唆するが、載荷長比λ、端距離比δや寸法効果等に依存することを考慮する必要がある。

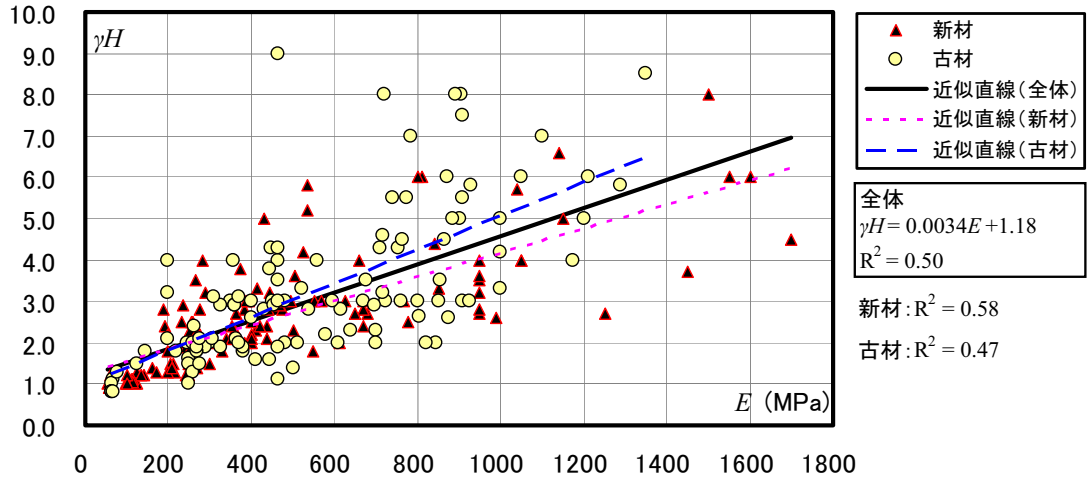


図5.7.4-13　$E-\gamma H$ の相関関係

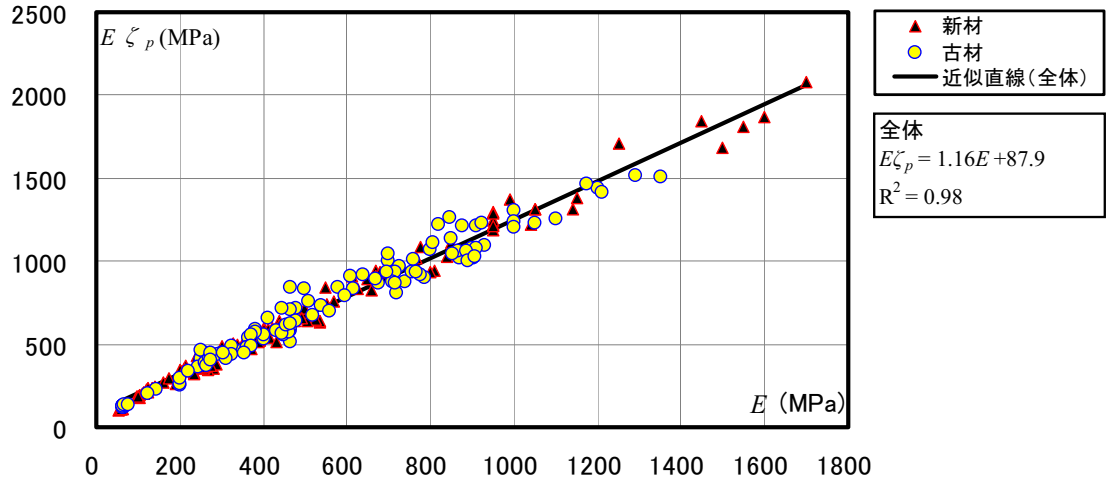


図5.7.4-14　$E-E\zeta_p$ の相関関係

（参考文献）
5.7.4-1）棚橋秀光・大岡優・伊津野和行・鈴木祥之：木材のめり込み降伏メカニズムと均等めり込み弾塑性変位の定式化，日本建築学会構造系論文集，Vol.76, No.662, pp.811-819, 2011.4.
5.7.4-2）大岡優・棚橋秀光・伊津野和行・鈴木祥之・土岐憲三：伝統的木造建築物で用いられた古材の強度・めり込み特性，日本建築学会構造工学論文集，Vol.57B, pp.335-342, 2011.3.

５．７．５　古材の実大強度性能と基準強度の導出

我が国には古来より現在に至るまで木材を構造材料として利用してきた長い歴史があり、特に伝統的構法による建築物には多くの寺院をはじめとする木造古建築がある。これらの建築物には、台風・地震など幾多の災害を乗り越えて現代までその姿を伝えているものが多く、我が国が世界に誇ることのできる文化的財産である。当研究グループでは、環境保全と伝統文化の伝承の両観点から主に古民家・古寺院を対象として、伝統的構法を用いた建築物において古来より受け継がれてきた改修システムに、現代人が会得している科学的な力学評価を組み合わせ、より安全性の高い確かなシステムとして次世代へ引き継ぐための取り組みを行っている。これまでに、古刹寺院における部材の応力波非破壊検査の事例や応力波を用いたヤング係数推定法の提案について報告してきた。ここでは、信州善光寺大勧進萬善堂および滋賀県湖南市の古民家の改修・解体にあたり部材の力学調査を行なう機会があったので、これを報告するとともに古材の強度性能に関する簡便な推定方法を提案しようとするものである。既存の伝統的構法による木造古建築において構成部材の残存強度性能を簡便に把握することは実用上大変重要である。この報告では伝統的木造建築物を保存･継承し、そこに使われている古材を継続使用するための可否判断に関して、実大材の強度性能を、応力波を用いて推定したヤング係数を基に、その曲げ強度を推定・評価する方法を提示することを目的とした。すなわち、古材の強度的性状を、解体前の構造体のままの状態で非破壊的かつ簡便に評価する方法を提示する。その上で、伝統的木造建築物の修理における古材の残存強度に関する非破壊的かつ簡便な評価法を確立し、本研究の成果を伝統的木造建築物の保存・伝承に資するものとする。

（１）古材の強度特性

1)対象材料

供試材料は、長野県の古寺院（築後経過年数は約110年）および滋賀県の古民家（同約170年）で梁として使われていたもの（直径約30～40cm、長さ約5～6.5m、20本のうち17本を供した）で、樹種はいずれもアカマツである。写真5.7.5-1に長野の古寺院材（善光寺大勧進萬善堂)、写真5.7.5-2に滋賀古民家材（湖南市）を示す。また、表5.7.5-1にはこれらの材料の形状寸法等をまとめた。



写真5.7.5-1　長野の古寺院材



写真5.7.5-2　滋賀の古民家材

表5.7.5-1　材料の形状寸法

採取地	No.	断面形状	末口梁背(mm)	末口梁幅(mm)	元口梁背(mm)	元口梁幅(mm)	平均梁背(mm)	平均梁幅(mm)	全長(mm)	体積(cm^3)	重量(kg)	密度(g/cm^3)
善光寺大勧進	D1	楕円	290	330	340	380	315	355	6532	573396	277.3	0.484
	D4	楕円	270	250	310	290	290	270	5872	360925	212.5	0.589
	D5	楕円	255	260	280	290	268	275	5893	340300	173.7	0.511
	D6	楕円	220	220	260	230	240	225	5342	226447	133.5	0.589
	D7	ほぼ円	340	（中央部の直径）			340	340	6200	562625	250.3	0.445
	D8	楕円	315	295	215	380	265	338	6200	435292	236.4	0.543
	D9	楕円	255	250	260	330	258	290	4914	288058	165.7	0.575
	D10	ほぼ円	240	245	285	290	263	268	6105	336518	163.9	0.487
	D11	楕円	265	225	380	310	323	268	5413	366574	203.9	0.556

採取地	No.	断面形状	末口梁背(mm)	末口梁幅(mm)	元口梁背(mm)	元口梁幅(mm)	平均梁背(mm)	平均梁幅(mm)	全長(mm)	体積(cm^3)	重量(kg)	密度(g/cm^3)
湖南町古民家	1	楕円	180	170	215	180	198	175	5095	138235	84.2	0.609
	2	楕円	220	180	230	220	225	200	5099	180122	104.2	0.578
	3	楕円	150	165	190	190	170	178	5100	120806	80.2	0.664
	4	楕円	225	210	273	220	249	215	5100	214327	132.6	0.619
	5	楕円	195	169	215	176	205	173	5110	141851	89.6	0.632
	6	楕円	179	198	179	220	179	209	5090	149481	86.9	0.581
	7	楕円	180	183	232	203	206	193	5195	161926	95.2	0.588
	8	楕円	227	235	257	230	242	233	5200	229674	140.5	0.612

なお、これらの材の含水率について、一例（長野古寺院材D5）として図5.7.5-1に材内分布を色の濃淡で示す。いずれの材料も似通った傾向を示し、おおよそ9～15%の含水率分布であった。

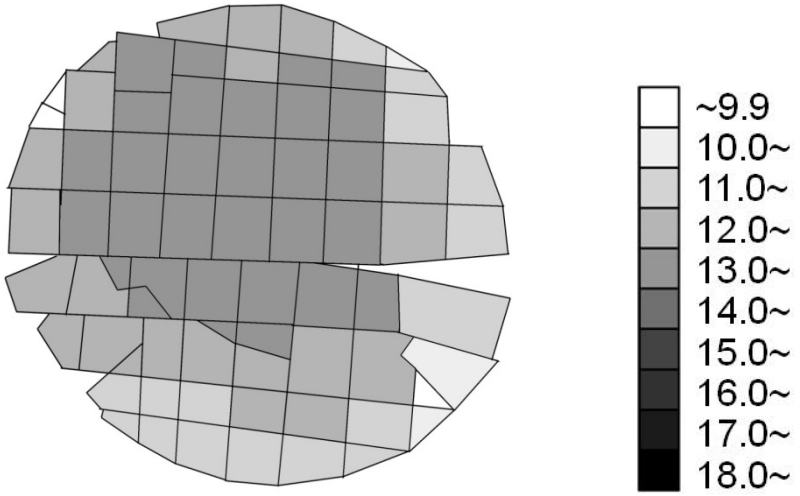


図5.7.5-1　含水率分布の一例（長野の古寺院材D5）

2)実験方法

実大材の曲げ実験の載荷方法はスパン5.8m（材背の14～18倍）の3等分点4点負荷法による単調増加方式で行なった。試験体は、原則として上下が建築当時と同じ状態となるように設置した。写真5.7.5-3に曲げ試験の様子を示す。その際、載荷開始から破壊に至るまでに要する時間が5～10分程度となるよう、載荷速度（たわみ速度）を20mm/minに設定し、荷重と中央たわみを測定した。なお、実験前に供試材の損傷・欠損状況等を観察記録した。



写真5.7.5-3　曲げ試験の様子

応力波伝播試験には共鳴式のハンディータイプ伝播時間測定器（FAKOPP）を用いた。応力波伝播試験では、材料の繊維方向の強度性能（ヤング係数）を検査するために、発・受信一対のセンサーを木材の表面に対して斜め（45度程度）に設置し、応力波を繊維方向に伝播させた。安定した値が得られるように1箇所あたり3回測定し、その平均値を求めた。応力波伝播速度の測定値からヤング係数を推定した。ヤング係数Eは、測定した応力波伝播速度vと材料の密度ρから$E = v^2 \cdot \rho$で求められる。ただし、本研究では、材料が使用中、不定形、不均質であるといった理由から密度の正確な値を得ることができない。そこで、既知の基準データベース（ヤング係数と密度の関係）とモンテカルロシミュレーション法を用いた推定方法により、（密度を知ることなく）応力波伝播速度のみからヤング係数を求めた。

3)結果

図5.7.5-2に曲げ試験で得られた荷重とたわみの関係を示す。最大荷重が100kN（約10tf）を超す材や最大たわみが120mmを超す材があった。この結果より、曲げヤング係数（MOE）と曲げ強さ（MOR）を計算し、両者の関係を求めると図5.7.5-3のようになる。供試材は様々な欠損を含んでおり、形状も不定である。この図のMOR、MOEの評価にあたっては、これらの欠損を無視した中実の材と仮定し、断面寸法についても末口及び元口寸法の平均値（表5.7.5-1）から、楕円形あるいは矩形を仮定して断面係数を求めた。したがって、算出されたMOR、MOEは真値に対して過小に評価されていると考えられる。すなわち、図5.7.5-3からわかるように、MORは16～40MPa、MOEは5～12GPaに分布しており、木材の一般的な値よりも小さく評価された。これに対して図5.7.5-4は、応力波伝播速度からシミュレーション法により推定したヤング係数を横軸にとり、これとMOR（図5.7.5-3と同値）との関係を示した。図5.7.5-3に比べてプロットが全体に右方向に移動しているのがわかる。これは、応力波伝播速度を基にしたヤング係数は、欠損の有無・不定形状に関わらず材料実質の物性を表現するため、図5.7.5-3のMOEより大きく評価されるためである。したがって、図5.7.5-4ではヤング係数に比して曲げ強度が小さい印象を与える。

次に破壊の様子を示す。写真5.7.5-4は滋賀の古民家材N0.4で負荷点近傍に切欠きが、また切欠き内には貫通穴が存在していたもので、この切欠き付近から折損した。写真5.7.5-5も滋賀の古民家材No.6で、負荷点間のほぼ中央上部に切欠きがあり、切欠き真下の節から折損、破壊した。写真5.7.5-6は長野の古寺院材D9である。負荷前の状態を示しているが、この材については元の使い方とは上下を逆にして設置した。負荷点間に貫通穴と切欠きがあり、また右方に水平割れが入っている。写真5.7.5-7はこの材が破壊した時の様子である。負荷点間の貫通穴と切欠き部から破壊していることがわかる。

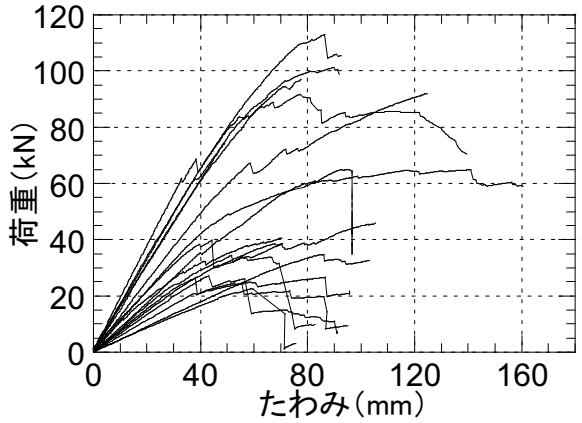


図5.7.5-2　荷重とたわみの関係

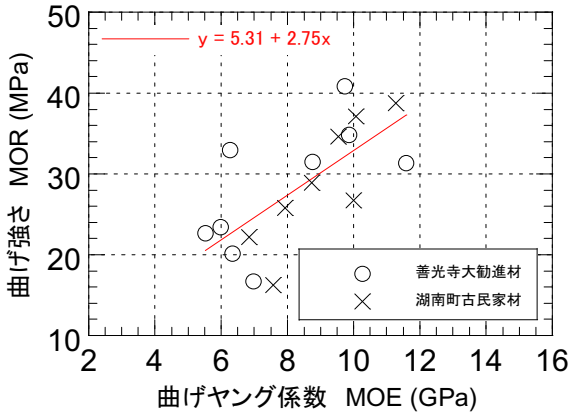


図5.7.5-3　曲げヤング係数と曲げ強さの関係

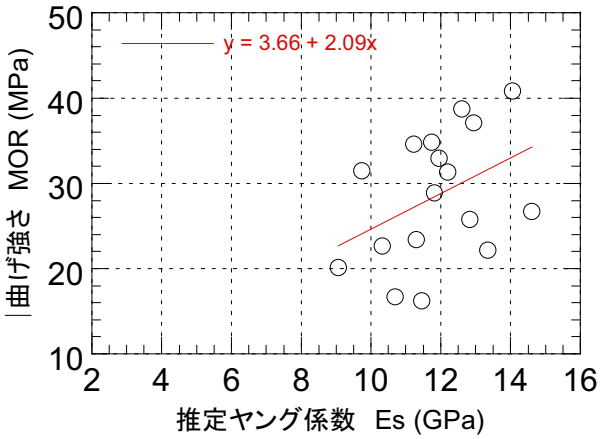


図5.7.5-4　推定ヤング係数と曲げ強さの関係



写真5.7.5-4　滋賀の古民家材NO.4



写真5.7.5-5　滋賀の古民家材NO.6



写真5.7.5-6　長野の古寺院材D9（負荷前）

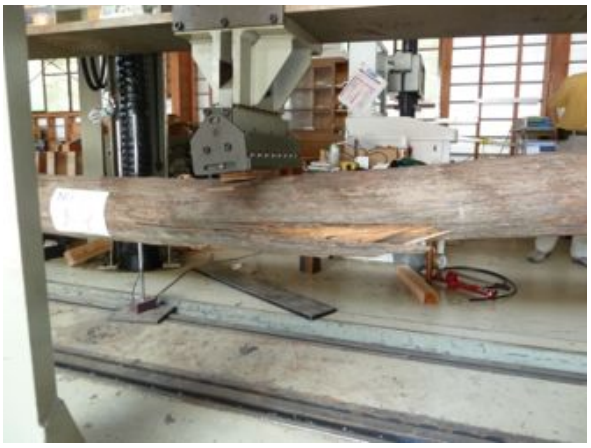


写真5.7.5-7　長野の古寺院材D9（破壊後）

（２）古材の基準曲げ強度の導出

上記の曲げ試験で得られた曲げヤング係数と曲げ強さの関係（図5.7.5-3）をもとにして、シミュレーション法を用い、古材の曲げヤング係数と曲げ強さに関するデータベースを作成することを試みる。これにより、古材の基準曲げ強度の提示を試みる。

1)導出の概略

まず、古材の基準曲げ強度の導出にあたっての大まかな流れを示す。

①オリジナルデータとなるのは図5.7.5-3に示す曲げヤング係数と曲げ強さの関係である。

②応力波伝播速度からモンテカルロシミュレーションにより推定したヤング係数Es（図5.7.5-4の横軸）と無垢古材（切欠きが無い、古材の製材に相当するもの）の推定MORの関係を求める。無垢古材の推定MORとは、図5.7.5-4の縦軸の（見かけの）MORを「断面係数Zの低減係数」で除したものである。これは、図5.7.5-4の縦軸のMORについて、もし、切欠きのない無垢材であった場合の補正を施すということである。具体的には、次項の「欠損の評価・低減係数の決定」で述べる「断面係数Zの低減係数」でMORを除すことである。

2)欠損評価、低減係数の決定

スパン全体において有効断面の梁背が最も小さい欠損による評価をした。Ke値は「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008年版）」に掲載されている断面係数に対する低減係数である。

Ke	仕口タイプ（部分的な欠損の有無）	O　C　A+A プレカット仕口の低減率を参照
Kb	貫欠がある場合	b'/b　（b'：貫欠の幅）
Kh	梁背の減少がある場合	$\{(h-h')/h\}^3$　（h'：欠損深さ）

これより、ここでは低減係数Krとして以下のように定義した。

$$Kr = Kh \times (Ke - Kb)^{3/2}$$

このようにして算出した係数Krを表5.7.5-2に示す。表には、実測寸法も併せて示した。なお、I'は断面2次モーメントIにKrを掛けた値である。

表5.7.5-2　欠損の評価と断面の低減係数

No.	仕口タイプ	b (mm)	b' (mm)	h (mm)	h' (mm)	Ke	Kb	Kh	Kr	I (mm^4)	I' (mm^4)
湖南1	O	175	0	198	30	1.00	0.00	0.61	0.61	112346126	68533236
湖南2	O	200	0	225	35	1.00	0.00	0.60	0.60	189843750	114316667
湖南3	O	178	35	170	0	1.00	0.20	1.00	0.72	72671458	52274349
湖南4	A+A	215	30	249	40	0.77	0.14	0.59	0.30	276601961	81881854
湖南5	O	173	0	205	65	1.00	0.00	0.32	0.32	123842422	39445000
湖南6	O	209	0	179	57	1.00	0.00	0.32	0.32	99890488	31626019
湖南7	A+A	193	50	206	15	0.77	0.26	0.80	0.29	140415420	40834774
湖南8	A+A	233	35	242	50	0.77	0.15	0.50	0.24	274591955	66860218
大勧進1	O	355	55	315	90	1.00	0.15	0.36	0.28	544389435	154122106
大勧進4	O	270	60	290	80	1.00	0.22	0.38	0.26	323078034	84150096
大勧進5	C	275	0	268	110	0.84	0.00	0.20	0.16	258257966	40582890
大勧進6	O	225	55	240	50	1.00	0.24	0.50	0.33	152604000	49727039
大勧進7	O	340	55	340	60	1.00	0.16	0.56	0.43	655639850	281029299
大勧進8	O	338	60	265	90	1.00	0.18	0.29	0.21	308149220	66163948
大勧進9	O	290	50	258	40	1.00	0.17	0.60	0.45	242929005	110216172
大勧進10	O	268	0	263	40	1.00	0.00	0.61	0.61	237389433	144565115
大勧進11	O	268	50	323	50	1.00	0.19	0.60	0.44	440212750	194704591

3) 曲げ剛性

図5.7.5-5は曲げ剛性について示した。縦軸は、実大曲げ試験から得られた曲げ剛性である。これに対して横軸は、材中で最も大きな欠損の寸法を基にして断面係数に関する低減係数を導出し（表5.7.5-2のI'（=I×Kr））、これに図5.7.5-4の推定ヤング係数Es（横軸）を掛け合わせて求めた推定曲げ剛性である。これによれば、両者は比較的良好な一致を示しており、前項で導出した低減係数は概ね妥当と考えられる。そこで、本報告ではこの低減係数を用いることにする。

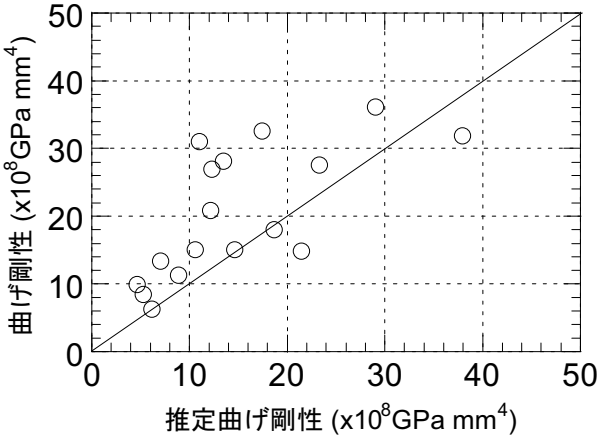


図5.7.5-5　曲げ剛性（実測値と推定値）

4) 曲げヤング係数・曲げ強度の再評価

表5.7.5-2のKrを用いて、（見かけの）曲げ強度MORを補正し、欠損のない無垢材としての古材の曲げ強度MOR'を推定した。具体的にはMOR'=MOR/(Kr)$^{2/3}$で求めた。これを図5.7.5-6に示す。こ

の中で、推定MOR'が80MPa以上のデータは、実験時に荷重点間の外に最大切欠きがあり、推定MOR'の算出においてその影響が真実より大きいと推察された。すなわち、過大補正となっている（外側の切欠きの低減係数が大きく、その逆数を掛けると推定MOR'が大きくなる。実際のMORの低減に、外側の切欠きがそれほどは効いていないと推察される。）ただし、これについて、適当な補正方法は現段階ではないので、本報告での取扱は便法ということになる。そこで、これらのデータを除去すると図5.7.5-7のようになり、これを用いて以降の解析を進める。

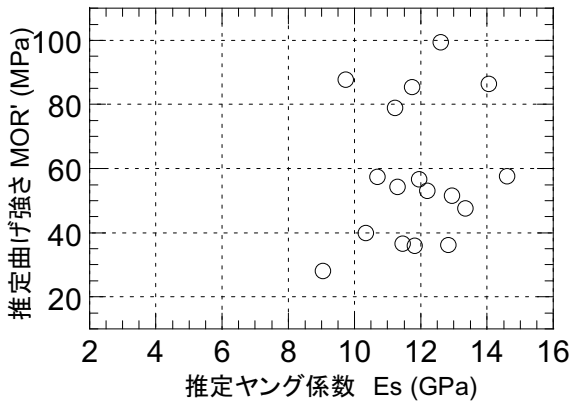


図5.7.5-6　無垢古材の強度推定値

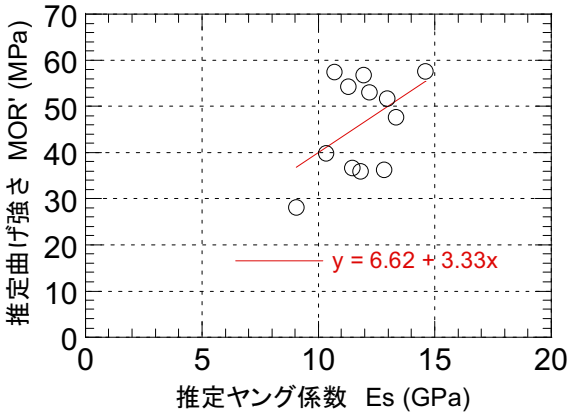


図5.7.5-7　無垢古材の強度推定値

5) 古材の基準強度の導出

図5.7.5-7で選定した実験データを基に、無垢古材の基準強度を導出する。図5.7.5-7より明らかなようにデータ数が少ないため、モンテカルロシミュレーション法を用いて、本実験結果のEs－推定MOR'関係の特徴を有するデータ群を模擬的に作成する。なお、作成において次のような仮定を設けた。

(a) 模擬データのヤング係数分布は、アカマツ新材製材の実大試験データベースに倣うものとする（ノンパラメトリック法）。古材の曲げヤング係数の新材に対する変化は、増加傾向を示す場合と有意差が認められない場合の両方の報告がある。古材の経年数の影響も考えられる。ここでは、古材の経年数を定義しておらず、また、古材の実大曲げヤング係数のデータベースが存在せず、他に拠り所が見当たらないことから、アカマツ新材製材のデータを採用する。図5.7.5-8に模擬データのヤング係数分布（累積頻度曲線）を示す。

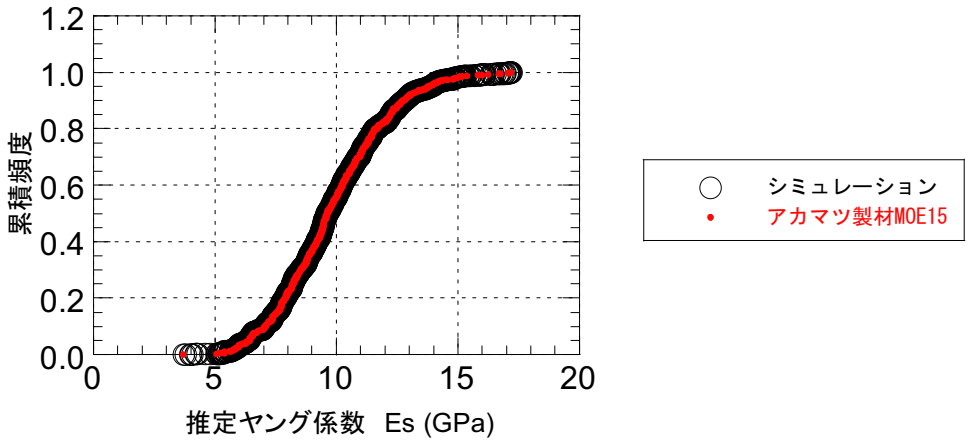


図5.7.5-8　模擬データのヤング係数分布

(b) 古材の基準強度導出にあたってのシミュレーションでは、推定MOR'の標準偏差が必要となる。アカマツの実大曲げヤング係数の最小値は5GPaであるが、今回の実験データは高ヤング係数のものしかない。もし、低ヤング係数の実験値があれば、推定MOR'の標準偏差はより大きくなるはずである。モンテカルロシミュレーションに先立ち、図5.7.5-7のEs－推定MOR'関係から、低ヤング係数データを作成する。作成方法は次の通り。①実験データの数と同数の模擬データを作成。②模擬データのEs＝実験データのEs－4(GPa)（この操作は5GPaまで拡張するためである)。③模擬データのMORは、Es－推定MOR'関係の回帰直線の傾きaを用いて、実験データのMORから平行移動させる。模擬データのMOR＝実験データのMOR－a×（実験データのEs－模擬データのEs）⇔　模擬データのMOR＝実験データのMOR－a×4。図5.7.5-9に拡張データを示す。

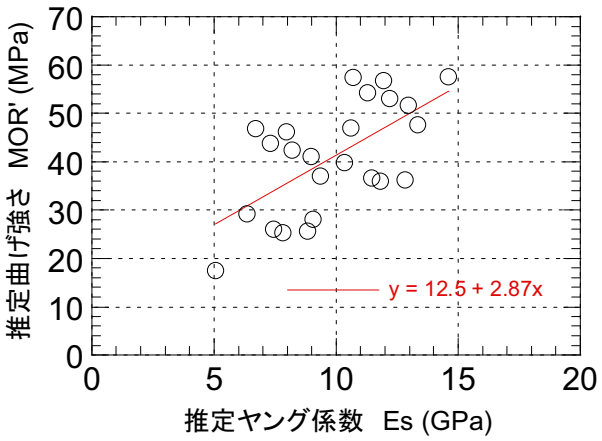


図5.7.5-9　低ヤング係数域拡張データ

以上より、モンテカルロシミュレーション法を用いて作成した模擬Es-推定MOR'データは図5.7.5-10の通りである。すなわち、図5.7.5-10に示すデータ群が古材（アカマツ無垢材）5000本の曲げヤング係数と曲げ強度の関係と考えることができる。

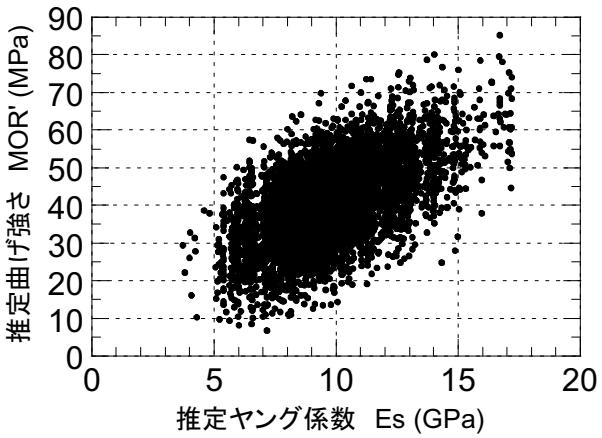


図5.7.5-10　模擬Es-推定MOR'　データ

図5.7.5-10の模擬データを基に、基準強度を導出する。この模擬データを新材のヤング係数区分に応じた群に分け、各群の曲げ強度の5%下限値を求めた。これを表5.7.5-3に示す。解析ソフトウェアは堀江和美著「木材強度データの確率・統計手法」に依った。

表5.7.5-3によれば、低ヤング係数域の等級（E70、E90）では新材と比べて強度値が大きく、反

対に、高ヤング係数域の等級（E110、E130、E150）では、新材と比べて強度値が小さい。このようになった原因の一つに太鼓材の強度が製材強度より大きいことが考えられる。ただし、今回の実験では低ヤング係数域のデータがなく、高ヤング係数データから外挿した仮定値であること、無垢古材の推定MOR'は最大切欠きのみを考慮して推定した値であるが、実際の試験体は複数の切欠きを有しており、真値はこれより大きいと考えられる（すなわち安全側の評価となっている）こと、ヤング係数の変化に対する曲げ強度の変化がアカマツ新材より鈍いことなどに留意しておく必要がある。

表5.7.5-3　アカマツ古材の基準曲げ強度

アカマツ新材	等級	Fb(0.05)	E0	E0.05			
		MPa	GPa	GPa			
	E50	–	–	–			
	E70	12.0	6.9	5.9			
	E90	21.0	8.8	7.8			
	E110	30.6	10.8	9.8			
	E130	39.6	12.7	11.8			
	E150	48.6	14.7	13.7			
						分布形	
アカマツ古材	等級	Fb(0.05)	E0	E0.05		E	MOR
スパン全体		MPa	GPa	GPa			
下部データのみ	E50	12.9	5.5	4.8		(2P)	2P
アカマツ新材ヤング率→nonpara	E70	16.7	7.0	6.1		(正規)	3P
	E90	21.9	8.9	7.7		(2P)	3P
	E110	28.0	10.7	9.8		(対数)	正規
	E130	32.8	12.6	11.9		(3P)	正規
	E150	38.7	14.8	13.7		3P	正規

図5.7.5-10のデータ群に、表5.7.5-3に示す基準強度（Fb値）を書き加えると図5.7.5-11の階段状のラインのようになる。この図には、アカマツ新材のデータ群（製材品の強度性能に関するデータベース、データ集<7>、森林総研内強度性能研究会、2005.3）および今回の実験値（拡張データを含む）も書き加えてある。

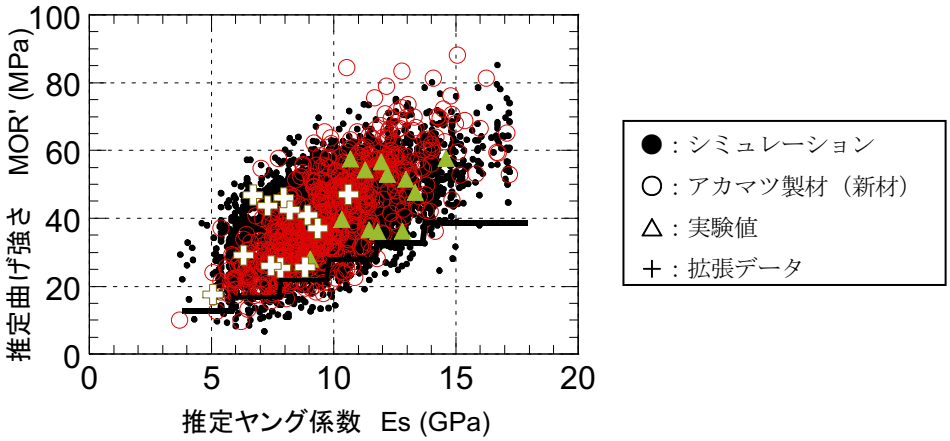


図5.7.5-11　古材の曲げ強度

6) 基準強度の検証

上記のようにして導出した古材（アカマツ）の基準曲げ強度について、今回の実験で得られている17本の古材の強度性能を検証した。すなわち、応力波伝播速度からシミュレーション法により推定したヤング係数Es（図5.7.5−4）をもとにすれば、図5.7.5-11より基準強度（Fb値）を知ることができる。この基準強度に対して材料に含まれる欠損等を考慮して表5.7.5-2の低減係数を乗じる。すなわち、$Fb\times(Kr)^{2/3}$を求めると、この値がその材に最低限保証された強度値と考えることができる。この値に対して実際に実大曲げ試験により得られている曲げ強度（MOR）との関係をプロットすると図5.7.5-12のようになる。これによれば、実験で得られた曲げ強度（縦軸のMOR）が横軸の強度値を上回っていることがわかる。

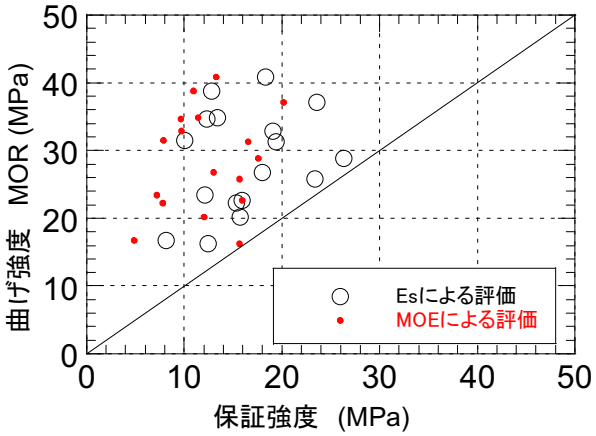


図5. 7. 5−12　基準強度の検証

7) まとめ

未解体の建物に組み込まれた状態の木材（古材）の強度は、以下のようにして推定することができる。手順を以下の通りである。

①応力波伝播速度を測定し、これよりシミュレーション法により材のヤング係数（Es）を推定する。

②材の欠損状況を調べ、断面の低減係数（Kr）を算出する。

③推定ヤング係数（①で求めたEs）より図5.7.5.-11（または表5.7.5-3）を用いて基準強度（Fb）を求める。

④基準強度（③で求めたFb）と断面低減係数（②で求めてKr）よりその材に最低限保証される強度を算出する。必要に応じてこの値を設計強度に用いる。

なお、図5.7.5-10に示した模擬データをより正確なものにするために、ここで示したような古材の強度試験について機会を捉えて継続的に実施し、データの蓄積をはかることが重要である。それにより図5.7.5-7のデータが充実するため、模擬データの作成過程で今回設けたいくつかの仮定に関して、より妥当性の高いプロセスを経た導出が期待でき、古材の基準強度の推定がより確かなものになっていくであろう。

（参考文献）

5.7.5-1）佐々木康寿、山崎真理子、高橋賢二、住岡雅将、稲葉　敦、辻田芳典：長野善光寺三門平成大修理における構造部材の損傷検査、第55回日本木材学会大会、2005（京都）

5.7.5-2）山崎真理子、佐々木康寿、水谷章夫：木質建造物の改築・改修における応力波を用いた構造部材の非破壊検査、日本建築学会2007年度大会（九州）学術講演梗概集A-1，1059-1060，2007

5.7.5-3）佐々木康寿、山崎真理子、杉本貴紀：応力波を用いた木質構造部材の非破壊検査　−その2

古刹寺院小屋梁の現場測定－，日本建築学会2009年度大会学術講演梗概集A-1，375-376，2009
5.7.5-4）堀江和美「木材強度データの確率・統計手法」
5.7.5-5）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）」，P-103.
5.7.5-6）強度性能研究会（森林総研内）「製材品の強度性能に関するデータベース，データ集<7>」，2005.3

５．７．６　古材・新材を用いた仕口接合部実験

（１）仕口接合部実験

1)実験要領

実際の仕口は目違いや、雇い、込栓、楔など複雑な要因が入り込み、仕口の性能が十分解明できていない要因やパラメータが入ると比較が困難と想定される。そのため、最も単純で古材の特性が直接発現しやすい通し貫仕口の十字型試験体とすることで、古材と新材の材料としての違いが仕口の復原力特性に及ぼす影響を見ることし、表面劣化などによる影響は本実験では考慮しない。したがって表面劣化部分は基本的に削りとり、比較的健全な部分より柱はスギ、貫はスギとアカマツを採取し表5.7.6-1の組み合わせの5シリーズ各3体とした。別途古材で予備試験体として2体準備した。試験体詳細を図5.7.6-1に、実験セットアップを図5.7.6-2に示す。一部に虫食いが内部に含む部材を用いている。

解体部材の主な柱は、川越民家は105角、湖南民家は150角であったため、表面劣化部分を削り成形すると柱寸法は最大100角が限度であった。多くの柱には土壁の小舞・貫のホゾ穴が残っていたが、貫のホゾ穴（27×120程度）を試験体の貫用のホゾ穴に活用し、小舞用の浅いホゾはそのままとした。貫は柱より2枚、大きな差鴨居からは複数枚採取した。川越では、ケヤキ・アカマツで試験体の採取できる部材がなくすべてスギとなった。

当初の計画では一般的な三角楔2枚をホゾ穴の両側から差し込むこととしていたが、種々検討の末、平行楔に変更し、楔の突出長さがめり込み接触長さに影響を避けるため、楔打ち込み後に柱面で突出部をカットした。楔はホゾ穴の寸法よりやや大きめに削り加工して、ハンマーにて一人の大工が同程度の抵抗で打ち込めるように施工した。J1-4のみ比較のためにホゾ穴間隔を楔無しで高力ボルトで密着できる鋼製柱を使用した。

比較のための新材のスギ、アカマツは産地・仕様は特定せず、使用材料の材料特性は古材含めて別途解析に必要な貫の横圧縮特性に関する材料試験を行った。

実験場所：立命館大学南草津キャンパス・セル実験室

実験実施日程：2011年10月7日～25日、公開実験を10月19日に実施した。

載荷スケジュール：各シリーズの記号1は3サイクル（所要時間3時間弱）、その他は1サイクル（同1時間弱）で、8段階の載荷スケジュール（層間変形角1/240,1/120, 1/60, 1/30, 1/20, 1/15, 1/10,1/5）正負交番繰返し載荷とし、載荷速度は載荷点の変位制御で5mm/minから順次60mm/minまで変化させた。層間変形角1/10（0.1rad）で正負繰返し載荷後、仕口の変位計を取り外し、載荷を続けたが、一部では正載荷で最大層間変形角1/3 または1/2.5（400㎜）まで載荷した。図5.7.6-2の左方向載荷を正（押し）、右方向載荷を負（引き）とする。

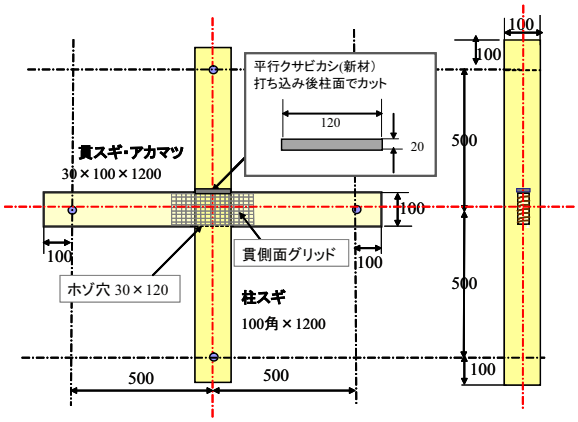


図5.7.6-1　通し貫試験体詳細

表5.7.6-1　仕口試験体一覧表

シリーズ	由来	柱	貫	特記事項
J1-1		スギ柱105角より	スギ柱105角より	
J1-2	川越	スギ柱105角より	スギ柱105角より	虫食いあり
J1-4		鋼製柱	スギ柱105角より	楔なしの仕口
J2-1	湖南	スギ柱150角より	スギ柱N2より	N2：200角
J2-2		スギ柱150より	スギ柱N2より	
J2-3		スギ柱150角より	スギ柱N2より	
J3-1	湖南	スギ柱150角より	アカマツ差鴨居N1より	N1：120×360
J3-2		スギ柱150角より	アカマツ差鴨居N1より	
J3-3		スギ柱150角より	アカマツ差鴨居N1より	
J4-1	新材	スギ柱製材	スギ製材板材	
J4-2		スギ柱製材	スギ製材板材	
J4-3		スギ柱製材	スギ製材板材	
J5-1	新材	スギ柱製材	アカマツ製材板材	
J5-2		スギ柱製材	アカマツ製材板材	
J5-3		スギ柱製材	アカマツ製材板材	

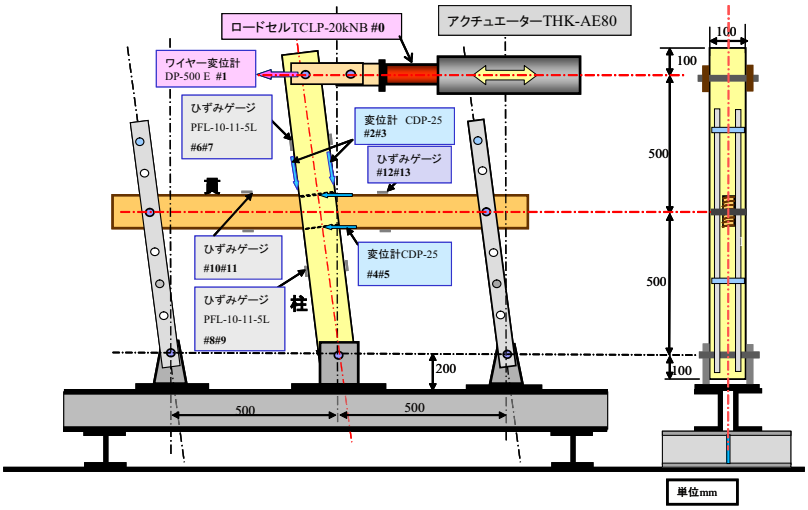


図5.7.6-2　通し貫試験体セットアップ

2)実験結果と考察

5シリーズのシリーズごとに3体の試験体の復元力特性を重ねた図を図5.7.6-3～7に、実験状況を写真5.7.6-1～4に示す。これらに基づいて全体的特徴を述べる。

なお、試験体の貫の気乾密度の平均値（変動係数%）はスギ409kg/m^3（8%）、アカマツ516kg/m^3（4%）、含水率は全平均値（電気抵抗式含水計による）14.6%（変動係数22%）であった。

ここで、仕口の復元力特性は、仕口の回転角（貫・柱の変位計2点の計測値の差を変位計間隔で除した貫・柱の各々回転角の平均値）と仕口に作用するモーメント（載荷重kN×高さ1000mm）の関係で表し、最大回転角は0.1radまでの復元力で、主要な解析・検討に用いる。なお、復元力のグラフで最大回転角が0.1radまで達していないのは、層間変形角で0.1radに達した場合の仕口の回転角は0.1rad未満となるためである。0.1radまで正負載荷完了後、変位計を取り外したため、0.1rad以上の復元力特性は十字型フレームの層間変形角（載荷点変位/1000）とモーメントの関係のみで得られており、変形性能と繰り返しによる強度低下などの検証に用いることとした。

解析に先立ち、上部から吊るしたアクチュエータの上下方向の拘束による P-Δ 効果が一部みられたので、復元力特性グラフにおいて、荷重がゼロになって原点に戻る際に概ね水平に戻るようかつ

復元力特性グラフの中心が原点に来るように補正した。

古材･新材とも0.1radまではモーメント増加が続き､繰り返しによる強度低下もわずかであるが、0.1radを超えると､押し側でやや強度が頭打ちになり､繰り返しによる強度低下も若干見られたが、引き側では頭打ち傾向はほとんど見られなかった｡これは楔が最初に貫にめり込んだ位置に留まり、回転傾斜に伴い柱からは見かけ上載荷と逆方向に抜け出す挙動（写真5.7.6-1～3）が見られ、貫と柱のホゾ穴との接触長さが減少するためモーメントが頭打ちになるものと推察された。引き側では逆に楔が若干突出した状態が維持されるため、頭打ち傾向が現れないことでも裏付けられたが、楔が若干突出することにより接触長さの影響が若干ありうる。一部頭打ちと同時にジグザグ状のグラフも観測され､柱ホゾと楔の上面の接触面での摩擦の滑りに伴う振動現象によるものと推察された。そこでJ1-4のみスギ柱を鋼製柱に代えて楔の影響のない仕口（写真5.7.6-4）で載荷すると、頭打ちの傾向はなくなって正負ほぼ点対称となり、楔が仕口の挙動に少なくない影響を及ぼすことが確認できた。

全体に本実験の範囲では、材料のばらつきに比べ、強度・剛性・変形性能に関して、古材と新材の差異は見られなかった。

写真5.7.6-5のJ2-1に見られるように貫にかなりの虫食いが見られたが､図5.7.6-9の復元力特性を示し、最大モーメントは仕口回転角0.07radで800kNmm、層間変形角0.2radで1200kN程度の復元力を示した。J4-1は横圧縮ヤング係数の小さいことと、楔の密着具合のゆるさで剛性・強度が最も小さかったものと見られる。

大変形の特性に関しては、いくつかの試験体で当初計画の最大変位0.2radに達した後、0.33～0.4radまで押し側で載荷したが、0.4rad近くでめり込みと複合した貫の破壊（写真5.7.6-4）が見られたが､貫の曲げ破壊が新材J5-2で0.17radにて発生したほかは0.2rad以下では破壊は無く､崩壊も全く無かった。

図5.7.6-8から図5.7.6-12に各シリーズの1で3回繰り返し載荷の最大荷重までの復元力特性と後述する弾塑性パステルナーク・モデルによる解析結果もあわせて示す。それによれば、0.1radまでは繰り返しによっても、どのシリーズも復元力低下はほとんど見られず、古材・新材の差異も見られない。

0.1radを超えるとJ1-1, J2-1, J5-1では0.2radまでは復元力低下はみられないが､J3-1,J4-1で復元力の若干の低下とグラフの乱れが激しくなっている。これは、貫のめり込み変形によるがたつきとそれに伴う貫の左右移動、楔の挙動と関連すると推察され、少なくとも貫の破壊によるものではないと判断される。初期の剛性や大変形段階の挙動は楔の密着具合に大きく依存し、楔の挙動が仕口の復元力を左右する可能性が高い。

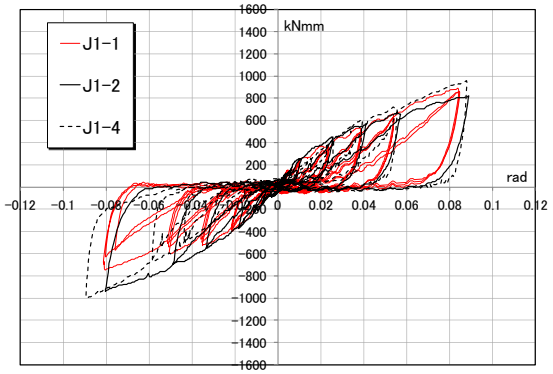


図5.7.6-3　J1シリーズ復元力特性

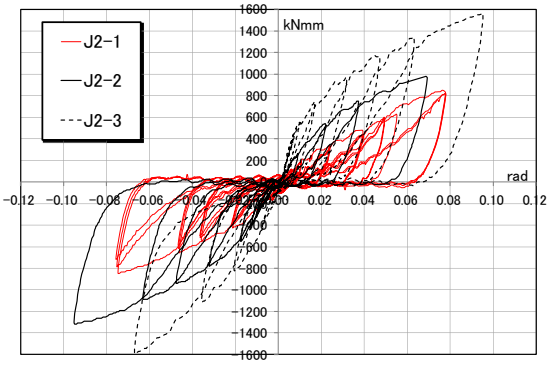


図5.7.6-4　J2シリーズ復元力特性

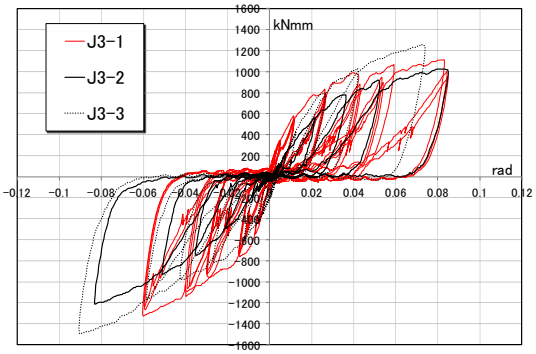


図5.7.6-5　J3シリーズ復元力特性

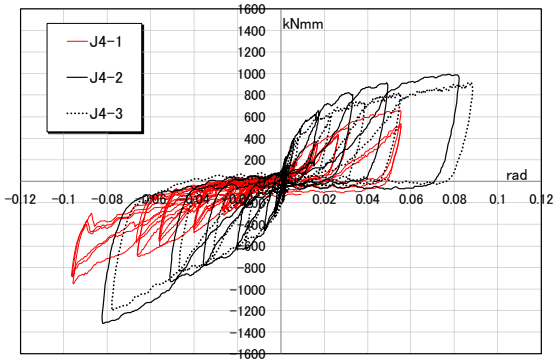


図5.7.6-6　J4シリーズ復元力特性

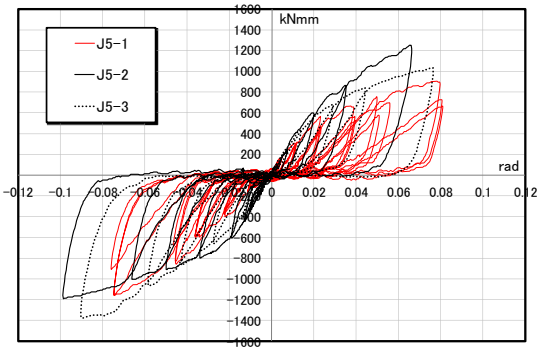


図5.7.6-7　J5シリーズ復元力特性

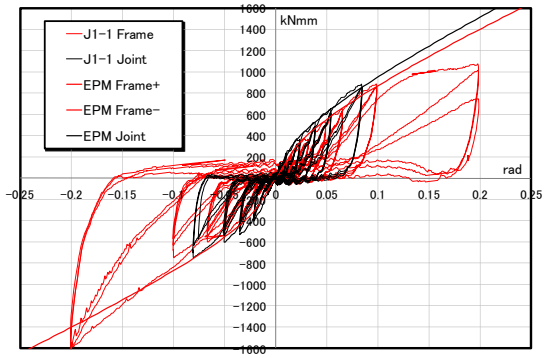


図5.7.6-8　J1-1復元力特性とEPM解析

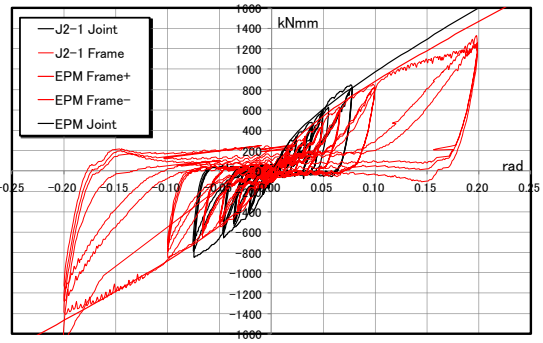


図5.7.6-9　J2-1復元力特性とEPM解析

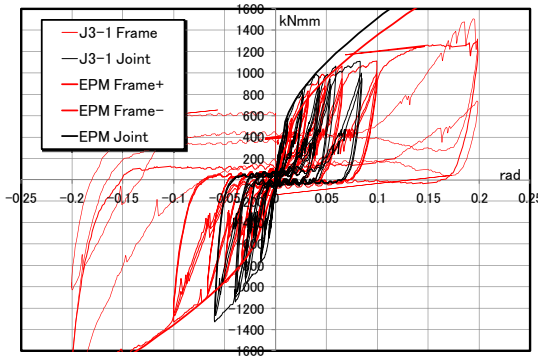


図5.7.6-10　J3-1復元力特性とEPM解析

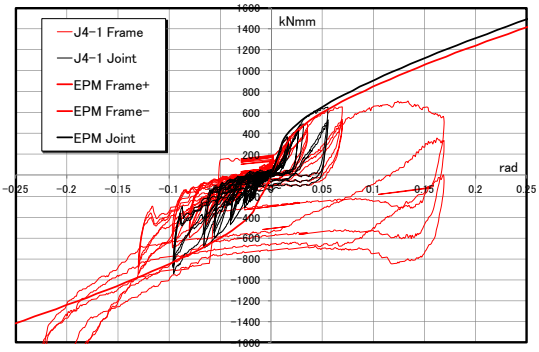


図5.7.6-11　J4-1復元力特性とEPM解析

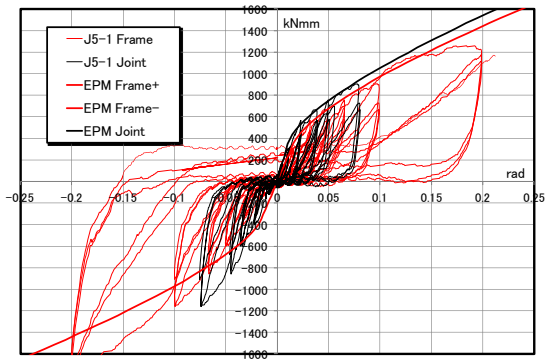


図5.7.6-12　J5-1復元力特性とEPM解析



写真5.7.6-1　通し貫試験体載荷状況（0.1rad）



写真5.7.6-2　通し貫試験体載荷状況（0.4rad）



写真5.7.6-3　楔の抜け出状況

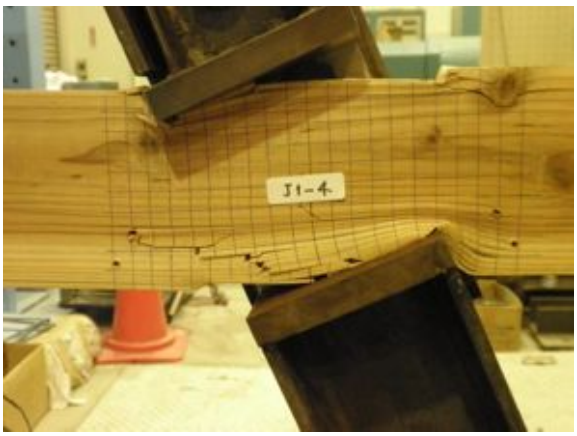


写真5.7.6-4　鋼製柱と貫のめり込み状況（0.4rad）



写真5.7.6-5　J2-1の虫食いスギのめり込み変形

3)完全弾塑性モデル置換特性値

耐震要素の復元力特性の評価法に、完全弾塑性モデルに置換した場合の特性値で評価する方法がある[5.7.6-1)]。ここでは、既往の実験データもその手法により求めている場合が多いので、それに準じて求めた。今回の実験では、楔の挙動により第1象限の復元力特性の最大値が全体に第3象限より小さめとなったことから、第1象限の0.1radまでの仕口回転角とモーメント関係のグラフより求め、その一覧を表5.7.6-2に示す。図5.7.6-13に主な特性値：最大耐力M_{max}, 降伏耐力My, 終局耐力Muの比較グラフを示す。ここに示す塑性率は変位計を撤去した0.1radまでの復元力特性によるもので、

実際はそれ以後も強度が増大し続ける結果がえられており、下限値である。これより、今回の限定された実験範囲では、材料のばらつきが大きいこともあり、古材・新材の比較は難しいが、少なくともモーメント抵抗・復元力特性は新材より劣ることはなさそうである。

表5.7.6-2　完全弾塑性モデル置換特性値

	最大耐力	最大耐力時変形角	1/120耐力	2/3最大耐力	降伏耐力	降伏変形角	終局耐力	終局変形角	弾塑性変形角	剛性	塑性率	構造特性係数
	Mmax (kNmm)	θm	M_{120}	2/3Mmax (Nmm)	My (kNmm)	θy	Mu (kNmm)	θu	θv	K (kNm/rad)	μ	Ds
J1-1	877	0.083	173	584	398	0.026	740	0.067	0.048	15.3	1.50	0.71
J1-2	808	0.088	232	539	430	0.024	685	0.100	0.038	18.2	2.52	0.50
J1-4	946	0.087	144	631	601	0.038	815	0.100	0.053	15.4	1.79	0.62
J2-1	848	0.077	137	565	470	0.036	750	0.100	0.057	13.2	1.65	0.66
J2-2	979	0.069	239	653	562	0.025	852	0.069	0.038	22.6	1.77	0.62
J2-3	1552	0.095	512	1035	791	0.022	1358	0.095	0.038	35.6	2.62	0.49
J3-1	1108	0.082	464	739	668	0.017	1020	0.082	0.026	39.7	3.95	0.38
J3-2	1026	0.083	241	684	623	0.025	910	0.083	0.036	25.3	2.26	0.53
J3-3	1258	0.071	255	838	716	0.021	1073	0.071	0.032	34.0	2.30	0.53
J4-1	676	0.055	234	451	377	0.015	545	0.055	0.021	26.0	2.55	0.49
J4-2	992	0.077	502	661	560	0.010	878	0.077	0.016	54.5	4.81	0.34
J4-3	918	0.086	452	612	503	0.011	786	0.084	0.017	45.3	4.87	0.34
J5-1	907	0.078	260	605	566	0.027	779	0.080	0.037	21.0	2.17	0.55
J5-2	1262	0.067	239	842	651	0.023	1066	0.067	0.038	28.1	1.74	0.64
J5-3	1032	0.076	291	688	541	0.019	882	0.076	0.031	28.2	2.40	0.51

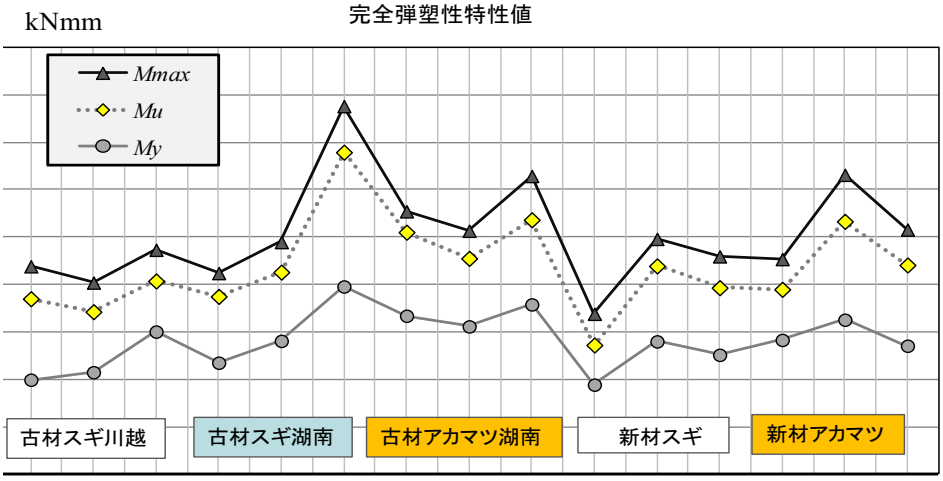


図5.7.6-13　完全弾塑性モデルの特性値の分布

4) 弾塑性パステルナーク・モデルのパラメータの検討

前項の完全弾塑性モデル置換は降伏後の剛性低下や、破壊が生ずる場合を含めた木質耐震要素の汎用性のある評価法と考えるが、伝統構法の仕口で降伏後も強度が増加し続ける復元力特性をより精度よく評価する手法として弾塑性パステルナーク・モデル（EPM）によるシミュレーションがある[5.7.6-2)]。この手法は、木材の横圧縮におけるひずみ硬化挙動に着目して、めり込み下部のひずみ分

布を表す形状関数と剛性関数の導入によりめり込みの弾塑性剛性の増大・減少過程を統一的に表現し、回転めり込みの弾塑性復元力特性を弾性・塑性段階を一貫した形で定式化を行ったものである。均等めり込みの定式化については、すでにめり込み試験の項で紹介しているが、ここではその手法を回転めり込みに拡張したもので、解析用パラメータを適切に設定することにより、伝統的構法の仕口の復元力特性を弾塑性段階全体にわたり、精度よくシミュレーションできる特徴がある。

この手法には2次元解析では材料定数である横圧縮ヤング係数 E，横圧縮降伏応力度 σ_y（または降伏ひずみ ε_y）の他にEPM独自のパラメータとして以下の合計4個のパラメータが必要となる。

γH ：PMの無次元特性値で、めり込みの剛性増大率を決めるパラメータ。

η ：ひずみ分布の形状関数を決めるパラメータで全面圧縮降伏ひずみ ${}_F\varepsilon_y$ と部分圧縮降伏ひずみ ${}_P\varepsilon_y$ の比で決める。

C ：弾性ひずみに対する塑性ひずみの倍率で、仕口の場合は回転角の塑性増大率になる。

μ ：摩擦係数。通し貫では一般に0.6を採ることできるが、本実験では楔が抜けやすいことから0.5とする。

具体的には、図5.7.6-8～12の凡例に示すEPM-Jointが仕口回転角の復元力のグラフの黒太線に対応し、EPM-Frameが十字型フレームの層間変形角の復元力で、実験結果の赤細線に各々対応する。フレームの変形は仕口の回転による変形に加えて柱・梁の曲げ変形などを含み、剛性は仕口のみより1～1.5割程度小さくなる。シミュレーション結果のEPMパラメータの一覧表を表5.7.6-3に示す。

表5.7.6-3　弾塑性パステルナーク・モデルのパラメータ

	横圧縮ヤング係数	横圧縮降伏ひずみ	降伏回転角	無次元特性値	形状関数のパラメータ	塑性ひずみ倍率	摩擦係数	横圧縮降伏応力度
	E (MPa)	ε_y	θ_y	γH	η	C	μ	σ_y (MPa)
J1-1	172	0.017	0.034	3.6	3	4	0.5	2.9
J1-2	140	0.019	0.038	2.3	3.5	10	0.5	2.7
J1-4	132	0.023	0.046	3.2	1.9	3.5	0.5	3.0
J2-1	108	0.022	0.044	2.6	3.4	3	0.5	2.4
J2-2	172	0.017	0.034	2.5	2.4	5	0.5	2.9
J2-3	344	0.011	0.022	2.4	2.4	7	0.5	3.8
J3-1	697	0.009	0.018	3.6	3.2	20	0.5	6.3
J3-2	580	0.009	0.018	10	1.2	8	0.5	5.2
J3-3	322	0.014	0.028	3.0	2.1	9	0.5	4.5
J4-1	167	0.016	0.032	2.2	3.5	14	0.5	2.7
J4-2	346	0.016	0.032	2.0	5.5	40	0.5	5.7
J4-3	399	0.013	0.026	2.6	4	50	0.5	5.2
J5-1	431	0.011	0.022	5.0	2.8	11	0.5	4.7
J5-2	461	0.009	0.018	4.5	2	4	0.5	4.1
J5-3	332	0.012	0.024	3.0	3.4	9	0.5	4.0

図5.7.6-14にJ2-1の例を取り出して、シミュレーションの具体的な内容を示す。J2-1の貫は写真5.7.6-5のように虫食いがかなり見られるが、横圧縮ヤング係数は$E=108\mathrm{MPa},\ \varepsilon_y=0.022,\ \sigma_y=2.4\mathrm{MPa}$がえられており、実験結果のJoint+（仕口変形のみの正載荷）のグラフと合うようにパラメータを求めると、$\gamma H=2.7,\ \eta=3.4,\ C=3$となった。これには貫のせん断弾性係数$G\cong E_L/15=330\mathrm{MPa}$と仮定した仕口のシア―パネルとしてのせん断変形を含むが、EPM Frame+（フレーム変形を含む正載荷）のグラフはフレームの柱・貫の曲げ変形を追加した復元力特性で、フレームの変形が15%程度占める。なお、EPMのグラフでは、楔抜け出しによるモーメント頭打ち傾向はシミュレーションできておらず、今後の検討課題としたい。

J2シリーズの貫は3本とも、同じ200角のスギ柱から採取したもので、材料試験結果の縦圧縮ヤング係数の平均値は$E=5.5\mathrm{GPa}$、横圧縮ヤング係数に大きなばらつきのあるうちの3体の中の最小値のもので、虫食いが激しいものであるが、J4シリーズの新材スギと比較しても特に劣る傾向はみられない。

図5.7.6-15～29に全試験体の0.1radまでの実験結果の復原力特性に、完全弾塑性モデルの復原力特性とEPMシミュレーション結果の復原力特性を重ねて示す。

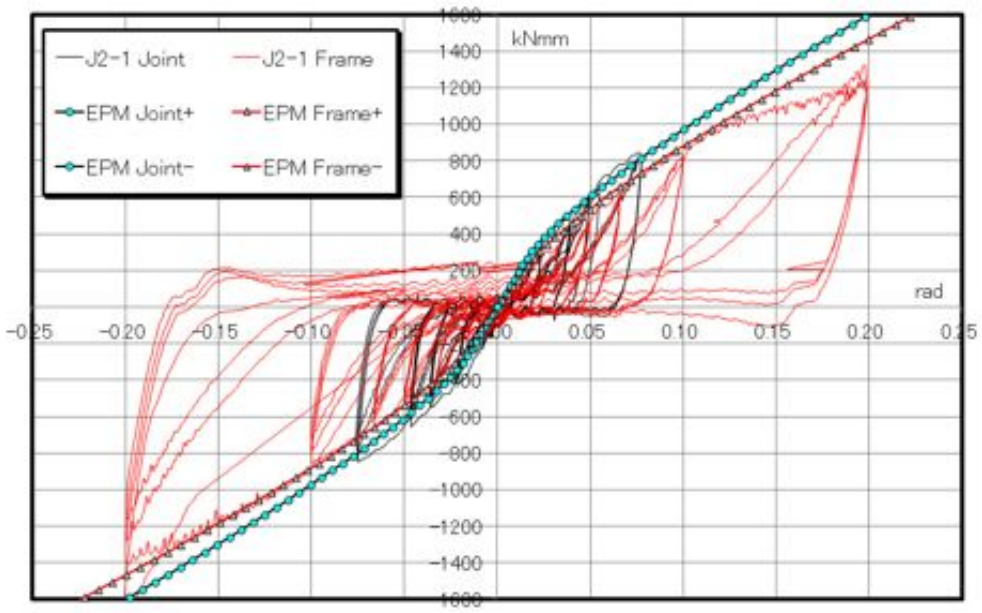


図5.7.6-14　J2-1復元力特性とEPM解析

（Joint：仕口のみ、Frame：フレーム変形を含む、＋は第1象限,―は第3象限を示す）

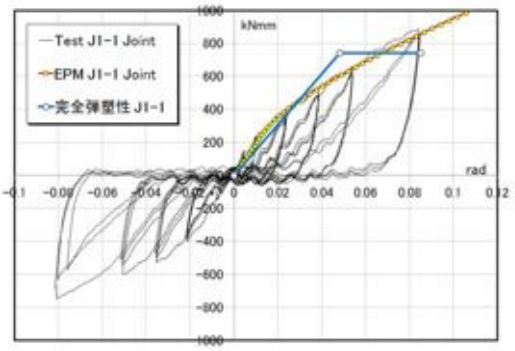


図5.7.6-15　J1-1 復元力特性と解析

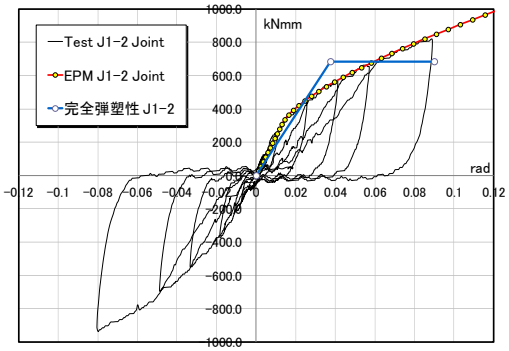


図5.7.6-16　J1-2 復元力特性と解析

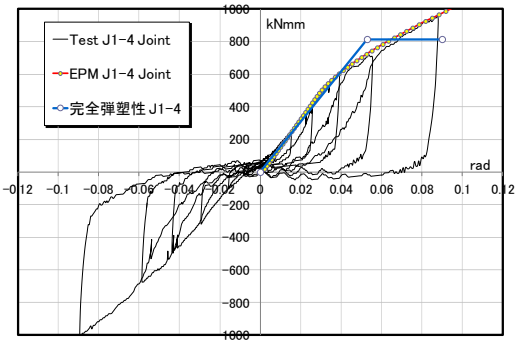


図5.7.6-17　J1-4 復元力特性と解析

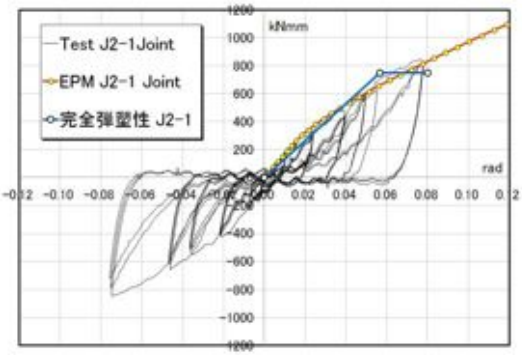


図5.7.6-18　J2-1 復元力特性と解析

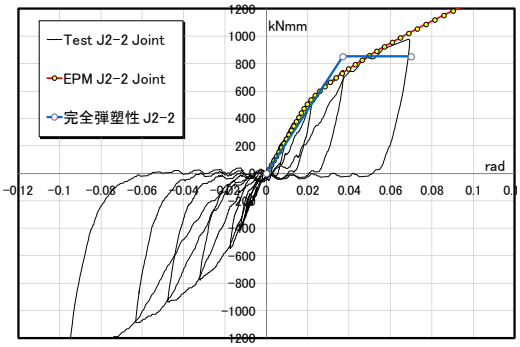


図5.7.6-19　J2-2 復元力特性と解析

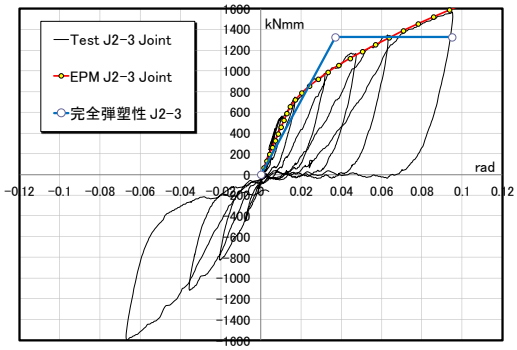


図5.7.6-20　J2-3 復元力特性と解析

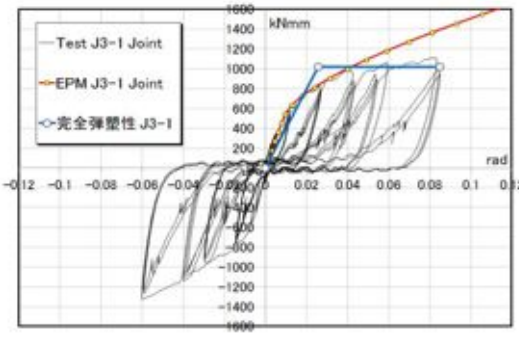


図5.7.6-21　J3-1 復元力特性と解析

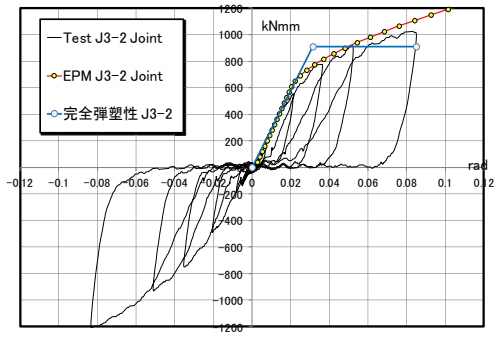


図5.7.6-22　J3-2 復元力特性と解析

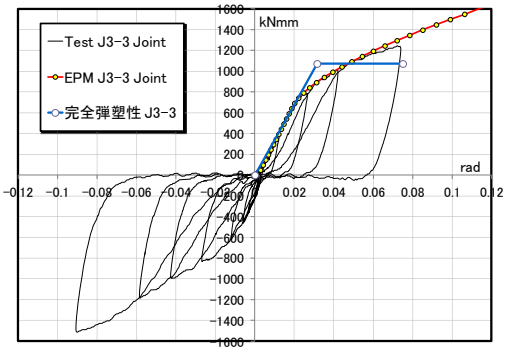


図5.7.6-23　J3-3 復元力特性と解析

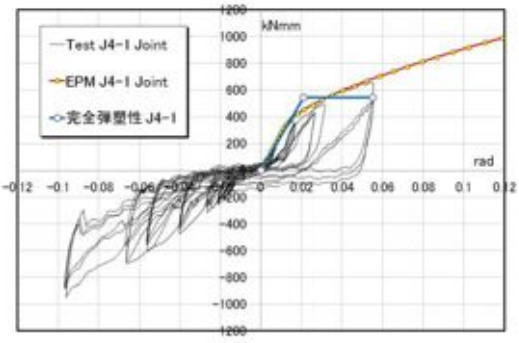


図5.7.6-24　J4-1 復元力特性と解析

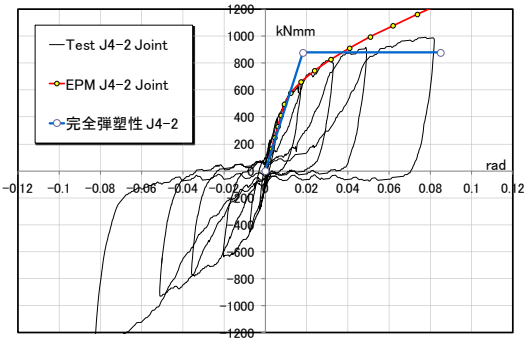


図5.7.6-25　J4-2 復元力特性と解析

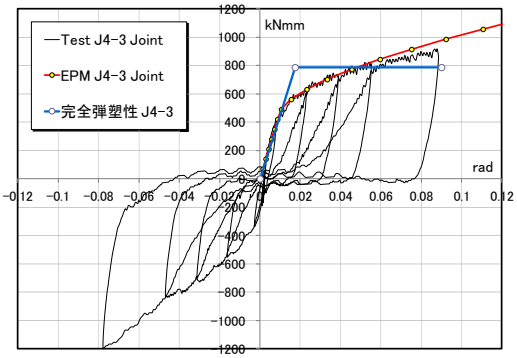


図5.7.6-26　J4-3 復元力特性と解析

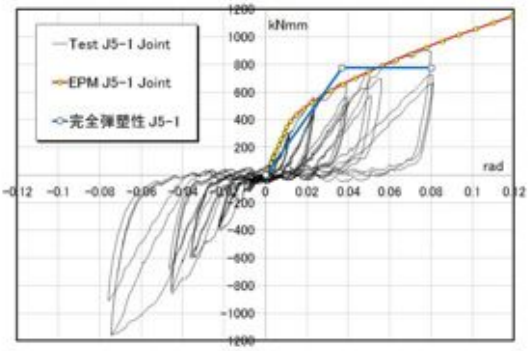


図5.7.6-27　J5-1 復元力特性と解析

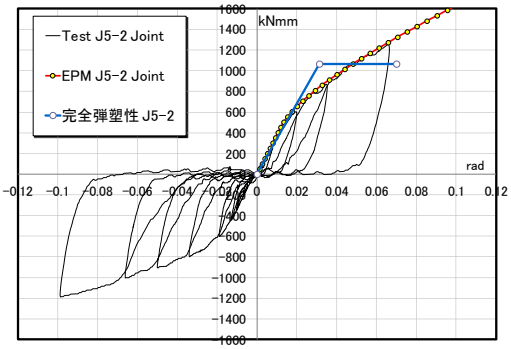


図5.7.6-28　J5-2 復元力特性と解析

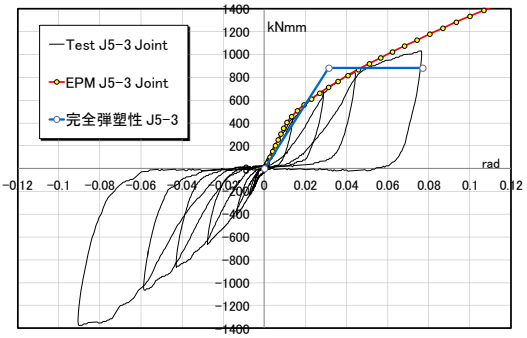


図5.7.6-29　J5-3 復元力特性と解析

5)新材・既往データとの比較

既往のデータとの比較では、同じ仕口形状の古材の仕口実験データは見当たらないため、新材との比較となるが、ここではEPMパラメータによる既往のデータとして、鋼製柱に新材のヒノキ・ベイヒバの貫を用いた仕口接合部実験のEPM解析結果[5.7.6-2)]を用いて比較を行う。

図5.7.6-30にEPMパラメータのうち、剛性増大率に関わる無次元特性値γHの古材・新材の分布を示す。ここで、ヒノキ・ベイヒバの貫の仕口接合部実験のEPM解析結果より、以下の(1)式の線形近似曲線が得られており、全体に横圧縮ヤング係数とγHとの線形関係が認められる。

$$\gamma H = 0.003E + 2.4 \quad (E:\text{横圧縮ヤング係数}) \tag{1}$$

また、図5.7.6-31には剛性増大率と横圧縮ヤング係数の積で、回転めり込みによる剛性増大後の見かけの横圧縮ヤング係数$E\zeta_R$の実験結果の分布を示す。この図でEPM理論式は回転めり込みの剛性増大率ζ_Rを用いて（2）式による。

$$E\zeta_R = E[1+\frac{3}{\gamma H\lambda}(1+\frac{1}{\gamma H\lambda})] \quad :(\lambda=\frac{L}{H}:\text{載荷長比で本実験では0.5}) \tag{2}$$

全体に、古材アカマツのばらつきが大きいが、J3-2の無次元特性値$\gamma H = 10$を除いてその分布と傾向はEPM理論式に比較的沿っている。

ひずみ分布の形状関数のパラメータηと弾性回転角に対する塑性ひずみ倍率Cの分布を古材・新材で区別して図5.7.6-32、図5.7.6-33に示す。

η の平均値（変動係数%）は、

古材で2.57（30）、新材で3.53（33）、新材ヒノキ・ベイヒバの平均2.43（20）

C の平均値（変動係数%）は、

古材で7.72（68）、新材で21.3（89）、新材ヒノキ・ベイヒバの平均15.5（34）

となった。

古材スギのη は新材ヒノキ・ベイヒバに近く、新材スギはばらつきが大きい。古材のCは新材ヒノキ・ベイヒバに比べ小さく、降伏後の剛性低下が少ないことを意味し、新材スギは大きな値をとり、剛性低下が大きいことを意味する。

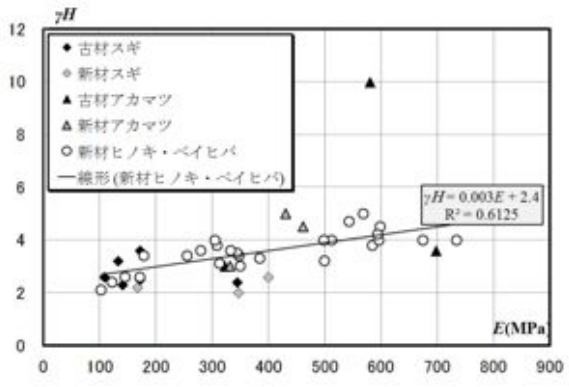


図5.7.6-30　無次元特性値 γHの分布

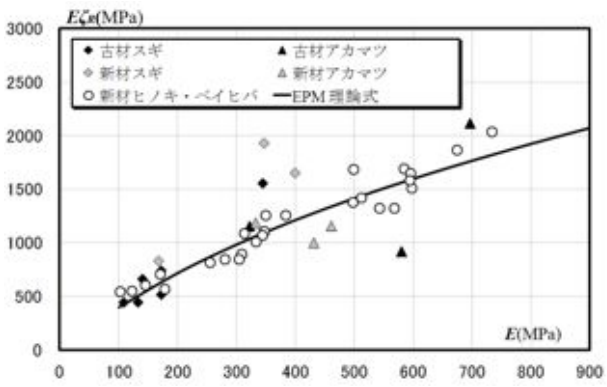


図5.7.6-31 見かけの剛性$E\zeta_R$ の分布

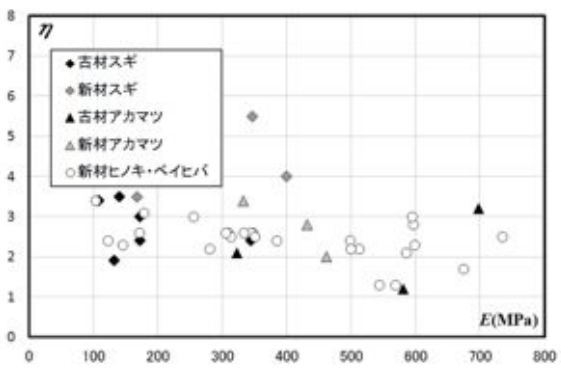


図5.7.6-32　パラメータη の分布

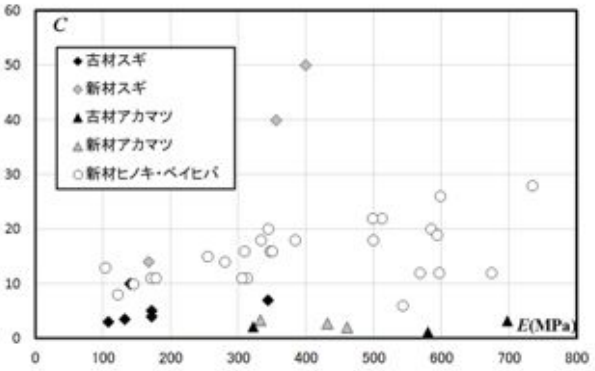


図5.7.6-33　塑性ひずみ倍率 *C*の分布

（２）貫の仕口解析用定数を求める試験

1)横圧縮試験

a)試験要領

J1～J5の5シリーズの貫用の長さ1500mm程度の部材から貫と同時に30×30×60mm横圧縮試験体を片側2個、他方から1個を採取した。J1、J2で貫が4体あるのは、予備試験体を含めたためである。

横圧縮試験は、縦圧縮試験と同じジグを用いて、ゲージひずみ2面および中間部30mm間の変位、クロスヘッド間変位の3種類のひずみと応力度の関係を求め、その各々のヤング係数を求めた。

Ea：クロスヘッド間変位で求めたヤング係数

Eb：中間部変位計で求めたヤング係数

Ec：ひずみゲージより求めたヤング係数

仕口のめり込み解析にはEaを用い、Eb、Ecは参考値とするが、Eb、Ecよりめり込み解析用のEaに換算するための相関性を示すデータとなる。

ヤング係数、降伏ひずみは4章と同じ要領で算出した。

b)試験結果と考察

試験結果の3体の平均値と変動係数の一覧を表5.7.6-4に示す。空欄は測定の不具合でデータを除いている。図5.7.6-34 に上記の3種類の横圧縮ヤング係数の比率を示しEa/Ecの平均値（変動係数）は0.62(0.30)、Eb/Eaは0.878(0.33)であった。

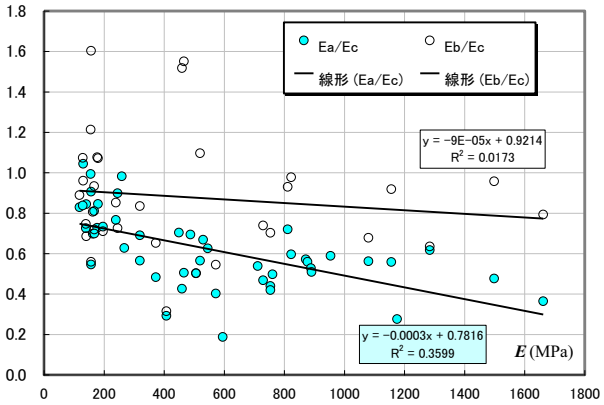


図5.7.6-34 3種類の横圧縮ヤング係数の比較

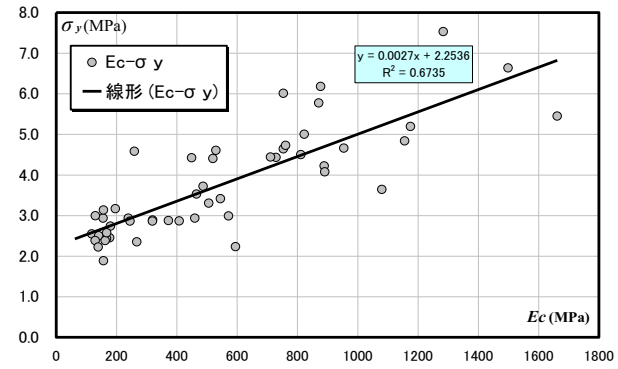


図5.7.6-35横圧縮ヤング係数と横圧縮降伏応力度の相関

これらの比率は、既往の新材の同様なデータと比較して、ばらつきも大きく、横圧縮ヤング係数への依存性も見られ、今後めり込み用の横圧縮ヤング係数の推定には、いくつかの課題が残る。

図5.7.6-35の横圧縮ヤング係数と横圧縮降伏応力度の相関は比較的高く、今後さらにデータの蓄積により横圧縮ヤング係数から降伏応力度の推定の可能性は期待できる。木材の力学特性を密度との相関性を検討することが多いが、横圧縮に限っては、同じ密度の材料でも横圧縮ヤング係数は年輪傾角に大きく依存するので、年輪傾角を考慮しないと意味をなさないことに注意する。

表5.7.6-4　貫の横圧縮試験結果の平均値・変動係数(%)一覧表

Series		横圧縮ヤング係数			最大強度	比例限度応力度	降伏ひずみ	降伏応力度
		Ea (MPa)	Eb (MPa)	Ec (MPa)	σc (MPa)	σ_{cp} (MPa)		σy (MPa)
J1-1	av.	172	213	264	3.82	1.83	0.017	2.85
	cv.	10	12	37	11	16	7	4
J1-2	av.	140	178	167	3.11	1.40	0.019	2.61
	cv.	10	11	7	14	12	3	11
J1-3	av.	110	109	133	3.76	1.23	0.021	2.27
	cv.	10	14	8	15	20	3	13
J1-4	av.	132	168	232	3.28	1.63	0.023	3.00
	cv.	9	43	66	1	20	5	4
J2-1	av.	108	125	144	3.94	1.63	0.022	2.33
	cv.	6	15	12	2	4	3	4
J2-2	av.	173	188	244	4.29	2.23	0.017	2.78
	cv.	30	39	31	5	11	27	6
J2-3	av.	344	581	704	5.06	2.37	0.011	3.19
	cv.	66	40	47	8	9	42	12
J1-4	av.	211	372	389	4.42	2.40	0.017	3.33
	cv.	28	83	43	9	4	28	5
J3-1	av.	697	1002	1198	8.36	4.50	0.009	6.22
	cv.	15	38	29	8	11	11	25
J3-2	av.	580	1062	1214	7.14	4.50	0.009	5.10
	cv.	14	24	35	9	11	15	6
J3-3	av.	322	546	668	6.33	3.00	0.014	4.49
	cv.	8	4	19	6	0	7	3
J4-1	av.	167	–	394	3.40	1.60	0.016	2.48
	cv.	33	–	45	10	17	24	13
J4-2	av.	356	–	628	6.34	3.73	0.016	5.45
	cv.	35	–	52	15	38	25	14
J4-3	av.	399	–	921	5.86	3.00	0.013	5.27
	cv.	21	–	26	25	33	17	17
J5-1	av.	431	–	748	4.67	3.80	0.011	4.66
	cv.	26	–	28	1	27	23	1
J5-2	av.	461	–	890	4.85	3.00	0.009	4.15
	cv.	2	–	0	4	0	0	2
J5-3	av.	332	–	494	4.57	2.77	0.012	3.85
	cv.	4	–	10	11	9	18	13

なお、密度（気乾）の平均値（変動係数%）は、スギ古材417kg/m³（8%）、新材388kg/m³（8%）、アカマツは古材532kg/m³（3%）、新材500kg/m³（3%）、含水率（全乾法による）は11.8～13.3%（変動係数2～6%）であった。

2) 実大めり込み試験

a) 試験要領

貫のめり込み特性を確認するために、図5.7.6-36に示すW_1,W_2で挟み式のめり込み試験を各貫2個所実施した。載荷位置の200mm範囲の側面に10mmグリッドを記入し、変形状況を観察した。

仕口実験時には貫中央部で最大モーメント1600kNmmの1/2程度のモーメント履歴を受けているが、曲げ応力度に換算すると16N/mm²程度であり、載荷位置ではさらにその半分の応力度で十分弾性範囲で、接合部実験の載荷の影響は無視できると判断した。

鋼載荷板は30×50×12mmを上下から挟んで載荷速度2mm/分で、20mmまで載荷した。

載荷場所・載荷装置はめり込み試験と同じである。

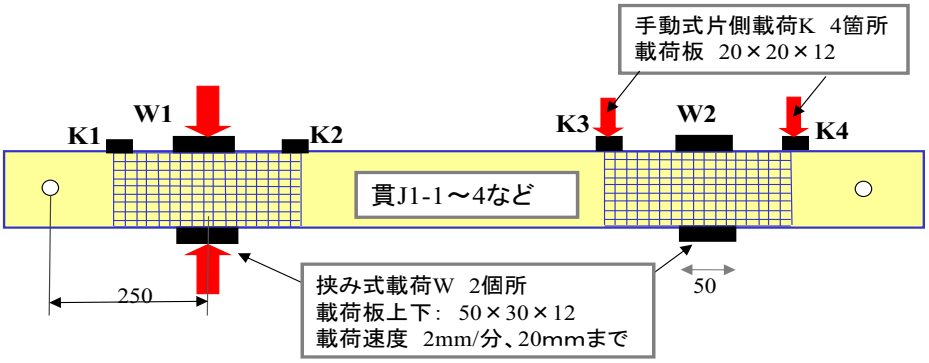


図5.7.6-36 実大めり込み試験の載荷位置図

b) 試験結果と考察

めり込み試験後の変形状況の一例を写真5.7.6-6に示す。上下のめり込み変形が上下対称にならない場合もあり、上下の表面付近の剛性のばらつきによるものと見られるが、復元力特性のグラフは材料試験等の小試験体に比べ、比較的スムースなグラフとなった。

試験でえられた荷重・変位関係より得た復元力特性を、すでに求めた該当する貫の横圧縮ヤング係数と降伏ひずみまたは応力度を用いて、EPMシミュレーションを行い、EPM解析パラメータを求めた。シミュレーション手法はめり込み試験の項に示す手法と同じである。

ηの平均値（変動係数%）は1.43（21%）、Cのそれは19.5（44%）である。

その一覧表を表5.7.6-5に、シミュレーションの実例を図5.7.6-37に、無次元特性値γHの分布を図5.7.6-38に示す。その線形相関曲線を求めると、$\gamma H = 0.006E + 1.40 : R^2 = 0.389$となり、これを

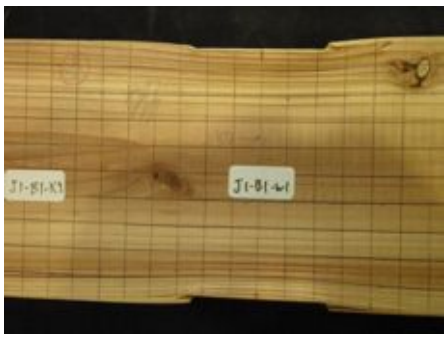


写真5.7.6-6 実大めり込み試験の変形状況

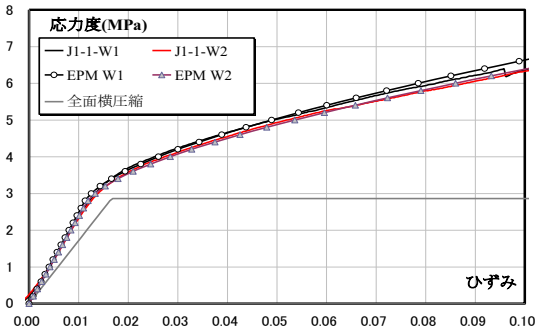


図5.7.6-37 実大めり込み試験のEPM解析例(J1-1)

前提として剛性増大後のめり込み剛性 $E\zeta_p$ を求め表5.7.6-5に合わせて示した。そのEとの相関性分布を図5.7.6-39に示す。同図には貫の試験結果のめり込み剛性の2個所の実測平均値を○でプロットした。○の相関曲線からのずれが、横圧縮ヤング係数推定の誤差に相当し、精度の良くないものも5点ほど含まれるが、精度向上の課題が残る。

剛性増大後のめり込み剛性の本試験の範囲のデータでは、古材・新材の平均的な相関性はよく似ており、めり込みによる剛性増大効果の差異は少ないことがわかる。

表5.7.6-5　貫の実大めり込み試験WのEPMパラメーター一覧表

Series	E (MPa)	ε_y	γH	η	γL	C	σ_y (MPa)	$E\zeta_p$ (MPa)
J1-1	**172**	**0.017**	**4.9**	**1.5**	**2.5**	**8.0**	**2.85**	**308**
J1-2	**140**	**0.019**	**3.0**	**1.5**	**1.5**	**9.0**	**2.61**	**261**
J1-3	**110**	**0.021**	**1.5**	**1.8**	**0.8**	**13.0**	**2.27**	**214**
J1-4	**132**	**0.023**	**2.5**	**1.7**	**1.3**	**11.5**	**3.00**	**250**
J2-1	108	0.022	2.5	2.0	1.2	13.0	2.33	211
J2-2	173	0.017	1.8	1.4	0.9	12.0	2.78	310
J2-3	344	0.011	2.2	1.4	1.1	27.0	3.19	533
J2-4	211	0.017	1.3	1.7	0.6	26.5	3.33	363
J3-1	697	0.009	6.8	1.3	3.4	26.0	6.22	932
J3-2	580	0.009	3.8	1.2	1.9	29.5	5.10	805
J3-3	322	0.014	3.1	1.3	1.6	15.5	4.49	507
J4-1	**167**	**0.016**	**3.1**	**1.5**	**1.6**	**25.0**	**2.48**	**302**
J4-2	**356**	**0.016**	**2.2**	**1.8**	**1.1**	**36.0**	**5.45**	**548**
J4-3	**399**	**0.013**	**2.2**	**1.5**	**1.1**	**26.0**	**5.27**	**599**
J5-1	431	0.011	5.5	1.0	2.8	26.0	4.66	636
J5-2	461	0.009	7.5	1.0	3.8	12.0	4.15	671
J5-3	332	0.012	3.5	1.0	1.8	15.0	3.85	519

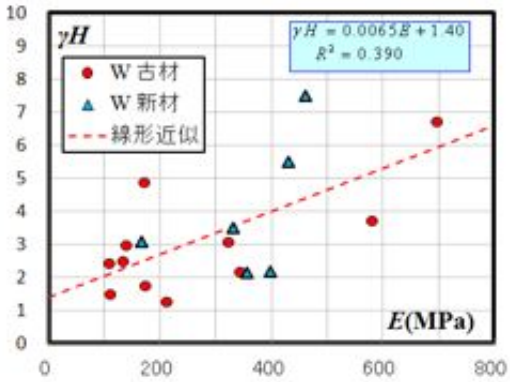


図5.7.6-38　W古材・新材の γH の分布

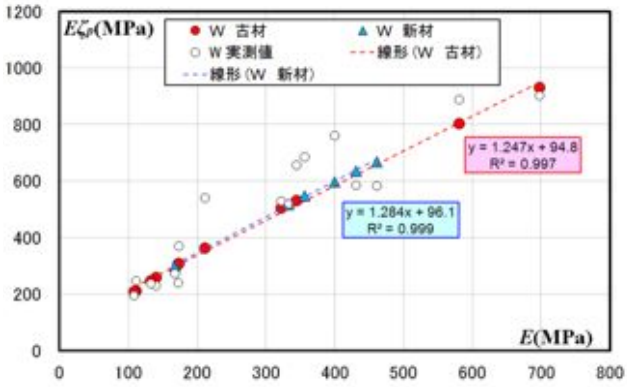


図5.7.6-39　W古材・新材のめり込み剛性の分布

3)携帯式載荷装置によるめり込み試験

a)試験要領

貫の横圧縮ヤング係数と降伏ひずみまたは応力度を現存する建物の現地において、非破壊で把握

確認する手法の開発を目指して、仕口接合部実験に用いた貫を対象に、図5.7.6-40に示す携帯式載荷装置で実験室にてめり込み載荷試験を行った。小型のロードセル（東京測器CLS-5NA:最大荷重5kN）と、2個の変位計（CDP-10M）によりめり込み荷重と変位を求める。手動によるため載荷速度は安定しないこと、グラフも必ずしも良好でない場合もあるが、1-2mmのめり込み変位の数回の繰返し載荷で復元力特性のグラフを得ることができる。

文化財などの部材に損傷を極力与えない準非破壊の手法として、20mm 角の鋼載荷板のエッジには半径 1mm の丸みをつけ、めり込み痕跡が目立たないよう工夫している。

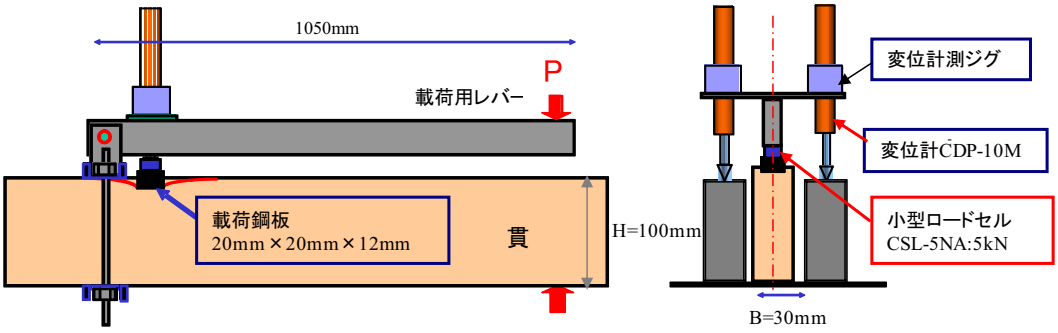


図5.7.6-40　携帯式載荷装置

b)試験結果と考察

試験でえられた荷重・変位関係より得た復元力特性を、実大めり込みと同様に、EPMシミュレーションを行い、EPM解析パラメータを求めた。その一覧表を表5.7.6-6に、シミュレーションの実例を図5.7.6-41～42に示す。

表5.7.6-6　携帯式めり込みK試験結果のＥＰＭパラメータ

Series	E (MPa)	ε_y	γH	η	γL	C	σ	$E\zeta p$ (MPa)
J1－1	172	0.017	2.6	5.4	0.26	13.0	2.85	491
J1－2	140	0.019	1.8	9.0	0.18	16.0	2.61	421
J1－3	110	0.021	2.3	8.3	0.23	7.5	2.27	350
J1－4	132	0.023	6.3	4.5	0.63	2.3	3.00	403
J2－1	108	0.022	8.5	2.1	0.85	5.1	2.33	345
J2－2	173	0.017	4.4	3.1	0.44	3.4	2.78	493
J2－3	344	0.011	8.9	1.2	0.89	2.3	3.19	795
J2－4	211	0.017	8.2	1.4	0.82	2.6	3.33	568
J3－1	697	0.009	11.0	3.4	1.10	4.4	6.22	1267
J3－2	580	0.009	9.4	2.8	0.94	3.7	5.10	1122
J3－3	322	0.014	6.6	1.9	0.66	2.1	4.49	760
J4－1	167	0.016	5.0	3.8	0.50	6.3	2.48	480
J4－2	356	0.016	8.0	2.6	0.75	9.0	5.45	813
J4－3	399	0.013	17.0	1.5	1.70	3.9	5.27	877
J5－1	431	0.011	8.8	1.9	0.88	3.3	4.66	923
J5－2	461	0.009	8.5	2.5	0.85	2.2	4.15	965
J5－3	332	0.012	5.0	2.3	0.50	4.2	3.85	776

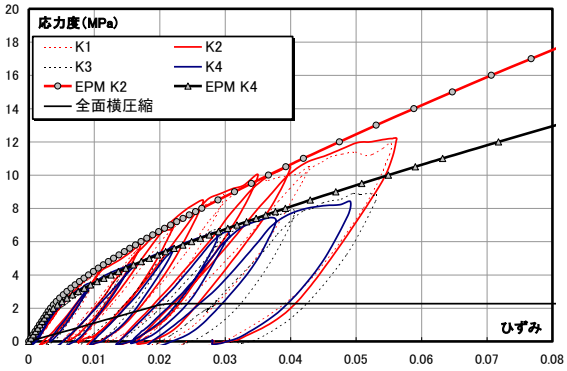


図5.7.6-41　J1-3（スギ）EPM解析

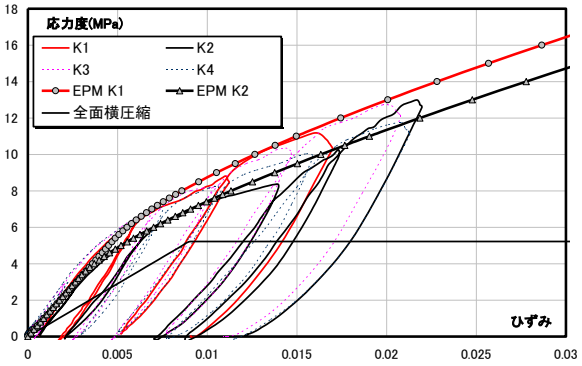


図5.7.6-42　J3-2（アカマツ）EPM解析

シミュレーションはめり込み試験の項に示す手法と同じであるが、めり込みが3次元で、部材幅30mmに対し載荷幅20mmで縁距離両側5mmの部分の若干の剛性増大効果もあり、その影響を含めた等価な2次元モデル[5.7.6-3)]として算定した。図5.7.6-43に無次元特性値の分布を示した。また、この古材・新材含めて求めた線形相関曲線は$\gamma H = 0.013E + 3.16 : R^2 = 0.388$で、これを用いて剛性増大後のめり込み剛性の推定値と横圧縮ヤング係数との線形相関曲線（破線で示す）を求めて図5.7.6-44に示した。あわせて、めり込み剛性の実測値$E\zeta_p$の貫毎の平均値（表5.7.6-6の最右欄に示す）を○で示した。それによれば、めり込み剛性の実測値より横圧縮ヤング係数を推定するにはW試験より大きなばらつきが想定されるが、横圧縮ヤング係数との線形関係は比較的良好で、古材・新材の差異も少なく、現場でのめり込み試験の弾性剛性より、例えば図5.7.6-44などの相関性を活用して横圧縮ヤング係数を推定する可能性はある。

これらの相関関係式は、載荷長比λ＝L/H、端距離比δ＝⊿L/H、部材高さなどの幾何学条件に関連するとともに、実大試験・既往のめり込み試験結果とも係数は異なりうるので、載荷装置の改良と共に、データベースを蓄積して、精度よい相関式の検討が今後の重要課題となる。

なお、ηの平均値（変動係数%）は3.39（67%）、Cのそれは5.36（74%）である。

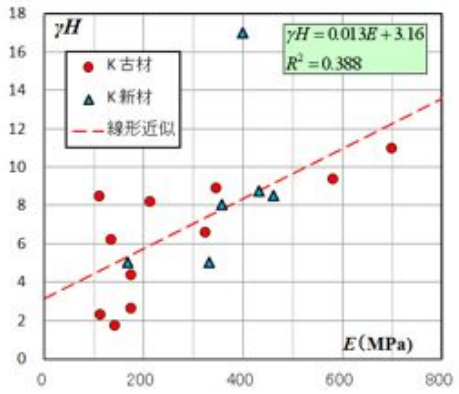


図5.7.6-43　K古材・新材のγH

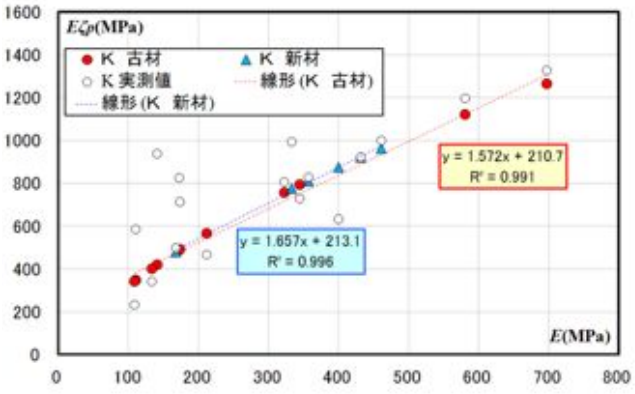


図5.7.6-44　K古材・新材のめり込み剛性の分布

4)応力波試験

a)試験要領

部材の非破壊によるヤング係数の推定法のひとつに、応力波を利用した方法がある。縦（繊維）方向では多くの実績があるが、横圧縮ヤング係数の推定の実績が乏しい。原理的には方向に依存しないが､部材で横方向の距離が短いことや年輪が複雑となるため精度が未解明である｡本試験では、携帯式の準非破壊試験法と合わせて、現存する建物の部材の横圧縮ヤング係数を計測する試みとして、横圧縮ヤング係数が分かっている部材で、横圧縮ヤング係数の推定を試みた。使用した機種はFAKOPP, Microsecond Timer 2D（FAKOPP Bt. Hungary）である。非破壊という点では、Spikeを打ち込む痕跡が残るため，厳密には準非破壊である。

繊維方向の確認を行うために、材料試験の試験体を切り出す前の板状の部材G1,G2,N1,N2の4体を対象として、図5.7.6-45の位置で、部材の端部に近い点でSpikeを斜めに打ち込み測定した。横方向では部材幅かSpike先端距離のどちらの距離を用いるのが適切かの判断を含め、貫の3か所で試験を実施し、図5.7.6-46の要領で実測した。いずれもSpikeをハンマーで打撃3回の到達時間の読みを記録した。

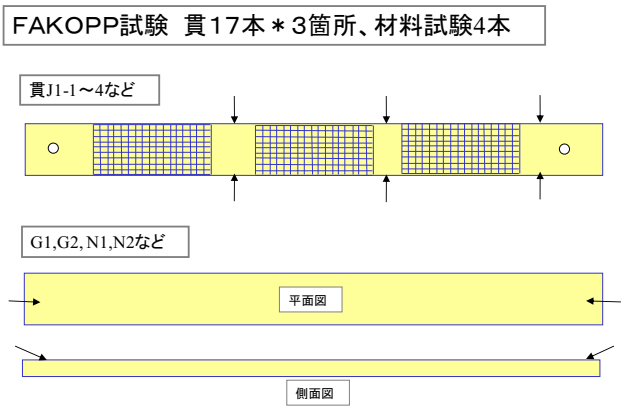


図5.7.6-45　応力波試験位置図



写真5.7.6-7　スパイク打ち込み状況

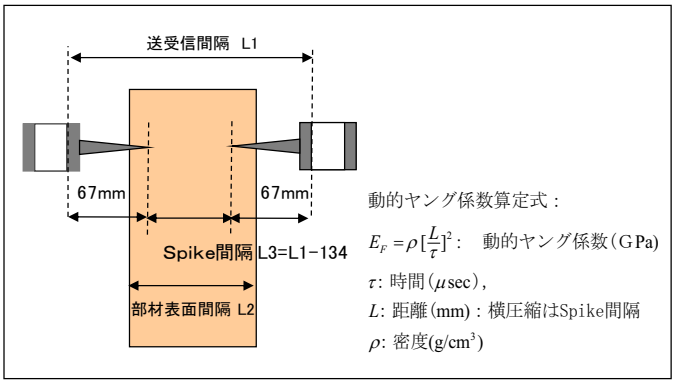


図5.7.6-46　横方向測定要領と算定式

b)試験結果と考察

一個所につき3回のデータの平均値で、その時点の重量から換算した密度を用いてヤング係数を推定した。

試験結果によれば、縦方向のヤング係数の圧縮試験結果とFAKOPPによる推定値とは比較的相関性が高いことが確認できた。横圧縮ヤング係数に関しては、今回の試験範囲では、横圧縮試験とFAKOPPによる推定値とは部材間距離ではなく、Spike先端距離を用いた結果の相関性が高いことが確認でき、FAKOPPでは打ち込み量を実測しSpike先端距離を用いて結果の推定を行うことが妥当であることが判明した。今後さらに実績を蓄積して、横圧縮ヤング係数の推定に、FAKOPPの適用の可能性を追求する。ただし、得られるヤング係数は動的な横圧縮ヤング係数であり、めり込み解析に適用するには、クロスヘッドによる圧縮ヤング係数相当値への換算が必要となるが、その換算には今後データの蓄積を待って、図5.7.6-34などの情報が活用できる。

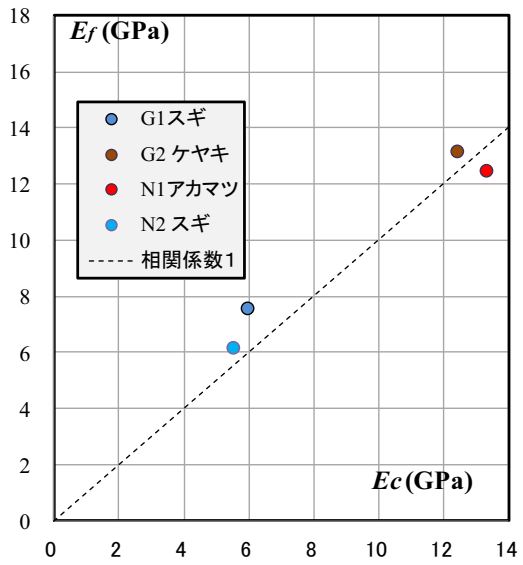


図5.7.6-47　縦圧縮ヤング係数*Ec*と
FAKOPPによる推定値*Ef*の相関

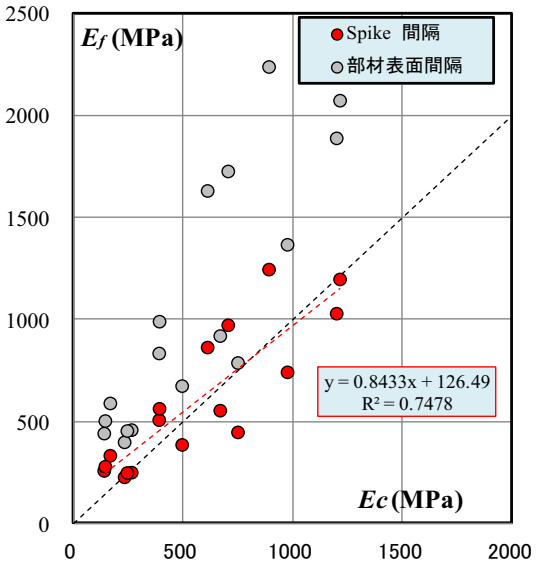


図5.7.6-48 横圧縮ヤング係数*Ec*と
FAKOPPによる推定値*Ef*の相関

（参考文献）

5.7.6-1）（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,1988.

5.7.6-2）棚橋秀光・鈴木祥之：伝統木造仕口の回転めり込み弾塑性特性と十字型通し貫仕口の定式化,日本建築学会構造系論文集,Vol.76, No.667, 1675-1684, 2011.9.

5.7.6-3）棚橋秀光・大岡　優・伊津野和行・鈴木祥之：伝統木造仕口の横圧縮特性（その6　実大部材のめり込み試験Hシリーズ），日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅲ, pp.425-426, 2011.8.

５．７．７　古材の材料特性・めり込み特性の総合的評価と今後の課題

古材に関する本WGの研究成果に基づいての総合的評価と今後の課題をまとめる。

（１）古材の材料としての力学特性

本実験の範囲では、縦圧縮・めり込み・曲げに関しての材料定数は、新材と比較しても大きく見劣りすることはない結果となった。しかし、ばらつきは多い傾向がある。

また、縦圧縮においては、部材の経過年数や樹種の違いに拘らず、載荷時の各部位における変形・強度はほとんど変わらない結果となった。

せん断強度に関してはやや様子が異なり、経年数が大きくなるにつれて強度が低下する傾向があった。

（２）古材のめり込み特性

めり込み特性に関して新材と古材を比較した場合、剛性や強度・大変形時の挙動などに関して古材の方が大きく劣るという結果にはならなかった。しかし、樹種や年輪方向によっては、大変形時に脆さが見られるなど若干の不安要素も確認できた。

年輪方向別で見ると、どの樹種においても、柾目方向（LR方向）に比べ板目方向（LT方向）・追柾方向（LTR方向）がひずみ0.05以上の大変形時に脆くなる結果となり、特に板目方向（LT方向）においては、載荷の途中で年輪が座屈するような挙動が頻繁に確認できた。この挙動は年輪の曲率などにも依存し新材でも見られ、古材特有のものとは限らないと考えられるが、新材との差異までは確認できていない。

EPM解析パラメータの傾向を見ると、全面圧縮と部分圧縮の降伏ひずみの比率を示すηにおいては、古材・新材・樹種・年輪方向関係なく、既往の$\eta = 1.1 \sim 1.4$の範囲に収まる結果となった。

塑性ひずみ倍率Cにおいては、ばらつきも大きく他のパラメータとの相関も見られないため、傾向の把握が困難な結果となった。その数値が小さいほど塑性剛性を大きく評価することになるため、塑性剛性の過大評価を避けるためには、平均値より上限値に近い数値が適当と考える。

めり込みによる剛性増大率を決定するパラメータγHにおいては、新材・古材ともに横圧縮ヤング係数との相関が比較的高いことが分かった。しかし、古材の方が新材と比べγHが大きい傾向があり、剛性増大率では小さめになる。

（３）仕口接合部の復元力特性

試験体数が限られ、しかもばらつきの多い材料であったこともあって、古材と新材の差異を明確に示すことはできなかったが、本実験の範囲では、古材が剛性・強度・変形性能を含む復元力特性で新材に劣る傾向は見られなかった。ただし、実際の仕口では楔のほか、込栓などの要素を含むものが多く、古材を用いた仕口の剛性・強度・復元力特性などの評価にあたっては、その考慮が必要である。また、楔の形状・締め付け度合いにより復元力特性が大きく左右されるため、楔の形状は古材・新材に拘わらず今後の検討課題の一つとなる。

（４）非破壊による材料特性の推定

1) 実大材について応力波を用いて推定したヤング係数は、製材品などで一般的に知られている値に比べて遜色のない結果となった。しかし、応力波を用いて推定されるヤング係数は材料実質部分の物性値を示すため、欠損等を含む形状不定の実大材に荷重が作用した場合にもあてはまるかと言えば、そのようにはならない。このことは、実大材の曲げ試験による曲げヤング係数（MOE）と曲げ強度（MOR）の値を見ても明らかであり、欠損等の影響により小さめの値となっている。応力波を用いた非破壊的手法は簡便で正確な測定が可能であり、定形断面をもつ製材のヤング係

数は正確に推定ができるので、欠損等をもつ形状不定の材のヤング係数と強度を如何にして推定するかが重要課題であった。この課題に対して、実大曲げ試験より得られたMOEとMORのデータ、そして応力波を用いて推定したヤング係数Esを用いて、シミュレーション法により、「無垢の古材（古材の製材)」の曲げ強度を推定し、古材製材のデータベースの作成を試みた。このデータベースを基にして基準強度を導出した結果、低ヤング係数域の基準強度は新材と比べて強度値が大きく、逆に、高ヤング係数域では新材に比べて強度値が小さく評価された。この原因の一つとして、扱った古材は太鼓材であり（たいていの場合、古材は太鼓材であろう）繊維が切断されていないため、製材の強度より大きくなったことが考えられる。

なお、このようにデータベースの作成をシミュレーション法により試みたこと、これにより基準強度を導出したこと、また、導出した基準強度を実大試験結果で検証した結果概ね妥当であると判断されるなどの成果を得た。

データベースをより正確なものにするために、古材の実大強度試験について機会を捉えて継続的に実施し、データの蓄積をはかることが今後重要となる。これにより、古材の設計強度がより正確に評価することが可能となろう。

2)横圧縮・めり込み特性に関しては、仕口のEPM解析用のパラメータのデータ蓄積を主な目的としつつ、あわせて古材・新材の差異を解明するための解析・分析を行ったが、個体のばらつきが大きく、明確な差異は確認できなかったが、特に新材に劣る結果は見られなかった。

3)携帯式のめり込み試験法に関しては、精度の問題は残るが、一定の数値が固まれば、横圧縮ヤング係数と降伏応力度の推定が可能になるものと判断できる。現段階ではデータを蓄積して、EPM解析のパラメータを絞り込むとともに、載荷方法・機種の改良・解析算定式などの課題も含めて引き続き検討を進める。

4)応力波の手法に関しては、Spike先端間隔を持いて横圧縮ヤング係数の推定を試み一定の有効性を示した。データ数が少ないため、今後さらに主要な樹種を含め。データの蓄積を重ねて、非破壊・または準非破壊で古材・現存部材の横圧縮ヤング係数を推定する手法として、さらに精度を上げて、実用に供する方法を追求する。その際に、めり込み用の横圧縮ヤング係数と降伏応力度への換算の課題も重要である。

５．７．８　古材の再利用と強度推定手順

ここでは、今回の古材に関する試験・実験結果を踏まえて、解体部材を再利用する場合と、現存する伝統的古建築物の保存のための耐震性を含めた構造性能評価のために古材の構造材料としての扱い方をまとめる。

（１）対象とする古材

ここで検討対象とする古材は、最初の目的で述べたように、特に厳密な定義によるものではないが、一度建築物に使用され数十年以上経過した後に解体され再利用を意図する部材、および建築後数十年以上経過した現存する伝統木造建築物で、構造的な評価に際して材料特性が不明または不確定なため、何らかの評価を必要とする部材を想定する。

（２）古材の扱う上での課題

古材を建築物の構造部材として扱う上で問題となるのは、構造性能に関わる強度・剛性・変形性能などであり、今回の研究成果を踏まえて、以下にいくつかの知見をまとめる。

1)生物劣化、虫食い、腐食などが無い見かけ上、健全な部材に限定する。

その際、材料としては、せん断・割裂を除いて、基本的に新材と特に劣ることはないと考えられ

る。ただし、ばらつきは新材より大きい傾向がある。
内部に空洞や虫食いなどもありうるが、そのための調査などは、５．６伝統的木造建築物の耐久性の検討成果を参考にする。

2) 無等級と見なす範囲で使用できる場合は、自由に用いて差し支えない。

3) 何らかの構造計算などで材料性能の確認を必要とする部位に使用する部材では、必要な材料定数を材料試験・非破壊試験（応力波利用の手法など）で確認することが望ましい。
たとえば、大断面の古材を積極的に見せて大スパンに生かす梁に使用する場合や通し柱として耐震性能を期待する場合は、既存のホゾ穴などの欠損や傷などを含めて、曲げヤング係数（MOE）曲げ破壊強度（MOR）などを推定する。

4) 仕口接合部のモーメント抵抗を積極的に活かして限界耐力計算やより高度な動的解析などを行う場合には、仕口のめり込む部材の横圧縮ヤング係数と降伏応力度をできるだけ精度よく求めることが望ましい。その際に、縦ヤング係数を基に横圧縮ヤング係数を推定する方法も可能である。

5) 現段階では古材に関する研究成果とデータベースは限られており、今後の研究とデータの蓄積が待たれる。

6) 古材を用いた伝統的構法の設計にあたっては、本委員会の提案する設計法に準拠する。

（３）古材強度の推定手順

形状が不定形で欠損等も含まれる古材の強度性能は、誤差を含む可能性は免れないが、次のようにして推定することができる。材は、解体前の建物に組み込まれた状態、または解体後の地上に降ろされた状態のいずれであっても構わない。

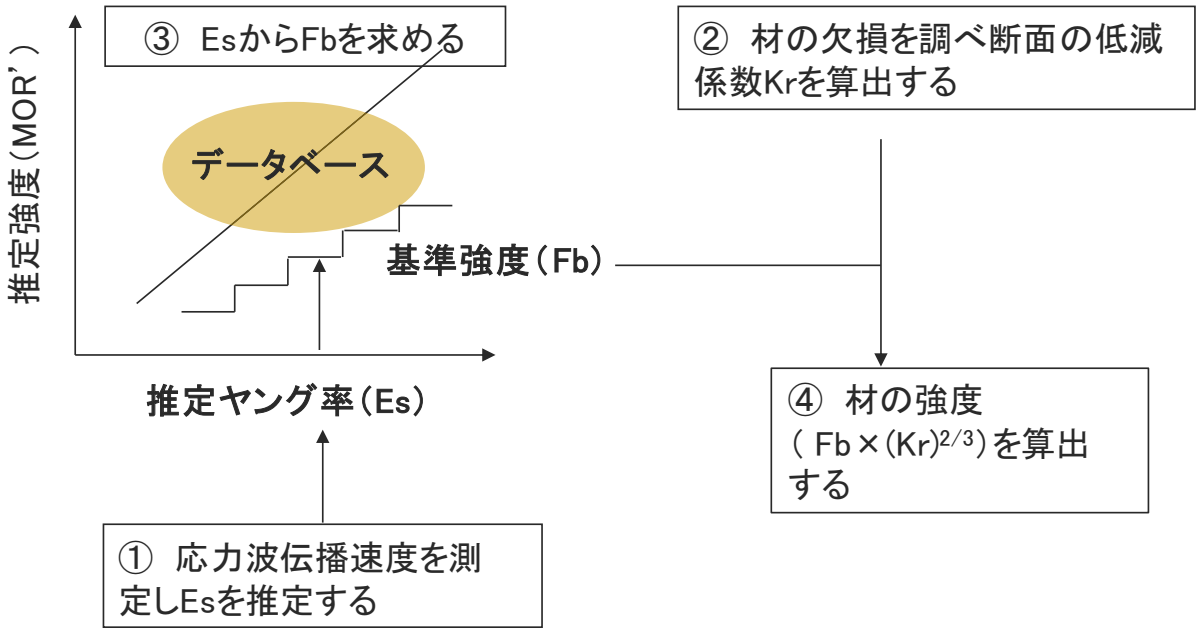
①応力波伝播時間測定器を用いて材中を伝播する応力波の速度を測定し、この値をもとにしてシミュレーション法により材のヤング係数（Es）を推定する。

②材の欠損状況を調べ、断面の低減係数（Kr）を算出する。

③推定したヤング係数（Es）より基準強度（Fb）を求める。（本文中の図5.7.5-11または表5.7.5-3を使えばよい。）

④基準強度（Fb）と断面の低減係数（Kr）よりその材の推定強度（$= Fb \times (Kr)^{2/3}$）を算出する。この値は、その材に最低限保証される強度値と評価することができ、設計強度として扱うことができる。

以上の手順をフローチャート化すると以下のようになる。



上記フローチャートのデータベース（本文中の図5.7.5-10に示した模擬データ）をより確かなものにするために、ここで示したような古材の強度試験を継続的に実施し、データの蓄積をはかることが望まれる。これにより図5.7.5-7のデータが充実し、模擬データの作成過程で設けた仮定に関して、より妥当性の高いプロセスを経た古材の基準強度の導出、および古材強度の推定・評価がより確かなものになるであろう。

これまで述べた中で、実大材の強度、曲げヤング係数、および横圧縮ヤング係数の推定に際して、現場で簡便に正確に測定することのできる測定器の製品化が望まれる。例えば、既存の応力波測定器にテンキーを取り付け、シミュレーションプログラムを組み込んだハンディータイプの木材ヤング係数測定器が製品化され、安価で市販されることを期待したい。そうなれば、誰でも簡単にこれらの強度値やヤング係数を知ることができるようになり、材料・建物の継続使用の可否に関する判断の際に、参考にすることができるようになるであろう。

５．８　水中貯木処理材の特性

５．８．１　水中貯木処理材の重量変化

伝統的木造建築の構造部材には天然乾燥した材料が多く用いられ、その乾燥過程には様々な工夫がみられる。その一つとして玉切りされた丸太の時点より貯水池などのため池に意図的に投入し、6か月から12か月水中貯木し、その後天然乾燥を実施する方法があげられる。

実際に水中貯木を実施した材料を構造部材に用いている実務者によると、桟積み乾燥後の干割れが少なく感じる意見や、材面仕上げ後の色味がよい、などの意見があげられている。しかし、伝統的木造建築の構造材料を対象にした水中貯木処理を経た材料の干割れや色味などの変化に関する研究や検証の報告が数少ないために、本事業において検証し、検証過程の一部である水中貯木と丸太の井桁野積みまでの重量経時変化を本節で報告する。

（１）水中貯木材の概要

水中貯木処理材には5.3.1で報告したマッチング材料の一部を使用した。埼玉県飯能市の製材所を通して写真5.8.1-1に示すように立木及び丸太の状態より選木し、西川産地域と多摩産地域の間の名栗地域における径級18cmから22cmの表5.8.1-1に示す21本の8m程度の原木より玉切りした2.3m丸太（写真5.8.1-2）が水中貯木材である。表5.8.1-1中の灰色の2.3m材の21本を対象とする。また、以降、水中貯木丸太の名称は表5.8.1-1中の記号で記述する。例えば、丸太1-1や丸太21-4などと記述。

表5.8.1-1　丸太のマッチング

	元口側			末口側
丸太1	1-1	1-2	1-3	1-4
丸太2	2-1	2-2	2-3	2-4
丸太3	3-1	3-2	3-3	3-4
丸太4	4-1	4-2	4-3	4-4
丸太5	5-1	5-2	5-3	5-4
丸太6	6-1	6-2	6-3	6-4
丸太7	7-1	7-2	7-3	7-4
丸太8	8-1	8-2	8-3	8-4
丸太9	9-1	9-2	9-3	9-4
丸太10	10-1	10-2	10-3	10-4
丸太11	11-1	11-2	11-3	11-4
丸太12	12-1	12-2	12-3	12-4
丸太13	13-1	13-2	13-3	13-4
丸太14	14-1	14-2	14-3	14-4
丸太15	15-1	15-2	15-3	15-4
丸太16	16-1	16-2	16-3	16-4
丸太17	17-1	17-2	17-3	17-4
丸太18	18-1	18-2	18-3	18-4
丸太19	19-1	19-2	19-3	19-4
丸太21	21-1	21-2	21-3	21-4

8m



伐採



丸太での選木

写真5.8.1-1　水中貯木材の伐採





写真5.8.1-2　2.3mに玉切り後の丸太

水中貯木前の丸太の元口の円周は689mmから1021mm、末口が635mmから931mmで径級にして20cm程度、また、元口及び末口と長さより算出した玉切り後の丸太の見かけの密度は0.68g/cm^{3}から0.89g/cm^{3}である（表5.8.1-2）。

表5.8.1-2　2.3mに玉切り後の丸太形状と重量

名称	円周長さ[mm]		全長[mm]	元面積m^2	末面積m^2	体積m^3	見かけの密度 g/cm^3
	元	末					
1-1	842	784	2300	0.056	0.049	0.121	0.74
2-2	940	879	2310	0.070	0.061	0.152	0.76
3-3	722	671	2300	0.041	0.036	0.089	0.80
4-4	694	635	2310	0.038	0.032	0.081	0.73
5-1	1021	941	2305	0.083	0.070	0.177	0.77
6-2	765	715	2296	0.047	0.041	0.100	0.82
7-3	733	685	2300	0.043	0.037	0.092	0.73
8-4	689	648	2285	0.038	0.033	0.081	0.73
9-1	998	864	2280	0.079	0.059	0.158	0.86
10-2	822	771	2296	0.054	0.047	0.116	0.83
11-3	733	678	2305	0.043	0.037	0.091	0.89
12-4	733	685	2305	0.043	0.037	0.092	0.78
13-1	952	828	2310	0.072	0.055	0.146	0.75
14-2	844	768	2285	0.057	0.047	0.118	0.68
15-3	841	783	2293	0.056	0.049	0.120	0.80
16-4	786	745	2304	0.049	0.044	0.107	0.77
17-1	932	802	2310	0.069	0.051	0.138	0.72
18-2	830	779	2275	0.055	0.048	0.117	0.71
19-3	844	795	2320	0.057	0.050	0.124	0.83
20-4	740	706	2300	0.044	0.040	0.096	0.84
21-4	775	737	2298	0.048	0.043	0.105	0.82

（２）水中貯木概要

平成22年12月20日に2.3m丸太の水中貯木を開始した。貯木にはつくば市の建築研究所内のプールを利用し丸太1本ずつの21本を移動式揚重機により投入した（写真5.8.1-3）。





写真5.8.1-3　水中貯木開始時

実務者委員の意見を反映し、水中貯木期間は12か月とする。12か月の水中貯木終了後は野積み井桁乾燥を6か月間実施し、粗挽き製材した後、屋外での桟積み乾燥を実施する（図5.8.1-1参照）。本報告では水中貯木と井桁野積みの合計13か月程度の重量経時変化について報告する。

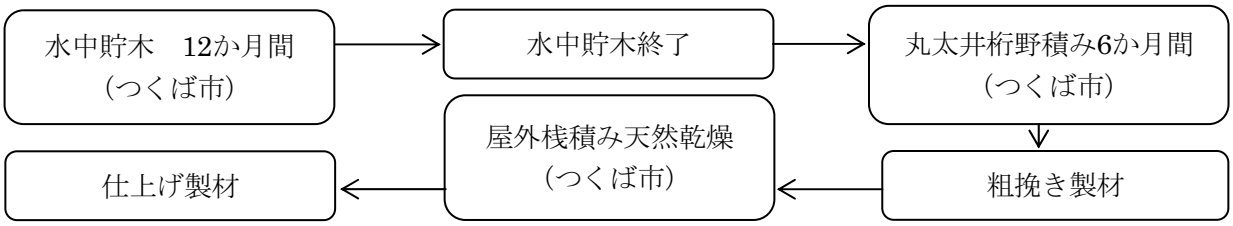


図5.8.1-1　水中貯木材の乾燥までの過程

（３）水中貯木及び丸太井桁野積み期間の重量変化

図5.8.1-2及び表5.8.1-3に水中貯木354日間に加え、井桁野積み46日間の合計400日間の重量経時変化を示し、図5.8.1-3及び表5.8.1-4には水中貯木開始時点の重量に対する重量比の変化を、図5.8.1-4及び表5.8.1-5には経時的に測定した丸太を重量で除した丸太の見かけの密度（藻などの付着も含むため、以降は単位体積重量と表記）の変化を示した。

丸太重量は貯木開始後の8日間で重量比が平均で6%程度まで大きく増加し、以降の1月21日までの6日から9日間隔では、1%から2%程度の緩やかな増加へと変化した。1月21日以降は約1か月間隔で2%程度の緩やかな増加であった。

投入時の単位体積重量は平均0.78g/cm³であったが、354日間経過した時点で平均0.96と約23%の増加を示している。また、水中貯木開始から153日目付近で単位体積重量が1.0付近まで増加し、図中及び表中網掛けの丸太が、その付近より傾くように丸太半分が水中に沈下したり、完全に水中に沈下する丸太を4本確認した。

354日経過した平成23年12月8日に水中貯木（写真5.8.1-4から写真5.8.1-6）を終了し、写真5.8.1-7のように6ヶ月間の井桁野積み（輪掛け）に移行する。各図表で分かる通り、20日間（平成23年12月28日）及び46日間で単位体積重量は大きく減少し、井桁野積み開始後46日目で水中貯木開始前の生丸太の重量より減少し始めたことが図5.8.1-3の重量比より見て取れる。

加えて、図5.8.1-5及び表5.8.1-6に貯木水（プールの水）のPH測定結果を示しておく。

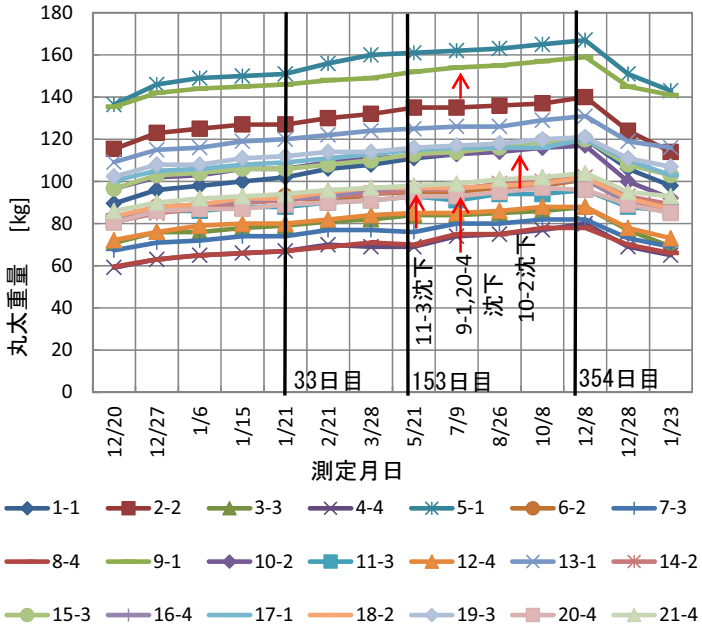


図5.8.1-2　水中貯木及び井桁野積みの丸太重量

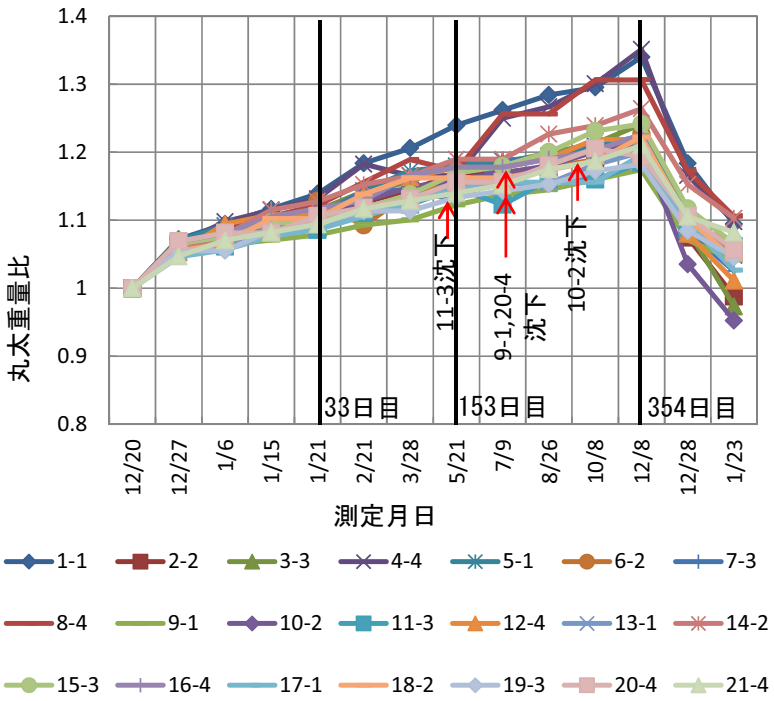


図5.8.1-3　水中貯木及び井桁野積みの丸太重量比

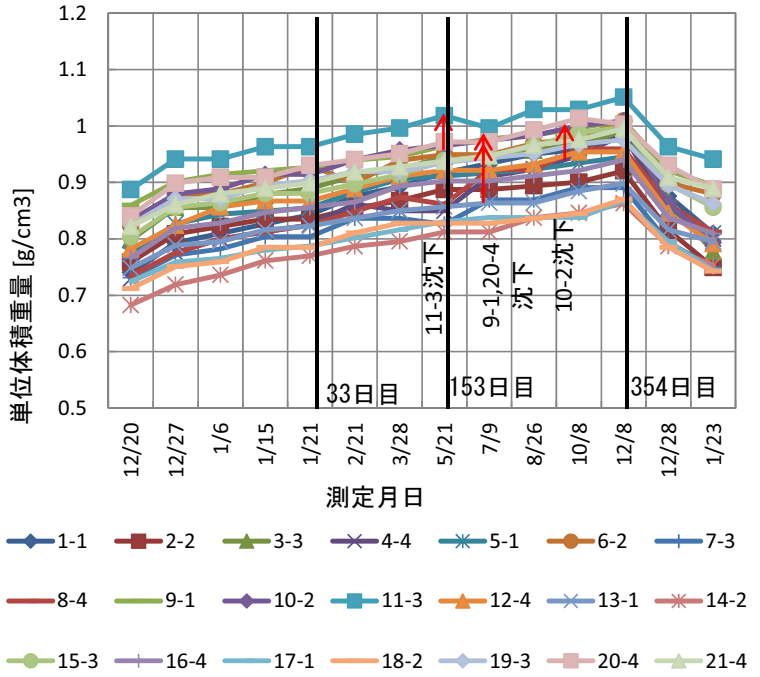


図5.8.1-4　水中貯木及び井桁野積みの丸太単位体積重量

表5.8.1-3　水中貯木及び井桁野積みの丸太重量

	重量[kgf]													
	処理前	水中処理期間										処理終了	丸太井桁積み期間	
	12月20日	12月27日	1月6日	1月15日	1月21日	2月21日	3月28日	5月21日	7月9日	8月26日	10月8日	12月8日	12月28日	1月23日
	1日目	8日目	18日目	27日目	33日目	64日目	99日目	153日目	202日目	250日目	293日目	354日目	374日目	400日目
1-1	89.6	96.0	98.0	100.0	102.0	106.0	108.0	111.0	113.0	115.0	116.0	120.0	106.0	98.0
2-2	115.4	123.0	125.0	127.0	127.0	130.0	132.0	135.0	135.0	136.0	137.0	140.0	124.0	114.0
3-3	70.9	76.0	76.0	78.0	79.0	81.0	82.0	84.0	84.0	85.0	86.0	88.0	77.0	69.0
4-4	59.2	63.0	65.0	66.0	67.0	70.0	69.0	69.0	74.0	75.0	77.0	80.0	69.0	65.0
5-1	136.5	146.0	149.0	150.0	151.0	156.0	160.0	161.0	162.0	163.0	165.0	167.0	151.0	143.0
6-2	82.4	88.0	88.0	90.0	93.0	90.0	94.0	95.0	95.0	97.0	98.0	101.0	90.0	88.0
7-3	67.3	71.0	72.0	74.0	74.0	77.0	77.0	76.0	80.0	80.0	82.0	82.0	73.0	69.0
8-4	59.7	63.0	65.0	66.0	67.0	69.0	71.0	70.0	75.0	75.0	78.0	78.0	70.0	66.0
9-1	135.4	142.0	144.0	145.0	146.0	148.0	149.0	152.0	154.0	155.0	157.0	159.0	145.0	141.0
10-2	96.6	102.0	103.0	106.0	106.0	109.0	111.0	112.0	113.0	114.0	116.0	117.0	100.0	92.0
11-3	81.1	86.0	86.0	88.0	88.0	90.0	91.0	93.0	91.0	94.0	94.0	96.0	88.0	86.0
12-4	72.2	76.0	79.0	80.0	80.0	82.0	84.0	85.0	85.0	86.0	88.0	88.0	78.0	73.0
13-1	109.2	115.0	116.0	119.0	120.0	122.0	124.0	125.0	126.0	126.0	129.0	131.0	119.0	116.0
14-2	80.7	85.0	87.0	90.0	91.0	93.0	94.0	96.0	96.0	99.0	100.0	102.0	93.0	89.0
15-3	96.7	103.0	104.0	106.0	106.0	108.0	110.0	113.0	114.0	116.0	119.0	120.0	108.0	103.0
16-4	82.4	88.0	89.0	91.0	92.0	93.0	96.0	97.0	97.0	98.0	99.0	101.0	90.0	87.0
17-1	100.4	105.0	106.0	108.0	109.0	111.0	113.0	115.0	116.0	116.0	116.0	120.0	110.0	103.0
18-2	83.5	88.0	89.0	92.0	92.0	95.0	97.0	97.0	97.0	98.0	99.0	102.0	92.0	87.0
19-3	102.4	108.0	108.0	111.0	112.0	114.0	114.0	116.0	117.0	118.0	120.0	121.0	111.0	107.0
20-4	80.5	86.0	87.0	87.0	89.0	90.0	91.0	93.0	93.0	95.0	97.0	96.0	89.0	85.0
21-4	86.0	90.0	92.0	93.0	94.0	96.0	97.0	98.0	99.0	101.0	102.0	104.0	95.0	93.0
MAX	136.5	146.0	149.0	150.0	151.0	156.0	160.0	161.0	162.0	163.0	165.0	167.0	151.0	143.0
MIN	59.2	63.0	65.0	66.0	67.0	69.0	69.0	69.0	74.0	75.0	77.0	78.0	69.0	65.0
AVE	89.9	95.2	96.6	98.4	99.3	101.4	103.0	104.4	105.5	106.8	108.3	110.1	99.0	94.0

表5.8.1-4　水中貯木及び井桁野積みの丸太重量比

	重量比													
	処理前	水中処理期間										処理終了	丸太井桁積み期間	
	12月20日	12月27日	1月6日	1月15日	1月21日	2月21日	3月28日	5月21日	7月9日	8月26日	10月8日	12月8日	12月28日	1月23日
	1日目	8日目	18日目	27日目	33日目	64日目	99日目	153日目	202日目	250日目	293日目	354日目	374日目	400日目
1-1	1.00	1.07	1.09	1.12	1.14	1.18	1.21	1.24	1.26	1.28	1.30	1.34	1.18	1.09
2-2	1.00	1.07	1.08	1.10	1.10	1.13	1.14	1.17	1.17	1.18	1.19	1.21	1.07	0.99
3-3	1.00	1.07	1.07	1.10	1.11	1.14	1.16	1.18	1.18	1.20	1.21	1.24	1.09	0.97
4-4	1.00	1.06	1.10	1.11	1.13	1.18	1.17	1.17	1.25	1.27	1.30	1.35	1.17	1.10
5-1	1.00	1.07	1.09	1.10	1.11	1.14	1.17	1.18	1.19	1.19	1.21	1.22	1.11	1.05
6-2	1.00	1.07	1.07	1.09	1.13	1.09	1.14	1.15	1.15	1.18	1.19	1.23	1.09	1.07
7-3	1.00	1.05	1.07	1.10	1.10	1.14	1.14	1.13	1.19	1.19	1.22	1.22	1.08	1.03
8-4	1.00	1.06	1.09	1.11	1.12	1.16	1.19	1.17	1.26	1.26	1.31	1.31	1.17	1.11
9-1	1.00	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10	1.12	1.14	1.14	1.16	1.17	1.07	1.04
10-2	1.00	1.06	1.07	1.10	1.10	1.13	1.15	1.16	1.17	1.18	1.20	1.21	1.04	0.95
11-3	1.00	1.06	1.06	1.09	1.09	1.11	1.12	1.15	1.12	1.16	1.16	1.18	1.09	1.06
12-4	1.00	1.05	1.09	1.11	1.11	1.14	1.16	1.18	1.18	1.19	1.22	1.22	1.08	1.01
13-1	1.00	1.05	1.06	1.09	1.10	1.12	1.14	1.15	1.15	1.15	1.18	1.20	1.09	1.06
14-2	1.00	1.05	1.08	1.12	1.13	1.15	1.16	1.19	1.19	1.23	1.24	1.26	1.15	1.10
15-3	1.00	1.07	1.08	1.10	1.10	1.12	1.14	1.17	1.18	1.20	1.23	1.24	1.12	1.07
16-4	1.00	1.07	1.08	1.11	1.12	1.13	1.17	1.18	1.18	1.19	1.20	1.23	1.09	1.06
17-1	1.00	1.05	1.06	1.08	1.09	1.11	1.13	1.15	1.16	1.16	1.16	1.20	1.10	1.03
18-2	1.00	1.05	1.07	1.10	1.10	1.14	1.16	1.16	1.16	1.17	1.19	1.22	1.10	1.04
19-3	1.00	1.06	1.06	1.08	1.09	1.11	1.11	1.13	1.14	1.15	1.17	1.18	1.08	1.05
20-4	1.00	1.07	1.08	1.08	1.11	1.12	1.13	1.16	1.16	1.18	1.21	1.19	1.11	1.06
21-4	1.00	1.05	1.07	1.08	1.09	1.12	1.13	1.14	1.15	1.18	1.19	1.21	1.11	1.08
MAX	1.00	1.07	1.10	1.12	1.14	1.18	1.21	1.24	1.26	1.28	1.31	1.35	1.18	1.11
MIN	1.00	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10	1.12	1.12	1.14	1.16	1.17	1.04	0.95
AVE	1.00	1.06	1.08	1.10	1.11	1.13	1.15	1.16	1.18	1.19	1.21	1.23	1.10	1.05

表5.8.1-5　水中貯木及び井桁野積みの丸太単位体積重量

	単位体積重量[g/cm3]　（水中処理開始時の元末円周より算出）														体積[m3]	
	処理前	水中処理期間										処理終了	丸太井桁積み期間			
	12月20日	12月27日	1月6日	1月15日	1月21日	2月21日	3月28日	5月21日	7月9日	8月26日	10月8日	12月8日	12月28日	1月23日	水中処理前	処理終了時
	1日目	8日目	18日目	27日目	33日目	64日目	99日目	153日目	202日目	250日目	293日目	354日目	374日目	400日目		
1-1	0.74	0.79	0.81	0.83	0.84	0.88	0.89	0.92	0.93	0.95	0.96	0.99	0.88	0.81	0.12	0.12
2-2	0.76	0.81	0.82	0.83	0.83	0.85	0.87	0.89	0.89	0.89	0.90	0.92	0.82	0.75	0.15	0.15
3-3	0.80	0.86	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.95	0.95	0.96	0.97	0.99	0.87	0.78	0.09	0.09
4-4	0.73	0.78	0.80	0.81	0.82	0.86	0.85	0.85	0.91	0.92	0.95	0.98	0.85	0.80	0.08	0.08
5-1	0.77	0.83	0.84	0.85	0.85	0.88	0.91	0.91	0.92	0.92	0.93	0.95	0.85	0.81	0.18	0.17
6-2	0.82	0.88	0.88	0.90	0.93	0.90	0.94	0.95	0.95	0.97	0.98	1.01	0.90	0.88	0.10	0.10
7-3	0.73	0.77	0.78	0.80	0.80	0.84	0.84	0.83	0.87	0.87	0.89	0.89	0.79	0.75	0.09	0.09
8-4	0.73	0.78	0.80	0.81	0.82	0.85	0.87	0.86	0.92	0.92	0.96	0.96	0.86	0.81	0.08	0.08
9-1	0.86	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.98	0.98	1.00	1.01	0.92	0.90	0.16	0.16
10-2	0.83	0.88	0.89	0.91	0.91	0.94	0.96	0.97	0.97	0.98	1.00	1.01	0.86	0.79	0.12	0.11
11-3	0.89	0.94	0.94	0.96	0.96	0.99	1.00	1.02	1.00	1.03	1.03	1.05	0.96	0.94	0.09	0.09
12-4	0.78	0.82	0.86	0.87	0.87	0.89	0.91	0.92	0.92	0.93	0.95	0.95	0.85	0.79	0.09	0.09
13-1	0.75	0.79	0.80	0.82	0.82	0.84	0.85	0.86	0.86	0.86	0.88	0.90	0.82	0.80	0.15	0.15
14-2	0.68	0.72	0.74	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.81	0.84	0.85	0.86	0.79	0.75	0.12	0.12
15-3	0.80	0.86	0.86	0.88	0.88	0.90	0.91	0.94	0.95	0.96	0.99	1.00	0.90	0.86	0.12	0.12
16-4	0.77	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87	0.89	0.90	0.90	0.91	0.92	0.94	0.84	0.81	0.11	0.11
17-1	0.72	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80	0.82	0.83	0.84	0.84	0.84	0.87	0.79	0.74	0.14	0.14
18-2	0.71	0.75	0.76	0.78	0.78	0.81	0.83	0.83	0.83	0.84	0.84	0.87	0.78	0.74	0.12	0.12
19-3	0.83	0.87	0.87	0.89	0.90	0.92	0.92	0.94	0.94	0.95	0.97	0.98	0.89	0.86	0.12	0.12
20-4	0.84	0.90	0.91	0.91	0.93	0.94	0.95	0.97	0.97	0.99	1.01	1.00	0.93	0.89	0.10	0.10
21-4	0.82	0.86	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.97	0.98	0.99	0.91	0.89	0.10	0.11
MAX	0.89	0.94	0.94	0.96	0.96	0.99	1.00	1.02	1.00	1.03	1.03	1.05	0.96	0.94	0.18	0.17
MIN	0.68	0.72	0.74	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.81	0.84	0.84	0.86	0.78	0.74	0.08	0.08
AVE	0.78	0.83	0.84	0.85	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.96	0.86	0.82	0.12	0.12



写真5.8.1-4　水中貯木中の丸太



写真5.8.1-5　水中貯木終了時（ひきあげ時）の丸太1




写真5.8.1-6　水中貯木終了時（ひきあげ時）の丸太2








写真5.8.1-7　井桁野積みの丸太

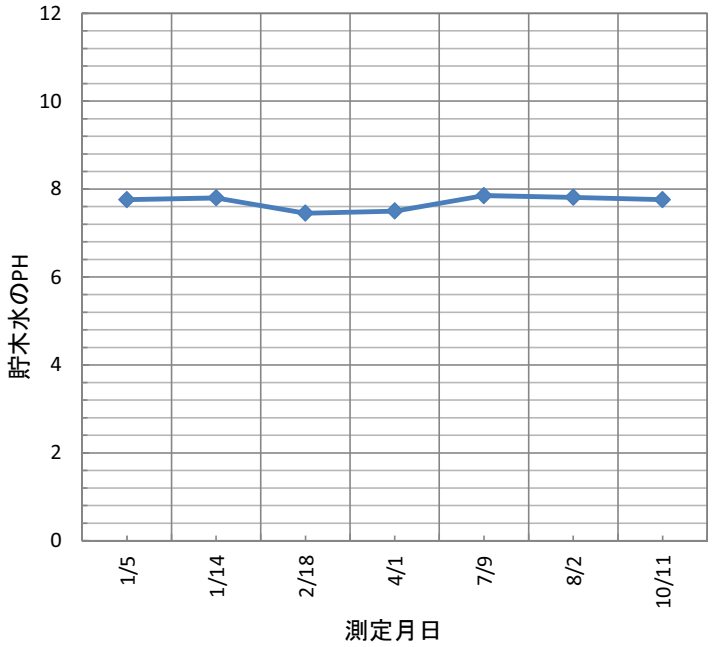


図5.8.1-5　貯木水（プール水）のPH変化

表5.8.1-6　貯木水のPH変化

測定日	PH
1月5日	7.76
1月14日	7.8
2月18日	7.45
4月1日	7.5
7月9日	7.85
8月2日	7.81
10月11日	7.76

（４）まとめ

伝統的木造建築の構造材料の乾燥までの過程で実施する丸太の水中貯木及び井桁野積み期間における、丸太重量変化を報告した。

水中貯木開始後、8日間程度で丸太重量は6%程度の増加であり、以降は、2%程度の緩やかな増加であった。また、貯木途中で単位体積重量が1.0付近にまで達し、水中に沈下する丸太も発生した。

354日間の水中貯木終了後の井桁野積みを開始すると、46日目で水中貯木前の生丸太重量よりも減少する丸太も生じ始めた。

今後、継続して井桁野積みによる重量の経時変化を検証し、屋外天然桟積み乾燥、そして、表面仕上げ加工後の干割れ測定へ進め、水中貯木が干割れ及び色味等に与える影響を検証する。

５．８．２　未乾燥丸太の含水率分布と収縮率

（１）供試用丸太材と試験体

スギ材の水中貯木による特性を知るために、生材、貯木9ヶ月、貯木12ヶ月及び輪掛の4条件の供試用丸太を準備した。実験条件は表5.8.2-1のとおりであり、生材丸太8m（埼玉県飯能市吾野地区の西川材）で伐り旬に伐採されたものを12本使用した。試験体となる丸太は、3体を1グループとして、16グループで構成した。同表のグループAの1番玉（①と表記、以下同じ）、グループBの2番玉（②）、グループCの3番玉（③）、グループDの4番玉（④）を未乾燥丸太の生材用供試丸太として、8m丸太の切り旬時の含水率分布と収縮率測定に使用した。本実験で試験体に付した名称は図5.8.2-1のとおりとした。試験体名称の4番目の数字は後述する。

表5.8.2-1　供試用丸太材の実験条件

	①（1番玉2m）	②（2番玉2m）	③（3番玉2m）	④（4番玉2m）
グループA(丸太3本)	生材用	貯木9ヶ月用	貯木12ヶ月用	輪掛用
グループB(丸太3本)	輪掛用	生材用	貯木9ヶ月用	貯木12ヶ月用
グループC(丸太3本)	貯木12ヶ月用	輪掛用	生材用	貯木9ヶ月用
グループD(丸太3本)	貯木9ヶ月用	貯木12ヶ月用	輪掛用	生材用

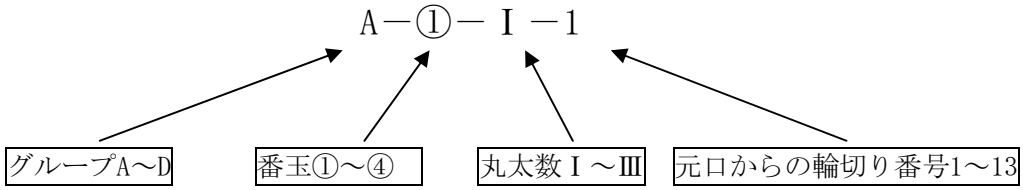


図5.8.2-1　試験体の名称の付し方

1)含水率と収縮率及び他の測定用試験体の木取り法

8m丸太を元口より、2m毎に切断し、図5.8.2-2に示したように2m長さで4等分した。更に、表5.8.2-1で網掛けをした生材用の2mの供試丸太（A-①-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ、B-②-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ、C-③-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ、D-④-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ）12本については、それぞれの元口側より1.3mと0.7mに切断した。1.3mの全ての丸太は、元口側より10cm長さで切断して、1.3m丸太1本につき13個の円盤試験体を作成した（写真5.8.2-1）。また、図5.8.2-1の試験体名称の付し方で示した4番目の数字は、この円盤を元口から1として分割数の13までの円盤位置に対応させたものである。円盤試験体は含水率と収縮率の測定用とし、0.7mの部分は他の測定用の透過性試験と100℃試験用とした。

2)水中貯木する供試丸太

生材用の供試丸太以外のもの（A-②-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ、A-③-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ、A-④-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ、B-①-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ、B-③-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ、B-④-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ、C-①-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ、C-②-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ、C-④-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ、D-①-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ、D-②-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ、D-③-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ）は、貯木の効果及び貯木後の輪掛乾燥の影響を調べるために建築研究所の水槽に貯木した。貯木9ヶ月用供試丸太は平成24年8月、貯木12ヶ月用供試丸太は平成24年12月にそれぞれ水槽から取り出して、含水率と収縮率、透過性試験と100℃試験を計画している。また、輪掛用の供試丸太は平成24年11月に取り出して平成25年3月まで天然乾燥を行って同様な実験に供する予定である。

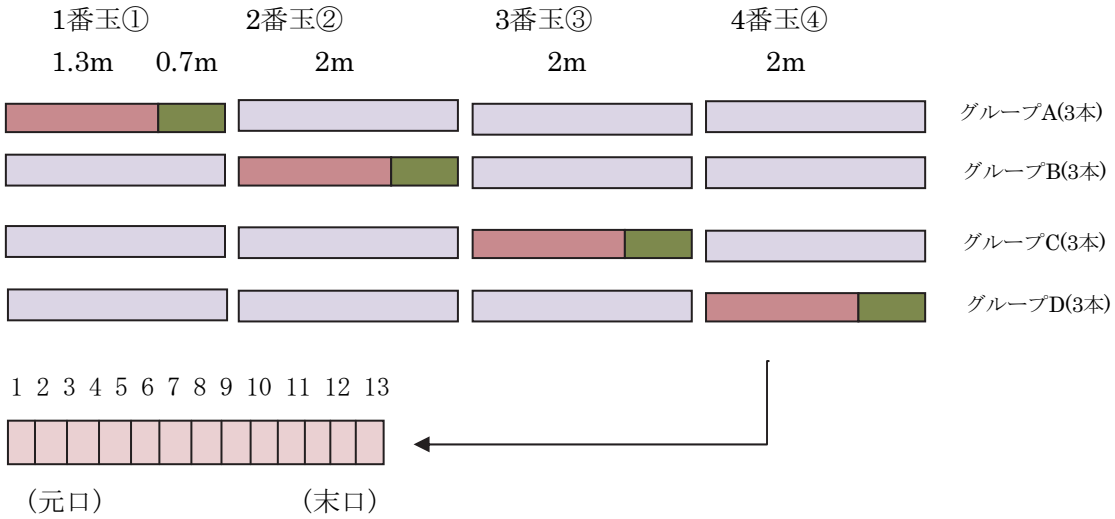


図5.8.2-2　8m丸太の分割法と1.3mの円盤試験体の木取り法

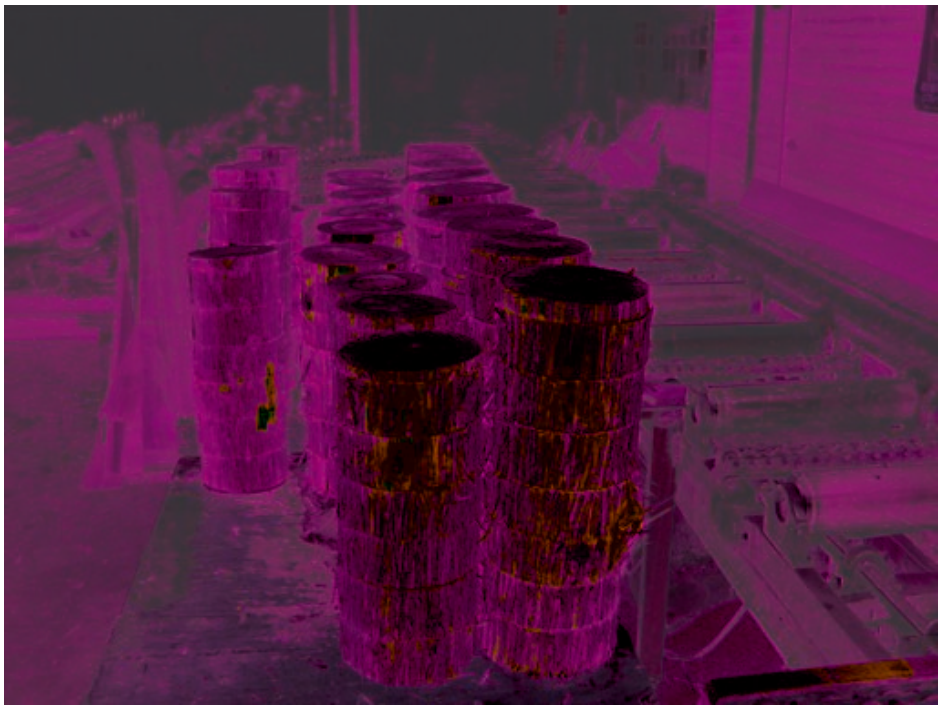


写真5.8.2-1　円盤試験体の作成状況

（２）含水率分布の測定

1)含水率試験片の作成法

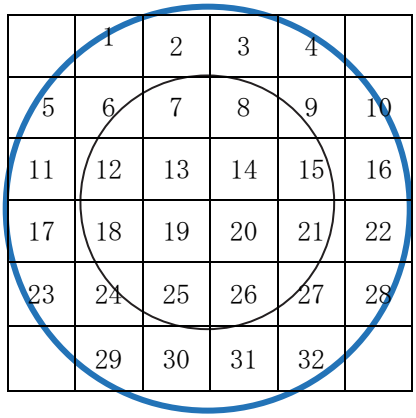
生材用の供試丸太（A-①-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ、B-②-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ、C-③-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ、D-④-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ）12本から、156個（13個×12本）の円盤試験体が作成されており、これらの供試材から生材状態の含水率を測定するために図5.8.2-3と写真5.8.2-2に示したように円盤試験体を32個に切断して含水率試験片を作成した。円盤試験体は長さ方向に基準線を入れておき、円盤に切断したので連続性は確保した。含水率試験体の木取り方法は、次のような方針で決めた。

円盤の長さ方向の基準線から髄を通る直線を引き、髄を中心とした直交線を引く

それぞれの2直線に平行に辺材と心材の移行帯部に4本の直線を引く

心材部を水平と鉛直方向に2等分して、32個の含水率試験体を作成する

上記の分割によって、辺材部、辺材と心材の移行帯部、心材部の3種類の含水率試験体が得られるようにした。なお、10cm刻みの円盤は、図5.8.2-2で既述したように元口側から、1～13の数字を付して丸太の長さ方向の円盤位置を特定した。なお、写真5.8.2-2は、D-④-Ⅱの（グループD-4番玉-丸太2本目）の元口より10番目の円盤試験体の絶乾後の状況を示したものである。



	1	2	3	4	
5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28
	29	30	31	32	



図5.8.2-3　含水率試験体の分割法

写真5.8.2-2　試験体状況（絶乾後D-④-Ⅱ-10）

2) 含水率分布

(a) 円盤試験体を用いた含水率分布

表5.8.2-1のグループA～Dのそれぞれ1本目のA-①-Ⅰ、B-②-Ⅰ、C-③-Ⅰ及びD-④-Ⅰについて、円盤試験体ごとの含水率分布を図5.8.2-4、図5.8.2-5及び図5.8.2-6にそれぞれ示した。なお、それぞれの図の最後の添え字が5と8のものは、収縮率試験体として円盤試験体の半円部を使用しているので測定データはない。

全ての含水率試験片に見られるわけではないが、含水率試験片の分割法で示したように辺材部、辺材と心材の移行帯部及び心材部に相当する含水率は、辺材で高く、移行帯部で低下し、心材部で再び高くなるという傾向がある。この含水率の分布傾向はスギ丸太で一般的に見られるものである。しかし、埼玉県飯能市吾野地区の西川材の切り旬時期の基礎データとして今後活用できるものと考えている。また、A-①-Ⅰ～D-④-Ⅰの高さ方向の含水率分布から、8m丸太の末口に近いD-④-Ⅰの心材部の含水率がやや低くなっているような傾向が見られる。

	193	162	175	149	
196	99	99	117	143	150
158	110	98	81	105	152
154	113	111	85	106	158
171	118	166	124	133	156
	187	154	156	158	

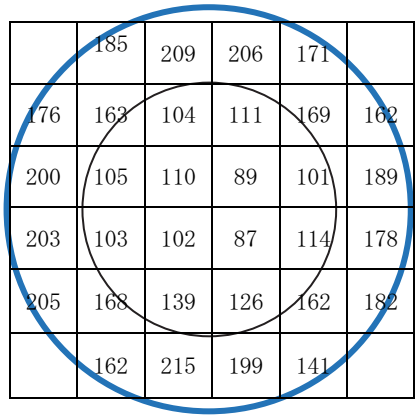
(a) A-①-Ⅰ-1

	206	191	184	180	
137	110	115	122	163	167
161	115	96	89	112	192
161	115	114	91	117	178
200	121	156	148	135	190
	210	195	183	193	

(b) A-①-Ⅰ-2

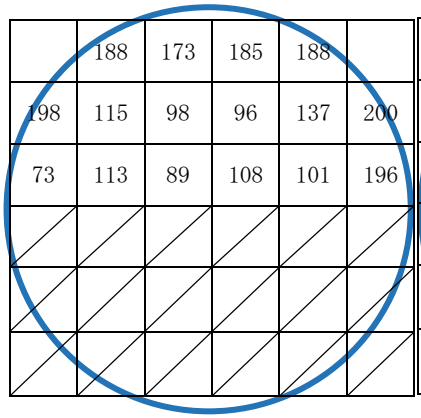
	196	185	182	189	
198	114	107	123	131	174
182	79	95	87	102	183
173	106	106	87	108	162
201	119	145	120	128	191
	214	187	174	196	

(c) A-①-Ⅰ-3



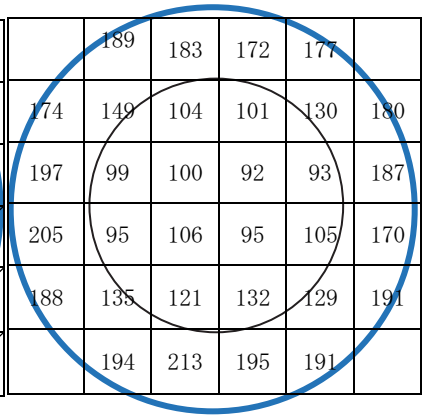
	185	209	206	171	
176	163	104	111	169	162
200	105	110	89	101	189
203	103	102	87	114	178
205	168	139	126	162	182
	162	215	199	141	

(d)A-①-Ⅰ-4



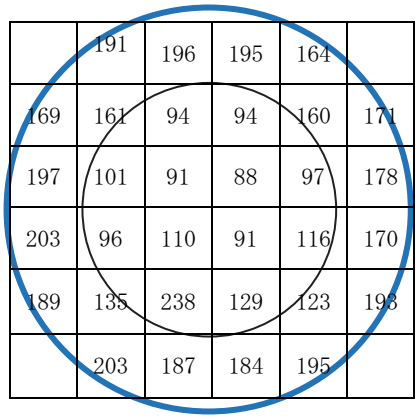
	188	173	185	188	
198	115	98	96	137	200
73	113	89	108	101	196

(e)A-①-Ⅰ-5



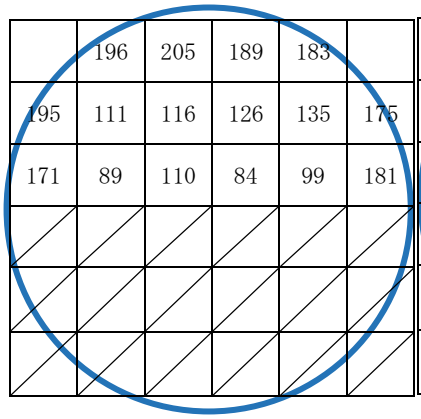
	189	183	172	177	
174	149	104	101	130	180
197	99	100	92	93	187
205	95	106	95	105	170
188	135	121	132	129	191
	194	213	195	191	

(f)A-①-Ⅰ-6



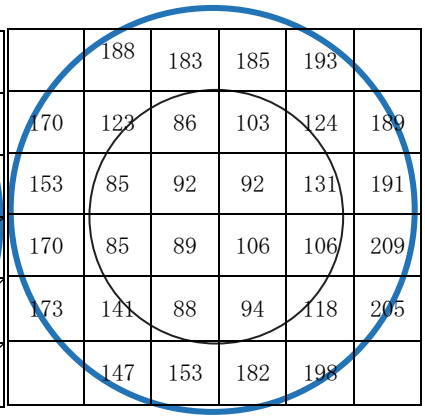
	191	196	195	164	
169	161	94	94	160	171
197	101	91	88	97	178
203	96	110	91	116	170
189	135	238	129	123	193
	203	187	184	195	

(g)A-①-Ⅰ-7



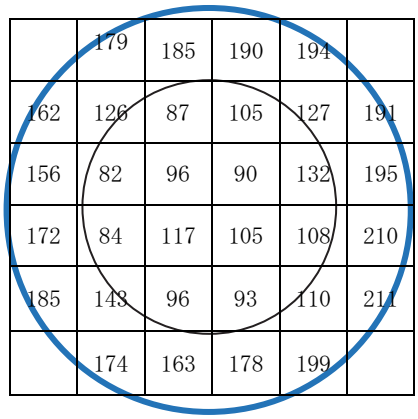
	196	205	189	183	
195	111	116	126	135	175
171	89	110	84	99	181

(h)A-①-Ⅰ-8



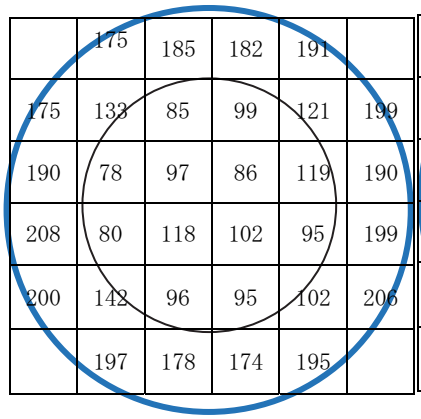
	188	183	185	193	
170	123	86	103	124	189
153	85	92	92	131	191
170	85	89	106	106	209
173	141	88	94	118	205
	147	153	182	198	

(i)A-①-Ⅰ-9



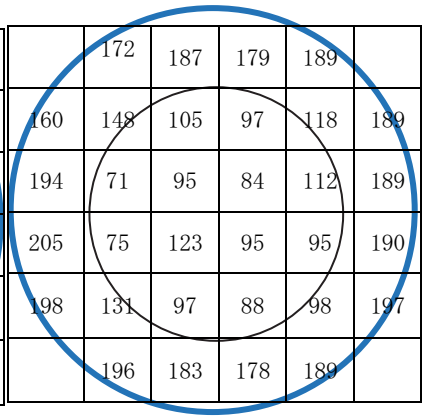
	179	185	190	194	
162	126	87	105	127	191
156	82	96	90	132	195
172	84	117	105	108	210
185	143	96	93	110	211
	174	163	178	199	

(j)A-①-Ⅰ-10



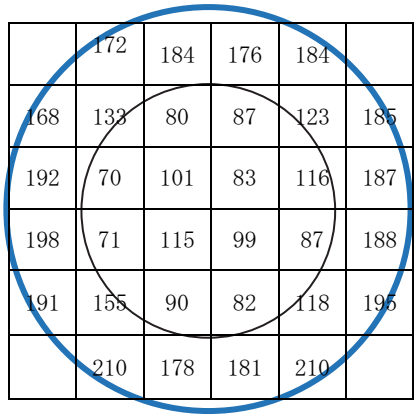
	175	185	182	191	
175	133	85	99	121	199
190	78	97	86	119	190
208	80	118	102	95	199
200	142	96	95	102	206
	197	178	174	195	

(k)A-①-Ⅰ-11



	172	187	179	189	
160	148	105	97	118	189
194	71	95	84	112	189
205	75	123	95	95	190
198	131	97	88	98	197
	196	183	178	189	

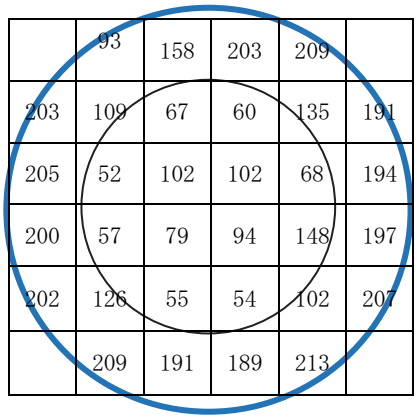
(l)A-①-Ⅰ-12



	172	184	176	184	
168	133	80	87	123	185
192	70	101	83	116	187
198	71	115	99	87	188
191	155	90	82	118	195
	210	178	181	210	

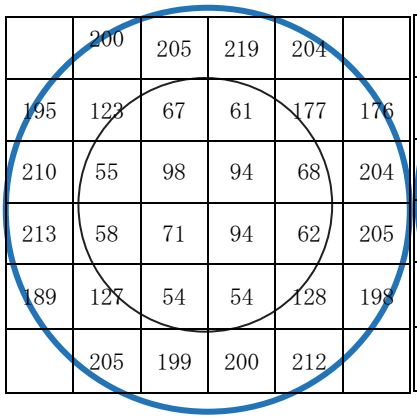
(m)A-①-Ⅰ-13

図5.8.2-4　試験体名称A-①-Ⅰの10cm厚さ円盤試験体の含水率分布



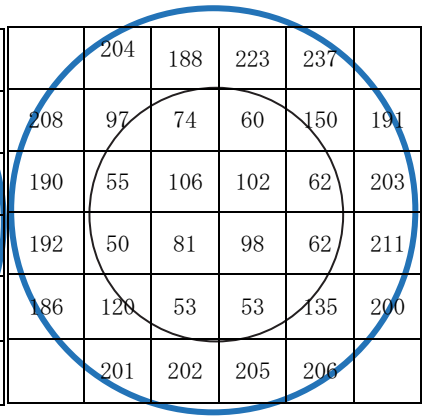
	93	158	203	209	
203	109	67	60	135	191
205	52	102	102	68	194
200	57	79	94	148	197
202	126	55	54	102	207
	209	191	189	213	

(a)B-②-Ⅰ-1



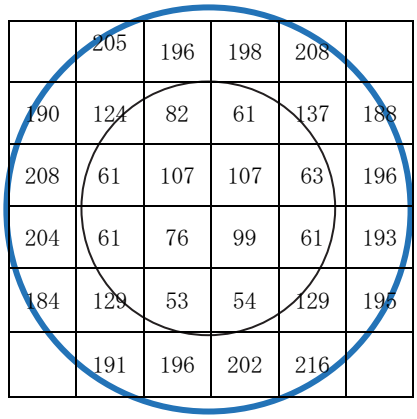
	200	205	219	204	
195	123	67	61	177	176
210	55	98	94	68	204
213	58	71	94	62	205
189	127	54	54	128	198
	205	199	200	212	

(b)B-②-Ⅰ-2



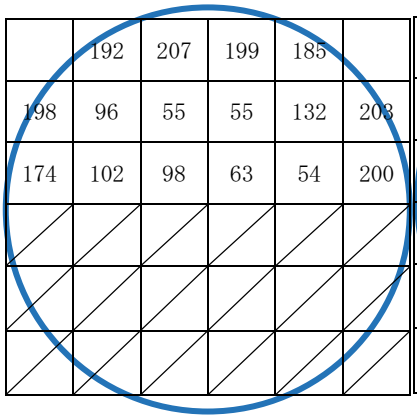
	204	188	223	237	
208	97	74	60	150	191
190	55	106	102	62	203
192	50	81	98	62	211
186	120	53	53	135	200
	201	202	205	206	

(c)B-②-Ⅰ-3



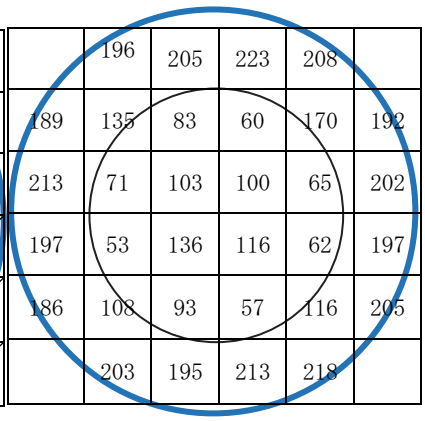
	205	196	198	208	
190	124	82	61	137	188
208	61	107	107	63	196
204	61	76	99	61	193
184	129	53	54	129	195
	191	196	202	216	

(d)B-②-Ⅰ-4



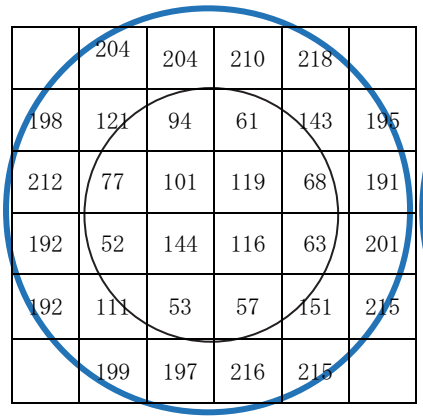
	192	207	199	185	
198	96	55	55	132	203
174	102	98	63	54	200

(e)B-②-Ⅰ-5

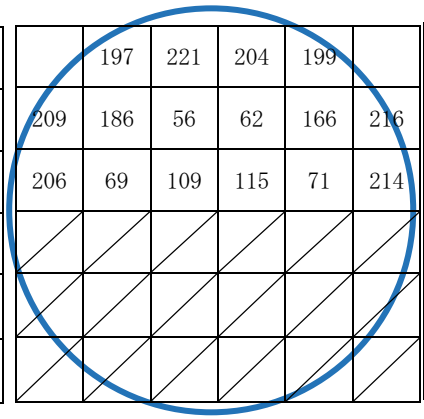


	196	205	223	208	
189	135	83	60	170	192
213	71	103	100	65	202
197	53	136	116	62	197
186	108	93	57	116	205
	203	195	213	218	

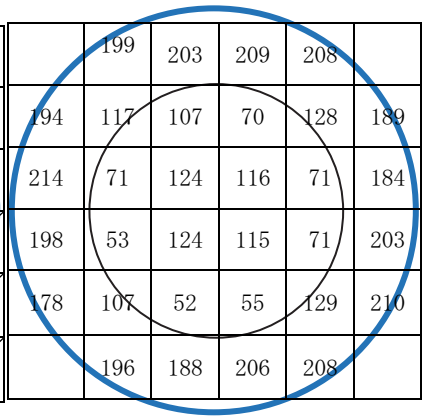
(f)B-②-Ⅰ-6



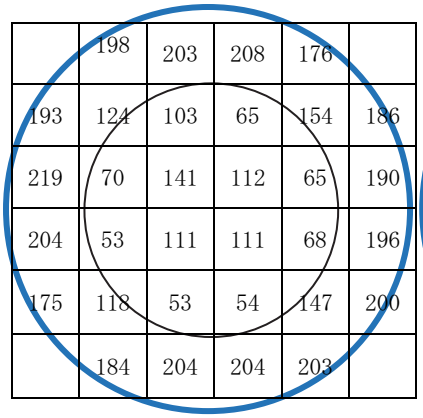
(g)B-②-Ⅰ-7



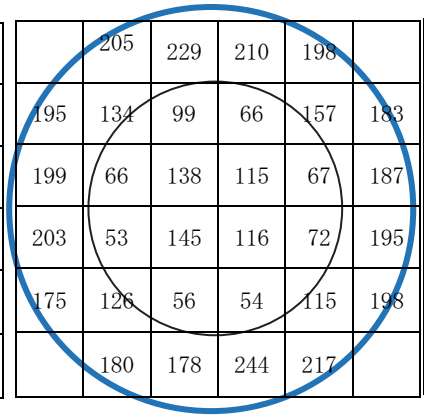
(h)B-②-Ⅰ-8



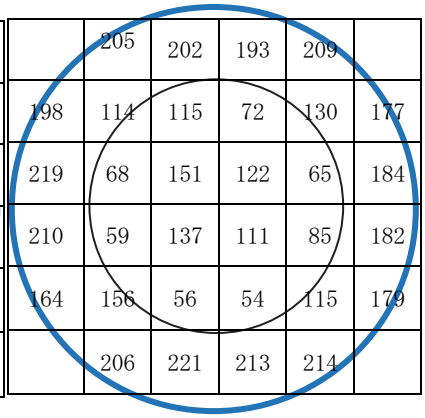
(i)B-②-Ⅰ-9



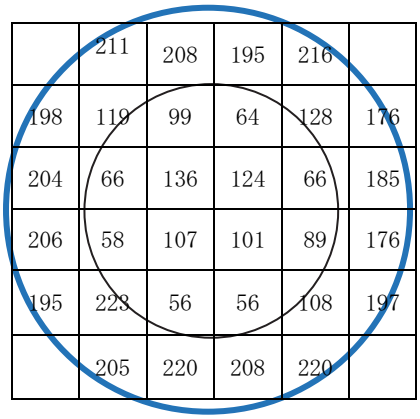
(j)B-②-Ⅰ-10



(k)B-②-Ⅰ-11

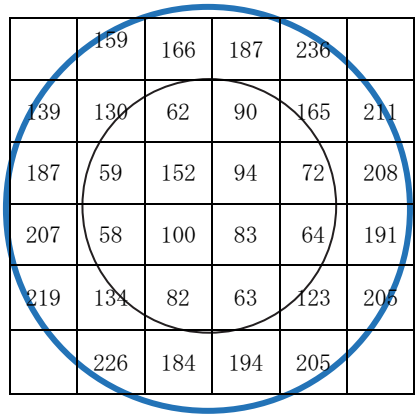


(l)B-②-Ⅰ-12



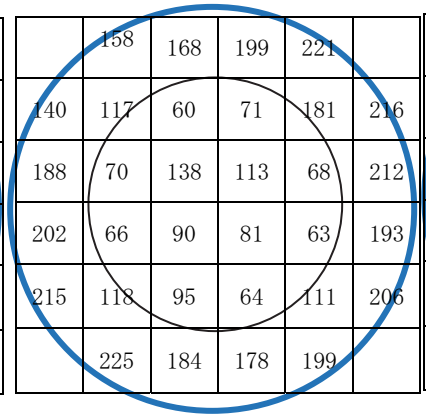
(m)B-②-Ⅰ-13

図5.8.2-5　試験体名称B-②-Ⅰの10cm厚さ円盤試験体の含水率分布



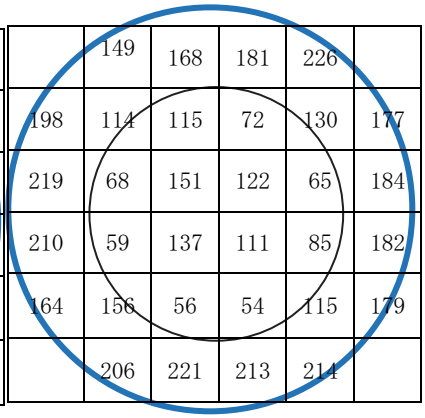
	159	166	187	236	
139	130	62	90	165	211
187	59	152	94	72	208
207	58	100	83	64	191
219	134	82	63	123	205
	226	184	194	205	

(a) C-③- Ⅰ-1



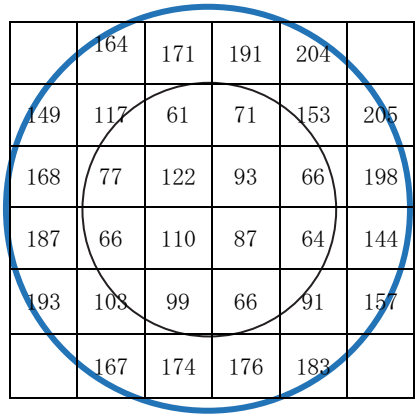
	158	168	199	221	
140	117	60	71	181	216
188	70	138	113	68	212
202	66	90	81	63	193
215	118	95	64	111	206
	225	184	178	199	

(b) C-③- Ⅰ-2



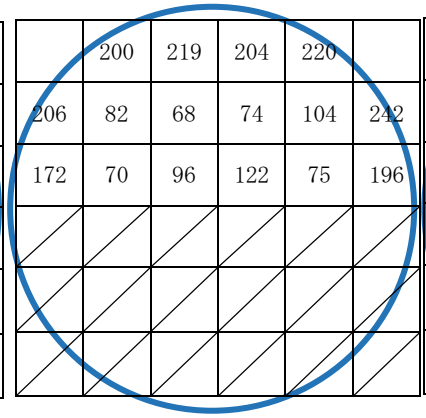
	149	168	181	226	
198	114	115	72	130	177
219	68	151	122	65	184
210	59	137	111	85	182
164	156	56	54	115	179
	206	221	213	214	

(c) C-③- Ⅰ-3



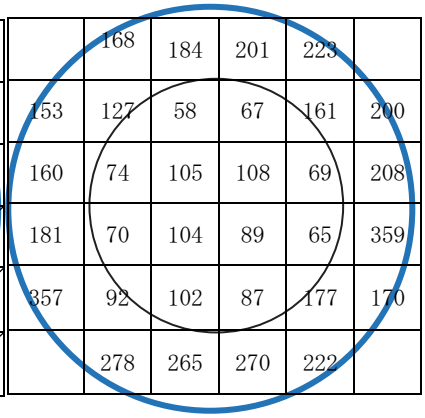
	164	171	191	204	
149	117	61	71	153	205
168	77	122	93	66	198
187	66	110	87	64	144
193	103	99	66	91	157
	167	174	176	183	

(d) C-③- Ⅰ-4



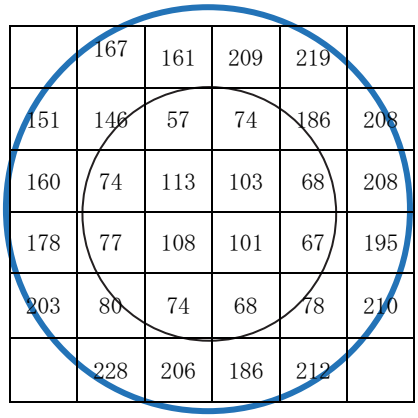
	200	219	204	220	
206	82	68	74	104	242
172	70	96	122	75	196

(e) C-③- Ⅰ-5



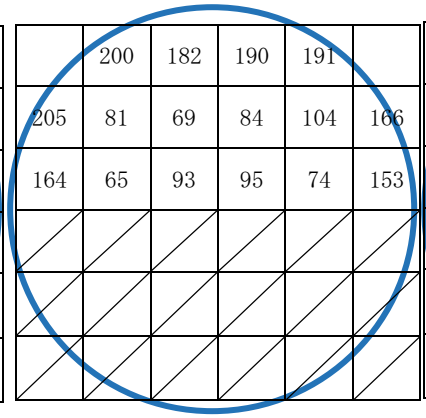
	168	184	201	223	
153	127	58	67	161	200
160	74	105	108	69	208
181	70	104	89	65	359
357	92	102	87	177	170
	278	265	270	222	

(f) C-③- Ⅰ-6



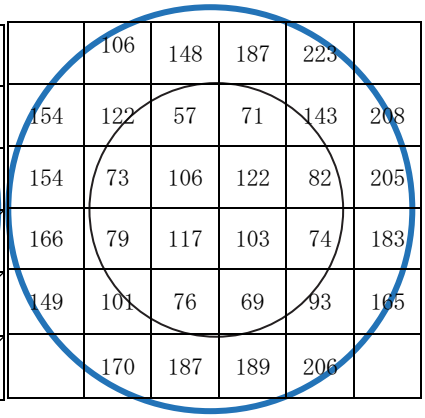
	167	161	209	219	
151	146	57	74	186	208
160	74	113	103	68	208
178	77	108	101	67	195
203	80	74	68	78	210
	228	206	186	212	

(g) C-③- Ⅰ-7



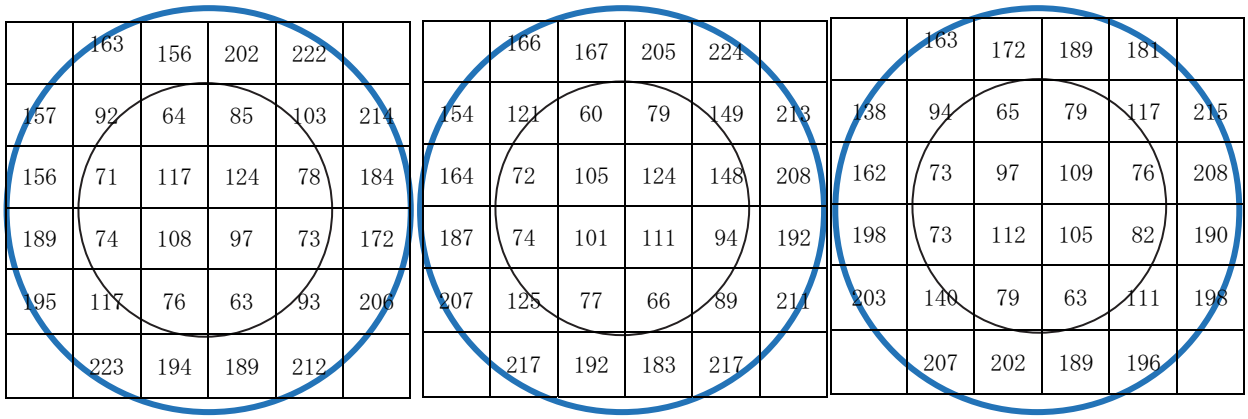
	200	182	190	191	
205	81	69	84	104	166
164	65	93	95	74	153

(h) C-③- Ⅰ-8

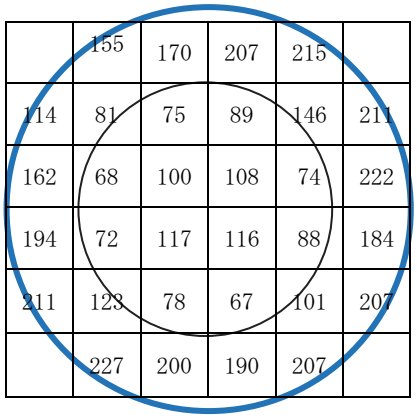


	106	148	187	223	
154	122	57	71	143	208
154	73	106	122	82	205
166	79	117	103	74	183
149	101	76	69	93	165
	170	187	189	206	

(i) C-③- Ⅰ-9

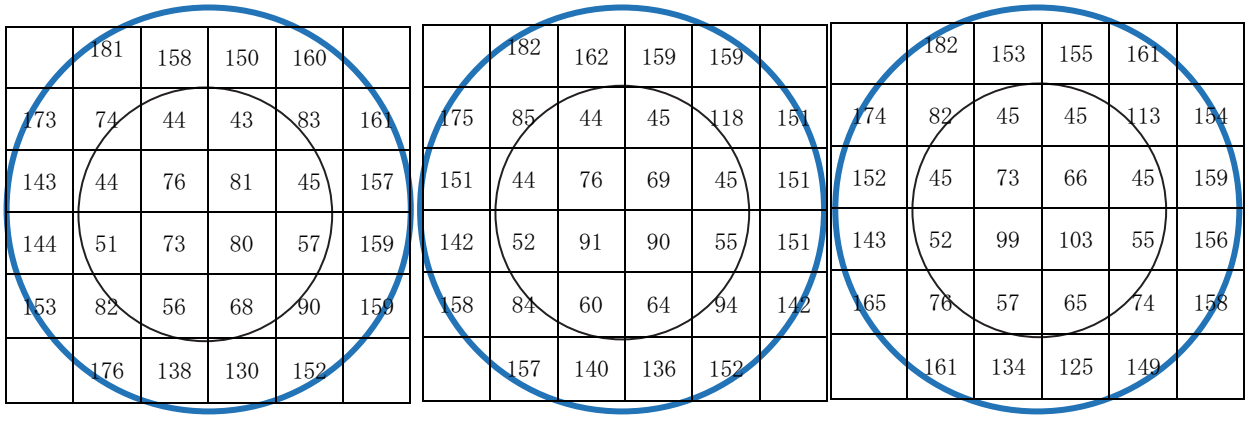


(j)C-③-Ⅰ-10　(k)C-③-Ⅰ-11　(l)C-③-Ⅰ-12

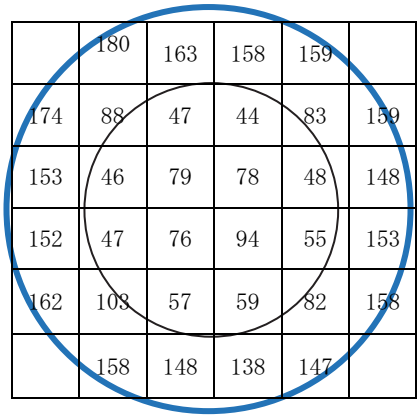


(m)C-③-Ⅰ-13

図5.8.2-6　試験体名称C-③-Ⅰの10cm厚さ円盤試験体の含水率分布

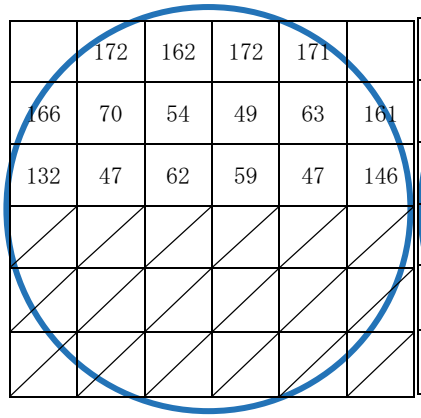


(a)D-④-Ⅰ-1　(b)D-④-Ⅰ-2　(c)D-④-Ⅰ-3



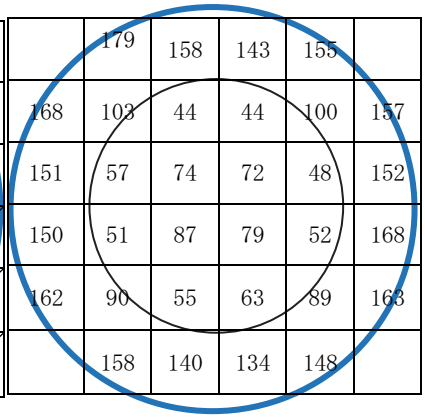
	180	163	158	159	
174	88	47	44	83	159
153	46	79	78	48	148
152	47	76	94	55	153
162	103	57	59	82	158
	158	148	138	147	

(d)D-④-Ⅰ-4



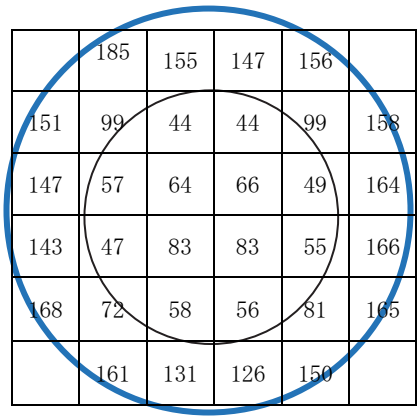
	172	162	172	171	
166	70	54	49	63	161
132	47	62	59	47	146

(e)D-④-Ⅰ-5



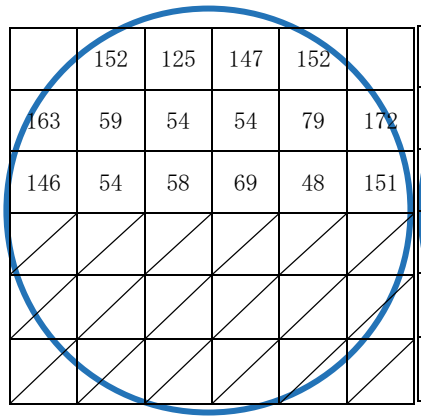
	179	158	143	155	
168	103	44	44	100	157
151	57	74	72	48	152
150	51	87	79	52	168
162	90	55	63	89	163
	158	140	134	148	

(f)D-④-Ⅰ-6



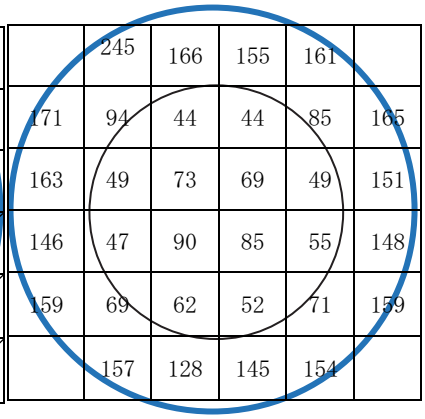
	185	155	147	156	
151	99	44	44	99	158
147	57	64	66	49	164
143	47	83	83	55	166
168	72	58	56	81	165
	161	131	126	150	

(g)D-④-Ⅰ-7



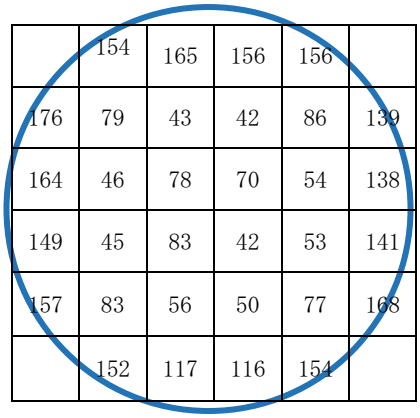
	152	125	147	152	
163	59	54	54	79	172
146	54	58	69	48	151

(h)D-④-Ⅰ-8



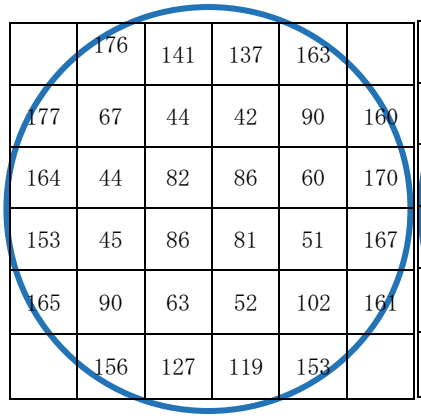
	245	166	155	161	
171	94	44	44	85	165
163	49	73	69	49	151
146	47	90	85	55	148
159	69	62	52	71	159
	157	128	145	154	

(i)D-④-Ⅰ-9



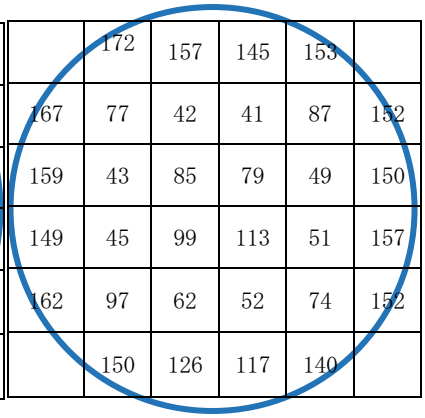
	154	165	156	156	
176	79	43	42	86	139
164	46	78	70	54	138
149	45	83	42	53	141
157	83	56	50	77	168
	152	117	116	154	

(j)D-④-Ⅰ-10



	176	141	137	163	
177	67	44	42	90	160
164	44	82	86	60	170
153	45	86	81	51	167
165	90	63	52	102	161
	156	127	119	153	

(k)D-④-Ⅰ-11



	172	157	145	153	
167	77	42	41	87	152
159	43	85	79	49	150
149	45	99	113	51	157
162	97	62	52	74	152
	150	126	117	140	

(l)D-④-Ⅰ-12

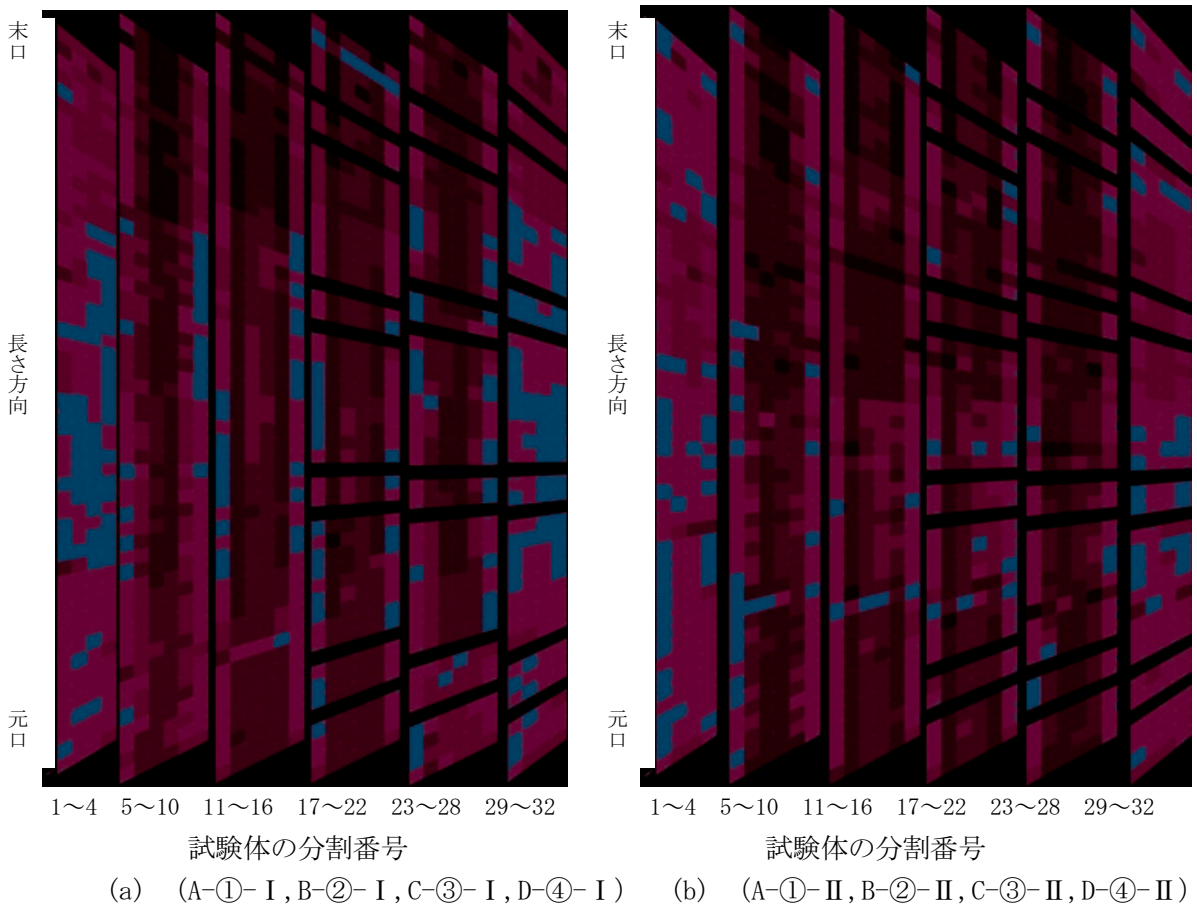
	157	151	155	159	
172	76	42	45	103	164
165	44	84	81	49	151
156	45	99	98	45	160
173	79	82	55	77	162
	165	122	121	149	

(m)D-④-Ⅰ-13

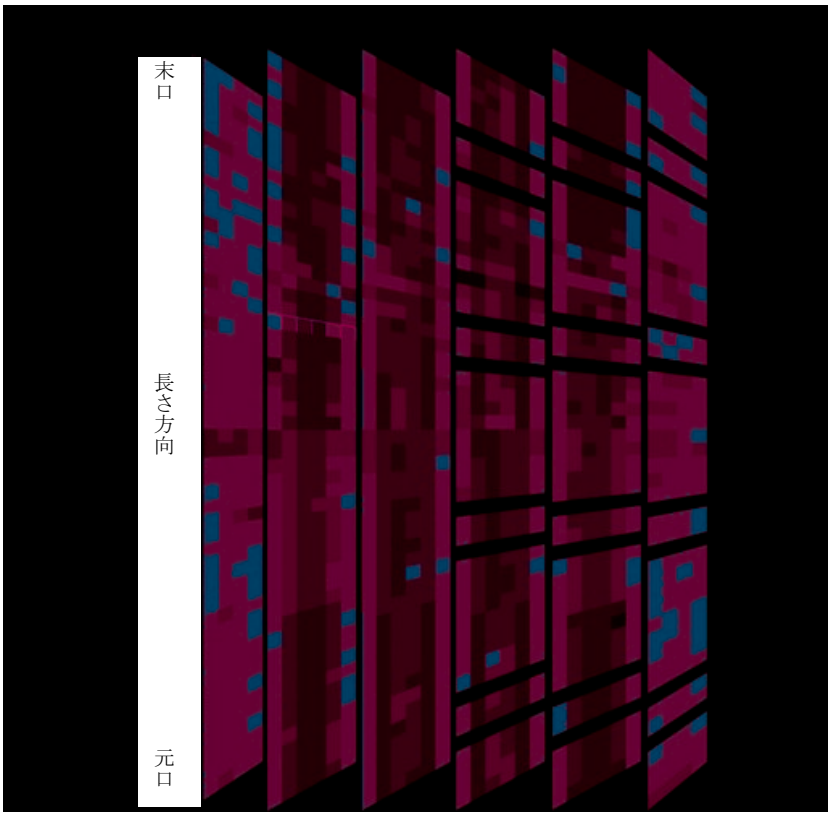
図5.8.2-7　試験体名称D-④-Ⅰの10cm厚さ円盤試験体の含水率分布

(b)円盤試験体から推定した丸太の長さ方向の含水率分布

含水率分布測定用の円盤試験体を丸太の長さ方向に、試験体名称の記名法の「同条件のグループA～Dの丸太3本」の順番で繋げて含水率を推定した。この順番に具体的な意味はないが、形式的に（A-①-Ⅰ,B-②-Ⅰ,C-③-Ⅰ,D-④-Ⅰ）、（A-①-Ⅱ,B-②-Ⅱ,C-③-Ⅱ,D-④-Ⅱ）及び（A-①-Ⅲ,B-②-Ⅲ,C-③-Ⅲ,D-④-Ⅲ）のグループとして、図5.8.2-8に含水率分布を示した。



(a)　(A-①-Ⅰ,B-②-Ⅰ,C-③-Ⅰ,D-④-Ⅰ)　(b)　(A-①-Ⅱ,B-②-Ⅱ,C-③-Ⅱ,D-④-Ⅱ)



0%～49%	50%～79%	80%～119%	120%～159%	160%～199%	200%～299%	300%～

(d)含水率とカラースケールの対応

注:同図の試験体分割番号17～22、23～28、29～32の横の空白部分は、収縮率測定用の試験体を木取りしたため含水率が測定できないことに対応している。

1～4　5～10　11～16　17～22　23～28　29～32

試験体の分割番号

(c)　(A-①-Ⅲ, B-②-Ⅲ, C-③-Ⅲ, D-④-Ⅲ)

図5.8.2-8　未乾燥丸太の長さ方向の含水率分布

（３）収縮率の測定

1)収縮率試験片の作成法

木材の収縮率測定法（JIS Z 2101）により、接線方向と放射方向の収縮率試験体（幅30mm×高さ30mm×厚さ5mm）と繊維方向の収縮率試験片（幅30mm×高さ60mm×厚さ5mm）を試験体名称（A-①-Ⅰ-5とA-①-Ⅰ-8、A-①-Ⅱ-5とA-①-Ⅱ-8、A-①-Ⅲ-5とA-①-Ⅲ-8）、（B-②-Ⅰ-5とB-②-Ⅰ-8、B-②-Ⅱ-5とB-②-Ⅱ-8、B-②-Ⅲ-5とB-②-Ⅲ-8）、（C-③-Ⅰ-5とC-③-Ⅰ-8、C-③-Ⅱ-5とC-③-Ⅱ-8、C-③-Ⅲ-5とC-③-Ⅲ-8）及び（D-④-Ⅰ-5とD-④-Ⅰ-8、D-④-Ⅱ-5とD-④-Ⅱ-8、D-④-Ⅲ-5とD-④-Ⅲ-8）の円盤試験体の半円部で作成した。収縮率試験辺の一例を1-A-Ⅱ-5から作成したものを図5.8.2-9に示した。1個の円盤試験体の半円部から繊維方向試験片は心材から4個と辺材から4個とし、接線方向と放射方向は、両者共通で心材から6個と辺材から6個をそれぞれ作成した。

2)収縮率の測定法

接線方向と放射方向及び繊維方向の収縮率の測定は、接線方向試験片（心材4個×円盤2個×12本=96個、辺材96個）と接線方向と放射方向試験片（心材6個×円盤2個×12本=144個、辺材144個）をコンクリートの骨材試験用の篩上にまんべんなく配置し、ビニールシートを覆って急速に乾燥することがないように調整しながら、図5.8.2-10に示す測定方法によって測定基準線をデジタルノギスを用いて寸法測定を行った。また、寸法測定と同時に含水率を計算するためにデジタル秤量計で重量測定をおこなった。寸法測定と重量計測は、原則的に毎日測定を繰り返して、前日との重量変化がなくなった時をもって気乾状態とみなして測定を終了した。その後、全ての試験片を105℃で絶乾状態にして寸法と重量の測定を行った。

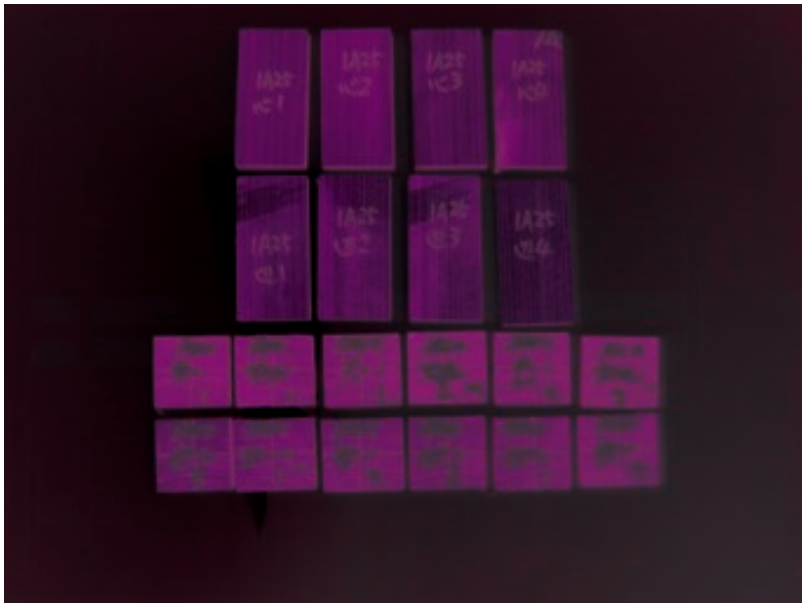
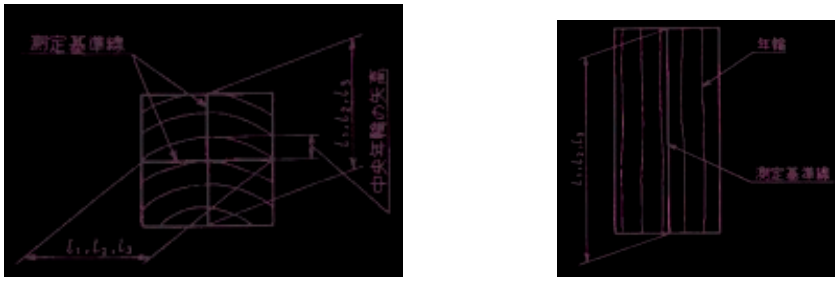


図5.8.2-9 収縮率測定用試験片（1-A-Ⅱ-5）



(a)接線と放射方向の測定　　(b)繊維方向の測定

図5.8.2-10 収縮率を求めるための寸法の測定方法

収縮率の計算は次の3つの指標を使用した。

$$含水率1\%に対する平均収縮率(\%)=(l_2-l_3)/(n\times l)\times 100 \quad (5\text{-}8\text{-}2\text{-}1)$$

$$気乾までの収縮率(\%)=(l_1-l)/l_1\times 100 \quad (5\text{-}8\text{-}2\text{-}2)$$

$$全収縮率(\%)=(l_1-l_3)/l_1\times 100 \quad (5\text{-}8\text{-}2\text{-}3)$$

ここで、l_1は生材の寸法、l_2は気乾状態の寸法、l_3は絶乾状態の寸法である。また、nはl_2を測定したときの含水率(%)、lは含水率15%のときの基準線の長さで、l_2とl_3から比例的に次の式から算出した。

$$l=l_3+15\times(l_2-l_3)/n \quad (5\text{-}8\text{-}2\text{-}4)$$

3)収縮率

試験体名称（A-①-Ⅰ～Ⅲ、B-②-Ⅰ～Ⅲ、C-③-Ⅰ～Ⅲ、D-④-Ⅰ～Ⅲ）のそれぞれの円盤試験体5と8から求めた心材と辺材別に分類した接線方向(T)と放射方向(R)並びに繊維方向(L)の含水率

1%に対する平均収縮率(%)、気乾までの収縮率(%)及び全収縮率(%)の平均値を表5.8.2-2に示した。この表で示したそれぞれの収縮率の値は、次年度に予定されているスギ丸太の水中貯木による影響を評価するための基本データとなるものである。

また、接線方向、放射方向、繊維方向別に含水率1%に対する平均収縮率と気乾までの収縮率及び全収縮率の関係を図5.8.2-11～図5.8.2-19にそれぞれ示した。方向別の収縮率については、接線方向と放射方向及び繊維方向の比率と同じ傾向である。含水率1%に対する平均収縮率は、接線方向では辺材が、放射方向では心材が僅かに大きいけれども心材と辺材間で一定の傾向は見られない。しかし、気乾までの収縮率と全収縮率については、接線方向で心材と辺材間に差は認められないが、放射方向では辺材が心材よりも大きな値となることが分かった。丸太の高さ方向（①番玉～④番玉）の収縮率には、あきらかな差は認められなかった。

表5.8.2-2　A-①、B-②、C-③、D-④のⅠ～Ⅲから求めた3種の収縮率

試験体名	部位	方向	含水率1%に対する平均収縮率(%)	気乾までの収縮率(%)	全収縮率(%)
A-①	心材	T方向	0.24	2.26	5.79
		R方向	0.06	1.12	1.96
		L方向	0.01	0.06	0.18
	辺材	T方向	0.30	2.40	6.75
		R方向	0.05	2.49	3.23
		L方向	0.01	0.11	0.26
B-②	心材	T方向	0.24	2.46	5.94
		R方向	0.07	1.41	2.36
		L方向	0.01	0.15	0.29
	辺材	T方向	0.26	2.43	6.26
		R方向	0.05	2.51	3.25
		L方向	0.01	0.11	0.28
C-③	心材	T方向	0.22	2.17	5.37
		R方向	0.06	1.41	2.21
		L方向	0.01	0.10	0.23
	辺材	T方向	0.23	2.42	5.83
		R方向	0.05	2.37	3.01
		L方向	0.02	0.18	0.41
D-④	心材	T方向	0.25	2.56	6.13
		R方向	0.08	1.58	2.71
		L方向	0.01	0.09	0.21
	辺材	T方向	0.25	2.56	6.23
		R方向	0.05	2.70	3.41
		L方向	0.01	0.09	0.26

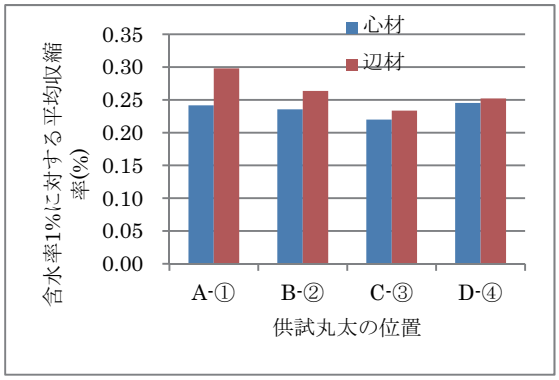


図5.8.2-11 接線方向の平均収縮率

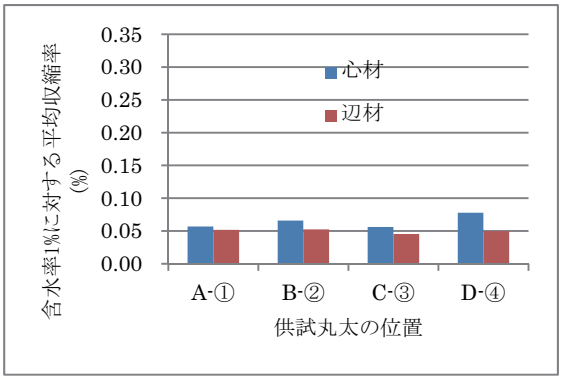


図5.8.2-12 放射方向の平均収縮率

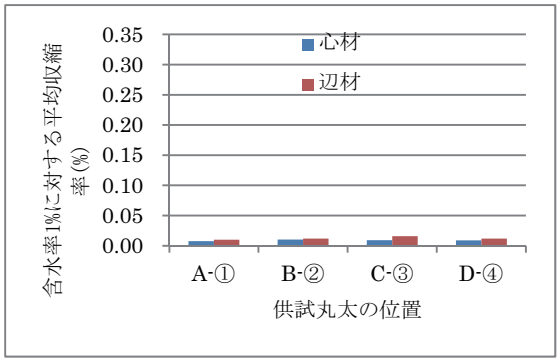


図5.8.2-13 繊維方向の平均収縮率

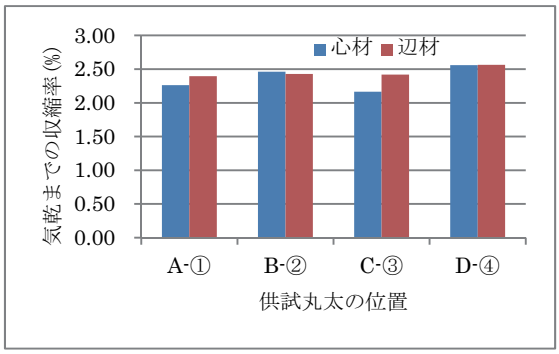


図5.8.2-14 接線方向の気乾までの収縮率

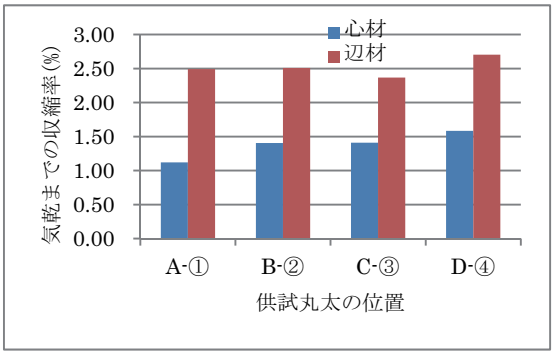


図5.8.2-15 放射方向の気乾までの収縮率

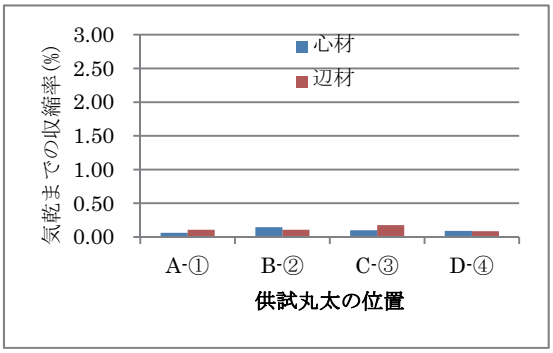


図5.8.2-16 繊維方向の気乾までの収縮率

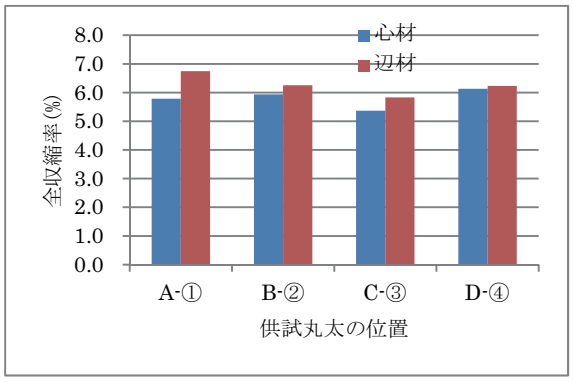


図5.8.2-17 接線方向の全収縮率

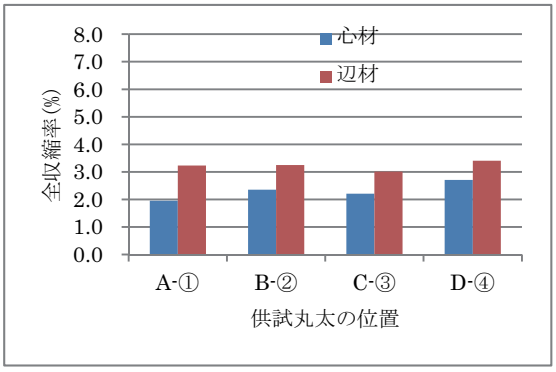


図5.8.2-18 放射方向の全収縮率

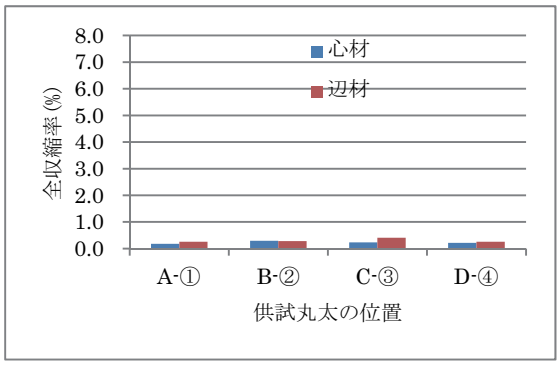


図5.8.2-19 繊維方向の全収縮率

（４）まとめ

スギ丸太の水中貯木による効果を検証するために、埼玉県飯能市吾野地区の西川材を用いて生材状態、貯木9ヶ月、貯木12ヶ月、輪掛状態の4条件で比較する実験を計画した。本報告は、貯木の効果を比較するための基準データとなる生材状態の含水率と収縮率の実験結果について記述したものである。

含水率については、スギ丸太の円盤試験体の結果より、辺材部で含水率が最も高く、移行帯部で含水率が低下し、心材部で再び含水率が高くなることが、伐り旬に伐採されたスギ丸太について確認できた。収縮率については、方向別の収縮率比は接線方向、放射方向及び繊維方向で一般的な範囲内であった。丸太の心材と辺材の収縮率については、接線方向で心材と辺材間に差は認められなかったが、放射方向においては気乾までの収縮率と全収縮率で辺材部のものが心材よりも大きいことが分かった。

５．８．３　乾燥速度推定のための水中貯木材の100℃試験

（１）未乾燥材の乾燥速度の推定

1)はじめに

水中貯木により木材の乾燥性が改善されるかどうかを検証するのに先立って、前項（5.8.2項）の実験における供試丸太から小試験体を採取して通称100℃試験によってその乾燥速度を測定し、丸太の部位や試験体の木取りによる影響を検証した。今年度は、水中貯木前の丸太の乾燥速度について報告する。なお、貯木9ヶ月および貯木12ヶ月の丸太については、24年度に水中貯木が終了した後、本報告と同様の方法で処理して乾燥速度を求め、その結果を報告する予定である。

2)実験方法

(a)試験材

5.8.2項の実験における供試丸太のうち、含水率および収縮率の測定に用いた部位に隣接する、材長0.7mの短尺丸太（図5.8.2-2における緑色の箇所）12本から、幅×厚さ×長さが10cm×2cm×20cmの板材を採取して100℃試験に供した。各丸太からそれぞれ辺材板目材6枚、心材板目材6枚および心材柾目材（心持ち材）3枚の3種類の板材を採取した。100℃試験に供した板材の内訳は、辺材板目材53枚、心材板目材69枚および心材柾目材36枚で、総数は167枚であった。

(b)方法

乾燥性の評価方法として、乾燥スケジュールの簡易決定法、いわゆる100℃試験を応用した。試験材を105℃の恒温器内で52時間乾燥し、得られた含水率と乾燥時間の関係から式１に示す指数関数近似式で回帰曲線を算出して乾燥曲線とした。この乾燥曲線において乾燥速度の大小に関わる乾燥速度減少係数Kにより乾燥性の評価を行った。Kは負の値を取り、その絶対値が大きいほど乾燥性がよいことを示す。

$$u = u_a \exp(Kt) \qquad (5\text{-}8\text{-}3\text{-}1)$$

ここで，u：含水率（%），u_a：初期含水率（%），

K：乾燥速度減少係数（1/h），t：乾燥時間（h）

また、上記のデータを含水率30%で区分し、生材から含水率30%までの含水率領域で求められたKをK_1、含水率30%以下となった最初のプロット3点から算出したKをK_2とし、それぞれ自由水領域および結合水領域の乾燥速度とみなして評価した。

3)結果・考察

(a)乾燥曲線

図5.8.3-1～図5.8.3-3に全含水率領域における各材種の乾燥曲線の一例を、図5.8.3-4～図5.8.3-6に含水率30%で区分したときの各材種の乾燥曲線の一例をそれぞれ示す。試験体の種類の違いや含水率による区分に関わらず回帰曲線とデータとの相関は良好であった。含水率30%より上の含水率領域K_1の絶対値は必ずしもK_2の絶対値よりも大きいわけではなく、結合水領域の乾燥速度が自由水領域のそれを上回る結果も散見された。通常は、$|K_1| > |K_2|$であるので、このことは、回帰曲線を当てはめるための含水率30%で区分したデータの数が十分ではないことを示唆している。

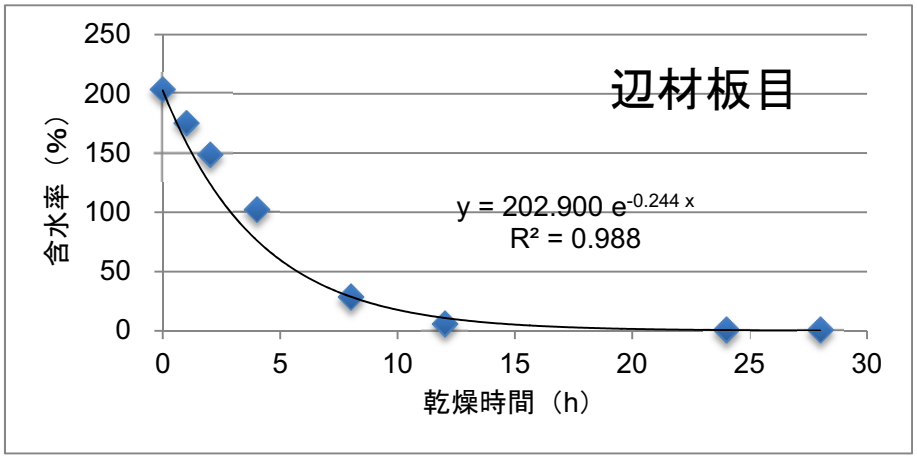


図5.8.3-1　辺材板目材の乾燥曲線の一例（全含水率領域）

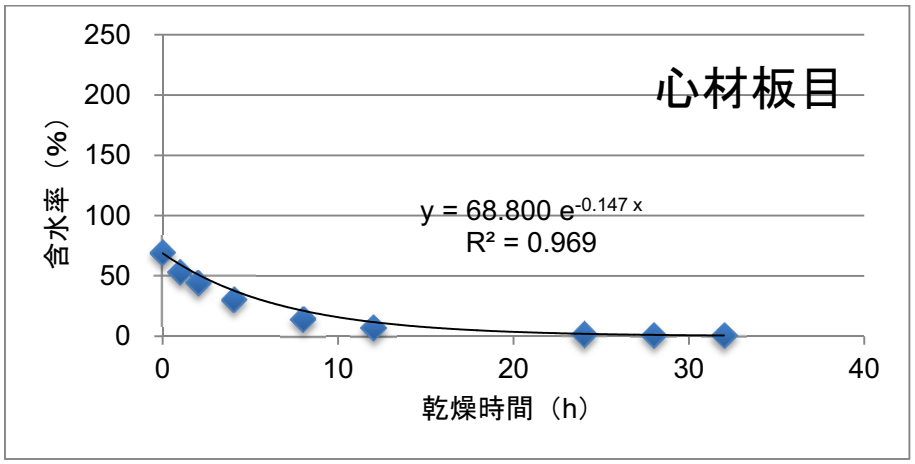


図5.8.3-2　心材板目材の乾燥曲線の一例（全含水率領域）

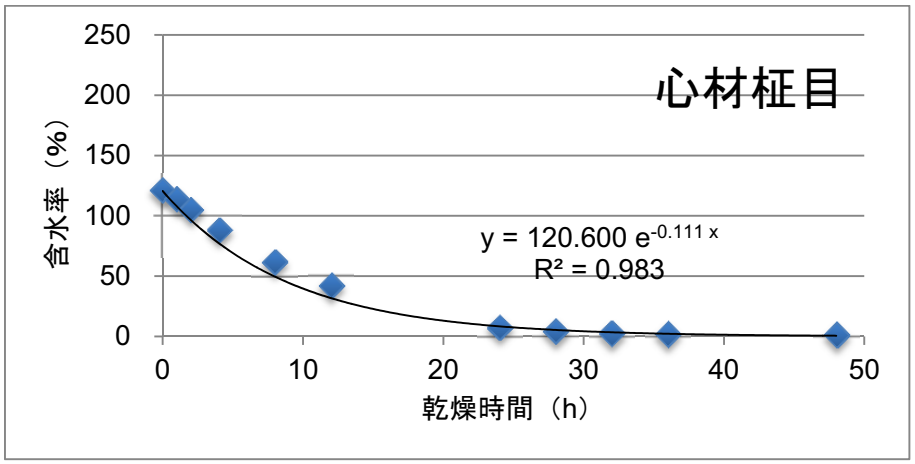


図5.8.3-3　心材柾目材の乾燥曲線の一例（全含水率領域）

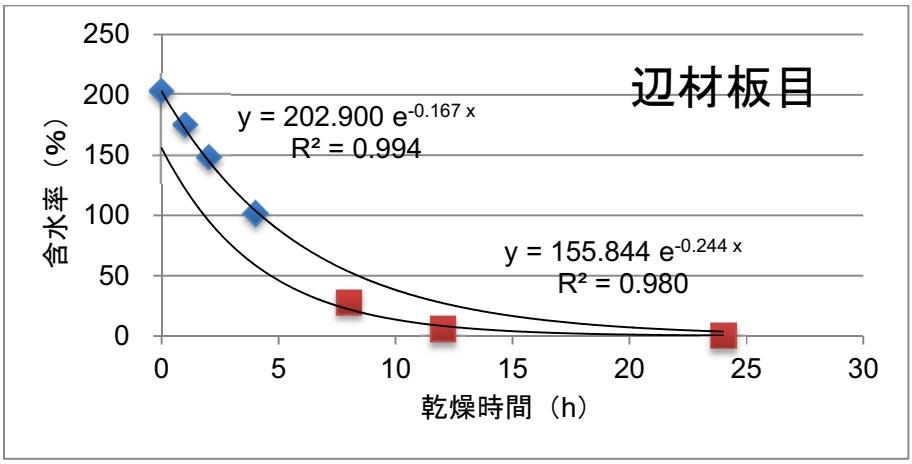


図5. 8. 3-4　辺材板目材の乾燥曲線の一例（含水率30%で区分した場合）

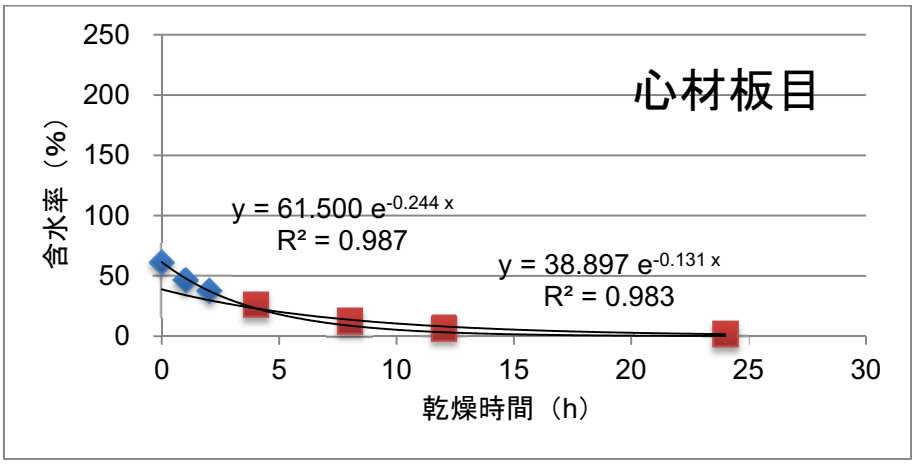


図5. 8. 3-5　心材板目材の乾燥曲線の一例（含水率30%で区分した場合）

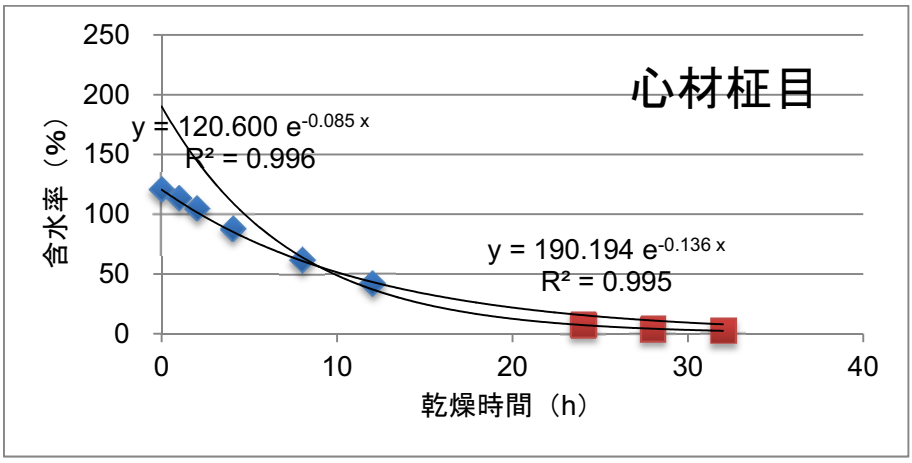


図5. 8. 3-6　心材柾目材の乾燥曲線の一例（含水率30%で区分した場合）

(b)未処理材の乾燥性

100℃試験の結果を表5.8.3-1に示す。乾燥速度係数を指標とした乾燥性は、辺材板目材、心材板目材、心材柾目材（心持ち材）の順によかった。ただし、含水率30%を超える、自由水による移動が主となる領域では、辺材板目材と心材板目材との間に差は認められなかった。通常は同一個体内であれば柾目材が板目材より乾燥性がよいが、今回の結果では心材板目材が心材柾目材よりも乾燥速度減少係数の絶対値が大きかった。これは、実験で用いた心材柾目材が心持ち材であり、髄およびその周辺の未成熟材の組織構造あるいは密度などの影響があったものと考えられる。これについては今後のさらなる検討を要する。

表5.8.3-1　100℃試験の結果

試験体			辺材板目	心材板目	心材柾目
試験体数			53	69	36
初期含水率 (%)		平均	199	78	104
		標準偏差	24	16	16
平均年輪幅 (mm)		平均	1.6	3.5	3.9
		標準偏差	0.2	0.8	0.5
全乾密度 (g/cm^3)		平均	0.37	0.40	0.43
		標準偏差	0.02	0.03	0.04
乾燥速度減少係数 (1/h)	K	平均	−0.263	−0.145	−0.115
		標準偏差	0.047	0.039	0.018
	K_1	平均	−0.166	−0.168	−0.118
		標準偏差	0.036	0.047	0.024
	K_2	平均	−0.253	−0.150	−0.134
		標準偏差	0.042	0.039	0.026

(c)初期含水率と乾燥速度減少係数の関係

初期含水率と乾燥速度減少係数の関係を図5.8.3-7～図5.8.3-9に示す。同じ材種の中では初期含水率による乾燥性の違いは認められなかった。全体的には初期含水率が高いほど乾燥性がよいが、辺材と心材の違いによるものと考えられる。KおよびK_2では辺材の乾燥速度減少係数の絶対値が心材のそれよりも大きく、K_1では辺材と心材との間に差が認められないことから、辺材と心材の乾燥性の差は含水率30%以下の結合水領域での乾燥速度の違いに起因すると考えられる。

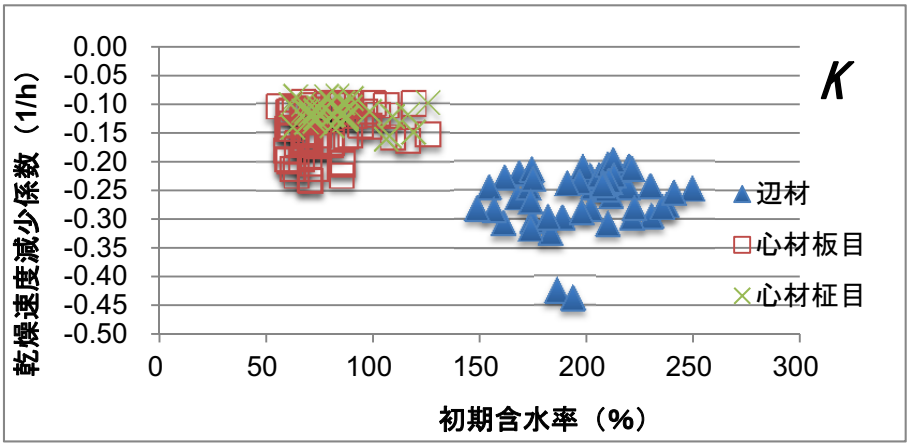


図5.8.3-7　初期含水率と乾燥速度減少係数Kの関係

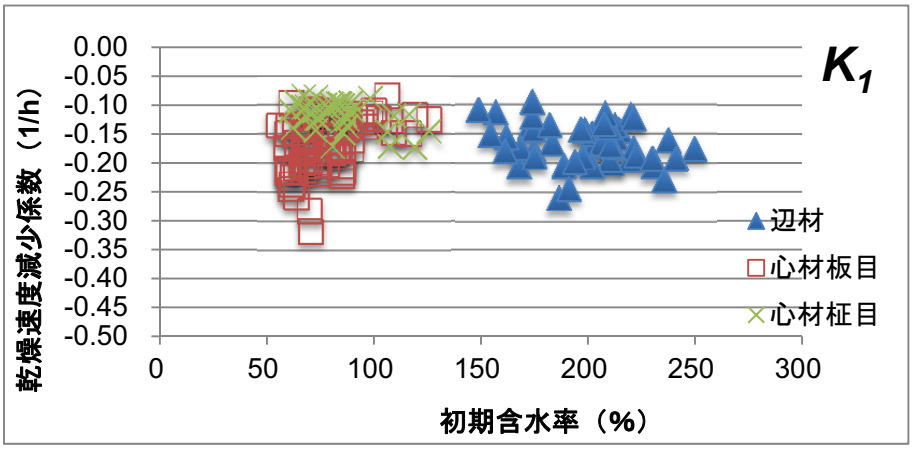


図5.8.3-8　初期含水率と乾燥速度減少係数K_1の関係

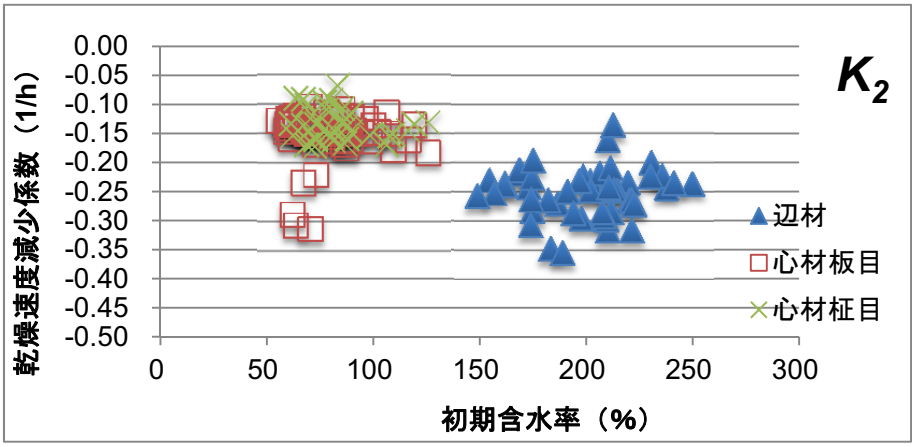


図5.8.3-9　初期含水率と乾燥速度減少係数K_2の関係

(d) 平均年輪幅と乾燥速度減少係数の関係

平均年輪幅と乾燥速度減少係数の関係を図5.8.3-10～図5.8.3-12に示す。同じ材種の中では平均年輪幅による乾燥性の違いは認められなかった。全体的には平均年輪幅が小さいほど乾燥性がよいが、これは辺材の年輪幅が狭いためであり、前項と同様に辺材と心材の違いによるものと考えられる。

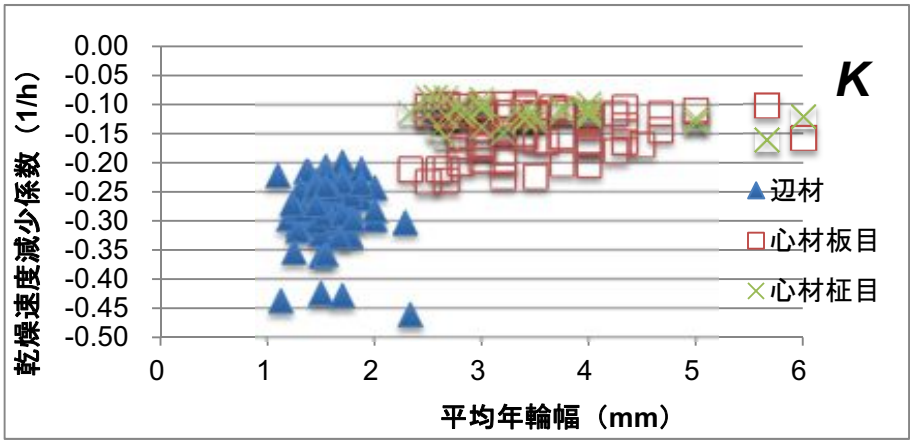


図5.8.3-10　平均年輪幅と乾燥速度減少係数Kの関係

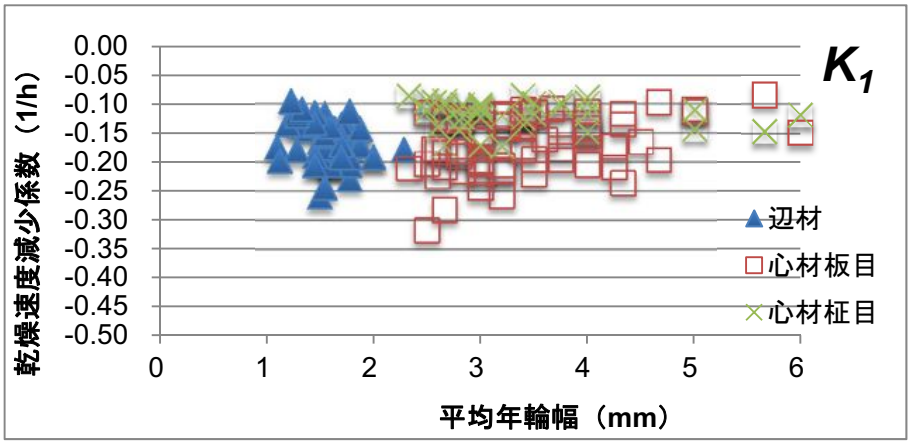


図5.8.3-11　平均年輪幅と乾燥速度減少係数K_1の関係

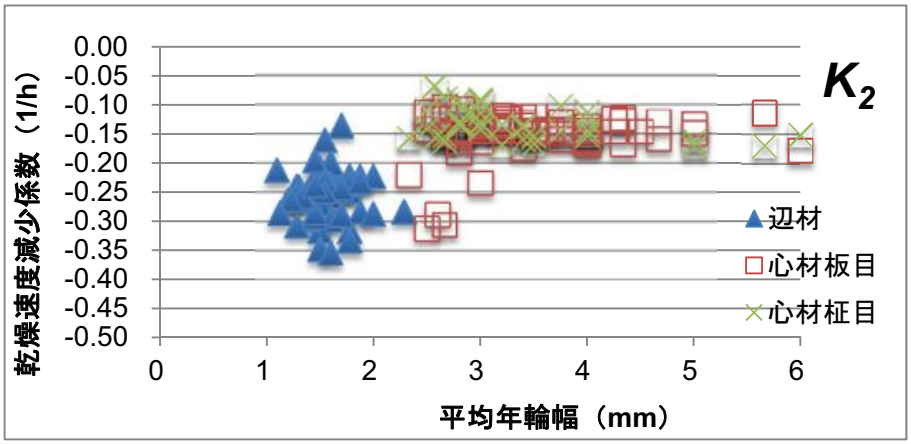


図5.8.3-12　平均年輪幅と乾燥速度減少係数K_2の関係

(e)全乾密度と乾燥速度減少係数の関係

全乾密度と乾燥速度減少係数の関係を図5.8.3-13～図5.8.3-15に示す。同じ材種の中でも全体的にも相関は認められず、通説に反して全乾密度が乾燥性に及ぼす影響は認められなかった。このことは、今回の試験材の密度の範囲が狭かったことによるものと推察される。

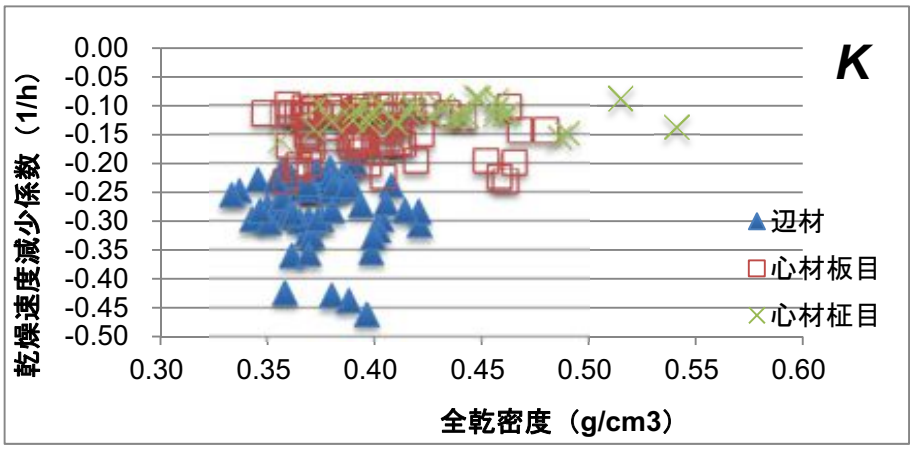


図5.8.3-13　全乾密度と乾燥速度減少係数Kの関係

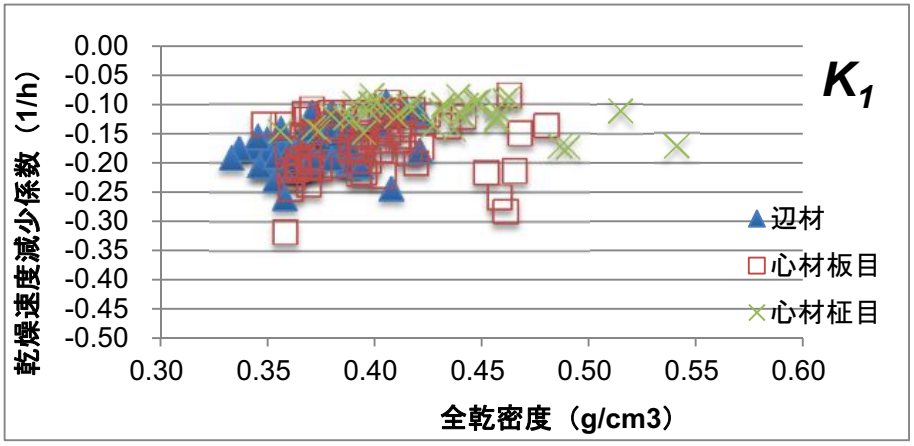


図5.8.3-14　全乾密度と乾燥速度減少係数K_1の関係

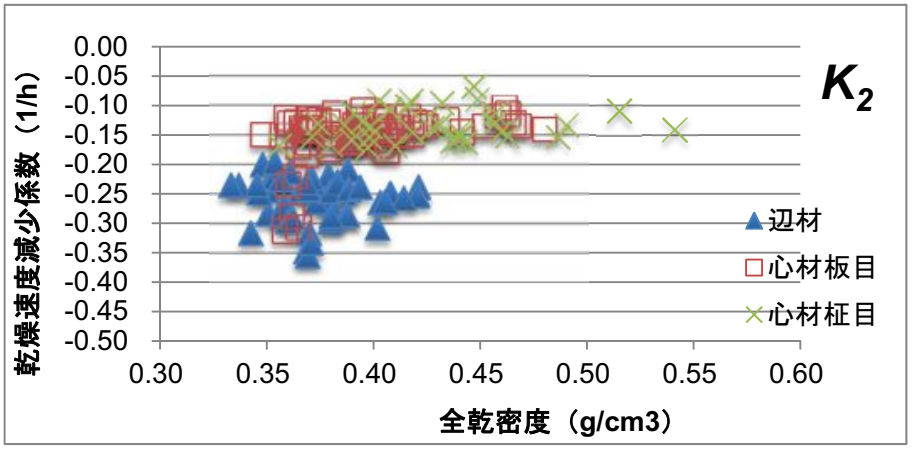


図5.8.3-15　全乾密度と乾燥速度減少係数K_2の関係

4) まとめ

水中貯木前のスギ丸太から採取した小試験体（板材）を対象に100℃試験を実施し、そこから得られる指数関数近似の係数、乾燥速度減少係数を乾燥性の指標として、丸太内の部位の違いによる乾燥性を巨視的な視点で評価した。得られた結果は以下のとおりであった。

①生材から全乾状態付近までの乾燥性は、辺材板目材、心材板目材、心材柾目材（心持ち材）の順によかった。

②辺材板目材と心材板目材の乾燥性の比較では、生材から含水率30%までの含水率領域（自由水領域）では差が認められなかったが、含水率30%以下の含水率領域（結合水領域）では辺材の乾燥性が心材のそれより良好であった。

③スギ丸太の髄付近から採取した、心持ちの心材柾目材は、すべての含水率領域において辺材板目材および心材板目材より乾燥性が悪かった。

（２）水中貯木材の乾燥速度の推定

1)はじめに

木材が水中貯木されることにより乾燥性が改善されるかどうかを検証するために、従来人工乾燥スケジュール推定法である、通称100℃試験を応用して、その乾燥速度を測定することで検証した。

2)実験方法

(a)試験材

試験材には、滋賀県、甲賀北土山産　水中貯木期間おおよそ4年のスギ丸太（写真5.8.3-1）から製材して得た板目板を使用した。幅×厚さ×長さは、10cm×2cm×20cmとした。本実験では心材と辺材を12枚ずつ試験した。



写真5.8.3-1　水中貯木スギ丸太（引揚げ時）

(b)方法

方法は、乾燥方法が不明の木材に対する乾燥スケジュール簡易推定法として開発された（たとえば、寺沢真：木材乾燥スケジュールの簡易決定法,木材工業,総説,Vol.20,No.5,2-7（1965））法を応用した。 すなわち、100℃の恒温器内で木材を乾燥させる。その経過中に発生する損傷（初期割れ、断面変形、内部割れ）を観察して、損傷の程度から人工乾燥スケジュールを推定する。今回は乾燥開始から30分ごとに重量計測を行い、得られる乾燥曲線（指数関数近似）から、乾燥速度の大小に関わる乾燥速度減少係数（図5.8.3-16中の式の係数K）により乾燥性の評価を行った。すなわち、K値は負の値を示すが、その絶対値が大きいほど早く乾燥することを意味する係数である。

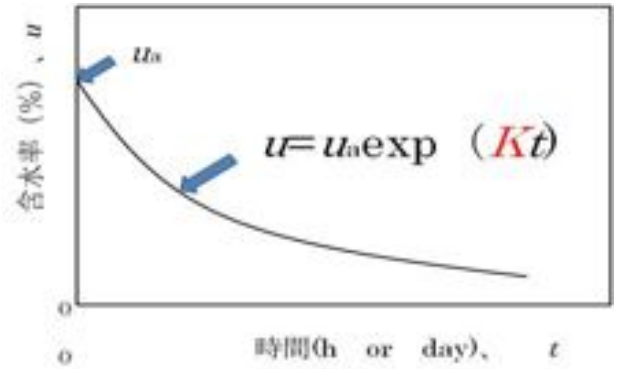


図5.8.3-16　乾燥曲線の表現

3)結果・考察

(a)乾燥曲線

水中貯木材の辺材および心材試験材全サンプルの100℃試験の結果（乾燥経過）を図5.8.3-17、図5.8.3-18に示す。これらの図中にはそれぞれ指数回帰曲線式と式中の乾燥速度減少係数（K）も合わせて示した。水中貯木材を用いたため初期含水率は非常に高く、辺材サンプルでは250%以上であった。一方心材サンプルでは初期含水率は150%前後で辺材サンプルと比較すれば相対的に低かった。また個々の近似曲線の適合性は良好であった。

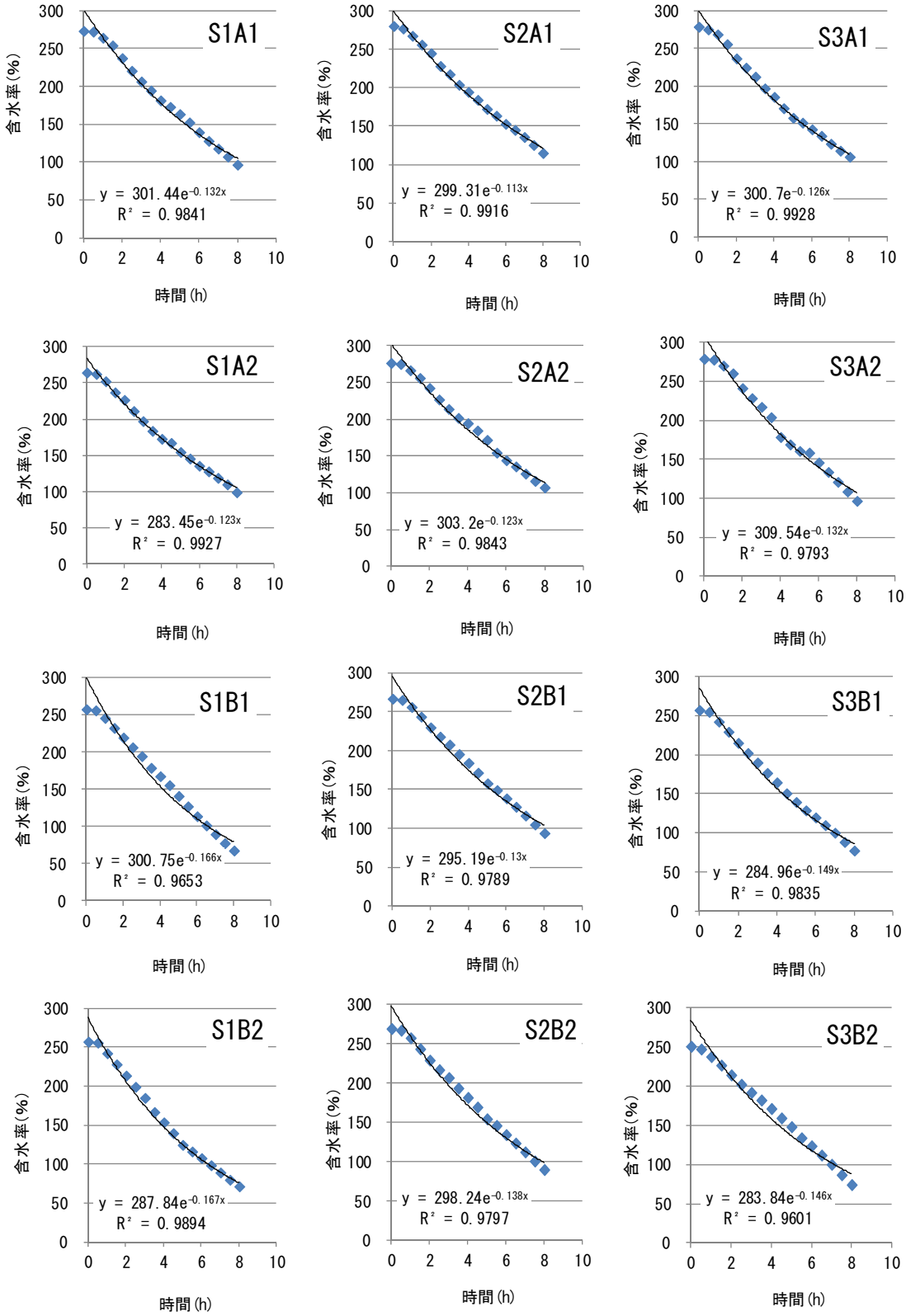


図5.8.3-17　水中貯木材（辺材）の乾燥曲線と指数回帰

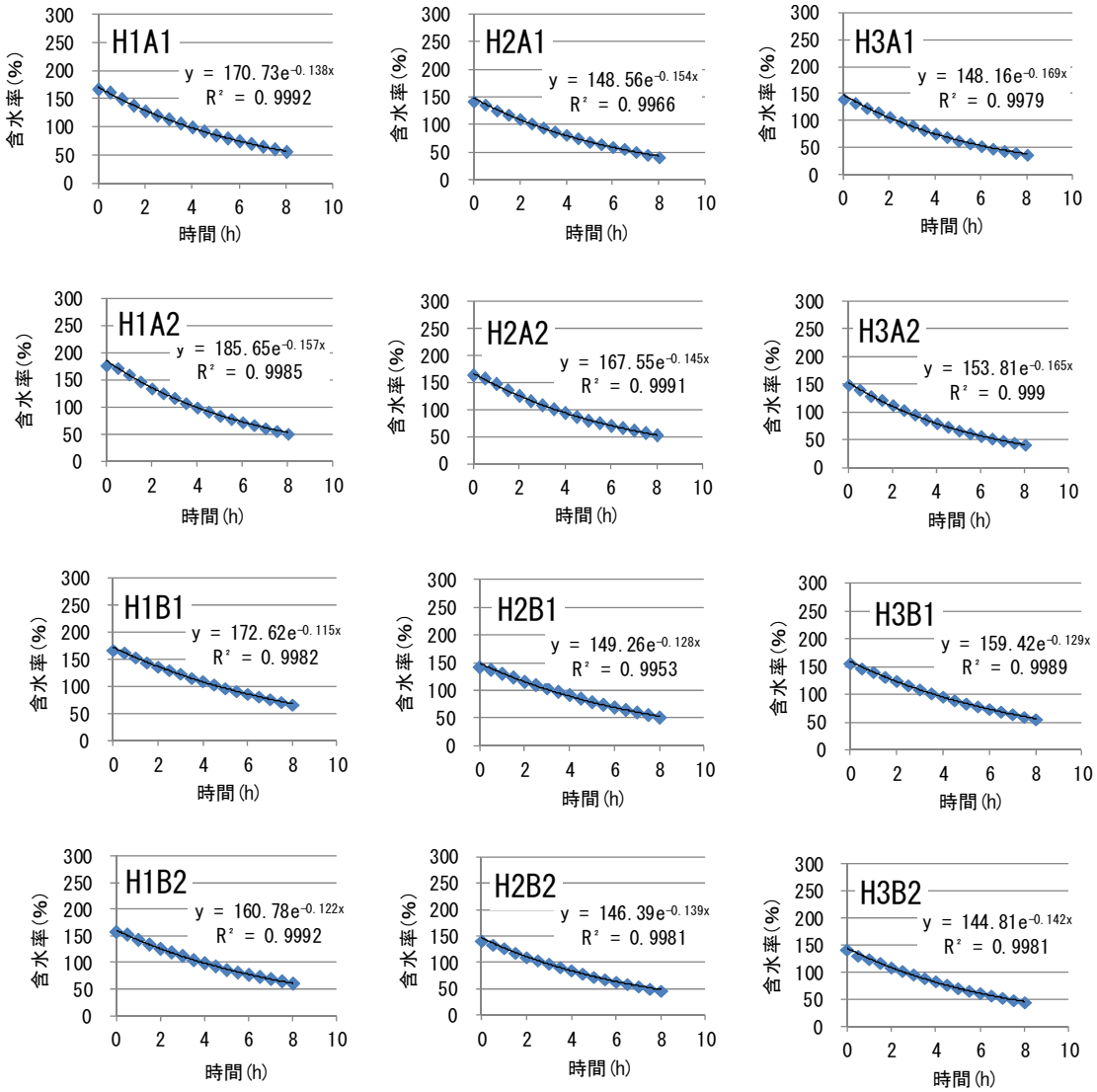


図5.8.3-18　水中貯木材（心材）の乾燥曲線と指数回帰

(b)水中処理材の辺材と心材の乾燥性

また、これらの試験材の初期含水率、平均年輪幅、全乾密度、乾燥速度減少係数の結果を表5.8.3-2にまとめて示した。この表から辺材と心材の材質的違いを比較すると、初期含水率は辺材が高く、平均年輪幅は、辺材の方が狭く、全乾密度は心材の方が大きかった。一般に、初期含水率が大きい方が、年輪幅は広い方が、全乾燥密度は小さい方が乾燥性は良いとされるが、今回の試験材では、これらの要因が複合され、相殺される形となり、乾燥速度減少係数は両者の差はほとんどなく乾燥性の違いが認められない結果となった。

表5.8.3-2　　スギ水中貯木材の初期含水率と乾燥速度減少係数

試験体			初期含水率（%）		平均年輪幅(mm)	全乾密度(g/cm^3)	乾燥速度係数(1/h)	
4年間の水中貯木材	辺材	S1A1	273	276	1.7	0.32	-0.132	-0.125
		S1A2	265		1.7	0.32	-0.123	
		S2A1	280		2.6	0.31	-0.113	
		S2A2	277		2.4	0.31	-0.123	
		S3A1	279		2.0	0.31	-0.126	
		S3A2	280		2.0	0.31	-0.132	
		S1B1	258	260	2.1	0.33	-0.166	-0.149
		S1B2	257		2.0	0.34	-0.167	
		S2B1	267		2.3	0.33	-0.130	
		S2B2	269		2.2	0.32	-0.138	
		S3B1	257		2.0	0.34	-0.149	
		S3B2	250		2.1	0.34	-0.146	
	心材	H1A1	167	157	5.9	0.39	-0.138	-0.155
		H1A2	177		5.4	0.39	-0.157	
		H2A1	142		8.5	0.40	-0.154	
		H2A2	164		8.0	0.38	-0.145	
		H3A1	141		8.6	0.41	-0.169	
		H3A2	149		7.9	0.40	-0.165	
		H1B1	167	151	6.0	0.39	-0.115	-0.129
		H1B2	158		6.3	0.38	-0.122	
		H2B1	142		6.7	0.38	-0.128	
		H2B2	142		6.5	0.38	-0.139	
		H3B1	156		9.0	0.39	-0.129	
		H3B2	142		9.0	0.409	-0.142	

(c)含水率と乾燥性の関係

水中貯木材の初期含水率と乾燥速度減少係数の関係を図5.8.3-19に示す。辺材については統計的には初期含水率が高いほど乾燥性が悪くなるという関係が認められた。この結果は一般的認識と異なる結果である。心材については両者の相関は認められなかった。本結果では対象とする含水率範囲が狭いため、初期含水率と乾燥性には関係が少ないという結論が妥当であろう。

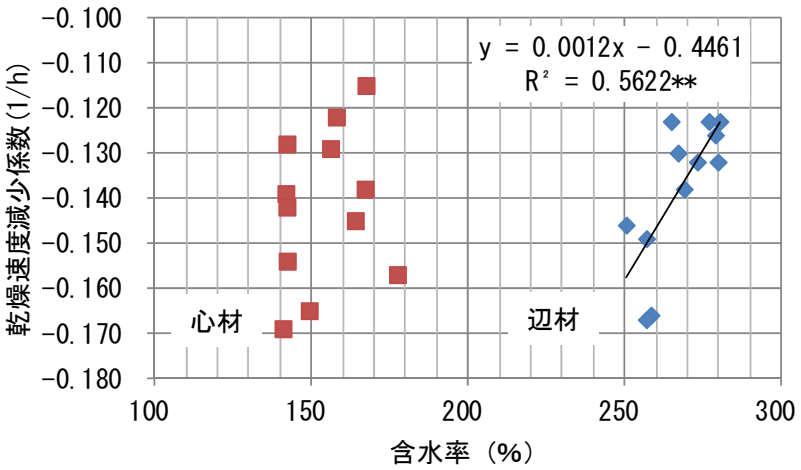


図 5.8.3-19　水中貯木材の初期含水率と乾燥速度減少係数の関係

(d)平均年輪幅と乾燥速度減少係数の関係

図5.8.3-20に平均年輪幅と乾燥速度減少係数の関係を示す。平均年輪幅と乾燥性の間には相関関係は認められない。今回実験に用いた心材の年輪幅が大きいことがわかる。この図からも辺材と心材の乾燥性の違いが少ないことがわかる。

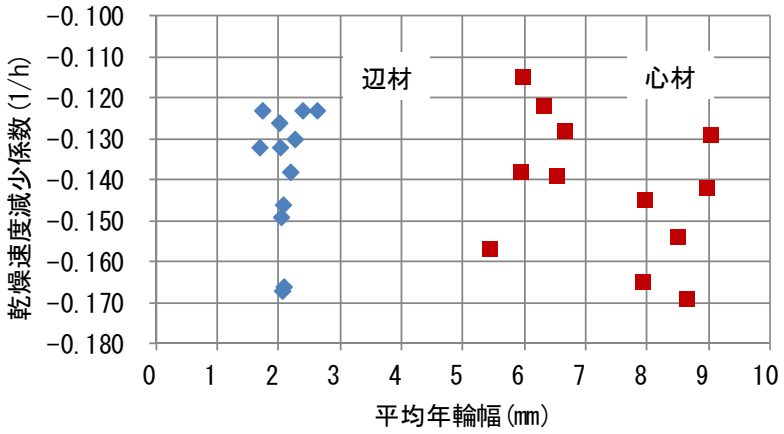


図 5.8.3-20　水中貯木材の平均年輪幅と乾燥速度減少係数の関係

(e)全乾密度と乾燥速度減少係数の関係

図5.8.3-21に水中貯木材の全乾密度と乾燥速度減少係数の関係を示した。辺材においては全乾密度が大きいほど乾燥性がよくなる結果が得られた。一般的認識とは逆の傾向である。心材では関係がみられなかった。結論としては密度範囲が狭いことから密度との相関は認められないと結論する。

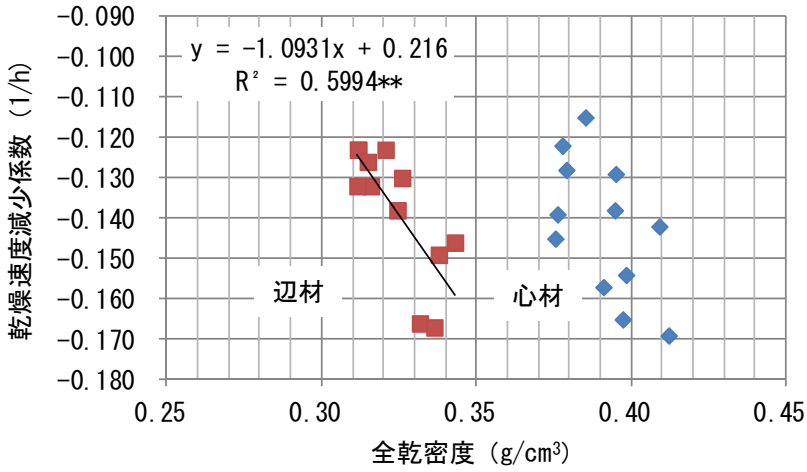


図 5.8.3-21　水中貯木材の全乾燥密度と乾燥速度減少係数の関係

(f)通常材と水中貯木材の乾燥性の比較

今回実施した実験に先立ち、水中貯木をしていない材（以後、通常材と称す）について、予備試験として実施した100℃試験結果と今回の結果(表5.8.3-2の再掲載)を合わせて表5.8.3-3に示した。この表から乾燥速度減少係数について、それぞれ、初期含水率との関係、平均年輪幅との関係、そして全乾密度との関係に分類して以下に考察を加えた。

表5.8.3-3　スギの初期含水率、平均年輪幅、全乾密度と乾燥速度減少係数

試験体			初期含水率（%）		平均年輪幅（mm）	全乾密度（g/cm^3）	乾燥速度係数(1/h)	
4年間の水中貯木材	辺材	S１A1	273	276	1.7	0.32	-0.132	-0.125
		S１A2	265		1.7	0.32	-0.123	
		S２A1	280		2.6	0.31	-0.113	
		S２A2	277		2.4	0.31	-0.123	
		S３A1	279		2.0	0.31	-0.126	
		S３A2	280		2.0	0.31	-0.132	
		S１B1	258	260	2.1	0.33	-0.166	-0.149
		S１B2	257		2.0	0.34	-0.167	
		S２B1	267		2.3	0.33	-0.130	
		S２B2	269		2.2	0.32	-0.138	
		S３B1	257		2.0	0.34	-0.149	
		S３B2	250		2.1	0.34	-0.146	
	心材	H１A1	167	157	5.9	0.39	-0.138	-0.155
		H１A2	177		5.4	0.39	-0.157	
		H２A1	142		8.5	0.40	-0.154	
		H２A2	164		8.0	0.38	-0.145	
		H３A1	141		8.6	0.41	-0.169	
		H３A2	149		7.9	0.40	-0.165	
		H１B1	167	151	6.0	0.39	-0.115	-0.129
		H１B2	158		6.3	0.38	-0.122	
		H２B1	142		6.7	0.38	-0.128	
		H２B2	142		6.5	0.38	-0.139	
		H３B1	156		9.0	0.39	-0.129	
		H３B2	142		9.0	0.409	-0.142	
通常材	辺材	A①ＩS1	208	197	1.6	0.35	-0.147	-0.135
		A①ＩS２	195		1.8	0.35	-0.135	
		A①ＩS３	200		1.4	0.36	-0.125	
		A①ＩS４	187		1.5	0.36	-0.131	
		B②ＩS1	216	218	2.2	0.34	-0.245	-0.257
		B②ＩS２	228		1.9	0.35	-0.241	
		B②ＩS３	211		2.1	0.34	-0.284	
		C③ＩS1	229	226	1.9	0.35	-0.204	-0.222
		C③ＩS２	227		1.8	0.36	-0.224	
		C③ＩS３	222		1.9	0.33	-0.238	
	心材	A①ＩH1	82	79	1.5	0.38	-0.154	-0.177
		B②ＩH1	69		3.3	0.36	-0.200	
		C③ＩH1	87		2.8	0.39	-0.178	

・乾燥速度減少係数と初期含水率との関係

図5.8.3-22に初期含水率と乾燥速度減少係数の関係を示した。乾燥速度減少係数（≒乾燥速度）は水中貯木材では、辺材と心材で違いが少ない。また初期含水率と乾燥速度の間には関係は認められない。

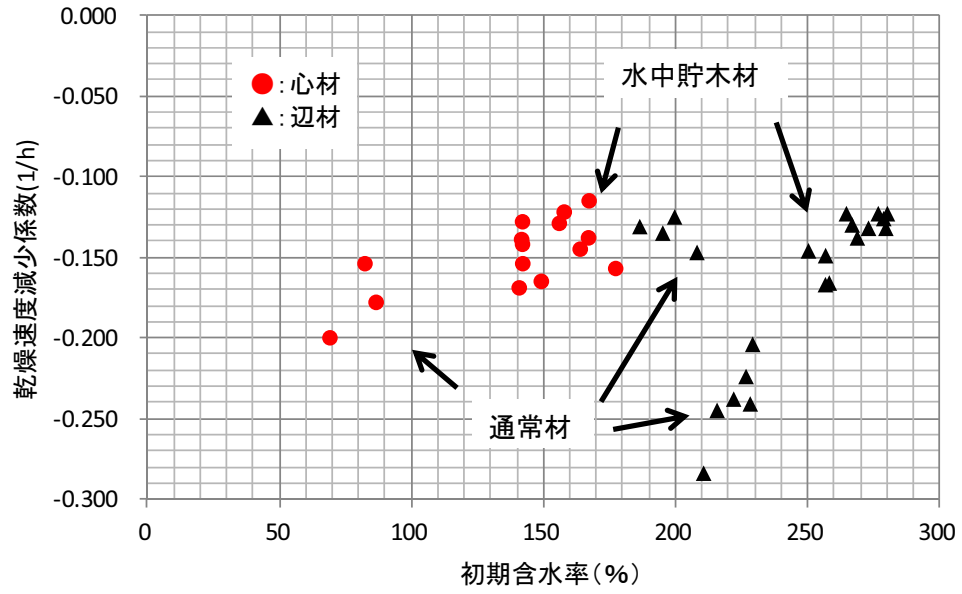


図5.8.3-22　水中貯木材と通常材の乾燥速度減少係数比較（初期含水率との対比）

・乾燥速度減少係数と平均年輪幅との関係

図5.8.3-23に、平均年輪幅と乾燥速度減少係数の関係を示した。全体としては、年輪幅と乾燥性の相関はない。通常材の辺材で、乾燥性が良い材が見られたが、おおむね水中貯木材と通常材の乾燥性に差はない。また、辺材と心材の乾燥性の違いも見られない。本来は心材の方が乾燥性は悪いのが一般的認識であるが、今回のデータからはそれが認められない。

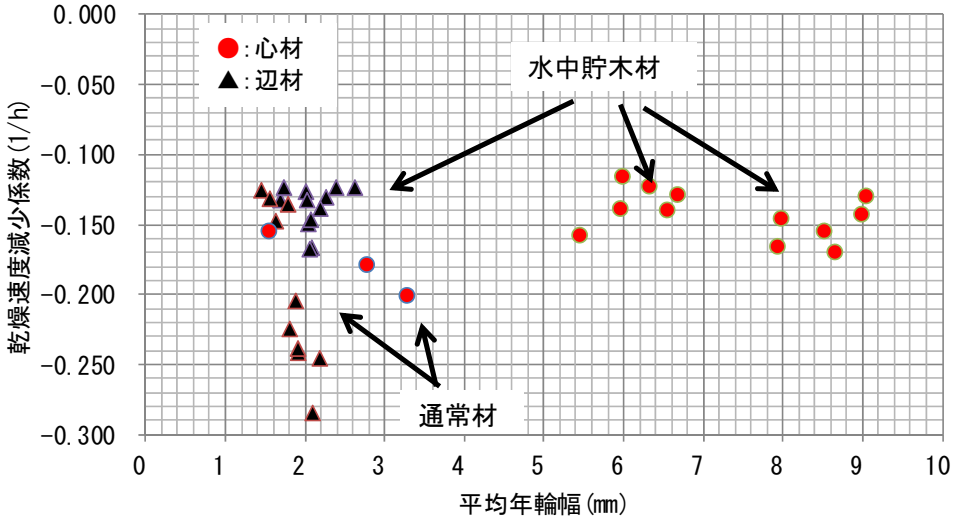


図5.8.3-23　水中貯木材と通常材の乾燥速度減少係数比較（平均年輪幅との対比）

・乾燥速度減少係数と全乾密度との関係

図5.8.3-24に、全乾密度と乾燥速度減少係数の関係を示す。全体としては両者に関係は見られない。一般的認識としては密度が大きな木材ほど乾燥性が悪くなると評価されるが、本実験の密度範囲ではその傾向は表れていない。乾燥性について、水中貯木材と通常材の違いは見られない。また辺材と心材の違いも見られない。前述のように、通常材の辺材で、相対的に他の試験材に比べて乾燥性が良い試験材があった。

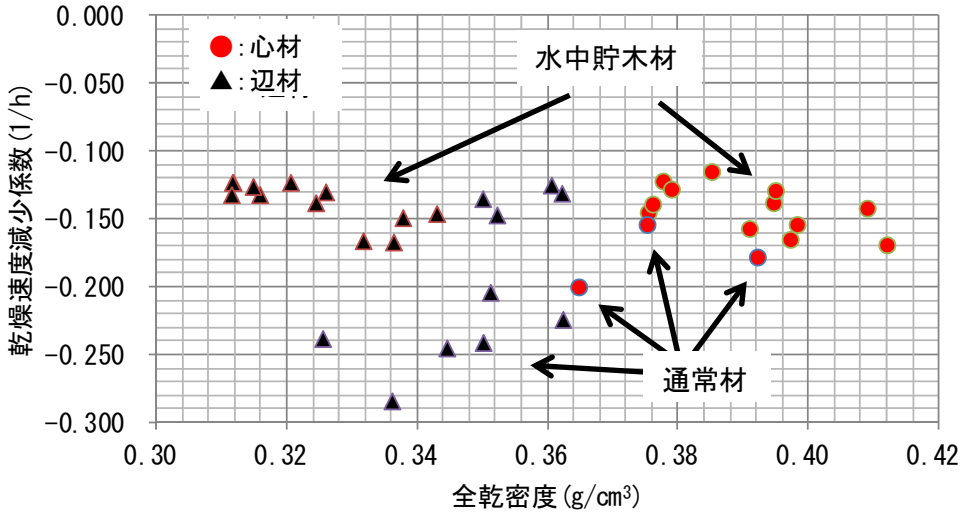


図 5.8.3-24　水中貯木材と通常材の乾燥速度減少係数比較（全乾密度との対比）

4)まとめ

スギ材(水中貯木材と通常材）について、100℃試験を実施し、得られた乾燥曲線（指数関数近似曲線）の係数である乾燥速度減少係数を乾燥性の指標として、巨視的な視点での水中貯木材の乾燥性（乾燥速度減少係数の絶対値が大きいほど乾燥性が良い）の評価を試みた。結果は以下の通りである。

(a)水中貯木材の乾燥性は､通常材に比較して良好であるという期待していた結果は得られなかった。

(b)心材と辺材の乾燥性についてもその差は認められなかった。

(c)密度、年輪幅、初期含水率と乾燥性については相関性が認められなかった。

(d)今回の試験は含水率が高い領域、いわゆる自由水リッチな領域での乾燥性の評価であったので、材の性質の違いが出にくい結果であったと考えられる。

(e)繊維飽和点以下の低い含水率領域での乾燥性は、5.8.3の(1)で言及した通り、辺材は心材よりも乾燥性が良いという結果が認められている。

(f)水中貯木材の乾燥性については、さらなるデータ蓄積による評価が望まれる。

５．８．４　まとめ

（１）5.8.1 水中貯木処理材の重量変化について

1)水中貯木開始後、8日間程度で丸太重量は6%程度の増加であり、以降は、2%程度の緩やかな増加であった。また、貯木途中で単位体積重量が1.0付近にまで達し、水中に沈下する丸太も発生した。
2)354日間の水中貯木終了後の井桁野積みを開始すると、46日目で水中貯木前の生丸太重量よりも減少する丸太も生じ始めた。
3)今後、継続して井桁野積みによる重量の経時変化を検証し、屋外天然桟積み乾燥、そして、表面仕上げ加工後の干割れ測定へ進め、水中貯木が干割れ及び色味等に与える影響を検証する。

（２）5.8.2 未乾燥丸太の含水率分布と収縮率について

1)含水率については、スギ丸太の円盤試験体の結果より、辺材部で含水率が最も高く、移行帯部で含水率が低下し、心材部で再び含水率が高くなることが、伐り旬に伐採されたスギ丸太について確認できた。
2)収縮率については、方向別の収縮率比は接線方向、放射方向及び繊維方向で一般的な範囲内であった。丸太の心材と辺材の収縮率については、接線方向で心材と辺材間に差は認められなかったが、放射方向においては気乾までの収縮率と全収縮率で辺材部のものが心材よりも大きいことが分かった。

（３）5.8.3 乾燥速度推定のための水中貯木材の100℃試験について

1)未乾燥材の乾燥速度の推定
　水中貯木処理前の丸太の乾燥速度の評価を実施した。
①生材から全乾状態付近までの乾燥性は、辺材板目材、心材板目材、心材柾目材（心持ち材）の順によかった。
②辺材板目材と心材板目材の乾燥性の比較では、生材から含水率30%までの含水率領域（自由水領域）では差が認められなかったが、含水率30%以下の含水率領域（結合水領域）では辺材の乾燥性が心材のそれより良好であった。
③スギ丸太の髄付近から採取した、心持ちの心材柾目材は、すべての含水率領域において辺材板目材および心材板目材より乾燥性が悪かった。
2)水中貯木材の乾燥速度の推定
①水中貯木材の乾燥性は、通常材に比較して良好であるという期待していた結果は得られなかった。
②心材と辺材の乾燥性についてもその差は認められなかった。
③密度、年輪幅、初期含水率と乾燥性については相関性が認められなかった。
④今回の試験は含水率が高い領域、いわゆる自由水リッチな領域での乾燥性の評価であったので、材の性質の違いが出にくい結果であったと考えられる。
⑤繊維飽和点以下の低い含水率領域での乾燥性は、5.8.3の1)で言及した通り、水中貯木処理を実施していない未乾燥材の辺材は心材よりも乾燥性が良いという結果が認められている。
⑥水中貯木材の乾燥性については、さらなるデータ蓄積による評価が望まれる。

５．９　部材の一部が生物劣化した実大伝統的木造建築物の水平耐力

５．９．１　実験の背景と目的

伝統的構法による家屋の典型的な架構形式のひとつに、続き間を構成する軸組（上屋）の周りに縁側などの下屋を設ける場合がある。小屋梁はその上屋に架かるため、屋根荷重による地震力は上屋に入力される。一方、外周壁は下屋の部分に施工されており、上屋の耐力要素は垂れ壁付き独立柱のみである場合が多い。上屋に作用した地震力は下屋の傾斜した屋根構面を通じて外周の無開口壁などに伝達されるところであるが、その屋根構面の水平剛性が充分でない場合が多い。

そこで、本実験では上屋に水平力を与え、下屋部分に伝達される荷重を定量的に明らかにし、下屋の屋根構面の水平剛性の重要性を明らかにするとともに、今後の下屋の設計法の構築に資する技術データを収集することを目的として、古民家の水平加力試験を行った。

５．９．２　対象建築物の概要と事前調査

（１）対象建築物

滋賀県湖南市に立地する、伝統的構法による平屋建て木造建築物で、屋根は茅葺きの上から金属板が葺かれていた。ヒアリングによると約170年前に建築され、約50年前に一部の構造体に変更が加えられたとのことである。床面積は約130m^2、棟木高さは7.86m、桁高さは3.56mであった。写真5.9.2-1～5.9.2-12に対象建築物の外観および内部の様子を示す。実験に際して障子や襖、扉などの建具は取り外した。



写真5.9.2-1　外観（南側より）



写真5.9.2-2　外観（南東より）



写真5.9.2-3　外観（南西より）



写真5.9.2-4　外観（北側）



写真5.9.2-5　内部の様子1



写真5.9.2-6　内部の様子2



写真5.9.2-7　内部の様子3



写真5.9.2-8　小屋裏の様子



写真5.9.2-9　上屋と下屋の取合い（外観）



写真5.9.2-10　西側下屋（左が1通り）



写真5.9.2-11　南側下屋（左がA通り）



写真5.9.2-12　北側下屋（右がJ通り）

（２）構造詳細調査

まず、対象民家の構造詳細調査を行い、柱・梁の組み方や土塗り壁の位置などを調べた。対象民家は、伝統的な木造軸組構法によって建てられており、外周部は土塗り全壁または開口部付の土塗壁、内部は差し鴨居付の土塗り垂れ壁が主要な耐力要素になっていることが分かった。短辺方向の外壁は、土台から桁まで土が塗られているのに対して、長辺方向の外壁には開口部が多く存在していた。図5.9.2-1～5.9.2-6に構造詳細調査結果に基づく図面を示す。

柱の断面は、8通り・11通りに約200mm角が3本あり、その他はややばらつきがあるがおおよそ120mm角のものが多かった。差し鴨居は、幅120mm、せい270～300mmであった。土塗り壁の厚さは柱のチリから採寸したが、玄関すぐ左の壁を除いて70～90mmであった。軸組断面の実測寸法は次項の建物重量で詳細を示す。

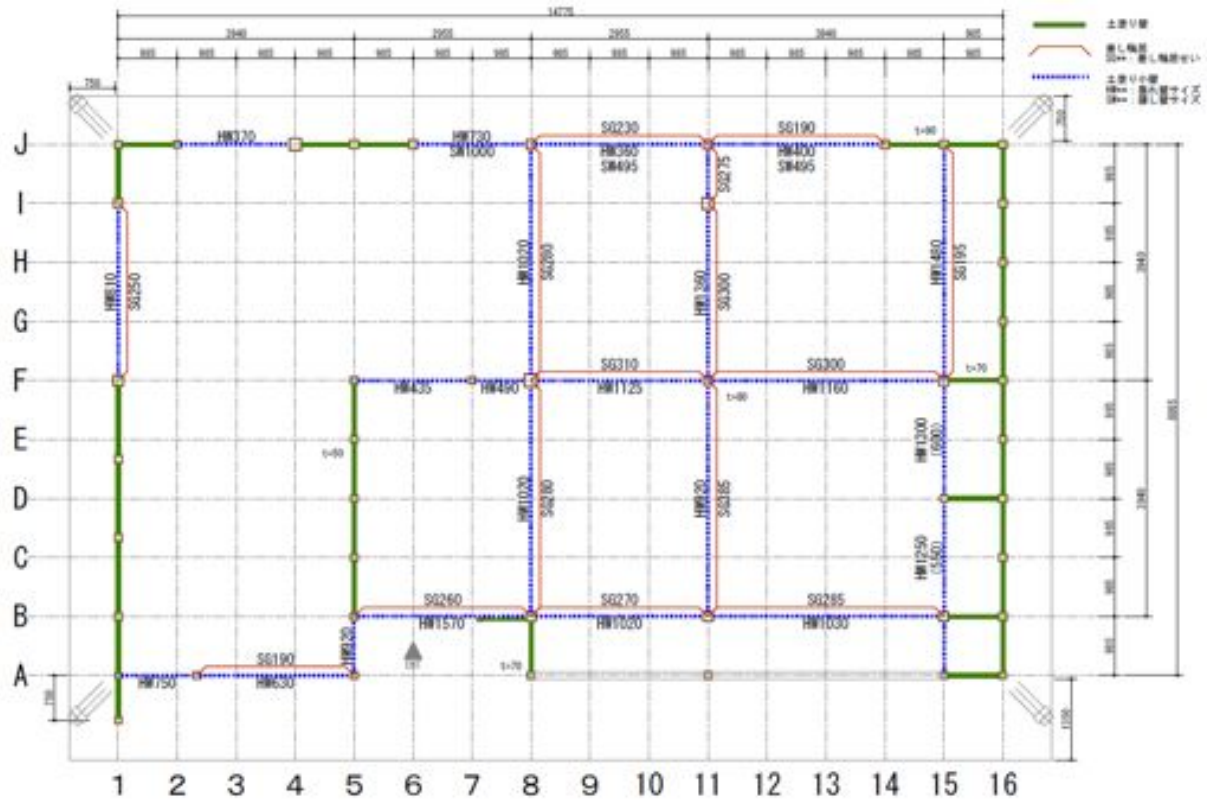


図5.9.2-1　平面図

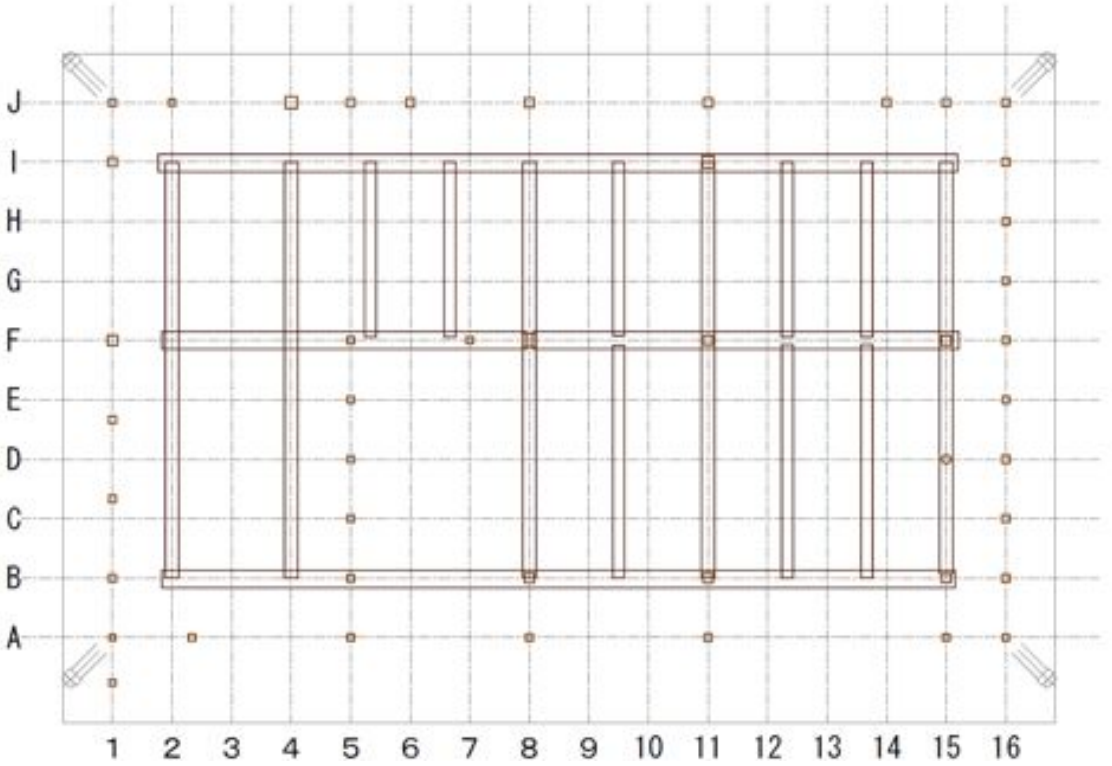


図5.9.2-2　小屋伏せ図

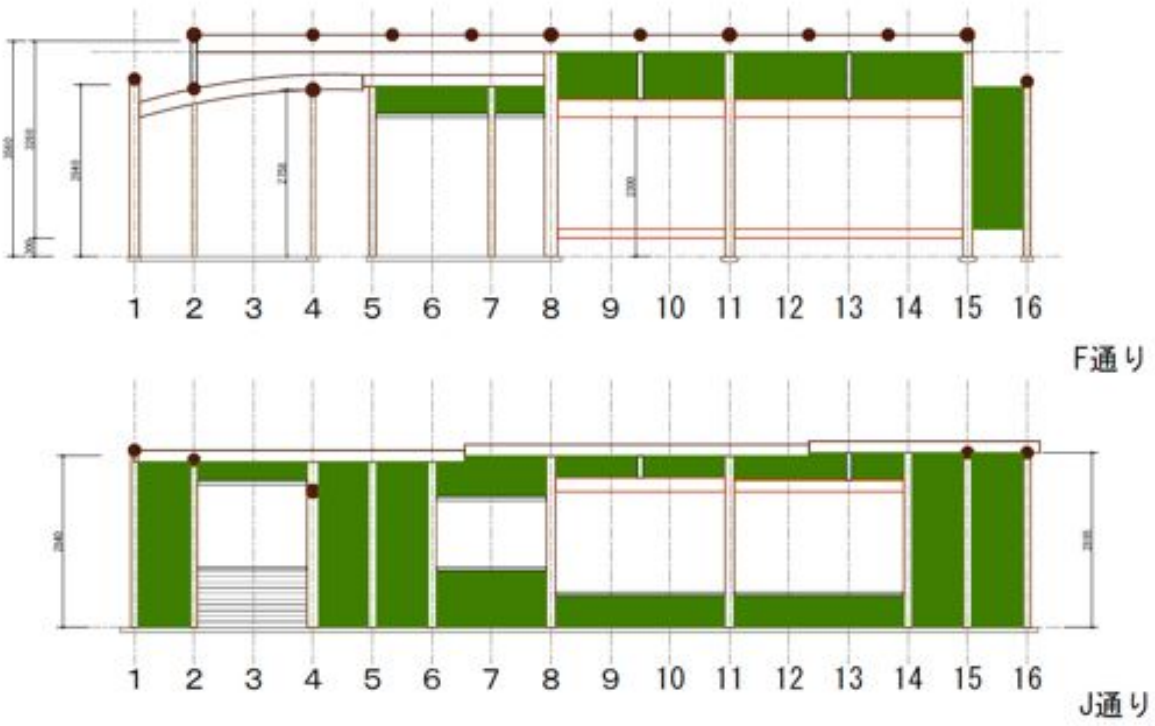


図5.9.2-3　軸組図（F通り・J通り）

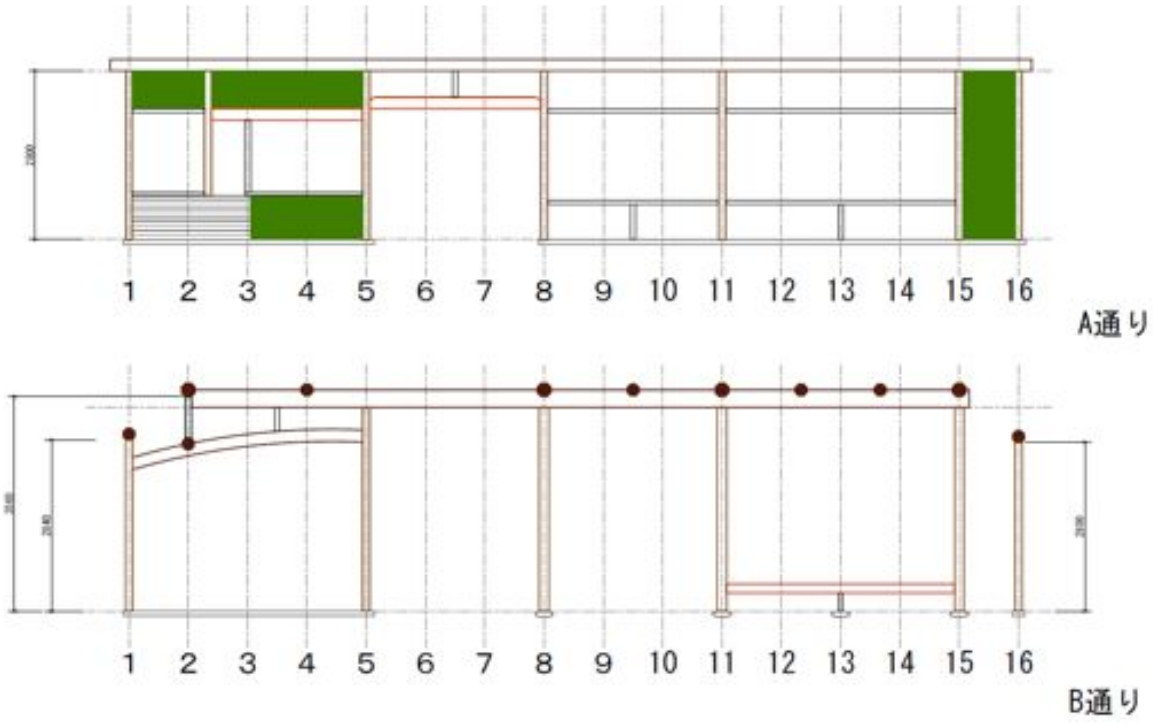


図5.9.2-4　軸組図（A通り・B通り）

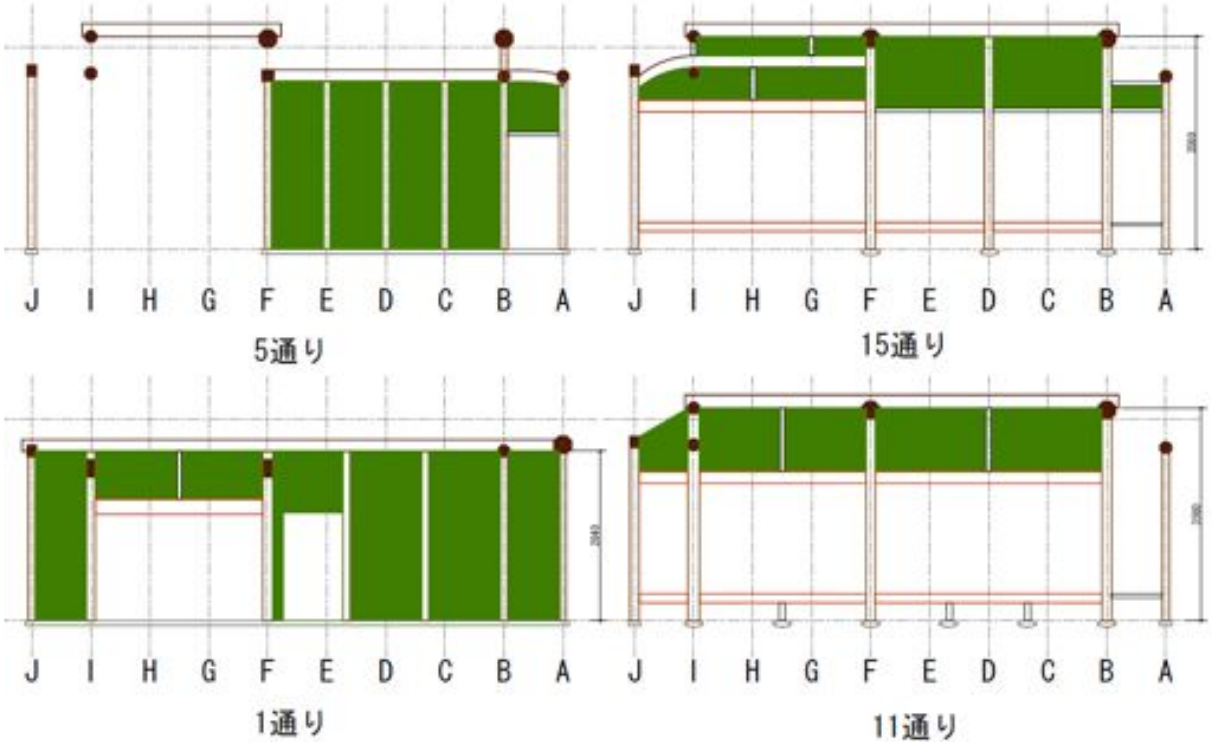


図5.9.2-5　軸組図（1・5・11・15通り）

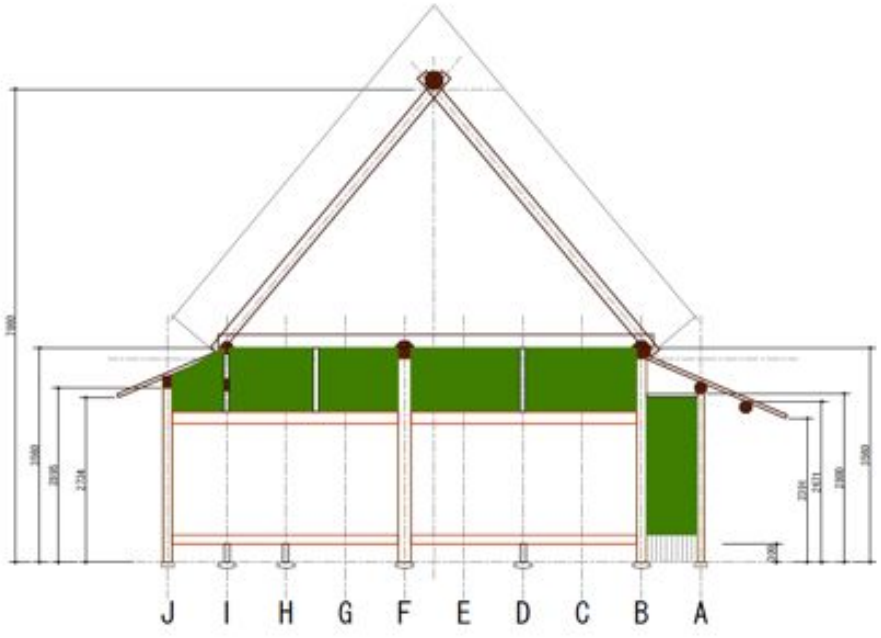


図5.9.2-6　断面図（8通り）

（３）建物重量

建築基準法および建築物荷重指針を参考に、対象建物の各部単位荷重を設定した。ただし茅葺きについては、資料が無いため設定した単位荷重に根拠は無い。表5.9.2-1に単位荷重を示す。

表5.9.2-1　単位荷重

項目	細項目		単位重量	比重
			(N/㎡・N/m)	
屋根	金属板	0.6㎜厚	60	
	茅	800㎜厚	200	
	棟瓦	1mあたり	470	
	登り梁		140	
	もや・垂木		60	
	小屋梁		300	
下屋	瓦		470	
	垂木		100	
	野地板		50	
軸組	柱			0.5
	差し鴨居			0.5
	足固め			0.5
壁	土塗り壁	60㎜厚	830	

屋根、壁は面積に単位荷重を乗じて重量を算出し、柱、差し鴨居、足固めなどの軸組は体積に比重を乗じて重量を算出した。表5.9.2-2に建物重量を示す。

表5.9.2-2　建物重量

項目	部位	重量 (kN)	
屋根	大屋根	95.86	158.97
	下屋	63.11	
壁		142.54	142.54
軸組	柱	11.91	23.09
	差し鴨居	7.63	
	足固め	3.56	
合計			324.60

以下、各部の重量算定根拠を表5.9.2-3～5.9.2-8に示す。

表5.9.2-3　差し鴨居の重量

通り	断面		長さ	体積	比重	重量
	(㎜)		(m)	(m3)		(kN)
1	250	120	2.955	0.089	0.5	0.434
8	280	120	3.940	0.132	0.5	0.649
	280	120	3.940	0.132	0.5	0.649
11	385	120	3.940	0.182	0.5	0.892
	300	120	2.955	0.106	0.5	0.521
	275	120	0.985	0.033	0.5	0.159
15	195	120	3.940	0.092	0.5	0.452
A	190	120	2.955	0.067	0.5	0.330
B	260	120	2.955	0.092	0.5	0.452
	270	120	2.955	0.096	0.5	0.469
	285	120	3.940	0.135	0.5	0.660
F	310	120	2.955	0.110	0.5	0.539
	300	120	3.940	0.142	0.5	0.695
J	230	120	2.955	0.082	0.5	0.400
	190	120	2.955	0.067	0.5	0.330
	※断面幅は120㎜とする					
					合計	7.631

表5.9.2-4　足固めの重量

通り	断面		長さ	体積	比重	重量
	(㎜)		(m)	(m3)		(kN)
8	115	165	3.940	0.075	0.5	0.366
	115	165	3.940	0.075	0.5	0.366
11	190	160	3.940	0.120	0.5	0.587
	190	160	2.955	0.090	0.5	0.440
	190	160	0.985	0.030	0.5	0.147
15	115	165	1.970	0.037	0.5	0.183
	115	165	1.970	0.037	0.5	0.183
	115	165	3.940	0.075	0.5	0.366
B	120	110	3.940	0.052	0.5	0.255
F	140	140	2.955	0.058	0.5	0.284
	140	140	3.940	0.077	0.5	0.378
	※一部未計測を含む					
					合計	3.556

表5.9.2-5　柱の重量

通り	断面 (mm)		長さ (m)	体積 (m3)	比重	重量 (kN)
1	120	120	2.840	0.041	0.5	0.200
	110	110	2.840	0.034	0.5	0.168
	115	115	2.840	0.038	0.5	0.184
	120	120	2.840	0.041	0.5	0.200
	165	165	2.840	0.077	0.5	0.379
	145	145	2.840	0.060	0.5	0.293
	117	117	2.840	0.039	0.5	0.190
16	110	110	2.840	0.034	0.5	0.168
	125	125	2.840	0.044	0.5	0.217
	125	125	2.840	0.044	0.5	0.217
	125	125	2.840	0.044	0.5	0.217
	115	115	2.840	0.038	0.5	0.184
	120	120	2.840	0.041	0.5	0.200
	117	117	2.840	0.039	0.5	0.190
	120	120	2.840	0.041	0.5	0.200
	125	125	2.840	0.044	0.5	0.217
A	115	115	2.840	0.038	0.5	0.184
	115	115	2.840	0.038	0.5	0.184
	117	117	2.840	0.039	0.5	0.190
	120	120	2.840	0.041	0.5	0.200
	115	115	2.840	0.038	0.5	0.184
J	110	110	2.840	0.034	0.5	0.168
	195	195	2.840	0.108	0.5	0.529
	135	135	2.840	0.052	0.5	0.254
	140	140	2.840	0.056	0.5	0.273
	150	150	2.840	0.064	0.5	0.313
	150	150	2.840	0.064	0.5	0.313
	135	135	2.840	0.052	0.5	0.254
	130	130	2.840	0.048	0.5	0.235
5	115	115	3.560	0.047	0.5	0.231
	110	110	3.560	0.043	0.5	0.211
	110	110	3.560	0.043	0.5	0.211
	110	110	3.560	0.043	0.5	0.211
	115	115	3.560	0.047	0.5	0.231
7	110	110	3.560	0.043	0.5	0.211
8	160	160	3.560	0.091	0.5	0.447
	215	215	3.560	0.165	0.5	0.806
11	160	160	3.560	0.091	0.5	0.447
	150	150	3.560	0.080	0.5	0.392
	190	190	3.560	0.129	0.5	0.630
15	150	150	3.560	0.080	0.5	0.392
	140	140	3.560	0.070	0.5	0.342
	158	158	3.560	0.089	0.5	0.435
					合計	11.908

表5.9.2-6　土塗り壁の重量

通り	長さ (m)	高さ (m)	厚み (mm)	単位重量 (N/m²)	重量 (kN)
1	5.910	2.840	70	830	16.25
	2.955	0.810	70	830	2.32
5	3.940	2.810	50	830	7.66
	0.985	0.920	50	830	0.63
8	0.985	2.800	70	830	2.67
	3.940	1.020	70	830	3.89
	3.940	1.020	70	830	3.89
11	3.940	0.920	80	830	4.01
	2.955	1.360	80	830	4.45
	0.985	1.360	80	830	1.48
15	0.985	0.550	70	830	0.52
	1.970	1.250	70	830	2.38
	1.970	1.300	70	830	2.48
	3.940	1.480	70	830	5.65
16	8.865	2.840	70	830	24.38
A	1.478	0.750	70	830	1.07
	2.463	0.630	70	830	1.50
B	0.985	2.800	70	830	2.67
	2.955	1.570	70	830	4.49
	2.955	1.020	70	830	2.92
	3.940	1.030	70	830	3.93
D	0.985	2.800	70	830	2.67
F	0.985	2.800	70	830	2.67
	1.970	0.435	70	830	0.83
	0.985	0.490	70	830	0.47
	2.955	1.125	70	830	3.22
	3.940	1.160	70	830	4.43
J	4.925	2.840	90	830	17.41
	1.970	0.370	90	830	0.91
	1.970	1.730	90	830	4.24
	2.955	0.855	90	830	3.15
	2.955	0.895	90	830	3.29
				合計	142.54

表5.9.2-7　大屋根の重量

項目	面積・長さ (m²・m)	単位重量 (N/m²・N/m)	重量 (kN)
金属板	137.73	60	8.26
茅	137.73	200	27.55
登り梁	137.73	140	19.28
もや・垂木	137.73	60	8.26
小屋梁	88.29	300	26.49
棟瓦	12.80	470	6.02
		合計	95.86

表5.9.2-8　下屋の重量

項目	面積・長さ (m²・m)	単位重量 (N/m²・N/m)	重量 (kN)
瓦	101.79	470	47.84
垂木	101.79	100	10.18
野地板	101.79	50	5.09
		合計	63.11

（４）構造詳細調査に基づく水平耐力の予測

基準とする要素の復元力特性は、本検討委員会にて2010年度に実施した足固め仕様による土壁（W）、小壁（HW）の要素実験と大西らによる差し鴨居（SG）要素実験（2003）を参考とする。基準とした各要素の復元力特性を図5.9.2-7に示す。復元力の換算は、土壁は長さに比例、小壁は小壁高さに比例と構面高さに反比例、差し鴨居は構面高さに反比例とした。ただし、水平構面の剛性や壁・軸組の劣化による影響は考慮していない。補正した対象建物の復元力を、加力方向（短辺方向）の通りごとと要素ごとに表5.9.2-9、図5.9.2-8、5.9.2-9に示す。最大耐力は160kNとなった。

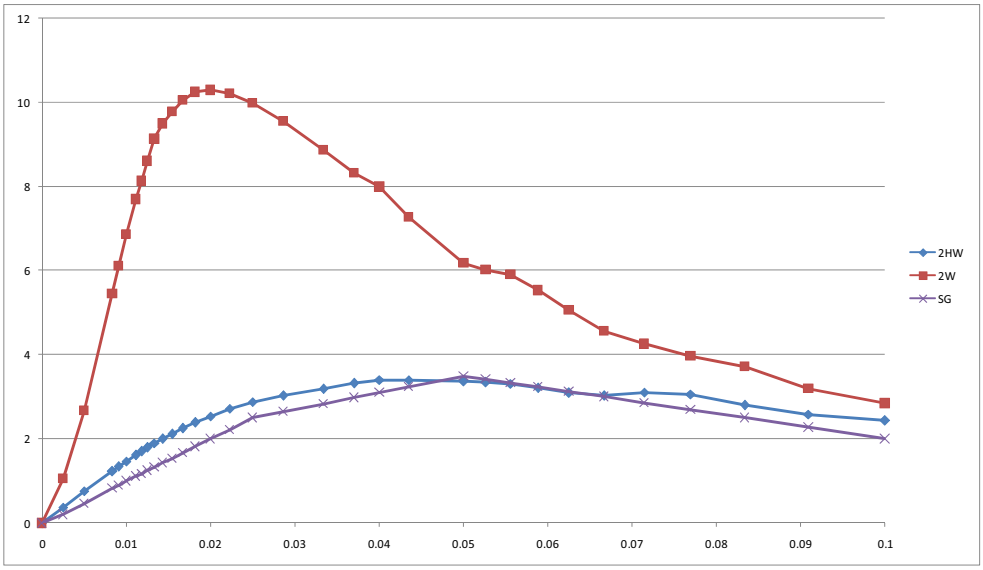


図5.9.2-7　基準となる要素の復元力（横軸：変形角rad、縦軸：せん断力kN）

表5.9.2-9　対象建物の復元力（通りごと、要素ごと）

変形角	1	5	8	11	15	16	計	W	HW	SG	計
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0025	4.464	2.626	1.716	1.424	1.724	5.118	17.072	11.807	3.928	1.337	17.072
0.0050	11.080	6.482	3.874	3.045	3.532	12.991	41.004	29.969	7.917	3.119	41.004
0.0083	22.141	12.935	7.009	5.120	5.790	26.520	79.514	61.176	12.843	5.495	79.514
0.0091	24.785	14.480	7.749	5.601	6.319	29.762	88.696	68.656	14.005	6.035	88.696
0.0100	27.797	16.238	8.605	6.168	6.938	33.446	99.192	77.153	15.357	6.683	99.192
0.0111	31.103	18.167	9.569	6.825	7.658	37.468	110.789	86.432	16.932	7.426	110.789
0.0118	32.861	19.190	10.104	7.206	8.072	39.589	117.023	91.325	17.836	7.862	117.023
0.0125	34.791	20.312	10.690	7.623	8.518	41.917	123.850	96.696	18.800	8.354	123.850
0.0133	36.916	21.543	11.330	8.078	8.992	44.484	131.343	102.617	19.815	8.911	131.343
0.0143	38.449	22.419	11.918	8.585	9.511	46.234	137.116	106.654	20.914	9.547	137.116
0.0154	39.736	23.144	12.518	9.161	10.094	47.616	142.269	109.843	22.145	10.282	142.269
0.0167	41.050	23.877	13.183	9.825	10.759	48.985	147.678	113.000	23.540	11.138	147.678
0.0182	42.065	24.419	13.852	10.564	11.465	49.914	152.279	115.142	24.986	12.151	152.279
0.0200	42.586	24.653	14.532	11.427	12.270	50.114	155.582	115.604	26.612	13.366	155.582
0.0222	42.749	24.654	15.256	12.438	13.176	49.755	158.027	114.775	28.401	14.851	158.027
0.0250	42.411	24.316	15.979	13.578	14.089	48.657	159.029	112.242	30.079	16.708	159.029
0.0286	41.151	23.523	16.333	14.337	14.865	46.543	156.752	107.367	31.723	17.662	156.752
0.0333	39.016	22.181	16.636	15.226	15.680	43.195	151.934	99.643	33.356	18.935	151.934
0.0370	37.302	21.110	16.891	15.950	16.373	40.499	148.124	93.424	34.775	19.925	148.124
0.0400	36.322	20.474	17.089	16.452	16.791	38.908	146.037	89.755	35.564	20.717	146.037
0.0435	33.867	18.926	16.955	16.832	16.911	35.430	138.921	81.730	35.544	21.647	138.921
0.0500	30.150	16.540	16.788	17.489	17.037	30.120	128.124	69.481	35.252	23.391	128.124
0.0526	29.458	16.176	16.508	17.216	16.868	29.352	125.578	67.710	35.005	22.863	125.578
0.0556	28.904	15.899	16.223	16.904	16.665	28.791	123.387	66.415	34.695	22.277	123.387
0.0588	27.291	14.977	15.614	16.385	16.135	26.942	117.344	62.150	33.572	21.622	117.344
0.0625	25.315	13.847	14.924	15.823	15.579	24.633	110.121	56.824	32.413	20.884	110.121
0.0667	23.282	12.707	14.276	15.310	15.168	22.219	102.962	51.256	31.657	20.049	102.962
0.0714	22.087	12.123	14.014	15.101	15.365	20.737	99.429	47.837	32.497	19.094	99.429
0.0769	20.806	11.464	13.467	14.545	15.037	19.344	94.663	44.624	32.046	17.993	94.663
0.0833	19.399	10.678	12.432	13.405	13.783	18.128	87.826	41.819	29.299	16.708	87.826
0.0909	17.006	9.348	11.287	12.280	12.696	15.587	78.204	35.956	27.059	15.189	78.204
0.1000	15.223	8.431	10.284	11.185	11.841	13.835	70.798	31.915	25.517	13.366	70.798

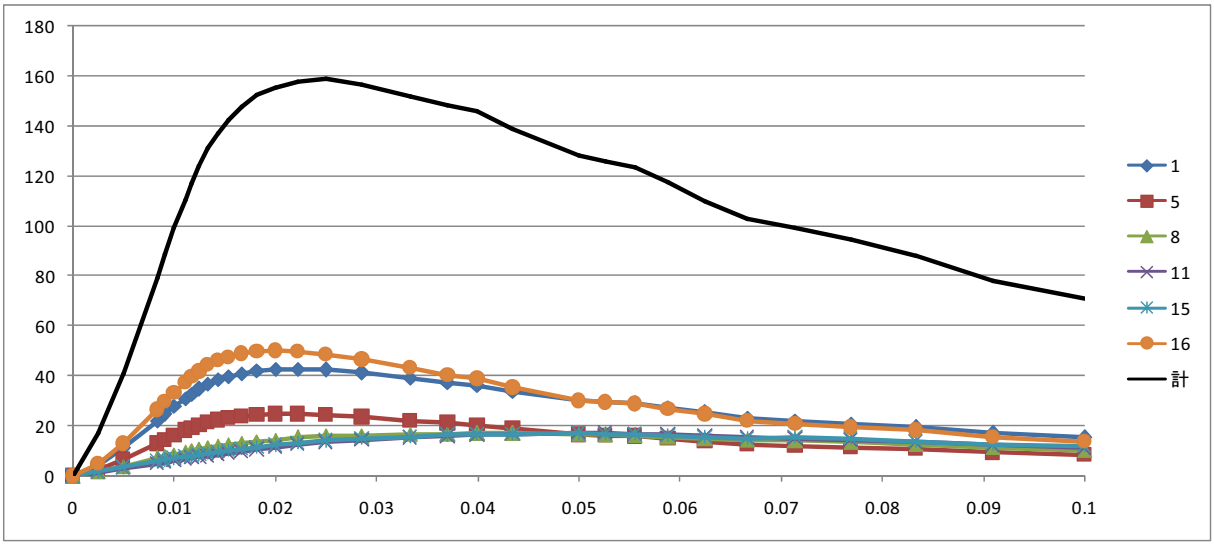


図5.9.2-8　通りごとの復元力（横軸：変形角rad、縦軸：せん断力kN）

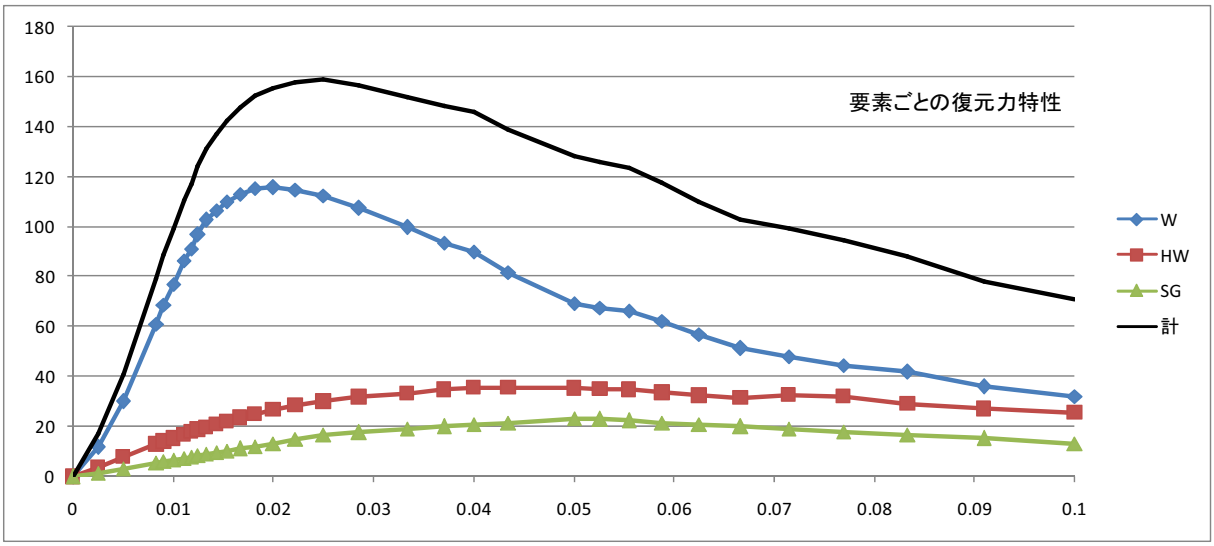


図5.9.2-9　要素ごとの復元力（横軸：変形角rad、縦軸：せん断力kN）

（５）常時微動計測

常時微動計測は、東京測振製SPC-51（センサー：1成分速度計×4台）を用い、自由地盤として玄関土間に1台、桁に3台設置して行った。サンプリング100Hz、計測時間600秒とした。計測点の配置を図5.9.2-10に、センサーの設置状況を写真5.9.2-13、5.9.2-14に示す。

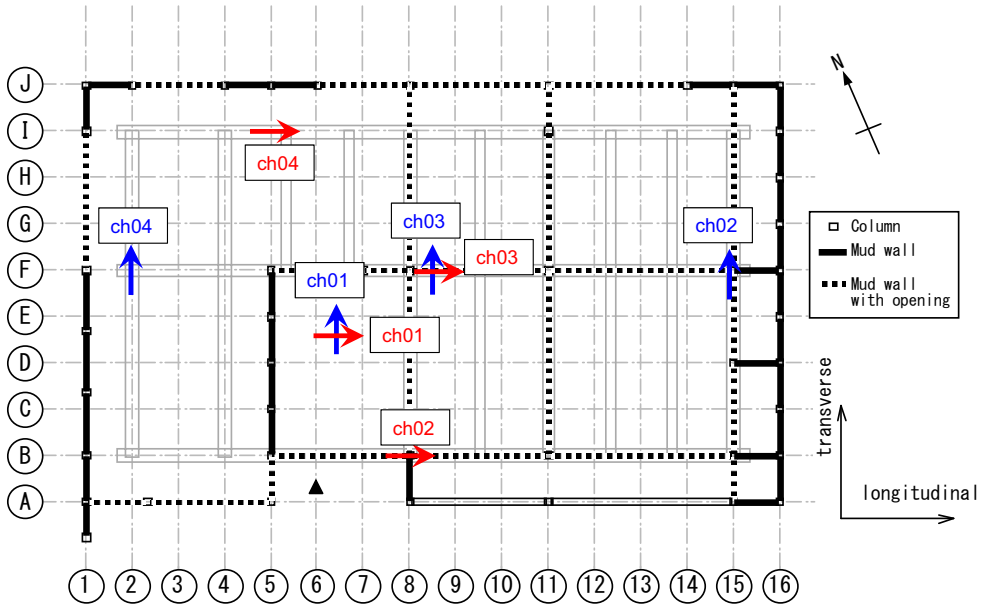


図5.9.2-10　常時微動計測点の配置



写真5.9.2-13　センサーの設置状況1



写真5.9.2-14　センサーの設置状況2

得られたフーリエスペクトル比を方向別に図5.9.2-11、5.9.2-12に示す。1次卓越振動数は、短辺方向（張り間方向）で3.5Hz、長辺方向（けた行）で3.8Hzであった。1次卓越振動数に対応するフーリエスペクトル比の振幅から振動モードを平面的に描いたものを図5.9.2-13に示す。いずれの方向も各構面の振幅にあまり差がない並進モードであることが分かる。

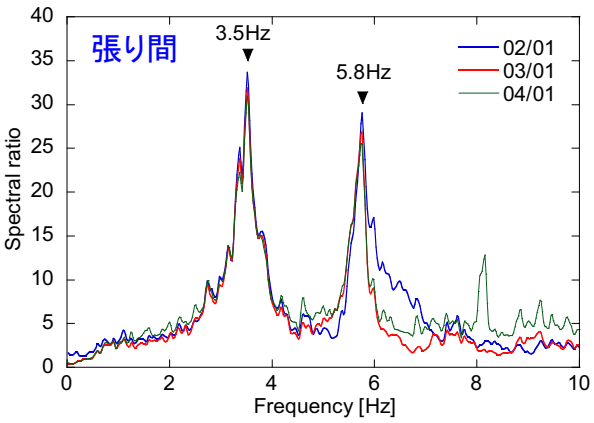


図5.9.2-11　張り間方向フーリエスペクトル比

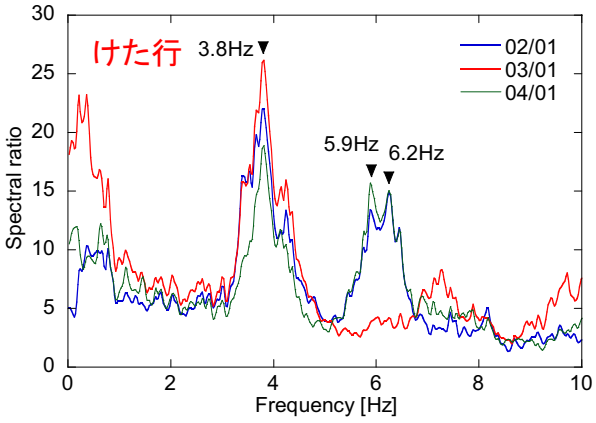


図5.9.2-12　けた行方向フーリエスペクトル比

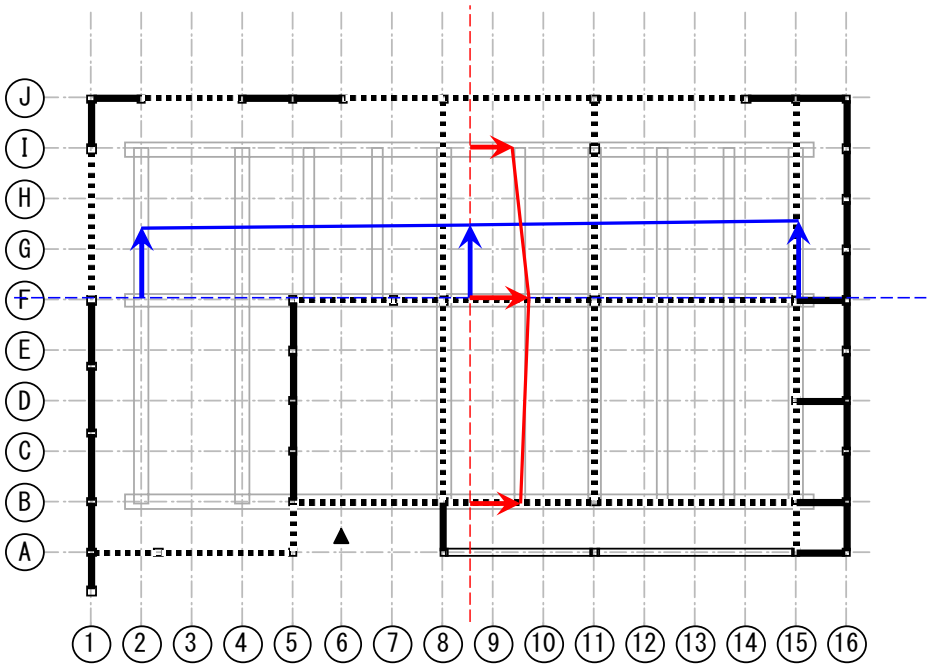


図5.9.2-13　1次モード

（６）腐朽・虫害調査

木材の腐朽・虫害調査も行った。多くの部材で何らかの被害を受けていることが分かった。

写真5.9.2-15は床下で認められた生物劣化の例である。大引、根太にシロアリ食害痕が複数個所で認められ、柱の脚元は水しみがあったり腐朽が進行して部材が割れたりしているものがあった。その他、甲虫の穿孔痕も多くの部材で認められた（図5.9.2-14）。

写真5.9.2-16は室内で認められた生物劣化の例で、差鴨居の柱との接合部付近に認められたシロアリ食害痕である。建物解体後にこの材を確認したところ、食害は材の幅方向全体にわたって進行していたことが分かった（写真右）。その他、室内の見える部分のほとんどに甲虫による穿孔痕が認められた（図5.9.2-14）。

写真5.9.2-17は小屋裏部材に認められた生物劣化の例である。写真左は2本の桁と柱が接合される部分で、桁材断面の中央付近がシロアリ食害を受けており、柱のほぞにもシロアリ食害痕が認められる。写真右は柱と桁の取合い部分で、繊維方向に生じた割れ目からは桁が腐朽もしくはシロアリ食害によって劣化しているのがわかる。

写真5.9.2-18は外周で認められた生物劣化の例である。柱や桁には甲虫による穿孔痕が認められた。柱と横架材の取合い部分でほぞが甲虫による食害を受け、割れているものもあった（写真右）。

図5.9.2-15は主要な柱の含水率の測定結果である。測定は地際、床高、胸高の3か所で測定した。外部と接していない領域ではほとんどの測定部位で含水率20%未満であった。この領域での地際の含水率は最大で21.5%であった。建物北側で外部と接する柱には含水率が繊維飽和点（約28%）を超えたところがあった（図中の赤線部分）。

図5.9.2-16はレジストグラフによる桁断面の空洞調査の結果である。レジストグラフの錐は材表面から材の中心部に向かって繊維を横断するように挿入した。錐の長さは300㎜である。図は1回の測定で得られた穿孔抵抗のチャートを、健全部、晩材部が残存、空洞化の3段階に分類し、それぞれ肌色、灰色、黒で示したものを、測定位置ごとに示している。柱に近い測定点では内部が空洞化している割合が多く、断面の半分以上が空洞化していると考えられる測定点もあった。



大引のシロアリ食害痕


柱脚元の腐朽

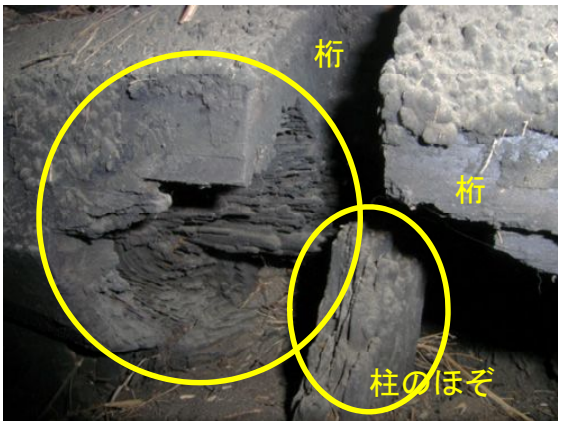
写真5.9.2-15　床下で認められた生物劣化



差鴨居と柱の接合部の
シロアリ食害痕


左写真の部材を取り外したところ

写真5.9.2-16　室内で認められた生物劣化



桁と柱の接合部のシロアリ食害痕



桁と柱の接合部の腐朽もしくは
シロアリ食害による劣化

写真5.9.2-17　小屋裏部材の生物劣化


柱脚元の甲虫に
よる食害痕


接合部ほぞの
甲虫による食害痕

写真5.9.2-18　外周で認められた生物劣化

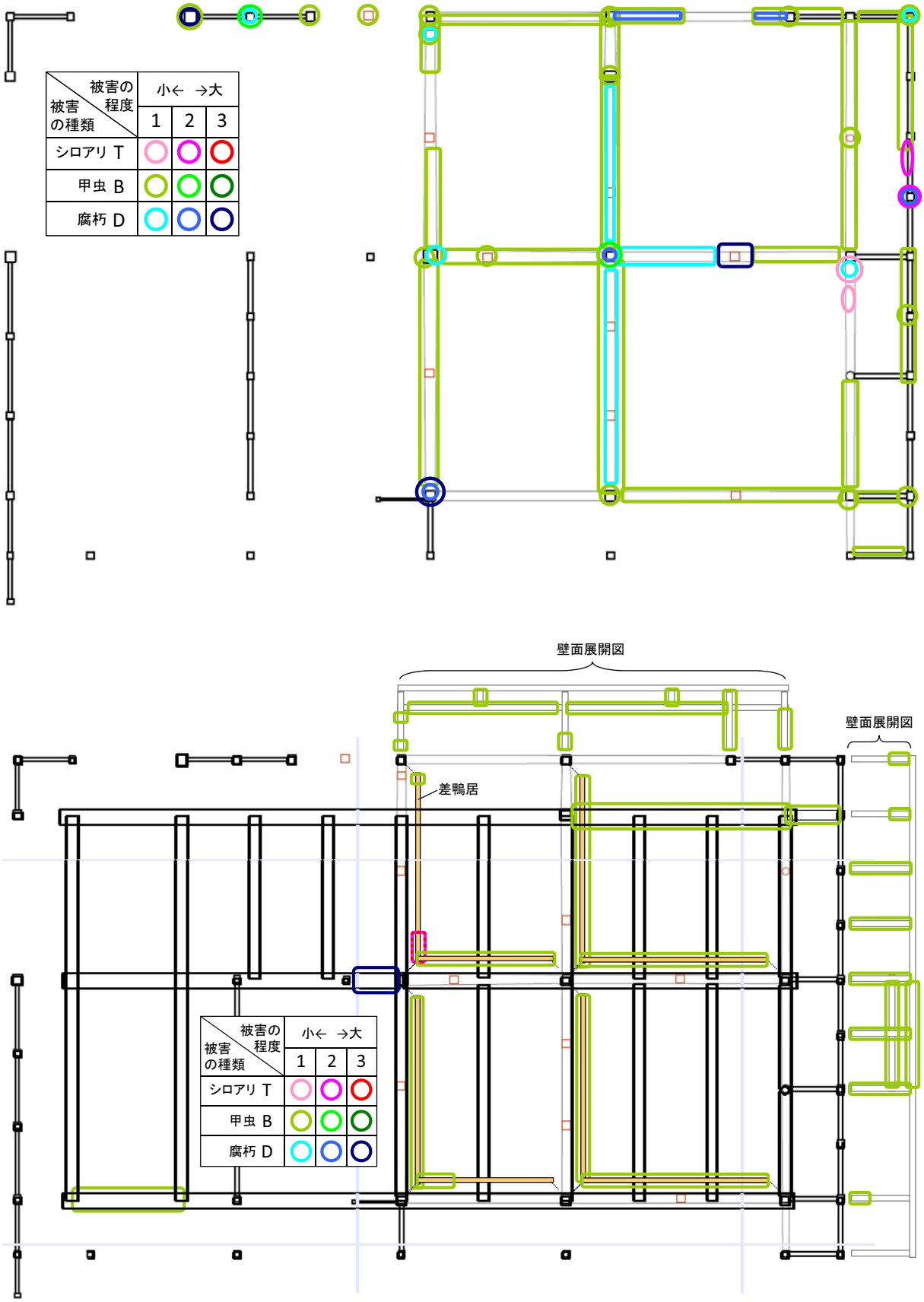


図5.9.2-14　生物劣化分布（上：床高まで、下：床高～天井高まで）

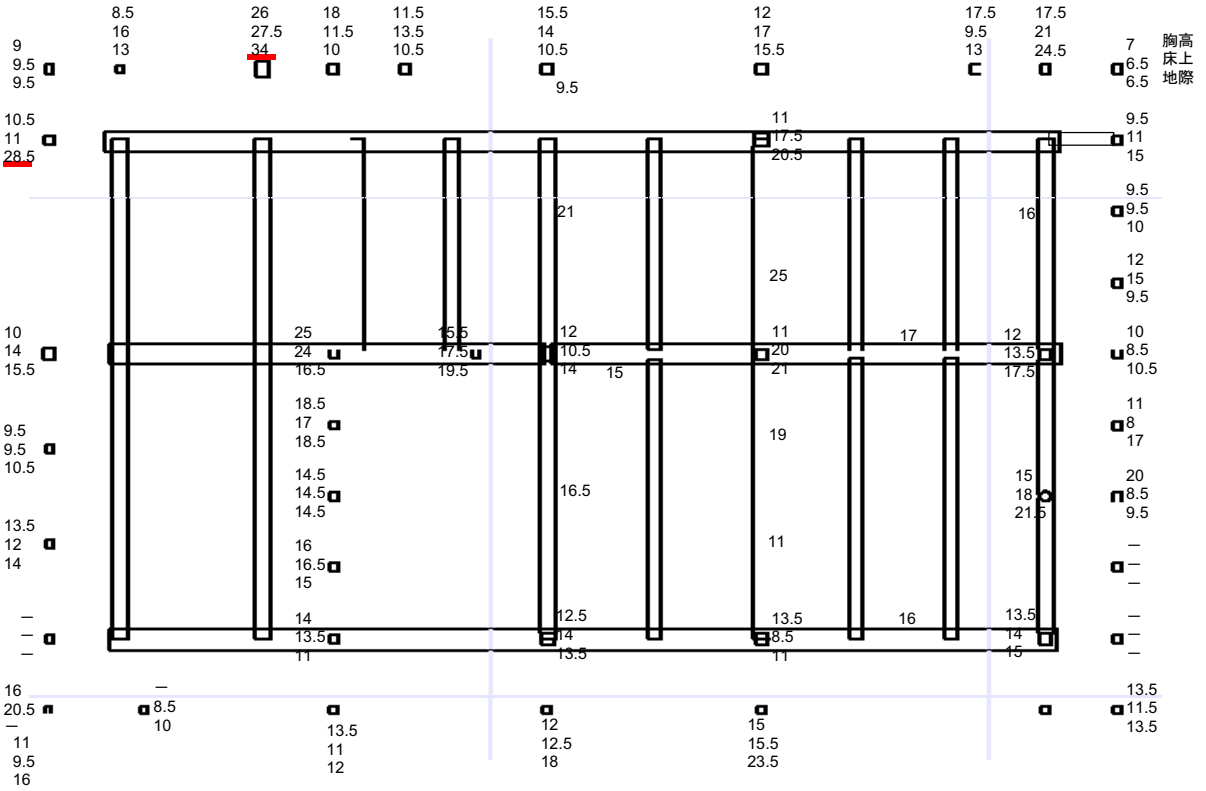


図5.9.2-15　含水率

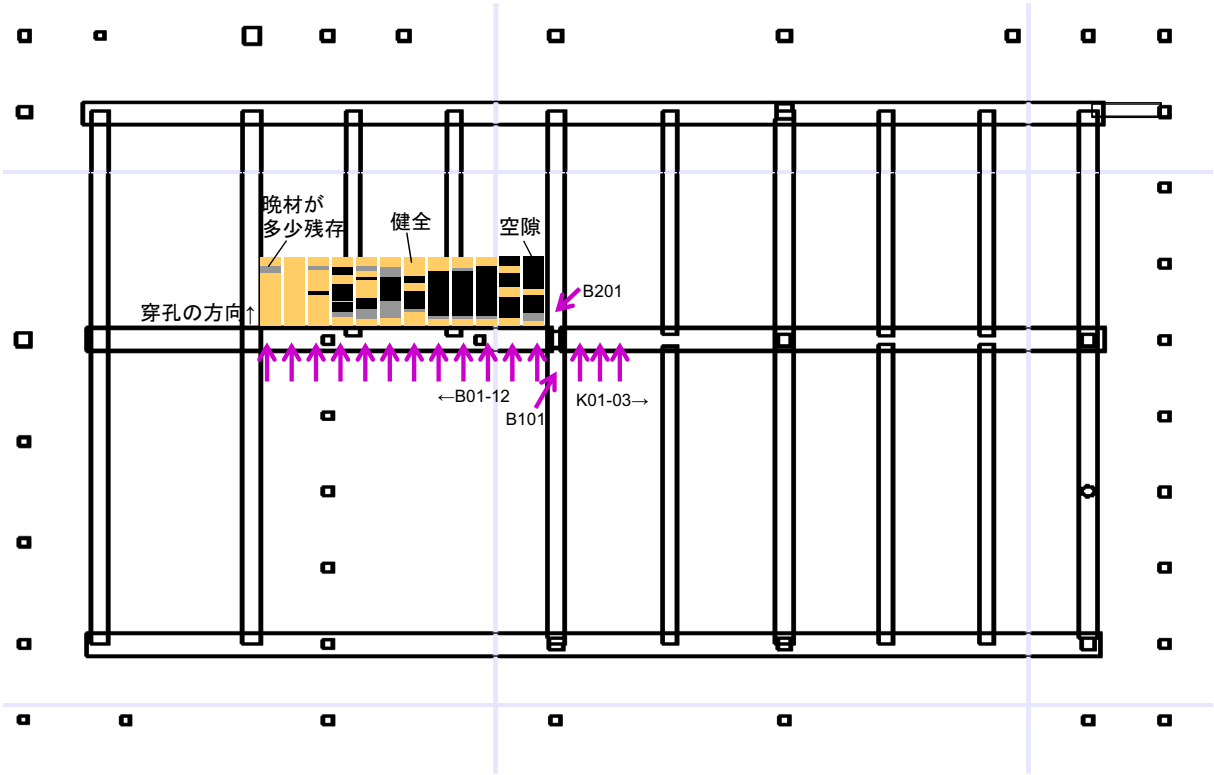


図5.9.2-16　レジストグラフによる桁内部の空隙調査結果

５．９．３　水平加力実験

（１）スケジュール

水平加力実験は、2日間に分けて実施した。加力は片側1回繰返しとし、目標変形角を1/120、1/60、1/30、1/25、1/15、1/10radとした。おおよそのタイムテーブルを表5.9.3-1に示す。

表5.9.3-1　水平加力実験のタイムテーブル

第1日目

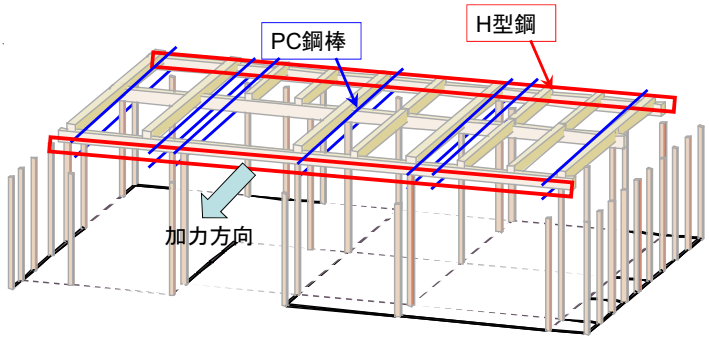
時刻	作業内容
9:00　～　10:30	加力システム・計測器のセットアップ
10:30　～　12:00	加力（1/120rad）、加力システム・計測データの確認、損傷観察
昼食	
13:00　～　14:00	加力（1/60rad）、損傷観察
14:00　～　15:00	加力（1/30rad）、損傷観察
15:00　～　16:00	加力（1/25rad）、損傷観察
16:00　～　17:00	片付け、加力システム・計測器の雨仕舞い確認

第2日目

時刻	作業内容	
9:00　～　10:00	加力システム・計測器のセットアップ	
10:00　～　11:30	加力（1/15rad）、損傷観察	
昼食		
12:30　～　15:30	加力（1/10rad）、損傷観察	◎見学
15:30　～　16:30	仮筋かい・倒れ止め設置	
16:30　～　18:00	片付け、加力システム・計測器の撤去	

（２）加力方法

上屋の桁にH型鋼をPC鋼棒で挟み込むように取り付け、ワイヤーおよびチェーンブロックを介してで水平方向に載荷を行った。載荷は東西2箇所で行い、それぞれロードセルを設置して水平力を測定した。加力冶具のイメージと載荷高さを図5.9.3-1、5.9.3-2に示す。加力の様子を写真5.9.3-1～5.9.3-4に示す。



※平側の桁をH型鋼で抱き込み，PC鋼棒で固定する．

図5.9.3-1　加力冶具のイメージ

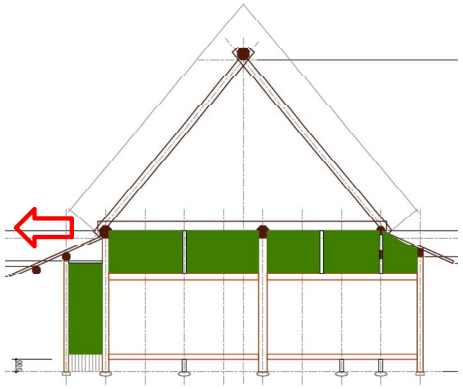


図5.9.3-2　載荷高さ



写真5.9.3-1　加力冶具の設置状況



写真5.9.3-2　2箇所の載荷点とロードセル



写真5.9.3-3　反力のための鉄骨架台



写真5.9.3-4　加力の様子

（３）計測方法

計115chにて計測を行った。試験体における計測箇所は、柱脚レベル・差し鴨居下レベル・下屋柱頭レベル・上屋柱頭レベルの水平変位、柱頭ほぞの抜け、差し鴨居回転角、差し鴨居下レベルの柱の曲げモーメントである。加えて、水平力2箇所、加力冶具のPC鋼棒の軸力を計測した。図5.9.3-3～5.9.3-11にそれぞれの配置を示す。また、表5.9.3-2、5.9.3-3にチャンネル表を示す。

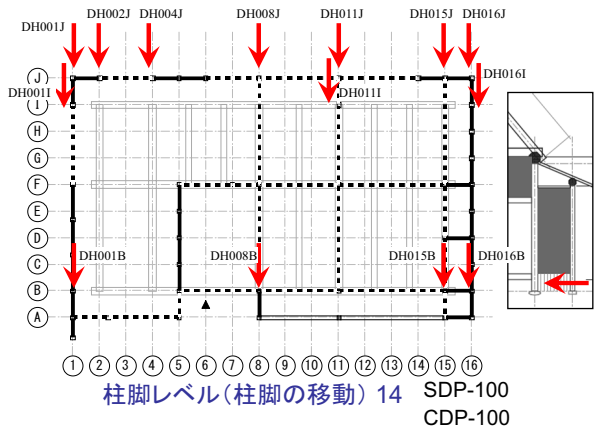


図5.9.3-3　柱脚レベルの水平変位

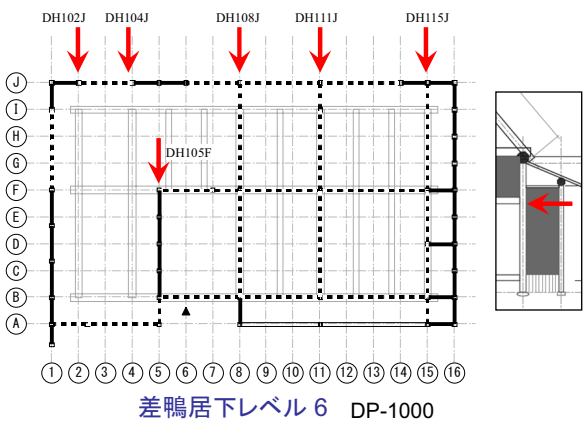


図5.9.3-4　差し鴨居下レベルの水平変位

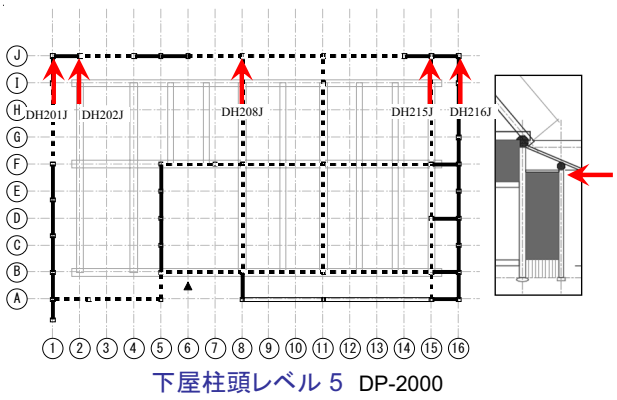


図5.9.3-5　下屋柱頭レベルの水平変位

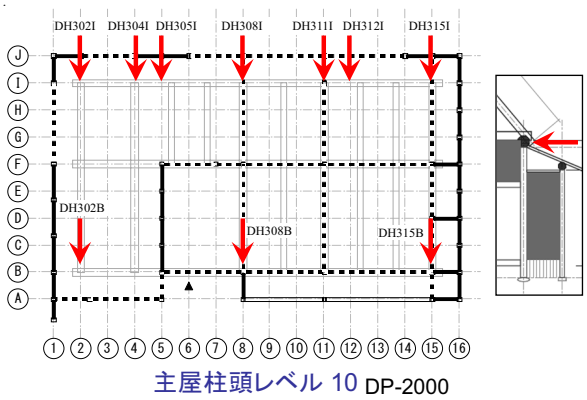


図5.9.3-6　上屋柱頭レベルの水平変位

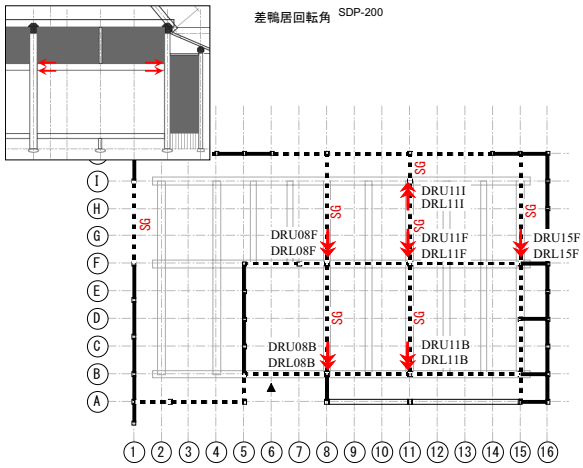


図5.9.3-7　差し鴨居回転角

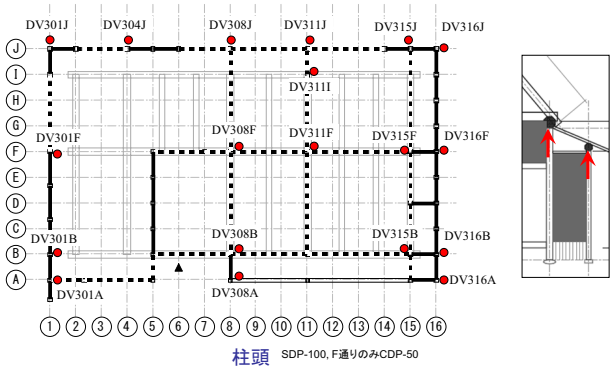
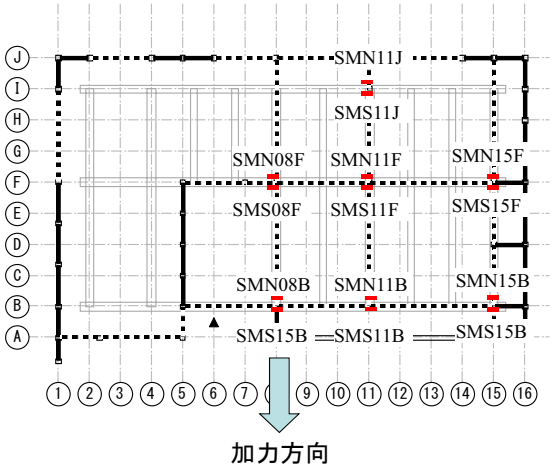


図5.9.3-8　柱頭ほぞの抜け



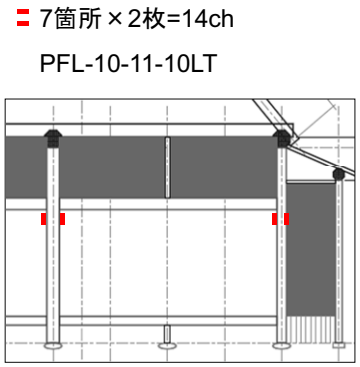


図5.9.3-9　差し鴨居下レベルの柱の曲げモーメント

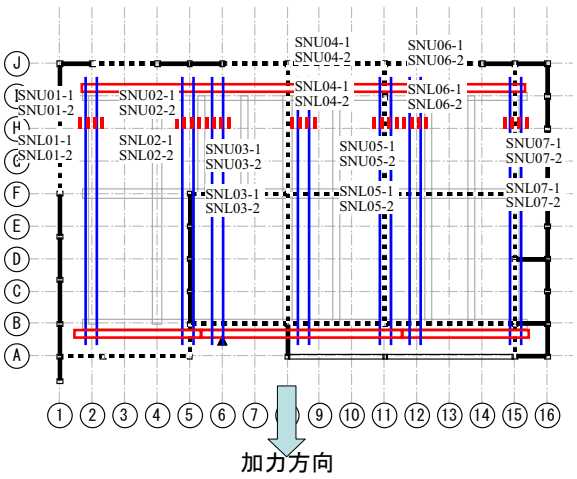


図5.9.3-10　PC鋼棒の軸力

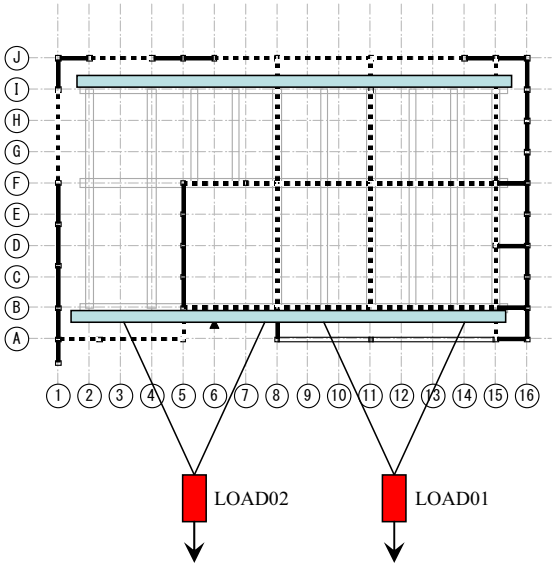


図5.9.3-11　ロードセル

表5.9.3-2　チャンネル表（1枚目）

SWITCHBOX　　2011湖南N邸加力実験チャンネル表

ch	名称	東A(30)	中B(50)	西C(50)	型番	計測器の種類	計測種類	計測箇所
1	LOAD01	0				ロードセルTCLP-200KNB	水平荷重	桁レベル
2	LOAD02			0		ロードセルTCLP-20B	水平荷重	桁レベル
3	DH001B			1		CDP-100	水平変位	柱脚レベル
4	DH001I			2		CDP-100	水平変位	柱脚レベル
5	DH001J			3		CDP-100	水平変位	柱脚レベル
6	DH002J			4		CDP-100	水平変位	柱脚レベル
7	DH004J			5		CDP-100	水平変位	柱脚レベル
8	DH008B		0			CDP-100	水平変位	柱脚レベル
9	DH008J			6		CDP-100	水平変位	柱脚レベル
10	DH011I			7		SDP-100	水平変位	柱脚レベル
11	DH011J			8		CDP-100	水平変位	柱脚レベル
12	DH015B	1				SDP-100	水平変位	柱脚レベル
13	DH015J		1			CDP-100	水平変位	柱脚レベル
14	DH016B	2				SDP-100	水平変位	柱脚レベル
15	DH016I	3				SDP-100	水平変位	柱脚レベル
16	DH016J		2			CDP-100	水平変位	柱脚レベル
17	DH102J			9		DP-1000	水平変位	差鴨居下レベル
18	DH104J			10		DP-1000	水平変位	差鴨居下レベル
19	DH105F			11		DP-1000	水平変位	差鴨居下レベル
20	DH108J			12		DP-1000	水平変位	差鴨居下レベル
21	DH111J			13		DP-1000	水平変位	差鴨居下レベル
22	DH115J		3			DP-1000	水平変位	差鴨居下レベル
23	DH201J			14	FP1000010	DP-2000	水平変位	主屋柱頭レベル
24	DH202J			15	EJ0860028	DP-2000	水平変位	主屋柱頭レベル
25	DH208J			16	FP1020004	DP-2000	水平変位	主屋柱頭レベル
26	DH215J		4		FP1000006	DP-2000	水平変位	主屋柱頭レベル
27	DH216J		5		FP1020001	DP-2000	水平変位	主屋柱頭レベル
28	DH302B			17	FP1000005	DP-2000	水平変位	主屋柱頭レベル
29	DH302I			18		DP-2000	水平変位	主屋柱頭レベル
30	DH304I			19		DP-2000	水平変位	主屋柱頭レベル
31	DH305I			20		DP-2000	水平変位	主屋柱頭レベル
32	DH308B		6		FP1000007	DP-2000	水平変位	主屋柱頭レベル
33	DH308I			21		DP-2000	水平変位	下屋柱頭レベル
34	DH311I			22		DP-2000	水平変位	下屋柱頭レベル
35	DH312I			23		DP-2000	水平変位	下屋柱頭レベル
36	DH315B	4			FP1000008	DP-2000	水平変位	下屋柱頭レベル
37	DH315I		7			DP-2000	水平変位	下屋柱頭レベル
38	DRL08B		8			SDP-200	接合部回転角	差鴨居下端
39	DRU08B		9			SDP-200	接合部回転角	差鴨居上端
40	DRL08F		10			SDP-200	接合部回転角	差鴨居下端
41	DRU08F		11			SDP-200	接合部回転角	差鴨居上端
42	DRL11B		12			SDP-200	接合部回転角	差鴨居下端
43	DRU11B		13			SDP-200	接合部回転角	差鴨居上端
44	DRL11F		14			SDP-200	接合部回転角	差鴨居下端
45	DRU11F		15			SDP-200	接合部回転角	差鴨居下端
46	DRL11I		16			SDP-200	接合部回転角	差鴨居上端
47	DRU11I		17			SDP-200	接合部回転角	差鴨居下端
48	DRL15F	5				SDP-200	接合部回転角	差鴨居上端
49	DRU15F	6				SDP-200	接合部回転角	差鴨居下端
50	DV001A			24		SDP-100	柱脚の浮上り	柱脚
51	DV001B			25		SDP-100	柱脚の浮上り	柱脚
52	DV001J			26		SDP-100	柱脚の浮上り	柱脚
53	DV004J			27		SDP-100	柱脚の浮上り	柱脚
54	DV008A		18			SDP-100	柱脚の浮上り	柱脚
55	DV008B		19			SDP-100	柱脚の浮上り	柱脚
56	DV008J			28		SDP-100	柱脚の浮上り	柱脚
57	DV011I			29		SDP-100	柱脚の浮上り	柱脚
58	DV011J		20			SDP-100	柱脚の浮上り	柱脚
59	DV015B	7				SDP-100	柱脚の浮上り	柱脚
60	DV015J		21			SDP-100	柱脚の浮上り	柱脚

表5.9.3-3　チャンネル表（2枚目）

SWITCHBOX　　2011湖南Ｎ邸加力実験チャンネル表

ch	名称	東A(30)	中B(50)	西C(50)	型番	計測器の種類	計測種類	計測箇所
61	DV016A	8				SDP-100	柱脚の浮上り	柱脚
62	DV016B	9				SDP-100	柱脚の浮上り	柱脚
63	DV016J		22			SDP-100	柱脚の浮上り	柱脚
64	DV001F			30		CDP-50	柱脚の浮上り	柱脚
65	DV008F		23			CDP-50	柱脚の浮上り	柱脚
66	DV011F		24			CDP-50	柱脚の浮上り	柱脚
67	DV015F	10				CDP-50	柱脚の浮上り	柱脚
68	DV016F	11				CDP-50	柱脚の浮上り	柱脚
69	DV301A			31		SDP-100	柱頭の抜け	柱頭
70	DV301B			32		SDP-100	柱頭の抜け	柱頭
71	DV301J			33		SDP-100	柱頭の抜け	柱頭
72	DV304J			34		SDP-100	柱頭の抜け	柱頭
73	DV308A		25			SDP-100	柱頭の抜け	柱頭
74	DV308B		26			SDP-100	柱頭の抜け	柱頭
75	DV308J		27			SDP-100	柱頭の抜け	柱頭
76	DV311I			35		SDP-100	柱頭の抜け	柱頭
77	DV311J			36		SDP-100	柱頭の抜け	柱頭
78	DV315B	12				SDP-100	柱頭の抜け	柱頭
79	DV315J	13				SDP-100	柱頭の抜け	柱頭
80	DV316A	14				SDP-100	柱頭の抜け	柱頭
81	DV316B	15				SDP-100	柱頭の抜け	柱頭
82	DV316J	16				SDP-100	柱頭の抜け	柱頭
83	DV301F			37		CDP-50	柱頭の抜け	柱頭
84	DV308F		28			CDP-50	柱頭の抜け	柱頭
85	DV311F		29			CDP-50	柱頭の抜け	柱頭
86	DV315F	17				CDP-50	柱頭の抜け	柱頭
87	DV316F	18				CDP-50	柱頭の抜け	柱頭
88	SNL01			38		FLA-5-11	PC鋼棒の軸力	PC鋼棒
89	SNU01			39		FLA-5-11	PC鋼棒の軸力	PC鋼棒
90	SNL02			40		FLA-5-11	PC鋼棒の軸力	PC鋼棒
91	SNU02			41		FLA-5-11	PC鋼棒の軸力	PC鋼棒
92	SNL03			42		FLA-5-11	PC鋼棒の軸力	PC鋼棒
93	SNU03			43		FLA-5-11	PC鋼棒の軸力	PC鋼棒
94	SNL04		30			FLA-5-11	PC鋼棒の軸力	PC鋼棒
95	SNU04		31			FLA-5-11	PC鋼棒の軸力	PC鋼棒
96	SNL05		32			FLA-5-11	PC鋼棒の軸力	PC鋼棒
97	SNU05		33			FLA-5-11	PC鋼棒の軸力	PC鋼棒
98	SNL06		34			FLA-5-11	PC鋼棒の軸力	PC鋼棒
99	SNU06		35			FLA-5-11	PC鋼棒の軸力	PC鋼棒
100	SNL07	19				FLA-5-11	PC鋼棒の軸力	PC鋼棒
101	SNU07	20				FLA-5-11	PC鋼棒の軸力	PC鋼棒
102	SMN08B		36			PFL-10-11	柱の軸力・曲げ	差鴨居下
103	SMS08B		37			PFL-10-11	柱の軸力・曲げ	差鴨居下
104	SMN08F		38			PFL-10-11	柱の軸力・曲げ	差鴨居下
105	SMS08F		39			PFL-10-11	柱の軸力・曲げ	差鴨居下
106	SMN11B		40			PFL-10-11	柱の軸力・曲げ	差鴨居下
107	SMS11B		41			PFL-10-11	柱の軸力・曲げ	差鴨居下
108	SMN11F		42			PFL-10-11	柱の軸力・曲げ	差鴨居下
109	SMS11F		43			PFL-10-11	柱の軸力・曲げ	差鴨居下
110	SMN11I		44			PFL-10-11	柱の軸力・曲げ	差鴨居下
111	SMS11I		45			PFL-10-11	柱の軸力・曲げ	差鴨居下
112	SMN15B	21				PFL-10-11	柱の軸力・曲げ	差鴨居下
113	SMS15B	22				PFL-10-11	柱の軸力・曲げ	差鴨居下
114	SMN15F	23				PFL-10-11	柱の軸力・曲げ	差鴨居下
115	SMS15F	24				PFL-10-11	柱の軸力・曲げ	差鴨居下
116		46(DH011I)						
117		47(DV001F)						

（４）損傷状況

損傷状況を以下に示す。各加力サイクルの目標変形角に到達した後、張力をかけたまま、安全を確認した上で損傷状況の確認を行った。

1/120rad変形時には、損傷は無かった。

1/60rad変形時には、軸組には割れなどの損傷は見られなかった。土塗り壁のチリに隙間が見られるようになった（写真5.9.3-5、写真5.9.3-6）。



写真5.9.3-5　1/60rad東側外壁のチリの隙間



写真5.9.3-6　1/60rad西側外壁のチリの隙間

1/25rad変形時には、土塗り全壁にひび割れが生じた（写真5.9.3-7～5.9.3-9）。室内の土塗り垂れ壁は損傷が見られなかった（写真5.9.3-10に見られる貫に沿ったひび割れは実験前からあった）。南側柱の差し鴨居下でひび割れが生じ（写真5.9.3-11）、北側の柱は差し鴨居の抜けが見られた（写真5.9.3-12）。



写真5.9.3-7　1/25rad東側外壁のひび割れ



写真5.9.3-8　1/25rad西側外壁のひび割れ



写真5.9.3-9　1/25rad玄関横の漆喰の浮き



写真5.9.3-10　1/25rad室内土塗り垂れ壁の状況



写真5.9.3-11　1/25rad柱の差し鴨居下での割れ



写真5.9.3-12　1/25rad差し鴨居の抜け

1/15rad変形時には多くの柱で割れが見られた（写真5.9.3-13、5.9.3-14）。全て差し鴨居接合部での曲げによるものであった。また、西側下屋の外壁の一部が柱ごと脱落した（写真5.9.3-15、5.9.3-16）。



写真5.9.3-13 1/15rad柱の差し鴨居下での割れ



写真5.9.3-14 1/15rad柱の差し鴨居下での割れ



写真5.9.3-15　1/15rad西側外壁の脱落



写真5.9.3-16　1/15rad西側外壁の変形状況

1/10rad変形時には差し鴨居が北側から取り付く柱のほとんどに割れが生じていた。これらには、差し鴨居断面の下端が柱に曲げを生じさせるのに対して、北側の柱の差し鴨居接合部では鼻栓が柱にめり込んでいき、あまり曲げが作用しなかったと考えられる。建物全体としては、鉛直支持能力を失うまでには至っていなかった（写真5.9.3-17、5.9.3-18）。東側下屋の外壁が大きくはらみ出し、ほぼ脱落に近い状態となっていた（写真5.9.3-19～5.9.3-21）。また、足固めとの接合部で柱の断面欠損が大きくなっている箇所で折損が生じていた（写真5.9.3-22）。



写真5.9.3-17　1/10rad変形時の南側の様子



写真5.9.3-18　1/10rad変形時の北側の様子



写真5.9.3-19　1/10rad東側外壁のはらみ出し



写真5.9.3-20　1/10rad東側外壁のはらみ出し



写真5.9.3-21　1/10rad東側外壁の室内側



写真5.9.3-22　柱－足固め接合部の折損

（５）荷重－水平変位関係

本実験では、目標変形角と桁高さ3.56mから算出される変位を丸めて目標変位とし、計測値をモニタしながら載荷のストップを判断した。また、今回の加力は2箇所の載荷点でそれぞれチェーンブロックによって行ったこともあり、東西の載荷点で変位の進み方は必ずしも一定ではなかった。

実験で得られた各加力サイクルでの荷重－変位関係を図5.9.3-12～5.9.3-17に示す。縦軸は東西の載荷点に設置したロードセルの値、横軸は4通り（西側）と12通り（東側）の上屋柱頭の水平変位である。また、全てを重ね描いたものを図5.9.3-18に示す。

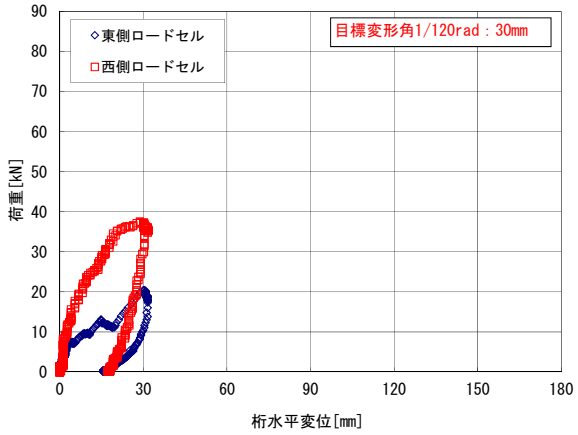


図5.9.3-12　荷重－変位関係（1/120rad）

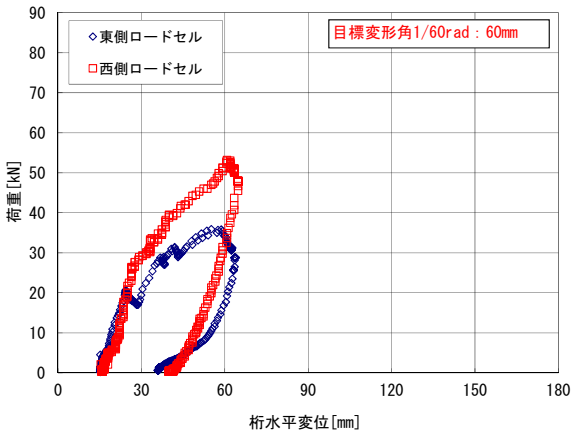


図5.9.3-13　荷重－変位関係（1/60rad）

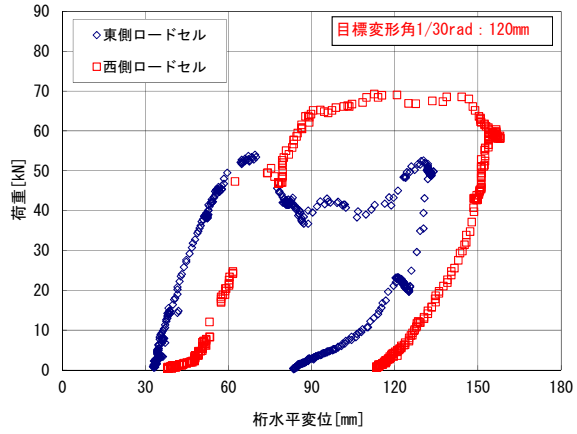


図5.9.3-14　荷重－変位関係（1/30rad）

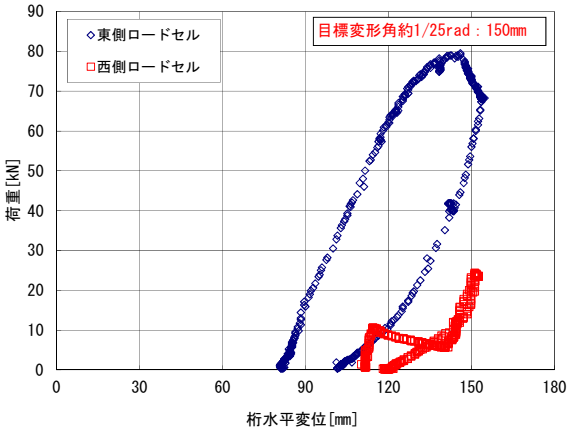


図5.9.3-15　荷重－変位関係（1/25rad）

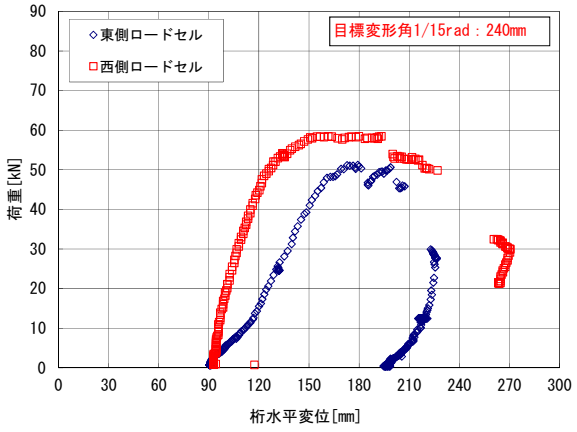


図5.9.3-16　荷重－変位関係（1/15rad）

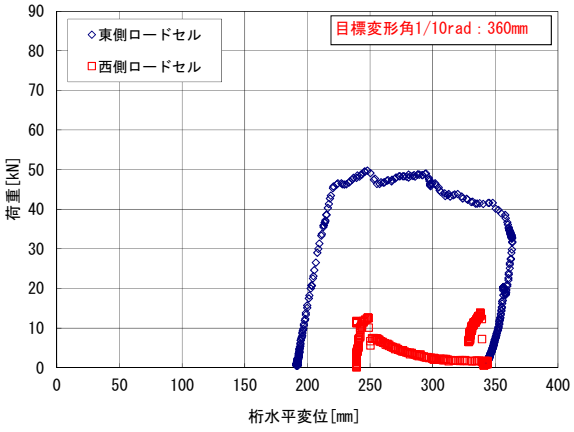


図5.9.3-17　荷重－変位関係（1/10rad）

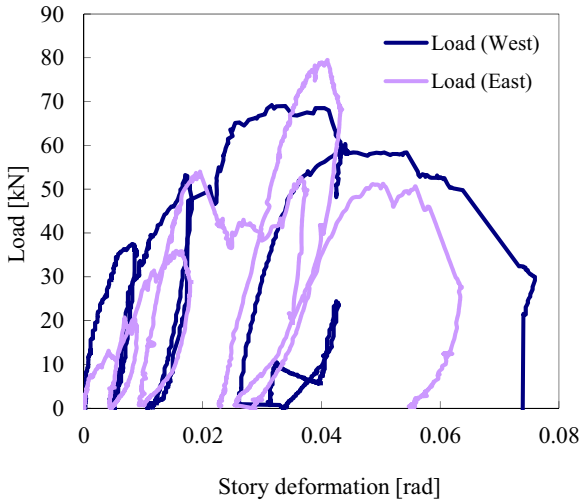


図5.9.3-18　荷重－変形角関係

通りごとの桁レベルの水平変位を図5.9.3-19～図5.9.3-24に示す。横軸は計測ステップであり、計測のサンプリングは1Hzとしている。灰色の点線は張力を保ったまま、損傷観察に入ったタイミングである。この間計測はストップしている。

変形角が1/60rad以下の場合は、2通り・15通りの変位がやや小さい程度で通りごとの変位は概ね揃っているが、1/30rad以降のサイクルでは必ずしも並進的に変位していないことが分かる。

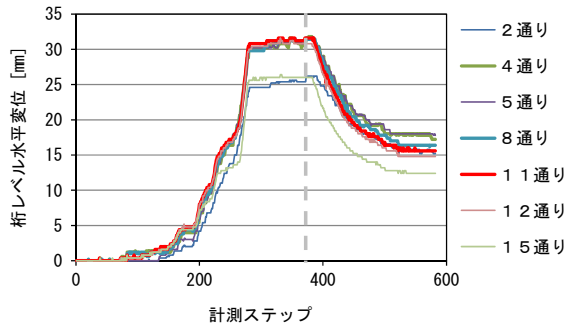


図5.9.3-19　桁レベル水平変位（1/120rad）

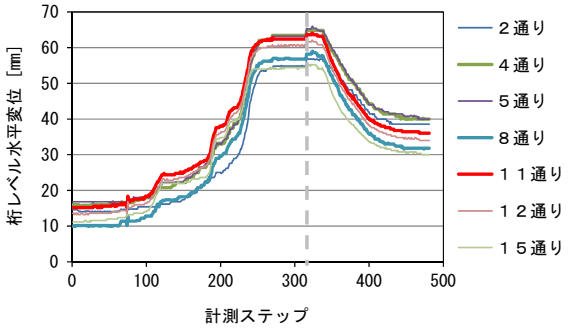


図5.9.3-20　桁レベル水平変位（1/60rad）

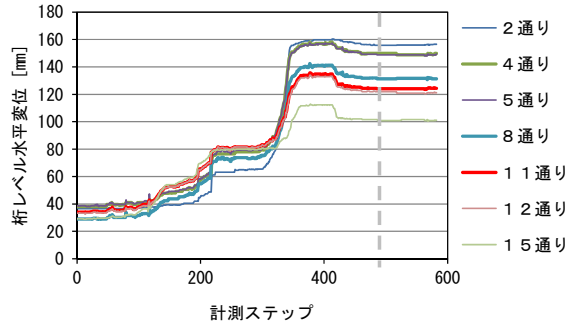


図5.9.3-21　桁レベル水平変位（1/30rad）

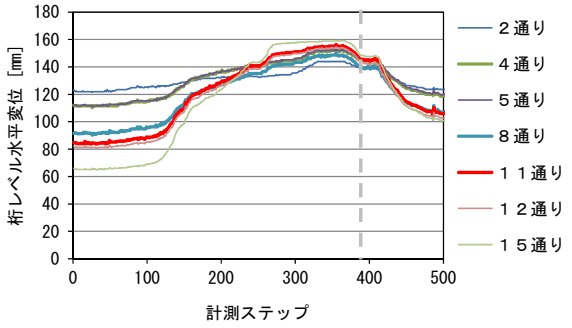


図5.9.3-22　桁レベル水平変位（1/25rad）

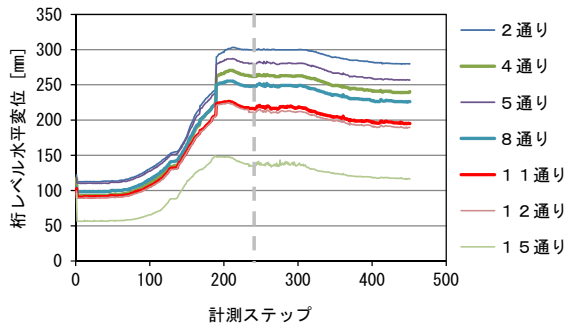


図5.9.3-23　桁レベル水平変位（1/15rad）

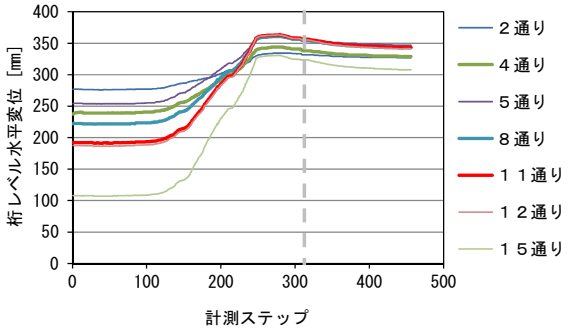
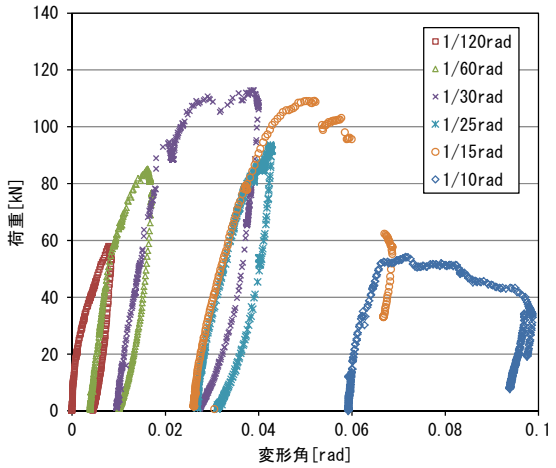


図5.9.3-24　桁レベル水平変位（1/10rad）

上述のように通りごとの変位が揃っていないことから、ここでは、以下のように考えて建物全体の荷重－変位関係を算出する。

・層間変位あるいは層間変形角は2～15通りの平均値とする。
・水平荷重は東西のロードセルの和とする。

結果を図5.9.3-25に示す。また、包絡線を図5.9.3-26に示す。最大耐力は112.9kN（1/28rad=138mm変形時）となった。



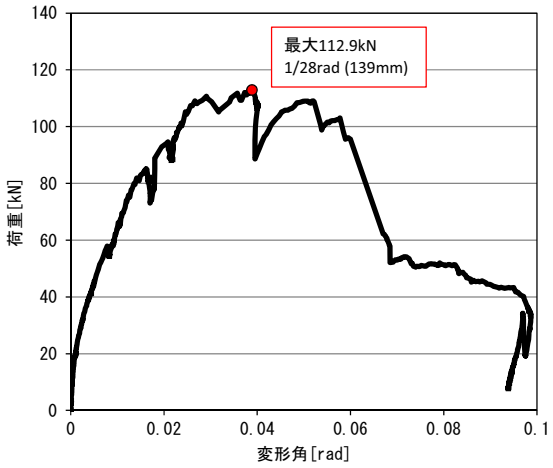
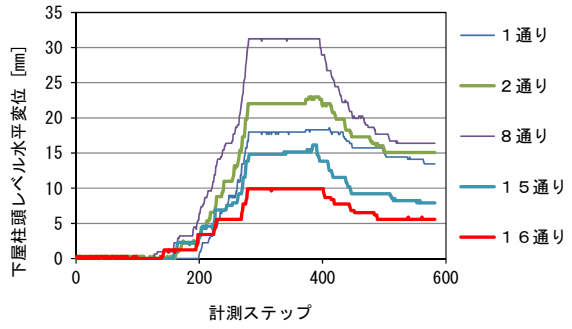


図5.9.3-25　各加力サイクルでの荷重－変形角関係　図5.9.3-26　荷重－変形角関係の包絡線

（６）下屋と上屋の変形角

下屋と上屋の水平変位を比較する。前項と同様に下屋柱頭レベルの通りごと水平変位を図5.9.3-27～5.9.3-32に示す。このうち下屋に相当するのは、1通りと16通りである。前項で示した桁レベルよりも通り間の変位の差が大きいことが分かる。1/60radまでの結果を見ると、建物の中央部分（8通り）の変位が最も大きくなっている。その後、1通り・2通りの変位が徐々に大きくなり、1/15rad変形時に1通りの西側外壁が脱落すると1通りの変位が頭打ちとなり2通りが最も大きくなっている。一方、東側の下屋外壁である16通りはいずれの変形レベルでも隣接する15通りに対応して変位しているように見える。



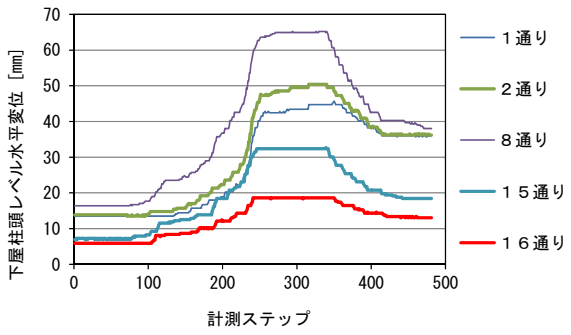


図5.9.3-27　下屋柱頭レベル水平変位(1/120rad)　図5.9.3-28　下屋柱頭レベル水平変位(1/60rad)

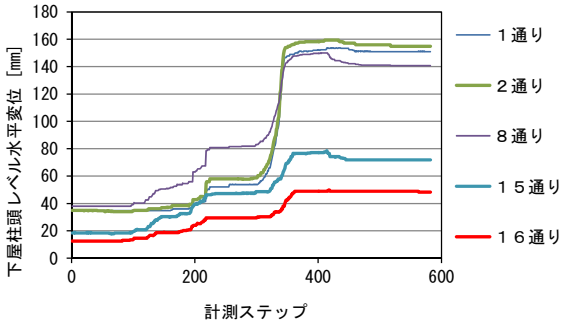


図5.9.3-29　下屋柱頭レベル水平変位(1/30rad)

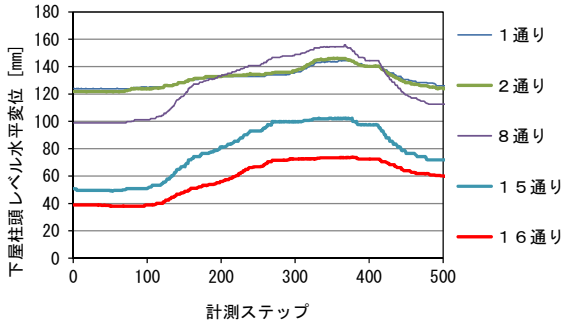


図5.9.3-30　下屋柱頭レベル水平変位(1/25rad)

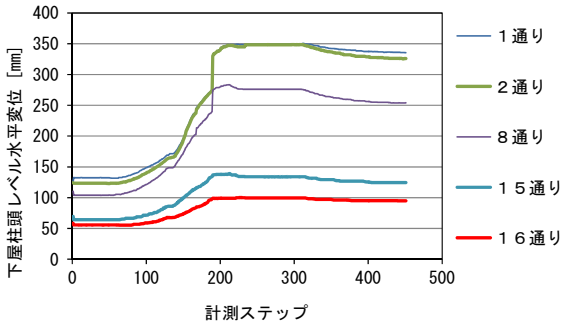


図5.9.3-31　下屋柱頭レベル水平変位(1/15rad)

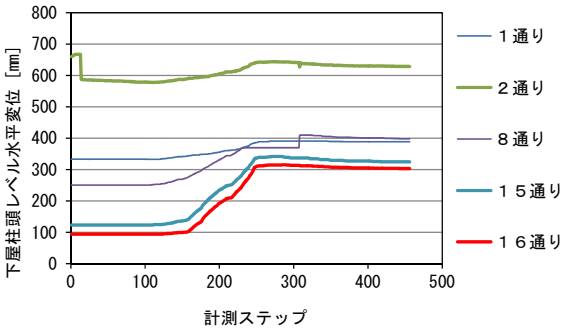


図5.9.3-32　下屋柱頭レベル水平変位(1/10rad)

下屋と上屋の水平変位の差を明確にするため、上屋の水平変位で基準化した結果を図5.9.3-33、5.9.3-34に示す。1/10radサイクルでは東西の下屋外壁の被害が大きいこと、計測の初期（0～100ステップ程度まで）は、試験体各部に遊びが生じていること、を考慮すると、下屋変位／上屋変位は1通り／2通りでは0.8～1.0程度、16通り／15通りでは0.6～0.8程度となった。これには建物全体のねじれも含まれているが、比較的、東西2箇所を並進的に加力出来ていた1/120rad、1/60radのサイクルのみに着目しても結果は同様である。

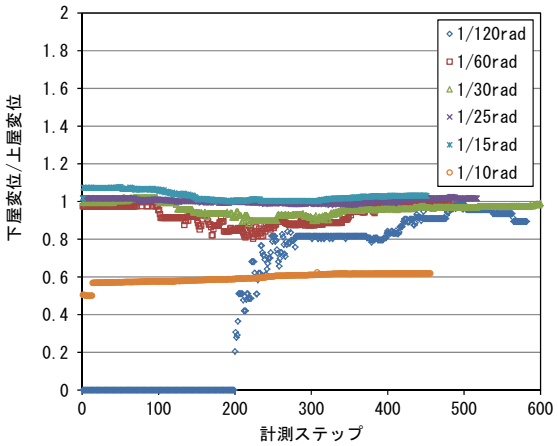


図5.9.3-33　1通り変位／2通り変位

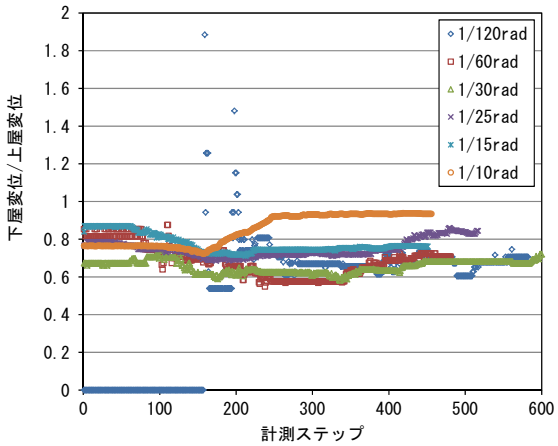


図5.9.3-34　16通り変位／15通り変位

（７）柱に作用した応力度と材料強度

前述のとおり、大変形時には柱が差し鴨居接合部の下付近で折損した。図5.9.3-35に示す位置で計測したひずみデータに基づいて柱の曲げ応力度を算出し、層間変位との関係をプロットしたものを図5.9.3-36～図5.9.3-41に示す。凡例は柱位置を通り名称で表したものである。ここで、曲げヤング係数には解体材（I11柱）の材料試験から得られた6.2kN/mm²を用いた（表5.9.3-4）。1/25radのサイクルで層間変位が150mmに達した付近でB11の柱の縁応力度が急激に低下しており、ここで折損が生じたものと考えられる。次の1/15radのサイクルでは層間変位が200mm前後で相次いで柱の折損が生じ、縁応力度が低下している。1/10radのサイクル開始時には5本の柱全てで折損が生じているとともにより大きな変位を経験するにつれて割れが徐々に進展している様子が伺える。

ここで得られた各柱の最大の縁応力度は約6～15N/mm²となった。ただし、ひずみ測定位置は割れが生じた差し鴨居下よりも200mm下がった位置であり、柱のモーメント分布に傾きがあることを考慮すると、曲げ強度としては低めの値を採っていることになる。モーメント分布の傾きを勘案したとしても材料試験から得られた曲げ強度や木材工業ハンドブックの値（スギの平均曲げ強度65N/mm²）に比べてかなり小さいと言える。

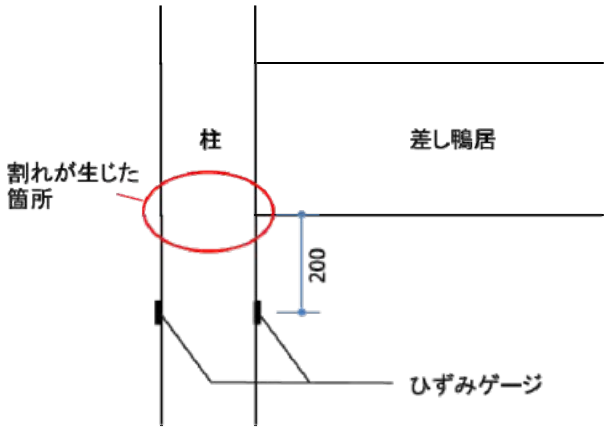


図5.9.3-35　ひずみゲージの貼付位置

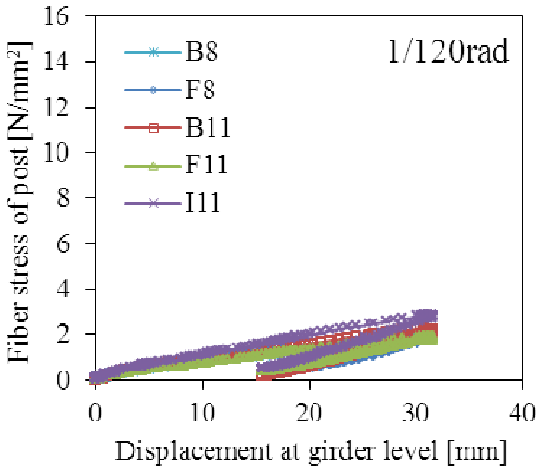


図5.9.3-36　柱の縁応力度（1/120rad）

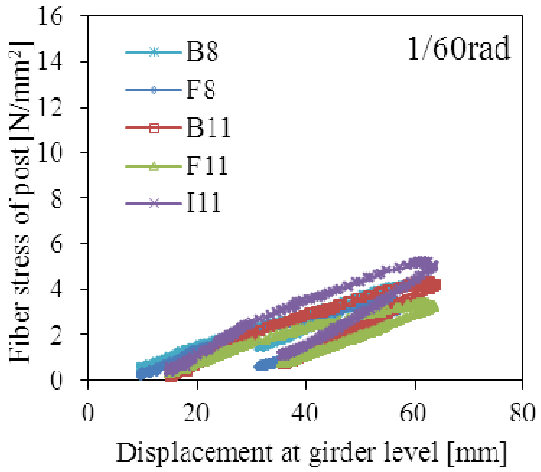


図5.9.3-37　柱の縁応力度（1/60rad）

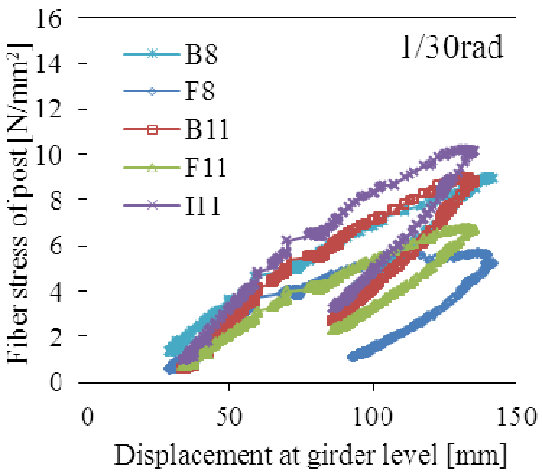


図5.9.3-38　柱の縁応力度（1/30rad）

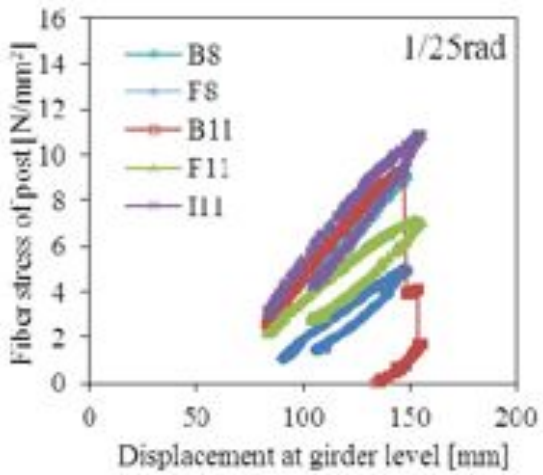


図5.9.3-39　柱の縁応力度（1/25rad）

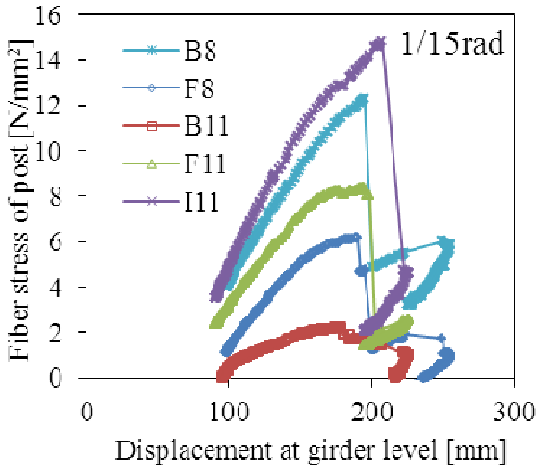


図5.9.3-40　柱の縁応力度（1/15rad）

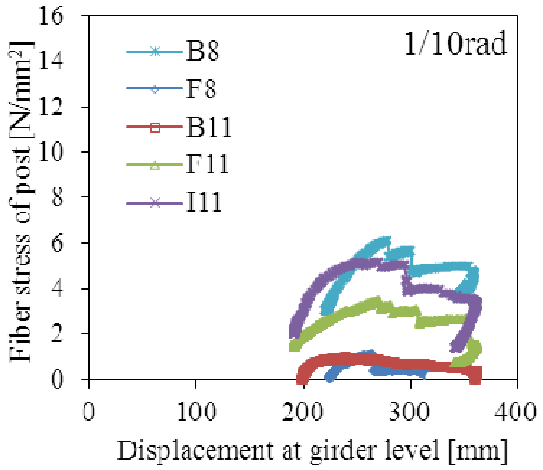


図5.9.3-41　柱の縁応力度（1/10rad）

表5.9.3-4　スギ解体材（I11柱）の曲げ試験結果

樹種	含水率(%)	密度(kg/m^3)	ヤング率(GPa)	強度(MPa)
スギ	13.18	452.6	5.618	52.31
	13.73	394.1	4.834	53.72
	12.66	468.1	6.556	57.04
	12.12	418.3	6.579	65.19
	12.48	429.1	6.850	70.41
	9.901	420.1	6.674	60.42
平均値	12.3	430	6.19	59.8
変動係数	0.10	0.06	0.12	0.11

表5.9.3-4に示した、解体材の曲げ試験は対象建築物のI11柱から試験片を取り出して行われた結果である。解体後のI11柱のうち、差し鴨居下から足固め上までの範囲のうち、腐朽や虫害、実験に伴う損傷が無い部分を選別して曲げ試験片とした。試験片のサイズは、断面20mm×20mm、長さ

320mmである。解体した状態を写真5.9.3-23、曲げ試験後の試験片を写真5.9.3-24に示す。





写真5.9.3-23　解体した状態のI11柱（右側が柱脚）　写真5.9.3-24　曲げ試験後の試験片

５．９．４　まとめ

部材の一部が生物劣化した下屋付伝統木造民家の水平加力実験および関連する調査研究について述べた。加力実験前の調査から判明した点は以下のとおりである。

- 耐力壁としての土塗り全壁は下屋に取り付いており、上屋は土塗り垂れ壁が主要な耐力要素である
- 最大耐力が160kNと予想される
- 多くの部材で腐朽・虫害が生じている

水平加力実験を行った結果、判明した点は以下のとおりである。

- 最大1/25rad変形時に柱の差し鴨居接合部下にひび割れが生じた
- 1/10rad変形時にはほとんどの柱の差し鴨居接合部下でひび割れ、折損が生じた
- ただし、鉛直支持能力は1/10radまで変形させても失われなかった
- 最大耐力は112.9kNと事前の予測値の約0.7倍であった
- 下屋外壁の変形角は上屋の変形角の0.6～1.0倍であった

今回、対象とした伝統木造民家では、下屋の屋根構面の水平剛性が十分でなかったため、下屋が上屋の変形に追随せず､建物全体の水平抵抗力に対する外周壁の寄与が低減されたことが分かった。一方で、外周壁は柱ごと脱落したり、大きくはらみ出したりと構面外の変形が目立ったことから、小舞・貫と柱の接合力、小舞・貫と塗り土の付着力が低かったと考えられる。これらが経年劣化によるものか施工上の不備によるものかは不明である。

５．１０　まとめ

材料部会に属する各WG、SWGが担当したH23年度の研究成果は以下のように要約される。

５．１０．１　伝統的構法に使用する木材の品質と接合性能

（１）通し柱の欠点が連層壁のせん断性能に与える影響

伝統構法の水平抵抗部分である胴差－柱接合部の通し柱に、節や目切れなどの欠点有無が、架構耐力に及ぼす影響を実験的に検証した結果は以下のように要約される。

・節及び目切れを有する及び有しない試験体共に、節の有無による差は、最大耐力の試験退官の個体差が大きく、節の有無によるを明確に捉えることが困難であった。
・降伏耐力Py、1/120rad時の耐力P_{120}、0.2Pu/Ds、2/3Pmaxの平均値で最も小さい耐力は、節の有る試験体ならびに節の無い試験体共に、P_{120}耐力であった。節の無い試験体が3.27kN、節有り試験体が3.54kNであり、節の有る試験体が節の無い試験体より約8%大きい耐力であった。
・最大耐力発現後のの耐力の低下量は節の無い試験体、有る試験体それぞれ平均で0.75、0.65となり、節の有る試験体の方が節の無い試験体より約17%耐力の低下が大きかった。
・接合部に節・目切れが有るときは、通し柱の曲げに起因した亀裂がその周辺より発生し、最終的に折損に致る。

（２）柱の背割りがその捻れ抵抗性能に与える影響

スギ柱材の背割りの有無が捻れ抵抗に与える影響について静的捻り試験によって評価した結果、含水率を同等にして比較できていないため、最終的な結論とは言えないが、背割りを有する柱材のせん断強さの75%信頼水準の95%下側許容限界値は、背割りのないものに対して高い数値となったものの、平均的には低い値となった。

（３）込み栓に使用する広葉樹の生産実態に関する調査

東日本と西日本に流通する込み栓の多くを占めると推測される2カ所の広葉樹加工場を現地調査した結果、込み栓の製造は工具の柄やかんな台、ドラムスティック製造時の残材から行われ、広葉樹加工場と込み栓製造時の2段階にわたる欠点除去等の品質管理と乾燥工程が、込み栓材料の品質の安定化に大きく貢献しているものと考えられる。また、関東と関西ではその木取りが異なり、関東の工場では辺材を優先的に使用し、心材の込み栓原料が出荷され、関西の工場では、辺材から採取される追い柾の込み栓原料が出荷されることが分かった。

（４）実務者の目視選別の内容と方法に関する調査

天然乾燥を施した平角材の材質を実務者によって目視選別し、これを曲げ破壊試験に供した結果、得られた知見をまとめると以下のようになる。

・平均年輪幅が最も重要な（実務者による）評価対象であり、それが小さいものほど曲げ性能が高く、狂いや割れを生じやすいと考えている可能性が示唆された。一方、曲げ試験結果により年輪幅と曲げ強度の相関性は低いことが再確認された。
・実務者の評価時に材料を持ち上げることを許可したため、目視選別時の含水率の高低は比較的精度良く評価された。また、含水率が極めて高くとも、例えば年輪幅が狭ければ曲げを受ける箇所に使用しても良いと判断する傾向にあった。
・曲げに対する剛性と強度の高低、および重要な接合部に用いるか否かの評価は概ね等価であった。
・曲げ強度については比較的良い精度で実務者に評価されていたが、曲がりにくさの評価は実際の曲げ弾性係数の大小関係と一致していなかった。
・節の曲げ強度への影響については、最外層に近いものを優先的に捕らえるのではなく、全体的な

節の多少で判断している傾向が見られた。

（５）乾燥方法の差異がその切削特性に与える影響

含水率及び乾燥方法による切削抵抗の違いを明らかにするため、生材、天然乾燥材、人工（高温）乾燥材、集成材を対象に、帯鋸による切削抵抗試験を実施した。その結果、帯鋸切削における切削力は含水率や乾燥方法よりむしろ送り速度や密度に依存することがわかった。

５．１０．２　乾燥方法の差異が長ほぞ込み栓接合部の力学特性に与える影響

（１）多雪地で天然乾燥した土台の割裂性能

多雪地（富山県）で380日間屋外において天然乾燥されたスギを土台に使用した長ほぞ差し込栓接合部について、土台が割裂することを企図した加力試験を行った結果、以下の知見が得られた。

① 天然乾燥時における屋根の有無は土台の割裂耐力に影響を及ぼさなかった。
② 天然乾燥によって生じた表面干割れの本数、総長さ、総面積と土台の割裂耐力との間には関係はみられなかった。③ 表面割れを伴う天然乾燥スギ材の割裂破壊定数は、平均が15.4N/mm$^{1.5}$、5%下限値が9.27N/mm$^{1.5}$で、木質構造設計規準の下限値8.0N/mm$^{1.5}$を上回った。
④ 割裂破壊定数は密度との正の相関が確認され、気乾密度と割裂破壊定数の関係式は同規準の関係式と概ね一致した。
⑤ ②～④の知見より、天然乾燥に伴い表面干割れを生じた材でも、貫通割れがなければ、一般材と同程度の土台割裂耐力を有することが確認された。

（２）温暖地で天然乾燥した土台の割裂性能

温暖地（宮崎県）で378日間屋外において天然乾燥されたスギを土台に使用した長ほぞ差し込栓接合部について、土台が割裂することを企図した加力試験を行った結果、以下の知見が得られた。

・土台の割裂破壊は込栓穴の下角部から発生・進展し、クロスヘッド移動量30mm時には割れが材端部まで達するか、曲げ破壊が生じた。
・天然乾燥によって込栓の孔付近に表面割れが存在しても、必ずしも接合耐力に影響を及ぼすものではない。
・土台の割裂時の接合耐力に天然乾燥による割れや天然乾燥時の屋根の有無が影響を及ぼさない可能性が示唆された。
・込栓孔から割裂破壊が発生する土台接合部は、込栓孔付近の割れの有無に関わらず、破壊時の半径量が大きい可能性が高い。
・今回得られた割裂破壊定数の5%下限値は、木質構造設計規準に定めるスギの基準値を上回った。
・材料の弾性係数と割裂強度の間には相関が認められなかったが、密度と割裂破壊定数の間には統計的に有意な相関が認められ、その回帰式は木質構造設計規準に示された式とほぼ一致した。

（３）屋外乾燥と屋内常態乾燥の比較

関東地方（茨城県）で約1年間屋外屋根付き環境ならびに屋内恒温恒湿環境下で乾燥されたスギを土台に使用した接合部について、土台が割裂することを企図した加力試験の結果、以下の知見が得られた。

・屋内恒温恒湿環境下で乾燥された干割れの少ない材料と干割れの多い材料の割裂強度を比較すると、干割れの多少は割裂を引き起こす接合耐力の大小に影響しないことが看取された。
・実務者が木理を見て、適切な方向と評価する土台の試験体の割裂を伴う接合耐力は、それと相反する木取りをした試験体の耐力と明確な差は無かった。
・材料の密度と割裂を伴う接合耐力との間には相関関係が認められた。一方、材料の動的弾性係数

と割裂を伴う接合耐力との間に相関は認められなかった。

（４）高温乾燥材と標準常態による乾燥材の比較

乾燥方法（高温乾燥と標準状態による乾燥）の違いが土台－込栓接合部の引張強度特性に及ぼす影響を実験的に検討した結果、以下のような知見が得られた。

・人工乾燥材による土台の割裂を伴う接合耐力は、標準常態における乾燥材よりも約10%低い値を示した。
・製材の表面割れは、土台－込栓接合部の土台の割裂を伴う接合耐力にほとんど影響を及ぼさない。
・土台の割裂を伴う接合耐力と製材の気乾密度の間には有意な相関関係が認められた。

５．１０．３　天然乾燥の条件と干割れ、乾燥過程の評価

（１）屋外屋根付き環境における干割れの進行と標準状態との比較

茨城県つくば市における屋外天然乾燥（屋根付き）時の干割れの進展状況を計測し、屋内常態乾燥及び生材時にほぞ等の加工を施した後、常態乾燥に供したスギ製材と比較した結果、以下のような知見が得られた。

① 干割れの数は屋外天然乾燥が最も多く、それに比して屋内常態乾燥及び生材加工後常態乾燥は少ない傾向にある。
② 屋外天然乾燥は、他の2つの条件の乾燥を施した材料に比べて、最も干割れ長さの合計値が大きい傾向を示したが、最大幅及び最大深さは小さく、細く深さの浅い干割れが多い傾向にある。
③ ①及び②から、屋外天然乾燥は、常態で乾燥するより、小さく、細く、浅い干割れが数多く発生することが分かる。
④ 生材加工後常態乾燥と屋内常態乾燥の比較より、生材の時点で加工することにより材料表面積が大きくなることもあり、生材で加工していない材料よりも密度低下及び含水率低下の割合が大きかった。加えて、干割れ長さ、干割れ幅、干割れ総深さ及び干割れ総体積では生材加工後の乾燥の方が小さかった。しかし、乾燥期間が90日程度まではこの傾向は異なる。

（２）葉枯らし乾燥の有無が天然乾燥における干割れの進行に与える影響

京都府宇治市において実施されたスギ製材の天然乾燥試験の結果、以下の知見が得られた。

・葉枯らし乾燥の過程で、特に辺材部分において含水率の顕著な低下が見られた。含水率低下は白線帯をやや越えて心材外層付近に及び、横断面内の含水率分布を平滑にすることが分かった。一方で心材内部の含水率低下にはほとんど寄与しなかった。
・葉枯らし乾燥により、丸太の平均含水率は約100%弱に低下する。
・葉枯らし乾燥した丸太を製材して辺材部分の多くを除去するため、葉枯らし乾燥の効果は小さくなったが、平均して10%超の初期含水率を低下させた。
・京都地域で夏期を含む約100日間の天然乾燥では、葉枯らし乾燥を行うか否か、及び桟積み乾燥時の屋根の有無に関わらず、正角材の含水率は平衡状態である20%程度に低下した。
・葉枯らし乾燥した材を桟積み乾燥時に屋根をかけないで天然乾燥に供すると、特に天側に向いた面において割れの進展が通常よりも大きくなる傾向が見られた。
・葉枯らし乾燥した材を線済み乾燥時に屋根をかけて天然乾燥に供すると、含水率が平衡状態に達する直前までは干割れの進展が鈍くなる可能性が示唆された。
・天然乾燥による割れの幅と深さとの間にはおよそ1:9程度の高い相関関係が認められた。

（３）多雪地での屋外における天然乾燥と干割れの進行

多雪地域（富山県射水市）において実施されたスギ製材の天然乾燥試験（屋根の有無の2条件を

含む）の結果、以下の知見が得られた。

・多雪地域で12月から屋外で天然乾燥を行ったところ、屋根をかけた桟積みでは当初から重量減少がみられたが、屋根をかけない桟積みでは、積雪の影響で冬季に重量が減少しない（増加する）傾向がみられた。
・各試験体の平均含水率を屋根の有無で比較すると、加工後60日後（平成23年2月1日）では「屋根あり」49.6%、「屋根なし」74.6%と積雪の影響が顕著に表れた。含水率30%への乾燥期間においては「屋根あり」131日間、「屋根なし」172日間と、屋根の有無で約40日間の差となった。これにより、多雪地域の冬季の天然乾燥では屋根を設けることが乾燥速度へ寄与することが示唆された。た。
・多雪地域の冬季の天然乾燥においても、乾燥期間が初期含水率に大きく影響される傾向が確認された。また、屋根の有無にかかわらず、最上段に配置された材は乾燥が早くなる傾向がみられた。
・タテヤマスギ一品種、同一ロットでの確認ではあるが、初期の見かけの密度を初期含水率の代替として、天然乾燥の難易の判断に適用できる可能性が示唆された。
・桟積み乾燥時に外周に配置された材の表面含水率の計測により、内部に配置された材の乾燥傾向が概ね推定できることが示された。ただし、表面含水率は材の雨がかりなどの影響を受けやすいので注意を要する。
・部材幅の収縮は、屋根の有無による影響より、むしろ材の乾燥状態と対応しており、収縮率は含水率35%以下で直線的に増加する傾向がみられた。含水率25%時の収縮率は約0.75%で既往の文献値と概ね一致した。
・干割れの発生や成長は含水率との関係がみられ、平均して含水率50～60%頃から発生し始め、同20%から40%に乾燥する過程で干割れの成長がみられた。
・初期含水率、気乾比重、心材率と干割れの発生状況の間に明確な関係はなかった。
・干割れの幅と深さの関係において、干割れの幅が大きいときはその深さは幅の10倍程度となるが、干割れの幅が小さいときは幅に対する深さの比は急激に大きくなる。
・天然乾燥終了時では、割れ幅は0.75mm以下（平均0.6mm程度）が、割れ深さは15mm以下が大半（平均13mm程度）で、割れの大きさの割合に屋根の有無による明確な差はみられなかった。比較的大きな割れではある幅1mm以上の割れは全体の13%、深さ20mm以上の割れは全体の16%程度で、小さな干割れの割合が高い。

（４）温暖地での屋外における天然乾燥と干割れの進行

温暖地（宮崎県都城市）において実施した天然乾燥試験の結果、以下のような知見が得られた。

・温暖地の主に冬期（11月から4月までの約140日間）に天然乾燥を実施したところ、初期含水率85%から繊維飽和点以下の25%程度まで減少した。この期間の重量減少量は全天然乾燥期間（378日間）の約90%であった。
・屋根をかけた天然乾燥では桟積みの内側の列及び下の段ほど割れが少ない傾向にあり、屋根をかけない天然乾燥では、桟積み内のどの位置においても割れが発生しやすい状況にあった。重量及び含水率が急激に減少する過程（140日間）において割れが急激に発生することが分かった。また、140日後の総割れ長さは、4材面ともに材長と同じ長さの割れが発生している状況に相当し、これ以降の割れの発生は極めて少ない状況であった。
・屋根の有無にかかわらず、割れ幅1mmに対し割れ深さ12～14mmの関係にあり、実務的に割れ幅から割れ深さを推定する目安になる可能性が示唆された。
・乾燥初期の干割れは末口側に発生する割合が比較的高いものの、乾燥後期には元口側と末口側で干割れの発生状況に差がなかった。
・378日の天然乾燥により製材表面は大きく退色したものの、これは表層のごく一部に限られ、表

面のかんな加工あるいは木口の切断により退色部は容易に取り除くことが可能であった。

５．１０．４　天然乾燥の実態調査

天然乾燥の実態について調査した結果、以下の知見が得られた。

・産地は地元材を使用しているところが多い。アカマツは産地が限定されるため県外で購入される場合もある。
・製材後の乾燥方法としては、桟積み乾燥が多い。桟積み乾燥は、乾燥の前後に人工乾燥（処理）を行っているところもある。これには割れ防止、寸法安定の目的のものと乾燥目的のものがある。
・気候風土等への対応として、風通しや日射、雨に当てないことなどが重視されている。
・桟の寸法（背）は、板材より構造材の方が厚いものが使用されている。また、スギ、ヒノキよりアカマツの方が背が高い傾向にある。
・桟積み乾燥を行った柱材の乾燥期間は6ヶ月程度が多く、人工乾燥と組み合わせたものはこれより短くなる。
・製材乾燥前の粗挽きの際の歩増し寸法は、スギ製材120角では、+15mmが最も多く、ついで+10mmという結果となった。
・乾燥材と認識している含水率よりも高い含水率を判断基準としている傾向にある。
・干割れ対策としては、急激な乾燥による割れを防ぐため、様々な対策が行われている。例えば、割れ止め剤（ボンド、ニス）、ラップ巻き、背割りの他、寒冷紗や屋根を掛けて直射日光を防いだり、前処理として低温乾燥（蒸気で蒸らす）を行ったりするなどが多様な工夫が見られた。
・背割りを入れる理由は、割れ防止目的が多い。
・今年度の調査対象は原木市場から購入するケースが多かった。供給先のニーズにより低含水率のものが好まれる傾向にあり、人工乾燥材に移行したり、天然乾燥材と人工乾燥材を使い分けたりする製材業者も増えている。

５．１０．５　伝統的構法の耐久性

（１）伝統的木造建築物の耐久性調査

平成23年度においては、平成22年度に引き続いて、全国12の府県で計35件の築年数がおよそ60年以上の民家や農家などの木造建築物の腐朽調査を行った。調査対象物件に共通して見られる劣化現象や建物の構造や材料などとの関連でみられる特徴的な現象をまとめると以下のようになる。

1)建物の構造・仕様と劣化との関連

(a)床下の構造・仕様と虫害・腐朽

・多くの伝統的木造建築の床下は土壌現しなっており、シロアリが侵入しやすい状況にある。シロアリは多くの場合、土中から礎石の表面に蟻道を構築し、柱や床束の下端にたどり着き、そこを起点に食害を開始している。
・床下が土壌現しになっている場合、木部が土壌の湿気の影響を受け、劣化しやすい。
・床下が低く、閉じられているため通気や換気が十分ではなく、木部が劣化しやすい。
・土壌からの浸潤水によって柱、束が土台が下端部を中心に腐朽しやすい。
・水周り設備や外壁の近傍では劣化がおきやすい。

(b)屋根や小屋裏の構造・仕様と虫害・腐朽

・屋根部に発生する劣化は、主に雨漏りによる腐朽や、雨水浸潤部に発生したシロアリ食害のほか、シバンムシなど甲虫類による食害が多い。
・床下からのシロアリ食害が小屋裏にまで達している場合もある。
・妻面、破風尻や隅木周りは雨水が浸潤しやすい、劣化しやすい。
・棟木は、漆喰部からの雨水の浸潤などで長年の間に劣化していることが多い。

(c)壁の仕様と虫害・腐朽
・土壁と柱などとの隙間からの水分の発生や虫の侵入によって土壁の芯を構成している貫や木舞竹に虫害（シロアリやシンクイムシ類）が発生している事例がある。
・外壁や軒側から雨水浸潤によって芯材が腐朽している場合がある。
・土壁が床下まで降りた状態で、床下土壌に接している場合には、シロアリ食害が発生しやすい。
・土蔵などの大壁では、表層の漆喰の剥離や瓦屋根部からの雨水の浸潤によって壁芯材が劣化していることがある。
2)材料や施工方法と劣化との関連
(a)構造用材の劣化症状
・比較的耐久性の高いとされているヒノキ材については劣化の発生頻度は比較的低い。
・ヒノキやスギについては特に辺材（白太）に劣化が多い。
・マツ、クリやケヤキでは主に辺材（白太）に、甲虫の食害や腐朽が発生しやすい。またこれらの材にもシロアリ食害は発生しうる。
・心材（赤身）は劣化しにくい。
・蟻害は、材料の割れ、背割りなどの隙間や部材通しの隙間を伝って発達することが多い。
・かまどや囲炉裏、線香などの煙に長年暴露された部材は、甲虫類の食害が発生しにくい。
(b)施工方法と劣化との関連
・伝統的な劣化対策として銅板を用いて木材表面を被覆している場合がある。腐朽対策として有効と思われるが、表面の銅板と内部の木部との間隙に水分が浸潤したり、滞留したりする場合などでは腐朽抑制効果が発揮されていない場合がある。
・水周りを中心とする改築の際に、土壌からのシロアリ侵入や結露などの対策が不適切であったり、十分でないために劣化が起きている場合がある。
3)建物周囲環境と劣化との関連
(a)土壌
・建物周囲の土壌やそこでの水分状態（乾燥状態）によっては、建物への湿気や水分の侵入が阻止できず劣化しやすい環境になっている場合がある。また降雨時に薄いが床下方向に流入してくる場合も同様である。
・池、手水、流水のある側溝などとの関連での水分浸潤も劣化の原因となる場合がある。
(b)周囲環境
・植栽が建物に近く、根元付近に発達したコロニーからのシロアリ侵入が起きやすい場合がある。また植栽の落ち葉が雨どいを詰まらせ排水不良となり、あふれた水分が軒や壁を濡らして腐朽や虫害が起きている場合がある。
・玄関、勝手口や縁側部、建物周囲の塀などからのシロアリ侵入や水分浸潤による腐朽が認められる場合がある。
5)住まい方と劣化との関連
(a)日常の建物の使い方と維持管理
・近年では畳や床を上げての大掃除などの住まい手による維持管理の機会が減少し、早期での劣化の発見や処置が困難になりつつある。
・床下や小屋裏などの空間が物置状態や放置状態になっており劣化の発生と進行が発見されないことが多い。
・住まい手の劣化に対する知識や意識が十分ではなく、劣化を過小評価した結果、劣化が甚大化していることがある。
(b)増築や改築
・農家や町屋などで、台所を中心に土間の床上げを行った結果、床下部分の換気や通気が阻害され、

腐朽や虫害が発生している。またこれらの領域では床高さが低く、維持管理がしにくい。
・伝統的な木造では､本来風呂やトイレなどの水周り設備は邸内になく､別棟に配置されていたが、時代とともにこれらの設備が家屋内に配置されるようになった。これに伴いこの周囲に腐朽や蟻害が発生しやすくなり、周囲にまで拡大していることが多い。またこれらの設備では大壁構造、閉鎖基礎や防水処理工事によって、被害が見えにくく、顕在化する頃には相当に深刻になっている。

（２）銅製金物の腐朽抑制効果の検証

平成23年度は、銅金物から木材への銅イオン移行の検証実験、ならびに銅板の接触が木材の腐朽に及ぼす影響を検討する実験を実施し、以下のような結果を得た。
・モデル試験体を用い強制湿潤条件下において行った銅イオン移行の検証実験では、いずれの試験体においても、銅イオンは2～4週間後から金物から周囲の木材へ、主に繊維方向に沿って移行しはじめ、移行領域は湿潤期間とともに拡がっていくことが蛍光X線測定装置を用いることで確認できた。また、銅イオン移行領域の面積は　銅板＞銅金網＞銅釘　の順で、金物の接触面積に対応して増減した。
・銅板との接触が木材腐朽菌の腐朽力に及ぼす影響を調べる実験では、腐朽菌の種類によって効果が異なっており、明確な傾向はつかめなかった。今後更に検討が必要である。

（３）伝統的木造建築物の耐久性調査マニュアル

伝統的木造建築物の耐久性調査マニュアルとして、調査の基本と種類、事前調査、調査手順、劣化症状のポイント、劣化判定、記録と報告書、調査の重点領域の設定、調査目的ごとのポイントの7項目について取り纏めた。

５．１０．６　古材の強度性能と評価

（１）古材の材料試験・めり込み試験と仕口接合部実験の意義と目的

古材の性状を科学的に解明し、歴史的技術を維持した上で修理・保全・再利用を図るために、既存の伝統的木造古建築に使用されている或いはそこから採材された構成部材の残存強度性能を非破壊的な方法で推定し、データベースを蓄積していくことが重要である。

（２）実験計画

古材の材料試験では、その材料特性の把握を目的として、古民家・古寺院の解体部材の縦圧縮・曲げ・せん断・引張・部分圧縮・硬さをJISZ2101の部分圧縮試験に準拠して評価した。

古材のめり込み試験では、同じ解体材を用いて独自の方法でめり込み特性を評価した。

古材の実大実験では、同じ解体材を用いて「構造用木材の強度試験法および評価法」に準拠して曲げ強度特性を評価した。

古材・新材を用いた仕口接合部実験では、古材との比較を目的に通し貫タイプの十文字試験法によって古材・新材のモーメント抵抗性能を評価した。

（３）古材の材料試験

① 縦圧縮・めり込み・曲げに関しての材料定数は、新材と比較しても大きく見劣りすることはない結果となった。しかし、ばらつきは多い傾向がある。
② 縦圧縮においては、部材の経過年数や樹種の違いに拘らず、載荷時の各部位における変形・強度はほとんど変わらない結果となった。
③ せん断強度に関してはやや様子が異なり、経年数が大きくなるにつれて強度が低下する傾向があった。

（４）古材のめり込み試験

① 既往の実験結果も考慮すると、ケヤキにおいては新材・古材ともに大変形時に脆くなる傾向があるが、アカマツにおいては、経年とともに大変形時の脆さが顕著になる。

② 樹種・部材の経過年数・年輪方向に関係なく、Eとσ_yのどちらか一方を把握することで、もう一方の数値を予測することが可能だと考えられる。

（５）古材の実大強度性能

① 解体材には様々な断面欠損が存在するので、断面欠損を補正しない見掛の中実断面として曲げ強度を評価すると、解体された実大寸法の古材の曲げ強さは過小評価される。そこで、断面欠損を仕口タイプと貫孔の有無、そして材せいの減少の3つの影響を考慮した低減係数を掛けて再評価した。その結果は既往の実大古材試験体で得られた結果に近い評価値が得られた。

② これまでに古材研究グループが開発してきた手法の中に、この低減係数を導入して古材の強度を推定する方法を提案し、妥当な評価値が得られたことを確認した。

（６）古材・新材を用いた仕口接合部実験

① 試験体数が限られ、しかもばらつきの多い材料であったこともあって、古材と新材の差異を明確に示すことはできなかった。

② 本実験の範囲では、古材が剛性・強度・変形性能を含む復元力特性で新材に劣る傾向は見られなかった。

（７）古材の材料特性・めり込み特性の総合的評価と今後の課題

① 新材と古材のめり込み特性を比較した場合、剛性や強度・大変形時の挙動などに関して古材の方が大きく劣るという結果にはならなかった。しかし、樹種や年輪方向によっては、大変形時に若干の不安要素も確認できた。

② 樹種別で見ると、スギ・ヒノキ・アカマツ・ケヤキの中で、特にアカマツが経年とともに大変形時の脆さが顕著になる結果となった。

③ 年輪方向別で見ると、どの樹種においても、柾目方向（LR方向）に比べ板目方向（LT方向）・追柾方向（LTR方向）が大変形時に脆くなる結果となり、特に板目方向（LT方向）においては、載荷の途中で年輪が座屈するような現象が頻繁に確認できた。

④ EPM解析パラメータの傾向を見ると、全面圧縮と部分圧縮の降伏ひずみの比率を示すηは古材・新材・樹種・年輪方向関係なく、既往の$\eta = 1.1 \sim 1.4$の範囲に収まった。

⑤ 塑性ひずみ倍率Cにおいては、ばらつきが大きく傾向の把握は困難であった。

⑥ めり込みによる剛性増大率を決定するパラメータγHにおいては、新材・古材ともに横圧縮ヤング係数との相関が比較的高かった。

（８）古材の再利用と評価について

解体部材を再利用する場合と、現存する伝統的古建築物の保存のための耐震性を含めた構造性能評価のために古材の構造材料としての扱い方を検討した結果は以下のように要約される。

① 対象とする古材は、一度建築物に使用された後に解体され、建築後数十年以上経過した木材で再利用を意図する部材、および建築後数十年以上経過した現存する伝統木造建築物で、構造的な評価に際して材料特性が不明または不確定なため、何らかの評価を必要とする部材を想定する。

② 古材を建築物の構造部材として扱う場合は見かけ上健全な部材に限定し、せん断・割裂を除い

て、基本的に新材と特に劣ることはないと考えられる。

③ 構造計算などで材料性能の確認を必要とする部位に使用する部材では、必要な材料定数を材料試験・非破壊試験（応力波利用の手法など）で確認することが望ましい。

④ 古材強度の推定が必要な場合は以下の手順を提案する：1）応力波伝播時間測定器を用いて応力波伝播速度を測定し、その値を基にシミュレーション法により材のヤング率（Es）を推定する。2）材の欠損状況を調べ、断面の低減係数（Kr）を算出する。3）推定したヤング率（Es）より基準強度（Fb）を求める。4）基準強度（Fb）と断面の低減係数（Kr）よりその材の推定強度（$= Fb \times (Kr)^{2/3}$）を算出し、その材に最低限保証される強度値として評価する。

５．１０．７　水中貯木処理材の特性

丸太の水中貯木（12ヵ月）及び井桁野積み期間（6ヵ月）における、丸太重量変化を測定した結果、以下の知見を得た。・水中貯木開始後8日間程度で丸太重量は6%程度増加し、以降は2%程度の緩やかな増加であった。貯木途中で見かけの比重は1.0付近にまで達し、水中に沈下する丸太も発生した。

・354日間の水中貯木終了後、井桁野積みを開始すると、46日目で水中貯木前の丸太重量よりも重量が減少する丸太も生じ始めた。

また、スギ丸太の水中貯木による効果を検証するために、埼玉県飯能市吾野地区の西川材を用いて生材状態、貯木9ヶ月、貯木12ヶ月、輪掛状態の4条件で比較する実験計画のうち、生材状態の含水率と収縮率について計測した結果、以下の知見が得られた。

・伐り旬に伐採されたスギ丸太の含水率は、スギ丸太の横断面試験体の結果より、辺材部で含水率が最も高く、移行帯部で含水率が低下し、心材部で再び含水率が高くなることが確認された。

・収縮率については、方向別の収縮率比は接線方向、放射方向及び繊維方向で、文献等に示される既往の数値と同等であった。丸太の心材と辺材の収縮率については、接線方向では両者に差は認められなかったが、放射方向においては気乾までの収縮率と全収縮率で辺材部のものが心材よりも大きいことが分かった。

５．１０．８　部材の一部が生物劣化した実大伝統的木造建築物の水平耐力

伝統的構法によって建築された築約170年の平屋建て木造建築物（約50年前に一部の構造部材に変更が加えられている）に対して水平加力実験を行った結果、以下の知見が得られた。

① 耐力壁としての土塗り全壁は下屋に取り付いており、上屋は土塗り垂れ壁が主要な耐力要素であった。

② 多くの部材で腐朽・虫害が生じていた。

③ 最大1/25rad変形時に柱の差し鴨居接合部下にひび割れが生じた。

④ 1/10rad変形時にはほとんどの柱の差し鴨居接合部下でひび割れ、折損が生じた。ただし、鉛直支持能力は1/10radまで変形させても失われなかった。

⑤ 最大耐力は160kNと予想されたが、実際は112.9kNで予測値の約0.7倍であった。

⑥ 下屋外壁の変形角は上屋の変形角の0.6～1.0倍であった。

⑦ 供試した伝統木造民家では、下屋の屋根構面の水平剛性が十分でなかったため、下屋が上屋の変形に追随せず、建物全体の水平抵抗力における外周壁の寄与が低かった。

⑧ 外周壁は柱ごと脱落したり、大きくはらみ出したりと構面外への変形が目立った。このことから、小舞・貫と柱の接合力、小舞・貫と塗り土の付着力が低かったと考えられが、それが経年変化によるものか、施工上の不備によるものかは不明であった。