

令和3年度 木材製品の消費拡大対策のうち

CLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業

CLTパネルのリユースを実施するための性能評価手法の検討
事業報告書

令和5年2月

一般社団法人 日本CLT協会

目次

第1章 事業内容	1
1.1 本事業の目的	1
1.2 本事業の枠組み	1
1.3 実施体制	2
1.4 実施スケジュール	2
第2章 屋内環境における長期载荷試験	3
2.1 試験体	3
2.2 長期载荷試験	4
第3章 半年間の载荷状態が材料性能に及ぼす影響の検討	11
3.1 弾性係数の非破壊測定	11
3.2 面外曲げ試験	14
3.3 面内曲げ試験	21
3.4 面外せん断試験	28
3.5 面内せん断試験	32
3.6 縦圧縮試験	36
3.7 ブロックせん断試験	39
3.8 減圧加圧剝離試験	42
第4章 リユース CLT の簡便な検査方法の検討	43
4.1 ブロックせん断試験の試験条件と強度基準値の検討	43
4.2 検査方法の提案	53
第5章 本事業のまとめと今後の課題	54
5.1 本事業のまとめ	54
5.2 今後の課題	55
第6章 添付資料	56
6.1 全体委員会議事録	56
6.1.1 第1回 CLT リユース委員会 (20220517)	56
6.1.2 第2回 CLT リユース委員会 (20221025)	60
6.1.3 第3回 CLT リユース委員会 (20230126)	64

第1章 事業内容

1.1 本事業の目的

- ・建築物に半年間使用した CLT のリユースを可能とするため、建築物の構造部材として荷重が半年間載荷された CLT を対象として、強度性能に影響がないか検討するとともに、リユース前に材料性能を簡便に確認するための検査方法を開発、提案する。
- ・リユースの可否を簡便に確認できる方法を示すことができれば、CLT のリユースを円滑に行うことができるようになる。リユースという新たな手法が浸透することにより、仮設建築や時限建築などの用途が広がることも期待できる。
- ・また、建築物に使用される木材のライフサイクルにおいても、リユースの手法が整えば、CLT を長期に使用し続けることができ、森林において吸収した二酸化炭素を長く固定することができる。

1.2 本事業の枠組み

(1) 枠組み

- ① 「令和2年度 合板・製材・集成材国際競争力強化・輸出促進対策のうちCLT建築実証支援事業のうち CLT等木質建築部材技術開発・普及事業（リユース評価方法に係る提案）」として、CLT パネルのリユースを積極的に推進するため、JAS 及び指定建築材料に示された性能を、簡便に確認するための検査方法、性能評価手法を開発、提案し、事業の進行管理のため、開発・検討委員会を設置する。
- ② 委員会において、載荷試験を行う。試験体は、壁や床等にリユースされることを考慮する。また載荷していない試験体と合わせ、加力試験により CLT パネルの性能評価を行う。
- ③ 上記試験から、簡便な検査手法を開発し提案する。

(2) 委員会名簿

委員長	中島 史郎	(国大) 宇都宮大学 教授
委員	森 拓郎	(国大) 広島大学 准教授
	宮武 敦	(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 研究専門員
	宮本 康太	(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 室長
	大橋 義徳	(地独) 北海道立総合研究機構 林産試験場 研究主幹
	宮崎 淳子	(地独) 北海道立総合研究機構 林産試験場 主査
	高梨 隆也	(地独) 北海道立総合研究機構 林産試験場 研究主任
事務局	平原 章雄	木構造振興株式会社
	坂部 芳平	(一社) 日本 CLT 協会 専務理事
	中越 隆道	(一社) 日本 CLT 協会
	谷口 翼	(一社) 日本 CLT 協会
	小田 祐二	(一社) 日本 CLT 協会
	溝渕 木綿子	合同会社建設木材工学研究所

1.3 実施体制

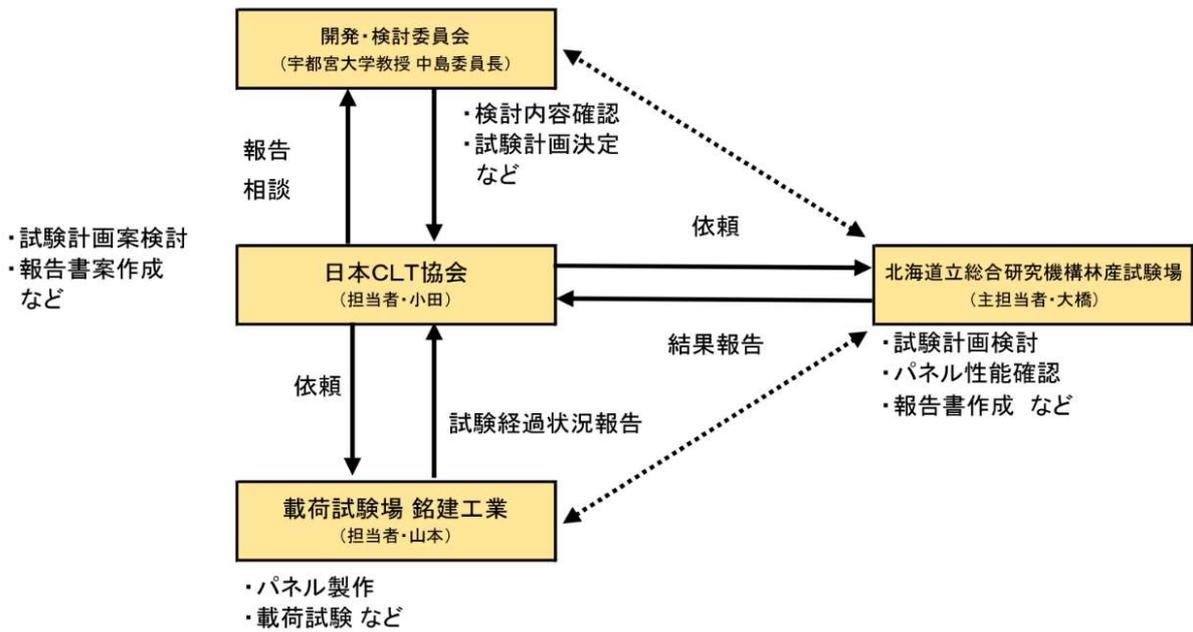


図 1-1 実施体制図

1.4 実施スケジュール

表 1-1 実施スケジュール表

年度	令和4年度											
月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	
委員会		(5/17) 第1回					(10/25) 第2回				(1/26) 第3回	
実験計画	■											
試験体基本図面作成	■											
载荷・試験方法検討	■											
CLTパネル発注・納品		■										
治具発注・納品		■										
载荷試験体設置			■									
载荷試験(6ヶ月)			■ 実験実施【銘建工業】 6/9 载荷開始							■ 配送 12/6 除荷~12/8	■ 配送【北林産試】 8->配送	
载荷後試験体の静的実験										■ 除荷から2週間以内 または 1か月以内に実施		
無载荷試験体の静的実験									■ 配送	■ 実験【北林産試】		
評価方法の検証・実験				■								
報告書作成										■ 林野庁様報告書作成・製本 ※委員回覧・査読		

第2章 屋内環境における長期载荷試験

仮設建築において CLT が壁や床等に半年間使用される状況を想定して、強度性能に影響を及ぼすかどうか調べるために半年間の载荷試験を行った。昨年度の結果では、曲げ試験では面外・面内加力ともに強度低下の傾向が見られたが、試験体数が少なく、ばらつきも大きかったため、再度検証することとした。今年度は、強度のばらつきを抑えるためにラミナのヤング係数の範囲を狭めるとともに、試験体のすべての平行層ラミナの純曲げ区間に縦継ぎ部が位置するように制御した試験体を用意した。また、昨年度の縦圧縮試験では载荷による強度低下は見られなかったが、すべての試験体が面内方向に座屈破壊したため、今年度は壁部材として想定される面外方向に座屈破壊するように試験体寸法を調整して再度検証することとした。

2.1 試験体

試験体用 CLT パネルは、5層5プライ（積層厚さ 150mm）とし、水性高分子-イソシアネート系接着剤によりたて継ぎおよび積層したものをを用いた。スギラミナは仕上げ寸法 30×122mm とし、強度等級は集成材の日本農林規格で規定されているラミナ強度等級の L70 に区分されたものを全層に用いた。CLT の強度等級としては S60 に相当する。

マザーボード4枚（幅 3.0m×長さ 4.0m）から各種試験体を採材した。採材位置を図 2-1 に示す。前述のとおり、試験体の強度のばらつきを抑えるために、図 2-2 に示すように、試験体のすべての平行層ラミナの純曲げ区間にたて継ぎ部が位置するように制御しながら CLT パネルの製作と試験体の採材に注意した。

载荷方向はいずれも強軸方向で面外曲げ、面内曲げ、縦圧縮とした。面外曲げ試験体の寸法は幅 300 mm 長さ 3300 mm、面内曲げ試験体の寸法は幅（面内）180 mm、長さ 3300 mm、圧縮試験体の寸法は幅 100 mm、長さ 1000 mm とした。

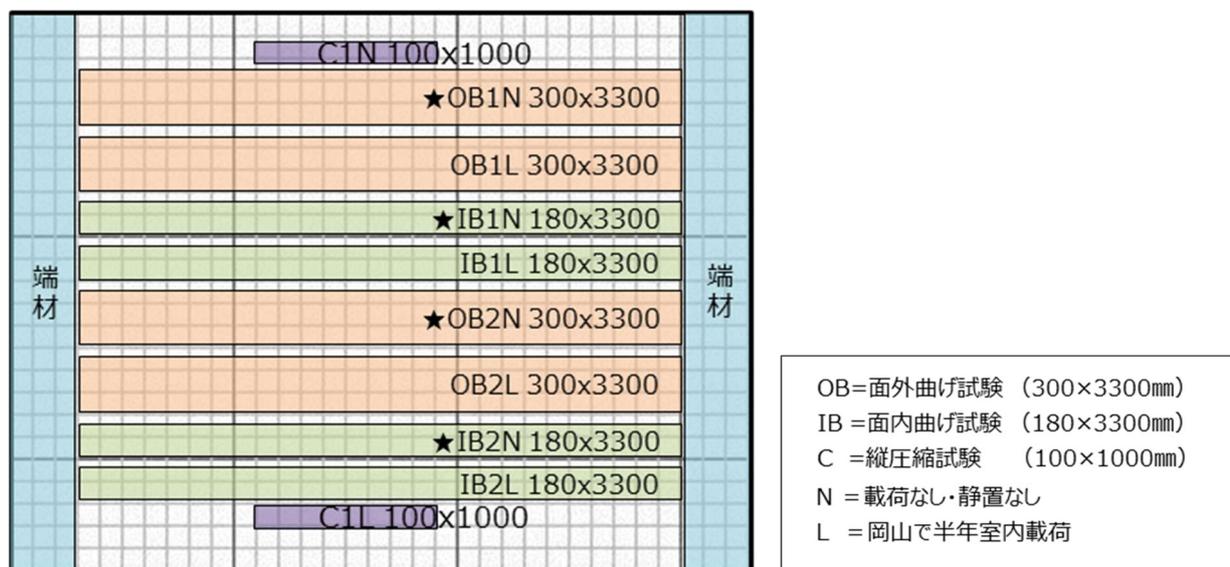
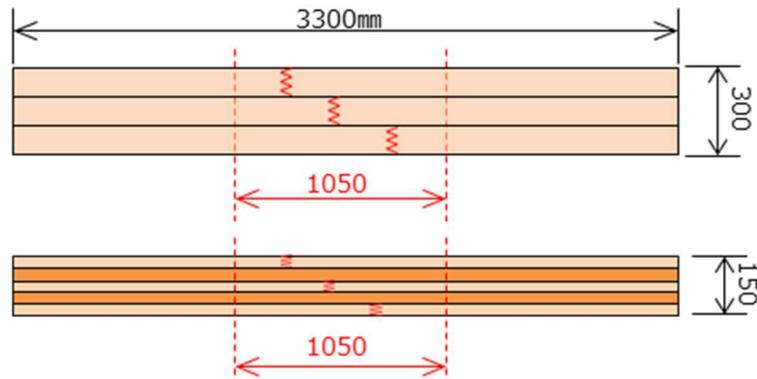


図 2-1 マザーボードと各試験体の採取位置の例



※荷重点間1050mmの間にFJが必ず入るようにする

図 2-2 試験体の中央部にたて継ぎが配置されるイメージ図

2.2 長期载荷試験

各試験における基準強度値

本試験体の基準強度は以下の通り計算される。

面外曲げ基準強度については、以下の式で表される。

$$F_b = 0.4875 \times \sigma_{b_oml} \frac{I_A}{I_o}$$

ただし

$$I_A = \frac{\sum (E_i I_i + E_i A_i z_i^2)}{E_o}$$

ここで、 σ_{b_oml} ：最も外側の層に使用する強軸ラミナの曲げ強度、 E_i ：一方の外層から数えて i 番目の層に使用するラミナの曲げヤング係数（弱軸ラミナはゼロ）、 I_i ： i 番目の層の断面二次モーメント、 A_i ： i 番目の層の断面積、 z_i ：CLT の中立軸と i 番目の層のラミナの重心との距離、 E_o ：最も外側の層に使用する強軸ラミナの曲げヤング係数、 A_o ：CLT の断面積、 I_o ：CLT の断面二次モーメント。

本研究での試験体を強度等級 Mx60 と考え、 σ_{b_oml} を 27.0 N/mm^2 、 E_i ($i=1, 5$) を 6000 N/mm^2 、 E_i ($i=3$) を 3000 N/mm^2 とすると面外曲げ基準強度 F_b は 10.4 N/mm^2 と算出される。

面内曲げ基準強度については、以下の式で表される。

$$F_b = 0.6 \times \sigma_{b_oml} \frac{A_A}{A_o}$$

ただし

$$A_A = \frac{\sum E_i A_i}{E_o}$$

ここで、 σ_{b_oml} ：最も外側の層に使用する強軸ラミナの曲げ強度、 E_i ：一方の外層から数えて i 番目の層に使用するラミナの曲げヤング係数（弱軸ラミナはゼロ）、

A_i : i 番目の層の断面積、 E_o : 最も外側の層に使用する強軸ラミナの曲げヤング係数、 A_o : CLT の断面積

面外曲げ基準強度と同様に強度等級 Mx60 として σ_{b_oml} を 27.0 N/mm^2 、 E_i ($i=1, 5$) を 6000 N/mm^2 、 E_i ($i=3$) を 3000 N/mm^2 とすると面内曲げ基準強度 F_b は 8.1 N/mm^2 と算出される。

面外せん断基準強度については、樹種により規定されており、スギでは 0.9 N/mm^2 である。

面内せん断基準強度は以下の式で表される。

$$F_s = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{v_lam_0} \\ f_{v_lam_90} \frac{t_{net}}{t_{gross}} \\ \frac{3bn_{ca}}{8t_{gross}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{f_{v_tor}} \left(1 - \frac{1}{m^2}\right) + \frac{2}{f_R} \left(\frac{1}{m} - \frac{1}{m^2}\right)} \end{array} \right\}$$

ここで、 $f_{v_lam_0}$: ラミナの繊維方向のせん断強度 (スギの場合 2.7 N/mm^2)、 $f_{v_lam_90}$: ラミナの繊維方向と直交する方向のせん断強度 (スギの場合 8.1 N/mm^2)、 t_{net} : 外層に直交する層の厚さの合計、 t_{gross} : CLT の厚さ、 b : ラミナの幅、 n_{ca} : CLT の直交接着層の数、 f_{v_tor} : 接着された直交する2つのラミナの交差面のねじりせん断強度 (スギの場合 3.0 N/mm^2)、 f_R : ローリングシア強度 (スギの場合 1.5 N/mm^2)、 m : 各層のラミナの幅方向の数のうち最小の値

本研究での試験体では $t_{net} = 60 \text{ mm}$ 、 $t_{gross} = 150 \text{ mm}$ 、 $n_{ca} = 4$ 、 $m = 2$ となりこれらを代入すると面内せん断基準強度は $F_s = 2.1 \text{ N/mm}^2$ となる。

圧縮基準強度については、以下の式で表される。

$$F_c = 0.75 \times \sigma_{c_oml} \frac{A_A}{A_o}$$

ただし

$$A_A = \frac{\sum E_i A_i}{E_o}$$

ここで、 σ_{c_oml} : 最も外側の層に使用する強軸ラミナの圧縮強度、 E_i : 一方の外層から数えて i 番目の層に使用するラミナの曲げヤング係数 (弱軸ラミナはゼロ)、 A_i : i 番目の層の断面積、 E_o : 最も外側の層に使用する強軸ラミナの曲げヤング係数、 A_o : CLT の断面積。

曲げ基準強度と同様に強度等級 Mx60 として σ_{c_oml} を 21.6 N/mm^2 、 E_i ($i=1, 5$) を 6000 N/mm^2 、 E_i ($i=3$) を 3000 N/mm^2 とすると圧縮基準強度 F_c は 8.1 N/mm^2 と算出される。

試験方法

載荷荷重は前節で計算した基準強度を参考にしながら、長期許容応力度に相当するように設定した。1 体あたりの荷重として面外曲げ載荷試験体で 873 kg 、面内曲げ載荷試験体で 490 kg とした。この荷重により生じる曲げおよびせん断応力は、面外曲げ基準強度の 37%、面外せん断基準強度の 14%、面内曲

げ基準強度の 37%、面内せん断基準強度の 4%となった。縦圧縮荷試験体においては、昨年度は面内方向の座屈が生じたことから、今年度は試験体幅を 2 倍に変更し、載荷荷重も昨年度の 2 倍となるように 2754 kg としたが、この荷重により生じる縦圧縮応力は縦圧縮基準強度の 22%に相当するものとなった。いずれの試験においても昨年度より大幅に荷重が増加するため、安全性と効率性に留意しながら、図 2-3~2-4 に示すように錘を増量して載荷試験を行うこととした。

長期載荷試験は、銘建工業の工場内で 2022 年 6 月 9 日から 12 月 6 日まで 6 か月間行った。載荷状況を図 2-5~2-7 に示す。試験体数は、面外曲げ載荷試験体 8 体、面内曲げ載荷試験体 8 体、縦圧縮載荷試験体 4 体とした。また、それぞれのサイドマッチで同寸法の試験体を同数採材し、長期載荷試験を実施した環境下で同期間静置した。なお、試験環境は空調設備のない温湿度無調整の環境であった。

結果と考察

載荷期間に周辺環境の温湿度 (図 2-8)、高周波式測定器による試験体表面の含水率 (図 2-9)、スパン中央のたわみ量 (図 2-10) を計測した。いずれの試験においても、載荷直後の初期変形は約 7~8 mm となり、試験体のヤング係数が同等であることを示した。載荷中は梅雨から夏季を経て冬季に向かって湿度が 80%から 40%まで低下しているが、クリープ変形は初期に増大してからはさほど進行しておらず、急激な含水率変動が少ない温湿度環境で、地震等の揺れもなく、異常のない適切な載荷状態であったことが示唆された。また、除荷直後に初期変形に相当する量のたわみが回復したことも確認された。

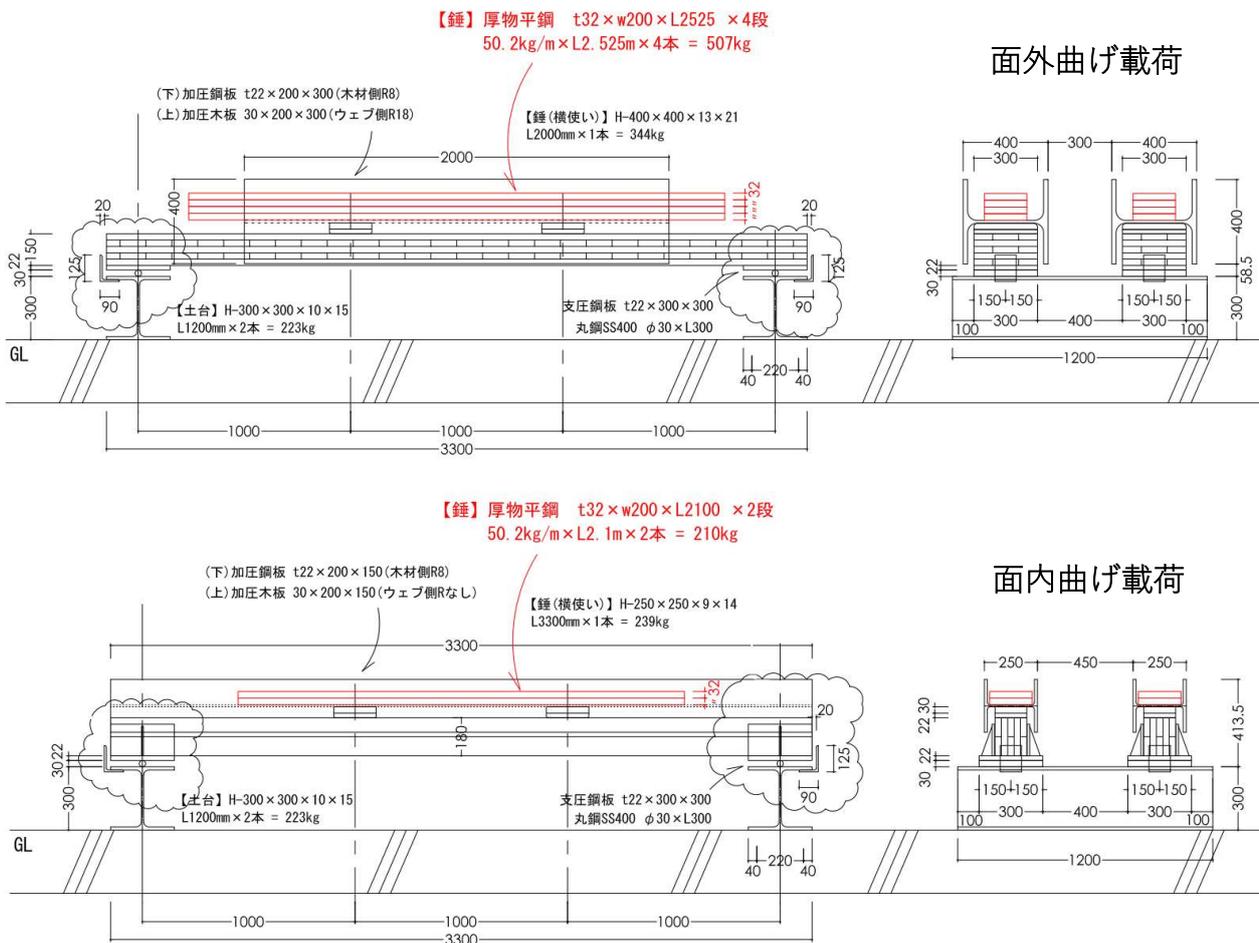


図 2-3 面外曲げおよび面内曲げ載荷試験の計画図 (赤色部分が昨年度から追加した錘)

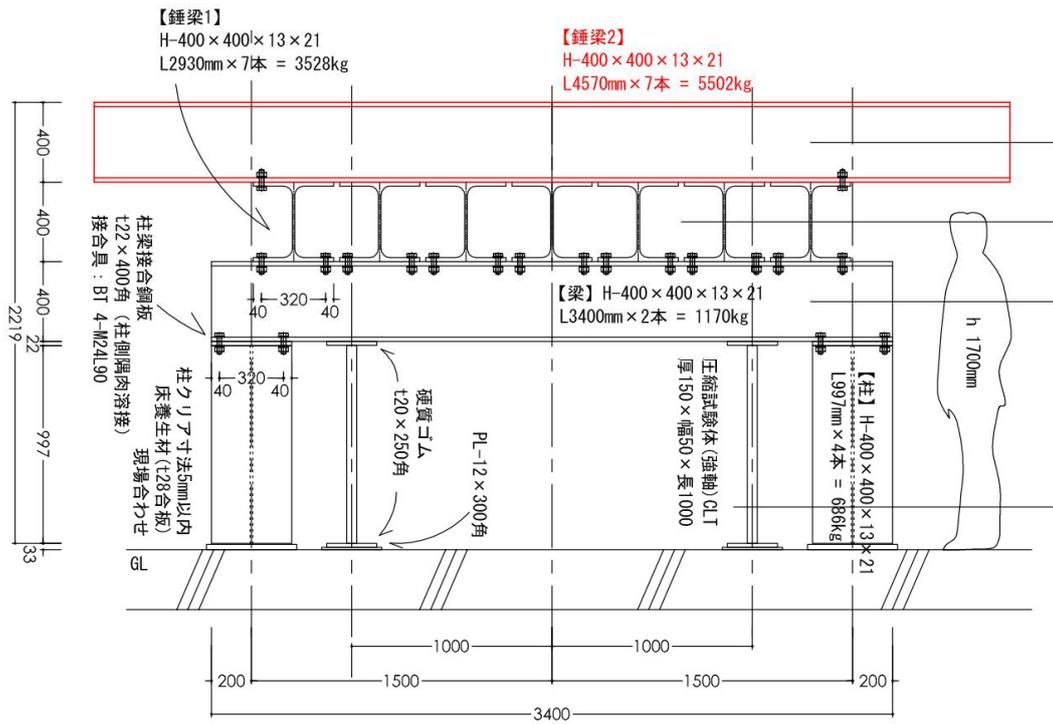


図 2-4 縦圧縮載荷試験の計画図（赤色部分が昨年度から追加した錘）



図 2-5 面外曲げ載荷試験の状況

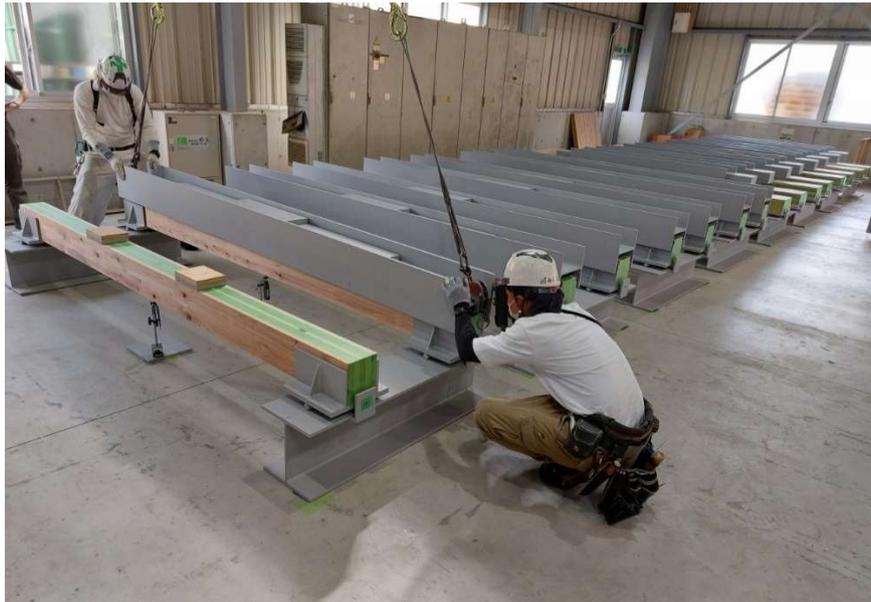


図 2-6 面内曲げ载荷試験の状況



図 2-7 縦圧縮载荷試験の状況

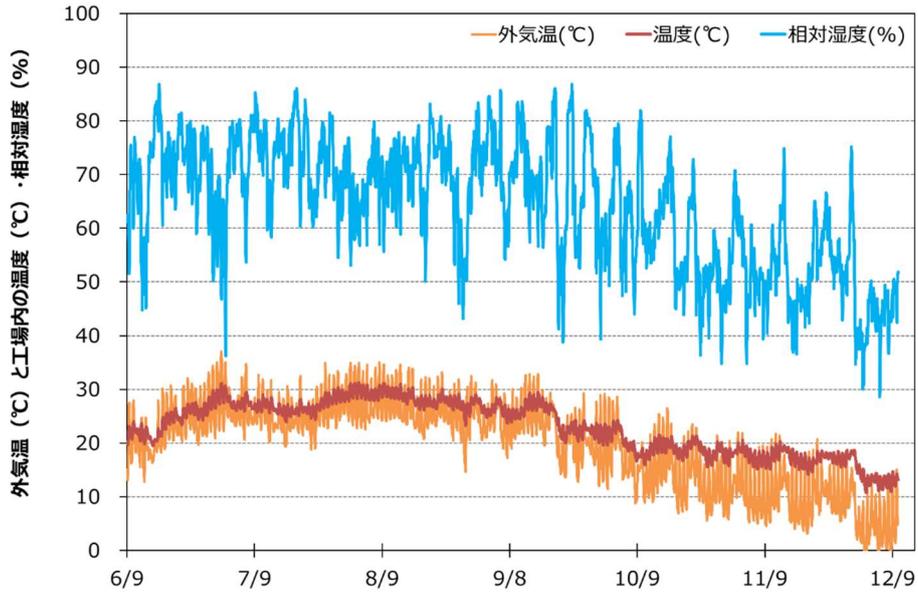


図 2-8 試験環境の温湿度変動

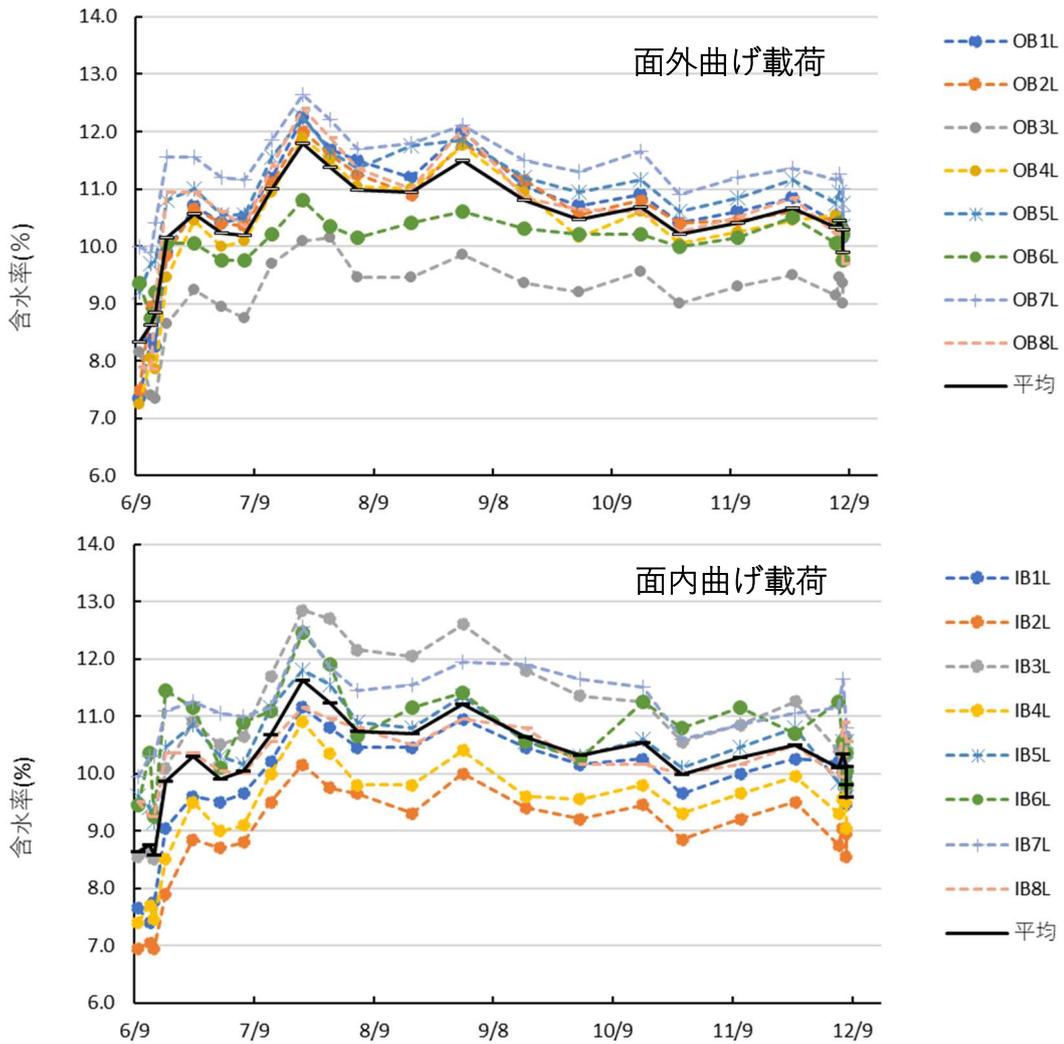


図 2-9 高周波式による含水率挙動

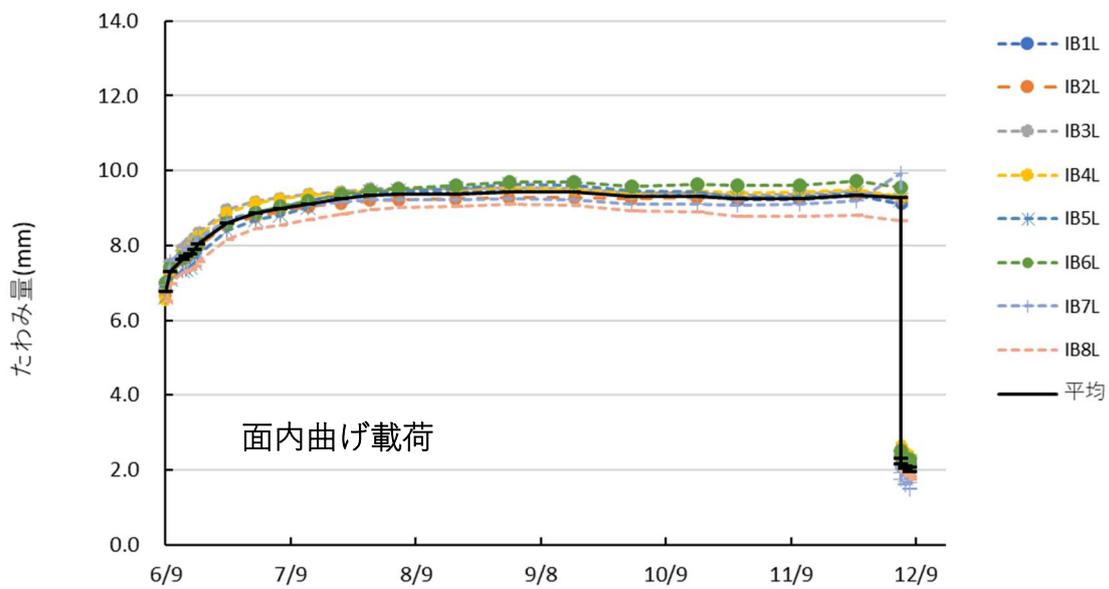
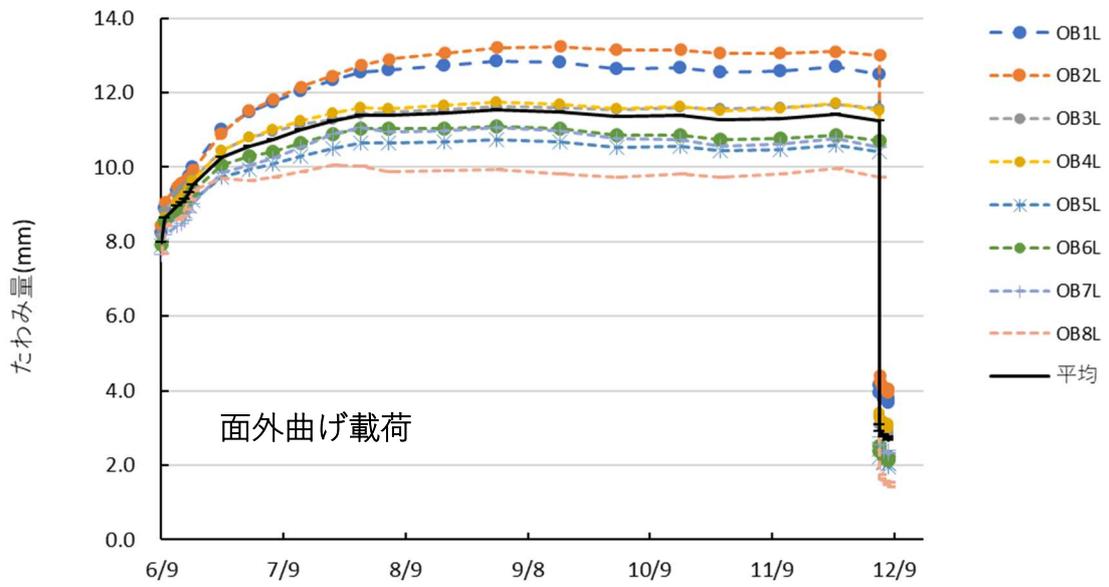


図 2-10 曲げ载荷試験におけるスパン中央のたわみ挙動

第3章 半年間の荷重状態が材料性能に及ぼす影響の検討

昨年度に引き続き、半年間の荷重による CLT の材料性能に及ぼす影響を、実大サイズの CLT を用いた材料強度試験によって明らかにすることを目的として、荷重履歴のある試験体（以下、荷重試験体と呼ぶ）と荷重履歴のない試験体（以下、無荷重試験体と呼ぶ）を対象に実大強度試験を行い、荷重履歴が材料強度に及ぼす影響を調べた。弾性係数の非破壊測定、面外曲げ試験、面内曲げ試験、面外せん断試験、面内せん断試験、縦圧縮試験、ブロックせん断試験を行った。なお、面外せん断試験と面内せん断試験については、昨年度の結果で荷重履歴の影響は見られなかったが、今年度は荷重レベルを変更しているため、少ない試験体数ではあるが、参考までに再検証した。

3.1 弾性係数の非破壊測定

試験体は面外荷重試験体、面外無荷重試験体、面内荷重試験体、面内無荷重試験体それぞれ 8 体、縦圧縮荷重試験体および縦圧縮無荷重試験体 4 体ずつである。

荷重試験体では荷重前および除荷後、無荷重試験体では荷重試験体の除荷後での計測時と同時に測定を行った。面外試験体および面内試験体では縦振動法による動的ヤング係数 (E_{fr})、たわみ振動法による曲げヤング係数 (E_{afb})、縦圧縮試験体では縦振動法による動的ヤング係数 (E_{fr}) を測定した。 E_{afb} は面外試験体では積層方向、面内試験体では幅方向で測定した。

測定結果を表 3-1~3-6 に示す。弾性係数の低下は最大でも 3%程度であり弾性係数は荷重により変化しないと考えられる。また、長期荷重試験に用いた試験体と、荷重なしとした試験体で各種弾性係数に大差はなく、同質の試験体を試験に用いることができたと考えられる。

表 3-1 面外無荷重試験体の非破壊測定結果

No.	E_{fr} kN/mm ²	E_{afb} kN/mm ²
OB1N	4.58	5.37
OB2N	4.55	5.29
OB3N	4.84	5.74
OB4N	4.91	5.77
OB5N	4.72	5.65
OB6N	5.01	5.60
OB7N	4.97	6.10
OB8N	5.13	5.95
平均	4.84	5.68
標準偏差	0.21	0.27
変動係数	4.3%	4.8%

E_{fr} ：縦振動ヤング係数、

E_{afb} ：たわみ振動法による曲げヤング係数

表 3-2 面外載荷試験体の非破壊測定結果

No.	載荷前		載荷後		載荷後/載荷前	
	E_{fr}	E_{afb}	E_{fr}	E_{afb}	E_{fr}	E_{afb}
	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²		
OB1L	4.70	5.69	4.76	5.51	1.01	0.97
OB2L	4.53	5.04	4.60	5.67	1.01	1.12
OB3L	4.82	5.67	4.89	5.72	1.01	1.01
OB4L	4.85	6.03	4.91	5.85	1.01	0.97
OB5L	5.00	5.84	5.08	6.07	1.02	1.04
OB6L	4.85	5.76	4.91	6.00	1.01	1.04
OB7L	5.26	6.25	5.31	6.06	1.01	0.97
OB8L	4.92	5.78	4.98	6.21	1.01	1.08
平均	4.87	5.76	4.93	5.89	1.01	1.03
標準偏差	0.21	0.35	0.21	0.24	0.00	0.06
変動係数	4.4%	6.1%	4.3%	4.1%	0.2%	5.5%

E_{fr} ：縦振動ヤング係数、 E_{afb} ：たわみ振動法による曲げヤング係数

表 3-3 面内無載荷試験体の非破壊測定結果

No.	E_{fr}	E_{afb}
	kN/mm ²	kN/mm ²
IB1N	4.65	4.35
IB2N	4.39	4.06
IB3N	5.10	4.69
IB4N	4.45	4.19
IB5N	4.82	4.42
IB6N	5.00	4.61
IB7N	5.29	4.90
IB8N	5.20	4.96
平均	4.86	4.52
標準偏差	0.34	0.32
変動係数	7.1%	7.2%

E_{fr} ：縦振動ヤング係数、

E_{afb} ：たわみ振動法による曲げヤング係数

表 3-4 面内載荷試験体の非破壊測定結果

No.	載荷前		載荷後		載荷後/載荷前	
	E_{fr}	E_{afb}	E_{fr}	E_{afb}	E_{fr}	E_{afb}
	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²		
IB1L	4.95	4.63	5.01	4.49	1.01	0.97
IB2L	4.95	4.68	5.00	4.69	1.01	1.00
IB3L	4.74	4.58	4.82	4.59	1.02	1.00
IB4L	4.87	4.66	4.92	4.65	1.01	1.00
IB5L	4.90	4.62	4.99	4.66	1.02	1.01
IB6L	4.79	4.24	4.86	4.57	1.01	1.08
IB7L	4.62	4.39	4.68	4.40	1.01	1.00
IB8L	5.01	4.72	5.09	4.74	1.02	1.01
平均	4.85	4.56	4.92	4.60	1.01	1.01
標準偏差	0.13	0.17	0.13	0.11	0.00	0.03
変動係数	2.7%	3.6%	2.7%	2.4%	0.3%	3.0%

E_{fr} ：縦振動ヤング係数、 E_{afb} ：たわみ振動法による曲げヤング係数

表 3-5 縦圧縮無載荷試験体の非破壊測定結果

No.	E_{fr} kN/mm ²
C1N	4.46
C2N	4.52
C3N	4.71
C4N	4.87
平均	4.64
標準偏差	0.18
変動係数	4.0%

E_{fr} ：縦振動ヤング係数

表 3-6 縦圧縮載荷試験体の非破壊測定結果

No.	載荷前	載荷後	載荷後/載荷前
	E_{fr}	E_{fr}	
	kN/mm ²	kN/mm ²	
C1L	4.67	4.69	1.01
C2L	4.34	4.36	1.00
C3L	4.84	4.88	1.01
C4L	4.69	4.79	1.02
平均	4.64	4.68	1.01
標準偏差	0.21	0.23	0.01
変動係数	4.5%	4.8%	0.7%

E_{fr} ：縦振動ヤング係数

3.2 面外曲げ試験

試験体および試験方法

試験体寸法は幅 300 mm×厚さ 150 mm×長さ 3300 mm であり、試験体数は面外無載荷試験体 6 体および、面外載荷試験体 6 体である。試験は木材実大強度試験（東京衡機製造所製 最大曲げ容量 200 kN）を用いて行った（図 3-1）。荷重条件は支点間スパン 3000 mm とした 3 等分点 4 点荷重方式、クロスヘッドの移動速度は 12 mm/分とした。材長中央の中立軸で支点間スパンの全たわみ (δ) および荷重点中央 800mm 区間で純曲げたわみ (δ_b) を測定した。以下の式により見かけの曲げヤング係数 (E_m)、真の曲げヤング係数 (E_b)、曲げ強度 (σ_b) を算出した。

$$E_m = \frac{a(3L^2 - 4a^2)\Delta P}{4bh^3\Delta\delta_t}$$

$$E_b = \frac{3al^2\Delta P}{4bh^3\Delta\delta_b}$$

$$\sigma_b = \frac{3aP_{\max}}{bh^2}$$

ここで、 a : 支点から荷重点までの距離 (1000 mm)、 L : 支点間スパン (3000 mm)、 ΔP : 比例域における上限荷重と下限荷重の差、 b : 試験体幅、 h : 試験体材せい、 $\Delta\delta$: ΔP に対応する支点間たわみ、 l : 荷重点間中央変位測定区間 (800 mm)、 $\Delta\delta_b$: ΔP に対応する荷重点間たわみ、 P_{\max} : 最大荷重

試験終了後、試験体から切片を採取し、全乾法により試験時の含水率を算出した。

結果と考察

結果を表 3-7~3-8 および図 3-2 に、荷重-全たわみの関係を図 3-3 に示す。表 3-7~3-8 には試験前（長期載荷除荷後）に行った非破壊測定による弾性係数の結果もあわせて示し、図 3-4 に各曲げ弾性係数の関係および曲げ弾性係数と曲げ強度の関係を示す。また、図 3-5~3-6 に各試験体の破壊形態を示す。

なお、曲げヤング係数の計算値は、以下の式により平均値に相当する値を算出した。

$$\text{曲げヤング係数計算値} = \frac{\sum(E_i I_i + E_i A_i z_i^2)}{I_o}$$

ここで、 E_i : 一方の外層から数えて i 番目の層に使用するラミナの曲げヤング係数（弱軸ラミナはゼロ）、 I_i : i 番目の層の断面二次モーメント、 A_i : i 番目の層の断面積、 z_i : CLT の中立軸と i 番目の層のラミナの重心との距離、 I_o : CLT の断面二次モーメント。パネル強度等級 Mx60 として $E_i (i = 1, 5) = 6000 \text{ N/mm}^2$ 、 $E_i (i = 3) = 3000 \text{ N/mm}^2$ とした。

また、曲げ強度の計算値は以下の式により平均値に相当する値および下限値に相当する値を算出した。

$$\text{曲げ強度計算値} = \phi \sigma_{b_oml} \frac{\sum(E_i I_i + E_i A_i z_i^2)}{E_o I_o}$$

ここで、 ϕ : 係数（平均値に相当する値の算出では 0.65、下限値に相当する値の算出では 0.4875）、 E_o : 最も外側の層に使用する強軸ラミナの曲げヤング係数、 σ_{b_oml} : 最も外側の層に使用する強軸ラミナの曲げ強度（ σ_{b_oml} には直交集成板の日本農林規格に規定される M60 ラミナの曲げ強度平均値 27.0 N/mm² を用いた）。

破壊形態は、ほとんどの試験体で平行層ラミナのフィンガージョイント部を起点とする曲げ破壊であった。曲げヤング係数は載荷試験体で無載荷試験体に比べ高くなる傾向であった。曲げ強度の載荷の有無による違いは観察されなかった。真の曲げヤング係数および曲げ強度について、平均値および下限値はすべて計算値を上回っており、半年程度の載荷履歴があるスギ CLT の面外曲げ性能の低下はなく、設計上支障なく使用できるものと考えられる。



図 3-1 面外曲げ試験の様子

表 3-7 面外無載荷試験体の面外曲げ試験結果

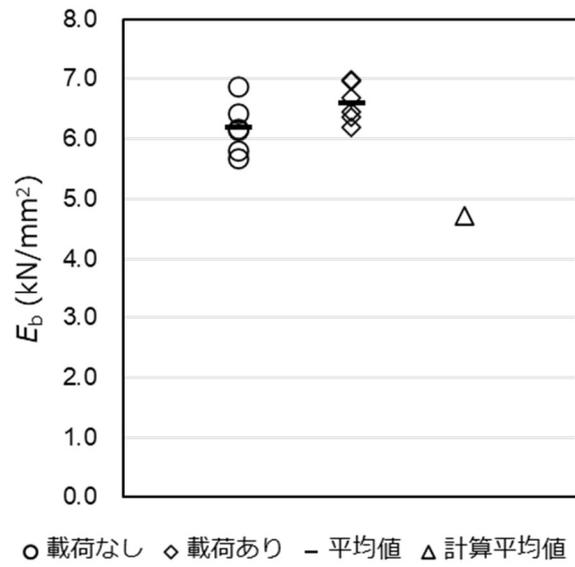
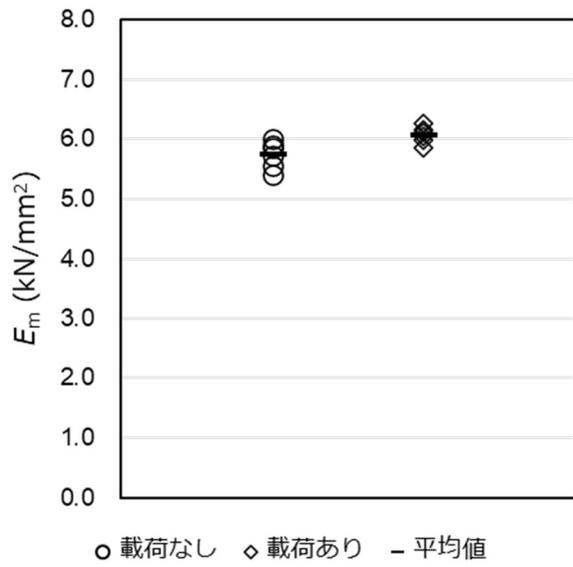
No.	E_{fr}	E_{afb}	E_m	E_b	σ_b	破壊 形態	破壊 時間 分	含水率 %
	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	N/mm ²			
OB1N	4.58	5.37	5.55	5.68	21.5	曲げ	3.9	10.9
OB2N	4.55	5.29	5.41	5.81	16.5	曲げ	3.1	11.2
OB3N	4.84	5.74	5.90	6.17	22.7	曲げ	4.1	10.6
OB4N	4.91	5.77	6.00	6.89	18.3	曲げ	3.2	10.8
OB5N	4.72	5.65	5.85	6.43	17.3	曲げ	3.1	10.8
OB6N	5.01	5.60	5.73	6.16	15.0	曲げ	2.8	10.1
平均値	4.77	5.57	5.74	6.19	18.5			
変動係数	3.9%	3.5%	3.9%	7.0%	16.2%			
5%下限値(正規分布仮定)					11.5			
5%下限値(平均値×0.75)					13.9			
計算平均値				4.73	13.8			
計算下限値					10.4			

E_{fr} ：縦振動ヤング係数、 E_{afb} ：たわみ振動法による曲げヤング係数、 E_m ：曲げ試験による見かけの曲げヤング係数、 E_b ：曲げ試験による真の曲げヤング係数、 σ_b ：曲げ強度

表 3-8 面外載荷試験体の面外曲げ試験結果

No.	E_{fr}	E_{afb}	E_m	E_b	σ_b	破壊 形態	破壊 時間 分	含水率 %
	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	N/mm ²			
OB1L	4.76	5.51	5.99	6.45	15.6	曲げ	2.9	10.1
OB2L	4.60	5.67	5.85	6.36	17.1	曲げ	3.2	10.3
OB3L	4.89	5.72	6.05	6.20	17.3	曲げ	3.0	9.9
OB4L	4.91	5.85	6.27	6.96	19.9	曲げ	3.2	10.7
OB5L	5.08	6.07	6.17	6.69	19.7	曲げ	3.2	10.5
OB6L	4.91	6.00	6.11	6.98	22.1	曲げ	3.6	10.4
平均値	4.86	5.80	6.07	6.61	18.6			
変動係数	3.3%	3.7%	2.4%	4.9%	12.7%			
5%下限値(正規分布仮定)					13.1			
5%下限値(平均値×0.75)					14.0			
計算平均値				4.73	13.8			
計算下限値					10.4			

E_{fr} : 縦振動ヤング係数、 E_{afb} : たわみ振動法による曲げヤング係数、 E_m : 曲げ試験による見かけの曲げヤング係数、 E_b : 曲げ試験による真の曲げヤング係数、 σ_b : 曲げ強度



E_m : 曲げ試験による見かけの曲げヤング係数

E_b : 曲げ試験による真の曲げヤング係数

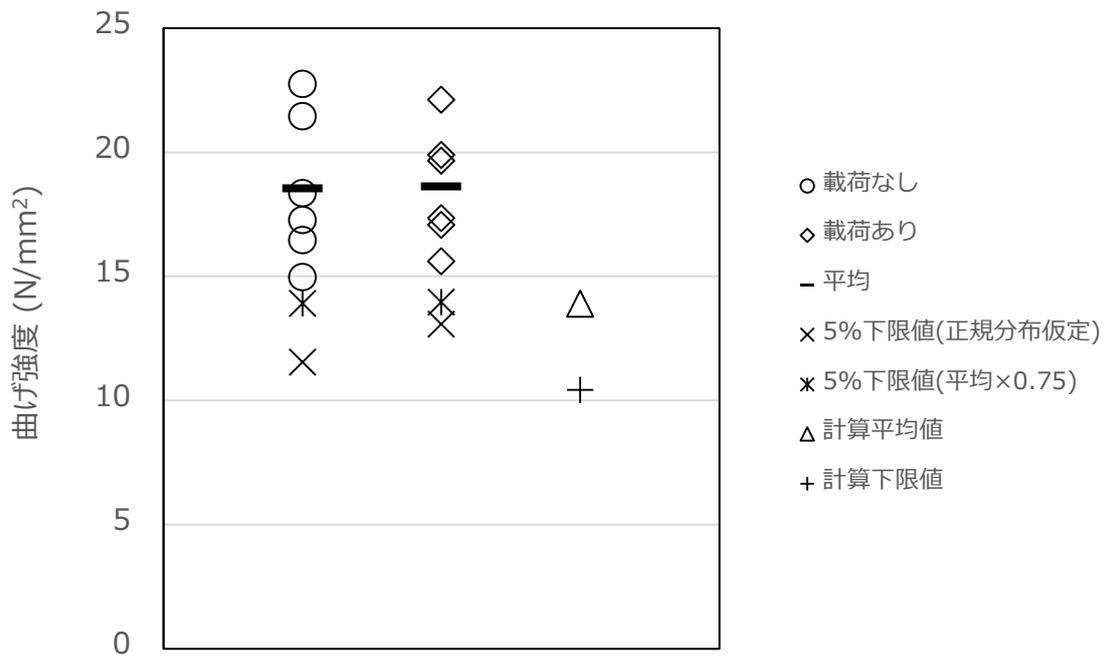


図 3-2 面外曲げ試験の結果

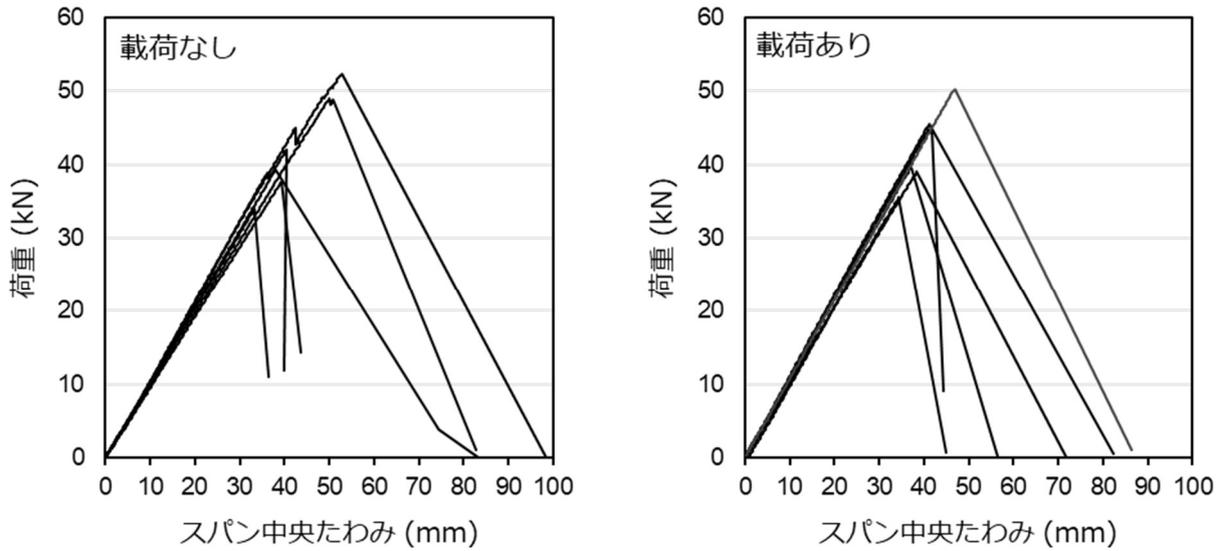
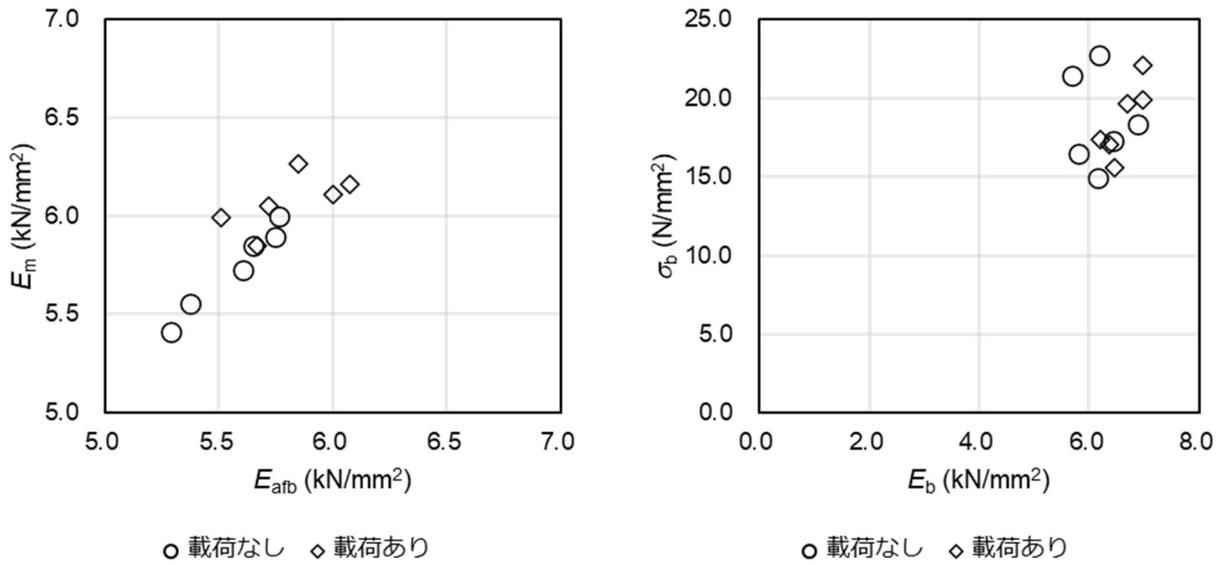


図 3-3 面外曲げ試験の荷重-変位曲線



σ_b : 曲げ強さ
 E_{afb} : たわみ振動法による曲げヤング係数
 E_m : 曲げ試験による見かけの曲げヤング係数
 E_b : 曲げ試験による真の曲げヤング係数

図 3-4 測定方法が異なる曲げ弾性係数間の関係および曲げ弾性係数と曲げ強度の関係



図 3-5 面外曲げ試験の破壊形態（無荷重試験体）



図 3-6 面外曲げ試験の破壊形態 (載荷試験体)

3.3 面内曲げ試験

試験体および試験方法

試験体寸法は幅 180 mm×厚さ 150 mm×長さ 3300 mm であり、試験体数は面内無載荷試験体 6 体および、面内載荷試験体 6 体である。試験は木材実大強度試験(東京衡機製造所製 最大曲げ容量 200 kN)を用いて行った(図 3-7)。荷重条件は支点間スパン 3000 mm とした 3 等分点 4 点荷重方式、クロスヘッドの移動速度は 12 mm/分とした。材長中央の中立軸で支点間スパンの全たわみ (δ)および荷重点中央 800mm 区間で順曲げたわみ (δ_b)を測定した。以下の式により見かけの曲げヤング係数 (E_m)、真の曲げヤング係数 (E_b)、曲げ強度 (σ_b)を算出した。

$$E_m = \frac{a(3L^2 - 4a^2)\Delta P}{4bh^3\Delta\delta_t}$$

$$E_b = \frac{3al^2\Delta P}{4bh^3\Delta\delta_b}$$

$$\sigma_b = \frac{3aP_{\max}}{bh^2}$$

ここで、 a : 支点から荷重点までの距離 (1000 mm)、 L : 支点間スパン (3000 mm)、 ΔP : 比例域における上限荷重と下限荷重の差、 b : 試験体幅、 h : 試験体材せい、 $\Delta\delta$: ΔP に対応する支点間たわみ、 l : 荷重点間中央変位測定区間 (800 mm)、 $\Delta\delta_b$: ΔP に対応する荷重点間たわみ、 P_{\max} : 最大荷重

試験終了後、試験体から切片を採取し、全乾法により試験時の含水率を算出した。

結果と考察

結果を表 3-9~3-10 および図 3-8 に、荷重-全たわみの関係を図 3-9 に示す。表 3-9~3-10 には試験前に行った非破壊測定による弾性係数の結果もあわせて示し、図 3-10 に各曲げ弾性係数の関係および曲げ弾性係数と曲げ強度の関係を示す。また、図 3-11~3-12 に各試験体の破壊形態を示す。

なお、曲げヤング係数の計算値は、以下の式により平均値に相当する値を算出した。

$$\text{曲げヤング係数計算値} = \frac{\sum(E_i A_i)}{A_o}$$

ここで、 E_i : 一方の外層から数えて i 番目の層に使用するラミナの曲げヤング係数(弱軸ラミナはゼロ)、 A_i : i 番目の層の断面積、 A_o : CLT の断面積。パネル強度等級 Mx60 として $E_i (i = 1, 5) = 6000 \text{ N/mm}^2$ 、 $E_i (i = 3) = 3000 \text{ N/mm}^2$ とした。

また、曲げ強度の計算値は以下の式により平均値に相当する値および下限値に相当する値を算出した。

$$\text{曲げ強度計算値} = \phi \sigma_{b_oml} \frac{\sum(E_i A_i)}{E_o I_o}$$

ここで、 ϕ : 係数(平均値に相当する値の算出では 0.8、下限値に相当する値の算出では 0.6)、 E_o : 最も外側の層に使用する強軸ラミナの曲げヤング係数、 σ_{b_oml} : 最も外側の層に使用する強軸ラミナの曲げ強度 (σ_{b_oml} には直交集成板の日本農林規格に規定される M60 ラミナの曲げ強度平均値 27.0 N/mm^2 を用いた)。

破壊形態は、ほとんどの試験体で平行層ラミナのフィンガージョイント部を起点とする曲げ破壊であった。曲げヤング係数は載荷試験体で無載荷試験体に比べ高くなる傾向であった。曲げ強度の載荷の有

無による違いは観察されなかった。真の曲げヤング係数および曲げ強度について、平均値および下限値はすべて計算値を上回っており、半年程度の载荷履歴があるスギ CLT の面内曲げ性能の低下はなく、設計上支障なく使用できるものと考えられる。



図 3-7 面内曲げ試験の様子

表 3-9 面内無载荷試験体の面内曲げ試験結果

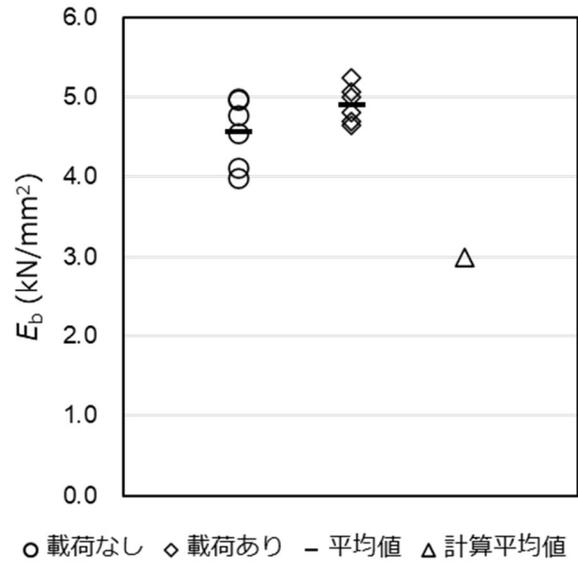
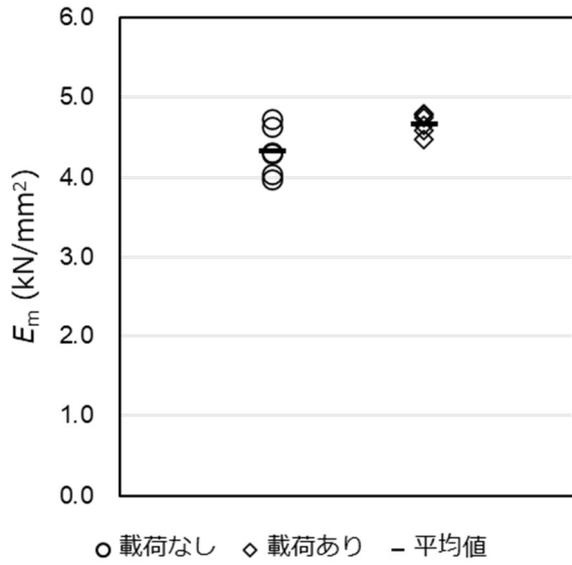
No.	E_{fr}	E_{afb}	E_m	E_b	σ_b	破壊 形態	破壊 時間 分	含水率 %
	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	N/mm ²			
IB1N	4.35	4.63	4.30	4.55	13.8	曲げ	2.8	10.4
IB2N	4.06	4.26	3.97	3.99	16.0	曲げ	3.2	10.6
IB3N	4.69	5.19	4.72	4.98	14.9	曲げ	2.6	10.3
IB4N	4.19	4.40	4.03	4.12	15.3	曲げ	3.1	11.0
IB5N	4.42	4.78	4.31	4.96	14.3	曲げ	2.6	10.2
IB6N	4.61	4.95	4.63	4.77	16.4	曲げ	2.9	10.5
平均値	4.39	4.70	4.33	4.56	15.1			
変動係数	5.5%	7.3%	7.0%	9.3%	6.5%			
5%下限値(正規分布仮定)					12.8			
5%下限値(平均値×0.75)					11.3			
計算平均値				3.00	10.8			
計算下限値					8.1			

E_{fr} ：縦振動ヤング係数、 E_{afb} ：たわみ振動法による曲げヤング係数、 E_m ：曲げ試験による見かけの曲げヤング係数、 E_b ：曲げ試験による真の曲げヤング係数、 σ_b ：曲げ強度

表 3-10 面内載荷試験体の面内曲げ試験結果

No.	E_{fr}	E_{afb}	E_m	E_b	σ_b	破壊 形態	破壊 時間 分	含水率 %
	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	N/mm ²			
IB1L	5.01	4.49	4.65	4.70	15.3	曲げ	2.8	9.9
IB2L	5.00	4.69	4.79	5.06	15.8	曲げ	2.8	9.9
IB3L	4.82	4.59	4.74	4.99	18.3	曲げ	3.3	10.7
IB4L	4.92	4.65	4.79	5.24	17.3	曲げ	3.1	10.0
IB5L	4.99	4.66	4.59	4.81	16.8	曲げ	3.0	10.1
IB6L	4.86	4.57	4.47	4.65	17.7	曲げ	3.5	10.0
平均値	4.93	4.61	4.67	4.91	16.9			
変動係数	1.7%	1.6%	2.7%	4.6%	6.8%			
5%下限値(正規分布仮定)					14.2			
5%下限値(平均値×0.75)					12.6			
計算平均値				3.00	10.8			
計算下限値					8.1			

E_{fr} ：縦振動ヤング係数、 E_{afb} ：たわみ振動法による曲げヤング係数、 E_m ：曲げ試験による見かけの曲げヤング係数、 E_b ：曲げ試験による真の曲げヤング係数、 σ_b ：曲げ強度



E_m : 曲げ試験による見かけの曲げヤング係数

E_b : 曲げ試験による真の曲げヤング係数

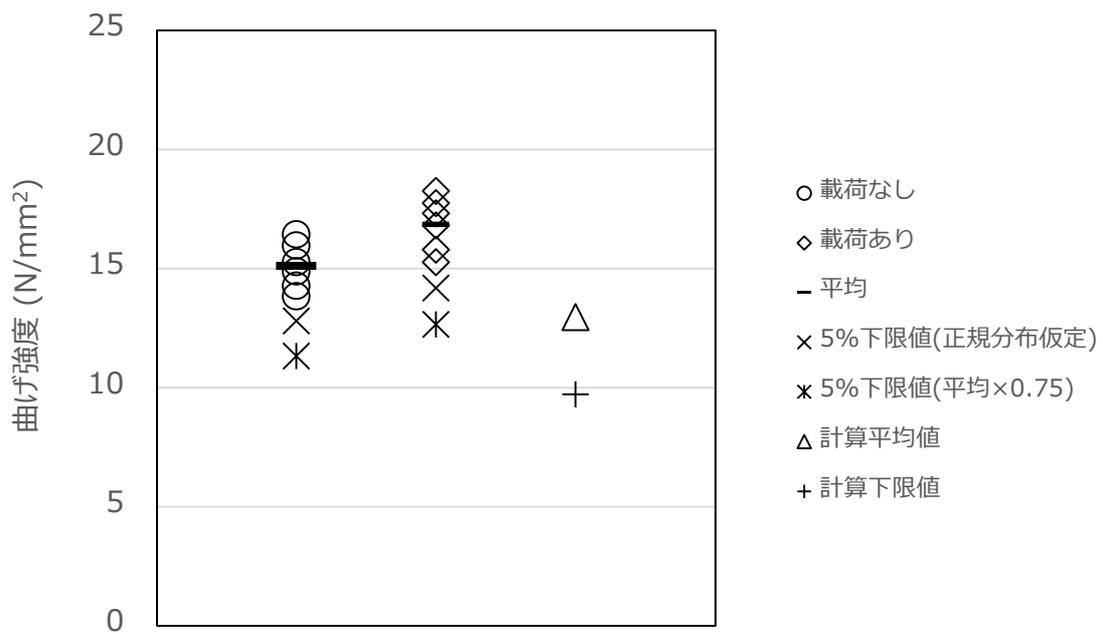


図 3-8 面内曲げ試験の結果

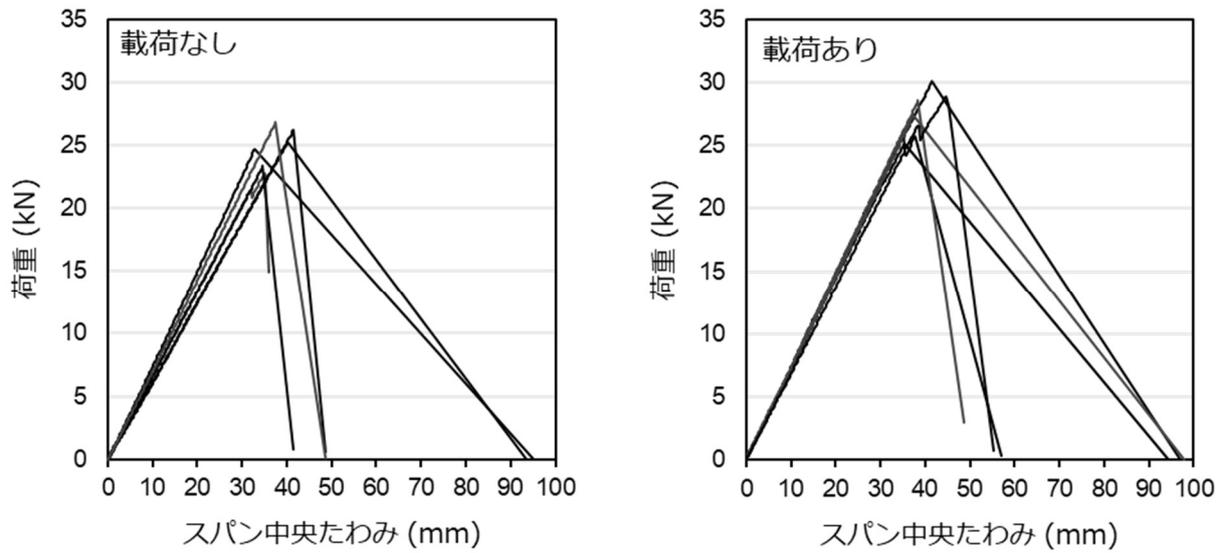
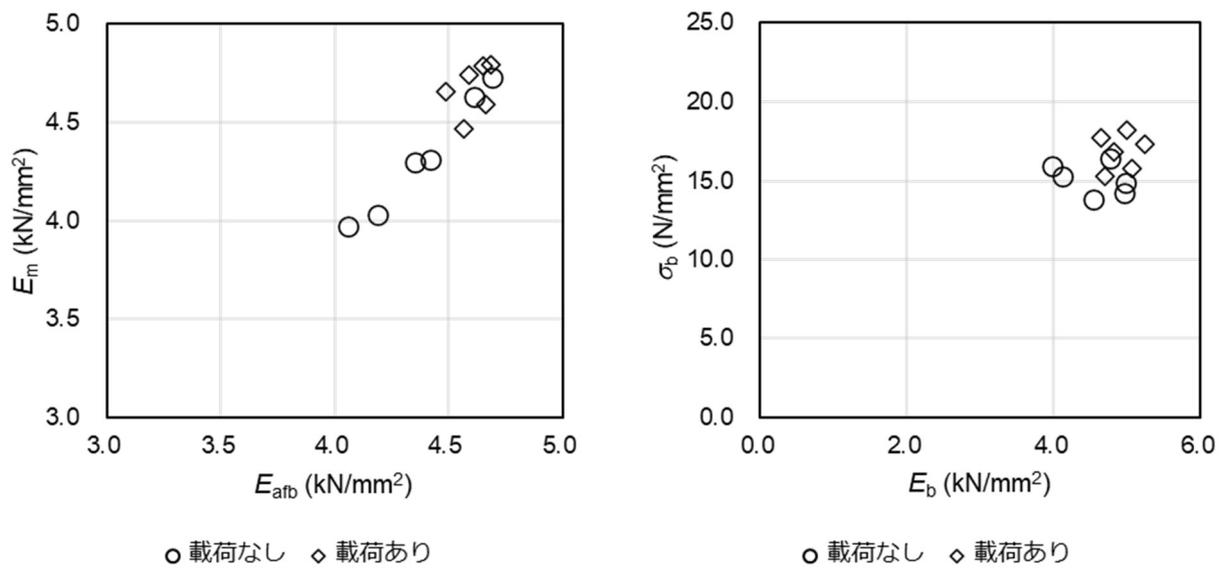


図 3-9 面内曲げ試験の荷重-変位曲線



σ_b : 曲げ強さ
 E_{afb} : たわみ振動法による曲げヤング係数
 E_m : 曲げ試験による見かけの曲げヤング係数
 E_b : 曲げ試験による真の曲げヤング係数

図 3-10 測定方法が異なる曲げ弾性係数間の関係および曲げ弾性係数と曲げ強度の関係



図 3-11 面内曲げ試験の破壊形態 (無荷重試験体)

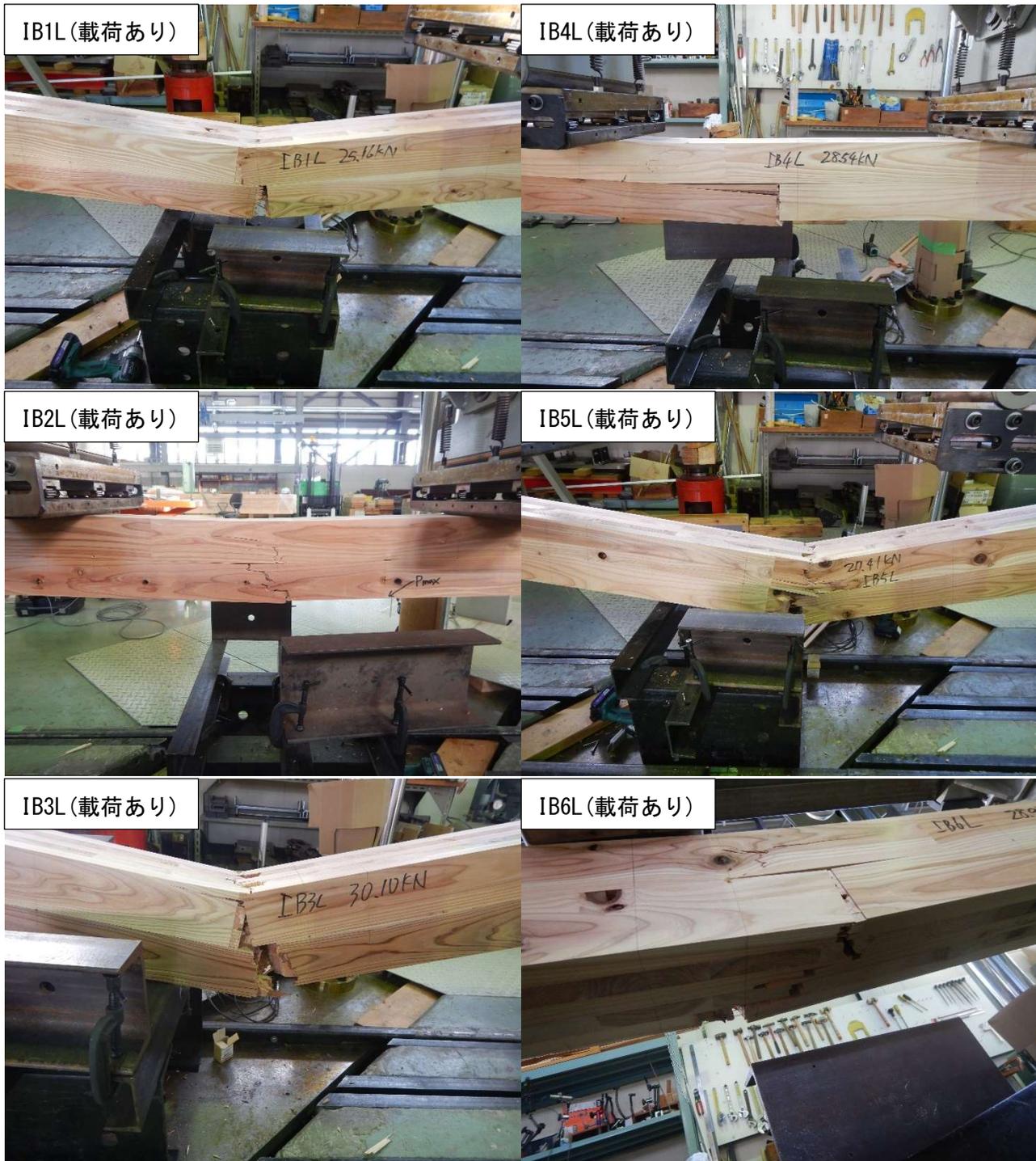


図 3-12 面内曲げ試験の破壊形態 (無載荷試験体)

3.4 面外せん断試験

面外せん断強度については、昨年度の結果で荷重履歴の影響は見られなかったが、今年度は荷重レベルを変更したため、少ない試験体数ながら、参考までに検証した。

試験体および試験方法

試験体は、面外無荷試験体2体を三分割して長さ1100mmとしたもののうち、中央区間を含まない3体、面外荷試験体2体を三分割して長さ1100mmとしたもののうち、中央区間を含まない（すなわちせん断区間を含む）3体である。試験は木材実大強度試験（東京衡機製造所製 最大曲げ容量200kN）を用いて行った（図3-13）。荷重条件は支点間スパン750mmとした中央集中3点荷重方式、クロスヘッドの移動速度は3mm/分とした。支点および加力点の加圧板の幅は150mmとした。以下の式によりせん断強度（ σ_s ）を算出した。

$$\sigma_s = \frac{3P_{\max}}{4bh}$$

ここで、 P_{\max} ：最大荷重、 b ：試験体幅、 h ：試験体材せい

試験終了後、試験体から切片を採取し、全乾法により試験時の含水率を算出した。

結果と考察

結果を表3-11～3-12および図3-14に、荷重-クロスヘッド移動量の関係を図3-15に示す。また、図3-16に代表的な破壊形態を示す。破壊形態は、多くの試験体で直交層のローリングシア破壊が先行し破壊に至るものであった。一部の試験体では平行層引張側の曲げ破壊で最大荷重を記録したほか、荷重試験体のうち1体（OB7L-3）では直交層のローリングシア破壊が進展しない段階で平行層引張側の節を起点とする曲げ破壊が生じた。曲げ破壊が生じた試験体で算出されるせん断強度が小さくなったことにより算出される下限値が荷重あり試験体で小さくなる傾向がみられたが、スギCLTの面外せん断基準強度を全試験体が上回り、設計上も支障なく使用できるものと考えられる。



図3-13 面外せん断試験の様子

表 3-11 面外無載荷試験体の面外せん断試験結果

No.	σ_s N/mm ²	破壊形態	破壊時間 分	含水率 %
OB7N-1	2.3	せん断	4.4	10.6
OB7N-3	2.2	せん断	3.4	10.2
OB8N-1	2.2	せん断・曲げ	5.8	10.2
平均	2.2			
変動係数	2.3%			
5%下限値(正規分布仮定)	2.1			
5%下限値(平均値×0.75)	1.7			
基準強度(スギ)	0.9			

σ_s : せん断強度

表 3-12 面外載荷試験体の面外せん断試験結果

No.	σ_s N/mm ²	破壊形態	破壊時間 分	含水率 %
OB7L-1	2.3	せん断・曲げ	5.5	10.7
OB7L-3	2.0	曲げ	2.9	9.9
OB8L-1	2.2	せん断	6.2	10.2
平均	2.2			
変動係数	8.5%			
5%下限値(正規分布仮定)	1.6			
5%下限値(平均値×0.75)	1.6			
基準強度(スギ)	0.9			

σ_s : せん断強度

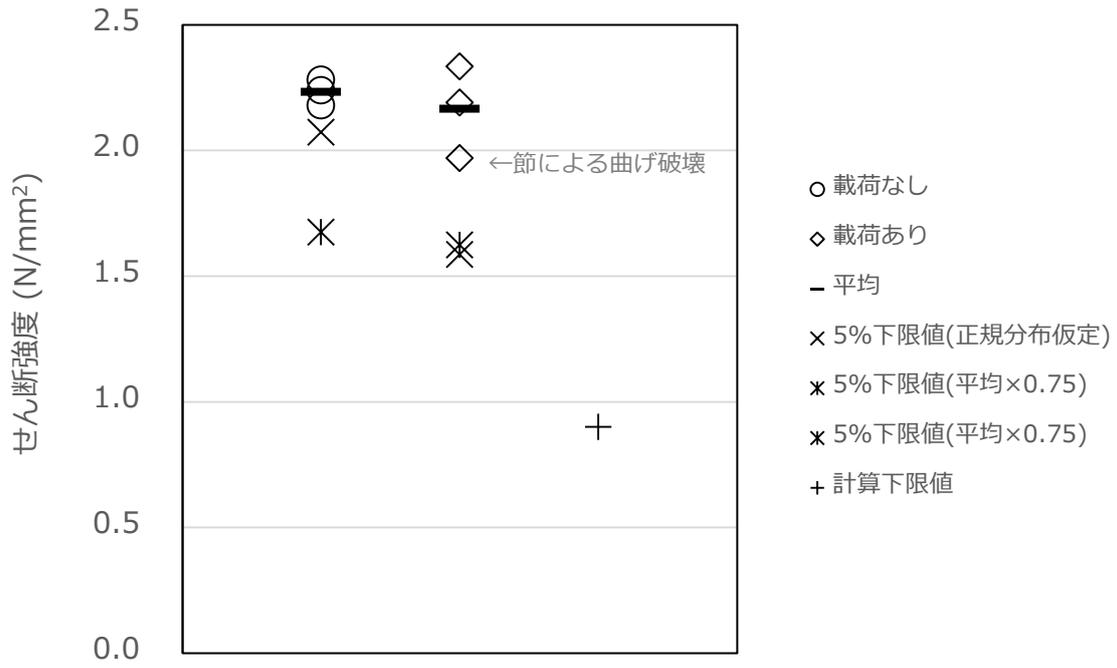


図 3-14 面外せん断試験の結果

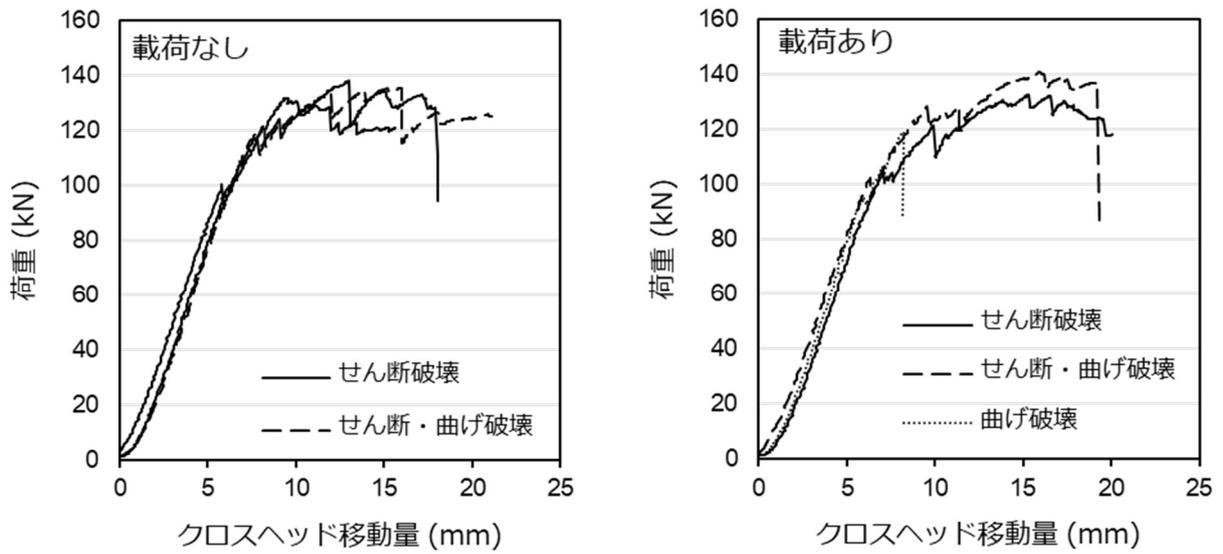


図 3-15 面外せん断試験の荷重-クロスヘッド移動量曲線

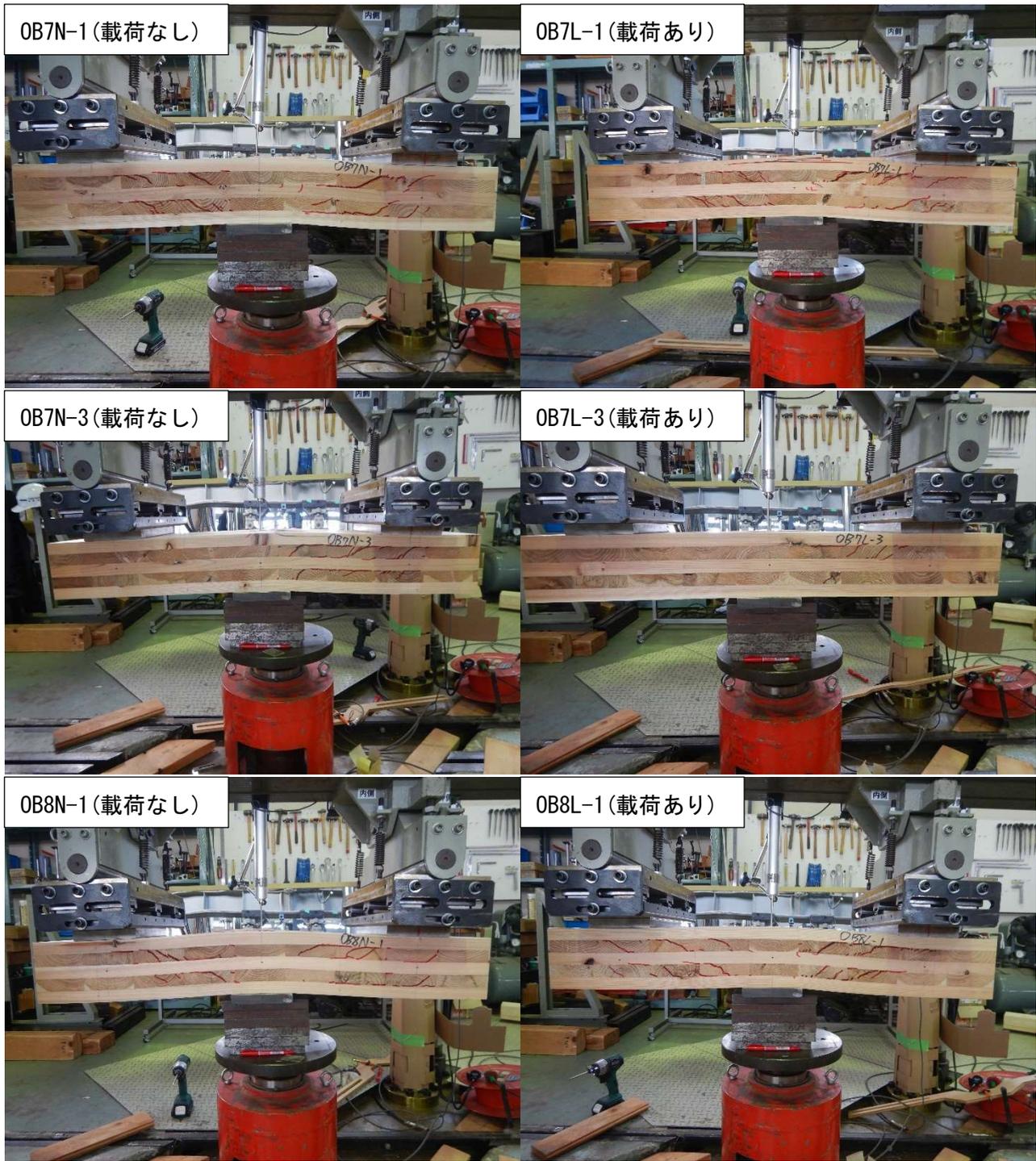


図 3-16 面外せん断試験の破壊形態

3.5 面内せん断試験

面内せん断強度については、昨年度の結果で荷重履歴の影響は見られなかったが、今年度は荷重レベルを変更したため、少ない試験体数ながら、参考までに検証した。

試験体および試験方法

試験体は、面内無荷試験体2体を2分割して長さ1650mmとしたもののうち3体、面内荷試験体2体を2分割して長さ1650mmとしたもののうち3体である。試験は木材実大強度試験（東京衡機製造所製 最大曲げ容量200kN）を用いて行った（図3-17）。荷重条件はせん断力一定区間を360mmとした逆対称4点荷重方式、クロスヘッドの移動速度は3mm/分とした。加圧板の幅は、両端部の加力点および支点では200mm、中間部の支点および加力点では150mmとした。以下の式によりせん断強度（ σ_s ）を算出した。

$$\sigma_s = \frac{3P_{\max}}{4bh}$$

ここで、 P_{\max} ：最大荷重、 b ：試験体幅、 h ：試験体材せい

試験終了後、試験体から切片を採取し、全乾法により試験時の含水率を算出した。

結果と考察

結果を表3-13~3-14および図3-18に、荷重-クロスヘッド移動量の関係を図3-19に示す。また、図3-20に代表的な破壊形態を示す。破壊形態はすべての試験体で直交接着層のねじりせん断破壊であった。本試験体の条件を当てはめてCLT基準強度を算出すると、その値は直交接着層のねじりせん断破壊で決定された。本試験体の破壊形態と一致したほか、すべての試験体の面内せん断強度が算出された基準強度を上回り、設計上も支障なく使用できるものと考えられる。



図3-17 面外せん断試験の様子

表 3-13 面内無載荷試験体の面内せん断試験結果

No.	σ_s N/mm ²	破壊形態	破壊時間 分	含水率 %
IB7N-1	5.1	せん断	2.8	10.4
IB7N-2	5.2	せん断	2.4	10.3
IB8N-1	5.3	せん断	2.5	10.4
平均	5.2			
変動係数	1.7%			
5%下限値(正規分布仮定)	4.9			
5%下限値(平均値×0.75)	3.9			
計算下限値	2.1			

σ_s : せん断強度

表 3-14 面内載荷試験体の面内せん断試験結果

No.	σ_s N/mm ²	破壊形態	破壊時間 分	含水率 %
IB7L-1	5.0	せん断	2.2	10.2
IB7L-2	5.6	せん断	3.1	10.0
IB8L-1	5.1	せん断	2.5	10.2
平均	5.2			
変動係数	6.0%			
5%下限値(正規分布仮定)	4.2			
5%下限値(平均値×0.75)	3.9			
基準強度(スギ)	0.9			

σ_s : せん断強度

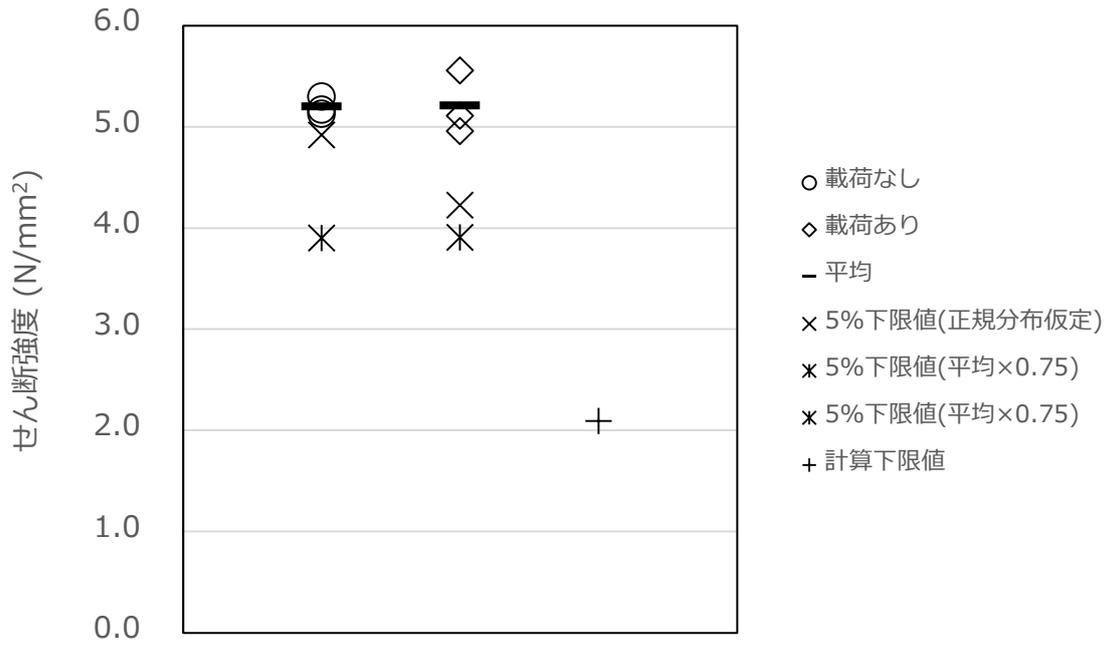


図 3-18 面内せん断試験の結果

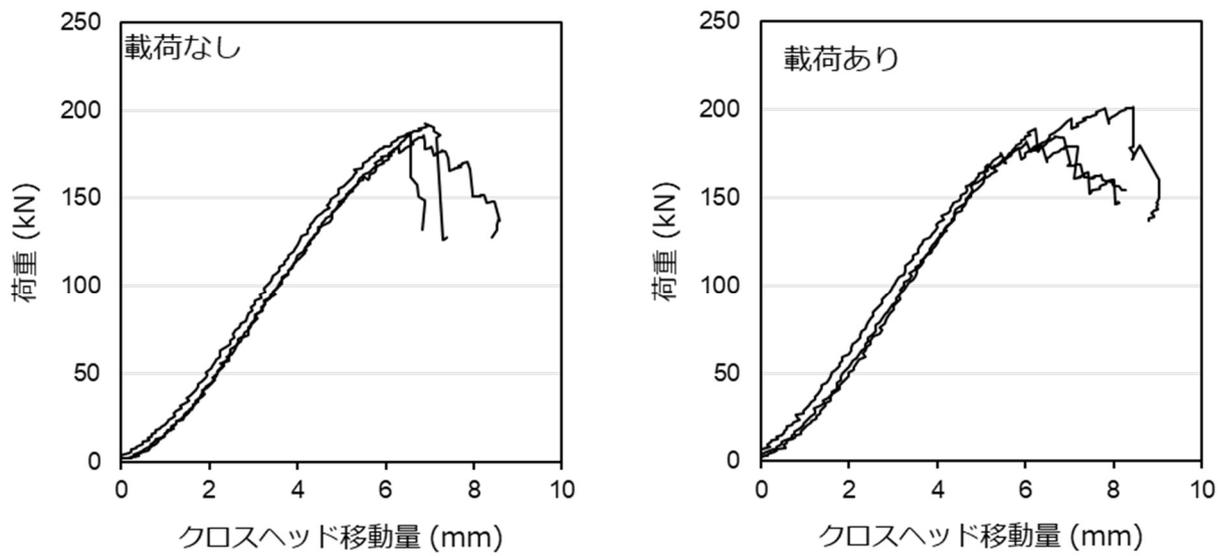


図 3-19 面内せん断試験の荷重-クロスヘッド移動量曲線

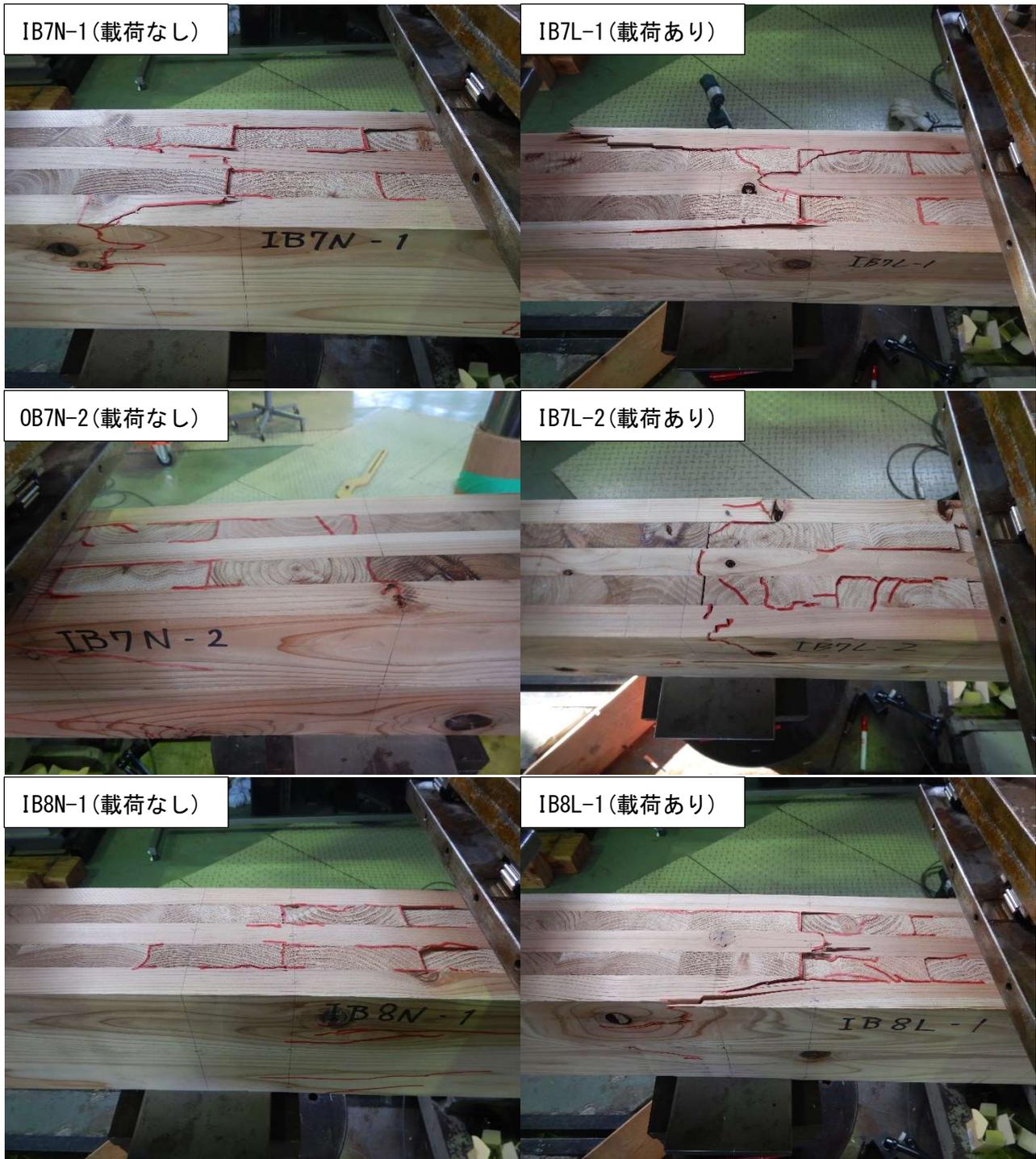


図 3-20 面内せん断試験の破壊形態

3.6 縦圧縮試験

試験体および試験方法

試験体寸法は幅 100 mm×厚さ 150 mm×長さ 1000 mm である。試験体数は無荷試験体および荷重試験体で 3 体ずつである。試験は木材実大強度試験（東京衡機製造所製 最大荷重容量 1000 kN）を用いて行った（図 3-21）。荷重条件は両端を試験体面外方向のみに回転するピン条件とした圧縮試験、クロスヘッドの移動速度は 2 mm/分とした。以下の式により縦圧縮強度 (σ_c) を算出した。

$$\sigma_c = \frac{P_{\max}}{bh}$$

ここで、 P_{\max} ：最大荷重、 b ：試験体幅、 h ：試験体材せい。

試験終了後、試験体から切片を採取し、全乾法により試験時の含水率を算出した。

結果と考察

結果を表 3-15~3-16 および図 3-22 に示す。また、図 3-23 に代表的な破壊形態を示す。破壊形態は荷重なし試験体 1 体で面内方向座屈であったほかは面外方向座屈であり、ほとんどが平行層がフィンガージョイント部を起点として圧縮破壊して座屈に至るものであった。

縦圧縮強度の計算値は以下の式により平均値に相当する値および下限値に相当する値を算出した。

$$\text{縦圧縮強度計算値} = \phi \sigma_{b_oml} \frac{\sum(E_i A_i)}{E_o I_o}$$

ここで、 ϕ 係数（平均値に相当する値の算出では 0.8、下限値に相当する値の算出では 0.6）、 E_i ：一方の外層から数えて i 番目の層に使用するラミナの曲げヤング係数（弱軸ラミナはゼロ）、 A_i ： i 番目の層の断面積、 I_o ：CLT の断面二次モーメント、 E_o ：最も外側の層に使用する強軸ラミナの曲げヤング係数、 σ_{c_oml} ：最も外側の層に使用する強軸ラミナの圧縮強度。パネル強度等級 Mx60 として $E_i (i = 1, 5) = 6000 \text{ N/mm}^2$ 、 $E_i (i = 3) = 3000 \text{ N/mm}^2$ 、 σ_{c_oml} には直交集成板の日本農林規格に規定される M60 ラミナの圧縮強度平均値 21.6 N/mm^2 を用いた。

縦圧縮試験においては、圧縮強度は荷重による強度低下は見られなかった。すべての試験体の縦圧縮強度が算出された基準強度を上回り、設計上も支障なく使用できるものと考えられる。



図 3-21 縦圧縮試験の様子

表 3-15 縦圧縮無載荷試験体の縦圧縮試験結果

No.	σ_c N/mm ²	破壊形態	破壊時間 分	含水率 %
C1N	18.5	面外座屈	3.2	10.8
C2N	18.1	面外座屈	3.0	10.6
C3N	19.3	面内座屈	2.9	10.3
C4N	18.0	面外座屈	2.9	10.6
平均	18.5			
変動係数	3.1%			
5%下限値(正規分布仮定)	16.9			
5%下限値(平均値×0.75)	13.8			
計算平均値	10.8			
計算下限値	8.1			

σ_c : 縦圧縮強度

表 3-16 縦圧縮載荷試験体の縦圧縮試験結果

No.	σ_c N/mm ²	破壊形態	破壊時間 分	含水率 %
C1L	19.1	面外座屈	2.9	10.2
C2L	18.9	面外座屈	3.2	10.8
C3L	19.3	面外座屈	2.8	10.3
C4L	18.7	面外座屈	2.7	10.3
平均	19.0			
変動係数	1.5%			
5%下限値(正規分布仮定)	18.2			
5%下限値(平均値×0.75)	14.3			
計算平均値	10.8			
計算下限値	8.1			

σ_c : 縦圧縮強度

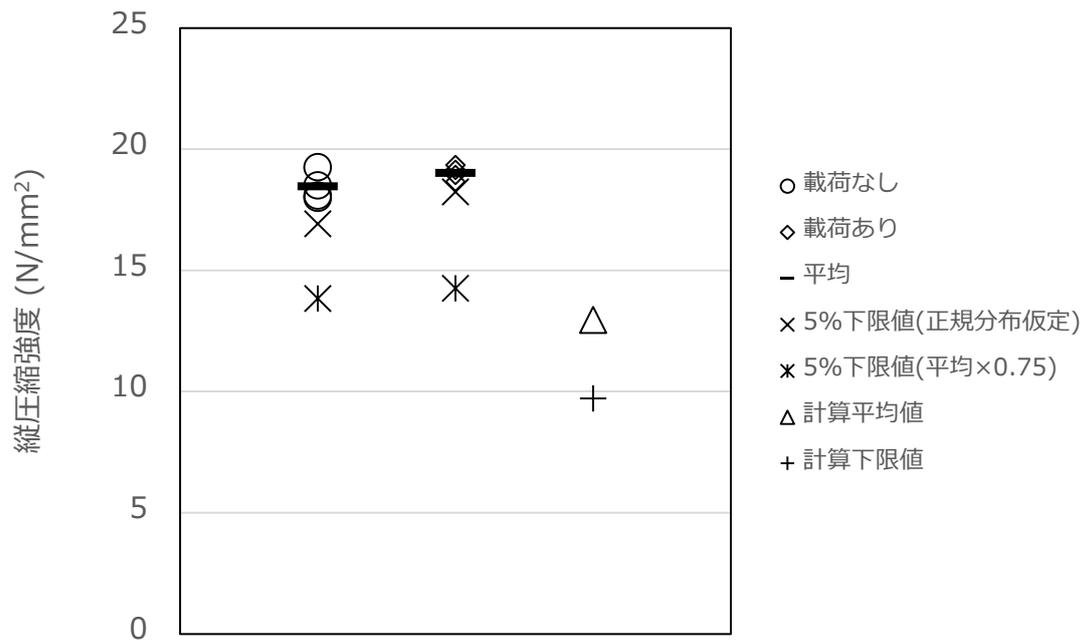


図 3-22 縦圧縮試験の結果



図 3-23 縦圧縮試験の代表的な破壊形態

3.7 ブロックせん断試験

前節までは、半年間の载荷による CLT の材料性能に及ぼす影響を実大サイズの CLT を用いた材料強度試験によって明らかにしてきたが、小型のブロックせん断試験でも载荷による影響を検討した。

試験体および試験方法

試験片の形状および寸法の模式図を図 3-24 に示す。試験片は、直交集成板の日本農林規格に規定される形状を参考に、切り欠き高さを 5 mm、切り欠き幅を 30 mm、接着部分の面積を 35×35 mm とした。それぞれラミナの繊維方向が加力方向と平行および直交となる試験片（直交試験片）と 45 度の角度がついた試験片（45 度試験片）を用意した。試験片は、面外载荷試験体、面外無载荷試験体、面内载荷試験体、面外無载荷試験体 1 体ずつから、载荷時のせん断区間の 1-2 層目および 4-5 層目から採取した。試験体数を表 3-17 に示す。

ブロックせん断試験は試験片に回転モーメントが生じないようにせん断治具を用い、载荷はインストロン型強度試験機（ORIENTEC 製 RTD-2410、最大荷重容量 100 kN）により行った（図 3-25）。载荷速度は 1.5 mm/分とした。破壊までの最大荷重を計測し、最大荷重をせん断面積で除した値をブロックせん断強度とした。各接着面積を 100 等分したマスを描いた透明なシートを用いて、破断面において木部で破断しているマスをカウントし木部破断率を算出した。試験後は全乾法で含水率を測定した。

結果と考察

ブロックせん断試験の結果について表 3-17 および図 3-26 に示す。木部破断率については図 3-27 に示す。破壊形態としては、直交加力では木部のローリングシア破壊が生じやすいのに対して、45 度加力では接着層に近い部分での木破が生じやすくなる傾向がみられた。無载荷および载荷試験体の間でブロックせん断強度の平均値には有意差はなく（t 検定、有意水準 5%）、木部破断率についても差はみられなかった。

以上から、本試験での载荷条件においては、半年間载荷されてもブロックせん断強度への影響はないことが示された。

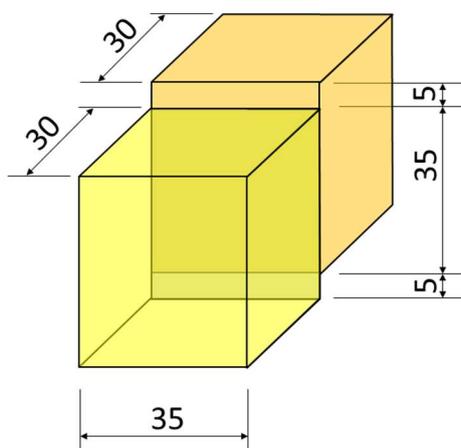


図 3-24 試験片形状の模式図



図 3-25 ブロックせん断試験の様子

表 3-17 ブロックせん断試験の結果

採材方向		直交				45 度			
		面外 無載荷	面外 載荷	面内 無載荷	面内 載荷	面外 無載荷	面外 載荷	面内 無載荷	面内 載荷
試験体数		6	6	4	4	6	6	4	4
ブロック せん断強 度(N/mm ²)	最大値	4.43	3.82	3.10	3.32	4.96	5.41	2.97	4.64
	平均値	2.94	2.67	2.50	2.64	3.81	3.91	2.76	3.50
	最小値	2.01	1.97	1.98	2.20	2.76	2.99	2.34	2.69
	標準偏差	0.99	0.80	0.46	0.49	0.84	0.93	0.29	0.84
	変動係数	33.5%	29.8%	18.5%	18.8%	22.1%	23.7%	10.5%	24.0%
木部 破断率(%)	最大値	100	100	100	100	100	100	100	100
	平均値	99	99	99	100	98	98	96	99
	最小値	97	94	97	99	93	93	85	98
含水率(%)	平均値	10.9	10.6	10.7	10.8	10.6	10.3	10.4	10.3

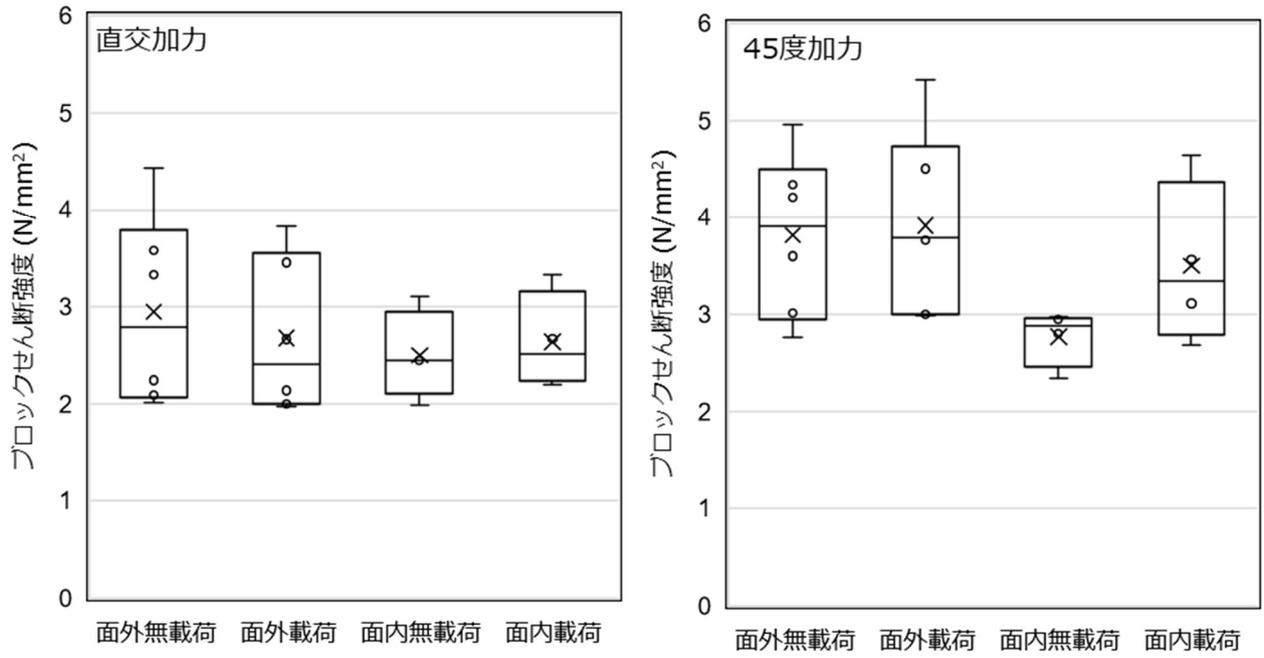


図 3-26 ブロックせん断強度

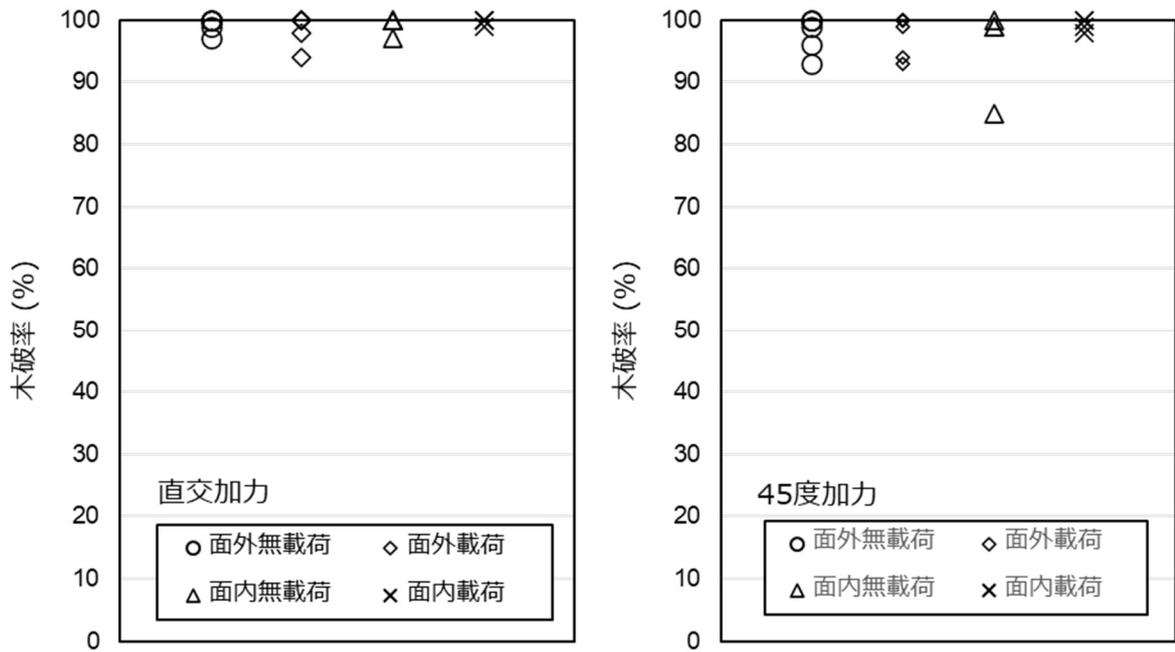


図 3-27 木部破断率

3.8 減圧加圧剥離試験

これまでに半年間の载荷による CLT の材料性能に及ぼす影響を実大サイズの CLT を用いた材料強度試験によって明らかにしてきたが、減圧加圧剥離試験でも载荷による影響を検討した。

試験片および試験方法

試験片は、面外载荷試験体、面外無载荷試験体、面内载荷試験体、面外無载荷試験体 1 体ずつから、長期载荷時のせん断区間で 4 体ずつ採取した。試験片寸法は厚さをそのまま 75×75 mm とした。試験片の初期重量を測定した後、減圧加圧処理を行った。試験片を減圧加圧装置内で室溫水中に浸漬し、0.085 MPa で 10 分間減圧した後、0.5 MPa で 1 時間加圧した。この処理を 2 回繰り返した後、試験片を 70°C の乾燥機に入れ、重量が試験前の 100～110% の範囲になるまで乾燥した。試験片の 4 側面を目視観察し、接着層の剥離の長さを計測した。なお、剥離長さが 3mm 未満の場所、およびシクネスゲージを用いて隙間が 0.05 mm 未満の場所、また節や木材の欠点や割れによって木材が破壊された場所は、剥離とは見なさなかった。次式のとおり全接着層の剥離率を算出した。

$$\text{剥離率 (\%)} = (\text{4 側面の剥離長さの合計}) / (\text{4 側面の接着層の長さの合計}) \times 100$$

結果と考察

減圧加圧剥離試験の結果を表 3-18 に示す。すべての試験体条件で剥離率の平均が低い値を示した。すべての試験体で JAS 基準値 (平均 10%以下) を満たしており、载荷による剥離率の増加はみられなかった。

以上から、本試験での载荷条件においては、半年間载荷されても接着性能度への影響はないことが示された。

表 3-18 減圧加圧剥離試験の結果

試験体条件	試験体数	剥離率平均 (%)	JAS 基準適合試験体数
面外無载荷	4	0.2	4
面外载荷	4	0.0	4
面内無载荷	4	0.6	4
面内载荷	4	0.4	4

第4章 リユース CLT の簡便な検査方法の検討

4.1 ブロックせん断試験の試験条件と強度基準値の検討

CLT はラミナを直交積層していることが最大の特徴であり、施工期間の短期的な水掛かりや供用期間の温湿度変動により、含水率変動と膨潤収縮が生じると、直交層の接着層付近に内部応力が生じることが想定される。当然ながら、供用中には積載荷重や外力によって許容応力度以下の応力も生じる。仮設建築として供用した後、リユースする場合には、それらの応力履歴が CLT の材料性能を低下させていないことを確かめる必要がある。CLT の材料性能は多岐にわたるが、構造材料としての特徴を考慮しながら、検査方法の簡便さやリユースの効率性を求める場合、直交層付近の接着性能および直交層のせん断強度について、応力や含水率変動の影響が大きいと考えられる部位から小試験片を採材して接着剥離試験およびブロックせん断試験で検査すればよいと考えられる。

次に、リユース CLT の接着性能やせん断強度を検査する方法については、まずは CLT の製造時と解体時の性能を比較して判断する方法が考えられる。しかしながら、製造時の性能を遡求することは現状の製造ロットの品質管理や施工管理体制では実施困難である。そこで、適正に製造された CLT が保有する初期性能の判定基準を設定し、解体時においてもその基準をクリアすれば、載荷履歴を受けても十分な性能が維持されているものとして、リユースしてよいと判断できる。

以上の考えに基づいて、昨年度は、種々の条件で接着剥離試験とブロックせん断試験を行った。接着剥離試験については、種々の試験片サイズや採取方法を試みたが、現行サイズ（75mm 角）と判定基準をそのまま採用するのが妥当であることが確かめられた。ブロックせん断試験については、種々の試験片サイズや加力方法を試みたところ、直交加力よりも 45 度加力、せん断面積は 25×25mm より大きなサイズで実施するほうがせん断強度を安定的に評価できることが明らかとなった。しかし、現行規格では、ブロックせん断試験の判定基準が木部破断率しか定められていないため、今年度は、種々の材質のスギラミナを用いてブロックせん断試験を行い、強度基準値の設定を検討することとした。

試験体および試験方法

スギ CLT を代表する基準値を求めるために、ブロックせん断試験片は、できるだけ幅広い材質のラミナを組み合わせる必要があるが、実大 CLT から採材すると、ラミナの材質を詳細に把握することが難しくなる。とりわけ、ブロックせん断強度は密度の影響が大きく、特にスギは産地によって密度が異なるため、複数の産地からラミナを調達した。ヤング係数と密度を厳密にコントロールしながら、直交積層モデル試験体（2 層・約 45cm 角・ラミナ厚 30mm）を製作し、種々の条件でブロックせん断試験片を採取した（図 4-1～4-2）。パネル製作時に設定したパラメータを表 4-1 に、産地ごとのラミナ強度等級およびラミナ密度パラメータの設定値、しきい値を表 4-2 および表 4-3 に示す。積層接着は水性高分子イソシアネート系接着剤を用いて、塗布量 200 g/m²、圧締圧力 0.78 N/mm²で行った。製作したパネルから採材した試験片形状の模式図を図 4-3 に示す。

ブロックせん断試験（切り欠き式）は試験片に回転モーメントが生じないようにせん断治具を用い、載荷は道総研林産試験場のインストロン型強度試験機（ORIENTEC 製 RTD-1350、最大荷重容量 50 kN）により行った（図 4-4）。載荷速度は 1～1.5 mm/分とした。また、丸鋸により溝を入れる連続式ブロックせん断試験（連続式）は切り欠き式と同等の治具を用いて銘建工業株式会社にて実施した。載荷速度は 1.5 mm/分とした。どちらの試験でも、破壊までの最大荷重を計測し、最大荷重をせん断面積で除した値をブロックせん断強度とした。各接着面積を 100 等分したマスを描いた透明なシートを用いて、破断面

において木部で破断しているマスをカウントして木部破断率を算出した。なお、接着面に節が存在していた場合でもブロックせん断強度および木部破断率の評価を実施し、そのデータも含めて検討を行った。切り欠き式ブロックせん断試験体については試験後に全乾法で含水率を測定した。

また、製作したパネルの接着程度の確認のため、製作したパネルから剥離試験用の試験体を各1体採材した。剥離試験は、試験体の初期重量を測定した後、減圧加圧処理を行った。試験片を減圧加圧装置内で室温水中に浸漬し、0.085 MPa で10分間減圧した後、0.5 MPa で1時間加圧した。その後、試験片を70℃の乾燥機に入れ、重量が試験前の100～110%の範囲になるまで乾燥した。試験片の4側面を目視観察し、接着層の剥離の長さを計測した。なお、剥離長さが3mm未満の場所、およびシクネスゲージを用いて隙間が0.05 mm未満の場所、また節や木材の欠点や割れによって木材が破壊された場所は、剥離とは見なさなかった。次式のとおり全接着層の剥離率を算出した。

$$\text{剥離率 (\%)} = (\text{4側面の剥離長さの合計}) / (\text{4側面の接着層の長さの合計}) \times 100$$

結果と考察

ブロックせん断試験の結果について4産地を統合して表4-4および図4-5に示す。木部破断率については図4-6に示す。また、試験体密度とブロックせん断強度の関係を図4-7に示す。加えて、代表的な破壊形態を図4-8に示す。直交加力では木部のローリングシア破壊が生じやすいのに対して、45度加力では接着層に近い部分での木破が生じやすくなる傾向がみられた。また、せん断面積については、せん断面積25mm角の直交加力を除いて、平均値やばらつきに顕著な差は見られなかった。ブロックせん断試験では、せん断面に節が存在すると高い強度を示す傾向があるため、25mm角のようにせん断面積が小さいと節の影響が大きくなり、ばらつきが大きくなると考えられる。木部破断率についてはほとんどの試験体でJAS基準値を満たしており、せん断面積による違いはみられなかった。従って、35mm角と45mm角では得られる強度の平均値やばらつき、木部破断率に顕著な差はなく、試験設備や試験体製作の労力を考慮して、せん断面積は35mm角が妥当であると考えられる。

次に、加力方向については、45度加力のほうが直交加力よりもせん断強度が高く、ばらつきも小さくなった。また、図4-7に示すように試験片密度との関係は、45度加力のほうが高い相関を示した。直交加力の場合、隣接するラミナ2層のうち、せん断加力に対して繊維方向が90度となるラミナのローリングシアによって強度が決まるのに対して、45度加力の場合、繊維方向に対して45度で抵抗する上、隣接ラミナ2層で荷重を分担するため、ばらつきも抑えられると考えられる。

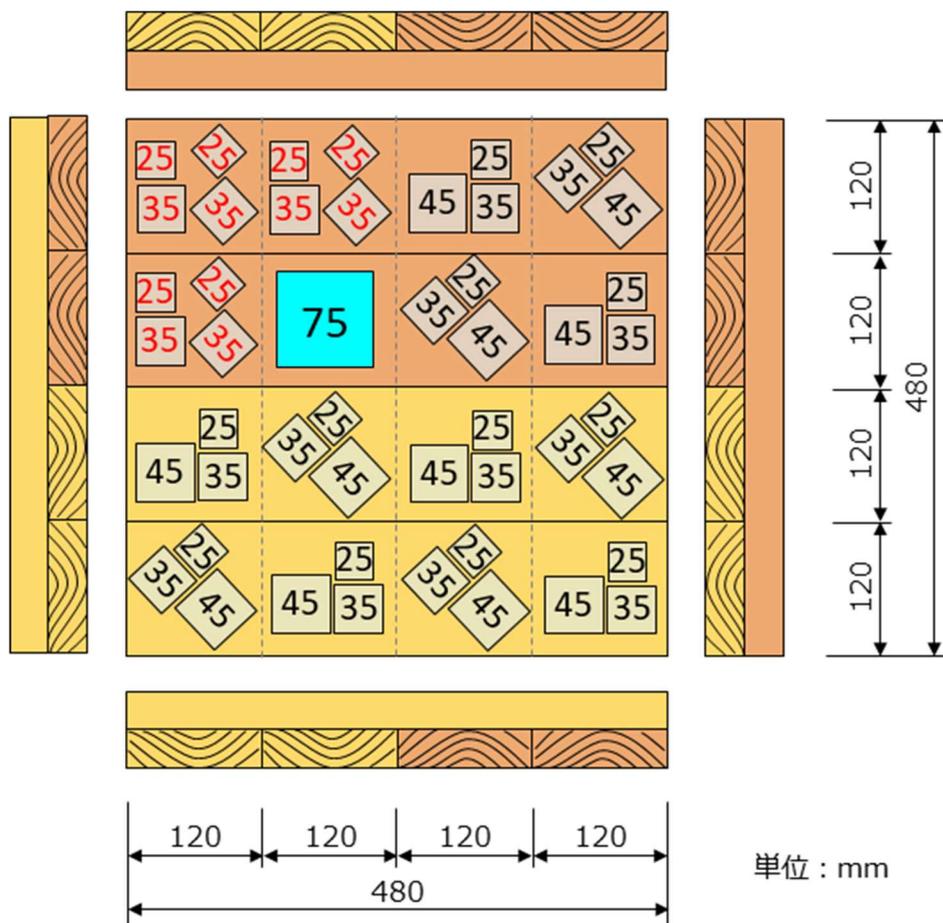
また、連続式試験での結果については、密度とブロックせん断強度の関係は、切り欠き式試験で得られた密度とブロックせん断強度の関係と同等の関係にあることが観察された、したがって連続式試験においても切り欠き式試験と同等のブロックせん断強度の評価が可能であると考えられる。

今回の結果から強度基準値を設定する上では、直交集成板の基準強度との関係も考える必要がある。建築基準法が定める基準強度のうち、積層方向のせん断強度（面外せん断強度）については、ラミナの横引張強度をもとにスギでは0.9N/mm²と定められている。直交加力によるブロックせん断強度は、直交層ラミナのローリングシア破壊によるものであり、積層方向のせん断強度が想定する破壊形態に近い。今回の試験結果（表4-4）においても、西日本産の接着面積35×35 mmの連続式直交加力試験体2体を除いてすべての試験片が0.9 N/mm²を上回っており、切り欠き式直交加力の35mm角および45mm角の統計的下限值（0.88）とほぼ同等でもあることから強度基準値として妥当と考えられる。一方、45度加力によるブロックせん断強度は、ねじりせん断強度に近い値が得られるとの報告もあるが、幅方向の

せん断強度（面内せん断強度）との関連づけはなされていないため、今回は強度基準値の設定を見送った。

以上より、ブロックせん断強度の強度基準値としては、直交加力の 35mm 角サイズで試験をしたときに 0.9 N/mm² と設定することが妥当であると考えられる。

なお、減圧加圧剥離試験の結果について、剥離が観察された試験体のみを抜粋して表 4-5 に示す。製作したパネル 45 体からそれぞれ採取した試験体に対して剥離が観察された試験体は 4 体のみで、それについてもすべて剥離率は JAS 基準値を満たしており、本試験で製作したパネルはすべて適切に接着操作がなされたものであったと考えられる。



※図中の寸法値はせん断面積の大きさ、斜め四角は 45 度加力用の試験片、水色の 75mm 角は剥離試験片、赤字は連続式試験片を示す
 ※橙色ラミナは木表面、黄色ラミナは木裏面で接着している

図 4-1 直交 2 層積層パネルおよび試験片採材の模式図
 (東北地方、中国地方、南九州産試験体)

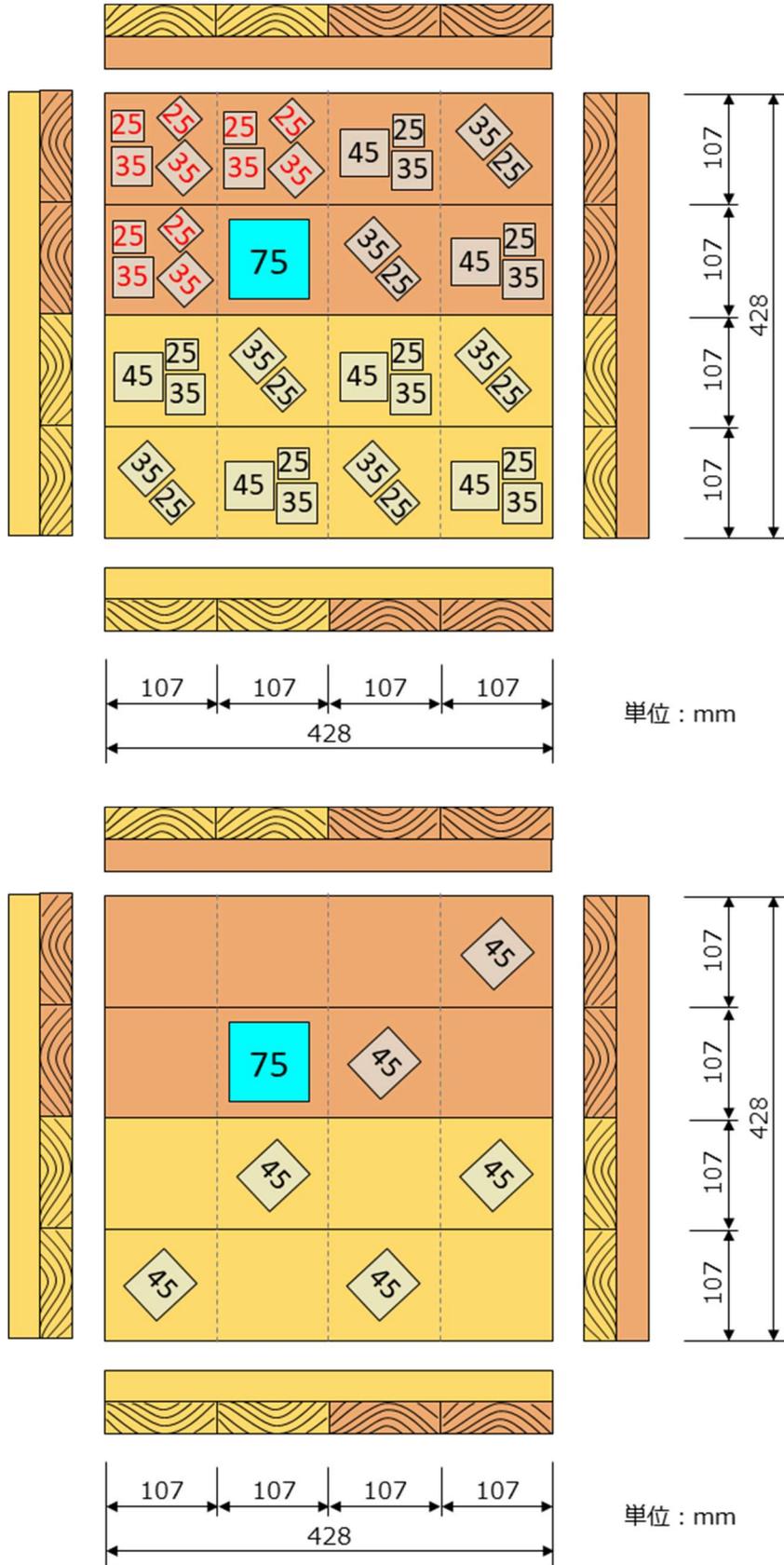


図 4-2 直交 2 層積層パネルおよび試験片採材の模式図
(北海道産試験体)

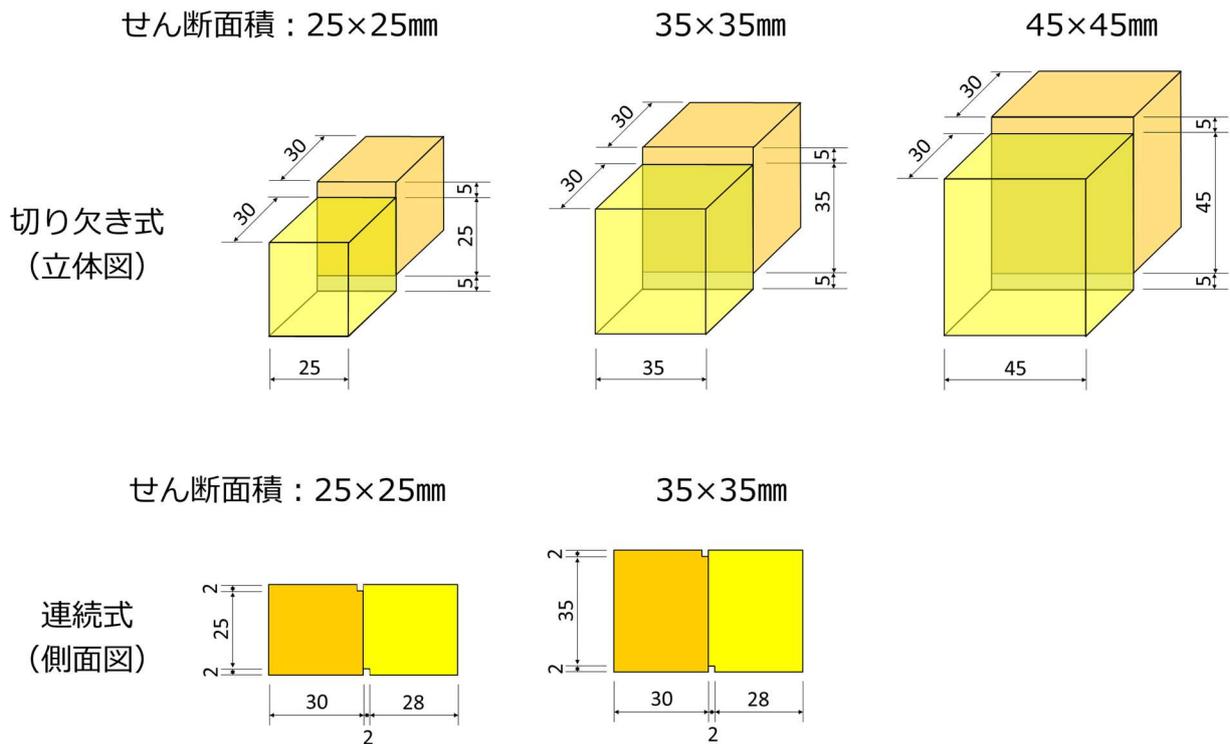


図 4-3 試験片形状の模式図

表 4-1 直交 2 層積層パネル製作時に設定したパラメータ

パラメータ	設定
産地	北海道、東北地方、中国地方、南九州
ラミナ強度等級	高(1層目)-高(2層目)、低(1層目)-高(2層目)、低(1層目)-低(2層目)
ラミナ密度	高、中、低
せん断面積	25×25mm・35×35mm・45×45mm
試験片形状	切り欠き式、連続式 (45×45mm を除く)
加力方向	直交加力、45 度加力

表 4-2 ラミナ強度等級の設定値

産地	ラミナ強度等級区分	設定値
北海道	高	L50～L70 相当 (縦振動ヤング係数：5.6～8.9 kN/mm ²)
	低	L30～L40 相当 (縦振動ヤング係数：3.5～5.5 kN/mm ²)
東北地方	高	L70
	低	L50
中国地方	高	L70
	低	L50
南九州	高	L70
	低	L40

L70, L50, L40, L30: 集成材の日本農林規格に定められている機械等級区分ラミナの等級区分

表 4-3 ラミナ密度パラメータの設定値

産地	ラミナ強度等級区分	ラミナ密度区分	密度最小 kg/m ³	密度最大 kg/m ³
北海道	高	高	355	377
		中	331	354
		低	303	327
	低	高	305	362
		中	280	303
		低	254	268
東北地方	高	高	411	454
		中	389	410
		低	340	389
	低	高	367	427
		中	343	367
		低	294	342
中国地方	高	高	347	383
		中	326	343
		低	301	324
	低	高	306	360
		中	285	304
		低	259	283
南九州	高	高	460	510
		中	426	458
		低	364	423
	低	高	435	474
		中	374	428
		低	328	365

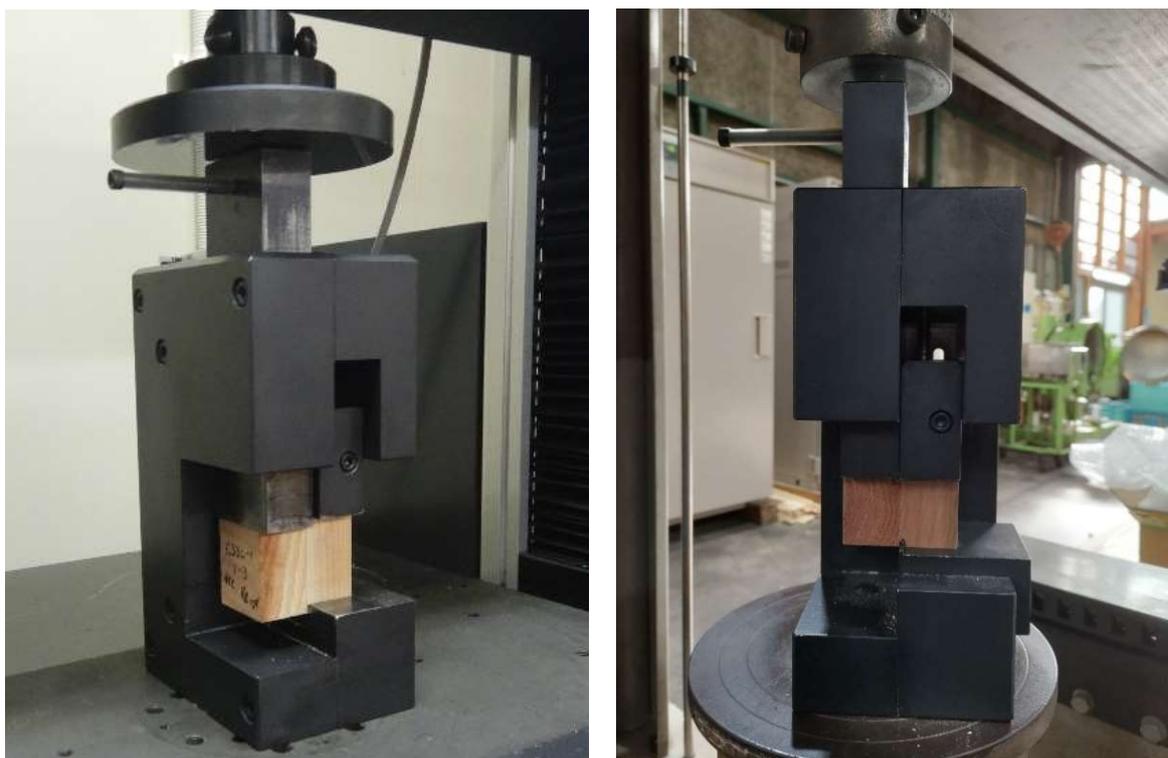


図 4-4 ブロックせん断試験の様子（左側：切り欠き式、右側：連続式）

表 4-4 ブロックせん断強度（4産地の合計、単位：N/mm²）

	直交			45度			直交（連続式）		45度（連続式）	
	25× 25mm	35× 35mm	45× 45mm	25× 25mm	35× 35mm	45× 45mm	25× 25mm	35× 35mm	25× 25mm	35× 35mm
せん断 面積	25× 25mm	35× 35mm	45× 45mm	25× 25mm	35× 35mm	45× 45mm	25× 25mm	35× 35mm	25× 25mm	35× 35mm
試験体数	216	216	216	216	216	216	108	108	108	108
最大値	11.02	5.88	5.86	8.23	9.21	9.39	5.33	6.30	8.61	7.69
平均値	2.74	2.65	2.76	4.03	4.14	3.87	2.35	2.15	4.32	3.57
最小値	1.12	1.02	1.00	1.87	1.63	1.72	1.05	0.78	1.76	1.69
標準偏差	1.30	1.03	1.09	1.36	1.47	1.35	0.93	1.05	1.44	1.24
変動係数	48%	39%	40%	34%	35%	35%	39%	49%	33%	35%
5%下限値	0.49	0.88	0.88	1.69	1.62	1.55	0.73	0.31	1.79	1.39

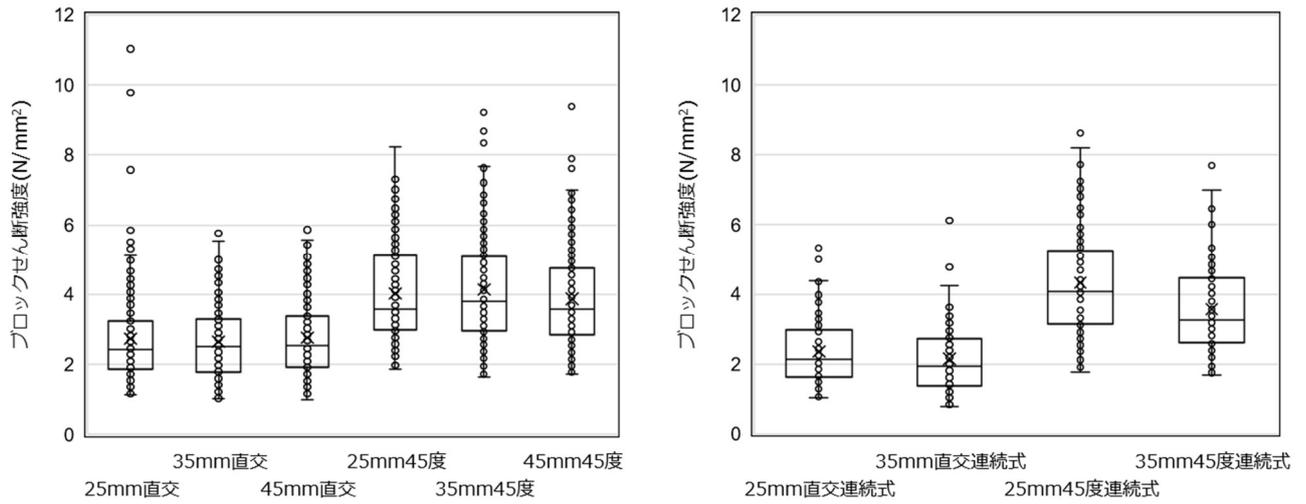


図 4-5 ブロックせん断強度

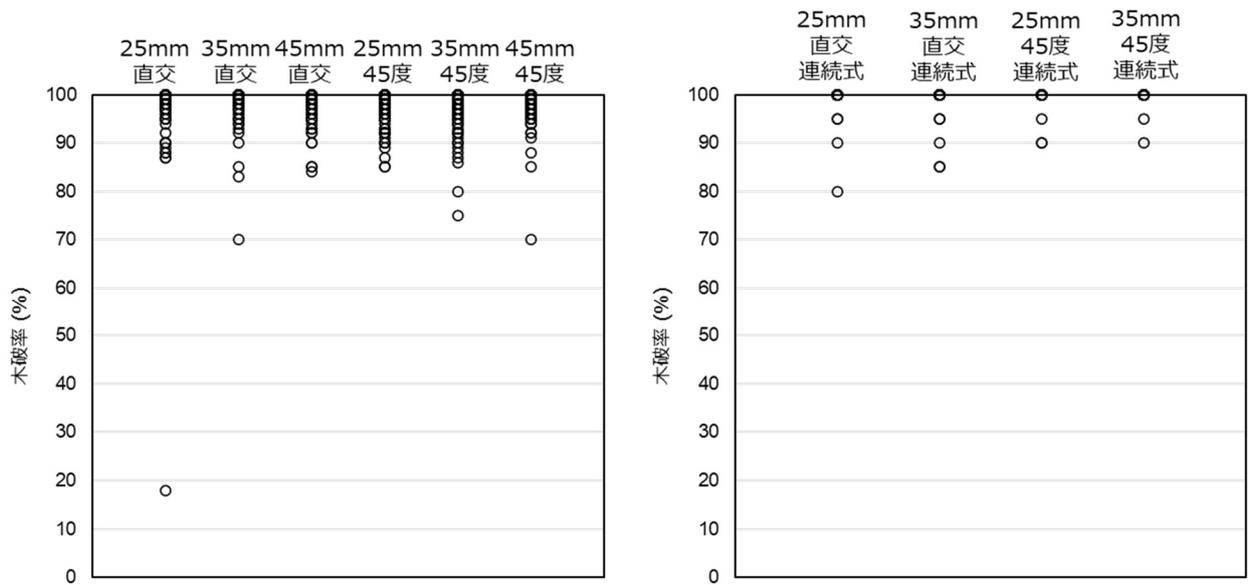


図 4-6 木部破断率

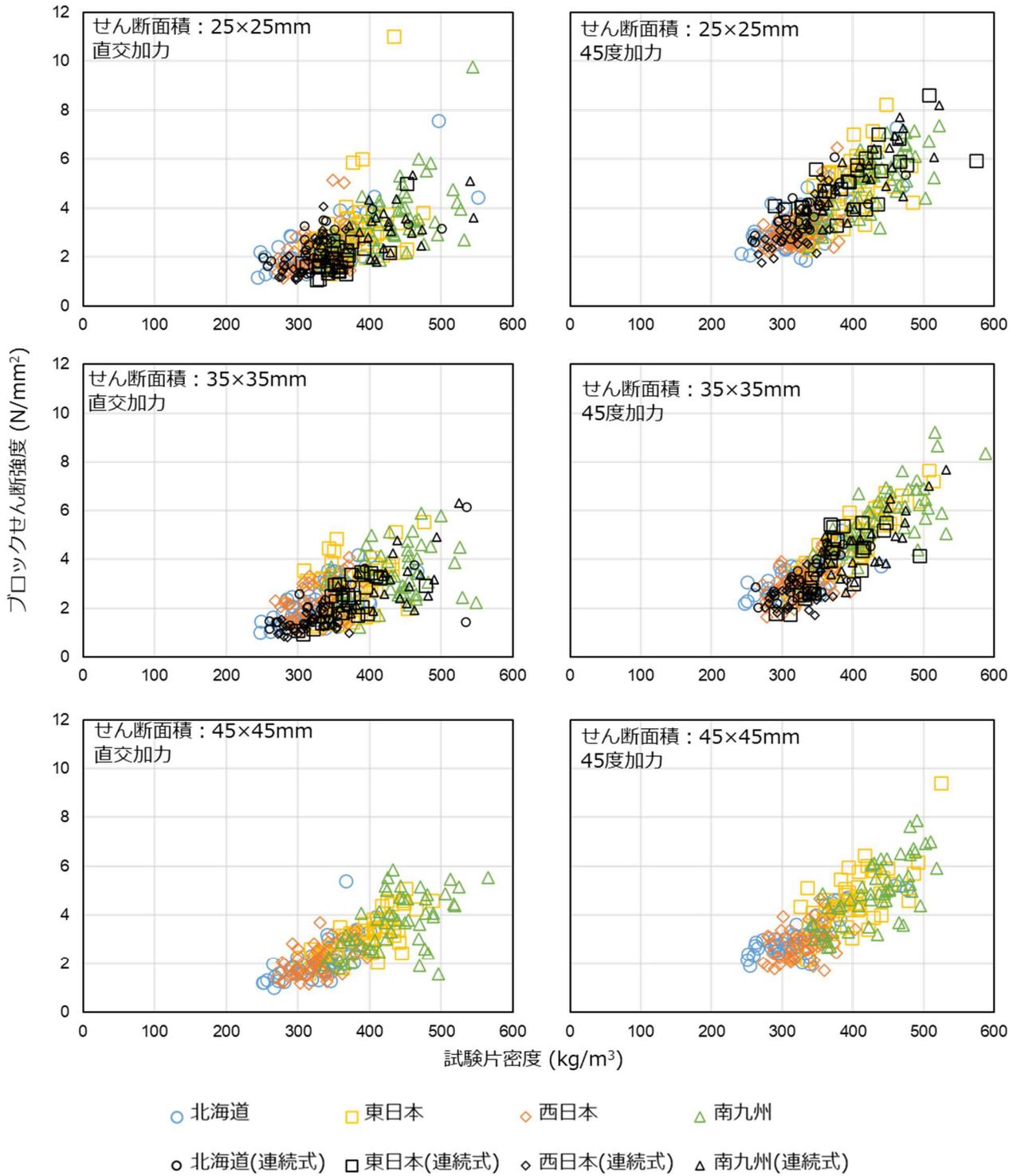


図 4-7 試験片密度とブロックせん断強度の関係



図 4-8 ブロックせん断試験の代表的な破壊形態

表 4-5 減圧加圧剝離試験の結果（剝離が観察された試験体のみ抜粋）

パネル条件	剝離率 (%)
産地：北海道 強度等級区分：低(1層目)-高(2層目) 密度区分：低	1.3%
産地：北海道 強度等級区分：高(1層目)-高(2層目) 密度区分：低	5.3%
産地：東北地方 強度等級区分：低(1層目)-高(2層目) 密度区分：高	1.3%
産地：南九州 強度等級区分：低(1層目)-高(2層目) 密度区分：高	1.0%

4.2 検査方法の提案

昨年度と今年度の検討結果を踏まえて、リユース CLT の接着性能や強度性能を簡便かつ効率的に評価する検査方法をまとめた（図 4-9）。すなわち、以下の 2 つの方法により直交層付近の接着性能とせん断強度を検査することとした。

- ①接着性能：直交集成板の日本農林規格で定められている接着剥離試験に準拠し、75mm 角の試験片を採取して、屋内環境を想定した減圧加圧処理を行い、接着層の剥離率を算出する。接着層の剥離率が 10%を超える場合、または同一接着層の剥離率が 40%を超える場合は、構造部材としてのリユースを控える。
- ②強度性能：直交集成板の日本農林規格で定められているブロックせん断試験に準拠し、せん断面積を 35×35mm として直交加力試験を行い、せん断強度と木部破断率を算出する。せん断強度が 0.9N/mm² 未満の場合、または木部破断率が 70%未満の場合は、構造部材としてのリユースを控える。

なお、今回の検査方法を適用できるリユース CLT とは、以下の条件に合致した CLT のみであることに留意する。

- ◆屋内の乾燥環境で使用された CLT
- ◆許容応力度以下となる設計荷重で半年間供用された CLT
- ◆スギ CLT

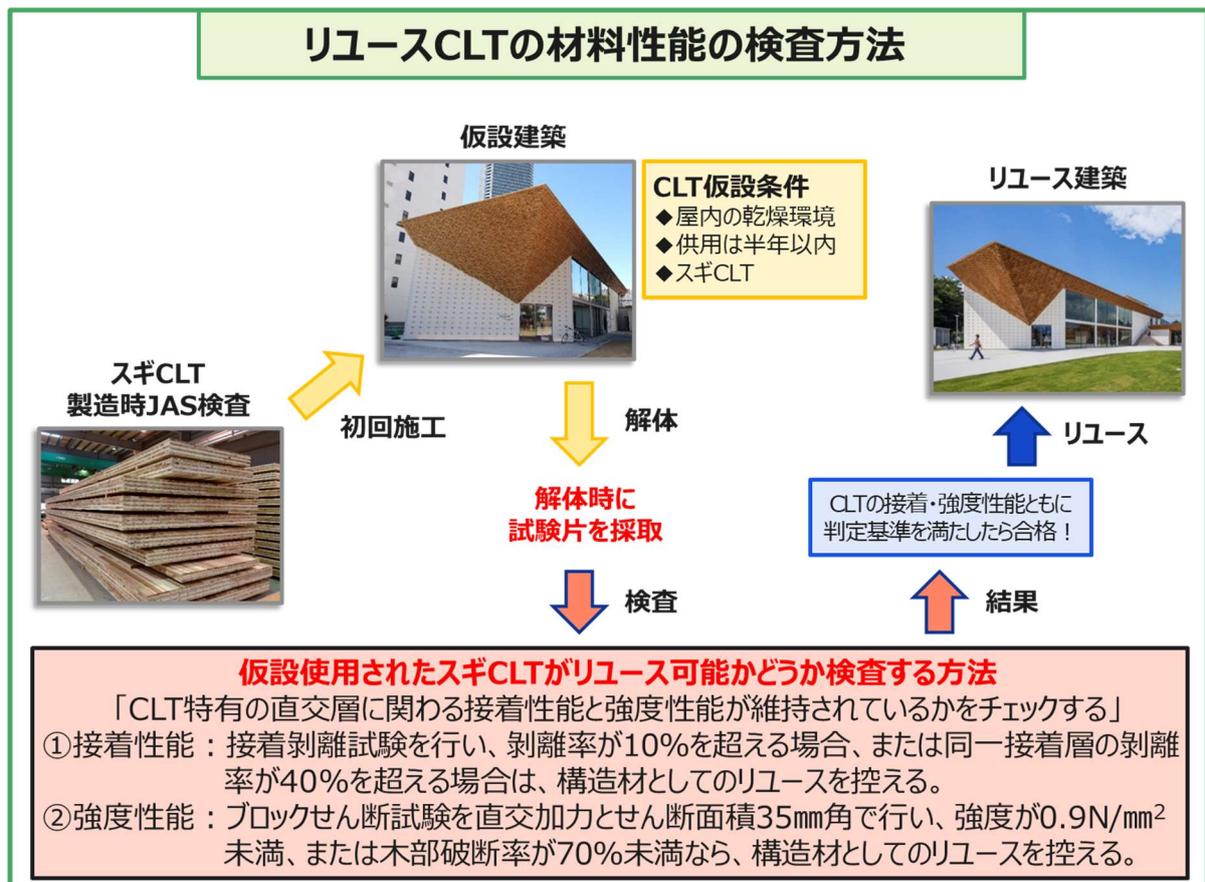


図 4-9 リユース CLT の材料性能の検査方法のイメージ図

第5章 本事業のまとめと今後の課題

5.1 本事業のまとめ

昨年度と今年度の取り組みにおいて、半年間の載荷履歴が CLT の材料性能に及ぼす影響を検証するとともに、リユース CLT の接着性能や強度性能を簡便に評価する方法を検討し、以下の結論を得た。

1) 半年間の載荷履歴が CLT の材料性能に及ぼす影響について

昨年度に引き続き、仮設建築において CLT が壁や床等に半年間使用される状況を想定して、強度性能に影響を及ぼすかどうか調べるために半年間の載荷試験を行った。

昨年度の結果では、せん断試験では面外・面内加力ともに強度への影響が見られなかったが、曲げ試験では面外・面内加力ともに強度低下の傾向が見られた。しかし、曲げ試験体数が少なくばらつきも大きかったため、今年度は、強度のばらつきを抑えた試験体を用意した上で、荷重レベルも変えて再検証した。その結果、面外・面内加力ともに強度への影響は見られなかった。

また、縦圧縮試験については、昨年度では面内方向に座屈破壊してしまったため、今年度は試験体幅を2倍にして再検証した。その結果、面外方向への座屈破壊が支配的となり、強度への影響も見られなかった。

以上から、今回の荷重条件や試験環境においては、半年間の載荷による曲げ・せん断・縦圧縮についての強度への影響は認められず、リユース可能であることが示された。

2) リユース CLT の簡便な検査方法について

CLT はラミナを直交積層していることが最大の特徴であり、直交層付近の接着性能と直交層のせん断強度について、応力や含水率変動の影響が大きいと考えられる部位から小試験片を採材して接着剥離試験およびブロックせん断試験で検査すればよいと判断した。

接着性能試験については、昨年度の結果から、現行 JAS のサイズ (75mm 角) と判定基準をそのまま採用することとした。

ブロックせん断試験については、現状多用されているせん断面積 (25mm 角) より大きなサイズで実施するほうがせん断強度を安定的に評価できることが明らかとなった。一方、現行規格では、ブロックせん断試験の判定基準が木部破断率しか定められていないため、今年度は、種々の材質のスギラミナを用いてブロックせん断試験を行い、強度基準値の設定を検討した。その結果、試験片サイズについては、試験設備や試験体製作の労力を考慮して、せん断面積 35mm 角が妥当であると判断した。加力方向については、45 度加力のほうが直交加力よりもせん断強度が高く、ばらつきも小さくなったが、強度基準値を設定する上では、直交集成板の基準強度との関係も考える必要がある。直交加力によるブロックせん断強度は、直交層ラミナのローリングシア破壊によるものであり、積層方向のせん断強度が想定する破壊形態に近いこと、今回の試験結果においても、35mm 角のブロックせん断強度の統計的下限值とほぼ同等であることを勘案し、積層方向のせん断強度基準値 (スギでは $0.9\text{N}/\text{mm}^2$) をブロックせん断強度の基準値として設定した。

以上より、リユース CLT の検査方法を以下のようにまとめた。

- ①接着性能：直交集成板の日本農林規格で定められている接着剥離試験に準拠し、75mm 角の試験片を採取して、屋内環境を想定した減圧加圧処理を行い、接着層の剥離率を算出する。全ての直交接着層の剥離率が 10%を超える場合、または同一接着層の剥離率が 40%を超える場合は構造部材としてのリユースを控える。

②強度性能：直交集成板の日本農林規格で定められているブロックせん断試験に準拠し、せん断面積を $35 \times 35\text{mm}$ として直交加力試験を行い、せん断強度と木部破断率を算出する。せん断強度が 0.9N/mm^2 未満の場合、または木部破断率が 70% 未満の場合は構造部材としてのリユースを控える。

5.2 今後の課題

今後、実際に CLT パネルのリユースを進めていくためには、以下の点が課題であり、引き続き取り組んでいく必要がある。

1) 半年間の載荷履歴が CLT の材料性能に及ぼす影響について

- ◆本事業で得られた結果は、使用環境として屋内の乾燥環境を想定したものであり、あくまで今回の試験条件と同様な条件で施工された CLT に適用できるものである。
- ◆今回とは異なる利用条件においても載荷履歴が材料に及ぼす影響度を明らかにすることができれば、リユース対象となる CLT を広げることができ、リユースの促進と CLT の有効活用が期待される。

2) リユース CLT の簡便な検査方法について

- ◆本事業でまとめた検査方法は、あくまで、今回の検討条件と同様な条件で施工された CLT に適用できるものである。
- ◆本検査方法は、日本 CLT 協会が仮設建築で使用した CLT のリユースを想定して独自に検討したものである。検査の詳細な実施方法（試験片の採材位置、抜き取り数など）、検査の実施体制や管理体制については今後、協会を中心に検討していく予定である。

第6章 添付資料

6.1 全体委員会議事録

6.1.1 第1回 CLT リユース委員会 (20220517)

令和3年度 木材製品の消費拡大対策のうち

CLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業

～CLTパネルのリユースを実施するための性能評価手法の検討～

第1回 CLT リユース委員会 議事録

議 事 要 旨

件名	第1回 CLT リユース委員会		
日時	2022年5月17日(火) 13時00分～15時00分	場所	Web会議/日本CLT協会 会議室
参加者	(役職・敬称略、欠席) 委員長：中島 史郎(宇都宮大学) 委員：森 拓郎(広島大学)、宮武 敦・宮本 康太(森林研究・整備機構森林総合研究所) 大橋 義徳・宮崎 淳子・高梨 隆也(北海道立総合研究機構林産試験場) 行政：日向 潔美(林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室 木材技術班) 事務局：平原 章雄(木構造振興) 坂部 芳平・中越 隆道・谷口 翼・小田 祐二(日本 CLT 協会) 協力コンサルタント：溝渕 木綿子(合同会社建設木材工学研究所) オブザーバー：原田 竜輔・渡部 博(銘建工業)		
(議事内容)	開会にあたり、日本 CLT 協会の事務局の主担当について、今年度は小田が担当する旨の報告と資料確認を実施。その後、「資料 1-0 議事次第」に沿って、中島委員長にて進行。 1. 資料 1-1:CLT リユース委員会名簿 初回につき、各委員・事務局挨拶を行った。 2. 資料 1-2:課題提案書 事業の概要について(事務局) 当事業の完了年月日(2023/2/20 まで)について共有。※事業の詳細内容については資料 1-3 にて説明。 3. 資料 1-3:試験概要について(大橋委員) ※昨年度の振り返り・本年度の試験計画について詳細説明。 【試験体:等級構成について】 ・試験体を同一等級構成としている理由はなにか?(スギ CLT S60-5 層 5 プライ) →昨年度と揃えている(昨年度はせん断試験のばらつきを減らすことをねらい、スギ CLT の同一等級構成で試験体を作成)。 ・異等級構成は接着力への依存度が上がる。従って、せん断試験を行った際には、異等級の方が使用による劣化のダメージの影響が大きくなると推測される。 ・ブロックせん断試験についてはラミナの密度も影響するので、同一等級構成として各層の密度を変えると いう試験体構成もあり得る。		

- ・スギ丸太等でのヤング係数と密度の相関において、外側のヤング係数の高い部分の方が、密度が下がり気味になる傾向がある。従って、異等級構成にすると全層の密度が結果的に揃う可能性もある。
- ・CLT の性能を確認する場合には CLT の大判からブロックせん断試験の試験体を採取する試験計画でよいが、簡易試験方法や判断基準を検証する場合は、大判から伐り出すのではなく、密度や木目などの様々な条件をコントロールしたブロックせん断試験体を別途作成する必要がある。
- ・銘建工業で製造する CLT のみでブロックせん断試験の値を計測・判断するのではなく、様々な条件をコントロールした試験体でも試験を行うことを検討する。

【試験体:CLT の目地】

- ・CLT のラミナの目地については、昨年と同様の設定にしているか？
→昨年と同様の設定である。曲げ試験体は昨年と同様に目地を指定して均等割りと指定している。圧縮载荷の試験体は幅 100mm となるので、最外層は目地無し、中間層は中央部と指定している。

【ブロックせん断試験の強度基準値】

- ・ブロックせん断強度について、強度基準値や判定を設定しようとする際、木破率も判断基準とするのがよいのではないか。
- ・直交加力と 45 度加力のそれぞれについて木破率が変わることを想定して、今年度の試験結果からデータを採取する。予算の範囲内でブロックせん断強度については、代表的な樹種、層構成、強度等級の CLT についてデータを収集する。(EX: スギ S60・Mx60、ヒノキ、カラマツ、トドマツ)

【ブロックせん断試験に関する CLT 工場へのヒアリング】

- ・ブロックせん断強度について、民間工場の試験機（サイズ・加力容量）での対応の可否をヒアリングする計画であるが、ヒアリングは日本 CLT 協会が行う想定か？
→日本 CLT 協会から会員企業にヒアリングを想定している。
特に、ブロックせん断試験の治具は特殊なので、民間工場での治具の有無・対応の可否等を確認が必要。
→ヒアリング内容については、大橋委員、宮武委員・宮本委員（森林総研）と相談して進める。

【長期载荷試験 圧縮試験体の断面】

- ・昨年度の圧縮载荷試験体の断面積は幅 50mm×厚 150mm であったが、本年度は幅 100mm×厚 150mm とした。細長比と座屈長さの調整により面内座屈を回避し面外座屈させる。

【载荷後の試験体の接着性能】

- ・昨年度は载荷による接着性能への影響は見られなかったので、接着性能は、载荷なしのみ実施。

【長期载荷試験の工程確認】

- ・6 月上旬開始を目途に、マザーボード 1~5 の 5 枚は製造済み。1~4 は当委員会にて最終確認した後、試験体切り出しを行う。マザーボード 5 は大判のままの状態。

【接着に関するDOL特性】

- ・接着に関する DOL 試験の規格というものはあるのか？
→試験はヨーロッパ規格に規定されている。せん断力を加えて確認する試験方法である。
日本でも、かつてある財団法人で検証しており、接着の DOL について報告書にまとめられている。
- ・今回、木材の材料性能として負担する応力よりも接着面が負担する応力の方が見掛け上は大きくなるので、接着面に関する荷重継続時間の特性を明確に把握して説明する必要があるのではないか。
- ・接着層の DOL のデータがあると、接着層の応力から判断する根拠とすることができる。

【リユース CLT の接着性能の確認】

- ・接着性能の実施（北林産試）にあたっては、宮本委員とも相談しつつ検討を進める。

【長期载荷試験の試験設備】

- ・本年度の改良として、支点片側がピンとなるように丸鋼と支持鋼板を溶接するということであるが、溶接してしまうと、試験体を除去する時などの処理が大変なので、鋼板を添えて接合してはどうか？
→既に溶接が完了している。

【試験体の測定】

- ・含水率は高周波式含水率計で定期的に測定する。昨年同様に、試験体設置直後は週に1回程度の測定を行い、荷重の掛かり方などを確認する。その後は、2週間に1度程度の測定でよい。

【長期載荷試験の荷重の設定】

- ・面外曲げ、面内曲げ共に、3m スパンでたわみ制限から L/500 で載荷荷重を設定している。
- ・曲げ、せん断の長期許容応力度から算定される荷重より、かなり荷重レベルとしては小さい。
- ・錘を付加できるのであれば、長期許容応力度レベルまで荷重をあげてはどうか。
- ・現在の錘の2倍程度が必要になるので、予算を踏まえて検討する必要がある。
- ・錘を付加するのであれば、H形鋼のフランジの上に厚板等を載せる方法がある。
- ・長期許容応力度レベルまで荷重を付加する方向で、錘を再検討する。

【残留変形の考え方】

- ・荷重を許容応力度レベルまで増加した場合、6か月後に除荷した後に残留変形が残らないか？
→理論上は、許容応力度を超えない限りは弾性範囲内なので、元に戻ると言える。しかし、クリープ変形により残留変形は残るのかもしれない。
- ・昨年度は残留変形がでない前提だったが、残留変形が残るとすると、その分曲げ試験の結果が変わってくるのではないかと。
→昨年度は、曲げ試験体の除荷直後は2-3mm程度の残留変形、静的試験実施時にはほぼゼロであった（除荷後、試験実施まで1か月の期間を経ていた）。
- ・残留変形を残さないようにするためには、除荷してからの回復時間が必要になる。実際にリユースする場合、回復時間を設けるのは厳しいのではないかと？
- ・理論上は、回復させるには供用していた期間と同じ期間を要することになり、現実的ではない。
- ・昨年度、荷重設定の方針は、許容応力度設計において設計クライテリアを超える使われ方はしないので長期載荷試験の荷重設定はたわみ制限で決まるということから決めていた。その考え方を正としてたわみ制限で決めた方が、除荷した時の残留変形も残らず、運用しやすくなるのではないかと。
- ・1/250たわみ算定時のヤング係数については計算で求めている。層構成が決まるとヤング係数は告示1024号から決まる（設計施工マニュアルでは表で示されている）。ただし実際のラミナのヤング係数は計算値よりも大きいことはわかっている。
- ・設計的に余裕があるのは事実としても、検証する実験としては、たわみ制限のレベルで荷重設定してしまうと、設定が低すぎて危険ではないかと。
- ・曲げ許容応力度とせず、たわみ制限での荷重に安全率をかけて2倍にする等の考え方は採用できないかと。短期並みのたわみで荷重設定することで、安全側の評価をしているという整理ができないかと。
- ・特別な考え方を導入すると混乱するので、長期許容応力度レベルの荷重でよいのではないかと。
- ・あらゆる建物に適用させる（使われる箇所も限定されない等も想定される）のであれば、厳しい条件で検証しておくことが必要であろう。
- ・上記議論にて、委員全員の賛同により、本年の載荷方法は長期許容応力度レベルの荷重をかけることとなった。
- ・本年度は8体すべてに長期許容応力度レベルの荷重を設定する。面外曲げ試験は873kg、面内曲げ試験は490kgとする（各8体計16体）。また残留変形を取り除くため、除荷時間を設けるようにする。

【移設時の性能評価手法の枠組】

- ・仮設建築を解体・リユースして再建築する場合、移設して全く同じ建物を再建築する場合には、一部の材料を試験体として供出するために、再建築時に同じ材料が揃わない（不足する）ことになる。
予め、試験用に供出する際の抜き取り条件などを委員会で整理しておく必要がある。
- ・全く同じ架構計画で移設する（一定期間供用したことの劣化を判断するのみの）場合は、抜き取り率を低く設定して試験を行えばよい、という判断もある。
- ・同じ建物として移設する場合には、要所のみでの抜き取りでよいと判断できる。
- ・移設による再使用の可否を判定するため、ブロックせん断強度の基準値も決めなくては行けない。実際に設計時に期待しているブロックせん断強度は、実際の値よりはかなり低い設定ではあるが、抜き取り試験であり、ばらつきもあることを踏まえた上で、どこに基準値を設定するか判断が必要である。
- ・性能評価手法の枠組み（誰がどのように試験を実施し、誰が判断するか）について、現時点で協会側の想定している案があれば教えて頂きたい

- 現時点では、協会としては未だ検討が終わっていない。
- 私見（中越委員）としては、民間の工場にてブロックせん断試験、接着剥離試験などを実施するのであれば、再利用する側の設計者と工事監理者が判断する流れになるのではないか。
- 接着剥離試験は JAS に準拠し、ブロックせん断試験については、協会側でリユース時の基準値を定めるということになると想定している。
- ・「リユースの定義」について、リユースの時間設定をどのように定義しているか？
- 今回は半年程度の供用期間を原則として設定している。ここで設定する枠組みを、10 年供用した建物のリユースに適用することは想定していない。

4. 資料 1-4:CLT リユース委員会全体スケジュール(事務局)

- ・銘建工業での試験については 5/28 までに試験体準備を完了し、5/31 から試験体の設置、初期性能の測定等を行い、6/3 には長期載荷試験を開始できる状態を予定としている。
- ・長期載荷なし試験（北林産試）では、面内・面外のせん断試験は行わない。
- ・6 か月の長期載荷試験についても面内・面外のせん断試験は行わない。
- ・長期載荷後試験体の静的実験のうち、接着試験は行わない。
- ・簡便評価方法の検証について 6 月から 12 月の工期で工程表に項目を追加する（ブロックせん断強度基準値設定検証、評価手法検証、代表的樹種・層構成・強度等級の CLT についてデータ収集、試験機ヒアリング等を実施予定）。
- ・第 2 回委員会は試験状況確認も合わせ、北林産試で実施する。
- ・6/9 銘建工業での載荷試験は、参加できる委員にて立会う。

◆次回委員会

第 2 回委員会：10 月 25 日（火）予定（北林産試 / 一部 web 会議）

- （議事予定）・載荷なし試験体確認、試験状況確認
 - ・載荷中試験の進捗について（銘建工業）
 - ・載荷なし試験の進捗について（北林産試）
 - ・簡易評価方法について

以上

<今回（第 1 回目）の資料>

資料 1-0 議事次第

資料 1-1 CLT リユース委員会名簿

資料 1-2 課題提案書（事業の概要）

資料 1-3 試験概要

資料 1-4 CLT リユース委員会全体スケジュール

参考資料 昨年度（令和 2 年度）成果概要集（木構振 HP より概要箇所抜粋）

（一社）日本 CLT 協会

6.1.2 第2回 CLT リユース委員会 (20221025)

令和3年度 木材製品の消費拡大対策のうち

CLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業

～CLTパネルのリユースを実施するための性能評価手法の検討～

第2回 CLT リユース委員会

議事録

議 事 要 旨

件名	第2回 CLT リユース委員会		
日時	2022年10月25日(火) 15時30分～18時30分	場所	北海道立総合研究機構林産試験場(一部WEB)
参加者	(敬称略・順不同、欠席、(Z):ZOOM) 委員長: 中島 史郎(宇都宮大学) 委員: 森 拓郎(広島大学)、宮武 敦・宮本 康太(森林研究・整備機構森林総合研究所) 大橋 義徳・宮崎 淳子・高梨 隆也(北海道立総合研究機構林産試験場) 行政: 日向 潔美(林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室 木材技術班)(Z) 事務局: 平原 章雄(木構造振興)(Z) 坂部 芳平・中越 隆道(Z)・谷口 翼・小田 祐二((一社)日本 CLT 協会) 協力コンタクト: 溝渕 木綿子(合同会社建設木材工学研究所)(Z) オルガニザー: 渡部 博(銘建工業)		
(議事内容)			
1. 前回議事録確認(資料2-1) 第1回議事録未定稿の確認が行われ、承認されて定稿として確定した。			
2. 載荷試験経過報告(資料2-2 説明:渡部氏) 面内曲げ/面外曲げ試験について、2022年6-10月のたわみ計測と含水率計測結果について、説明された。概算で面外曲げのクリープ係数を計算した結果は1.44(初期たわみ8mm、現在たわみを11.5mmとして計算)となり、スパン3,000mmで1/263程度のたわみとなり、過年度の実績と照合して問題ないことを確認している。現在は、2-3週間に1度の間隔で経過観察と計測を続けており、除荷にいたるまで続ける。			
〈質疑応答・意見交換〉 <ul style="list-style-type: none"> ・目視での変化としては、昨年度と同様に初期の吸湿の段階で角が少し膨れる状況になったが、それ以外の外観の変化はみられていない状況である。 ・試験地には空調設備はないが、丘になっており風が抜けやすいので環境としては安定している。 ・面内のクリープ係数を求めておくと、今後CLTを袖壁や梁等の要素として設計する際の有用なデータとなる。 ・昨年と応力レベルが異なっているので、クリープの比率について確認して頂きたい。 ・2月上旬頃に除荷した段階で、梱包して出荷するまでの間(2日間程度)の計測は続けてほしい。変形が減って回復し落ち着くまで確認したい。(荷重が少ないので、すぐ回復すると思われる。) 			
3. リユース評価方法と進捗状況(資料2-3 説明:大橋委員、高梨委員) 【長期載荷試験】 昨年度からの改良点(試験体の支持条件等)を中心に本年度の実施状況について説明がなされた。長期載荷試験の面外曲げ・面内曲げの荷重設定は、昨年度のたわみ制限からの設定から、長期許容応力度レベルまで荷重を付加している(それぞれ概ね2倍)。縦圧縮試験については、昨年度は面内に座屈しており、本年度は面外座屈させたいと考えて改良して、試験体幅を2倍の100mmとした。			

細長比は、面内 34 面外 23 となる。計算上は、面外で座屈させるのであれば、面外の細長比の方が大きくなるようにもう少し幅と荷重を大きくするべきであったが、現実には厳しい状況なので、CLT は面内の細長比をつかうのが適切かどうかも含めて、考え方を整理する。

〈質疑応答・意見交換〉

- ・実際の設計時に、圧縮で決まることがどれくらいあるのか？
→圧縮で決まるのでなければ、今回は現実的に設定できる 23%での結果でよいのではないかと。
- ・面外と面内の実際のヤング係数を考慮しているか？
→ヤング係数は見掛けの値を入れて計算しており、ヤング係数での調整はしていない。

【ブロックせん断試験】

試験体は、グレード 2 (Mx30・60) ×密度 3×産地 4 (南九州、岡山、東日本、道南スギ) のパラメーターを設定している。

現状として道南スギで先行して試験体の加工を進めており、道南スギの試験体については、調湿後に試験を実施する予定である。南九州、岡山、東日本の産地については、ラミナが 11 月以降に届く予定である。

今年度の 2 月完了までに全試験体を完了させることは難しいかもしれないが、まずは南九州 L40-80 を中心に進めていきたいと考えている。

ブロックせん断試験を実施し、スギ CLT としての基準値の検証を進めていきたいと考えている。

〈質疑応答・意見交換〉

- ・直交加力と 45 度加力とで分けて考えて、今回の試験結果をもとに基準値としての下限値を提案したいと考えており、さらに木材の接着層のせん断性能の確認方法を整理したいと考えている。
- ・接着剤はすべて同一であり、API(水性高分子イソシアネート系接着剤:水ビ)としている。
→銘建工業で使用しているものと同メーカーであり、使用環境 B に対応できる水ビ系接着剤を用いる。
→市販の製品なので、銘建工業で使用しているものと全く同じレシピではないが、性能は同等の接着剤である。(仕様は明確にしておく。)
- ・今回新たに製作するジグは、せん断面積 50mm 角程度まで、ラミナ厚 30mm で試験可能である。
- ・今回の試験方法(イス型試験片の採用)については、どのような経緯で決めているか？
→事前に銘建工業の品質管理の担当者と相談した。銘建工業では通常の接着の品質管理では、日本合板検査会にも確認をした上で、連続式試験を実施しているということであり、イス型試験片での試験は、正式な試験の場合に採用しているということを確認している。
→溝形試験体とイス型試験体について、双方の試験の相関までは確認していない。
- ・接着剝離試験については、現行 JAS の判定基準は木破率のみで評価される。試験方法による条件の違い(試験体の回転しやすさなど)により、木破率への影響があるとすれば一考が必要ではないか。
→今回の試験機は、加力時の試験片の動きを確認できる。

【簡便な検査方法、性能評価手法のまとめ】

JAS の品質管理としての考え方とリユース CLT の評価の考え方を整理しておきたいと考えた。

現行 JAS では、CLT パネルを加工した時点で JAS の対象ではなくなるという新たな認識を得たので、今回の評価は日本 CLT 協会の評価基準であり、JAS の基準とは一線を画すものであると強調しておく必要がある。

CLT の材料性能については①直交層間の接着性能、②CLT 特有のローリングシア一強度と接着強度(BS 試験)の確認とする。現時点でのおもな課題・懸念点は以下のとおり。

JAS 製品でない CLT の評価手法の考え方(品質担保方法も含め)

評価試験の実施主体

BS試験方法(日本合板検査会の採用しているイス型/CLT メーカーが日常で採用している連続型)

建築基準法での取り扱い

〈質疑応答・意見交換〉

JAS製品としての定義

- ・JAS の認定証を付けて、JAS 製品である証明書類をお客様に提示するのは、確かにマザーボードの段階で行う定義である。しかし、定義上で「加工した CLT は JAS 製品ではない」と定義されているわけではないことを確認しておきたい。(製造工場は「CLT は JAS 製品ではない」と考えているわけではない。)

→集材材も同様であるが、加工して製品化された集材材も JAS 製品として認識されている。

CLT も同様に考えてよい。

本事業の成果の落としどころ

- ・実際には使用箇所により CLT の環境条件は微妙に異なるが、当初に出荷された時に同一性能であると認定できる CLT を同一ロットと認識させる。そうすれば使用後に評価する際、全数を試験するのではなく、ロットから抽出した CLT の評価結果をロットにまとめて適用することができる。
 - ロットから試験体を供出する場合、再築後に同一規模の建物にはならないことを許容するのか。
 - 使用環境などの一定条件を確保すれば、元々 JAS 製品であった CLT については、6 か月後にこの程度の性能は担保できるという知見を整理できれば、必ず抽出試験を実施する必要はないのではないか。
- ・本事業では評価手法を定めるところまで期待されているのか、あるいは「JAS 製品である CLT は、このような条件下では、半年後にこれ以上の性能であると考えられる」という知見をまとめるのか。
- ・あくまでも知見をまとめるだけであり、適用は主事など、別の責任者になると考えてよいのではないか。
- ・委員会内で共有できれば、判断基準まで提案してもよいのではないか。
- ・建築基準法第 37 条に関する課題については、JAS と切り離し、本事業で検討しなくてもよい。(あくまでも国交省が判断)
- ・JAS の検査の趣旨は正しく製造されているかどうかの確認であり、部材性能を判断するものではない。今回、JAS の試験方法は引用できるが、そもそも性能を確認するという意味での基準値は存在していないので、本事業でその基準値を定めると考えておく必要がある。
- ・結論として以下のように整理する。
 - JAS 製品である CLT を建物に使用して、半年間の荷重が掛かった後に解体した時に、どのような方法でどのような結果を確認しておけば、リユースしてよいと考えられるのか、その知見を示す。

評価の考え方

- ・外部に暴露されて使用されていた CLT を対象から除外し、室内で使用されていた CLT のみを対象とするなど、条件設定をすればよい。あくまでも今回の検証結果から間違いなく判断できる CLT のみを評価してリユース材として認める流れでよい。
- ・実際に建物に利用されている CLT の荷重状態を考慮すれば、今回検討しているような、長期曲げ応力度の限度に近い荷重が掛かり続けることはない。建物の中には存在しない
その点を踏まえれば、今回の厳しい条件の試験結果で半年後に一定以上の性能が確認できれば、例えば、JAS の接着性能試験だけを確認すればよい、という考え方も可能ではないか？
 - 実際に、試験をしてみると、バラつきがあったり、あるいは曲げの結果が下がってしまったり、様々なことがあり、十分に検証をする必要があるという方向になりがちである。
- ・中古品の性能を調べるのに、経年劣化を含めて JAS 相当品と言うために、厳しい試験を実施してより安心できるようにする考え方もあるが、実際には、評価方法を単純にして、かつ既存の試験を活用することで、より多くの人が簡便に評価できるようにする視点も重要である。
 - 現在の試験機などは、特別なものを使用しないようには考えており、検査方法も基本的には簡便かつ効率的に直交層付近の接着性能とせん断強度の検査のみとしたいと考えている。
 - BS 試験 45 度加力を付加する程度はよいが、煮沸とか減圧加圧まで要求するのは厳しいと考える。
- ・10 年 20 年ではなく使用期間は半年なので、せん断について神経質にならなくてよいのではないか？
 - 単純に梁として使用してたわみでしか決まらない条件であればよいが、上下の壁がずれるなど、場合により曲げよりもせん断がクリティカルになる状況もあり得る。
 - 一つの考え方として、「条件はこういう場合のみ」として適用させる範囲を決めることにより、せん断がクリティカルになるケースを除外してしまえばよいのではないか。
 - 協会としては、運用時は CLT メーカーか第三者機関が評価する流れを考えているので、その前提のもとと考えて頂きたい。
- ・接着剥離の性能については、現行 JAS の判定基準である木破率のみでの評価については、室内の乾燥した環境に置かれる CLT の状況を考慮し、さらに現在行っている試験体の状況等から剥離率を見る必要があるか等を判断する必要がある。

4. 夢洲解体物件調査について（資料 2-5 説明：小田事務局）

西尾レントオール(株)にて、夢洲に CLT の模擬パビリオンを建設している。約 1 年経過して、解体する時点で CLT の試験体を採取している。

1 年間を通じて含水率の測定（表：室外、裏：室内）、目視での劣化確認等を行っており、パネル⑧から伐り出した 6 体のカットパネルから試験体を採取して、ブロックせん断試験を実施する予定である。

試験結果を本事業の報告書に加えるものではなく、日本 CLT 協会として、今後は解体物件調査の実績を重ねて、技術資料をまとめたいと考えている。試験内容等について、本事業の知見にてアドバイスを頂きたい。

5. 成果報告会・概要書、事業報告書作成について（資料 2-6 説明:小田事務局）

大橋委員を中心に成果をまとめて頂くにあたり、スケジュール等を確認した。

〈質疑応答・意見交換〉

- ・委員会としての合意を得ながら進めたいと考えている。もし試験結果が想定外の結果となった場合には、特に考え方を整理しながら進めていく必要があると考えているので、早めにフィードバックを投げかけるようにする。
- ・12月12日に試験体が届いてから、その週末か翌週が試験になる。
- ・年内に試験を終わらせて、道南スギの結果をまとめたいと考えている。その他の3地域は、状況に応じて優先順位を考えながら進めていく。

6. その他（資料 2-7,8,9 説明:小田事務局）

リユース開発検討委員会

日本 CLT 協会にて、CLT リユースの事業モデルを構築するための検討を進めている。リユース時の CLT パネルの性能評価は本事業の成果を必要とするので、相互に連携してまとめてゆきたい。

環境省委託事業

環境省より採択され、野村総合研究所を主体として進めている。リユース材に関する様々な調査を進めている。中島先生（座長）、森先生（委員）にも加わって頂いている。

行政からの総括 林野庁 林政部木材産業課木材製品技術室木材技術班 日向課長補佐

長時間の議論お疲れ様でした。本日はこれまでの事業の進捗を報告して頂きました。

これまで事業遂行にご尽力を頂き、ありがとうございました。

本事業は大阪万博での CLT のリユースを念頭に進めて頂いておりますが、実際のプロジェクトにおいて、本事業で示そうとしている評価機構を活用して頂くことを期待しています。従って、課題や懸念事項も多いとは存じますが、最終的な成果のとりまとめに期待しています。よろしくお願いたします。

以上

提出資料

- 資料 2-0 議事次第
- 資料 2-1 第1回 CLT リユース委員会議事録（案）
- 資料 2-2 載荷試験経過報告
- 資料 2-3 リユース評価方法と進捗状況
- 資料 2-4 全体スケジュール
- 資料 2-5 夢洲解体物件調査
- 資料 2-6 成果報告会・概要書、事業報告書
- 資料 2-7 リユース開発検討委員会
- 資料 2-8 環境省委託事業
- 資料 2-9 CLT フォーラム 2022 開催案内

(一社)日本 CLT 協会

6.1.3 第3回 CLT リユース委員会 (20230126)

令和3年度 木材製品の消費拡大対策のうち

CLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業

～CLTパネルのリユースを実施するための性能評価手法の検討～

第3回 CLT リユース委員会

議事録

議 事 要 旨

件名	第3回 CLT リユース委員会		
日時	2023年1月26日(木) 15時30分～17時00分	場所	日本CLT協会 会議室 / 一部 web 会議
参加者	(敬称略・順不同、欠席、(Z) : ZOOM) 委員長：中島 史郎 (宇都宮大学) (Z) 委員：森 拓郎 (広島大学) (Z) 宮武 敦・宮本 康太 (森林研究・整備機構森林総合研究所) (Z) 大橋 義徳・宮崎 淳子・高梨 隆也 (北海道立総合研究機構林産試験場) (Z) 行政：日向 潔美 (林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室 木材技術班) (Z) 事務局：平原 章雄 (木構造振興) 坂部 芳平・中越 隆道・谷口 翼 (Z)・小田 祐二 ((一社)日本 CLT 協会) 協力コンタクト：溝渕 木綿子 (合同会社建設木材工学研究所) オブザーバー：渡部 博 (銘建工業) (Z)		
(議事内容)	<p>1. 前回議事録確認 (資料 3-1)</p> <p>前回議事録の確認は議事進行上省略とし、訂正事項等がある場合、各委員が事務局へ連絡することとなった。</p> <p>2. 事業成果の概要 (説明:大橋委員、高梨委員) (資料 3-2)</p> <p>委員長はじめ各委員の意見を反映した現時点での成果概要集の原稿案について、大橋委員より概要説明がなされた。</p> <p>引き続き高梨委員より、密度区分を 100kg/m²ごとに区切り、ブロックせん断強度の関係について階段状の基準値設定を試みた結果について、分析結果の説明がなされた。</p> <p>〈質疑応答・意見交換〉</p> <p>【リユース CLT の簡便な検査方法】</p> <ul style="list-style-type: none"> せん断強度については合格基準ではなく不合格基準としてはどうか。 原案の「せん断強度 0.9N/mm²以上であり、かつ木部破断率(以下 木破率)が 70%以上であれば合格」、について、「せん断強度が 0.9N/mm²未満の場合には不合格」、と変更した方がよいのではないか。様々な状況でせん断強度 0.9N/mm²以上であれば必ず合格であるとは言い難い。今回は、あくまでも下限の基準を定めたのみであるとしておくべきではないか。(中島委員長) 木破率についても 70%以上が合格なのではなく、70%未満は不合格とすべきかもしれない。 例えば、仮に木破率の初期性能がほぼ 100%の場合、リユース時にどの試験体も 75%であった場合、70%より高くても性能が劣化しているとも考えられるため、70%以上を合格と言い切りづらい。 今後の運用時に整理は必要であるが、少なくとも現在の段階では 70%に達しないものを不合格としておく方がよいのではないか。(中島委員長) →せん断強度、木破率のいずれも数値基準は不合格の判定基準とする。(大橋委員) <p>【密度区分とブロックせん断強度】</p>		

- ・ブロックせん断強度と試験片の密度について、試験片 3 サイズ(25/35/45mm)を直交加力と 45 度加力について検証している。データを見ると、直交加力は、ほぼ木破である。(一部、接着層が剥離した試験体もある。) 結果としては、いずれも JAS 基準の木破率 70%以上については、ほぼクリアしている。(高梨委員)
- ・今回の試験では、試験体は基本的に節を除外していない。(JAS の運用ではせん断強度も木破率も、節を除外する。)

今後、JAS に準拠して節を除外した試験体で検証すると、ブロックせん断の分布も変わるかもしれない。節を除外する場合の判断基準等も含めて、検査方法を詰める際には検討が必要であろう。(大橋委員)

→運用時に試験体を採取するにあたり、リユースの場合には限られた条件で試験体を採取するため、節を避けてしまうと、所定の試験体数を確保することが難しいという意味か？(宮本委員)

→それもあるが、実際に今回は節を含めて試験をしており、節のある試験体も含まれているということである。節があるとブロックせん断強度が高くなる傾向にあるので、分布上は上の方が外れることになる。下の方はあまり変わらないかもしれないので下限値の 0.9 は変わらないかもしれないが、バラつきが減れば、統計的な処理上の下限値が上がる可能性もある。(大橋委員)

- ・木破率についても、今回は節が入っているものもカウントしているか？(宮本委員)

→節が入っているものも含んでおり、節部の面積も含めて木破率を計算している。基本的に、節は剥がれる傾向にあるので(接着剤が付かないので)、木破率は低く出ると思われるが、節で木破しているものもある。それらをどのように評価するのかについては、今後考えていく必要がある。(高梨委員)

- ・報告書に「節込みのデータである」と記載しておけばよいであろう。(宮本委員)

- ・CLT あるいは集成材の JAS 基準では、木破率について、節の取扱いはどうなっているか？(中島委員長)

→JAS 運用時は試験体を選べるので、節は試験体にせず対象外とする。ただし JAS の規程があるのではなく慣用的に除外しているということである。(宮武委員)

→試験体数を確保できるかという問題はありますが、JAS と同じ運用をするのが良い。(中島委員長)

- ・JAS では試験体を 10 個取って、内 1 個までは基準値を下回ってもいいとされているが、今回は不合格とする水準を 0.9 や 70 と定めているので、試験体を採取できるかで運用を決めることになるであろう。(宮武委員)

→リユースならではの運用を踏まえて、今後、考え方を決めていかなくてはいけない。(中島委員長)

- ・現時点では無理かもしれないが、リユースの場合に合格不合格の判定を、平均値で決めるか、最少で決めるのかについて、明確に定められれば良いであろう。

結果を見ると、木破率は 96-97%程度であり、70-80%のものは少ない。しかし平均的に 70-80%程度となると、やはり劣化しているのではないかと思われる。たまたま1個の試験体の結果で不合格と言うのではなく、全部を見て判断した方が良いのではないか。(森委員)

→そのとおりだと思う。見るのは難しいが、平均的に下がっていないか、と全体を確認することが必要である。(中島委員長)

→そのとおりではあるが、直交層の場合にはバラつきが大きくなりがちなので、議論を突き詰めると、どうしても、初期の性能を確認したくなる。

ただ、70%に達しないものを不合格とするのは賛成である。直交集成板 JAS では、ブロックせん断試験は 25mm 以上 55mm 以下としているので、35mm 角の場合も 70%を適用することは問題ないが、試験体サイズが異なることの木破率への影響については報告書の中で簡単に触れておいてもよいと考える。(宮本委員)

【報告書への記載】

- ・45 度の試験体は階段状の整理ができることを確認している資料(高梨委員の作成資料)は、報告書に記載されるものと考えてよいか？(中島委員長)

→2 月 20 日納期でとりまとめる報告書では、高梨委員の分析した成果も含め、受託研究として得られた成果は、基本的には記載する予定である。(大橋委員)

- ・本事業で得られたデータの扱いについて、どのように考えているか？(事務局:小田)

→細かいデータまでは掲載しきれないかもしれないが、基本的に統計値は報告書に入れ込み、後に報告書を確認すれば最大値、最小値、平均値、バラつきなどが確認できるようにする。(大橋委員)
(実施した試験は全て公開してよいものと考えている。)

→将来のデータ活用も視野に入れ、報告書には漏れなく掲載する方針でよい。(中島委員長)

- ・報告書には密度区分とブロックせん断強度の関係図を入れて、階段上の基準の閾値が決められないので、仮に最少の 0.9 を閾値に設定したという経緯を記載しておいて頂きたい。(中島委員長)

その他 (説明:小田事務局)

本事業の成果報告会は 3 月 13 日(月)より配信が開始される。(2 月 28 日に大橋委員が成果報告を収録する予定)

総括 林野庁 林政部木材産業課木材製品技術室木材技術班 日向課長補佐

本日は CLT パネルリユースの最終委員会にあたり、中島委員長をはじめ委員の先生方には、本事業の推進に御尽力を頂き、ありがとうございました。

昨年度からの継続事業と言うことで、CLTパネルのリユースにあたって載荷による材料性能の影響や、簡便な検査方法を検討して頂きました。2 年間に渡る事業を通じた成果を取りまとめて頂き、ありがとうございます。

2025 年の大阪関西万博で出展される日本館で CLT が利用されることになっています。その CLT パネルを万博終了後に解体して、建築分野で再利用することを検討しています。本事業において日本 CLT 協会に取りまとめて下さった検査方法は、CLT パネルの再利用にあたり重要な知見になります。具体的な検査の実施方法や運用体系は未だ検討が必要ですが、今回の成果が活かされて CLT パネルが円滑に再利用されるようになることを期待しています。

事業はあと 1 か月弱ですが、報告書のとりまとめに向けてよろしくお願ひいたします。

以上

提出資料

資料 3-1 前回議事録

資料 3-2 事業成果概要

資料 3-3 成果報告会案内

(一社)日本 CLT 協会