## 令和2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

建築物で使用した CLT をリユースするための評価方法 事業報告書

令和4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
1.1 本事業の目的と実施項目・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1-1
	1-1
1.1.2 実施した項目・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1-1
1.2 実施体制とスケジュール・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1-2
1. 2. 1 実施体制・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1-2
1. 2. 2 委員会名簿・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1-2
1. 2. 3 実施スケジュール・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1-3
1.3 長期載荷試験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1-4
1.3.1 載荷条件の設定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1-4
1.3.2 試験体の準備・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1-8
1.3.3 載荷試験の実施・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1-11
第2章 設計荷重による載荷状態が材料性能に及ぼす影響の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2-1
2.1 目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2-1
2.2 弾性係数の非破壊測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2-1
	2-3
2.3.1 面外曲げ試験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2-3
	2-8
2.3.3 面外せん断試験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2-13
2.3.4 面内せん断試験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2-16
2.3.5 縦圧縮試験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2-19
2.4 本章のまとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2-23
第3章 設計荷重による載荷状態が接着性能に及ぼす影響の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3-1
3.1 目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
3.2 試験方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
3. 2.1 試験片の作製・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
3. 2. 2 減圧加圧剝離試験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
3. 2. 3 ブロックせん断試験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
3.3 結果と考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
3.3.1 マザーボードの接着性能・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
3.3.2 載荷の有無と静置環境による接着性能への影響・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3-5
3.4 本章のまとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3-9

第4章 載荷後の材料性能の簡便な評価方法の検討・・・・・・・・・・・・・・・・	4-1
4.1 目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4-1
4.2 剝離試験片の採取方法の簡便化および最適な採取サイズの検討・・・・・・・・・・	4-1
4. 2. 1 試験方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4-1
4.2.2 結果と考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4-2
4.3 ブロックせん断試験における加力方向による影響・・・・・・・・・・・・・・・	4-2
4.3.1 試験方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4-2
4.3.2 結果と考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4-3
4.4 ブロックせん断試験におけるせん断面積による影響・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4-4
4.3.1 試験方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4-4
4.3.2 結果と考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4-4
4.5 本章のまとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4-6
第 5 章 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	5-1
5.1 試験結果の総括・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	5-1
5.2 今後の課題・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	5-2
第6章 添付資料・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	6-1
6.1 全体委員会議事録・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	6-1
6.1.1 第1回 CLT リユース委員会 (20210601)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	6-1
6.1.2 第2回 CLT リユース委員会 (20211012)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	6-3
6.1.3 第3回 CLT リユース委員会 (20220128)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	6-6

#### 第1章 事業内容

#### 1.1 本事業の目的と実施項目

## 1.1.1 事業の目的

- ・建築物に使用したCLTのリユースを積極的に推進するため、荷重が載荷される期間が少ないケース(半年程度) を対象として、直交集成板の日本農林規格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、提案する。
- ・リユースの可否を簡易に確認するための方法を示すことができれば、CLT のリユースが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、時限建築や仮設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 を長く使用し続ける 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。

#### 1.1.2 実施した項目

・検討委員会を設置して事業を進め、実施内容は以下の①~③とした。

#### ①長期載荷試験

床や壁などを構成する構造材として利用したCLTをリユースする場合を想定し、半年間の載荷試験を行った。

#### ②CLT の初期性能と載荷後の材料性能の比較

荷重載荷履歴のある試験体(以下、載荷試験体と呼ぶ)および載荷履歴のない試験体(以下、初期試験体と呼ぶ)について強度試験や接着性能試験を行い、荷重載荷前後の強度・弾性係数と接着性能に関する知見を得た。

#### ③簡便な検査手法の提案

接着性能の試験方法(採取方法や寸法形状、加力方向)を検討しながら、簡便に材料性能を評価できる検査手法を検討した。

#### 1.2 実施体制とスケジュール

#### 1.2.1 実施体制

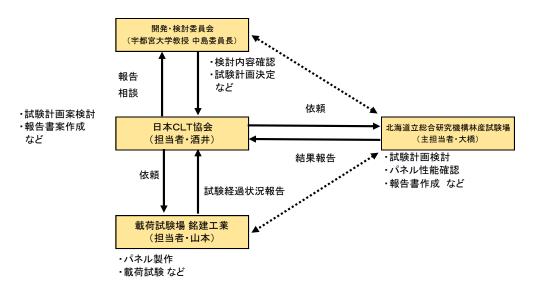


図 1.2.1-1 実施体制図

#### 1.2.2 委員会名簿

委	森 拓郎	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 チーム長

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

宮﨑 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 研究職員

行政 日向 潔美 林野庁 林政部 木材産業課 課長補佐

事務局 平原 章雄 木構造振興㈱

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

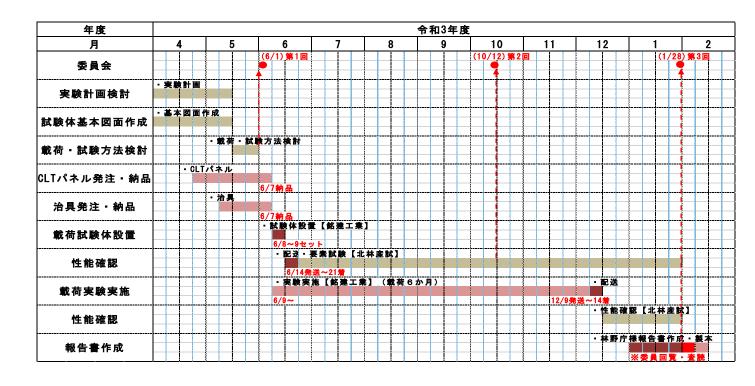
谷口翼 (一社) 日本CLT協会

宿輪 桃花 (一社) 日本 CLT 協会

酒井 洋 (一社) 日本 CLT 協会

### 1.2.3 実施スケジュール

表 1.2.1-1 実施スケジュール表



#### 1.3 長期載荷試験

## 1.3.1 載荷条件の設定

CLT が壁や床等にリユースされることを考慮して、曲げ応力やせん断応力、圧縮応力が生じるように長期載荷試験の載荷条件の検討を行った。載荷条件の計算過程を図 1.3.1~図 1.3.3 に示す。

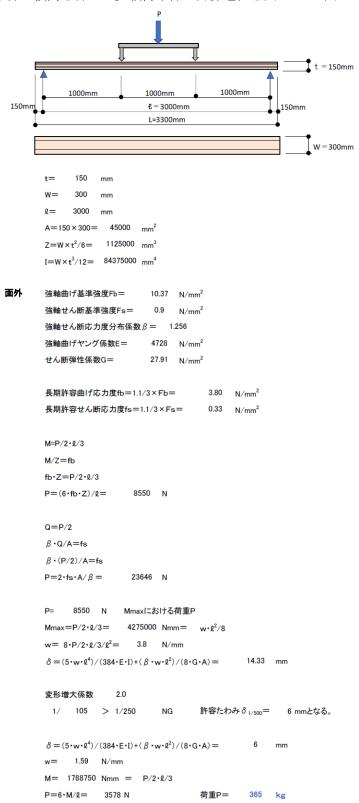


図 1.3.1 面外載荷試験の設計条件

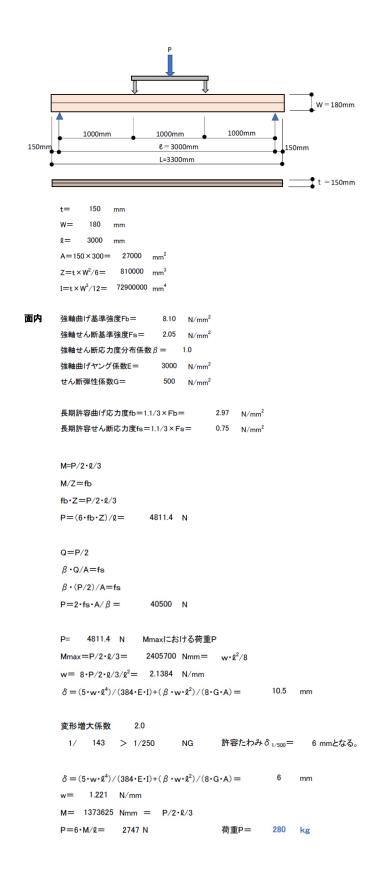


図1.3.2 面内載荷試験の設計条件

#### □再利用のための基準強度確認用試験試験体(1) CLT: Mx60-5-5

#### (1) 圧縮基準強度Fcおよび圧縮ヤング係数Ec確認用試験体

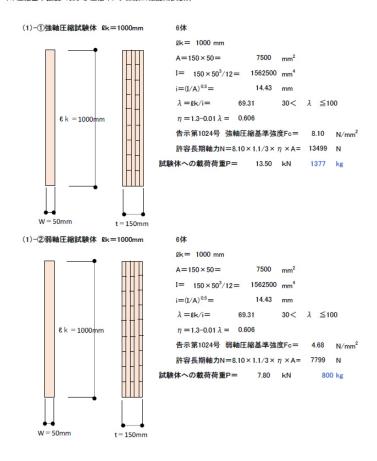


図1.3.3 縦圧縮載荷試験の設計条件

面外曲げ・せん断試験については、図 1.3.1 に示す計算の結果、載荷荷重を 1 体あたり 365kg と設定した。面内曲げ・せん断試験については、図 1.3.2 に示す計算の結果、載荷荷重を 1 体あたり 280kg と設定した。いずれも載荷荷重はたわみ量がスパン×1/500 となるように設定した。

縦圧縮試験については、図 1.3.3 に示すように、断面サイズを幅  $50 \times$  厚さ 150 mm、載荷荷重が大きくなりすぎないように細長比( $\lambda$ =69)と座屈長さ(lk=1000 mm)と設定した結果、載荷荷重は強軸方向で 1 体あたり 1377kg、弱軸方向で 1 体あたり 800kg となった。

次に、設定した載荷荷重を長期間、安定的に掛けられるように載荷方法を検討した。面外・面内載荷試験では錘となる鉄骨が安定するように設置方法を工夫した。縦圧縮試験では地震等の横揺れが起きても倒壊せずに自立するような鉄骨フレームを組み立てて4本の試験体に載荷した。詳細を図1.3.4~図1.3.6に示す。

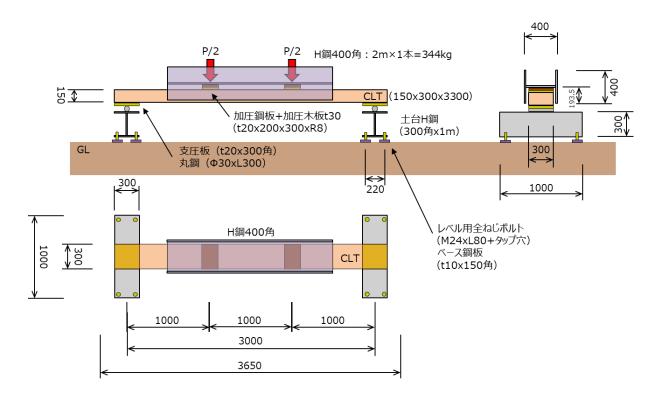


図1.3.4 面外載荷試験の載荷方法

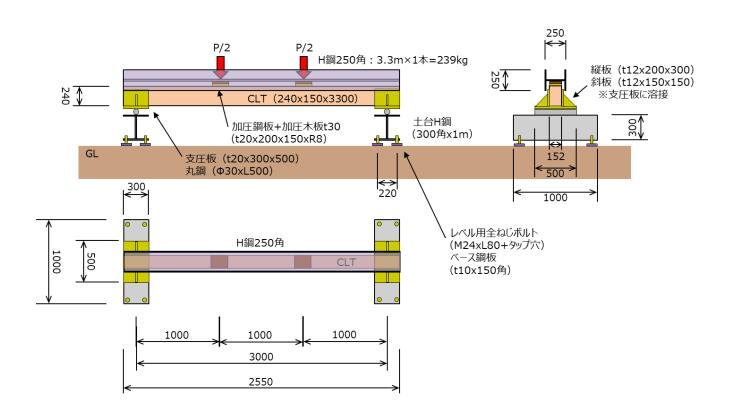
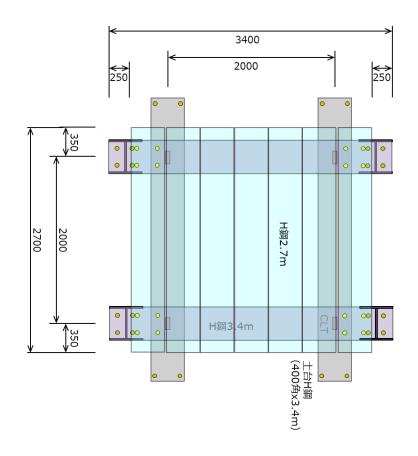


図 1.3.5 面内載荷試験の載荷方法



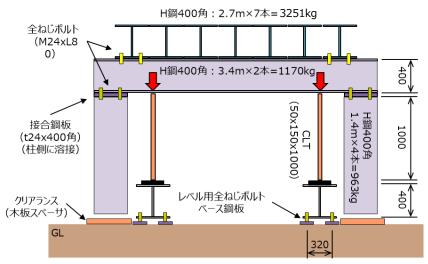


図1.3.6 縦圧縮載荷試験の載荷方法(強軸)

#### 1.3.2 試験体の準備

試験用 CLT はスギ、5 層 5 プライ(150 mm厚)、強度等級 S60、ラミナ寸法  $30 \times 122$  mm、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用いた。マザーボード 2 枚(幅  $2.4 \sim 3.0$  m×長さ 10.7 m)から各種試験体を採材した。採材位置を図 1.3.7 に、各種試験体のサイズと番号等を表 1.3.1 に示す。

G3M★G6N 予備3 予備1 ★IS2N 180x3300 ★IS1N 180x3300 OB1W 300x3300 OB2L 300x3300 IS1W 180x3300 IS2W 180x3300 IS1L 180x3300 IS2L 180x3300 ★G1N ★OB2N 300x3300 ★OS2N 300×3300 ★IB2N 180×3300 OS2W 300x3300 OB1L 300x3300 OS2L 300x3300 IB1L 180x3300 ★0B1N 300×3300 ★0S1N 300×3300 OB2W 300x3300 ★IB1N 180×3300 OS1L 300x3300 OS1W 300x3300 IB2L 180x3300

①スギCLT S60-5層5プライ・強軸 (厚さ150×幅2440×長さ10700mm、 122mmラミナ×20行×88列)

予備2

②スギCLT S60-5層5プライ・強軸 (厚さ150×幅3050×長さ10700mm、 122mmラミナ×25行×88列)

G4M ★G5N

予備4

H			★C1	4N 1411			*	C13N
予備7		★IS3N 180x3300	IS3L 180x3300	IS3W 180x3300	OB3W 300x3300	OB4L 300x3300	IS4L 180x3300	★IS4N IS4Z 約390×2300
⋆G	2N							
	C43		★IB4N		★OB4N			*OS4N
予備6	C4L	IB3L 180×3300	2300	OB3L 300x3300	2300	0S4L300x3300	OS4W 300x3300	×2300
	★C4N		IB4Z 約290×2300	083	OB4Z 約400×2300	0.84	084	OS4Z 約390x2300
	C3 子							
	C3							
予備5	CSI	80×3300	0x3300	<b>★</b> 083N 300×3300	OB4W 300x3300	*053N 300x3300	00x3300	00x3300
7	3N	★IB3N 180x33	IB4L 180x330	*OB3N	0B4W 3	<b>★</b> 053N	083L 300x330	0S3W 300x330
	★C3N							

OS=面外せん斯試験 (300×3300mm) L=岡山で半年室内載荷 →旭川IB=面内曲/試験 (180×3300mm) W=岡山で半年屋外静置 →旭川IS=面内せん断試験 (180×3300mm) Z=岡山で半年室内静置 →旭川C=圧縮座屈試験 (50×1000mm) 予=予備として岡山で室内静置 →旭川G=接着試験 (剝離+プロックせん断) M=銘建で試験	OB=面外曲/試験	$(300 \times 3300 \text{mm})$	N=載荷なし・静置なし	→旭川
試験 (180×3300mm) W=岡山で半年屋外静置 所試験 (180×3300mm) Z=岡山で半年室内静置 試験 (50×1000mm) 予=予備として岡山で室内静置 (剝離+プロックセん断) M=銃建で試験	OS=面外せん断試験	0	L=岡山で半年室内載荷	→旭川
抗蔵(180×3300mm)       Z=岡山で半年室内静置         抗酸 (50×1000mm)       予=予備として岡山で室内静置         (剝離+ブロックせん断)       M=銘建で試験	IB=面内曲げ試験	$(180 \times 3300 \text{mm})$	W=岡山で半年屋外静置	→旭川
<b>戯奏 (50×1000mm) 予=予備として岡山で室内静置 → (剝離+ブロックせん断) M=銘建で試験</b>	IS=面内セん断試験	$(180 \times 3300 \text{mm})$	Z=岡山で半年室内静置	→旭川
(剥離+ブロックせん断) M=	C=圧縮座屈試験	$(50 \times 1000$ mm)	予=予備として岡山で室内静	置→旭Ⅲ
	_	#+ブロックせん断)	M=銘建で試験	

図1.3.7 マザーボードからの各試験体の採取位置

表1.3.1 各種試験体のサイズと記号

記場	華	틾믐	材料強度試験体	式懸体		接着性能試験用		
面外曲げ試験=OB	強軸	z	OB1N	OB2N	OB3N	OB4N		
$150 \times 300 \times 3300$ mm	"	_	OB1L	OB2L	OB3L	OB4L		
	"	Z				OB4Z		
面外世化断試験=OS	"	z	OSIN	OS2N	NESO	OS4N		
$150 \times 300 \times 3300$ mm	"	_	OS1L	0S2L	OS3L	OS4L		
	"	Z				0842		
面内曲げ試験=IB	"	z	IB1N	IB2N	IB3N	IB4N		
$150\!\times\!180\!\times\!3300\text{mm}$	"	_	IB1L	IB2L	IB3L	IB4L		
	"	Z				IB4Z		
面内世ん断試験=IS	"	z	IS1N	IS2N	IS3N	IS4N		
$150\!\times\!180\!\times\!3300\text{mm}$	"	_	IS1L	IS2L	IS3L	IS4L		
	"	Z				IS4Z		
圧縮試験=C	"	Z	CIN	C2N	C3N	C4N		
$150\!\times\!50\!\times\!1000\text{mm}$	"	_	C1L	C2L	C3L	C4L		
	頭軸	z	C11N	C12N	C13N	C14N		
	"	7	C11L	C12L	C13L	C14L		
接着試験=G		Z				G1N G2N	N G5N	
		Σ				G3M G4M	Σ	

N=載荷なし・静置なし →旭川へ L=岡山で半年室内載荷→旭川へ Z=岡山で半年室内静置→旭川へ 予=予備として岡山で室内静置 →旭川へ M=銘建で初期試験

### 1.3.3 載荷試験の実施

長期載荷試験は、銘建工業の工場内で2021年6月8日から12月7日まで6か月間行った。載荷状況を図1.3.8~図1.3.10に示す。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。



図1.3.8 面外載荷試験の状況



図 1.3.9 面内載荷試験の状況



図1.3.10 面内載荷試験の状況

載荷期間にスパン中央のたわみ量と周辺環境の温湿度を計測した。面外・面内載荷試験におけるスパン中央のたわみ量の測定結果を図 1.3.11 に、温湿度の測定結果を図 1.3.12 に示す。いずれの試験においても、載荷直後の初期変形は約 4 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。

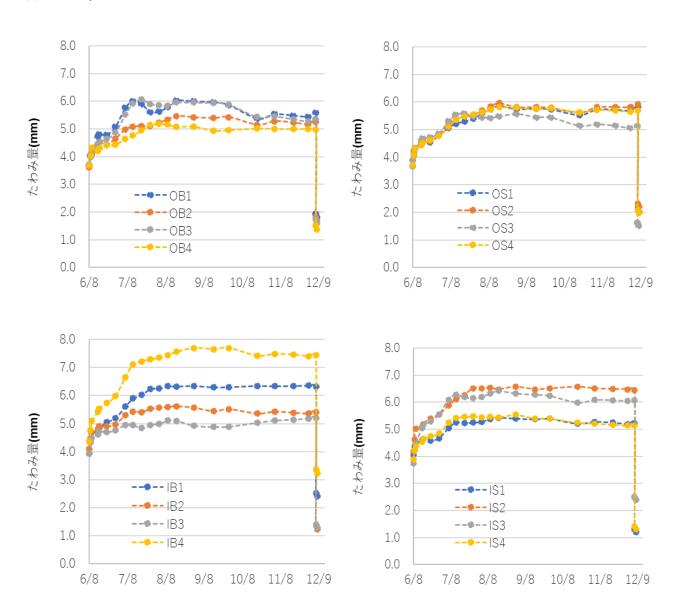


図 1.3.11 載荷試験におけるスパン中央のたわみ挙動

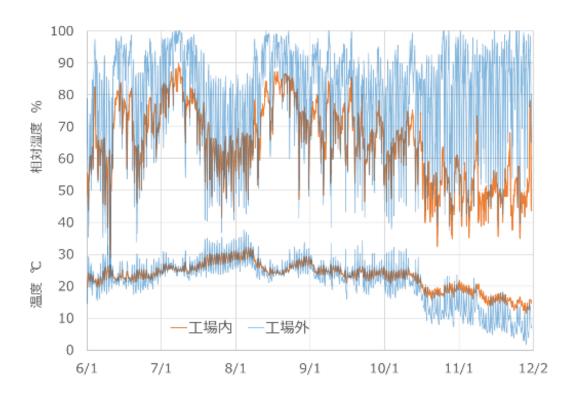


図 1.3.12 試験環境の温湿度変動

#### 第2章 設計荷重による載荷状態が材料性能に及ぼす影響の検討

#### 2.1 目的

6 か月程度の設計荷重の載荷による 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することを目的として、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、縦圧縮試験を行った。

#### 2.2 弾性係数の非破壊測定

試験体は「1.3 長期載荷試験」にて載荷をした試験体であり、積層方向載荷試験体は8体、幅方向載荷試験体は8体、総圧縮載荷試験体は強軸試験体および弱軸試験体でそれぞれ4体である。

載荷前および除荷後に、積層方向載荷試験体および幅方向載荷試験体では縦振動法による動的ヤング係数 ( $E_{fi}$ )、たわみ振動法による曲げヤング係数 ( $E_{ab}$ )、TGH 法による曲げヤング係数 ( $E_{ob}$ )、TGH 法によるせん断弾性係数 ( $E_{fi}$ )、縦圧縮載荷試験体では縦振動法による動的ヤング係数 ( $E_{fi}$ )を測定した。 $E_{ab}$ および  $E_{ob}$ は積層方向載荷試験体では積層方向、幅方向載荷試験体では幅方向で測定した。

結果を表 2.2.1~2.2.4 に示す。弾性係数の変動は最大でも 5%程度であった。せん断弾性係数も含めて、載荷前後の弾性係数の変動の平均値は最大でも 5%程度であり、弾性係数は載荷により変化しないと考えられる。

表 2.2.1 積層方向載荷試験体の弾性係数非破壊測定の結果

No.		載花	苛前			載荷	苛後			載荷後/	載荷前	
	$E_{ m fr}$	$E_{ m afb}$	$E_{ m ofb}$	G	$E_{ m fr}$	$E_{ m afb}$	$E_{ m ofb}$	G	$E_{fr}$	$E_{ m afb}$	$E_{ m ofb}$	G
	kN/mm²	kN/mm²	kN/mm²	kN/mm²	kN/mm²	kN/mm²	kN/mm²	kN/mm²				
OB1L	4.92	5.63	6.77	0.207	4.98	5.84	6.77	0.233	1.01	1.04	1.00	1.13
OB2L	4.99	5.64	6.56	0.255	5.08	5.89	7.03	0.268	1.02	1.04	1.07	1.05
OB3L	4.69	5.68	6.33	0.214	4.75	5.87	7.02	0.215	1.01	1.04	1.11	1.00
OB4L	4.75	5.72	6.69	0.218	4.77	5.71	6.32	0.233	1.00	1.00	0.95	1.07
OS1L	4.89	5.69	6.60	0.243	4.96	5.88	6.92	0.246	1.01	1.03	1.05	1.01
OS2L	4.75	5.50	6.71	0.242	4.80	5.71	6.65	0.252	1.01	1.04	0.99	1.04
OS3L	4.97	5.82	7.02	0.193	5.01	5.84	6.86	0.207	1.01	1.00	0.98	1.07
OS4L	4.81	5.56	6.90	0.203	4.84	5.59	6.42	0.209	1.01	1.00	0.93	1.03
平均									1.01	1.02	1.01	1.05

 $E_{r}$ :縦振動ヤング係数、 $E_{ab}$ :たわみ振動法による曲げヤング係数、 $E_{cb}$ :TGH 法による曲げヤング係数、 $E_{cb}$ :TGH 法による曲がヤング係数、 $E_{cb}$  によるせん断弾性係数

表 2.2.2 幅方向載荷試験体の弾性係数非破壊測定の結果

No.		載荷	苛前			載得	<b>苛後</b>		Ē	載荷後/	/載荷前	Ī
	$E_{fr}$	$E_{ m afb}$	$E_{ m ofb}$	G	$E_{ m fr}$	$E_{ m afb}$	$E_{ m ofb}$	G	$E_{ m fr}$	$E_{ m afb}$	$E_{ m ofb}$	G
	kN/mm²	kN/mm²	kN/mm²	kN/mm²	kN/mm²	kN/mm²	kN/mm²	kN/mm²				
IB1L	4.91	4.54	5.07	0.633	5.00	4.69	5.10	0.635	1.02	1.03	1.01	1.00
IB2L	4.73	4.38	4.93	0.602	4.81	4.54	5.02	0.589	1.02	1.04	1.02	0.98
IB3L	4.83	4.69	5.08	0.631	4.90	4.69	5.19	0.660	1.01	1.00	1.02	1.05
IB4L	4.53	4.25	4.87	0.675	4.57	4.40	4.73	0.692	1.01	1.04	0.97	1.03
IS1L	4.79	4.30	4.90	0.688	4.88	4.48	4.87	0.701	1.02	1.04	0.99	1.02
IS2L	4.74	4.45	4.94	0.635	4.83	4.47	4.75	0.742	1.02	1.01	0.96	1.17
IS3L	4.99	4.84	5.31	0.623	5.05	4.85	5.25	0.661	1.01	1.00	0.99	1.06
IS4L	5.02	4.72	5.25	0.606	5.08	4.71	5.10	0.631	1.01	1.00	0.97	1.04
平均									1.02	1.02	0.99	1.04

 $E_{\rm f}$ :縦振動ヤング係数、 $E_{\rm afb}$ :たわみ振動法による曲げヤング係数、 $E_{\rm ofb}$ :TGH 法による曲げヤング係数、G:TGH 法によるせん断弾性係数

表 2.2.3 強軸縦圧縮載荷試験体の弾性係数非破壊測定の結果

	載荷前	載荷後	載荷後/載荷前
No.	$E_{fr}$	$E_{fr}$	
	kN/mm²	kN/mm²	
C1L	4.99	5.04	1.01
C2L	4.45	4.52	1.02
C3L	4.84	4.91	1.01
C4L	4.22	4.24	1.00
平均			1.01

 $E_{\rm fr}$ : 縦振動ヤング係数

表 2.2.4 弱軸縦圧縮載荷試験体の弾性係数非破壊測定の結果

	載荷前	載荷後	載荷後/載荷前
No.	$E_{fr}$	$E_{ m fr}$	
	$kN/mm^2$	kN/mm²	
C11L	3.31	3.30	1.00
C12L	3.22	3.25	1.01
C13L	3.35	3.35	1.00
C14L	3.41	3.31	0.97
平均			1.00

 $E_{rr}$ : 縦振動ヤング係数

#### 2.3 実大強度試験

#### 2.3.1 面外曲げ試験

#### 2.3.1.1 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、試験体数は載荷履歴のない試験体 3 体および、積層方向載荷試験体 3 体である。試験は木材実大強度試験機 (東京衡機製造所製 最大曲げ容量 200 kN)を用いて行った (図 2.3.1.1)。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  $12 \, \text{mm}/\text{分}$ とした。材長中央の中立軸で支点間スパンの全たわみ ( $\delta$ )および荷重点間スパンの純曲げたわみ ( $\delta$ )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 ( $O_b$ )を算出した。

$$E_{\rm m} = \frac{a(3L^2 - 4a^2)\Delta P}{4bh^3\Delta\delta_{\rm t}}$$
 
$$E_{\rm b} = \frac{3al^2\Delta P}{4bh^3\Delta\delta_{\rm b}}$$

$$\sigma_{\rm b} = \frac{3aP_{\rm max}}{bh^2}$$

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)、 $\Delta P$ : 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、 $\Delta \delta$ :  $\Delta P$  に対応する支点間たわみ、l: 荷重点間スパン (1000 mm)、 $\Delta \delta$ :  $\Delta P$  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。

#### 2.3.1.2 結果

結果を表 2.3.1.1、表 2.3.1.2 および図 2.3.1.2 に、荷重-全たわみの関係を図 2.3.1.3 に示す。表 2.3.1.1、表 2.3.1.2 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 2.3.1.4 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 2.3.1.5 に各試験体の破壊形態を示す。曲げヤング係数の計算値は、CLT 設計マニュアルをもとに以下の式により平均値に相当する値を算出した。

## 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、 $I_0$ : CLT の断面二次モーメント。 $I_0$ には直交集成板の日本農林規格に規定される $I_0$ M60 ラミナの曲げヤング係数平均値を用いた。

また、曲げ強度の計算値は、CLT 設計マニュアルをもとに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。

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

ここで、 $\phi$ : 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、 $\sigma_{b\_oml}$ : 最も外側の層に使用する強軸ラミナの曲げ強度( $\sigma_{b\_oml}$ 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を用いた)。

破壊形態は、すべての試験体で最外層引張側のフィンガージョイント部または節を起点とする曲げ破壊であった。曲げヤング係数は載荷の有無で違いは生じなかった。曲げ強度は載荷ありの試験体の値が載荷なしの試験体より小さい傾向が見られたが、破壊要因となった純曲げ区間の引張側にあるラミナのたて継ぎ部や節の入り方が異なること、試験体数も少ないことから、今回の結果で載荷の影響で低下したとまで判断できなかった。なお、すべての試験体が計算下限値を上回り、平均値も計算平均値を上回っている。



図 2.3.1.1 面外曲げ試験の様子

表 2.3.1.1 載荷なし試験体の面外曲げ試験結果

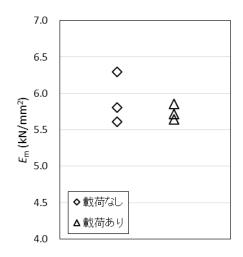
No.	$E_{ m fr}$	$E_{ m afb}$	$E_{ m ofb}$	G	$E_{\rm m}$	$E_{\!\scriptscriptstyle \mathrm{b}}$	$\sigma_{b}$	破壊形態	破壊時間	含水率
			kN/r	mm²			$N/mm^2$		分	%
OB1N	4.87	5.73	6.13	0.252	5.61	5.67	23.5	曲げ	5.0	8.9
OB2N	5.01	6.11	6.47	0.248	6.29	6.64	23.8	曲げ	4.5	9.6
OB3N	4.74	5.84	6.44	0.202	5.81	6.09	28.8	曲げ	5.4	8.6
平均値	4.87	5.89	6.34	0.234	5.90	6.13	25.4			_
変動係数	2.8%	3.3%	3.0%	11.9%	5.9%	7.9%	11.8%			
計算平均值						4.75	13.9			_
計算下限値							10.4			

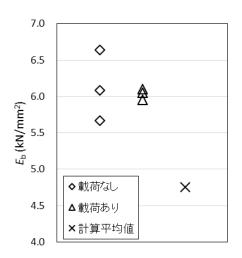
 $E_n$ :縦振動ヤング係数、 $E_{ab}$ : たわみ振動法による曲げヤング係数、 $E_{ob}$ : TGH 法による曲げヤング係数、 $E_n$ : 曲げ試験による見かけの曲げヤング係数、 $E_n$ : 曲げ試験による真の曲げヤング係数、 $E_n$ : 曲げ強度

表 2.3.1.2 載荷あり試験体の面外曲げ試験結果

No.	$\mathcal{E}_{fr}$	$E_{ m afb}$	$E_{ m ofb}$	G	$E_{\rm m}$	$E_{\!\scriptscriptstyle \mathrm{b}}$	$\sigma_{b}$	破壊形態	破壊時間	含水率
			kN/	mm²			$N/mm^2$		分	%
OB1L	4.98	5.84	6.77	0.233	5.72	6.10	22.0	曲げ	4.2	10.1
OB2L	5.08	5.89	7.03	0.268	5.86	6.05	22.5	曲げ	3.9	10.4
OB3L	4.75	5.87	7.02	0.215	5.65	5.95	17.5	曲げ	3.2	10.1
平均値	4.94	5.87	6.94	0.238	5.74	6.03	20.7			
変動係数	3.4%	0.5%	2.1%	11.2%	1.9%	1.2%	11.8%			
計算平均値						4.75	13.9			
計算下限値							10.4			

 $E_{\!\!{}_{\!\! ext{f.}}}$ :縦振動ヤング係数、 $E_{\!\!{}_{\!\! ext{ob}}}$ :たわみ振動法による曲げヤング係数、 $E_{\!\!{}_{\!\! ext{ob}}}$ :TGH 法による曲げヤング係数、 $E_{\!\!{}_{\!\! ext{ob}}}$ :曲げ試験による見かけの曲げヤング係数、 $E_{\!\!{}_{\!\! ext{o}}}$ :曲げ試験による真の曲げヤング係数、 $\sigma_{\!\!{}_{\!\! ext{o}}}$ :曲げ強度





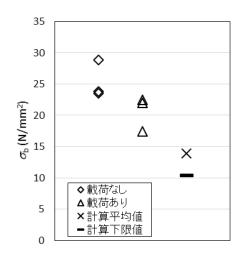
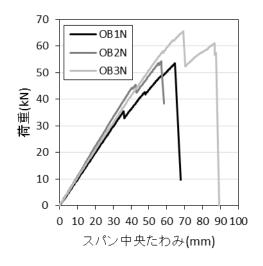
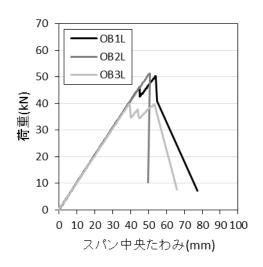


図 2.3.1.2 面外曲げ試験の結果

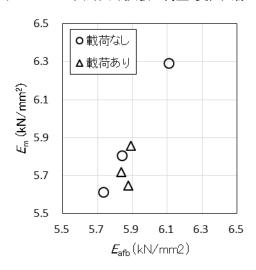
 $(E_m: 曲げ試験による見かけの曲げヤング係数、<math>E_b: 曲げ試験による真の曲げヤング係数、 \sigma_b: 曲げ強度)$ 





【載荷なし】

図 2.3.1.3 面外曲げ試験の荷重-変位曲線





0

6.0

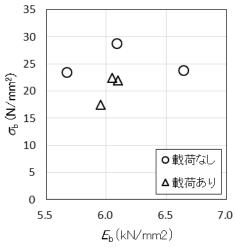
6.5

 $E_{ofb}$  (kN/mm2)

7.0

7.5

【載荷あり】



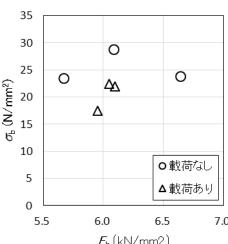


図 2.3.1.4 測定方法が異なる曲げ弾性係数間の関係および曲げ弾性係数と曲げ強度の関係  $(E_{afb}: たわみ振動法による曲げヤング係数、<math>E_{ofb}: TGH$ 法による曲げヤング係数、 $E_{m}:$ 曲げ試験による見かけ の曲げヤング係数、 $E_b$ : 曲げ試験による真の曲げヤング係数、 $\sigma_b$ : 曲げ強度)

5.5

5.5



図2.3.1.5 面外曲げ試験の破壊形態

#### 2.3.2 面内曲げ試験

#### 2.3.2.1 試験体および試験方法

試験体寸法は幅  $180 \text{ mm} \times \mathbb{P}$   $\stackrel{?}{=}$   $150 \text{ mm} \times \mathbb{P}$   $\stackrel{?}{=}$  3300 mm であり、試験体数は載荷履歴のない試験体 3 体および、積層方向載荷試験体 3 体である。試験は木材実大強度試験機 (東京衡機製造所製 最大曲げ容量 200 kN)を用いて行った (図 2.3.2.1)。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 ( $\delta$ )および荷重点間スパンの順曲げたわみ ( $\delta$ )を測定した。以下の式により見かけの曲げヤング係数 ( $E_{\text{m}}$ )、真の曲げヤング係数 ( $E_{\text{b}}$ )、曲げ強度 ( $\sigma$ 6)を算出した。

$$E_{\rm m} = \frac{a(3L^2 - 4a^2)\Delta P}{4bh^3\Delta\delta_{\rm t}}$$
 
$$E_{\rm b} = \frac{3al^2\Delta P}{4bh^3\Delta\delta_{\rm b}}$$
 
$$\sigma_{\rm b} = \frac{3aP_{\rm max}}{bh^2}$$

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)、 $\Delta P$ : 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、 $\Delta \delta$ :  $\Delta P$  に対応する支点間たわみ、l: 荷重点間スパン (1000 mm)、 $\Delta \delta$ :  $\Delta P$  に対応する荷重点間たわみ、 $P_{\text{max}}$ : 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。

#### 2.3.2.2 結果

結果を表 2.3.2.1、表 2.3.2.2 および図 2.3.2.2 に、荷重-全たわみの関係を図 2.3.2.3 に示す。表 2.3.2.1、表 2.3.2.2 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 2.3.2.4 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 2.3.2.5 に各試験体の破壊形態を示す。曲げヤング係数の計算値は、CLT 設計マニュアルをもとに以下の式により平均値に相当する値を算出した。

## 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、 $A_0$ : CLT の断面積。 $E_i$ には直交集成板の日本農林規格に規定される M60 ラミナの曲げヤング係数平均値を用いた。

また、曲げ強度の計算値は、CLT 設計マニュアルをもとに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。

曲げ強度計算値 = Ø 
$$\sigma_{b\_oml} \frac{\sum (E_i A_i)}{E_o I_o}$$

ここで、 $\phi$  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、 $\sigma_{b\_oml}$ : 最も外側の層に使用する強軸ラミナの曲げ強度( $\sigma_{b\_oml}$ 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を用いた)。

破壊形態は、すべての試験体で平行層ラミナのフィンガージョイント部または節を起点とする曲げ破壊であった。曲げヤング係数は載荷の有無で違いは生じなかった。曲げ強度の平均値は載荷ありの試験体の値が載荷なしの試験体より小さい傾向が見られたが、破壊要因となった純曲げ区間の引張側にあるラミナのたて継ぎ部や節の入り方が異なること、試験体数も少ないことから、今回の結果で載荷の影響で低下したとまで判断できなかった。なお、すべての試験体が計算下限値を上回り、平均値も計算平均値を上回っている。



図 2.3.2.1 面内曲げ試験の様子

表 2.3.2.1 載荷なし試験体の面内曲げ試験結果

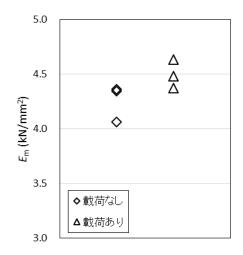
No.	$E_{fr}$	$E_{ m afb}$	$E_{ m ofb}$	G	E <sub>m</sub>	$E_{\rm b}$	$\sigma_{b}$	破壊形態	破壊時間	含水率
			kN/ı	mm²			$N/mm^2$		分	%
IB1N	4.75	4.60	4.98	0.701	4.36	4.38	26.9	曲げ	5.5	9.3
IB2N	4.80	4.47	4.67	0.685	4.35	4.23	17.2	曲げ	3.3	9.6
IB3N	4.51	4.09	4.44	0.660	4.06	4.19	19.9	曲げ	4.1	8.9
平均値	4.69	4.39	4.70	0.682	4.26	4.27	21.4			
変動係数	3.3%	6.1%	5.8%	3.0%	3.9%	2.3%	23.4%			
計算平均値						3.60	13.0			
計算下限値							9.7			

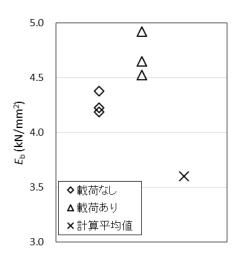
 $E_{\!_{
m f}}$ : 縦振動ヤング係数、 $E_{\!_{
m ah}}$ : たわみ振動法による曲げヤング係数、 $E_{\!_{
m oh}}$ : TGH 法による曲げヤング係数、 $E_{\!_{
m oh}}$ : 曲げ試験による見かけの曲げヤング係数、 $E_{\!_{
m oh}}$ : 曲げ試験による真の曲げヤング係数、 $E_{\!_{
m oh}}$ : 曲げ強度

表 2.3.2.2 載荷あり試験体の面内曲げ試験結果

No.	$E_{ m fr}$	$E_{ m afb}$	$E_{ m ofb}$	G	$E_{\rm m}$	$E_{\!\scriptscriptstyle  m b}$	$\sigma_{b}$	破壊形態	破壊時間	含水率
			kN	I/mm²			$N/mm^2$		分	%
IB1L	5.00	4.69	5.10	0.635	4.48	4.92	20.7	曲げ	3.8	10.3
IB2L	4.81	4.54	5.02	0.589	4.37	4.52	15.7	曲げ	3.1	10.2
IB3L	4.90	4.69	5.19	0.660	4.63	4.65	19.4	曲げ	4.4	10.8
平均値	4.90	4.64	5.11	0.628	4.49	4.70	18.6			
変動係数	1.9%	1.8%	1.7%	5.7%	2.9%	4.3%	14.0%			
計算平均値						3.60	13.0			
計算下限値							9.7			

 $E_{\!_{
m f}}$ :縦振動ヤング係数、 $E_{\!_{
m ab}}$ :たわみ振動法による曲げヤング係数、 $E_{\!_{
m ob}}$ :TGH 法による曲げヤング係数、 $E_{\!_{
m ob}}$ :はるせん断弾性係数、 $E_{\!_{
m m}}$ :曲げ試験による見かけの曲げヤング係数、 $E_{\!_{
m ob}}$ :曲げ強度





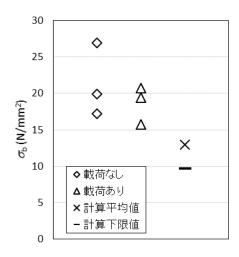
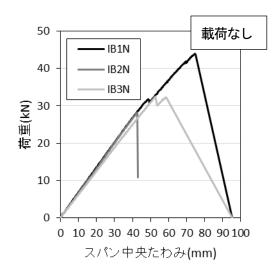


図 2.3.2.2 面内曲げ試験の結果

 $(E_m: 曲げ試験による見かけの曲げヤング係数、<math>E_b: 曲げ試験による真の曲げヤング係数、 \sigma_b: 曲げ強度)$ 



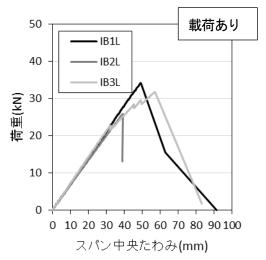
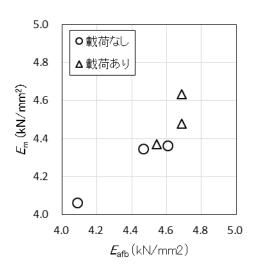
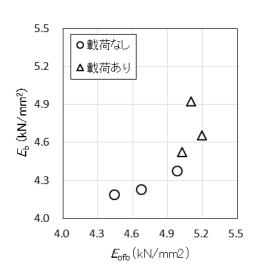


図 2.3.2.3 面内曲げ試験の荷重-変位曲線





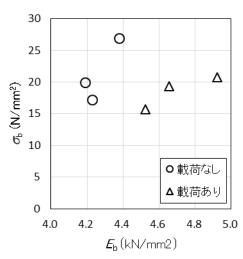


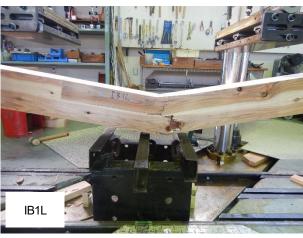
図 2.3.2.4 曲げ弾性係数の関係および曲げ弾性係数と曲げ強度の関係

 $(E_{ab}: たわみ振動法による曲げヤング係数、<math>E_{ob}: TGH$  法による曲げヤング係数、 $E_m: 曲げ試験による見かけの曲げヤング係数、<math>E_b: 曲げ試験による真の曲げヤング係数、$   $\sigma_b: 曲げ強度)$ 













【載荷なし】 図 2.3.2.5 面内曲げ試験の破壊形態

【載荷あり】

#### 2.3.3 面外せん断試験

#### 2.3.3.1 試験体および試験方法

試験体は、載荷履歴のない幅 300 mm×厚さ 150 mm×長さ 3300 mm の材料 3 体を三分割して幅 300 mm×厚さ 150 mm×長さ 1100 mm としたもの 9 体および、載荷履歴のある幅 300 mm×厚さ 150 mm×長さ 3300 mm の材料 3 体を三分割して幅 300 mm×厚さ 150 mm×長さ 1100 mm としたもの 9 体である。試験は木材実大強度試験機(東京衡機製造所製 最大曲げ容量 200 kN)を用いて行った(図 2.3.3.1)。荷重条件は支点間スパン 750 mm 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 3 mm/分とした。支点および加力点の加圧版の幅は 150 mm とした。以下の式によりせん断強度(分およびせん断弾性係数(G)を算出した。

$$\begin{split} \sigma_{\rm s} &= \frac{3P_{\rm max}}{4bh} \\ G &= \frac{kL}{\frac{4\Delta\delta}{\Delta P} - \frac{L^3}{Ebh^3}} \cdot \frac{1}{bh} \end{split}$$

ここで、 $P_{\max}$ :最大荷重、b:試験体幅、h:試験体材せい、k:形状係数 (1.2)、L:支点間スパン (3000 mm)、 $\Delta P$ :比例域における上限荷重と下限荷重の差、 $\Delta \delta$ :  $\Delta P$  に対応するクロスヘッド移動量、E:曲げヤング係数。なお、E は面外曲げ試験で得られた  $E_b$ の平均値 6.13 kN/mm² (載荷なし試験体)、6.03 kN/mm² (載荷あり試験体)を用いた。また、クロスヘッド移動量は支点および荷重点のめり込みを含むため $\Delta \delta$  は材料の実際の変形量より大きくなる。従って、算出される G は過小評価となる。

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。

## 2.3.3.2 結果

結果を表2.3.3.1、表2.3.3.2 および図2.3.3.2 に、荷重-クロスヘッド移動量の関係を図2.3.3.3 に示す。また、図2.3.3.4 に代表的な破壊形態を示す。破壊形態は、直交層のローリングシアー破壊が先行し、多く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。破壊形態で荷重-クロスヘッド移動量曲線に違いは見られなかったことから、せん断破壊の評価はできていたものと考えられる。また、載荷の有無によるせん断強度およびせん断弾性係数の違いは観察されなかった。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 2.3.3.1 面外せん断試験の様子

表 2.3.3.1 載荷なし試験体の面外せん断試験結果

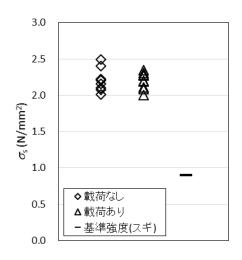
No.	$\sigma_{\scriptscriptstyle \mathbb{S}}$	G	破壊形態	破壊時間	含水率
	$N/mm^2$	kN/mm²		分	%
OS1N-1	2.2	0.121	せん断	6.2	9.3
OS1N-2	2.5	0.143	せん断	7.9	9.7
OS1N-3	2.1	0.125	せん断・曲げ	7.0	10.3
OS2N-1	2.4	0.138	せん断	5.3	9.3
OS2N-2	2.2	0.117	せん断	7.7	9.6
OS3N-3	2.2	0.125	せん断・曲げ	5.6	9.1
OS3N-1	2.1	0.143	せん断・曲げ	4.2	9.4
OS3N-2	2.0	0.107	せん断・曲げ	5.0	9.1
OS3N-3	2.2	0.118	せん断・曲げ	8.8	9.0
平均	2.2	0.126			
変動係数	6.9%	9.8%			
基準強度(スギ)	0.9				

 $\sigma_{\rm s}$ : せん断強度、G: せん断弾性係数

表 2.3.3.2 載荷あり試験体の面外せん断試験結果

No.	$\sigma_{ extsf{s}}$	G	破壊形態	破壊時間	含水率
	N/mm²	kN/mm²		分	%
OS1L-1	2.2	0.141	せん断	6.1	10.1
OS1L-2	2.3	0.142	せん断・曲げ	6.8	10.5
OS1L-3	2.3	0.134	せん断・曲げ	7.1	11.1
OS2L-1	2.3	0.155	せん断・曲げ	5.5	10.9
OS2L-2	2.2	0.138	せん断・曲げ	4.5	11.0
OS3L-3	2.1	0.135	せん断・曲げ	4.3	11.0
OS3L-1	2.3	0.140	せん断・曲げ	5.5	10.5
OS3L-2	2.1	0.102	せん断	6.8	10.6
OS3L-3	2.0	0.110	せん断・曲げ	5.1	10.3
平均	2.2	0.133			
変動係数	5.2%	12.4%			
基準強度(スギ)	0.9				

 $\sigma_{\rm s}$ : せん断強度、G: せん断弾性係数



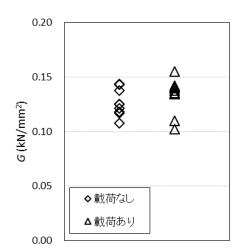
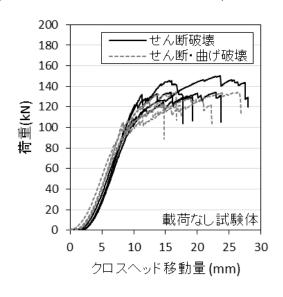


図 2.3.3.2 面外せん断試験の結果

 $(\sigma_s: せん断強度、<math>G: せん断弾性係数)$ 



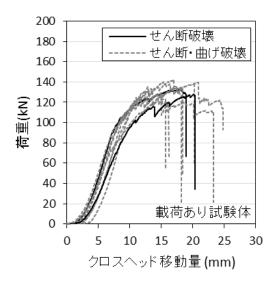


図 2.3.3.3 面外せん断試験の荷重-クロスヘッド移動量曲線





図2.3.3.4 面外せん断試験の代表的な破壊形態

#### 2.3.4 面内せん断試験

#### 2.3.4.1 試験体および試験方法

試験体は、載荷履歴のない幅 180 mm×厚さ 150 mm×長さ 3300 mm の材料 3 体を 2 分割して幅 180 mm×厚さ 150 mm×長さ 1650 mm としたもの 6 体および、載荷履歴のある幅 180 mm×厚さ 150 mm×長さ 3300 mm の材料 3 体を 2 分割して幅 180 mm×厚さ 150 mm×長さ 1650 mm としたもの 6 体である。試験は木材実大強度試験機(東京衡機製造所製 最大曲げ容量 200 kN)を用いて行った(図 2.3.4.1)。荷重条件はせん断力一定区間を 360 mm とした逆対称 4 点荷重方式、クロスヘッドの移動速度は 3 mm/分とした。加圧版の幅は、両端部の加力点および支点では 200 mm、中間部の支点および加力点では 150 mm とした。支点間中央部の中立軸で支点間たわみ (る)を測定した。以下の式によりせん断強度 (の)およびせん断弾性係数 (G)を算出した。

$$\sigma_{s} = \frac{3P_{\text{max}}}{4bh}$$

$$G = \frac{kL}{\frac{8\Delta\delta}{\Delta P} - \frac{2L^{3}}{9Ehh^{3}}} \cdot \frac{1}{bh}$$

ここで、 $P_{\max}$ :最大荷重、b:試験体幅、h:試験体材せい、k:形状係数 (1.2)、L:荷重点から反対側支点までのスパン (1080 mm)、 $\Delta P$ :比例域における上限荷重と下限荷重の差、 $\Delta \delta$ :  $\Delta P$  に対応する支点間たわみ、E: 曲げ剛性。なお、E は面内曲げ試験で得られた  $E_b$  の平均値 4.27 kN/mm² (載荷なし試験体)、4.70 kN/mm² (載荷あり試験体)を用いた。

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。

#### 2.3.4.2 結果

結果を表 2.3.4.1、表 2.3.4.2 および図 2.3.4.2 に、荷重-荷重点下変位の関係を図 2.3.4.3 に示す。また、図 2.3.4.4 に代表的な破壊形態を示す。破壊形態は主には直交接着層のねじりせん断破壊であった。一部の試験体ではせん断破壊に続いて曲げモーメントが最大となる中央支点付近での曲げ破壊も観察された。破壊形態で荷重-変位曲線に違いは見られなかったことから、せん断破壊の評価はできていたものと考えられる。また、載荷の有無によってせん断強度およびせん断弾性係数に大きな違いは生じなかった。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 2.3.4.1 面内せん断試験の様子

表 2.3.4.1 載荷なし試験体の面内せん断試験結果

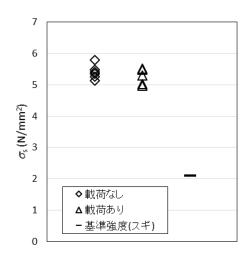
No.	$\sigma_{\scriptscriptstyle  extsf{S}}$	G	破壊形態	破壊時間	含水率
	$N/mm^2$	kN/mm²		分	%
IS1N-1	5.5	0.744	せん断	3.2	8.9
IS1N-2	5.3	0.876	せん断	3.4	8.8
IS2N-1	5.4	0.664	せん断	3.3	8.7
IS2N-2	5.1	0.680	せん断・曲げ	3.4	9.1
IS3N-1	5.8	0.923	曲げ・せん断	3.5	9.4
IS3N-2	5.4	0.896	せん断	3.2	9.5
平均	5.4	0.797			
変動係数	4.1%	14.4%			
基準強度	2.1				

 $\sigma_{\rm s}$ : せん断強度、G: せん断弾性係数

表 2.3.4.2 載荷あり試験体の面内せん断試験結果

No.	$\sigma_{\scriptscriptstyle  extsf{S}}$	G	破壊形態	破壊時間	含水率
	$N/mm^2$	kN/mm²		分	%
IS1L-1	5.3	0.702	せん断	2.7	10.4
IS1L-2	5.0	0.623	せん断・曲げ	2.7	10.3
IS2L-1	5.5	0.878	せん断	2.5	10.6
IS2L-2	5.0	0.754	せん断・曲げ	2.8	10.4
IS3L-1	5.5	0.696	せん断	3.1	10.5
IS3L-2	5.5	0.816	せん断	2.7	10.4
平均	5.3	0.745			
変動係数	4.7%	12.3%			
基準強度	2.1				

 $\sigma_{\rm s}$ : せん断強度、G: せん断弾性係数



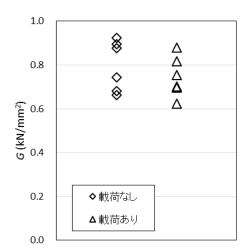
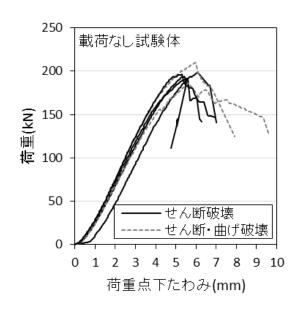


図 2.3.4.2 面内せん断試験の結果

 $(\sigma_s: せん断強度、<math>G: せん断弾性係数)$ 



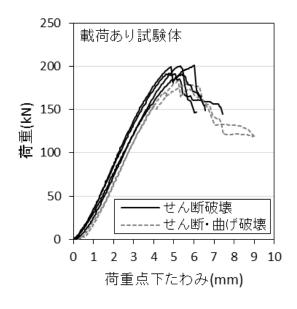


図 2.3.4.3 面内せん断試験の荷重-変位関係





図2.3.4.4 面内せん断試験の代表的な破壊形態

# 2.3.5 縦圧縮試験

## 2.3.5.1 試験体および試験方法

試験体寸法は幅 50 mm×厚さ 150 mm×長さ 1000 mm である。最外層ラミナの繊維方向が試験体長さ方向と平行である試験体を強軸試験体、直交である試験体を弱軸試験体として、試験体数は載荷履歴のない試験体で強軸および弱軸試験体 3 体ずつである。試験は木材実大強度試験機 (東京衡機製造所製 最大荷重容量 1000 kN)を用いて行った (図 2.3.5.1)。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 ( $\sigma$ )を算出した。

$$\sigma_{\rm c} = \frac{P_{\rm max}}{bh}$$

ここで、 $P_{\text{max}}$ :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。

#### 2.3.5.2 結果

結果を**表 2. 3. 5. 1~表 2. 3. 5. 4** および**図 2. 3. 5. 2、図 2. 3. 5. 4** に示す。また、**図 2. 3. 5. 3** および**図 2. 3. 5. 5** に代表的な破壊形態を示す。破壊形態はほとんどの試験体で面内方向座屈であり、平行層が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。

縦圧縮強度計算値 = Ø 
$$\sigma_{b\_oml} \frac{\sum (E_i A_i)}{E_o I_o}$$

ここで、 $\phi$  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: -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番目の層の断面積、A: E CLT の断面二次モーメント、 $E_0: 最も外側の層に使用する強軸ラミナの曲げヤング係数、<math>G_{b\_oml}:$ 最も外側の層に使用する強軸ラミナの曲げ強度 ( $G_{b\_oml}$ 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を用いた)。

縦圧縮試験においては、載荷による圧縮強度の低下は見られなかった。圧縮強度の平均値は基準強度の値を上回ったものの、載荷の有無に関わらず、すべての試験体の破壊形態が面内方向への座屈であったことから、面外方向で破壊する試験条件で検証する必要がある。



図 2.3.5.1 縦圧縮試験の様子

表 2.3.5.1 載荷なし強軸試験体の縦圧縮試験結果

No.	$\sigma_{ ext{c}}$	破壊形態	破壊時間	含水率
	N/mm²		分	%
C1N	13.8	面内座屈	2.3	9.3
C2N	18.7	面内座屈	2.9	9.6
C3N	16.4	面内座屈	2.5	9.0
平均	16.3			
変動係数	14.9%			
計算平均值	13.0			
計算下限値	9.7			

 $\sigma_{\rm c}$ :縦圧縮強度

表 2.3.5.2 載荷あり強軸試験体の縦圧縮試験結果

No.	$\sigma_{ extsf{c}}$	破壊形態	破壊時間	含水率
	$N/mm^2$		分	%
C1L	19.8	面内座屈	3.1	11.0
C2L	18.8	面内座屈	3.0	11.0
C3L	17.7	面内座屈	3.5	10.7
平均	18.8			
変動係数	5.6%			
計算平均值	13.0			
計算下限値	9.7			

 $\sigma_{\rm c}$ :縦圧縮強度

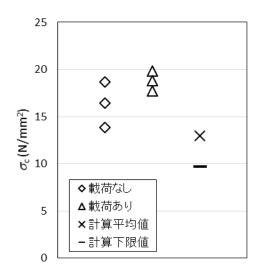


図2.3.5.2 縦圧縮試験の結果 (強軸試験体)

(σ: 縦圧縮強度)



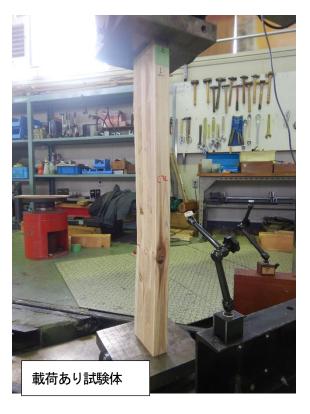


図 2.3.5.3 縦圧縮試験の代表的な破壊形態 (強軸試験体)

表 2.3.5.3 載荷なし弱軸試験体の縦圧縮試験結果

No.	$\sigma_{ ext{c}}$	破壊形態	破壊時間	含水率
	$N/mm^2$		分	%
C11N	11.8	面内座屈	2.6	8.9
C12N	11.7	面内座屈	2.6	8.9
C13N	12.1	面内座屈	2.4	9.1
平均	11.9			
変動係数	1.8%			
計算平均値	8.6			
計算下限値	6.5			

 $\sigma_{\rm c}$ :縦圧縮強度

表 2.3.5.4 載荷あり弱軸試験体の縦圧縮試験結果

No.	$\sigma_{ extsf{c}}$	破壊形態	破壊時間	含水率
	$N/mm^2$		分	%
C11L	13.5	面外座屈	2.7	10.8
C12L	14.3	面内座屈	3.2	10.6
C13L	13.1	面内座屈	2.6	10.3
平均	13.6			
変動係数	4.2%			
計算平均値	8.6			
計算下限値	6.5			

 $\sigma_{\rm c}$ :縦圧縮強度

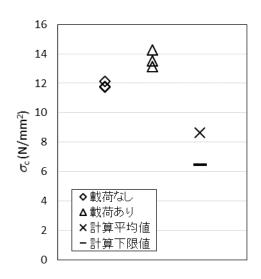


図2.3.5.4 縦圧縮試験の結果(弱軸試験体)

(σς: 縦圧縮強度)





図2.3.5.5 縦圧縮試験の代表的な破壊形態 (弱軸試験体)

#### 2.4 本章のまとめ

面外曲げ試験と面内曲げ試験においては、いずれも曲げ強度は載荷あり試験体が載荷なし試験体より低くなったが、破壊要因となった純曲げ区間の引張側にあるラミナのたて継ぎ部や節の入り方が異なること、試験体数も少ないことから、今回の結果で載荷の影響で低下したとまで判断できなかった。なお、面外・面内ともに曲げ強度の平均値と下限値はそれぞれの基準強度の値を上回った。

面外せん断試験と面内せん断試験においては、いずれもせん断強度は載荷あり試験体と載荷なし試験体で差は 少なく、載荷の有無の影響は見られなかった。面外・面内ともにせん断強度の下限値も基準強度を上回り、設計 上も支障なく使用できるものと考えられる。

縦圧縮試験においては、載荷による圧縮強度の低下は見られなかった。圧縮強度の平均値は基準強度の値を上回ったものの、載荷の有無に関わらず、すべての試験体の破壊形態が面内方向への座屈であったことから、面外方向で破壊する試験条件で検証する必要がある。

以上の結果から、加力条件によっては、載荷あり試験体の強度が載荷なし試験体よりやや低下したものがあったが、いずれも基準強度を上回った。

## 第3章 設計荷重による載荷状態が接着性能に及ぼす影響の検討

#### 3.1 目的

設計荷重を半年間載荷した CLT の接着性能を調べるために、直交集成板の日本農林規格(JAS)に準じて減圧加圧剝離試験、ブロックせん断試験を実施した。JAS による CLT の接着性能の評価では、ブロックせん断試験を行うこととされているが、直交積層された接着層については木部破断率が評価されるのみで、せん断強さは評価されない。リユース後の強度性能を評価する際、ブロックせん断試験で得られる接着層付近のせん断強さは重要な評価ファクターになると考えられる。そこで本課題では、ブロックせん断試験による直交積層された接着層のせん断強さも測定し、載荷による影響を調べた。

#### 3.2 試験方法

#### 3.2.1 試験片の作製

前述のとおり、本試験では強度等級が S60 で 5 層 5 プライのスギ CLT を 2 体 (MB1、MB2) 用意した。 マザーボードの接着性能を確認するために、JAS に準じた減圧加圧剝離試験、ブロックせん断試験を行った。 図 3.1 は MB2 における試験片の採取位置を示す。 なお、MB1 については、MB2 における G5N と同じ場所から試験片を採取した。 剝離試験片はそれぞれのマザーボードから 2 個ずつ採取した。 ブロックせん断試験片は MB1 から 8 個 (1 接着層あたり 2 個)、MB2 から 16 個 (1 接着層あたり 4 個) 採取した。

載荷による接着性能への影響を調べるための試験片は、MB2 から採取した。初期性能を調べるため、図3.1 に示す 7 か所(IB4N、OB4N、OS4N、IS4N、G5N、C4N、C14N)から初期試験体を切り出し、剝離試験片、ブロックせん断試験片を作製した。初期試験体からの各試験片の採取方法を図3.2 に示す。剝離試験片は初期試験体1 体あたり 2 個あるいは 3 個ずつ採取した。剝離試験片の寸法は、厚さをそのままで75×75mm であった。C4N、C14N については、試験片寸法の都合で、75×75 mm の剝離試験片を採取することができなかったことから、50×50 mm の剝離試験片を切り出した。ブロックせん断試験片は、荷重方向が繊維方向と平行および直交する試験片(以下、直交加力)と荷重方向と繊維方向が 45 度になる試験片(45 度加力)を作製した。いずれもせん断面の面積は 25×25 mm とした。なお、直交加力の試験片は、初期試験体1 体あたり 16 個(1 接着層あたり 4 個)ずつ、または 24 個(1 接着層あたり 6 個)ずつ作製した。

1章に記載した載荷方法のとおりに半年間、載荷試験を行った後、載荷された試験体から、剝離試験片、ブロックせん断試験片を採取した(図  $3.3(1) \sim (3)$ )。面外載荷、面内載荷した試験体 (OB4L,OS4L,IB4L) IS4L)については、せん断区間と純曲げ区間から、剝離試験片  $(75 \times 75 \, \mathrm{mm})$  をそれぞれ 2 個ずつ、直交加力、45 度加力をそれぞれ 16 個 (1 接着層あたり 4 個)ずつ採取した。圧縮方向に載荷した試験体については、剝離試験片  $(50 \times 50 \, \mathrm{mm})$  を 2 個ずつ、直交加力と 45 度加力を 16 個 (1 接着層あたり 4 個)ずつ採取した。

また、載荷試験と並行して、半年間屋内で載荷せずに静置した試験体については、長さ方向の端部と中央部から、剝離試験片を2個ずつ、直交加力、45度加力をそれぞれ16個(1接着層あたり4個)採取した(図3.3(4))。

載荷試験後の試験体の含水率を測定するために、試験体の端部と中央部から 2 体ずつ含水率測定用試験体(厚さ、幅はそのままで、長さ 50 mm)を採取した(図 3.3)。含水率は全乾法で測定した。

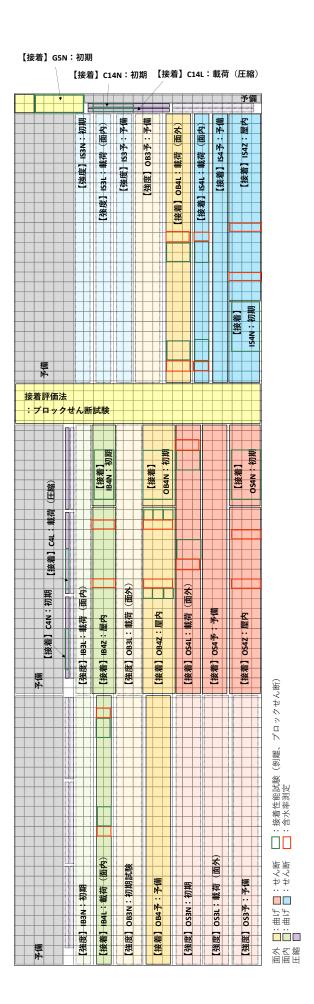


図3.1 載荷条件と接着性能試験片の採取位置 (MB2)

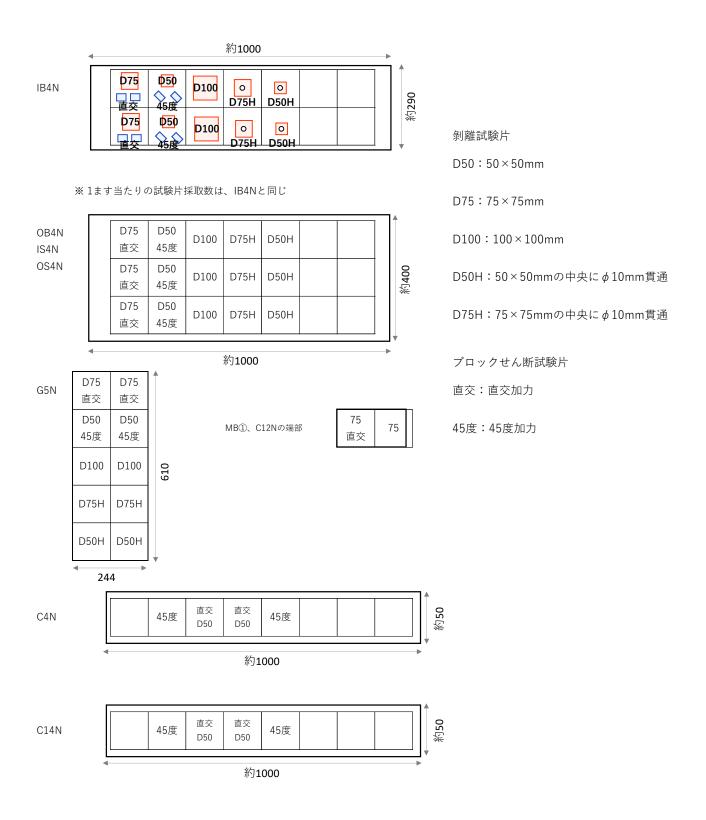


図3.2 初期試験体における剝離試験片、ブロックせん断試験片の採取位置 (mm)

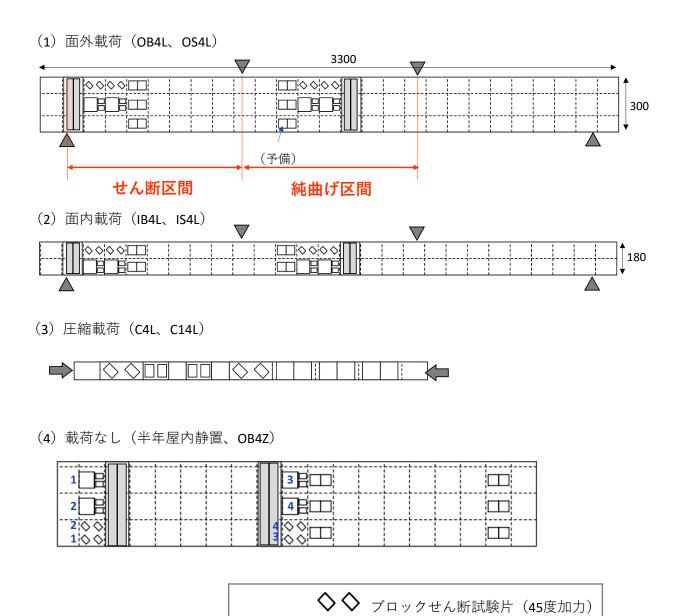


図3.3 載荷後および載荷なしで半年間屋内静置した試験体における接着性能試験片の採取位置

剝離試験片

ブロックせん断試験片(直交加力)

含水率測定用試験体

## 3.2.2 減圧加圧剝離試験

剝離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。この処理を 2 回繰り返した後、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、接着層の剝離の長さを計測した。なお、剝離長さが 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、剝離とは

見なさなかった。次式より全接着層の剝離率を算出した。

剝離率 (%) = (4 側面の剝離長さの合計) / (4 側面の接着層の長さの合計) ×100

## 3.2.3 ブロックせん断試験

ブロックせん断試験は、万能試験機(島津製作所製、オートグラフ AGS-X plus 10kN)を用いて行った。 クロスヘッドスピードは 1 mm/分とした。破断時の荷重を測定し、次式によりせん断強さを求めた。

せん断強さ (N/mm²) = (試験片が破断したときの荷重 (N)) / (接着面積 (mm²)) また、破断面を目視観察し、木部で破断した面積を接着面積に対する百分率で読み取り、木部破断率 (以下、 木破率)を求めた。試験終了後、全乾重量法によって含水率を測定した。

#### 3.3 結果と考察

#### 3.3.1 マザーボードの接着性能

表 3.1 に MB1、MB2 の接着性能を JAS に準じて評価した結果を示す。減圧加圧剝離試験の結果、MB1、MB2 の剝離率はそれぞれ 1.0%、0.1%で低い値を示した。また、ブロックせん断試験の結果、MB1、MB2 の木破率はいずれも 99%で、ほぼ木部で破断した。これらの結果を JAS に準拠して評価すると、剝離試験、ブロックせん断試験とも供試したすべての試験片が基準を満たしたことから、MB1、MB2 とも接着性能は良好であることが示された。

	_	•	-			
	減圧加圧	E剝離試験	ブロックせん断試験(直交加力)			
		剝離率		木部破断率	参考 せん断強さ	
	N	(%)	N	(%)	(N/mm²)	
MB1	2	1.0	8	99	1.91	
MB2	2	0.1	16	99	1.53	
JAS 基準値		10		70	_	

表 3.1 マザーボードの接着性能

#### 3.3.2 載荷の有無と静置環境による接着性能への影響

初期試験体、載荷後の試験体、および載荷なしで半年屋内静置した試験体の減圧加圧剝離試験の結果を表3.2に示す。初期の剝離率は、1.5% (75×75 mm)、0.5% (50×50 mm) で低い値を示した。面外方向、および面内方向への載荷後の剝離率は、いずれも平均値が 0.7%で初期と同様に低い値を示した。圧縮方向に載荷した試験体については、強軸方向、弱軸方向とも剝離は発生しなかった。また、載荷なしで半年静置した試験体についても、剝離率は 0.4%と極めて低い値を示した。これらの結果から、半年間、設計荷重の範囲内で載荷されても剝離率への影響はないことが示された。

直交加力のブロックせん断試験の結果を表 3.3 に示す。初期、面外・面内・圧縮方向に載荷後、載荷せずに半年静置後の木破率は、いずれの条件も 98%以上で、ほぼ木部で破壊したことが示された。せん断強度は、初期の平均値が 1.58 N/mm²であったのに対し、載荷後については、面外加力、面内加力で、それぞれ 1.77 N/mm²、1.69 N/mm² と初期に対してやや高い値を示した。強軸方向への圧縮加力で 1.50 N/mm² と初期と同程度であったが、弱軸方向への載荷後は 1.36 N/mm²で、初期よりもやや低い傾向にあった。載荷な

しで半年静置した試験体についても、平均値は 1.29 N/mm<sup>2</sup>で初期よりもやや低い傾向が認められた。得られた全データをプロットした箱ひげ図(図 3.4(1))を見ると、初期と圧縮(弱軸)と半年静置との差は、ばらつきの範囲内であり、せん断強さに顕著な差はないものと考えられた。

他方、45度加力のブロックせん断試験の結果 (表 3.4)、初期のせん断強度の平均値が 2.58 N/mm<sup>2</sup> であったのに対し、面外加力、面内加力後は、3.16、2.82 N/mm<sup>2</sup> とやや高い値を示した。圧縮加力後、半年静置後については、初期とほぼ同程度のせん断強さが示された。箱ひげ図で比較しても、同様の傾向が示された。従って、45度加力によるせん断強度は載荷試験後も低下しないことが示された(図 3.4(2))。

表 3.2 載荷条件に対する剝離率

載荷条件	N	剝離率(%)	試験片寸法
載荷なし(初期)	11	1.5	75×75mm
載荷後(面外加力)	8	0.7	$75 \times 75$ mm
載荷後(面内加力)	8	0.7	$75 \times 75$ mm
載荷なし(半年後)	4	0.4	75 × 75mm
載荷なし(初期)	4	0.5	50×50mm
載荷後 (圧縮 強軸)	2	0	50×50mm
載荷後(圧縮 弱軸)	2	0	50×50mm

表 3.3 載荷条件に対する直交加力によるせん断強さ

		せん断強さ	(N/mm²)	密度(g	g/cm³)	含水率	木部破断率
載荷条件	N	平均值	変動係数	平均值	標準偏差	(%)	(%)
載荷なし(初期)	136	1.59	36.4%	0.363	0.036	8.4	99.1
載荷後(面外加力)	63	1.77	44.8%	0.370	0.036	6.7	98.0
載荷後(面内加力)	60	1.69	37.5%	0.374	0.036	7.1	98.5
載荷後 (圧縮 強軸)	16	1.50	38.6%	0.344	0.023	6.8	99.1
載荷後 (圧縮 弱軸)	16	1.36	40.5%	0.339	0.020	6.7	99.1
載荷なし(半年後)	31	1.29	35.8%	0.370	0.042	6.7	98.2

表 3.4 載荷条件に対する 45 度加力によるせん断強さ

		せん断強さ	(N/mm <sup>2</sup> )	密度(8	g/cm³)	含水率	木部破断率
載荷条件	N	平均值	変動係数	平均値	標準偏差	(%)	(%)
載荷なし(初期)	136	2.58	23.5	0.370	0.044	8.1	99.6
載荷後(面外加力)	64	3.16	25.0	0.389	0.040	7.0	98.4
載荷後(面内加力)	64	2.82	18.2	0.386	0.031	7.4	99.1
載荷後 (圧縮 強軸)	16	2.55	28.5	0.353	0.030	6.9	98.4
載荷後 (圧縮 弱軸)	16	2.41	39.7	0.367	0.043	6.5	99.4
載荷なし(半年後)	32	2.48	22.6	0.357	0.032	6.7	99.8

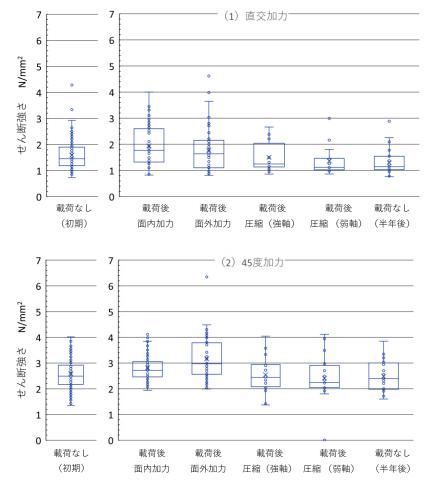


図3.4 載荷条件に対するせん断強さ

面外加力後の試験体について、せん断区間と純曲げ区間のせん断強さを比較すると、直交加力によるせん 断強さの平均値は、純曲げ区間の方がやや低い傾向が認められた(表 3.5)が、ばらつきの範囲内で明確な 差はないものと考えられた(図 3.5(1))。45 度加力によるせん断強さは、せん断区間と純曲げ区間で明確な 差は認められなかった(表 3.6、図 3.5(2))。また、面内加力後の試験体については、直交加力によるせん 断強さ、および 45 度加力によるせん断強さのいずれも、せん断区間と純曲げ区間に明確な差は認められな かった。

表 3.5 せん断区間、純曲げ区間における直交加力によるせん断強さの比較

			せん断強さ	(N/mm <sup>2</sup> )	密度(8	g/cm³)	含水率	木部破断率
載荷条件	採材位置	Ν	平均値	変動係数	平均值	標準偏差	(%)	(%)
面外加力	せん断区間	32	1.99	48.0	0.370	0.041	6.7	98.3
	純曲げ区間	31	1.55	33.2	0.369	0.032	6.7	97.7
面内加力	せん断区間	28	1.97	32.9	0.386	0.041	7.2	97.7
	純曲げ区間	32	1.91	44.0	0.364	0.027	7.0	96.9
載荷なし	(初期)	136	1.59	36.4	0.363	0.036	8.4	99.1
載荷なし	(半年後)	31	1.29	35.8	0.370	0.042	6.7	98.2

表 3.6 せん断区間、純曲げ区間における 45 度加力によるせん断強さの比較

			せん断強さ	$(N/mm^2)$	密度	$(g/cm^3)$	含水率	木部破断率
載荷条件	採材位置	Ν	平均值	変動係数	平均值	標準偏差	(%)	(%)
面外加力	せん断区間	32	3.18	27.8	0.398	0.036	7.2	98.4
	純曲げ区間	32	3.14	22.1	0.380	0.043	6.8	98.4
面内加力	せん断区間	32	2.93	17.6	0.392	0.029	7.8	99.1
	純曲げ区間	32	2.71	18.2	0.379	0.032	7.0	99.2
載荷なし	(初期)	136	2.58	23.5	0.370	0.044	8.1	99.6
載荷なし	(半年後)	32	2.48	22.6	0.357	0.032	6.7	99.8

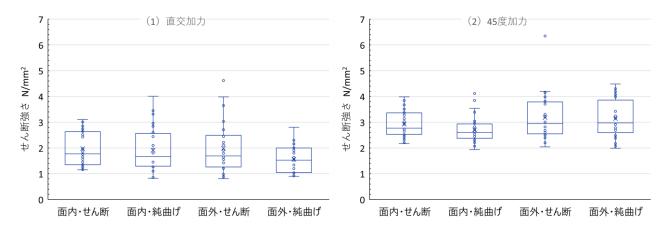


図3.5 せん断区間、純曲げ区間におけるせん断強さの比較

表 3.7、表 3.8、図 3.6 は、面外加力後の試験体における接着層別のせん断強さを示す。直交加力による せん断強さの平均値は、接着層によってやや差が認められたが、ばらつきの範囲内であり、明確な差はない ものと考えられた。45 度加力によるせん断強さは、接着層による明確な差は認められなかった。

表 3.7 載荷あり(面外加力)における各接着層の直交加力によるせん断強さ

	接着層		せん断強	さ N/mm <sup>2</sup>	密度 g	木部破断率	
採材位置	(上から)	Ν	平均值	変動係数	平均值	標準偏差	%
せん断区間	1層目	8	1.97	57.5	0.400	0.057	95.6
	2層目	8	1.81	65.2	0.366	0.035	100.0
	3層目	8	2.43	36.4	0.346	0.023	98.8
	4層目	8	1.73	28.1	0.365	0.023	98.8
純曲げ区間	1層目	8	1.75	34.9	0.385	0.052	99.4
	2層目	8	1.38	36.1	0.370	0.029	98.8
	3層目	8	1.79	21.0	0.360	0.017	99.3
	4層目	8	1.32	33.6	0.363	0.019	93.8

接着層		せん断強	さ N/mm <sup>2</sup>	密度 g	木部破断率		
採材位置	(上から)	Ν	平均值	変動係数	平均値	標準偏差	%
せん断区間	1層目	8	3.52	37.1	0.410	0.043	98.8
	2層目	8	3.00	26.2	0.386	0.023	97.5
	3層目	8	2.94	19.0	0.384	0.022	98.1
	4層目	8	3.26	23.4	0.412	0.047	99.4
純曲げ区間	1層目	8	3.46	18.1	0.380	0.029	97.5
	2層目	8	3.26	25.6	0.373	0.031	100.0
	3層目	8	2.99	20.5	0.369	0.033	97.5
	4層目	8	2.85	22.8	0.400	0.068	98.8

表 3.8 載荷あり(面外加力)における各接着層の 45 度加力によるせん断強さ

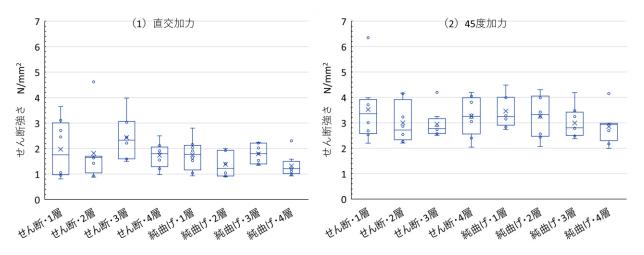


図3.6 載荷あり(面外加力)における各接着層のせん断強さの比較 (せん断:せん断区間、純曲げ:純曲げ区間)

# 3.4 本章のまとめ

まず、本試験で用いた CLT のマザーボードは、剝離試験、ブロックせん断試験とも供試したすべての試験片が JAS 基準 (10% 未満) を満たし、載荷前の初期状態での接着性能は良好であった。

次に、載荷しない初期試験体、半年間載荷された試験体、載荷せずに半年間屋内静置した試験体について 剝離試験を行ったところ、本試験の載荷条件では、半年間載荷されても剝離率への影響はないこと、ブロックせん断強度が低下しないことが示された。

また、載荷後の試験体について、せん断区間と純曲げ区間のせん断強さを比較しても明確な差は認められなかった。さらに、面外加力後の試験体における接着層別のせん断強さを比較しても明確な差は認められなかった。

以上の結果から、今回の載荷条件では、剝離率の増大やせん断強度の低下は認められず、接着性能への影響はないものと考えられた。

# 第4章 載荷後の材料性能の簡便な評価方法の検討

## 4.1 目的

CLT をリユースするために接着性能および強度性能を評価する際、効率的な採材方法や性能評価に適した試験方法が求められる。そこで、簡便な試験片の採取方法や評価に適した試験片の寸法と形状を検討した。 リユースしようとする CLT から剝離試験片の採取方法を簡便化する方法として、ホールソーを用いて円 筒くり抜きした後、四角柱試験片を作製することが考えられる。しかし、円筒くり抜きの際に円の中央にド リル穴をあける必要があることから、試験片中央に穴が開くことによる剝離率への影響を検討することと した。また、載荷履歴のある CLT の接着性能を適切に評価するため、剝離試験片の寸法による剝離率への 影響を検討する。

CLT のせん断強さを簡便に評価する方法として、小試験片でせん断強さを測定できるブロックせん断試験が適するのではないかと考えられた。しかしながら、JAS の接着性能の評価方法では、直交加力によるブロックせん断試験によって得られた木破率の評価が求められており、せん断強さを評価する必要がなく、基準値も定められていない。そこで、CLT のせん断強度をブロックせん断試験によって評価する方法を検討するために、直交加力に比べてローリングシアの影響を受けにくい45度加力によるせん断強さと直交加力によるせん断強さを比較するとともに、せん断面積による影響を調べた。

# 4.2 剝離試験片の採取方法の簡便化および最適な採取サイズの検討

## 4.2.1 試験方法

剝離試験片は 3.2.1 に記載した 7 体の初期試験体から採取した(図 3.1)。試験片の寸法は、厚さはそのままで、 $50\times50$  mm、 $75\times75$  mm、 $100\times100$  mm の試験片を 2 個あるいは 3 個ずつ切り出した(以下 D50、D75、D100 とする)。また、 $50\times50$  mm、 $75\times75$  mm については、上下面の中央に $\phi$  10mm の穴を貫通させた試験片を作製した(以下、D50H、D75H とする。図 4.1)。なお、 $100\times100$ mm の試験片については、穴を開けない試験片のみとした。試験片数は、D50 が 16 個、D75 が 14 個、D100 が 12 個、D50H と D75H がそれぞれ 13 個であった。これらの試験片を減圧加圧剝離試験に供した。試験方法は、前述の 3.2(2) のとおりである。

# (1) 剝離試験片(穴なし)



 $50 \times 50 \,\text{mm} \, 75 \times 75 \,\text{mm} \, 100 \times 100 \,\text{mm}$ 

#### (2)剝離試験片(穴あり)



 $75 \times 75$ mm  $50 \times 50$ mm

図 4.1 供試した剝離試験片の形状

## 4.2.2 結果と考察

表 4.1 は、剝離試験片における寸法および穴の有無による剝離率への影響を示す。穴なしの試験片について、寸法による影響を見ると、試験片寸法が大きくなるに従い、減圧加圧処理後の吸水率は低下した。しかしながら、剝離率は高くなったことから、試験片寸法が大きい方が安全側の評価になることが示唆された。また、剝離率が最も高かった D100 についても、供試した全試験片の剝離率は JAS の基準値を十分下回っており、すべての形状の試験片で良好な接着性能を示した(図 4.2)。

穴の有無による影響を見ると、吸水率は D75H>D75、D50H>D50 で、同じ寸法であれば穴のある方が高かったが、剝離率については穴の有無による明確な差は認められなかった(表 4.1)。また、全ての試験片が JAS の基準値を十分に下回っており、良好な接着性能を示した(図 4.2)。以上の結果から、穴のあいた試験片を用いても、穴のない試験片と同様の評価が可能であることが示唆された。ただし、本試験で供した試験片は、全て JAS の基準を満たす良好な接着性能を有するものであったことに留意する必要がある。穴のある試験片を用いた評価の可否については、接着性能が低い場合についての検証も必要であると考えられた。

		ゲ	マなし	穴あり (H)		穴なし		穴あり	) (H)
記号	寸法	N	剝離率	Ν	剝離率	吸水率	標準偏差	吸水率	標準偏差
D50	50×50mm	16	0.2%	13	0.2%	175.8%	15.9	171.2%	12.5
D75	$75 \times 75$ mm	14	1.0%	13	1.9%	168.2%	12.3	174.9%	13.1
D100	$100 \times 100$ mm	12	3.1%	_	_	163.9%	10.3	_	_

表 4.1 剝離試験片の形状と剝離率の比較

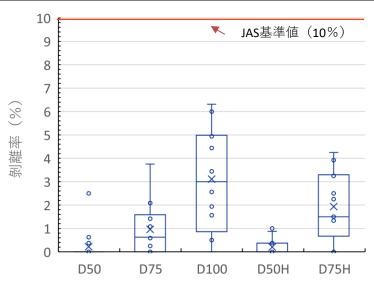


図 4.2 剝離試験片の形状による剝離率の比較

#### 4.3 ブロックせん断試験における加力方向による影響

## 4.3.1 試験方法

直交加力、45 度加力のブロックせん断試験片は、7 体の初期試験体 (IB4N、OB4N、OS4N、IS4N、G5N、C4N、C14N、② 3.1) から採取した。ブロックせん断試験片の作製方法とせん断試験の方法は、<math>3.2(1)、(3)の通りである。

# 4.3.2 結果と考察

表 4.2 は、直交加力、45 度加力のブロックせん断試験の結果である。直交加力のせん断強さについて、全試験片の平均値は 1.58 N/mm²であったのに対し、45 度加力は 2.58 N/mm²であり、45 度加力の方が高いことが示された。また、直交加力では、ローリングシアによる破壊が認められた(図 4.3)。変動係数は、直交加力が 39.3%、45 度加力が 23.5%で、45 度加力の方がばらつきが小さいことが示された。従って、載荷によるせん断強さの変化の有無を判定する際、ばらつきの小さな 45 度加力が判定しやすいと考えられた。そこで、3.3.2 に述べた載荷前後の直交加力でのせん断強さと 45 度加力でのせん断強さを比較し、判定しやすさを検証した。前述のとおり、直交加力では、せん断強さの平均値が初期に比べて屋内での載荷なし、圧縮加力した場合に初期よりも低かった(表 3.3)が、箱ひげ図(図 3.4)を見ると、平均値に差があっても、データのばらつきの範囲内であり、顕著な差はないと考えられた。他方、45 度加力では、初期、載荷後、載荷なしの平均値はほぼ同程度であった。また、変動係数が直交加力に比べて小さいことから、45 度加力の方が、せん断強さの評価を判定しやすいと考えられた。

表 4.2 初期試験体の採取場所ごとの直交加力によるせん断強さと 45 度加力によるせん断強さの比較

	直交加力					45 度加力				
		せん断強さ	変動係数	木部破断率		せん断強さ	変動係数	木部破断率		
試験体	N	$(N/mm^2)$	(%)	(%)	Ν	$(N/mm^2)$	(%)	(%)		
OB4N	24	1.72	38.4	99	24	2.35	33.0	99		
IB4N	16	1.75	28.3	96	16	2.31	22.9	99		
OS4N	24	1.55	28.1	100	23	2.47	18.1	100		
IS4N	24	1.32	31.6	100	24	3.07	18.2	100		
C4N	16	1.39	27.3	100	16	2.55	14.9	99		
C14N	16	1.98	45.6	99	16	2.78	19.2	100		
G5N	16	1.53	29.1	99	16	2.48	18.9	100		
全試験体	136	1.58	36.4	99	135	2.58	23.5	100		

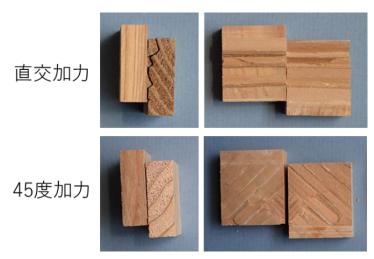


図 4.3 直交加力、45度加力のブロックせん断試験における試験片の破断の様子

## 4.4 ブロックせん断試験におけるせん断面積による影響

## 4.4.1 試験方法

試験片形状および寸法の模式図を図4.3.1 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15 mm、切り欠き幅を30 mmとして、接着部分の面積を25×25 mm、50×50 mm、70×70 mm の3条件とした。また、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。試験片数は接着面積50 mm×50 mmで45度試験片が17体とし、他の仕様は18体とした。

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、載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 4.3.2)。載荷速度は 1 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。

### 4.4.2 結果と考察

結果を表 4.3.1、図 4.3.3、図 4.3.4 に示す。直交試験片および 45 度試験片のどちらも、接着面積が大きくなるとブロックせん断強度の平均値は低く、変動係数は小さくなる傾向がみられた。接着面に節が存在すると極端に高いブロックせん断強度を示すことが多く、接着面積が大きくなり、接着面に占める節の割合が小さくなることでブロックせん断強度への節の影響が低減されたものと考えられる。また、接着面積が50×50 mm および 70×70 mm の試験片では、45 度試験片の方がブロックせん断強度のばらつきが小さくなる傾向がみられた。

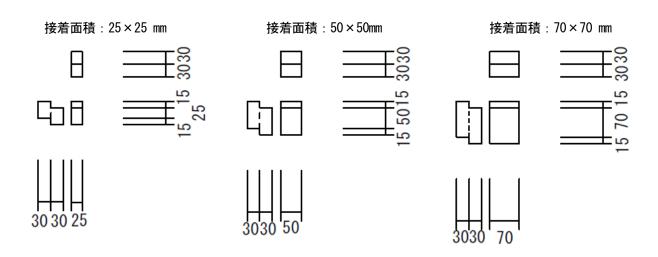


図 4.3.1 ブロックせん断試験片の形状・寸法の模式図



図 4.3.2 ブロックせん断試験の様子

表 4.3.1 ブロックせん断試験の結果

			直交試験片			45 度試験片		
接着面積		$25 \times 25$ mm	50×50mm	70×70mm	$25 \times 25$ mm	50×50mm	$70 \times 70$ mm	
試験片数		18	18	18	18	17	18	
ブロックせん断	平均値	2.62	2.28	2.23	3.56	2.63	2.69	
強度(N/mm²)	変動係数	30.8%	33.5%	31.6%	36.2%	24.1%	21.3%	
木部破断率(%)	最大	100	100	100	100	100	100	
小叫双町半(70)	最小	87	70	95	100	98	96	

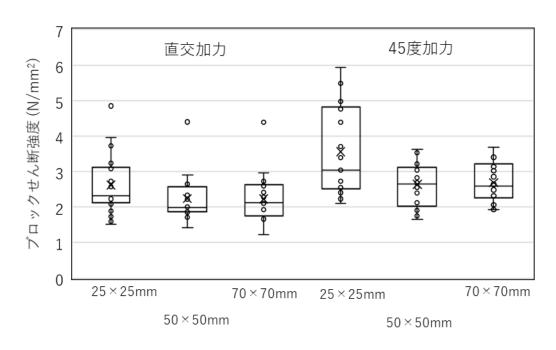


図 4.3.3 加力方向およびせん断面積に対するブロックせん断強度 (×は平均値)

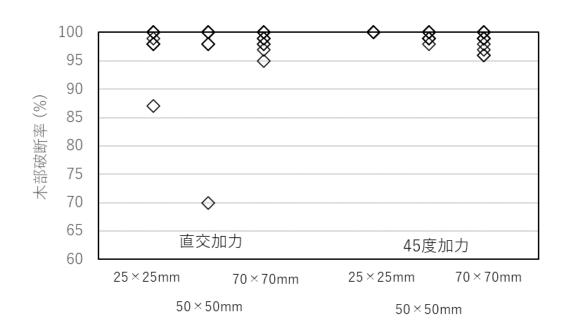


図 4.3.4 加力方向およびせん断面積に対する木部破断率

#### 4.5 本章のまとめ

まず、剝離試験片における寸法の影響については、試験片寸法が大きくなるに従い、剝離率は高くなったことから、試験片寸法が大きい方が安全側の評価になることが示された。剝離率を評価するための試験体の寸法としては日本農林規格にも定められている 75×75 mm以上で行うことが望ましいと考えられた。

次に、リユースしようとする CLT から剝離試験片を簡便に採取する方法として、ホールソーを用いて円筒くり抜きした後、四角柱試験片を作製することを想定して、試験片中央に穴が開くことによる剝離率への影響を検討した。その結果、穴のあいた試験片を用いても、穴のない試験片と同様の評価が可能であることが示唆された。ただし、本試験で供した試験片は、全て JAS の基準を満たす良好な接着性能を有するものであったことから、接着性能が低い場合についての検証も必要であろう。

次に、CLT のせん断強さを簡便に評価する方法として、小試験片でせん断強さを測定できるブロックせん断試験を採用し、直交加力に比べてローリングシアの影響を受けにくい 45 度加力によるせん断強さと直交加力によるせん断強さとの比較をするとともに、せん断面積による影響を調べた。その結果、45 度加力では、直交加力に比べて変動係数が小さく、せん断強さの評価を判定しやすいことが明らかとなった。また、接着面積が大きくなるとブロックせん断強度の平均値は低く、変動係数は小さく、安定的にせん断強度の評価が可能となることが明らかとなった。

#### 第5章 まとめ

## 5.1 試験結果の総括

第2章の実大強度試験の結果から、加力条件によっては、載荷試験体の強度がやや低下したものがあったが、いずれも計算値や基準強度を上回っており、設計上は支障なく使用できると考えられる。

第3章の接着性能試験の結果から、今回の載荷条件では、剝離率の増大やせん断強度の低下は認められず、接着性能への影響はないものと考えられる。

第4章の簡便な検査手法の検討結果から、CLTの接着性能を評価する接着剝離試験においては、試験片サイズが大きい方が剝離率は増大し、安全側評価となること、剝離率の評価としてはすでに基準値のある75×75 mmでよいことが示された。また、穴の有無による影響は小さいと考えられ、ホールソーによる試験片の採材によって検査作業の効率化も可能であることが示唆された。また、CLT のせん断強度を評価するブロックせん断試験においては、45度加力では、変動係数が直交加力に比べて小さく、せん断強さの評価を判定しやすいことが明らかとなった。また、接着面積が大きくなるとブロックせん断強度の平均値は低く、変動係数は小さく、安定的にせん断強度の評価が可能となることが明らかとなった。

上記の結果を踏まえて、CLT をリユースしようとする場合に、リユースの対象とする CLT の接着性能を確認することとした。長期荷重載荷によりラミナ自体の強度が低下していることは考えられるが、荷重継続時間が短期間(1年や半年など)であればその影響は少なく、ラミナ間の接着性能が維持されていれば、強度の著しい低下はないとの判断から上記の確認を行うこととし、検査手法をまとめた(図5.1)。



図 5.1 リユース CLT の検査方法のイメージ

# 5.2 今後の課題

載荷履歴が実大 CLT の材料性能に及ぼす影響については、以下の課題があげられる。

- ・せん断試験体については、面外・面内加力ともに載荷による強度低下は見られなかったが、曲げ試験体については、面外・面内加力ともに強度低下の傾向が見られた。しかし、今回の試験体数や破壊状況からは載荷履歴が強度に影響するかどうかは判断できなかった。今後は、試験体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くするほかに、試験体の純曲げ区間に配置されるたて継ぎ部の位置や個数を制御する必要があり、マザーボードから多くの試験体を採取し、たて継ぎ部の入り方が同等となるような試験体を選ぶ必要がある。また、試験体数もより多く設定することが望ましい。
- ・縦圧縮試験体については、面外に必ず座屈するように試験体幅を2倍以上とすることが望ましいが、載 荷荷重が倍増するため、載荷方法を工夫する必要がある。

リユース CLT の簡便な検査手法については、以下の課題があげられる。

- ・リユースする前に CLT の強度・接着性能が十分であることを確かめる場合、現行 JAS と異なる検査方法を採用するときには、①CLT 製造時と解体時に両方実施してチェックする、あるいは、②新たに判定基準を設定して解体時のみにチェックする、二通りの考え方がある。リユースを普及させしていく点からは②が望ましいが、その際には試験片サイズの範囲や判定基準の設定を検討する必要がある。
- ・接着剝離試験については、現行サイズ(75 mm角)で実施すればよい。
- ・ブロックせん断試験については、直交加力よりも45度加力、さらに、接着面積は25×25 mmより大きなサイズで実施するほうがせん断強度のバラツキを抑制し、安定的な評価が可能となる。ブロックせん断試験は、CLT に特徴的な直交層のせん断強度を小試験片でも評価できるのが利点である。直交集成板の日本農林規格の木破率の判断基準に加えて、ブロックせん断試験により接着部のせん断強度を測定し、合わせて判断基準とすることを提案する。そのためには代表的な樹種、層構成、強度等級のCLTについてデータ収集が望ましい。
- ・ブロックせん断試験のサイズや形状については、民間工場の品質管理用試験機で対応できるかどうかも 考慮しながら、検討する必要がある。

#### 第6章 添付資料

# 6.1 全体委員会議事録

#### 6.1.1 第1回 CLT リュース委員会 (20210601)

# 令和2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

(リユース評価方法に係る提案)

# 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	2021年6月1日(火) 13時00分~14時30分	場所	場所 日本CLT協会 会議室 / 一部 web 会議					
参加者	中島 史郎/宇都宮大学 森 拓郎/広島大学 宮武 敦、宮本 島 大橋 義徳、宮﨑 淳子、高梨 隆也/4 日向 潔美/林野庁 平原 章雄/木構造 坂部芳平、中越 隆道、酒井 洋、谷1 ※敬称略	上海道立 振興	総合研究機構林産試験	験場				

#### (内容)

- 1) 委員会名簿について
- ・CLT リユース委員会に基づき、各委員 簡単な挨拶を行った。
- 2) 課題提案書(事業の概要) について
- ・事務局より、木構振様に提出した課題提案書の中の、事業の概要について内容を説明する。
- 事業の実施体制図は、交付申請書のものと差し替えている(銘建工業様が載荷試験場と確定した為)。
- 3) 全体スケジュールの確認について
- ・事務局より、今後の流れについて全体スケジュールに基づき説明を行った。
- ・6月7日には、CLT パネルと治具が、載荷試験場の銘建工業様に納品される。6月8日と9日が、載荷試験体設置日。CLT 協会谷口と北林産試の大橋さんが立合いの段取り。CLT 協会中越・酒井も合流予定。
- 4) 試験方法概要について、大橋委員より試験方法の概要の説明が行われる。
- ・大規模イベント等で半年使用したものを解体して使用できるかの検証であり、例えば 20 年以上使った CLT 等をリユースすることの対応は考えていない。
- →日本 CLT 協会が、大規模イベント等における CLT 活用推進事業 CLT 活用推進パートナーに選定されたことを補足説明。
- ・材料試験のみが対象だが、大規模イベント等で使用することを前提とした時の金物部分の利用については、どのように検討しているのか。
- →金物部分は、切断し、材料部分のみの利用とする。

- ・材料試験に、支圧試験を加えた方がより良いのでは?
- →圧縮試験体の端からとるのが良いだろうか?
- →圧縮されていると支圧強度が変わるかもしれないので、面内面外試験体のとれるところからで良いのではないだろうか→検討する。
- ・万が一接着性能の結果が低く出た場合、経年による理由か、初期によるものか、についてどのように解釈するか考えがあれば教えて欲しい。設計荷重が半年ほど載荷しただけで強度が下がっているとしたら、既存建物について不安要素になってしまうのでは。安全側評価になりすぎて厳しすぎる評価とならないようにすべき。
- →下がるという解釈ではなく、基準値をクリアしているかの確認と考えれば大丈夫なのではないだろうか。
- →得られたデータについては、誤解が生じないように慎重に説明、対応していくことが必要。
- →載荷していないものと単純に比較するというのではなく、臨機応変に対応するのが良い。
- →下がる要因の可能性である「ばらつき」に関し、今回は抑えるような試験体として検討している。
- ・リユース自体の要望のようなものは、現状あるのだろうか?
- →現状で要望はない。今後の展開としては、CLT だけではなく木材建築物全般のリユースという意味で、今後いい影響が出ると考える。
- ・半年載荷後の試験体について、接着試験片の採取位置は決まっているか?
- →応力状態を考慮して、最後に良く確認して決めていく。
- ・来年の事業でも治具を使う予定なら、今年から弱軸にも対応していける治具で対応してはどうか。
- →あくまで今年度事業のみの単年対応となるので、来年の再利用は考慮しないで進めたい。ただし、来年の実施では、再利用できるものは使用するとの考えである。
- →その点も踏まえ、今年度も弱軸に対する再利用も少し組み入れている。
- ・各試験で用いる試験体リストにあるスギ CLT の仕様:強度等級 S60 (全層のラミナは集成材ラミナ等級 L70 に統一) という表記が適正でない。JAS 表記の M60A とした方が良いのではないか。
- →まだオープンの資料ではないので、改める。
- ・近々に載荷試験もスタートするため、しっかりと進めていきたい。

(今後の予定)

第2回委員会:10月12日(火)13:00~(日本CLT協会 会議室 / 一部 web 会議)

以上

#### 提出資料

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 CLT リユース委員会全体スケジュール

資料 1-4 試験方法概要

(一社)日本 CLT 協会

## 6.1.2 第2回 CLT リユース委員会 (20211012)

#### 令和2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

(リユース評価方法に係る提案)

# 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	2021年10月12日(火)	担託	場所 日本CLT協会 会議室 / 一部 web 会議					
	13 時 00 分~15 時 00 分	物印						
参加者	中島 史郎/宇都宮大学							
	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、宮﨑 淳子、高梨 隆也、中村 神衣/北海道立総合研究機構林産試験場							
	日向 潔美/林野庁 平原 章雄/木構造振興 渡部 博/銘建工業							
	坂部芳平、中越 隆道、酒井 洋、谷口 翼、 <u>宿輪 桃花</u> /日本CLT協会							
	※敬称略、<>は代理者、下線は欠席	者						

#### (内容)

- 5) 第2回委員会参加者と資料について
- ・今回は、銘建工業実験場で載荷実験計測を行っている銘建工業の渡部様と、北海道立総合研究機構林産試験場で試験を行っている中村様がご参加。ご紹介、ご挨拶をいただく。
- ・銘建工業の渡部様より、本日会議前にメール配信された資料(温熱記録\_CLT工場 1F 加工棟付近)を、資料 2-7 とする。
- 2) 第1回 CLT リユース委員会議事録 (案) について
- ・確認し、修正なし。
- 3) CLT リユース委員会全体スケジュールについて 事務局より説明
- ・銘建工業実験場で載荷実験を 6/9 から開始しているが、発送スケジュールが決まった。12/7 をもって、載荷実験を終了。12/9 に銘建工業実験場より発送し、北海道立総合研究機構林産試験場に 12/14 着。
- ・北海道立総合研究機構林産試験場での性能確認は、1/末までかかり、報告書の完成も2月にかかる予定。
- →2022 年 2/21 が、今回事業の完了日となる。報告書の作成期間がかなり厳しいスケジュールとなるが、次回 委員会時に出来ているところまでの確認を行いたい。
- 4) 資料 2-3 試験概要と載荷状況について 大橋委員より説明
- ・前回委員会資料「試験方法概要」であるが、赤字部分が、試験が終わっているものとなる。
- ・合わせて「載荷作業の概要報告」(6/8-6/9 銘建工業実験場の様子)。圧縮試験についても、大きな地震等無かったため、横倒れせず現在まで順調に進んでいる。
- ・たわみ計測においては、6/8 に開始した。全層のラミナは集成材ラミナ等級 L70 に統一したところもあり、その際のばらつきも少なく、大体揃っている。想定した設計荷重からすると、6 mm程度が考えられたが、初期たわみとしてはおおよそ 4 mm前後となっている。
- 5) 資料 2-4 強度試験 初期試験について 高梨委員より説明
- ・①面外曲げ、②面内曲げ、③面外せん断、④面内せん断 について、②についてはばらつきがあったが、総じてクリアしている状況である。

- ・⑤短柱圧縮試験 については、面内方向に座屈することは予想していなかった。
- ・前回委員会で出た、支圧試験についても進めている。最終的にはひととおり比較できる資料としたい。
- →強度試験計算の際使ったラミナは、平均値と下限値のどちらだろうか。→平均値で計算している。
- →③面外せん断 表の中のせん断剛性は、せん断弾性係数だろうか。→せん断弾性係数。
- →②面内曲げ についてはばらつきがあった原因として節などが考えられるとのお話があったが、①面外曲げ についても危険率は多分一緒と考える。そういう意味でいうと、もともとラミナの状態で実験した時は強度が 強く出たり弱く出たりすることが多く、それに引っ張られているというのがばらつきがあった原因としての表現としては良いと思う。
- →③面外せん断 についてはグラフでみるとせん断の落ちるラインがぎりぎりとなっており、おもしろい結果であったとみた。今回とは別に、今後短いスパンでの検討も考えられる。
- →④面内せん断 での、せん断剛性(せん断弾性係数)は、どうやって計算しているのか教えてほしい。→確認 する。→計算式について確認、森先生にメール送付済み。
- →③面外せん断 のせん断弾性係数を出す際、①面外曲げ の平均値を使用となっているがどれだろうか。→純曲げで算出した。
- →今回の強度試験で使用した CLT は想定の範囲内での性能が得られている、ある意味特殊ではない通常の CLT であると確認できた ということで良いだろうか。 →いつも通りの通常の CLT と考えられる。
- →⑤短柱圧縮試験 については予想と異なり、写真でいう右側の方に座屈してしまった。→知りたいのは座屈強度ではなく圧縮強度であるならば本当の短柱、もっと短くしてやれば良いのでは。長さが長すぎることが座屈要因ともなる。→今回はこれと同じ形で進めざるを得ないが、来年度は考えたい。
- 6) 資料 2-5 接着性能試験について 宮崎委員より説明
- ・ ・ マザーボード 2 枚の JAS 品質の確認は、MB1、MB2 とも JAS の基準をクリア。
- ・① 載荷の有無と静置環境による接着性能への影響については、高梨委員より説明のあった強度試験の試験体近くからとっている。剥離率は基準値をクリア、全て低い。せん断強さについては、ややばらつきがあるが、大体文献値に近い値となっている。木破率はすべて高い。
- ・② 1) 2) 剥離試験片の採取方法の簡便化、寸法形状の検討。試験片形状については、50×50 mm: 穴あり/なし、75×75 mm: 穴あり/なし(現行)、100×100 mm: 穴なし とした。剥離率は大きい方が高くなる傾向だが穴の影響はなし、すべて10%以下。
- ・② 4) ブロックせん断試験における加力方向による影響は、90度(現行)、45度で行った。せん断強さは直交より45度の方が強く、変動係数は直交の方が45度より大きかった。
- ・12 月半ばより載荷後の試験体試験が始まるが、45 度も行う予定にしている。
- →ブロックせん断のばらつきが大きいということであったが、変動係数 **40** 程度でありこんなものであるのではないかと思う。
- →② 1) 2) 穴ありなしの検討は貴重なデータではある。ただ今回の試験体はきちんと接着が出来ていたから 穴の影響がなかったのであり、絶対に影響はないとは言えないのではないかと考える。
- →今後の検討 で、② 3)ブロックせん断試験における接着面積の影響  $25 \times 25$ 、 $50 \times 50$ 、 $70 \times 70$  mmとあるが、 $70 \times 70$  mmを選んだ理由は?→45 度試験体をつくるのに、122 mmのラミナをまたがないようにする為のぎりぎりの大きさ( $75 \times 75$  mmは無理だった)。
- →25×25 mmの試験体は同じラミナからとったのだろうか。→強軸は同じラミナから、弱軸は隣り合わせのラミナからとっている。
- →剥離率は大きい方が高くなる傾向は、一般的なものなのだろうか。→データを見たことはないが、そのような傾向は考えられると思う。→膨潤収縮は大きくなると伸び縮みだけではなく、反ったりゆがんだりしてくるため、いろいろな影響が複合的に大きくなるからだと考える。
- →普通の接着試験であればいいと思うが、今回はリユースの観点が必要となる。そこから考えると、はばはぎ部の未接着部分からの水の侵入の影響は確認しなくて良いものだろうか。→はばはぎ部を含めないもので考えていたが、今後検討する。→宮本様が以前はばはぎについて行ったデータを、宮崎さんにお送りする。→宮本様から後日メールいただき、過去の試験では幅はぎ部が入っていても剝離率が悪くならないことをご教示いただいた。
- 7) 資料 2-6 たわみ計測について銘建工業の渡部様より説明
- ・6/8 の載荷スタートから継続して、1~2 週間おきに計測を行っている。
- ・7月上旬に、湿度上昇に伴う試験体の膨潤があった。

- ・7月上旬に、OB1L、OS2L について、試験体の変形等に伴い変位計が 15~20 mm程度横にずれている事を確認。OB1L については、試験体位置は変わらず変位計のみのずれの為、変位計を正規の位置に是正。OS2L については、試験体そのものの移動が確認され固定治具との隙間も変わっていた為、ピンが止まる位置に移動。変位計が当初の位置に戻ったため、これを是正処置とした。
- ・9 月上旬に、変位計の故障交換を行った。2 週間データがとれていなかったが、再設置後大きな影響が出ることもなく続いている。
- →「湿度上昇に伴う試験体の膨潤(7月上旬)」の写真の下が切れているが、ピンローラーになっているだろうか。→なっている。
- →治具の支点の移動については来年度改善したい。→下がピンであれば、あまりクリープに影響はないと思う。 例えばローラーの両側に薄めの鉄板等をあてそれをクランプで H 鋼と固めるといった対応もある。
- →今回は中央のたわみしか計測していないが、直交層の膨潤により変位が増えると思うので、支点側の値もとるのが、良いかもしれない。→来年度以降考えていきたい。
- 8) 資料 2-7 (温熱記録) CLT 工場 1F 加工棟付近について銘建工業の渡部様より説明
- ・今回載荷を行っている実験場近くの、ほぼ同一環境にある工場にて、温度・湿度・平衡含水率のデータをとっている。降水量はアメダスより拾う。平衡含水率は計算式により算出。
- ・7月上旬に湿度上昇に伴う試験体の膨潤があったが、降水量が多く湿度が高かった事がわかる。
- →平衡含水率とはどのようなものか。→温度・湿度から算出したものであり、CLT の含水率ではない。
- →この中に、毎回でなくても CLT の含水率もプロットされているとおもしろいと思う。→次回計測から加えさせていただく。
- ・載荷後の強度試験でも、ほとんど差がないことが考えられる。それをどう評価してまとめるか、は先の話だが今後検討していかねばならない。最後の結果をみて決めていくことになる。

(今後の予定)

第3回委員会:1月28日(火)10:00~(日本CLT協会 会議室 / 一部 web 会議)

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 CLT リユース委員会全体スケジュール
- 資料 2-3 試験概要と載荷状況
- 資料 2-4 強度試験 初期試験
- 資料 2-5 接着性能試験
- 資料 2-6 たわみ計測
- 資料 2-7 (温熱記録) CLT 工場 1F 加工棟付近

(一社)日本 CLT 協会

## 6.1.3 第3回 CLT リユース委員会 (20220128)

# 令和2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

(リユース評価方法に係る提案)

# 第3回 CLT リユース委員会 議事録

#### 議事要旨(案)

		• • •	L 019					
件名	第3回 CLT リユース委員会							
日時	2022年1月28日(金)	場所	日本CLT協会 会議室 / 一部 web 会議					
	10 時 00 分~12 時 00 分	かかり	日本ULI協会 会議至 / 一部 Web 会議					
参加者	中島 史郎/宇都宮大学							
	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、宮﨑 淳子、高梨 隆也/北海道立総合研究機構林産試験場							
	日向 潔美/林野庁 平原 章雄/木構造振興 渡部 博/銘建工業							
	坂部芳平、中越 隆道、酒井 洋、 <u>谷口 翼、宿輪 桃花</u> /日本CLT協会							
	※敬称略、下線は欠席者							
	•							

#### (内容)

- 1) 第2回 CLT リユース委員会議事録 (案) について
- ・確認し、修正なし。
- 2) CLT リユース委員会全体スケジュールについて 事務局より説明
- ・6/1 から始まった CLT リユース委員会だが今回が最終となる。本事業の完了日が 2 月 21 日となる為、今後、北海道立総合研究機構林産試験場での性能確認に基づいた事業報告書作成が中心となる。

報告書の作成期間的にかなり厳しいスケジュールとなるが、委員の皆様方にも完成目前レベルの段階で、ご確認をお願いする予定にしており1週間程度の短期間となる予定だが、ご協力をお願いしたい。

- 3) 資料 3-3 性能確認概要について 大橋委員より説明
- ・今回の事業は、「建築物に使用した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し提案する」という内容で始まった。
- ・研究計画としては、設計荷重による載荷状態が材料性能に及ぼす影響の解明と、設計荷重を載荷した後の材料性能の簡便な評価方法の検討。
- ・スギ CLT の仕様は、強度等級 S60 (全層のラミナは集成材ラミナ等級 L70 に統一) とした。
- ・材料強度試験については、後ほど高梨委員より報告があるが、本資料では、赤太字が10月に終了したもの。青太字が今月終了したものとなる。
- ・接着性能試験についても後ほど宮崎委員より報告があるが、やはり、赤太字が10月に終了したもの。青太字が今月終了したものとなる。
- ・載荷作業中のたわみ挙動については、6/8載荷スタートから継続して1~2週間おきの計測を、銘建工業の渡部様にご尽力いただいた。

初期4mmから、6~7mm程度の推移となっており、おおむね通常のクリープ変形であったと考える。

載荷終了後は、1~2mm程度となっているが、載荷終了後、すぐに北海道立総合研究機構林産試験場への搬送となっていたため、放置しておくと0mmに近づいたと推測される。

・載荷試験場の環境については、今回載荷を行っている実験場近くの、ほぼ同一環境にある工場にて、温度・湿度・平衡含水率のデータを、こちらも銘建工業の渡部様にとっていただいた。

→載荷試験場の環境については、今回安定していたが、今後は厳しい環境の想定での含水率の検証などもあったら良いと思われる。

#### 4) 資料 3-4 材料強度試験について 高梨委員より説明

- ・面外曲げ、面内曲げ、面外せん断、面内せん断、縦圧縮試験を実施。載荷前および除荷後に弾性係数の非破壊測定を行った。
- ・面外曲げ試験については、曲げヤング係数には差がなく、曲げ強度は載荷ありが低め傾向であった。 面外強度については、純曲げ区間の縦つぎ部や節の入り方が異なった点、試験体数が少ない点等から、載荷 の影響で低下したとまでは判断できないと考えられる。
- ・面内曲げ試験については、曲げヤング係数は、載荷ありが高め傾向であり、曲げ強度は載荷ありが低め傾向であった。

面内強度についても面外強度と同様に、純曲げ区間の縦つぎ部や節の入り方が異なった点、試験体数が少ない点等から、載荷の影響で低下したとまでは判断できないと考えられる。

- ・面外せん断試験、面内せん断試験については、強度、せん断弾性係数ともに載荷による差がなかった。
- ・圧縮試験については、ヤング係数、強度ともに載荷による低下はないが、面内方向座屈した点が課題。そのため、追加試験として幅を 2 倍(100mm)として同条件で縦圧縮試験を実施する。3 体行い、面内座屈は発生しなかった。
- ・以上、材料強度試験については、強度の下限値については、いずれも、それぞれの基準強度(設計値)を上回った。
- →計算値との比較を行った際、破壊性状はあっていたのだろうか。→同じである。
- →せん断試験をする時の加圧盤の大きさは?→面外せん断試験は 150 mm、面内せん断試験については事情があり、150 mmと両端が 200 mm。→加圧盤の真ん中からの距離で決めているが、剛性に影響があることであり、これが本当にいいのかという考え方もある。こちらは、どこかに記しておいた方が良い。
- →面外曲げ、面内曲げ試験のヤング係数であるが、事前にヤング係数は調べていたか?→非破壊では測定しているが、他は測定していない。→ヤング係数と強度の関係がグラフなどでプロットされると、よりバラつきが分かりやすいものとなると考える。
- →面外曲げ、面内曲げ強度の載荷ありが低め傾向であった点は、バラつきという事で考えて良いであろう。 試験体を増やすことで解決できることだと思う。

#### 5) 資料 3-5 接着性能試験について 宮崎委員(ブロックせん断試験については高梨委員)より説明

- ・本資料頭紙の、黒文字が前回 6 月に開催された第 2 回 CLT リユース委員会でご報告させて頂いたもの。青太字が新たに実施したものとなる(載荷後、静置後の接着性能試験。接着試験片の採取方法および寸法形状の検討としては、ブロックせん断試験における加力方向の影響(JAS 45 度)。ブロックせん断試験における接着面積の影響)。
- ・結果としては、接着性能試験については、載荷による影響は見られなかった。
- ・剝離試験については接着面積が大きいほうが厳しい評価、ブロックせん断については、直交より45度加力の方がバラツキ抑制、接着面積は大きい方がさらにバラツキ抑制、50×50mm以上のサイズが良い。
- →接着せん断試験の話だが、**75**mm対応治具の検討はできないか。→重量の事等、そんなに容易ではない。しかし考えていかねばならない。
- →剥離試験の載荷後の結果は妥当だと考える。「簡便に確認するための検査方法」という目的があるため、それからそれない様にするする検討も必要。→サイズについては、今後継続課題で考えていきたい。

#### 6) 本事業のまとめと今後の課題について 大橋委員より説明

- ・ここからは、案としてお聞き願いたいのだが、CLTの接着性能を適切にチェックする方法として、接着性能の劣化を感知しやすいようにより厳しい評価方法で、施工前後で検査する。
- ①剝離試験:現行方式(75mm角)以上のサイズで実施。
- ②ブロックせん断試験:現行方式(直交)より、バラツキ抑制できる45度で、接着面積は50×50mm以上のサイズで実施。現行JASでは木破率のみだが、せん断強度としても評価できるようにする。
- ・今後の課題として曲げ試験体については、純曲げ区間のFJや節を制御し さらにバラツキ抑制する試みも必要と考える。

今回はL70で狭くしたが、さらに縦つぎ部が多く入るように製造する事や、今回2枚であったが、マザーボードからの多くの試験体を採取し、よい条件のものを選びだす事等が考えられる。

- ・上記の工夫の上で、曲げ試験体の数を増やす(今回3体であったが、最低5体以上)。
- ・縦圧縮試験体の幅を 2 倍の 100 mmにする

- ・設計荷重を載荷した後の材料性能の簡便な評価方法の検討としては、CLTに特徴的な直交層の接着性能を 重点的に調べることとし、剝離と接着強度を簡便法で確かめればよいと考える。
- ・簡便法が現行JAS評価法と異なる前提で、
- ①最初のCLT製造時にも、リユース時にも、簡便法で試験、両者を比較。
- ②リユース時にのみ簡便法で試験を行い、判定基準と比較。その際、判定基準を新たに設定する必要がある。
- ・ブロックせん断については現行JASでも判定基準が木破率しかなく、ブロックせん断強度基準値を設定する必要がある。
- →試験体の数を増やすという話は大変いいことだと思う。ただ CLT パネルは幅狭にすると良くないので、そこは考えてほしい。
- →JASはバラつきがあって、45度はそうではないという言い回しはこの事業の主旨として、また報告書的にもあまり好ましくない。直交層の影響をJASは受けやすいという事だろうか。
- →45度で評価するときに初期の数値がわかりにくいので、そこをどうもっていくかの検討が必要。
- →試験としての**45**度という考え方は間違っていないし、良いと思われる。→できれば、両方のデータがあった方が良い。
- →今回だけでは結論を出すのはなかなか難しいが、樹種など含め、今後リユースに対する検討も必要。
- →①CLT製造時での試験は、製造メーカーも大変になるため、今後は基準値を決めていくことも、必要かと考える。②の方向性でいきたい。
- →サンプリングは大変重要な要素となる。今後もよく見極めていく。
- →今後は、事前に調べておいた方が良かった事について洗い出しておいた方が良いだろう。結果が出た後、 貴重なデータとなる。

以上

#### 提出資料

資料 3-0 議事次第

資料 3-1 第2回 CLT リユース委員会議事録(案)

資料 3-2 CLT リユース委員会全体スケジュール

資料 3-3 性能確認概要

資料 3-4 材料強度試験

資料 3-5 接着性能試験

(一社)日本 CLT 協会