## 林野庁委託事業

平成26年度(1次補正予算)

森林整備加速化・林業再生総合対策事業

「宮崎県産スギを用いた新たな CLT の開発」



宮崎県木材利用技術センター

平成 28 年 3 月

はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4
1 事業概要 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	7
1.1 事業実施スケジュール・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	7
1. 2 担当者 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	7
1. 3 文献 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	8
2 強度性能 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
2. 1 試験体の概要 ↔ ↔ ↔ ↔ ↔ ↔ ↔ ↔ ↔ ↔ ↔ ↔ ↔ ↔ ↔ ↔ ↔ ↔ ↔	9
2.1.1 ラミナの曲げ性能・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	9
2. 1. 2 CLTの製造と試験体の木取り・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	10
2. 1. 3 試験体の測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	10
2. 2 面外曲げ試験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	13
2. 3 面内曲げ試験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	17
2. 4 面外せん断試験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	21
2. 5 面内せん断試験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	25
2. 6 短柱縦圧縮試験·····	29
2. 7 文献 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	32
3 長期性能 ····································	33
3.1 面外曲げクリープ試験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	33
3. 1. 1 はじめに	33
3. 1. 2 試験体・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	33
<ol> <li>3. 1. 3 短期強度試験</li> </ol>	33
3.1.4 クリープ試験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	37
3. 2 面外曲げクリープ破壊試験(D0L 試験) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	44
3. 2. 1 はじめに	44
3. 2. 2 試験体	44
3. 2. 3 短期強度試験·····	44
3. 2. 4 DOL 試験 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	48
3.3 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	51
3. 4 文献 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	52
4 接合性能 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	53
4.1 ラグスリューボルト接合形式 (パネル工法)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	54

# 目 次

	4.	1.	1	はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	54
	4.	1. :	2	試験体と試験条件・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	54
	4.	1. ;	3	試験方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	55
	4.	1. 4	4	破壊性状・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	56
	4.	1. !	5	試験結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	57
	4.	1. (	6	推定值·····	57
	4.	1. '	7	まとめ・・・・・・	59
	4.	1. 8	8	文献 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	59
4	. 2	ф I	り辺	込み型接合形式(S造との混構造)····································	60
	4.	2.	1	はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	60
	4.	2. 2	2	試験体と試験条件・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	60
	4.	2. 3	3	試験方法	62
	4.	2.	4	試験結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	64
	4.	2.	5	破壊性状・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	67
	4.	2.	6	まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	68
4	·. 3	ビス	ス留	習め接合形式 (軸組工法)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	69
	4.	З.	1	はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	69
	4.	3. 2	2	試験体と試験条件・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	69
	4.	3. ;	3	試験方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	70
	4.	3.4	4	試験結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	71
	4.	3. !	5	破壊性状・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	73
	4.	3.	6	まとめ・・・・・・	74
4	. 4	ビン	ス留	習め接合による耐力壁(軸組工法)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	75
	4.	4.	1	はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	75
	4.	4. 2	2	試験体と試験条件・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	75
	4.	4. 3	3	試験方法	78
	4.	4.	4	試験結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	79
	4.	4. 4	5	破壊性状・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	82
	4.	4.	6	まとめ・・・・・・	84
	4.	4.	7	文献 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	84
5	おわ	りに			85

#### はじめに

クロスラミネイティッドティンバー(CLT)は、比較的厚い幅広板(厚さ3cm程度)を並べる ことで単層を構成し、層ごとに軸方向を直交するように重ねて接着した大判の集成加工材 料である(図1)。1996年にドイツ、オーストリアで開発されて以来、欧州や北米のみならず 世界中で急速に普及してきた。日本においても、大径材を歩留まり良く製材する上で最も 効率的な大量のひき板利用が可能となることや寸法安定性の高さ(異方性がない)、断熱性、 遮音性、施工性、耐震性の高さ等から中高層の非住宅建築物の木造化に大きく寄与する新 部材として、木材業界や建築業界から早急な普及、一般化が要望されている。この背景に は、木材の一般住宅への利用拡大の見通しが極めて厳しい中で、コンクリートや鉄骨系建 築物との競争と同時に共存の可能性が考えられること、近年における木質構造を取り巻く 情勢変化が著しいこと(人工造林木の再生可能資源であることへの期待等)、さらには「公共 建築物等における木材の利用の促進に関する法律」や「都市の低炭素化の促進に関する法 律」などに見られる制度面からの木材利用への後押しの影響が少なくないこと、等が挙げら れよう。

この様な中、我が国においても異例の早さで日本農林規格が制定されたほか(2013 年 12 月:直交集成板の日本農林規格)、全層に CLT を用いた建築物が高知県(スギ)、北海道(カラマ ツ)、岡山県(スギ)、福島県(スギ)、長崎県(スギ)、奈良県(スギ)に建設されるなど、実用化 に向けた取り組みが全国規模で加速している。

宮崎県においても、県内木材、建築関連企業や団体、行政の CLT への期待が近年急速に 高まっており、2014 年度には、県産 CLT の供給可能性や CLT 建築物の建設可能性を探るた めの研究会が設立された。また、県内の集成材工場であるウッドエナジー協同組合では、 2015 年度中に全層に県産スギを用いた CLT の製造が開始される予定であり、併せて同社の 敷地内にスギ CLT の耐力壁、集成材スラブを用いた木造軸組のオフィスビルが竣工する予 定である。さらに、2019 年竣工を目指している宮崎県防災拠点庁舎(10 階建て)の耐震壁に も、宮崎県産スギ CLT の利用が確定している。一方、この様な背景の中で、現時点では CLT の設計基準値(基準強度など)が定められておらず、汎用的な設計法が整備されていないこと から、全層に県産スギを用いた CLT のように前例のない仕様で CLT 建築物を建設するには、 一部の例外を除いて時刻歴応答解析による特殊な構造計算と個別の大臣認定を取得する必 要があり、そのためには材料性能や接合性能を明らかにすることが必要不可欠となる。

そこで、本事業では、宮崎県産スギによる CLT 建築物を一般化するために、全層にスギ ラミナを用いた CLT の材料性能と接合性能を検討した。具体的な試験項目は、以下の通り である。

- (1) 面外曲げ試験
- (2) 面内曲げ試験
- (3) 面外せん断試験
- (4) 面内せん断試験

- (5) 短柱縦圧縮試験
- (6) 面外曲げクリープ試験
- (7) 面外曲げクリープ破壊試験(DOL 試験)
- (8) ラグスリューボルト接合形式(パネル工法)の開発
- (9) めり込み型接合形式(S造との混構造)の開発
- (10) ビス留め接合形式(軸組工法)の開発
- (11) ビス留め接合による耐力壁(軸組工法)の開発

ここで、本事業の核となる重要な部分について、以下に言及する。

欧州では、プライを構成する隣り合うラミナ同士を接着する「幅はぎ」は、あまり好まれ ない傾向がある。その主な理由は、以下の様なものである<sup>1)</sup>。

(1) 幅はぎをすることで、最外層の表面に予期せぬ割れを生じる可能性が高まる。このため、幅はぎを施さないことで収縮変形による割れを抑制したい。

(2) 欧州では、一部を除き、CLT を現しで使うことは希であるため、CLT に化粧性を求める場面が少ない。

その一方で、CLT 構造物が火災に遭った場合、幅はぎが施されていないときにラミナの 隙間から火が回る可能性を危惧する声がある<sup>2)</sup>。また、欧州では接合部の設計において、基 本的にスクリュービスとブラケットのみで構成し、引きボルトの様なものは性能過剰とい う認識が主流であり、CLT 自体にも大きな力学的性能を期待していない<sup>1)</sup>。この点は、特に 日欧において地震力の想定が異なる点がベースとなっており、双方における大きな環境の 差異に基づいていると言えよう。特に、日本では、幅はぎに CLT のせん断性能を始めとし て、一定の力学的性能の向上を期待する声も多いことを考慮すれば、欧州材(スプルース、 オウシュウアカマツ等)よりも力学的性質がやや劣るスギ CLT の性能向上を図る上でも、「幅 はぎ」を施したラミナによる CLT(以下、幅はぎあり CLT)の性能検証は極めて重要である。 加えて、前述したウッドエナジー協同組合は、この幅はぎあり CLT の製造を行うことにな っており、県内関連企業の後押しと言う側面からもこの検証は重要な意味を持つだろう。

以上により、本稿では、「幅はぎあり CLT」と幅はぎを施さないラミナによる CLT(以下、 幅はぎなし CLT)の性能比較を中心に検討を進めることとしたい。



## 1 事業概要

## 1. 1 事業実施スケジュール

本事業は、以下のスケジュールに従って実施した。

				2015年				2016年			
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
全体会議	*			*	*	*		*		*	
ラミナの検討とCLT試 験体の作成											
ラミナの曲げ試験				1							
面外・面内曲げ試験											
面外 · 面内外せん断試 験											
縦圧縮試験					↓						
面外曲げクリープ試 験					↓						
面外曲げDOL試験											
接合試験											
報告書作成											

## 1. 2 担当者

○総括	荒武	志朗	宮崎県木材利用技術センター木材加工部長
○強度試験リーダー	森田	秀樹	同センター木材加工部主任研究員
同メンバー	深田	学	同センター木材加工部副部長
同メンバー	兒玉	了一	同センター木材加工部主任研究員
○長期性能試験リーダー	荒武	志朗	同センター木材加工部長
同メンバー	深田	学	同センター木材加工部副部長
○接合試験リーダー	中谷	誠	同センター構法開発部主任研究員
同メンバー	川崎	茂樹	同センター構法開発部長
同メンバー	下温湖	易盛久	同センター構法開発部副部長
同メンバー	蛯原	啓文	同センター構法開発部主任研究員
○アドバイザー	宮武	敦	(国研)森林総合研究所複合材料研究領域集成
			加工担当チーム長

## 1.3 文献

1) 渡部博:欧州における CLT 研究開発の現況、木材工業 69(2)、50-54 (2014).

2) N.Werther, M.Merk, S.Winter: Fire safe service installations in Timber buildings,

WCTE2012、 Final Paper Journal-Strength and Serviceability、 61-69(2012).

## 2 強度性能

## 2.1 試験体の概要

## 2. 1. 1 ラミナの曲げ性能

CLT 製造に供したラミナの一部を抽出し、曲げ試験を行った。曲げ試験は万能材料試験 機(島津製作所、AG-100kNI、容量 100kN)を用いて、直交集成板の日本農林規格(以下、JAS) ラミナの曲げ C 試験に準じ、支点間距離(以下、スパン)525mm、荷重点間距離(以下、ロー ドスパン)175mmの3等分点4点荷重方式で実施した。供試ラミナは、幅100mm、厚さ25mm、 長さ 800mmの縦継ぎがないラミナ(以下、NJ ラミナ)及び長さ方向中央部に縦継ぎがあるラ ミナ(以下、FJ ラミナ)とした。JAS ではヤング係数の上限がない A 種と上限がある B 種の ラミナが規定されているが、今回は B 種ラミナとし、強度等級は M60B 及び M30B とした。 図 1 に曲げ試験風景、図 2 に曲げ破壊例を示し、表 1 に試験結果を、表 2 に JAS 基準値を 示す。



図1 ラミナの曲げ試験風景



図 2 ラミナの破壊例(NJ ラミナ)

## 表1 ラミナの曲げ試験結果

二十分中午初	=+ ≣≎ /+ */-		密度	縦振動ヤング係数	曲げヤング係数	曲げ強さ	含水率
フミノ強度守赦	i式与史14+安X		kg/m <sup>3</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm²	N/mm <sup>2</sup>	%
		平均值	450	7.9	7.3	38.7	10.5
M60B(FJラミナ)	30	標準偏差	30.2	1.1	0.9	5.4	0.5
		変動係数%	6.7	13.3	12.1	14.0	4.5
		平均值	442	7.6	7.0	63.5	10.6
M60B(NJラミナ)	30	標準偏差	32.5	1.5	1.4	10.9	0.4
		変動係数%	7.4	20.3	20.4	17.1	4.1
		平均值	443	5.3	4.7	38.6	11.5
M30B(FJラミナ)	30	標準偏差	32.3	0.5	0.7	5.7	0.5
		変動係数%	7.3	9.8	13.8	14.7	4.2
		平均值	388	5.2	4.7	49.4	11.5
M30B(NJラミナ)	30	標準偏差	34.5	0.4	0.5	6.3	0.5
		変動係数%	8.9	8.7	11.0	12.7	4.0

	曲	げヤング係	曲け	強さ	
		(kN/mm²)	(N∕r	mm²)	
	下限值	平均值	下限值	平均值	
M60B	5.0	6.0	9.0	20.0	27.0
M30B	2.5 3.0 6.0			14.5	19.5

#### 表 2 B 種 ラミナの JAS 基準値

JAS 基準値との比較を行った結果、曲げヤング係数において基準値を満足しない試験体が存在し、上限値を上回った試験体数は M60B(FJ)で1体、M60B(NJ)で3体、M30B(FJ)で1体であり、下限値を下回った試験体は M60B(NJ)で1体であった。以上の6体がJAS 基準値を満足しなかったとは言え、その差は非常に小さく、その他の試験体については基準値を満足し、その割合は全試験体の95%であった。したがって、CLT 製造に供した今回のラミナは、概ねJAS を満足する品質を有するものと考えられた。

## 2. 1. 2 CLT の製造と試験体の木取り

宮崎県産スギラミナを用いて、CLT の製造を JAS 認定工場で行った。フィンガージョイ ント、幅はぎ、積層に使用した接着剤は、水性高分子イソシアネート系接着剤とした。幅 はぎあり試験体及び幅はぎなし試験体ともに、まず幅 1800~2200mm、長さ 3000~6000mm の CLT パネルを製造し、そこから面外曲げ試験体(強軸・弱軸)、面内曲げ試験体(強軸・弱 軸)、面外せん断試験体(強軸)、面内せん断試験体(強軸・弱軸)、面外曲げ DOL 試験体(強軸)、 面外曲げクリープ試験体(強軸)を木取りした。図3に幅はぎあり CLT 試験体の木取り図を示 し、図4に幅はぎなし CLT 試験体の木取り図を示す。なお、短柱縦圧縮試験体(強軸・弱軸) は、面内せん断試験体の予備試験体から採取した。

#### 2.1.3 試験体の測定

木取りした試験体に対して、寸法、重量、密度( $\rho$ )、縦振動ヤング係数( $E_{\rm fr}$ )、TGH 法による純曲げヤング係数( $E_{\rm ob}$ )及びせん断弾性係数( $G_{\rm fb}$ )の測定を行った。なお、TGH 法による  $E_{\rm ob}$ 及び  $G_{\rm fb}$ の測定は、構造用木材の強度試験マニュアルに準じて行った。

#### ----- CLT パネル 長さ 4m

7 層 7 ブライ - 弱軸(幅 2000mm× 厚さ 175mm× 長さ 4000mm)

面外曲げ 1-2 300×4000
面外曲げ 1-2

7 層 7 プライ - 弱軸(幅 2000mm× 厚さ 175mm× 長さ 4000mm)

面外曲げ 1-2	300×4000
面内曲げ 2-2	200×4000
面内曲げ 2-2	

7 層 7 プライ - 弱軸(幅 2000mm× 厚さ 175mm× 長さ 4000mm)

面内せん断 4-2 200×1400	400								225	
面内せん断 4-2	X								0×1	3-1
面内せん断 4-2	2								で断 30	断
面内せん断 4-2	-4	1-1	1-1	1-1	4-1	1-1	1-1	1-1	A E/	A E/
面内せん断 4-2	でも野	も悪	も悪	も思	てん断	も思	も思	も悪	厦	周
面内せん断 4-2	고	ЪЧ	囚也	込せ	囚也	Ъ́́	Σt	内 西 西		
面内せん断 4-2	E	He	E	围	圈	E	層	圈		
面内せん断 4-2										
	面外	曲げ	1-2						300>	(4000

CLT パネル 長さ 3m
5 届 5 プライ - 強軸 (幅 2000mm× 厚さ 150mm× 長さ 3000mm)
<u> 面外曲げ DOL A1</u> <u> 100×2400</u> <u> </u>
<u>面外曲げ DOL A2</u> <u>面外曲げ DOL A3</u>
<u>     面外曲げ DOL A4</u> 面外曲げ DOL A5     面外曲げ DOL A5
面外曲げ DOL A6
<u>血外曲げ DOL A11</u> <u>面外曲げ DOL A12</u>
<u>     面外曲げ DOL A13</u> 面外曲げ DOL A14     面外曲げ DOL A14
面外曲げ DOL A15 面外曲げ DOL A16

5 層 5 プライ - 強軸(幅 2000mm× 厚さ 150mm× 長さ 3000mm) <u>
の
外曲げ DQL A17</u>100×2400

<u> 面外囲け DOL A18</u>	
面外曲げ DOL A19	
面外曲げ DOL A20	
<u>面外曲げ DOL A21</u>	
面外曲げ DOL A22	
<u>面外曲げ DOL A23</u>	
面外曲げ DOL A24	
面外曲げ DOL A25	
面外曲げ DOL A26	
面外曲げ DOL A27	
面外曲げ DOL A28	
面外曲げ DOL A29	
面外曲げ DOL A30	
面外曲げ DOL A31	
面外曲げ DOL A32	

7 層 7 プライ - 強軸(幅 2000mm× 厚さ 175mm× 長さ 4000mm)

面外曲げ 1-1	300×4000
面外曲げ 1-1	

------

7 層 7 プライ - 強軸(幅 2000mm× 厚さ 175mm× 長さ 4000mm)

面外曲げ 1-1	300×4000
面外曲げ 1-1	
面内曲げ 2-1	200×4000
面内曲げ 2-1	

7 層 7 プライ - 強軸(幅 2000mm× 厚さ 175mm× 長さ 4000mm)

	面内曲げ 2-1	200×4000			
	面内曲げ 2-1				
面外せん断 3-1 300×1225	面外せん断 3-1 300×1225	面外せん断 3-1 300×1225			
面外せん断 3-1	面外せん断 3-1	面外せん断 3-1			
	面外曲げクリープ A1-	1 120×4000			
	面外曲げクリープ A1-	2			
面外曲げクリープ A2-1					
面外曲げクリープ A2-2					

#### 7 層 7 プライ - 強軸(幅 2000mm× 厚さ 175mm× 長さ 4000mm)

面外曲げクリープ A3-1	120×4000
面外曲げクリープ A3-2	
面外曲げクリープ A4-1	
面外曲げクリープ A4-2	
面外曲げクリープ A5-1	
面外曲げクリープ A5-2	
面外曲げクリープ A6-1	
面外曲げクリープ A6-2	

5 層 5 プライ - 強軸(幅 2000mm× 厚さ 150mm× 長さ 3000mm)

L\_\_\_\_\_

面外曲げ DOL A34     面外曲げ DOL A35     面外曲げ DOL A35     面外曲げ DOL A36     面外曲げ DOL A37     面外曲げ DOL A38     面外曲げ DOL A39     面外曲げ DOL A40     面外曲げ DOL A40     面外曲げ DOL A41     面外曲げ DOL A42
面外曲げ DOL A35     面外曲げ DOL A35     面外曲げ DOL A37     面外曲げ DOL A37     面外曲げ DOL A37     面外曲げ DOL A37     面外曲げ DOL A40     面外曲げ DOL A40     面外曲げ DOL A41     面外曲げ DOL A42     面外曲げ DOL A43
面外曲げ DOL A36     面外曲げ DOL A37     面外曲げ DOL A38     面外曲げ DOL A38     面外曲げ DOL A38     面外曲げ DOL A40     面外曲げ DOL A40     面外曲げ DOL A41     面外曲げ DOL A42     面外曲げ DOL A43
面外曲げ DOL A37 面外曲げ DOL A38 面外曲げ DOL A39 面外曲げ DOL A40 面外曲げ DOL A40 面外曲げ DOL A41 面外曲げ DOL A42 面外曲げ DOL A43
面外曲げ DOL A38     面外曲げ DOL A39     面外曲げ DOL A39     面外曲げ DOL A40     面外曲げ DOL A41     面外曲げ DOL A41     面外曲げ DOL A42
面外曲げ DOL A39 面外曲げ DOL A40 面外曲げ DOL A41 面外曲げ DOL A41 面外曲げ DOL A43
面外曲げ DOL A40 面外曲げ DOL A41 面外曲げ DOL A42 面外曲げ DOL A43
面外曲げ DOL A41 面外曲げ DOL A42 声が曲げ DOL A42
面外曲げ DOL A44
<u>面外曲げ DOL A45</u>

図3 幅はぎあり CLT 試験体の木取り図

#### \_\_\_\_\_

7 層 7 プライ - 弱軸(幅 2232mm× 厚さ 175mm× 長さ 4030mm)

面外曲げ 1-2 300×4000	面外曲げ 1-2
面外曲げ 1-2	面外曲げ 1-2
面外曲げ 1-2	面外曲げ 1-2
面外曲げ 1-2	面外曲げ 1-2
面内曲げ 2-2 200×4000	面内曲げ 2-2
面内曲げ 2-2	面内曲げ 2-2
面内曲げ 2-2	面内曲げ 2-2
面内曲げ 2-2	面内曲げ 2-2

## 7 層 7 プライ - 強軸(幅 2232mm× 厚さ 175mm× 長さ 4030mm)

面外せん断 3-1 面外せん断 3-1		面内せん断 4-1 200×1400
500×1225	500×1225	面内せん断 4-1
面外せん断 3-1	面外せん断 3-1	面内せん断 4-1
面外せん断 3-1	面外せん断 3-1	面内せん断 4-1
	面内せん断 4-1	
面外せん断 3-1	面外せん断 3-1	面内せん断 4-1
		面内せん断 4-1
		面内せん断 4-1

#### 7 層 7 プライ - 強軸(幅 2232mm× 厚さ 175mm× 長さ 4030mm)

面外曲げクリープ N1-1	120×4000
面外曲げクリープ N1-2	
面外曲げクリープ N2-1	
面外曲げクリープ N2-2	
面外曲げクリープ N3-1	
面外曲げクリープ N3-2	
面外曲げクリープ N4-1	
面外曲げクリープ N4-2	
面外曲げクリープ N5-1	
面外曲げクリープ N5-2	
面外曲げクリープ N6-1	
<u>面外曲げクリープ N6-2</u>	
	T T T T T T

----- CLTパネル 長さ6m

ヽ゚ネル 長さ0m ------

7層7プライ-弱軸(幅 2232mm×厚さ 175mm×長さ 6030mm)

面外曲げ 1-2 2000 1000	面内せん断 4-2 200×1400
	面内せん断 4-2
面外曲げ 1-2	面内せん断 4-2
面外曲げ 1-2	面内せん断 4-2
	面内せん断 4-2
面外曲げ 1-2	面内せん断 4-2
面内曲げ 2-2 200×4000	面内せん断 4-2
面内曲げ 2-2	面内せん断 4-2
面内曲げ 2-2	
面内曲げ 2-2	

長さ6m	

5 層 5 プライ - 強軸(幅 1860mm× 厚さ 150mm× 長さ 6030mm)

面外曲げ DOL N1	100×2400	面外曲げ DOL N15	100×2400
面外曲げ DOL N2		面外曲げ DOL N16	
面外曲げ DOL N3		面外曲げ DOL N17	
面外曲げ DOL N4		面外曲げ DOL N18	
面外曲げ DOL N5		面外曲げ DOL N19	
面外曲げ DOL N6		面外曲げ DOL N20	
面外曲げ DOL N7		面外曲げ DOL N21	
面外曲げ DOL N8	····	面外曲げ DOL N22	
面外曲げ DOL N9		面外曲げ DOL N23	
面外曲げ DOL N10		面外曲げ DOL N24	
面外曲げ DOL N11		面外曲げ DOL N25	
面外曲げ DOL N12		面外曲げ DOL N26	
面外曲げ DOL N13		面外曲げ DOL N27	
面外曲げ DOL N14		面外曲げ DOL N28	
層 5 プライ - 強軸(幅 1860mm× 厚	さ 150mm× 長さ 6030	)mm)	

面外曲げ DOL N29	100×2400	面外曲げ DOL N43	100×2400	
面外曲げ DOL N30		面外曲げ DOL N44		
面外曲げ DOL N31		面外曲げ DOL N45		
面外曲げ DOL N32				
面外曲げ DOL N33				
面外曲げ DOL N34				
面外曲げ DOL N35				
面外曲げ DOL N36				
面外曲げ DOL N37				+++++
面外曲げ DOL N38				
面外曲げ DOL N39				
面外曲げ DOL N40				
面外曲げ DOL N41				
面外曲げ DOL N42			+++++++	

図4 幅はぎなし CLT 試験体の木取り図

## CLTパネル 長さ4m ------

7 層 7 ブライ - 強軸(幅 2232mm× 厚さ 175mm× 長さ 4030mm)

面外曲げ 1-1	300×4000
面外曲げ 1-1	
面外曲げ 1-1	
面外曲げ 1-1	
面内曲げ 2-1	200×4000
面内曲げ 2-1	
面内曲げ 2-1	
面内曲げ 2-1	
□[[7]田[7]2-1	

7 層 7 プライ - 強軸(幅 2232mm× 厚さ 175mm× 長さ 4030mm)

300×4000	面外曲げ 1-1
	面外曲げ 1-1
	面外曲げ 1-1
	面外曲げ 1-1
200×4000	面内曲げ 2-1

#### 2.2 面外曲げ試験

7層7プライのCLTパネルから、幅300mm、厚さ175mm、長さ4000mmの面外曲げ試験 体を木取りした。このとき、最外層ラミナの繊維方向が長さ方向と同じ試験体を強軸、直 交する試験体を弱軸とし、それぞれ6体ずつを試験に供した。

試験は実大強度試験機(東京衡機、WU-1000・TK21、容量 1000kN)を用いて、スパン 3150mm、 ロードスパン 1050mmの3等分点4点荷重方式で実施した。このときの加力速度は毎分 10mm とした。変位については、試験体中央部の全たわみを SDP-200D(東京測器研究所、容量 200mm)を用いて、ロードスパン内に設置したヨーク(スパン 900mm)の相対たわみを CDP-50M(東京測器研究所、容量 50mm)を用いて計測し、見かけの曲げヤング係数(*E*<sub>m</sub>)及び 純曲げヤング係数(*E*<sub>b</sub>)を求めた。図 5 に面外曲げ試験の設置図を示し、図 6 に試験風景、図 7 に幅はぎあり試験体の破壊例、図 8 に幅はぎなし試験体の破壊例を示す。また、試験結果 を表 3 及び表 4 に示す。



図5 面外曲げ試験 設置図(強軸)



(a)強軸



(b) 弱軸

図6 試験風景 13 試験で得られた最大荷重、スパン中央たわみ、ヨーク相対たわみから、曲げ強さ fb、見かけの曲げヤング係数 Em、純曲げヤング係数 Ebを以下で算出した。

$$f_{b} = \frac{3P_{\max} \times s}{bh^{2}} \qquad E_{m} = \frac{\Delta P \times s(3L^{2} - 4s^{2})}{\Delta \delta \times 4bh^{3}} \qquad E_{b} = \frac{\Delta P \times 3sy^{2}}{\Delta \delta_{y} \times 4bh^{3}}$$

ここで、P<sub>max</sub> : 最大荷重

- L : スパン
- s : 支点 荷重点間距離
- *a* : 荷重点間距離
- y : ヨーク測定スパン
- *b* : 試験体の幅
- *h* : 試験体の厚さ
- Δ*P* : *P*<sub>max</sub>の10~40%の荷重増分
- $\Delta \delta$  :  $\Delta P$  に対応するスパン中央たわみの増分
- Δ δ<sub>v</sub>: Δ*P* に対応するヨーク相対たわみの増分

破壊形態は、幅はぎの有無にかかわらず、全て曲げ破壊を示した(図 7、図 8)。強軸試験 体については、引張側のフィンガージョイントが起因となり、全体の破壊に至る形態が多 くを占めた。一方、弱軸試験体については、引張側 2 層目の強軸ラミナが曲げ性能に大き く寄与すると考えられたが、幅はぎあり試験体では最外層ラミナの幅はぎ部の木破が認め られ、少なくとも初期の剛性には寄与していることが示唆された。

直交集成板の適正製造基準では、初期試験及び抜き取り試験として、直交集成板の曲げ 試験が規定されている。強度等級 Mx60、7層7プライ直交集成板では、曲げヤング係数が 平均値で 3.6kN/mm<sup>2</sup>以上、下限値で 3.0kN/mm<sup>2</sup>以上、曲げ強さで 8.2N/mm<sup>2</sup>以上と定められ ている。なお、JAS でも同様の基準値である。図9に曲げヤング係数と曲げ強さの関係を示 す。全試験体で基準値を上回り、特に強軸試験体は基準値の2倍程度の曲げ強さを示した。 なお、今回の試験では幅はぎの有無による違いは認められなかった。

以上のことから、本県産スギ CLT の面外曲げ性能は、幅はぎの有無にかかわらず JAS 基 準値を十分上回ることが明らかになった



(a)強軸

(b) 弱軸

図7 幅はぎあり試験体の破壊例



(a)強軸

(b) 弱軸

図8 幅はぎなし試験体の破壊例

## 表3 幅はぎあり試験体の面外曲げ試験結果

## 面外曲げ試験体(強軸)

國粉	ᆂᆎ	No	幅	厚さ	材長	密度 ρ	縦振動ヤング係数E <sub>fr</sub>	曲げヤング係数E <sub></sub>	純曲げヤング係数 $E_b$	曲げ強さf <sub>b</sub>	破壊形態
眉奴	半田	NU.	m m	m m	m m	kg/m $^3$	$k$ N /m m $^2$	$k$ N /m m $^2$	$k$ N /m m $^{2}$	N /m m $^{\rm 2}$	
		1	300	176.69	4005	417	4.3	4.9	5.6	20.3	曲げ
		2	300	176.45	4005	417	4.1	4.7	5.3	20.3	曲げ
		3	300	176.54	4005	415	4.2	4.7	5.1	21.7	曲げ
	4	4	300	176.42	4005	418	4.3	4.8	5.4	21.7	曲げ
7	4 7	5	300	176.14	4005	421	3.9	4.6	5.0	18.8	曲げ
'	丁虫平田	6	300	176.90	4005	425	3.9	4.4	4.7	21.7	曲げ
					平均值	419	4.1	4.7	5.2	20.7	
				標準偏差	3.4	0.2	0.2	0.3	1.2		
				<i>K</i> (n=6)	2.336	2.336	2.336	2.336	2.336		
					5% 下限値	411	3.7	4.2	4.5	18.0	

## 面外曲げ試験体(弱軸)

國新	ᇔ	No	幅	厚さ	材長	密度 ρ	縦振動ヤング係数E <sub>fr</sub>	曲げヤング係数E <sub>m</sub>	純曲げヤング係数 $E_{b}$	曲げ強さ <i>f</i> 。	破壊形態
眉奴	半田	NU.	m m	m m	m m	kg/m $^3$	$k$ N /m m $^2$	$k$ N /m m $^{2}$	$k$ N /m m $^2$	N /m m $^{2}$	
		1	300	175.37	4005	419	3.2	1.9	2.0	11.2	曲げ
		2	300	175.57	4005	422	2.5	1.5	1.6	12.3	曲げ
	3	300	175.76	4005	422	3.0	1.8	2.1	12.4	曲げ	
		4	300	175.19	4005	429	3.3	1.9	1.9	12.0	曲げ
7 弱車	55 声山	5	300	175.89	4005	418	2.6	1.6	1.7	13.1	曲げ
,	99+m	6	300	175.22	4005	423	3.0	1.8	2.0	13.9	曲げ
					平均值	422	2.9	1.8	1.9	12.5	
					標準偏差	4.0	0.3	0.2	0.2	0.9	
					<i>K</i> (n=6)	2.336	2.336	2.336	2.336	2.336	
					5% 下限値	413	2.2	1.4	1.4	10.3	

## 表4 幅はぎなし試験体の面外曲げ試験結果

## 面外曲げ試験体(強軸)

同步	**	No	幅	厚さ	材長	密度 ρ	縦振動ヤング係数E <sub>fr</sub>	曲げヤング係数E <sub></sub>	純曲げヤング係数 $E_b$	曲げ強さf <sub>b</sub>	破壊形態
眉致	甲田	NO.	m m	m m	m m	$kg/m^{3}$	$k$ N /m m $^2$	$k$ N /m m $^2$	$k$ N /m m $^2$	N /m m $^{2}$	
		1	301	175.96	4001	425	4.6	5.3	6.0	19.1	曲げ
		2	301	176.15	4001	425	4.6	5.1	5.8	20.3	曲げ
		3	301	175.67	4000	434	4.8	5.5	5.8	18.6	曲げ
		4	301	175.41	4000	431	4.5	5.4	6.0	18.0	曲げ
	7 24 44	5	301	175.96	4000	435	5.0	5.7	6.0	18.6	曲げ
7	強軸	6	301	175.87	4001	430	4.5	5.0	5.2	17.0	曲げ
		7	301	175.96	4000	427	4.6	5.5	5.7	19.6	曲げ
					平均值	429	4.7	5.4	5.8	18.8	
				標準偏差	4.0	0.2	0.2	0.3	1.1		
					<i>K</i> (n=7)	2.251	2.251	2.251	2.251	2.251	
					5% 下限値	421	4.3	4.8	5.2	16.3	

## 面外曲げ試験体(弱軸)

國新	声中	No	幅	厚さ	材長	密度 ρ	縦振動ヤング係数E <sub>fr</sub>	曲げヤング係数E <sub>m</sub>	純曲げヤング係数 $E_b$	曲げ強さf <sub>b</sub>	破壊形態
眉奴	半田	NO.	m m	m m	m m	$kg/m^{-3}$	$k$ N /m m $^{2}$	$k$ N /m m $^2$	$k$ N /m m $^2$	N /m m $^2$	
		1	300	176.02	4001	416	3.3	2.1	2.2	13.2	曲げ
		2	300	177.04	4001	430	3.2	2.1	2.2	13.4	曲げ
		3	300	175.82	4001	421	3.3	2.1	2.2	12.5	曲げ
	4	301	176.00	4001	427	3.1	1.9	2.1	13.5	曲げ	
7	김김 南山	5	301	175.98	4001	423	3.1	2.0	2.1	12.9	曲げ
,	99+m	6	300	176.95	4001	422	3.2	2.0	2.0	12.2	曲げ
					平均值	423	3.2	2.0	2.1	12.9	
					標準偏差	4.9	0.1	0.1	0.1	0.5	
					<i>K</i> (n=6)	2.336	2.336	2.336	2.336	2.336	
					5% 下限値	412	3.0	1.8	1.9	11.7	



## 2.3 面内曲げ試験

7層7プライのCLTパネルから、幅200mm、厚さ175mm、長さ4000mmの面内曲げ試験 体を木取りし、面内方向加力の曲げ試験に供した。このとき、最外層ラミナの繊維方向が 長さ方向と同じ試験体を強軸、直交する試験体を弱軸とし、それぞれ6体ずつを試験体と した。

試験は実大強度試験機を用いて、スパン 3600mm、ロードスパン 1200mm の 3 等分点 4 点 荷重方式で実施した。このときの加力速度は毎分 10mm とした。変位については、試験体 中央部の全たわみを SDP-200D(東京測器研究所、容量 200mm)を用いて、ロードスパン内に 設置したヨーク(スパン 900mm)の相対たわみを CDP-50M(東京測器研究所、容量 50mm)を用 いて計測し、見かけの曲げヤング係数(*E*<sub>m</sub>)及び純曲げヤング係数(*E*<sub>b</sub>)を求めた。図 10 に面内 曲げ試験の設置図を示し、図 11 に試験風景、図 12 に幅はぎあり試験体の破壊例、図 13 に 幅はぎなし試験体の破壊例を示す。また、試験結果を表 5 及び表 6 に示す。



図10 面内曲げ試験 設置図(強軸)



(a) 強軸

(b) 弱軸

図 11 試験風景

破壊形態は、幅はぎの有無にかかわらず、全て曲げ破壊を示した(図 12、図 13)。強軸及 び弱軸試験体ともに、強軸ラミナが曲げの多くを負担すると考えられ、強軸ラミナのフィ ンガージョイントが破壊に含まれる場合が多くを占めた。また、弱軸試験体の幅はぎ位置 が直線的に並ぶ状況においては、その位置で破壊に至る試験体が多く見られた(図 14)。特に 製造精度が高かった幅はぎなし試験体は、突き付け位置がほぼ同一直線上に並んでいたた め、この傾向が強かった。なお、面内曲げ試験の特徴として、面外曲げ試験に比べてさら に脆性的であり、最大荷重を示した後、一気に耐力がゼロになる試験体が多く観察された。

図 15 に曲げヤング係数と曲げ強さの関係を示す。図中には参考までに、面外曲げの JAS 基準値を図示している。いわゆる平使いの面外曲げ試験結果に比べて、縦使いの面内曲げ 試験結果は比較的低い曲げ強さを示しているものの、全試験体が基準値を上回った。また、 曲げ強さについては幅はぎの有無による違いは認められなかった。



(a) 強軸



(b) 弱軸

図 12 幅はぎあり試験体の破壊例



(a) 強軸

(b) 弱軸

図13 幅はぎなし試験体の破壊例



(a) 幅はぎあり試験体 図 14 幅はぎ部付近の破壊例(



(b)幅はぎなし試験体 ▶は幅はぎ又は突き付け位置)

## 表5 幅はぎあり試験体の面内曲げ試験結果 面内曲げ試験体(強軸)

國粉	ᇑ	No	幅	厚さ	材長	密度 ρ	縦振動ヤング係数E <sub>fr</sub>	曲げヤング係数E <sub>m</sub>	純曲 ポヤング係数 $E_b$	曲げ強さ <i>f</i> <sub>b</sub>	破壊形態
眉奴	半田	NU.	m m	m m	m m	kg/m $^3$	$k$ N /m m $^2$	$kN/mm^2$	kN/mm²	N /m m $^2$	
		1	176.19	200	4005	427	4.10	3.8	4.1	18.9	曲げ
		2	176.41	200	4005	420	3.90	3.5	3.9	17.9	曲げ
		3	176.43	200	4005	421	4.30	4.0	4.5	16.3	曲げ
		4	176.73	199	4005	422	4.20	3.9	4.2	16.4	曲げ
7	7 強軸 –	5	176.60	200	4005	421	3.90	3.5	3.7	16.5	曲げ
'	733 平田	6	176.38	201	4005	422	3.90	3.5	3.4	17.0	曲げ
					平均值	422	4.05	3.7	4.0	17.2	
					標準偏差	2.49	0.18	0.2	0.4	1.0	
					<i>K</i> (n=6)	2.336	2.336	2.336	2.336	2.336	
					5% 下限値	416	3.6	3.2	3.1	14.7	

#### 面内曲げ試験体(弱軸)

國粉	ᆂᆎ	No	幅	厚さ	材長	密度 ρ	縦振動ヤング係数E <sub>fr</sub>	曲げヤング係数E <sub>m</sub>	純曲げヤング係数 $E_b$	曲げ強さf <sub>b</sub>	破壊形態
眉奴	半田	NU.	m m	m m	m m	kg/m $^3$	$k$ N /m m $^2$	$k$ N /m m $^2$	$k$ N /m m $^{2}$	N /m m $^{\rm 2}$	
		1	175.88	200	4005	428	2.50	2.2	2.3	13.6	曲げ
		2	175.97	200	4005	425	2.60	2.3	2.5	16.0	曲げ
		3	175.77	200	4005	424	2.50	2.2	2.4	14.6	曲げ
	4	4	176.14	200	4005	422	2.30	2.0	2.0	13.4	曲げ
7	7 弱軸	5	175.85	200	4005	423	2.30	2.2	2.3	15.1	曲げ
,	99 <del>1</del> 0	6	175.90	200	4005	423	2.20	2.1	2.1	12.4	曲げ
					平均值	424	2.40	2.2	2.3	14.2	
					標準偏差	1.85	0.15	0.1	0.2	1.3	
					<i>K</i> (n=6)	2.336	2.336	2.336	2.336	2.336	
					5% 下限値	420	2.0	1.9	1.8	11.2	

## 表6 幅はぎなし試験体の面内曲げ試験結果

## 面内曲げ試験体(強軸)

國新	ᇔ	No	幅	厚さ	材長	密度 ρ	縦振動ヤング係数E <sub>fr</sub>	曲げヤング係数E <sub>m</sub>	純曲げヤング係数 $E_{\rm b}$	曲げ強さf <sub>b</sub>	破壊形態
眉奴	半田	NU.	m m	m m	m m	$kg/m^{3}$	$k$ N /m m $^2$	$k$ N /m m $^2$	$k$ N /m m $^2$	N/m m $^2$	
		1	175.95	201	4000	428	4.60	4.4	4.6	18.0	曲げ
		2	176.09	201	4001	433	4.44	4.2	4.5	19.2	曲げ
		3	175.50	200	4000	430	4.51	3.9	4.0	16.0	曲げ
		4	175.92	200	4000	428	4.72	4.4	4.7	18.2	曲げ
7	7   強軸 —	5	176.14	200	4000	424	4.79	4.5	4.9	20.4	曲げ
'	丁虫平田	6	176.34	201	4001	424	4.35	3.9	4.2	17.8	曲げ
					平均值	428	4.57	4.2	4.5	18.3	
					標準偏差	3.45	0.17	0.2	0.3	1.5	
					<i>K</i> (n=6)	2.336	2.336	2.336	2.336	2.336	
					5% 下限値	420	4.2	3.6	3.7	14.8	

#### 面内曲げ試験体(弱軸)

國新	ᆂᅭ	No	幅	厚さ	材長	密度 ρ	縦振動ヤング係数E <sub>fr</sub>	曲げヤング係数E <sub>m</sub>	純曲げヤング係数 $E_b$	曲げ強さf <sub>b</sub>	破壊形態
眉奴	半田	NU.	m m	m m	m m	$kg/m^{3}$	$k$ N /m m $^2$	$k$ N /m m $^2$	$k$ N /m m $^2$	N /m m $^2$	
		1	177.07	200	4001	420	3.20	3.0	3.2	15.6	曲げ
		2	176.50	200	4001	422	3.21	2.8	2.9	14.4	曲げ
		3	176.82	200	4001	425	3.24	2.9	2.9	14.5	曲げ
	4	176.69	200	4001	422	3.21	3.0	3.1	15.6	曲げ	
7 弱軸	5 3 曲	175.95	200	4001	423	3.32	3.0	3.0	18.3	曲げ	
,	99 <del>*</del> 0	6	175.86	201	4001	417	3.09	2.7	2.9	18.6	曲げ
					平均值	422	3.21	2.9	3.0	16.2	
					標準偏差	2.74	0.07	0.1	0.1	1.8	
					<i>K</i> (n=6)	2.336	2.336	2.336	2.336	2.336	
					5% 下限値	415	3.0	2.6	2.7	11.9	



図 15 曲げヤング係数と曲げ強さの関係

## 2. 4 面外せん断試験

7層7プライのCLTパネルから、幅300mm、厚さ175mm、長さ1225mmの面外せん断試 験体を木取りした。このとき、最外層ラミナの繊維方向が長さ方向と同じ強軸試験体6体 を試験に供した。

試験は実大強度試験機を用いて、スパン 875mm の中央集中荷重方式で実施した。このと きの加力速度は毎分 3mm とした。変位については、試験体中央部の全たわみを SDP-200D(東 京測器研究所、容量 200mm)を用いて、スパン内に設置したヨーク(スパン 875mm)の相対た わみを CDP-50M(東京測器研究所、容量 50mm)を用いて計測し、せん断弾性係数(G)を求め た。図 16 に面外せん断試験の設置図を示し、図 17 に試験風景、図 18 に幅はぎあり試験体 の破壊例、図 19 に幅はぎなし試験体の破壊例を示す。また、試験結果を表 7 及び表 8 に示 す。



図16 面外せん断試験 設置図



図 17 試験風景

試験で得られた最大荷重、スパン中央たわみから、せん断強さ f<sub>s</sub>、せん断弾性係数 G を 以下で算出した。

$$f_{s} = \frac{3P_{\max}}{4bh} \qquad \qquad G = \frac{6L}{\frac{20bh}{\Delta P / \Delta \delta} - \frac{5L^{3}}{E_{b}h^{2}}}$$

ここで、 $P_{max}$ : 最大荷重 L: スパン b: 試験体の幅 h: 試験体の厚さ  $\Delta P$ :  $P_{max}$ の10~40%の荷重増分  $\Delta \delta$ :  $\Delta P$ に対応するスパン中央たわみの増分  $E_b$ : 面外曲げ試験で得られた純曲げヤング係数の平均値

破壊形態は、幅はぎあり試験体が主にせん断破壊、幅はぎなし試験体がせん断と曲げの 複合破壊を示した。幅はぎあり試験体については、最大荷重を示した時点では最外層の強 軸ラミナに破壊が認められず、弱軸ラミナにのみせん断破壊が認められた(図 18)。一方、幅 はぎなし試験体でも初期破壊は弱軸ラミナのせん断破壊であったが、最大荷重時には最外 層の強軸ラミナの曲げ破壊も同時に発生した(図 19)。すなわち、他の試験と異なり、幅はぎ の有無が破壊形態の違いとして明確に現れた。なお、今回は、中央集中荷重方式による曲 げ型試験法でせん断強さが評価可能であり、同様の試験の場合に曲げ破壊が多くを占める スギ製材及び集成材とは明らかに異なる傾向を示した。

直交集成板の適正製造基準では、初期試験及び抜き取り試験として直交集成板のせん断 試験が規定されており、強度等級にかかわらず、せん断強さ1.5N/mm<sup>2</sup>以上が適合基準とし て定められている。図 20 にせん断弾性係数とせん断強さの関係を示す。幅はぎあり及び幅 はぎなし試験体ともに、全て基準値を上回った。なお、幅はぎあり試験体のせん断強さが 幅はぎなし試験体より大きい値を示したが、有意な差は認められなかった。

以上のことから、本県産スギ CLT の面外せん断性能は、幅はぎの有無にかかわらず JAS 基準値を十分上回ることが明らかになった



図18 幅はぎあり試験体の破壊例



図19 幅はぎなし試験体の破壊例

## 表7 幅はぎあり試験体の面外せん断試験結果

## 面外せん断試験体(強軸)

民新	赤山	No	幅	厚さ	材長	密度 ρ	縦振動ヤング係数E <sub>fr</sub>	純曲げヤング係数E <sub>ofb</sub>	せん断弾性係数 <i>G</i> 10	せん断弾性係数G	せん断強さf。	破壊形態
唐奴	甲田	NO.	m m	m m	m m	$kg/m^{3}$	$k$ N /m m $^2$	$kN$ /m m $^2$	$kN/mm^2$	${\bf k}{\bf N}/\!{\bf m}{\bf m}^{2}$	N /m m $^{2}$	
		1	300	175.76	1225	423	3.8	6.3	0.30	0.38	2.5	せん断
		2	300	175.59	1225	421	4.1	5.0	0.32	0.37	2.5	せん断
		3	300	175.72	1225	411	3.9	4.9	0.31	0.37	2.7	せん断
		4	300	175.76	1225	418	3.8	4.3	0.32	0.34	2.6	曲げ+せん断
7	7全 市山	5	300	175.66	1225	418	4.0	5.7	0.31	0.37	2.4	せん断
	795 平田	6	300	175.69	1225	429	4.2	5.1	0.33	0.44	2.8	せん断
					平均值	420	4.0	5.2	0.32	0.38	2.6	
					標準偏差	5.9	0.2	0.7	0.01	0.03	0.1	
					<i>K</i> (n=6)	2.336	2.336	2.336	2.336	2.336	2.336	
					5% 下限值	406	3.6	3.6	0.29	0.30	2.2	
								×TGH 法	※TGH 法	※宝騇		

## 表8 幅はぎなし試験体の面外せん断試験結果

面外せん断試験体(強軸)

民業	赤山	No	幅	厚さ	材長	密度 ρ	縦振動ヤング係数E <sub>fr</sub>	純曲げヤング係数E <sub>ofb</sub>	せん断弾性係数 <i>G</i> 1b	せん断弾性係数G	せん断強さf。	破壊形態
盾奴	甲田	NO.	m m	m m	m m	kg∕m³	$k$ N /m m $^{2}$	$k$ N /m m $^{2}$	$kN/mm^2$	$\mathbf{k}\mathbf{N}/\!\mathbf{m}\mathbf{m}^{2}$	N /m m $^{2}$	
		1	301	176.17	1226	432	4.8	6.5	0.32	0.44	2.6	せん断+曲げ
		2	300	175.96	1225	427	4.8	5.6	0.34	0.41	2.2	せん断+曲げ
		3	301	176.01	1225	438	4.7	5.9	0.33	0.48	2.4	せん断+曲げ
		4	301	175.8	1225	423	4.6	5.7	0.33	0.40	2.6	せん断+曲げ
7	冷静	5	301	175.56	1226	435	4.8	6.4	0.34	0.51	2.4	せん断+曲げ
'	735 半田	6	301	175.76	1226	425	4.6	5.6	0.33	0.45	2.2	せん断+曲げ
					平均值	430	4.7	5.9	0.33	0.45	2.4	
					標準偏差	5.9	0.1	0.4	0.01	0.04	0.2	
					<i>K</i> (n=6)	2.336	2.336	2.336	2.336	2.336	2.336	
					5% 下限値	416	4.5	5.0	0.31	0.35	2.0	
	•		•					※TGH法	※TGH法	※実験		



図 20 せん断弾性係数とせん断強さの関係

## 2.5 面内せん断試験

7層7プライのCLTパネルから、幅200mm、厚さ175mm、長さ1400mmの面内せん断試 験体を木取りし、面内方向加力の曲げ試験に供した。このとき、最外層ラミナの繊維方向 が長さ方向と同じ試験体を強軸、直交する試験体を弱軸とし、幅はぎあり試験体6体、幅 はぎなし試験体8体を供試体とした。

試験は実大強度試験機を用いて、スパン 1000mm の中央集中荷重方式で実施した。この ときの加力速度は毎分 3mm とした。変位については、試験体中央部の全たわみを SDP-200D(東京測器研究所、容量 200mm)を用いて、スパン内に設置したヨーク(スパン 1000mm)の相対たわみを CDP-50M(東京測器研究所、容量 50mm)を用いて計測し、せん断弾 性係数(G)を求めた。図 21 に面内せん断試験の設置図を示し、図 22 に試験風景、図 23 に幅 はぎあり試験体の破壊例、図 24 に幅はぎなし試験体の破壊例を示す。また、試験結果を表 9 及び表 10 に示す。



図 21 面内せん断試験 設置図(強軸)



(a) 強軸



(b) 弱軸

図 22 試験風景

破壊形態は、幅はぎの有無にかかわらず、全て曲げ破壊を示した(図 23、図 24)。強軸試 験体はフィンガージョイントの影響が強く見られた。また、弱軸試験体は、幅はぎ位置が 直線的に並んだ位置で破壊に至る試験体が多く見られ、特に幅はぎなし試験体で顕著であ った。このような場合、フィンガージョイントに関係なく破壊が生じた。

図 25 にせん断弾性係数とせん断強さの関係を示す。図中には参考までに、面外せん断の JAS 基準値を図示しているが、全試験体が基準値を上回った。また、面内せん断強さについ ては幅はぎの有無による違いは認められなかった。



(a) 強軸

(b) 弱軸

図 23 幅はぎあり試験体の破壊例



(a) 強軸

(b) 弱軸

図 24 幅はぎなし試験体の破壊例

## 表9 幅はぎあり試験体の面内せん断試験結果

## 面内せん断試験体(強軸)

屈粉	市	No	幅	厚さ	材長	密度 ρ	縦振動ヤング係数E <sub>fr</sub>	純曲げヤング係数E <sub>ofb</sub>	せん断弾性係数 <i>G</i> <sub>10</sub>	せん断弾性係数G	せん断強さf。	破壊形態
后奴	半四	NO.	m m	m m	m m	$kg/m^{3}$	$k$ N /m m $^{2}$	$kN$ /m m $^2$	$kN/mm^2$	$k$ N /m m $^{2}$	N /m m $^2$	
		1	176.45	199	1400	423	4.0	3.8	0.95	0.95	2.6	曲げ
		2	176.23	200	1400	428	3.9	3.9	0.88	0.93	2.7	曲げ
		3	175.75	199	1400	446	4.1	4.4	0.83	1.29	2.3	曲げ
		4	175.71	199	1401	418	3.9	4.1	0.79	1.08	2.1	曲げ
7	金軸	5	175.98	200	1401	441	4.0	4.0	0.89	1.16	2.6	曲げ
'	750 <b>F</b> M	6	175.96	200	1400	434	3.9	3.9	0.86	1.00	2.5	曲げ
					平均值	432	4.0	4.0	0.87	1.07	2.5	
					標準偏差	10.7	0.1	0.2	0.05	0.14	0.2	
					<i>K</i> (n=6)	2.336	2.336	2.336	2.336	2.336	2.336	
					5% 下限値	407	3.7	3.5	0.74	0.74	2.0	
-								※TGH法	※TGH法	※実験		

#### 面内せん断試験体(弱軸)

屋粉	市	No	幅	厚さ	材長	密度 ρ	縦振動ヤング係数E <sub>fr</sub>	純曲げヤング係数E <sub>ofb</sub>	せん断弾性係数 <i>G</i> fb	せん断強さチ。	破壊形態
眉致	甲田	NO.	m m	m m	m m	$kg/m^{3}$	$k$ N /m m $^{2}$	$k$ N /m m $^{2}$	$kN$ /m m $^2$	N /m m $^2$	
		1	176.03	200	1401	415	2.6	2.5	0.90	1.9	曲げ
		2	175.86	200	1400	424	2.4	2.5	0.73	2.0	曲げ
		3	175.8	200	1401	425	2.6	2.8	0.84	1.8	曲げ
		4	176.03	200	1401	431	2.6	2.5	0.89	1.9	曲げ
7	<b>己己 本山</b>	5	175.96	200	1401	427	2.7	2.8	0.79	1.8	曲げ
'	99 <del>*</del> 0	6	175.66	200	1401	419	2.9	2.8	0.82	2.2	曲げ
					平均值	423	2.6	2.7	0.83	1.9	
					標準偏差	5.8	0.1	0.2	0.06	0.2	
					<i>K</i> (n=6)	2.336	2.336	2.336	2.336	2.336	
					5% 下限値	410	2.3	2.3	0.68	1.6	
	•	•			•	-	•	※TGH法	※TGH法	-	•

## 表 10 幅はぎなし試験体の面内せん断試験結果

## 面内せん断試験体(強軸)

同對	**	No	幅	厚さ	材長	密度 p	縦振動ヤング係数Efr	純曲げヤング係数E <sub>ofb</sub>	せん断弾性係数G <sub>1b</sub>	せん断弾性係数G	せん断強さf。	破壊形態
唐奴	甲田	NO.	m m	m m	m m	$kg/m^{3}$	$k$ N /m m $^{2}$	$k$ N /m m $^{2}$	$k$ N /m m $^{2}$	$\mathbf{k}\mathbf{N}/\!\mathbf{m}\mathbf{m}^{2}$	N /m m $^2$	
		1	177.06	200.02	1400	426	4.4	4.6	0.78	0.84	2.1	曲げ
		2	175.87	200.87	1400	427	4.1	4.1	0.84	0.71	1.9	曲げ
		3	175.67	200.81	1400	433	4.7	4.7	0.86	1.25	2.9	曲げ
		4	175.8	200.49	1400	419	4.5	4.5	0.86	1.23	1.9	曲げ
		5	175.88	200.86	1400	427	4.5	4.5	0.85	1.08	2.3	曲げ
7	法神	6	176.03	200.64	1400	416	4.4	4.5	0.84	0.97	2.8	曲げ
'	750 <b>F</b> M	7	175.64	200.02	1400	425	4.4	4.5	0.80	1.03	2.0	曲げ
		8	175.94	200.97	1400	430	4.4	4.6	0.84	1.23	2.9	曲げ
					平均值	425	4.4	4.5	0.83	1.04	2.4	
					標準偏差	5.4	0.2	0.2	0.03	0.20	0.5	
					<i>K</i> (n=8)	2.189	2.189	2.189	2.189	2.189	2.189	
					5% 下限値	413	4.0	4.1	0.77	0.61	1.4	
							•	※TGH法	※TGH法	※実験		

#### 面内せん断試験体(弱軸)

屋粉	市	No	幅	厚さ	材長	密度 ρ	縦振動ヤング係数E <sub>fr</sub>	純曲げヤング係数E <sub>ofb</sub>	せん断弾性係数 <i>G</i> <sub>fb</sub>	せん断強さチ。	破壊形態
眉奴	半田	NO.	m m	m m	m m	$kg/m^{3}$	$k$ N /m m $^{2}$	$kN/mm^2$	$kN$ /m m $^2$	せん断強さた。 N /m m <sup>2</sup> 破           1.9         1           2.2         1           2.3         1           2.1         1           1.8         1           2.2         1           2.3         1           2.1         1           1.8         1           2.2         1           2.1         2           2.1         2           2.1         2           2.1         0           0.2         0	
		1	176.78	199.82	1400	419	3.0	2.8	0.77	1.9	曲げ
		2	176.78	200.34	1400	427	3.2	3.2	0.77	2.2	曲げ
		3	176.73	199.93	1400	418	3.1	3.4	0.71	2.3	曲げ
		4	176.7	199.92	1400	408	3.4	3.4	0.71	2.1	曲げ
7		5	176.4	199.92	1400	418	2.9	2.8	0.76	1.8	曲げ
	弱軸	6	176.62	199.95	1400	414	3.2	3.4	0.75	1.8	曲げ
'	99+m	7	176.71	199.87	1400	417	3.2	3.1	0.83	2.2	曲げ
		8	176.8	200.04	1400	411	3.1	3.0	0.76	2.1	曲げ
					平均值	416	3.1	3.1	0.76	2.0	
					標準偏差	5.6	0.1	0.2	0.04	0.2	
					<i>K</i> (n=8)	2.189	2.189	2.189	2.189	2.189	
					5% 下限值	404	2.8	2.6	0.67	1.6	
								※TGH法	※TGH法		



## 2. 6 短柱縦圧縮試験

面内せん断試験体の予備試験体から、短柱縦圧縮試験体を採取した。このとき、最外層 ラミナの繊維方向が長さ方向と同じ試験体を強軸、直交する試験体を弱軸とし、それぞれ4 体ずつを試験体とした。

試験は実大圧縮試験機(前川試験機製作所、A-200-B1、容量 2000kN)を用いて、手動加力 で実施した。試験体長さは、短辺の5倍の875mmとした。変位については、試験体中央部 の4面にCDP-50(東京測器研究所、容量 50mm)を取り付け、標点間距離220mmで計測した。 最大荷重から縦圧縮強さ(oc)を、4面の変位の平均値を用いて縦圧縮ヤング係数(Ec)を求めた。 図 26に短柱縦圧縮試験の設置図を示し、図27に試験風景、図28に幅はぎあり試験体の破 壊例、図29に幅はぎなし試験体の破壊例を示す。また、試験結果を表11及び表12に示す。



図 26 短柱縦圧縮試験 設置図(強軸)



(a) 強軸

(b) 弱軸

図 27 試験風景

破壊形態は、全試験体で圧縮破壊を示した。強軸試験体と弱軸試験体の典型的な破壊例 を図 30 に示す(幅はぎあり試験体)。強軸試験体は、強軸ラミナのフィンガージョイント及 びその周辺にコンプレッションフェラーが生じる試験体が多く観察された。一方、弱軸試 験体は、弱軸ラミナには破壊が認められず、内層の強軸ラミナにコンプレッションフェラ ーが生じる試験体が多く見られた。また、幅はぎなし試験体の弱軸では、これに加えて接 着層に沿った破壊も多く観察された。

今回の条件は短柱圧縮となるが、加力に伴う変形(加力直交方向の変形)が非常に大きく、 その傾向は強軸試験体より弱軸試験体、幅はぎあり試験体より幅はぎなし試験体で顕著で あった(図 28、図 29)。

図 31 に縦圧縮ヤング係数と縦圧縮強さの関係を示す。CLT の縦圧縮強さの基準値は存在 しないため、既存材料の JAS 基準値との比較を行うと、無等級製材の縦圧縮強さ 17.7N/mm<sup>2</sup> に対しては、強軸試験体の全てがこれを上回った。また、E55-F200 集成材の縦圧縮強さ 13.3N/mm<sup>2</sup>に対しては、弱軸試験体を含む全試験体で上回った。



(a) 強軸



(b) 弱軸



(a) 強軸

(D) 33 fl



(b) 弱軸

図 29 幅はぎなし試験体の破壊例

図 28 幅はぎあり試験体の破壊例



(a) 強軸(b) 弱軸図 30 強軸試験体と弱軸試験体の典型的な破壊例(幅はぎあり試験体)

## 表 11 幅はぎあり試験体の短柱縦圧縮試験結果

## 縦圧縮試験体(強軸)

國物	市	No	幅	厚さ	材長	密度ρ	縦振動ヤング係数E <sub>fr</sub>	縦圧縮ヤング係数E。	縦圧縮強さσ。	破壊形態
盾奴	半四	NU.	m m	m m	m m	kg/m $^3$	$k$ N /m m $^2$	$k$ N /m m $^{2}$	N /m m $^{2}$	
		1	200	176.17	875	423	4.1	3.7	20.2	圧縮
		2	200	175.89	875	405	3.5	3.3	17.9	圧縮
		3	200	176.02	875	425	4.2	4.0	19.9	圧縮
7	強軸	4	200	175.99	875	415	3.7	3.4	17.7	圧縮
1					平均值	417	3.8	3.6	18.9	
					標準偏差	9.0	0.3	0.3	1.3	
					<i>K</i> (n=4)	2.681	2.681	2.681	2.681	
					5% 下限値	393	3.0	2.8	15.4	

## 縦圧縮試験体(弱軸)

屈粉	市	No	幅	厚さ	材長	密度 ρ	縦振動ヤング係数E <sub>fr</sub>	縦圧縮ヤング係数E。	縦圧縮強さσ。	破壊形態
眉奴	半四	NU.	m m	m m	m m	kg/m $^3$	$k$ N /m m $^2$	$k$ N /m m $^2$	N/m m $^{2}$	
		1	201	175.29	875	416	2.6	2.2	14.2	圧縮
		2	200	175.27	875	422	2.5	1.9	14.3	圧縮
	弱軸	3	200	175.23	875	420	2.3	2.1	13.4	圧縮
7		4	199	175.3	875	421	2.3	1.8	13.8	圧縮
,					平均值	420	2.4	2.0	13.9	
					標準偏差	2.6	0.1	0.2	0.4	
					<i>K</i> (n=4)	2.681	2.681	2.681	2.681	
					5% 下限値	413	2.0	1.5	12.8	

## 表12 幅はぎなし試験体の短柱縦圧縮試験結果

#### **縦圧縮試験体**(強軸)

屈粉	南市	No	幅	厚さ	材長	密度 ρ	縦圧縮ヤング係数E。	縦圧縮強さσ。	最大荷重	破壊形態
眉奴	半四	NU.	m m	m m	m m	kg/m³	$k$ N /m m $^2$	N/m m $^{2}$	kN	
		1					4.4	22.7 795.0		圧縮
		2	175	200	975	425	4.3	21.7	760.0	圧縮
	強軸	3	3	200	075	425	4.2	圧縮		
7		4					3.7	21.5	752.0	圧縮
,						平均值	4.2	21.9	766.5	
						標準偏差	0.3	0.6	19.3	
						<i>K</i> (n=4)	2.681	2.681	2.681	
						5% 下限値	3.4	20.4	714.7	

縦圧縮試験体(弱軸)

屈粉	市	No	幅	厚さ	材長	密度 ρ	縦圧縮ヤング係数E。	縦圧縮強さσ。	最大荷重	破壊形態
盾奴	半四	NU.	m m	m m	m m	kg/m $^3$	$kN/mm^2$	N /m m $^{2}$	kN	
		1					3.6	18.2	636.0	圧縮
		2	175	200	875	425	3.6	17.9	625.0	圧縮
		3	170 200	200	075	425	3.1 17.7 621.0			
7	品种	4					2.8	17.4	608.0	圧縮
1	49 +m					平均值	3.3	17.8	622.5	
						標準偏差	0.4	0.3	11.6	
						<i>K</i> (n=4)	2.681	2.681	2.681	
						5% 下限値	2.2	16.9	591.5	



(注)参考の JAS 基準値は、E55-F200 集成材

## 2.7 文献

1) 北海道立総合研究機構森林研究本部林産試験場:平成26年度受託研究報告書、道産CLT の材料性能と接合性能の検討、1-91(2015)

2) 公益財団法人日本合板検査会:平成 25 年度地域木材産業等連携支援事業 直交集成板の 適正製造基準、1-45(2014)

#### 3 長期性能

#### 3.1 面外曲げクリープ試験

## 3. 1. 1 はじめに

宮崎県産スギを用いて製造された CLT のクリープ特性を明らかにするために、面外曲げ クリープ試験(以下、クリープ試験)を実施した。この場合、試験は建築基準法 37 条に関す る技術的基準(平成 12 年建設省告示 1446 号)が定めるクリープ評価法<sup>1)</sup>(以下、告示法)にし たがって実施した。また、試験における負荷荷重を決定するために、同一パネルから切り 出したマッチング試験体を用いて、事前に短期強度試験(曲げ試験等)を実施した。

#### 3.1.2 試験体

試験用 CLT のラミナには全て宮崎県産スギを供試し、クリープ試験、短期強度試験とも 同一仕様とした。具体的には、ラミナ構成を異等級構成 Mx60、B 種構成(曲げヤング係数の 上限値を定めたラミナのみを使用した CLT)とし、表層ラミナの繊維方向が長さ方向となる 強軸仕様とした。接着剤には、ラミナの積層方向、幅方向、縦継ぎともに水性高分子イソ シアネート系接着剤を用いた。ただし、幅方向については、冒頭でも述べたように、実用 上の比較をするために接着しない場合についても検討した(以下、接着する場合を「幅はぎあ り」、接着しない場合を「幅はぎなし」と記す)。試験体の層構成は7層7プライとし、幅はぎ ありでは2枚の CLT パネル(短辺 2000mm、長辺 4000mm)から 10 体、幅はぎなしでは1枚 の CLT パネル(短辺 2232mm、長辺 4030 mm)から 10 体を採取した(何れもクリープ試験用、 短期強度試験用各5体)。

#### 3. 1. 3 短期強度試験

短期強度試験では、まず動的試験による非破壊指標として、縦振動ヤング係数(以下、 $E_{fr}$ )、 TGH 法による曲げヤング係数(以下、 $E_{ofb}$ )、同法によるせん断弾性係数(以下、 $G_{fb}$ )を測定し、 続いて、曲げ試験を実施して最大荷重(以下、 $P_{max}$ )、曲げ強さ(以下、 $f_b$ )、並びに見かけの曲 げヤング係数(以下、 $E_m$ )を得た。

これらのうち曲げ試験( $P_{max}$ 、 $f_b$ 、 $E_m$ を求めるための試験)は、実大強度試験機(東京衡機、 WU-1000・TK21、容量 1000kN)を用いて実施した。この場合、試験条件は、試験体幅を除き、 「直交集成板の日本農林規格」に従った(以下、JAS 規格)。具体的には、試験体長さを 4025mm(試験体厚さ 175mm の 23 倍)、スパンを 3675mm(試験体厚さ 175mm の 21 倍)とし、 3 等分点 4 点荷重で加力した(図 1 参照)。なお、試験体幅は、JAS 規格に従えば、300mm で あるが、クリープ試験条件と併せて、ここでは 120mm 幅とした(クリープ試験装置の仕様に よる)。また、変位(たわみ)は、試験体中央下部に変位計(東京測器研究所、DP-1000C、容量 1000mm)を設置し、1 秒間に 1 回の割合で測定した。このとき、加力開始から最大荷重に至 るまでの時間は 2~3 分であった。

以上の試験で得られた  $P_{\text{max}}$ から以下に示す(1)式を用いて  $f_b$  を算出し、比例域における荷 重とスパン中央のたわみの関係 $\angle P / \angle \delta$ から(2)式を用いて  $E_{\text{m}}$  を算出した。

$$f_{b} = \frac{3p_{max} \times s}{bh^{2}} \cdots \cdots \cdots (1) \qquad E_{m} = \frac{\Delta p \times s(3L^{2} - 4s^{2})}{\Delta \delta \times 4bh^{3}} \cdots \cdots (2)$$
ここで、 $P_{max}$ : 最大荷重
$$L$$
: スパン
$$s$$
: 支点から荷重点までの距離
$$b$$
: 試験体の幅
$$h$$
: 試験体の厚さ

.. (212 4 2)

∠p : 最大荷重の10~40%までの荷重増分

 $\Delta \delta$ :  $\Delta p$  に対応するスパン中央たわみ $\delta$ の増分



図1 面外曲げ試験条件

表1に幅はぎあり CLT、表2に幅はぎなし CLT の密度、含水率(全乾法による)、並びに 短期強度試験結果( $E_{fr}$ 、 $E_{ofb}$ 、 $G_{fb}$ 、 $f_b$ 、 $P_{max}$ 、 $E_m$ )を示す。また、図2に $E_m$ と $E_{fr}$ 及び $E_{ofb}$ の 関係を示し、図3に Efrと Eorbの関係を示す。なお、ここで示す短期強度試験体は、後述す るクリープ試験体のマッチング試験体であり、すなわち、同一パネルの中で隣り合う部分 から切り出したものである(例えば、表1のA1-2は後述する表3のA1-1に対応する)。

表 1、2 及び図 2 を見ると、明確な  $E_{\rm m}>E_{\rm fr}$ の傾向と  $E_{\rm otb}>E_{\rm m}$ の傾向が看取される。これ らのうち、前者(E<sub>m</sub>>E<sub>ft</sub>)については CLT の層構成上の特性、すなわち外層ラミナ(2枚)と内 層ラミナ(5枚)のヤング係数の大きな差異(外層は M60B、内層は M30B)から容易に推察可能 な結果と言える。一方、後者( $E_{ofb} > E_m$ )については、 $E_{ofb}$ 、 $E_m$ ともに曲げヤング係数であり、 その違いは動的挙動と静的挙動のみであることから、一般に言われる動的弾性率>静的弾 性率(スギでは 5%程度の差異<sup>2)</sup>)の考え方がそのまま適用されると捉えて良いだろう。

			幅	厚さ	材長	密度	含水率	<b>E</b> fr	面外方向					
層数	軸	No.							<b>E</b> of b	G <sub>fb</sub>	f <sub>b</sub>	<b>P</b> <sub>max</sub>	<b>E</b> m	
			mm	mm	mm	kg/m <sup>3</sup>	%	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kN	kN/mm <sup>2</sup>	
		A1-2	119.63	176.85	4006	421	12.8	3.80	4.95	0.25	23.8	24.2	4.83	
7 弱		A2-2	119.23	176.65	4004	410	11.8	4.21	5.52	0.24	22.1	22.4	4.91	
		A3-2	119.97	176.85	4006	414	11.3	4.15	5.66	0.24	19.5	19.9	4.86	
	고순 하다	A4-2	120.33	175.74	4005	422	13.3	4.01	5.52	0.29	20.6	20.8	4.79	
	593.早田	A5-2	120.26	175.33	4005	425	13.1	4.04	5.61	0.30	21.6	21.7	5.00	
		平均值	119.88	176.28	4005	418	12.5	4.04	5.45	0.26	21.5	21.8	4.88	
		標準偏差	0.46	0.70	0.84	6.10	0.86	0.16	0.29	0.03	1.62	1.64	0.08	
		変動係数	0.4%	0.40%	0.02%	1.5%	6.9%	3.9%	5.3%	11.2%	7.5%	7.5%	1.7%	

表1 幅はぎあり CLT の短期強度試験結果(クリープ試験のマッチング試験体)

表 2 幅はぎなし CLT の短期強度試験結果 (クリープ試験のマッチング試験体)

			幅	厚さ	材長	密度	含水率	E fr			面外方向		
層数	軸	No.							<b>E</b> of b	G <sub>fb</sub>	f <sub>b</sub>	<b>P</b> <sub>max</sub>	Em
			mm	mm	mm	kg/m <sup>3</sup>	%	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kN	kN/mm <sup>2</sup>
		N1-2	120.00	175.95	4001	432	10.4	4.54	5.65	0.32	17.6	17.8	5.34
7	強軸	N2-2	119.73	176.05	4001	433	10.9	4.55	5.67	0.32	20.3	20.5	5.27
		N3-2	119.66	175.98	4001	433	10.4	4.11	5.75	0.31	15.3	15.4	4.90
		N4-2	119.85	175.99	4001	428	10.7	4.38	5.16	0.32	20.0	20.2	5.05
		N5-2	119.94	175.95	4000	431	10.5	4.52	5.49	0.32	21.5	21.7	5.34
		平均值	119.84	175.98	4001	432	10.6	4.42	5.54	0.32	18.9	19.1	5.18
		標準偏差	0.14	0.04	0.45	2.29	0.22	0.19	0.24	0.01	2.48	2.52	0.20
		変動係数	0.1%	0.02%	0.01%	0.5%	2.1%	4.2%	4.2%	1.8%	13.1%	13.2%	3.8%



図 2 見かけの曲げヤング係数 (*E*<sub>n</sub>) と縦振動ヤング係数 (*E*<sub>fr</sub>) 及び TGH 法による曲げ ヤング係数 (*E*<sub>ofb</sub>)の関係

表 1、2 及び図 3 を見ると、明確な  $E_{ofb} > E_{fr}$ の 傾向が看取される。この関係においても主とし て前述した  $E_m > E_{fr}$ と同様の説明、すなわち CLT の層構成上の特性による影響が主体と考え られる(前者がたわみ振動、後者が縦振動)。

ここで、幅はぎありとなしでは、全体に「幅 はぎなし>幅はぎあり」の傾向を示している。 ただし、この結果はラミナの選別結果に依存



する可能性もある。また、試験体数も少なく有意差が得られるほどの差異ではない。

図4に $f_b$ と $E_m$ 及び $E_{ob}$ の関係を示す。同図を見ると、何れも相関性は殆ど認められない。 また、図には示していないが、 $f_b$ と $E_{fr}$ の関係も同様であった。本研究では試験体数も少な く、結論的な表現は差し控えるべきであるが、現状ではこの種の非破壊指標と強度の関連 からクリープ試験における荷重レベルを決定することは困難な様である。一方、同図、及 び表 1、2 から、 $f_b$ についても幅はぎありと幅はぎなしの値を比較すると、前述した非破壊 指標とは逆に「幅はぎあり>幅はぎなし」の傾向を示している(平均値ではそれぞれ 21.5N/mm<sup>2</sup>、18.9 N/mm<sup>2</sup>)。ただし、同図にも示すように、何れも直交集成板の日本農林規格 (以下、JAS 規格)に示された曲げ強さの基準値 8.2N/mm<sup>2</sup> を遙かに上回っていることから、 この条件下(7層7プライ、強軸方向)では、幅はぎありと幅はぎなしのどちらでも曲げ強さ の面から実用上の支障を来すことはないと考えて良い。



図4 曲げ強さ(f<sub>b</sub>)と E<sub>m</sub>及び E<sub>ofb</sub>の関係



幅はぎありCLT 幅はぎなしCLT 図 5 破壊形態の一例 (クリープ短期試験体)
## 3. 1. 4 クリープ試験

クリープ試験条件を図 6、同試験の状況を図 7 に示す。試験は、幅はぎあり CLT と幅は ぎなし CLT の各 5 体の試験体に対し、短期強度試験と同一の条件、すなわちスパン 3675 mm、 荷重点間 1225 mmの 3 等分点 4 点荷重の条件で実施中である。この場合、変位は、図 6 に示 す試験体中央上部の変位計(東京測器研究所、SDP-100C、容量 100mm)で中央たわみを測定 するとともに、梁背方向の収縮や支点めり込みの影響を除去するため、2 カ所の支点変位も 測定した(東京測器研究所、CDP-50、容量 50mm)。なお、評価対象としての全たわみは、支 点収縮量の平均値を中央たわみから差し引いた値とした。



図6 面外曲げクリープ試験条件



図7 面外曲げクリープ試験の状況

表3に幅はぎありクリープ試験体、表4に幅はぎなしクリープ試験体の短期性能(*E*fr、*E*ofb、 *G*fb)を示す。各値をみると、平均的には前述したマッチング試験体と同様の値を示している が、個別にみると、必ずしも同様とは言えない(表 1、2 も併せて参照)。これは、木材が生 物資源であるが故に得られた結果と考えられるが、いずれにせよ、この結果は、この種の 試験において正確な荷重レベルを予測することが如何に難しいかを示している。この様に、 マッチング試験体とクリープ試験体が同じ様な力学的性能を有するものとは言えないが、 ここでは同一と仮定して検討を進める。

表3 幅はぎあり CLT の短期性能(クリープ試験体)

			幅	厚さ	材長	密度	E <sub>fr</sub>		面外方向	
層数	軸	No.						E ofb	G fb	$E_{\rm ofb}/G_{\rm fb}$
			mm	mm	mm	kg/m <sup>3</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	
		A1-1	119.96	176.78	4006	415	3.85	5.06	0.25	20.6
		A2-1	119.64	176.93	4006	416	3.65	4.88	0.25	19.7
		A3-1	120.38	177.06	4006	420	4.31	5.61	0.25	22.5
7	고수 파마	A4-1	120.55	175.61	4006	427	4.06	5.64	0.29	19.7
	刀虫甲田	A5-1	119.83	175.41	4004	423	4.02	5.03	0.31	16.3
		平均値	120.07	176.36	4006	420	3.98	5.24	0.27	19.77
		標準偏差	0.38	0.78	0.89	5.00	0.25	0.35	0.03	2.22
		変動係数	0.3%	0.44%	0.02%	1.2%	6.2%	6.7%	10.5%	11.2%

(注) $E_{fr}$ :縦振動ヤング係数、 $E_{ofb}$ :TGH 法による曲げヤング係数、 $G_{fb}$ :TGH 法 によるせん断弾性係数、 $f_b$ :曲げ強さ、 $E_m$ :曲げヤング係数

			幅	厚さ	材長	密度	E <sub>fr</sub>	面外方向		
層数	軸	No.						E <sub>ofb</sub>	G <sub>fb</sub>	$E_{\rm ofb}/G_{\rm fb}$
			mm	mm	mm	kg/m <sup>3</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	
		N1-1	120.44	176.02	4001	428	4.84	6.06	0.31	19.9
		N2-1	120.03	176.10	4001	424	4.78	6.20	0.30	20.7
		N3-1	119.94	175.85	4001	434	4.56	5.74	0.31	18.4
7	244 曲	N4-1	119.80	176.02	4000	428	4.38	5.60	0.33	17.1
'	刀虫半四	N5-1	119.77	176.01	4000	434	4.44	5.70	0.31	18.2
		平均値	120.00	176.00	4001	429	4.60	5.86	0.31	18.82
		標準偏差	0.27	0.09	0.55	4.50	0.20	0.26	0.01	1.43
		変動係数	0.2%	0.05%	0.01%	1.0%	4.4%	4.4%	3.4%	7.6%

表 4 幅はぎなし CLT の短期性能(クリープ試験体)

荷重レベルは、以下のように算出した。

ここで、K1: 含水率の強度調整係数

K2: 荷重継続時間の強度調整係数

一方、構造用集成材に関する既往の含水率の強度調整係数<sup>3)</sup>(湿潤環境で7/8、乾燥環境で1.0)を引用すれば、荷重レベルは以下のとおりとなり、使用環境を湿潤条件とした場合には0.32、乾燥環境とした場合には0.37となる。

荷重レベル=(2/3)×(7/8)×(1.1/2)=0.32.....(4)

荷重レベル=(2/3)×1.0×(1.1/2)=0.37.....(5) 今回、安全側評価となるように荷重レベルを設定すれば、負荷荷重は表1と表2に示され た各マッチング試験体の P<sub>max</sub>から、以下の様に算出される。

(a) 幅はぎあり CLT

A1-1:  $P_{\text{max}}$  24.2kN×0.37 = 8.954kN

A2-1:  $P_{\text{max}} 22.4 \text{kN} \times 0.37 = 8.288 \text{kN}$ 

A3-1:  $P_{\text{max}}$  19.9kN×0.37 = 7.363kN

A4-1:  $P_{\text{max}} 20.8 \text{kN} \times 0.37 = 7.696 \text{kN}$ 

A5-1:  $P_{\text{max}} 21.7 \text{kN} \times 0.37 = 8.029 \text{kN}$ 

(b) 幅はぎなし CLT

N1-1:  $P_{\text{max}}$  17.8kN×0.37 = 6.586kN

N2-1:  $P_{\text{max}} 20.5 \text{kN} \times 0.37 = 7.585 \text{kN}$ 

N3-1:  $P_{\text{max}}$  15.4kN×0.37 = 5.698kN

N4-1:  $P_{\text{max}} 20.2 \text{kN} \times 0.37 = 7.474 \text{kN}$ 

N5-1:  $P_{\text{max}} 21.7 \text{kN} \times 0.37 = 8.029 \text{kN}$ 

ここでは、これらの荷重を各試験体に負荷した。この場合、荷重の負荷方法は、図 6 に 示したように、鉄筋による実荷重によった。また、試験環境は温湿度無調整とした。試験 は、2015 年 12 月 3 日に開始し、現在も継続中である。

図 8 に全たわみ、図 9 に相対クリープ(初期たわみに対するその後のたわみの比)、図 10 に含水率(高周波含水率計による値)、及び図 11 に温度と相対湿度の変動を示す。なお、こ れらの図は、負荷 2 カ月経過時点(2015 年 12 月 3 日~2016 年 2 月 3 日)までの傾向を示して いる。

図 8、9 を見ると、概ね製材と同様に負荷初期の急増(1 次クリープ)とその後の安定化(2 次クリープ)が認められるが、幅はぎあり CLT と幅はぎなし CLT では、比較的明確な傾向の



図8 全たわみの変動



差異が認められる。具体的には、前者の 場合、個々の試験体による差異があまり 認められないのに対して、後者では著し い差異が認められる。この差異は、図 8 右図の初期変位を見れば、試験体のヤン グ係数(表 3、4 参照)に依存しているとも 考えられるが、さらに、同変位の影響を アジャストした相対クリープ(図 9 参照) でも著しいことを考慮すれば、試験体の ヤング係数よりも、製造上の差異、すな わち、「幅はぎありとなし」そのものが関与 している可能性が高い。ただし、現時点で





は未だ試験期間も短いので、今後も注意深く傾向を見た上で結論づけたい。

図 10 における含水率の変動を見ると、当然のことながら図 11 における相対湿度の変動に 依存している。また、図 8、9 におけるクリープの増加と回復は、多少の傾向の差異はある ものの、製材や集成材と同様に概ね図 11 における相対湿度の低下と上昇に対応している<sup>5)</sup>。 次に、以下の 2 つの方法により、荷重継続時間 50 年に対するクリープ調整係数(以下、

(a) Power 則

クリープ調整係数)の予測を行う。

 $log\delta_{c}(t) = alogt+b$ (6) ここで、 $\delta_{c}(t)$ : 負荷 t 日経過後のクリープたわみ a, b: 定数 (6)式で得られた定数  $a \ge b & e$ 変換し、次式を得る。  $\delta_{c}(t) = At^{N}$  (7) ここで、A: b = logA により得られる定数。 N: 定数、ただし、a = N(7)式をベースとした次式により、クリープ調整係数を得る。  $\delta_{50}/\delta_{0} = 1+ct_{50}^{N}$  (8) ここで、 $\delta_{50}/\delta_{0}$ : クリープ調整係数(Power 則)  $\delta_{50}$ : 50 年後の予測たわみ(Power 則)  $\delta_{0}$ : 初期たわみ c:  $A/\delta_{0}$  $t_{50}$ : 50 年(18250 日)

(b) 告示法(平成 12 年建設省告示 1446 号) まず、経過時間 t 分ごとに測定されたたわみ  $\delta_t$ に対する初期たわみ  $\delta_0$ の比(クリー プたわみ比 K)を計算する 次に クリープたわみ比 Kの常用対数  $\log_2 K$  と経過時間

プたわみ比 *K<sub>t</sub>*)を計算する。次に、クリープたわみ比 *K<sub>t</sub>*の常用対数 log<sub>10</sub>*K<sub>t</sub>* と経過時間の常用対数 log<sub>10</sub>*t* について線形回帰分析を行い、回帰直線の切片および傾きを算出する。

 $K_t = \delta_0 / \delta_t$ 

 $\log_{10}K_t = e + f \cdot \log_{10}t$  (9) ここで、 $K_t$ : t分後のたわみに対する初期たわみの比(相対クリープの逆数)

 $\delta_t$ : t分後のたわみ(mm)

e:  $\log_{10}K_t$ と  $\log_{10}t$ の回帰直線の切片

 $f : \log_{10}K_t \ge \log_{10}t$ の回帰直線の傾き

(9)式で得られた定数 e と f を次式に代入し、荷重継続時間 50 年に対するクリープた わみ比 K<sub>50v</sub>を算出する。

ここで、*t*<sub>50v</sub> : 50年分の時間 *t* で 26280000 分

K<sub>50v</sub>: 荷重継続時間 50 年に対するクリープたわみ比

次に、(10)式で得られた荷重継続時間 50 年に対するクリープたわみ比 K<sub>50y</sub>の逆数により、クリープ調整係数を得る。

$$\delta_{50y}/\delta_0 = 1/K_{50y}$$
 (11)  
ここで、 $\delta_{50y}/\delta_0$  : クリープ調整係数(告示法)  
 $\delta_{50y}$  : 50 年後の予測たわみ(告示法)

図 12 にクリープたわみの実測値と全期間(負荷 1 分以降)の同値から求めた Power 則及び 告示法による相対クリープの予測値(各時点におけるクリープ調整係数)との関係を示す(そ れぞれ、(8)式、(11)式参照)。同図を見ると、幅はぎありに対する告示法の当てはまりが比 較的良いものの、それ以外では、Power 則、告示法の何れも、曲線の後半部で実測値との乖 離が認められる。木質材料を対象としたこれまでの研究においても、全期間の実測値によ る解析では同様の結果が得られており<sup>6</sup>、24 時間以降の実測値を対象として解析すること により、安全側、且つ適合性の高い予測値が得られている。



そこで、この例を参考に、負荷 24 時間以降の実測値から Power 則及び告示法を用いて相 対クリープの予測値を算出し、実測値との関係を求めた結果を図 13 示す。同図をみると、 幅はぎの有無にかかわらず、明らかに図 12 に示した全期間の実測値からの予測よりも相対 クリープが精度良く予測できる結果となっている。

測定期間(5週間、2カ月)で比較すると、5週間の実測値による解析では(図12、13の左図)、 全体に予測値が実測値から安全側に乖離する傾向を示しており、特に Power 則ではこの傾 向が著しい。このクリープ試験期間を5週間以上とする規程は、平成12年建設省告示1446 号に示されているが、少なくとも今回の結果を考慮すれば、5週間の実測値からクリープ調 整係数を求めることは推定精度の面から推奨すべきではない。今後、データ蓄積を待った 上で適正な試験期間を検討すべきであろう。



解析法(Power 則、告示法)で比較すると、各図に示される様に後者の適合性が高い結果となっており、Power 則では、全体に曲線の後半部でやや安全側に離れる傾向が看取される。

以上の結果を踏まえて、表 5 に Power 則と告示法で計算した全試験体のクリープ調整係 数を示す。同表から、全体に、幅はぎなし>幅はぎあり、Power 則>告示法、5 週間>2 カ 月(算定対象期間)の傾向が認められる。特に、幅はぎなし CLT では、試験期間 5 週間の実測 値から Power 則を用いてクリープ調整係数を予測した場合、変形増大係数の 2(平成 12 年建 設省告示 1459 号)を大きく上回る試験体も見られる。この点で、幅はぎなし CLT に対する 幅はぎあり CLT の長期性能上の優位性が認められるが、この結論は、前述した結果からよ り信頼できる推定精度を確保した上で下すべきであろう。すなわち、クリープ調整係数の 推定精度を向上させるには、負荷 24 時間以降の実測値を用いて解析すること、解析法とし て告示法を用いること、さらには、前述したように試験期間を 5 週間よりも大幅に長くと ることが必要と考えられる。

幅はぎあ	A1	-1	A2	!-1	A3	-1	A4	-1	A5	-1
りCLT	5週間	2カ月	5週間	2カ月	5週間	2カ月	5週間	2カ月	5週間	2カ月
Power則	1.71	1.48	1.71	1.51	1.63	1.55	1.74	1.64	1.87	1.69
告示法	1.31	1.28	1.34	1.30	1.32	1.32	1.36	1.35	1.37	1.36
幅はぎな	N1	-1	N2	!-1	N3	1-1	N4	-1	N5	-1
幅はぎな しCLT	N1 5週間	-1 2カ月	N2 5週間	1 2カ月	N3 5週間	ー1 2カ月	N4 5週間	ー1 2カ月	N5 5週間	1 2カ月
幅はぎな しCLT Power則	N1 5週間 3.05	-1 2カ月 2.33	N2 5週間 2.52	1 2カ月 2.06	N3 5週間 1.66	-1 2カ月 1.34	N4 5週間 2.20	1 2カ月 1.74	N5 5週間 1.84	1 2カ月 1.63
幅はぎな LCLT Power則 告示法	N1 5週間 3.05 1.58	-1 2カ月 2.33 1.53	N2 5週間 2.52 1.57	-1 2カ月 2.06 1.52	N3 5週間 1.66 1.31	-1 2カ月 1.34 1.23	N4 5週間 2.20 1.46	1 2カ月 1.74 1.39	N5 5週間 1.84 1.41	-1 2カ月 1.63 1.37

表5 幅はぎあり CLT と幅はぎなし CLT のクリープ調整係数

(注1)何れも負荷初日(1~500分)の測定データを除外して求めた値

(注2)5週間、2カ月: 算定対象期間

(注3) 告示法 : 平成12年建設省告示1446号により定められたクリープ評価法

#### 3.2 面外曲げクリープ破壊試験(DOL 試験)

#### 3.2.1 はじめに

宮崎県産スギ CLT に対する荷重継続時間が強度に及ぼす影響を検討するために、面外曲 げクリープ破壊試験(以下、Duration of Load: DOL 試験)を実施した。この場合、試験は建築 基準法 37 条に関する技術的基準(平成 12 年建設省告示 1446 号)が定めるクリープ評価法<sup>1)</sup> に準じて実施した。また、試験における負荷荷重を決定するために、同一パネルから切り 出したマッチング試験体を用いて、事前に短期強度試験(曲げ試験等)を実施した。

#### 3.2.2 試験体

CLT のラミナには、クリープ試験と同様に全て宮崎県産スギを供試し、DOL 試験、短期 強度試験とも同一仕様とした。具体的には、ラミナ構成を異等級構成 Mx60、B 種構成とし、 表層ラミナの繊維方向が長さ方向となる強軸仕様とした。この場合、接着剤には、ラミナ の積層方向、幅方向、縦継ぎともに水性高分子イソシアネート系接着剤を用いた。試験体 の層構成は5層5プライ(幅100mm、厚さ150mm、長さ2400 mm)とし、幅はぎありでは3枚 の CLT パネル(短辺2000mm、長辺3000 mm)から42体、幅はぎなしでは2枚の CLT パネル(短 辺1860mm、長辺6030 mm)から42体を採取した(何れも長期試験用30体、短期試験用12体)。

## 3. 2. 3 短期強度試験

短期強度試験においても、クリープ試験と同様に、まず動的試験による非破壊指標として、 $E_{\rm fr}$ 、 $E_{\rm ofb}$ 、 $G_{\rm fb}$ を測定し、その後曲げ試験を実施して $P_{\rm max}$ 、 $f_b$ 、 $E_{\rm m}$ を求めた。なお、 $E_{\rm ofb}$ と $G_{\rm fb}$ については、面外方向と面内方向の比較も併せて行った。ここで、曲げ実験に使用した試験機は、クリープ試験の短期試験で用いた試験機と同様であるが(3.1.3 項参照)、試験条件は、DOL 試験機の仕様に合わせ、スパンを 2000mm、中央集中荷重とした(図 14 参照)。この場合、変位(たわみ)は、試験体中央下部に変位計(東京測器研究所、DP-1000C、容量1000mm)を設置し、1 秒間に 1 回の割合で測定した。このとき、加力開始から最大荷重に至るまでの時間は 1~5 分であった。

以上の試験で得られた  $P_{\text{max}}$ から以下に示す(12)式を用いて  $f_b$  を算出し、比例域における 荷重とスパン中央のたわみの関係 $extstyle P / extstyle \delta$ から(13)式を用いて  $E_{\text{m}}$  を算出した。

ここで、P<sub>max</sub> : 最大荷重 *L* : スパン *b* : 試験体の幅

- h : 試験体の厚さ
- ∠p : 最大荷重の10~40%までの荷重増分
- $\Delta \delta$ :  $\Delta p$  に対応するスパン中央たわみ $\delta$ の増分



図 14 面外曲げ試験条件

表 6 に幅はぎあり CLT、表 7 に幅はぎなし CLT の密度、含水率(全乾法による)、並びに 短期強度試験結果( $E_{\rm fr}$ 、 $E_{\rm ofb}$ 、 $G_{\rm fb}$ 、 $f_b$ 、 $P_{\rm max}$ 、 $E_{\rm m}$ )を示す。また、図 15 に面内方向と面外方向 の  $E_{\rm ofb}$ 及び各方向の  $G_{\rm fb}$ の関係を示す。なお、ここで評価する短期強度試験体は、後述する DOL 試験体のマッチング試験体であり、同一パネルから切り出したものであるが、クリー プ試験の場合とは異なり、DOL 試験体の隣り合う部分から切り出したものではない(これに 伴う荷重レベルの算定方法については後述する)。

表 6、7 の各ヤング係数を比較すると、クリープ試験体(7 層 7 プライ)と同様に(表 1、2 参照)、*E*<sub>fr</sub>、*E*<sub>m</sub>、*E*<sub>otb</sub>の順に大きくなっている(曲げは面外方向、この傾向の要因についての考察は 3.1.3 節を参照)。

図 15 のうち、面内  $E_{ob}$  と面外  $E_{ob}$  及び面内  $G_{fb}$  と面外  $G_{fb}$  の関係を見ると、 $E_{ob}$  では面外 >面内を示し  $G_{fb}$  では逆に面内>面外の傾向を示している。これらのうち、前者については CLT の層構成上の特性、すなわち外層ラミナ(2 枚)と内層ラミナ(5 枚)のヤング係数の大きな 差異(外層は M60B、内層は M30B)の影響が面外方向で顕著となることを考慮すれば、容易 に推察可能である。一方、後者については、せん断強度は、TR 面が LR、または LT 面の 1/10 程度しかないことを考慮すれば、せん断応力を生じる面に TR 面しか存在しない部分が存在 する面外方向の  $G_{fb}$  が低いのは当然の結果と言えよう。

ここで、幅はぎあり CLT と幅はぎなし CLT を比較すると、各ヤング係数( $E_{\rm fr}$ 、 $E_{\rm ofb}$ 、 $E_{\rm m}$ ) では大きな差は認められないが、 $G_{\rm fb}$ では、面外方向において、幅はぎなし>幅はぎありの 傾向が認められる。この原因は明確ではないが、少なくとも弱軸面の一体化がせん断剛性 の向上効果に寄与することは無い様である。

			幅	厚さ	材長	密度	含水率	E <sub>fr</sub>	面外	方向	面内	方向	f <sub>b</sub>	Em
層数	軸	No.							Eofb	G <sub>fb</sub>	Eofb	Gfb		
			mm	mm	mm	kg/m <sup>3</sup>	%	kN/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>				
		A1	100.20	150.88	2398	417	10.9	4.69	6.26	0.27	4.73	0.68	30.0	5.07
		A2	99.15	150.90	2398	415	11.0	4.67	6.18	0.28	4.82	0.57	28.2	5.15
		A3	100.16	150.80	2397	411	10.7	4.80	6.05	0.28	4.77	0.81	31.1	5.24
		A4	100.19	150.95	2398	414	10.7	5.00	6.38	0.28	5.31	0.52	25.1	5.63
		A5	99.56	151.48	2400	414	11.4	4.54	6.06	0.29	4.40	0.64	23.6	5.04
		A6	100.20	151.75	2403	417	11.1	4.20	6.09	0.28	3.97	0.61	25.1	4.96
		A7	99.93	151.44	2403	415	11.2	4.63	6.36	0.29	4.66	0.55	18.7	5.39
5	強軸	A8	99.85	151.20	2401	428	11.8	4.77	6.43	0.30	4.82	0.59	28.4	5.26
		A9	100.15	150.86	2400	400	11.1	4.46	6.08	0.30	4.57	0.65	24.9	5.09
		A10	100.20	150.68	2400	411	10.8	4.71	6.27	0.32	4.67	0.64	21.5	5.41
		A11	100.24	151.12	2400	418	11.4	4.86	6.89	0.31	4.64	0.65	30.5	5.70
		A12	100.16	151.30	2402	419	11.5	4.86	6.82	0.29	4.82	0.61	28.0	5.27
		平均值	100.00	151.11	2400	415	11.1	4.68	6.32	0.29	4.68	0.63	26.3	5.27
		標準偏差	0.33	0.33	2.00	6.39	0.34	0.21	0.28	0.01	0.31	0.07	3.79	0.23
		変動係数	0.3%	0.22%	0.08%	1.5%	3.0%	4.5%	4.4%	4.5%	6.6%	11.8%	14.4%	4.4%
(注)	(注) 今水率・全許注にとろ値 F・縦振動ヤング係数 F・TCH注にとろ純曲げヤング係数 C・TCH注													
(1)	$(X_{L}) = 0$ , $T = \frac{1}{2}$ , $T = $													
	によ	るせん断ち	甲性係到	钗、t <sub>b</sub> :	囲け短	₹Z, E <sub>m</sub>	:囲けゴ	マンク係	釵					

表6 幅はぎあり CLT の短期性能(DOL 試験のマッチング試験体)

表7 幅はぎなし CLT の短期性能 (DOL 試験のマッチング試験体)

							A 1. +	_		_ <b>_</b>			-	_
			唱	厚さ	材長	密度	含水率	Efr	血外 (11)	万问	面内	万问	f <sub>b</sub>	Em
層数	軸	No.							Eofb	G <sub>fb</sub>	$E_{ofb}$	G <sub>fb</sub>		
			mm	mm	mm	kg/m <sup>3</sup>	%	kN/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>				
		N1	99.86	151.30	2400	422	11.1	4.76	6.23	0.36	4.20	0.67	34.5	5.30
		N2	100.35	151.71	2401	426	11.3	4.64	5.55	0.36	4.18	0.70	22.3	5.03
		N3	100.08	151.54	2400	438	11.0	4.95	6.00	0.37	4.58	0.69	33.0	5.61
		N4	100.03	151.54	2400	413	10.4	4.67	6.16	0.35	4.30	0.56	19.7	4.94
		N5	100.13	151.23	2400	423	10.6	4.94	6.32	0.36	4.72	0.66	22.4	5.11
		N6	99.97	151.10	2400	425	10.5	4.97	6.54	0.34	4.52	0.70	26.7	5.44
		N7	100.27	151.57	2400	427	11.1	4.82	6.46	0.34	4.47	0.63	33.1	5.38
5	強軸	N8	99.83	151.08	2400	430	10.8	4.69	6.66	0.34	4.52	0.62	30.8	5.78
		N9	99.88	151.20	2400	448	10.8	5.06	6.72	0.38	5.03	0.74	27.5	5.37
		N10	100.02	151.51	2400	428	11.4	5.01	6.47	0.35	4.49	0.66	28.1	5.54
		N11	100.59	151.20	2400	435	10.9	5.27	6.59	0.39	4.89	0.66	38.6	6.17
		N12	100.03	151.22	2400	430	11.3	4.52	5.65	0.37	4.30	0.56	23.2	5.14
		平均值	100.09	151.35	2400	429	10.9	4.86	6.28	0.36	4.52	0.65	28.3	5.40
		標準偏差	0.22	0.21	0.29	8.85	0.31	0.21	0.38	0.02	0.26	0.05	5.80	0.35
		変動係数	0.2%	0.14%	0.01%	2.1%	2.9%	4.4%	6.1%	4.2%	5.8%	8.0%	20.5%	6.4%



図 15 面内方向と面外方向の E<sub>ofb</sub>の関係、及び各方向 G<sub>fb</sub>の関係

図 16 に  $f_b$  と  $E_m$ 及び  $E_{obb}$ の関係を示す。同図を見ると、クリープ試験のマッチング試験体 (7 層 7 プライ)同様に、 $f_b$  と  $E_m$ 、 $E_{obb}$  との相関性は殆ど認められない。また、図には示して いないが、 $f_b$  と  $E_{fr}$ の関係も同様であった。このことから、この種の非破壊指標と強度の関 連から DOL 試験における荷重レベルを精度良く推定することは困難であり、現状では、通 常行われている様に、マッチング試験体の曲げ破壊荷重を元に荷重を決定する以外に方法 は無いのかもしれない。

一方、同図、及び表1、2、6、7から、fbについて幅はぎありと幅はぎなしの値を比較すると、 クリープ試験のマッチング試験体(7層7プライ)とは逆に僅かに「幅はぎなし>幅はぎあり」 の傾向を示している(平均値ではそれぞれ28.3N/mm<sup>2</sup>、26.3 N/mm<sup>2</sup>)。ただし、同図に示すよ うに、何れもJAS規格に示された曲げ強さの基準値9.8N/mm<sup>2</sup>遙かに上回っていることから、 この条件下(5層5プライ、強軸方向)においても、幅はぎありと幅はぎなしのどちらでも曲 げ強さの面から実用上の支障を来すことはないと考えて良い。



図 16 曲げ強さ (f<sub>b</sub>)と E<sub>m</sub> 及び E<sub>ofb</sub>の関係



幅はぎありCLT

幅はぎなしCLT

図 17 破壊携帯の一例 (DOL 短期試験体)

#### 3. 2. 4 DOL 試験

DOL 試験条件を図 18、同試験の状況を図 19 に示す。試験は、幅はぎあり CLT と幅はぎなし CLT に対し、短期強度試験と同一の条件、すなわちスパン 2000 mmの中央集中荷重下で実施している。この場合、試験体数は、幅はぎあり、幅はぎなし共に 30 体とし、同図に示す DOL 試験機 8 台を用いて負荷している。ここで、試験体に負荷する荷重は、マッチング試験体 12 体の *P*<sub>max</sub> 平均値(幅はぎありで 19.7kN、幅はぎなしで 21.2kN)に 3 つの荷重レベル(90%、85%、80%)を乗じた以下の値とした。

(a) 幅はぎあり CLT

荷重レベル 90%の負荷荷重=  $P_{\text{max}}$  19.7 kN×0.90=17.7kN 荷重レベル 85%の負荷荷重=  $P_{\text{max}}$  19.7 kN×0.85=16.8kN 荷重レベル 80%の負荷荷重=  $P_{\text{max}}$  19.7 kN×0.80=15.8kN (b) 幅はぎなし CLT 荷重レベル 90%の負荷荷重=  $P_{\text{max}}$  21.2 kN×0.90=19.1kN 荷重レベル 85%の負荷荷重=  $P_{\text{max}}$  21.2 kN×0.85=18.0kN 荷重レベル 80%の負荷荷重=  $P_{\text{max}}$  21.2 kN×0.85=17.0kN

DOL 試験機は、モーメントアームにより錘荷重の約 10 倍の荷重を加えることが出来るもので、図 18 に示すように薄板円盤(鋼製、5kg または 10kg)を錘として用いた。なお、試験体に加わる実荷重を決定するに当たっては、予めロードセルを用いて錘荷重と実荷重の関





図 19 DOL 試験の状況

係を求め、両者の回帰直線から錘の必要量を計算して負荷した(この場合の相関係数は、何 れも 1.00 であった)。

変位(たわみ)は、図 18 に示した様に、試験体上部中央付近に設置した変位計(東京測器研 究所、CDP-50、容量 50mm)を用いて測定した。この場合、測定時間間隔は1分間とし、た わみが急激に増加するまでの時間を破壊時間とした。試験体数は荷重レベル 90%、85%、 80%ともに 10 体とした(幅はぎあり、幅はぎなし各 30 体)。

DOL 試験は、2015 年 10 月 19 日に開始し、2016 年 2 月 22 日時点で、幅はぎありでは荷 重レベル 90%、85%を終了、幅はぎなしでは荷重レベル 90%を終了した。幅はぎありの荷 重レベル 80%及び幅はぎなしの 85%、80%条件については、今後も試験を継続した上で改 めて報告したい。また、ここでは、試験期間の都合上、負荷 40 日前後を過ぎても破壊に至 らなかった試験体は一端除荷し、打ち切りデータとして評価している。したがって、荷重 継続時間の強度調整係数<sup>70</sup>については、後日、全試験体を破壊に至らしめた上で検討する予 定である。

表8と表9に幅はぎありCLTと幅はぎなしCLTの荷重継続時間測定結果を示し、図20 に荷重レベルと荷重継続時間t(分)の常用対数(以下、破壊時間)との関係を示す。ここで、図 20中の青い線(現行値)は、現行の許容応力度体系における木材全般の設計値を示し、赤い線 (Madison curve)はWoodにより行われた米国農務省林産研究所(FPL)の無欠点小試験体によ る荷重レベルと破壊時間の関係を示す。また、表8、9、図20の「打ち切り」は、上述した様 に負荷40日前後を過ぎても破壊に至らなかった試験体であるが、ここでは破壊したと見な して一端除荷している。

図 20 を見ると、 何れの荷重レベルも破壊時間の平均値は現行値や Madison curve に対し て大きく右側に位置しており、すなわち想定破壊時間よりも長い時間で破壊している。ま た、個々の値においても、各荷重レベルともに 10 体中 1 体のみが想定破壊時間よりも短い 時間で破壊しており(負荷 1~15 分で破壊)、これまでのスギ<sup>8)</sup>やカラマツ<sup>9)</sup>を供試した実験 例と比べてやや安全側の結果となっている。この場合、幅はぎありと幅はぎなしの傾向に 明確な差は認められない。この結果から、少なくとも本条件の範囲内では(5 層 5 プライ、 強軸方向、幅はぎあり荷重レベル 90%、85%、幅はぎなし荷重レベル 90%)、幅はぎの有無 にかかわらず、宮崎県産スギ CLT の荷重継続時間調整係数を製材や集成材と同様と考える ことに大きな問題はないと推察される。

荷重レベル	No.	開始時	破壊時	破壊形態	荷重比	logt	t(min)	t(hour)	t(day)
	A13	2015/10/19 09:51	2015/10/27 16:40	曲げ	0.90	4.08	11929	199	8.3
	A14	2015/10/19 09:52	2015/11/30 09:16	打ち切り	0.90	4.78	60444	1007	42.0
	A15	2015/10/19 09:54	2015/11/30 09:19	打ち切り	0.90	4.78	60445	1007	42.0
	A16	2015/10/19 09:55	2015/10/22 14:09	曲げ	0.90	3.66	4574	76	3.2
	A17	2015/10/19 09:57	2015/11/10 03:12	曲げ	0.90	4.50	31275	521	21.7
90%	A18	2015/10/19 09:58	2015/10/29 16:27	曲げ	0.90	4.17	14789	246	10.3
5070	A19	2015/10/19 10:00	2015/10/21 08:43	曲げ	0.90	3.45	2803	47	1.9
	A20	2015/10/19 10:01	2015/11/30 09:25	打ち切り	0.90	4.78	60444	1007	42.0
	A21	2015/10/26 14:34	2015/11/30 09:20	打ち切り	0.90	4.70	50086	835	34.8
	A22	2015/10/26 14:29	2015/10/26 14:31	曲げ	0.90	0.30	2	0	0.0
	A23	2015/10/26 14:51	2015/11/30 09:23	打ち切り	0.90	4.70	50072	835	34.8
	A28	2015/11/10 09:41	2016/01/12 10:00	打ち切り	0.90	4.96	90739	1512	63.0
	A25	2015/11/02 10:58	2015/11/07 05:31	曲げ	0.85	3.84	6873	115	4.8
	A26	2015/11/02 10:47	2015/11/06 17:21	曲げ	0.85	3.79	6154	103	4.3
	A24	2015/11/09 13:18	2015/11/09 13:33	曲げ	0.85	1.18	15	0	0.0
	A27	2015/11/09 13:24	2016/01/01 12:40	曲げ	0.85	4.88	76276	1271	53.0
9504	A31	2015/11/09 13:52	2016/01/12 10:00	打ち切り	0.85	4.96	91928	1532	63.8
0370	A29	2015/11/30 10:57	2016/01/12 10:00	打ち切り	0.85	4.79	61863	1031	43.0
	A30	2015/11/30 11:00	2016/01/12 10:00	打ち切り	0.85	4.79	61860	1031	43.0
	A32	2015/11/30 11:01	2016/01/12 10:00	打ち切り	0.85	4.79	61859	1031	43.0
	A33	2015/11/30 11:03	2016/01/12 10:00	打ち切り	0.85	4.79	61857	1031	43.0
	A34	2015/11/30 11:04	2016/01/12 10:00	打ち切り	0.85	4.79	61856	1031	43.0

表8 荷重継続時間の測定結果(幅はぎあり CLT)

表9 荷重継続時間の測定結果(幅はぎなし CLT)

荷重レベル	No.	開始時	破壊時	破壊形態	荷重比	logt	t(min)	t(hour)	t(day)
	N13	2016/01/12 11:48	2016/02/22 09:00	打ち切り	0.90	4.77	58872	981	40.9
	N14	2016/01/12 11:50	2016/02/19 17:00	曲げ	0.90	4.74	55030	917	38.2
	N15	2016/01/12 11:51	2016/01/12 11:52	曲げ	0.90	0.00	1	0	0.0
	N16	2016/01/12 11:54	2016/01/20 15:00	曲げ	0.90	4.07	11706	195	8.1
000%	N17	2016/01/12 13:10	2016/02/22 09:00	打ち切り	0.90	4.77	58790	980	40.8
5070	N18	2016/01/12 13:11	2016/02/04 18:00	打ち切り	0.90	4.52	33409	557	23.2
	N19	2016/01/12 13:13	2016/02/22 09:00	打ち切り	0.90	4.77	58787	980	40.8
	N20	2016/01/12 13:15	2016/02/22 09:00	打ち切り	0.90	4.77	58785	980	40.8
	N21	2016/01/12 11:57	2016/01/12 19:39	曲げ	0.90	2.66	462	8	0.3
	N22	2016/01/13 09:20	2016/02/22 09:00	打ち切り	0.90	4.76	57580	960	40.0



図 20 荷重レベルと荷重継続時間 t(分)の常用対数との関係

図 21 と 22 に DOL 試験における破壊形態の例を示す。各図から、それぞれの破壊形態に は大きな差異は無く、何れも引張側最外層に存在するフィンガージョイント、又は節近傍 の引張り破壊から中央付近のせん断破壊に至っている様子が看取される。ただし、2 層目以 降の弱軸部の破壊形態をみると、幅はぎあり CLT では集成材等と同様の形態を示している が、幅はぎなし CLT では、一部に幅方向に隣り合うラミナ間の分離が認められる。



図 21 破壊形態の一例(幅はぎあり CLT)



図 22 破壊形態の一例(幅はぎなし CLT)

## 3.3 まとめ

宮崎県産スギを用いて製造された CLT のクリープ特性とクリープ破壊特性を明らかにす るために、それぞれ面外曲げクリープ試験(以下、クリープ試験)及び面外曲げクリープ破壊 試験(以下、DOL 試験)を実施した。試験体の仕様は Mx60、B 種構成、強軸仕様とし、クリ ープ試験には 7 層 7 プライ、DOL 試験には 5 層 5 プライを供試した。なお、試験に際して は、「幅はぎ」を施したラミナによる CLT(以下、幅はぎあり CLT)と「幅はぎ」を施さないラミ ナによる CLT(以下、幅はぎなし CLT)の性能比較を中心に検討を進めた。結果の概要は、以 下のとおりである。

(1) クリープ曲線の傾向に、幅はぎありと幅はぎなしの差異は認められず、何れも製材同様 に負荷初期の急増(1 次クリープ)とその後の安定化(2 次クリープ)が認められた。

(2)幅はぎあり CLT の相対クリープは、試験体間で大きな差異は認められなかったが、幅は ぎなし CLT のそれは、試験体間で非常に大きな差異(ばらつき)を示した。

(3)クリープ調整係数の推定精度を向上させるには、負荷24時間以降の実測値を用いて解析 すること、解析法として平成12年建設省告示1446号が定めるクリープ評価法(告示法)を採 用すること、さらには、試験期間を告示に示された最低試験期間(5週間)よりも大幅に長く とることが必要との結果を得た。

(4)負荷 24 時間~2 カ月の実測値からクリープ調整係数を求めた結果、幅はぎあり CLT では Power 則 1.58、告示法 1.32 となり、幅はぎなし CLT では Power 則 1.82、告示法 1.41 となっ た。すなわち、「幅はぎなし CLT>幅はぎあり CLT」の結果となったが、何れも平成 12 年建 設省告示 1459 号の変形増大係数 2 の範囲内には収まった。

(5) DOL 試験では、今回の実験条件では(幅はぎあり荷重レベル 90%、85%と幅はぎなし荷 重レベル 90%)何れも 10 体中 1 体のみが想定破壊時間(現行値、Madison curve による)よりも 短い時間で破壊し(負荷 1~15 分で破壊)、これまでのスギ<sup>8)</sup>やカラマツ<sup>9)</sup>を供試した実験例 と比べてやや安全側の結果となった。この場合、幅はぎありと幅はぎなしの傾向に明確な 差は認められなかった。

#### 3.4 文献

日本ツーバイフォー建築協会: "2007 年枠組壁工法建築物構造計算指針"、工業調査会、
2007、pp.195-224.

2) 高橋徹、中山義雄: "木材科学講座 3 物理"、海青社、1992、pp.88.

3)日本ツーバイフォー建築協会: "2007 年枠組壁工法建築物構造計算指針"、工業調査会、
2007、pp.247-248.

4)日本ツーバイフォー建築協会: "2007 年枠組壁工法建築物構造計算指針"、工業調査会、2007、pp.151-152.

5) 荒武志朗、有馬孝禮:木材学会誌 41(4)、359-366(1995).

6) 大橋義徳、松元和茂ほか:木材学会誌 54(4)、174-182(2008).

7)日本ツーバイフォー建築協会: "2007 年枠組壁工法建築物構造計算指針"、工業調査会、2007、pp.243-244.

8) 藤田和彦:第45回木材の化学加工研究会シンポジウム講演集、福山、2015、pp.25-26.

9) 大橋義徳、松元和茂ほか:第65回日本木材学会大会研究発表要旨集、東京、2015、pp.160.

#### 4 接合性能

ヨーロッパにおいて建築材料として一般化しつつある CLT を、地震国である我国で普及 させるためには、安全で最適な接合部の開発が不可欠である。ヨーロッパではロングビス や鋼板とビスを組み合わせた接合形式が多く採用されている。一方、日本において既に建 築されている CLT 建築物には、引きボルト接合、ラグスクリューボルト(以下、LSB)接合、 そして鋼板とビスによる鋼板添え板接合などが用いられたが、接合部の設計方法について は未だ研究段階にある。

現在、我国において CLT が使用される主な工法として、以下に示す3種類が考えられている。

- ① CLT を壁、床(天井)に用いるパネル工法
- ② CLT を鉄骨造(以下、S 造)や鉄筋コンクリート造(以下、RC 造)など他構造と組み合わせた混構造
- ③ CLT と軸組工法を組み合わせた工法

①パネル工法は、CLT の発祥国であるヨーロッパなどを中心に欧米で用いられる工法で あり、日本初の CLT 建築物である高知県のおおとよ製材の社員寮である3階建ての建築物 に用いられている。パネル工法は、CLT の使用方法として最も合理的であると考えられ、S 造や RC 造で建築されている中層建築物に替わるものとして期待されている。しかしながら、 現在、我国では時刻歴応答解析による高度な構造設計が必要とされる。2016年度の建築基 準法告示の改定により、簡便な設計になることが期待されている。

②CLT と他構造を組み合わせた混構造は、ヨーロッパでは中層建築物のコアとなるエレ ベーター部分を RC 造で立ち上げ、その周りを CLT により構築する建築方法などで用いら れている。日本においては、RC 造の耐震補強への利用、そして高層建築物の床材料として の利用が試みられている。また、宮崎県においては 10 階建て S 造の耐力壁としての利用が 検討されている。

③CLT と軸組工法を組み合わせた工法は、日本特有の建築形式である在来軸組工法に耐力 壁として CLT を利用する工法である。一般的な住宅に用いられる木造軸組工法は、壁を多 く設けることの出来ない建築物には不向きとされている。しかしながら、CLT を壁材料と して用いることで高強度の耐力壁を構築できることから、低層の事務所建築物や店舗など 比較的広い内部空間を必要する建物への適応が試みられている。

本事業では、宮崎県産スギを用いて製造された幅はぎあり CLT を用いて、以上の3種類 の工法に適した接合形式及び耐力壁の開発を目的とした。

第 4.1 節ではパネル構法に適した接合具であるラグスクリューボルトを用いた接合形式の開発、第 4.2 節では CLT と S 造を組み合わせた工法における CLT のめり込み性能を活かした新たな接合形式の開発、第 4.3 節では CLT を軸組構法の耐力壁に利用するための接合形式の開発、そして第 4.4 節では第 4.3 節で開発した接合形式を用いた耐力壁の開発を行った。

#### 4. 1 ラグスリューボルト接合形式(パネル工法)

## 4. 1. 1 はじめに

宮崎県木材利用技術センターでは、スギCLTを用いたパネル工法に適した接合具として、 大型のネジ型接合具であるラグスクリューボルト(以下、LSB)を用いた接合部の開発を行っ ており、幅はぎなしの CLT を用いた LSB 単体そして 2 本の引き抜き性能に関する研究成果 をこれまでに報告している<sup>1)</sup>。

CLT の接合部において、ラミナ横方向の繋ぎ目に接合部が配置される場合、幅はぎの有無 そしてラミナ横方向の透き間が耐力へ及ぼす影響が懸念される。日本農林規格(以下、JAS 規格)において"ラミナの横方向の接合の透き間"として、原則ないこととされているが、局 所的なものであれば 6mm 以下、明らかに接合部となる部分においても 3mm 以下であれば 良いものとされている<sup>2)</sup>。そこで、本研究では、LSB 接合について幅はぎの有無、そしてラ ミナの横方向の透き間が LSB の引抜き性能に及ぼす影響を考察した。

#### 4.1.2 試験体と試験条件

供試試験体の CLT は、材料が宮崎県産スギ、強度性能が Mx60 そして構成が 5 層 5 プラ イとした。寸法は、幅 100mm、厚さ 150mm、長さ 580mm とした。LSB は、ネジ山の外径 が 25mm、ネジ谷径が 20mm、ネジ山ピッチが 10mm、ネジ有効長さが 140mm(全長 200mm) とした。

試験体は、中央層(強軸方向)の中央部付近がラミナ横方向の接合となるように配置し、 LSB はこの接合の中央部にあけた直径 22mm の先穴にインパクトレンチを用いて埋め込ん だ。また、LSB の埋め込み口には、直径 35mm、深さ 30mm の座堀を施した。試験体製作状 況を図1に示す。

試験条件は、ラミナ幅方向の繋ぎ目を接着する幅はぎありと、接着しないが透き間を設けない幅はぎなし、そして幅はぎなしでラミナの横方向に接合に透き間(最大 3.5mm までランダム)があるもの3条件とした。試験体数は幅はぎあり5体、幅はぎなし(ラミナの横方向の透き間あり)15体とした。図2に幅はぎなし(ラミナの横方向の透き間あり)15体とした。図2に幅はぎなし(ラミナの横方向の透き間あり)試験体の断面、そして図3にLSBを埋め込んだ試験体の写真を示す。図2において材中央部の丸で示した部分がLSBを埋め込む位置である。ラミナ横方向の接合の透き間の幅は、透き間ゲージを用いて測定した(図4参照)。

54



図1 試験体の製作(先穴の製作)



図 2 幅はぎなし(ラミナの横方向の透き間 あり)試験体断面



図3 LSB を埋め込んだ試験体



図4 透き間の測定

# 4.1.3 試験方法

試験は、CLT に埋め込んだ LSB を下方にし、LSB の雌ネジと接合したハイテンションボ ルトを専用治具により試験機に緊結し、反力側を 3 本のボルト留めとして、上方に加力す ることで LSB に引張力を負荷した。図 5 に試験方法の概要、図 6 に試験時の写真を示す。 LSB の引き抜き量は、CLT 試験体の両側面に取り付けた一対の変位計(東京測器研究所、 CDP-50、容量 50mm)を用いて、LSB と緊結したハイテンションボルトに取り付けた変位計 受けにより、CLT と LSB の相対変位を測定した。LSB の引き抜き量は、一対の変位計の測 定結果の平均値とした。試験は万能材料試験機(島津製作所、AG-100kNI、容量 100kN)を用 い、加力スピードは 1mm/min.の単調加力とした。





図 6 試験方法

# 4.1.4 破壊性状

本試験では、全ての試験体が LSB の引き抜きにより破壊した。ラミナ横方向の接合に透き間のある試験体についても、他の試験体と同様に、ネジ山と木材の間の縦せん断により破壊に至った。LSB の引き抜き破壊性状を図 7 と図 8 に示す。図 7 はラミナ横方向の透き間が 1.1mm の試験体の破壊性状である。図 8 に示すように、せん断破壊した木部がネジ山の間に残存するようにして LSB が引き抜けて破壊に至った。



図7 LSBの引き抜き破壊



図8 透き間あり試験体の破壊性状

#### 4. 1. 5 試験結果

図 9 に代表的な荷重と引き抜き量の関係を示す。荷重と引き抜き量の関係は、加力初期 において直線的に増加し、降伏した後引き抜き破壊が生じると、荷重が低下する挙動を示 した。図 9 は、ラミナ横方向の接合に透き間が 2.6mm 試験体の結果であるが、他の試験体 も同様の荷重と引き抜き量の関係を示した。最大引き抜き荷重時の LSB の引き抜き量は、 幅はぎの有無や透き間の大きさの影響は見られず、引き抜き量が約 1.7mm において最大荷 重を示した。

図 10 に最大引き抜き荷重、図 11 に降伏荷重、そして図 12 にすべり係数と幅はぎの有無 そして透き間の大きさの関係を示す。ここで、降伏荷重は完全弾塑性解析により算出した 値であり、すべり係数は加力初期における最大荷重(P<sub>max</sub>)の 10%~40%までの荷重と引き抜

き量の関係より算出した初期剛性 の値である。最大引き抜き荷重、降 伏荷重(Py)そしてすべり係数(Ks)と もに、ラミナ横方向の接合の透き間 が広くなるほど、若干ではあるが低 下する傾向が見られた。また、幅は ぎの有無の影響では、幅はぎなし試 験結果が幅はぎありよりも若干大 きな値となった。これについては今 後考察が必要であるが、幅はぎ接着 の影響なく引き抜き破壊を生じた 破壊性状より、幅はぎの有無が LSB の引き抜き性能に及ぼす影響は無 いものと考えられた。



#### 4.1.6 推定值

LSB の引き抜き性能は、主に LSB のネジ山と CLT の木部の間の縦せん断によると考えら れる。このため、ラミナ横方向の接合に透き間がある場合、木部のせん断面積が低減する と考えられる。そこで、透き間によるせん断面積の低減を考慮して算出した推定値の結果 を図 10 から図 12 に実線で示す。ここで、基準となる透き間ゼロの値は、幅はぎありとな しの試験結果の平均値とした。図 10 と図 11 より推定値は最大引き抜き荷重と降伏荷重の実 験値を推定できており、図 12 よりすべり係数においてもその傾向を推定できていると考え る。この推定値より、JAS で規定されている最大の透き間 3mm の場合、透き間の無い CLT と比較して、本試験に用いた直径 25mm の LSB では、引き抜き性能の値は 7.6%程度低下す ると推定される。





図 10 最大引き抜き荷重と幅はぎおよび透き間の影響

図 11 降伏荷重と幅はぎおよび透き間の影響



図 12 すべり係数と幅はぎおよび透き間の影響

## 4.1.7 まとめ

本試験結果より、ラミナ横方向の繋ぎ目に LSB を埋め込み使用する場合、幅はぎの有無 による LSB の引き抜き性能への影響は無いと考えられた。しかしながら、幅はぎがなくラ ミナ横方向の透き間に埋め込まれた場合、その透き間の大きさに応じて引き抜き性能が低 下することが分かった。そして、その透き間の大きさに応じて LSB のネジ山と CLT の間の せん断面積が低減すると仮定した推定値が、試験結果の傾向を推定できることが分かった。 この推定結果より、JAS で規定されている最大の透き間 3mm の場合、透き間のない CLT と 比較して、引き抜き性能が 7.6%程度低下すると推測された。また、この低減率は使用する LSB の直径が細くなるほど大きくなると推測される。このため、幅はぎありの CLT を用い ることで、幅はぎなしでのラミナ間の透き間を検討する必要がなく、安全で効率的な接合 部を構成できると考える。

#### 4.1.8 文献

 中谷誠、森拓郎、鈴木圭: CLT からのラグスクリューボルトの引き抜き性能 縁端距離、 埋め込み深さと繊維方向の影響.構造工学論文集 61B、pp.223-228、2015
2)直交集成板の日本農林規格:農林水産省告示第 3079 号

### 4. 2 めり込み型接合形式(S造との混構造)

## 4.2.1 はじめに

CLT の構造材としての利用方法として、他構造との組み合わせが注目されており、高層 ビルの床に CLT を使用する取り組み、また RC 造の耐震補強に CLT を使用する取り組みが 行われている。本事業では、S 造による中・高層建築物への CLT の活用として、耐力壁へ の利用を想定した接合形式の提案を行う。S 造への適用としては、図 13 に示すように CLT の四隅に専用の接合金物をはめ込み、この接合金物と S 造の上下の鉄骨フレームを緊結す る耐力壁としての利用が考えられる。この構造は、地震力などの水平力に対して、接合金 物の CLT へのめり込み、そして CLT 自体のせん断性能により抵抗することになる。このた め、CLT への接合金物のめり込み性能が、耐力壁の耐震性能に大きく依存する。本事業で は、CLT のめり込み性能を試験により明らかにするとともに、実際の接合部を考慮し、想 定される接合金物を取り付けた試験体について試験を実施した。また、水平力により CLT 壁体には図 13 に赤線で示す対角方向に圧縮力が作用すると推測されることから、対角方向 である斜め方向の圧縮性能についても試験により確認した。



図 13 S造に組み込んだ CLT 耐力壁のイメージ図

#### 4.2.2 試験体と試験条件

供試試験体の CLT は、樹種がスギ、強度性能が Mx60、ラミナ構成が7層7プライ、そして

各ラミナ厚さ 30mm の総厚さ 210mm とした。試験条件は、CLT の強軸方向と弱軸方向のめ り込み性能を明らかにするスリットなし試験体 2 条件、CLT に実際の接合具として想定さ れる L 型の接合金物をはめ込んだスリットあり試験体(強軸方向と弱軸方向)2 条件、そして 斜め方向のめり込み性能を確認するため試験体 1 条件の合計 5 条件とした。斜め方向試験 体の形状は、実際に想定される高さ 2.6m、長さ 1.8m の耐力壁の対角方向が圧縮試験機の加 力方向となるように設定した。試験体名は、JN(以下、弱軸スリットなし)、JS(以下、弱軸 スリットあり)、KN(以下、強軸スリットなし)、KS(以下、強軸スリットあり)そして BO(以 下、斜め試験体)とした。スリットなし試験体の概要図を図 14、スリットありを図 15 そし て斜め試験体を図 16 に示す。また、接合金物の概要図を図 17 に示す。



#### 4.2.3 試験方法

本試験は、実大圧縮試験機(前川試験機製作所、A-200-B1、容量 2000kN)を用いて実施し た。スリットなし試験体は、試験機上方の加力盤と試験体の間に長さ 300mm、幅 220mm、 厚さ 32mm の鋼板を挟み込み、上方から加力することでめり込み試験を実施した。このと き、加力位置は CLT の材端部から長さ 300mm、幅は CLT の幅と同じ 210mm とした(図 18 参照)。スリットあり試験体は、試験体スリットにはめ込んだ L 型接合金物と試験機上方の 加力盤との間に厚さ 32mm の鋼板を挟み込み、上方から加力することで実施した。両試験 共に CLT 端部への加力による試験体の回転を抑制するため、加力側とは反対側の端部に押 さえ込み用の治具を設けた。斜め試験体は、試験体スリットにはめ込んだ L 型接合金物と 試験機上方の加力盤との間に専用の加力治具を挟み込み、垂直方向に試験体を加力できる ようにした(図 20 参照)。また、試験体の横すべりを抑制するために、反力治具を試験体の 両端に設けた。各試験条件の変位測定値を図 18 から図 20 に示す。各試験体とも、加力軸 方向に設けた変位計 1(#1)と変位計 2(#2)の変位測定値の平均値をめり込み変形量とした。ま た、CLT 端部を圧縮することで生じる端部からの距離によるめり込む量の違いを各変位計 により確認した。図 21 に弱軸スリットなし試験体の試験方法、図 22 に斜め方向試験体の 試験方法の写真を示す。



図 21 試験方法1(弱軸スリットなし)

図 22 試験方法 2(斜め試験体)



図 20 斜め試験体図 (B0 試験体)



スリットあり試験体図(弱軸:KS 試験体) 図 19



## 4. 2. 4 試験結果

各試験条件の試験結果を表1から表5、そして図23から図27に示す。最大圧縮荷重(*P*max) はスリットなし弱軸方向が強軸方向に対して18%低く、スリットあり試験体では弱軸方向 が強軸方向に対して37%低いことが分かった。これは、弱軸方向スリットあり試験体では、 3層ある強軸ラミナのうち1層をスリット加工によりほぼ全て失うことによると考えられる。 最大荷重時の変形量(*δ*Pmax)は、弱軸方向が強軸方向より大きく、全体の幅方向に対する弱軸 ラミナ幅の割合が大きいほど、その値が大きくなることが分かった。剛性は、最大荷重(*P*max) の10%~40%までの荷重と変形量の関係より算出した。弱軸方向が強軸方向よりも低く、 強軸方向のスリットありなし(表2と表4)の値に大きな差が無いことから、強軸方向の面積 が大きく影響していると考えられる。斜め方向試験結果は表5と図27に示す通り、最大荷 重では1300kNを超える高強度で高剛性な接合形式であることが分かった。

	P <sub>max</sub>	${\cal S}_{ t Pmax}$	剛性 K(0.1-0.4P <sub>max</sub> )	$P_{\rm max}/A$
	kN	mm	kN/mm	N/mm <sup>2</sup>
JN-01	1179	4. 13	581	18. 7
JN-02	1157	4. 54	435	18. 4
JN-03	1105	4. 38	493	17. 5
JN-04	1184	5.64	555	18. 8
JN-05	1101	4. 14	559	17. 5
JN-06	1124	4. 32	617	17. 8
平均	1142	4. 52	540	18. 1

表1 JN 試験体結果(弱軸スリットなし)

(注)加圧板面積 A = 210mm×300mm

表2 KN 試験体結果(強軸スリットなし)

	$P_{\max}$	${\cal S}_{ t Pmax}$	剛性 K(0.1-0.4P <sub>max</sub> )	$P_{\rm max}/A$
	kN	mm	kN/mm	N/mm²
KN-01	1412	3. 57	873	22. 4
KN-02	1362	3. 14	883	21.6
KN-03	1420	3. 59	937	22. 5
KN-04	1392	3. 48	895	22. 1
KN-05	1358	3. 38	792	21.6
KN-06	1421	3.63	917	22. 6
平均	1394	3. 47	883	22. 1

	$P_{\max}$	${\cal S}_{ t Pmax}$	剛性 K(0.1-0.4P <sub>max</sub> )	$P_{\rm max}/A$
	kN	mm	kN/mm	N/mm <sup>2</sup>
JS-01	852	3.99	428	13. 5
JS-02	783	3. 54	421	12. 4
JS-03	826	2. 46	523	13. 1
JS-04	786	4. 52	392	12. 5
JS-05	742	8. 49	471	11.8
JS-06	854	7. 70	544	13. 6
平均	807	5. 12	463	12. 8

表3 JS 試験体結果(弱軸スリットあり)

表4 KS 試験体結果(強軸スリットあり)

	$P_{\max}$	${\cal S}_{ t Pmax}$	剛性 K(0.1-0.4P <sub>max</sub> )	$P_{\rm max}/A$
	kN	mm	kN/mm	N/mm²
KS-01	1321	2. 73	854	21.0
KS-02	1315	3. 11	903	20. 9
KS-03	1199	3. 34	701	19.0
KS-04	1335	2. 69	969	21. 2
KS-05	1234	3. 58	743	19.6
KS-06	1310	2. 98	831	20. 8
平均	1285	3. 07	834	20. 4

表 5 BO 試験体結果(斜め方向試験体)

	$P_{\max}$	${\cal S}_{ t Pmax}$	剛性 K(0.1-0.4P <sub>max</sub> )	$P_{\rm max}/A$
	kN	mm	kN/mm	N/mm <sup>2</sup>
B0-01	1380	6.35	476	21. 9
B0-02	1312	5. 72	445	20. 8
B0-04	1368	6. 18	1094	21. 7
B0-05	1283	5.89	429	20. 4
B0-06	1348	4. 78	552	21.4
B0-07	1273	8. 53	452	20. 2
平均	1327	6. 24	575	21. 1



図 23 JN 試験体の荷重とめり込み変位の関係

図 24 KN 試験体の荷重とめり込み変位の関係



図 25 JS 試験体の荷重とめり込み変位の関係

図 26 KS 試験体の荷重とめり込み変位の関係



図 27 B0 試験体の荷重とめり込み変位の関係

# 4.2.5 破壊性状

各試験条件の破壊性状の詳細を図28から図37に示す。



図 28 JN 試験体破壊性状 1 加力部分ラミナの座屈破壊(終局状態)



図 29 JN 試験体破壊性状 2 ラミナの剥離破壊(終局状態)



図 30 KN 試験体破壊性状 1 加力部分ラミナの座屈破壊(終局状態)



図 32 JS 試験体終局状態 1 金物裏側 CLT ラミナの座屈破壊(終局状態)



図 31 KN 試験体破壊性状 2 圧縮治具の大きなめり込み破壊(終局状態)



図 33 JS 試験体破壊性状 2 接合金物の大きなめり込み(終局状態)



図 34 KS 試験体破壊性状 1 接合金物の大きなめり込み(終局状態)



図 36 B0 試験体破壊性状 1 めり込みからのラミナ剥離(終局状態)



図 35 KS 試験体破壊性状 2 CLT 外層の圧縮破壊(終局状態)



図 37 B0 試験体破壊性状 2 CLT 弱軸側の大きなめり込み

# 4.2.6 まとめ

本試験により、S 造による中・高層建築物の耐力壁に CLT を利用した場合に想定される めり込み型接合方法の性能を明らかにした。これにより、第2章において CLT のせん断性 能が明らかであることから、想定される耐力壁の耐震性能を推定できるようになると考え る。

## 4.3 ビス留め接合形式(軸組工法)

#### 4.3.1 はじめに

日本特有の CLT の利用方法として、軸組工法と CLT を組み合わせた工法が利用されている。CLT を用いることで、これまで困難であった強固な耐力壁を構成できることから、S 造で建築されてきた 3 階建までの低層事務所建築物、店舗建築物そして公共建築物などへの利用が期待される。

本研究では、軸組工法に幅はぎありの CLT を組み合わせた耐力壁の接合形式として、CLT と柱部材のビス留め接合を開発し、そのせん断性能を試験により明らかにした。

#### 4.3.2 試験体と試験条件

供試試験体の CLT は、樹種がスギ、強度性能が Mx60、ラミナ構成が 3 層 3 プライであり、 1 プライのラミナ厚さは 15mm で総厚さは 45mm とした。また、柱材はスギ同一等級集成材 E65-F255 の 120 角とした。試験体の概要図を図 38 に示す。

試験条件は、CLT と柱の取り付け接合形式により 2 条件とした。ひとつが凹状の加工を 施した柱材に CLT を落とし込みビス留めする形式の O 試験体(図 39 参照)。そしてもうひと つが、柱の片方の面から 45mm 描き込み、そこに CLT を添えてはめ込むみビス留めする形 式の H 試験体(図 40 参照)とした。前者が、2 面せん断のビス留め接合となり、後者が 1 面 せん断のビス留め接合となる。ビスはパネリード II(東日本パワーファスニング、P6×L110)、 全長は 110mm を使用し、図 38(i)に示すように各柱に 100mm ピッチで 2 本、合計 4 本のビ スを用いた。試験体数は各条件 6 体とした。



図 38 試験体側面



(i) 試験体上方概要図

(ii) 試験体上方写真

図 39 0 試験体概要図及び写真



#### 4.3.3 試験方法

ビスのせん断試験は、万能材料試験機(島津製作所、AG-100kNI、容量 100kN)を用いて実施した。CLT パネルを上方から加力し、CLT と柱材との間にせん断力を作用させることで 試験を行った。荷重は試験機上方のロードセルにより、CLT と柱材との相対せん断変形量 を一対の変位計(東京測器研究所、CDP-50、容量 50mm)により測定した(図 41 と図 42 参照)。



図 41 ビスせん断試験方法



図 42 試験風景

# 4.3.4 試験結果

ビス1本当たりに換算した詳細な試験結果を表6と表7に示す。O試験体は、H試験体よ り最大荷重(*P*<sub>max</sub>)が35%、降伏荷重(*P*<sub>y</sub>)が51%、初期剛性(*K*)が37%高い値となった。本試験 結果より導かれたビス1本当たりの短期基準せん断耐力は、O試験体では2.58kN、H試験 体では1.70kN となり、O試験体が約51%高い値であった。

			$P_{\max}$	${\cal S}_{ t Pmax}$	${\cal S}_{\sf y}$	K	μ
学睦什々	$2/3P_{\rm max}$	Py	皇士芬香	最大荷重時	降伏変	初期剛	卸件交
武熙14-石	武駅14-石		取入何里	変位	位	性	空性平
	kN	kN	kN	Mm	mm	kN/mm	
01	3. 47	3.04	5. 20	14. 3	1.90	1.60	7. 24
02	3.80	3. 52	5. 70	18. 2	2. 58	1. 37	6.80
03	3. 50	3. 33	5. 25	18.5	2. 53	1. 32	6.00
04	4. 20	3.79	6. 31	20. 7	2. 47	1. 53	7.48
05	3. 40	3.11	5. 10	20. 3	1.68	1.85	9.39
06	3. 32	3.00	4. 98	17.6	2. 05	1. 47	7.05
平均	3. 61	3.30	5. 42	18. 3	2. 20	1. 52	7.33
標準偏差	0. 33	0.31	0. 50	2.32	0.38	0. 19	1.13
短期基準せん断耐力		2. 58					

表6 0試験体の全試験結果

			P <sub>max</sub>	${\cal S}_{ t Pmax}$	${\mathcal S}_{\mathsf y}$	K	μ
試験体名	$2/3P_{max}$	Py	最大荷重	最大荷重時	降伏変	初期剛	塑性率
				変位	位	性	
	kN	kN	kN	Mm	mm	kN/mm	
01	2. 92	2. 47	4. 38	25. 3	2. 75	0. 90	7.84
02	2. 57	1.91	3. 85	10. 3	1.50	1. 27	10.5
03	2. 67	2. 26	4. 00	16. 0	2. 24	1.01	7.61
04	2. 67	2. 26	4. 01	20. 3	1.93	1. 17	9.55
05	2. 71	2. 23	4. 07	13. 7	2. 28	0. 98	7.63
06	2. 50	1. 98	3. 74	9. 85	1.48	1. 33	17.0
平均	2.67	2. 18	4. 01	15.9	2.03	1. 11	10.0
標準偏差	0. 15	0. 21	0. 22	6. 00	0. 49	0. 17	3.60
短期基準せん断耐力 1.70		·	•				

表7 H試験体の全試験結果

各条件の荷重とせん断変位量の関係を図 43 と図 44 に示す。図 43 に示すように O 試験体 はせん断変形量が 20mm においてビスの破断音が発生すると共に、急激に荷重が低下する 結果となった。これに対し、H 試験体では急激な荷重低下は発生せず、ビスが曲げ変形しな がらせん断変形量が増大する結果となった。




## 4.3.5 破壊性状

各試験条件の破壊性状を以下に示す。O 試験体は試験終局状態においてビス頭の CLT へのめり込みが見られた(図 45(iv))。また、せん断変形量 20mm 程度においてビスのせん断破壊が生じた(図 45(ii)参照)。そして、せん断破壊が生じなかったビスについても大きな曲げ変形が見られた(図 45(iii)参照)。CLT と柱材にはビスによるめり込み破壊が見られた(図 45(ii) 参照)。

H 試験体は終局状態においてビス頭の CLT へのめり込みが見られた(図 46(iv))。また、ビスの大きな曲げ変形と CLT と柱材にめり込み破壊が見られた(図 46(ii)と (iv)参照)。



(i) 解体後の試験体



(ii) 曲げ折れたビスと CLT と柱材へのめ り込み





(iii) 大きく曲げ変形したビス (iv) めり込んだビス(終局状態)図 45 0 試験体の破壊性状



(i) 解体後の試験体



(ii) 曲げ変形したビスと CLT と柱材へのめり込み



(iii) 大きく曲げ変形したビス (iv) &図 46 H 試験体の破壊性状



(iv) めり込んだビス(終局状態)

## 4.3.6 まとめ

軸組工法に CLT を組み合わせた耐力壁の接合部として、ビスを用いる2種類の接合形式 を開発した。柱に CLT を落とし込みビス留めするO試験体は、欠き込んだ柱にはめ込む H 試験体より耐力、剛性ともに高い結果となった。これは、O試験体ではビスが2面せん断に なり、H 試験体の1面せん断よりもビスのせん断性能が高いことによる。ただし、破壊性状 より変形性能は H 試験体の方が優れていることが分かった。このため、耐力壁として用い た場合、O 試験体の接合形式では高耐力で高剛性、H 試験体の接合形式では高靱性の壁体が 期待できる。

## 4. 4 ビス留め接合による耐力壁(軸組工法)

## 4.4.1 はじめに

第4.3 節において柱材と CLT のビス留め接合形式を二通り開発し、そのせん断性能を確認した。本節ではこれら二通りの接合形式を用いた軸組工法に CLT を組み合わせた耐力壁について、耐震性(水平せん断性能)と破壊性能を明らかにすることを目的に試験を実施した。

## 4.4.2 試験体と試験条件

供試試験体の詳細図を図 47 に示す。試験条件は、柱と CLT との接合方法として第 4.3 節 で検討した二通りの接合形式とした。試験体は、凹状の加工を施した柱材に CLT を落とし 込みビス留めする形式の TYPE1(落とし込み工法)と、柱の片側面に加工した欠き込に CLT をはめ込む TYPE2(はめ込み工法)とした。各部材の詳細図面を図 48 から図 50 に示す。

部材は、柱と土台は 120mm 角のスギ同一等級集成材(E65-F255)、梁は 120mm×180mm の スギ異等級対称構成集(E65-F225)とした。また、CLT は樹種がスギ、等級が Mx60、構成が 3 層 3 プライで総厚さが 45mm(1 プライ 15mm 厚)とした。各部材の含水率は表 8 の通りで あった。

柱と基礎及び梁は、ホールダウン(カネシン、フレックスホールダウン U60)も用いて緊結 した。柱材と CLT は、パネリード II(東日本パワーファスニング、P6×L110)のビスを 100mm ピッチに打ち込むことで接合した。

試験体数は、各試験条件1体の合計2体とした。

	梁	柱1(ジャッキ側)	柱2(中央)	柱 3	土台
TYPE1	13. 5	11	15.5	11	14. 5
TYPE2	13	11.8	10	11.8	12

表8 各部材の含水率(%)



図 47 試験体図面



図 48 部材詳細その 1(梁と土台)



図 49 部材詳細その 2(柱材)



図 50 部材詳細その 3 (CLT)

## 4. 4. 3 試験方法

試験は、柱脚固定式試験法を採用し、土台を試験装置に緊結して梁端部を水平方向に加 力することで行った。試験方法と変位計位置の概要を図 51 に示す。試験は実大壁せん断試 験機(理研機器、MP-6ALS-S、容量押し 500kN、引き 250kN)により行った。加力は正負交番 繰り返し加力とし、繰り返し履歴は変位計 1 の測定値から算出したせん断変形角が 1/450、 1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50rad の正負変形時とし、繰り返し回数は 3 回とした。 加力は最大荷重に達した後、最大荷重の 80%に荷重が低下するまで、もしくは見かけのせ ん断変形角が 1/15rad 以上に達するまで実施した。



図 51 試験方法の概要

#### 4.4.4 試験結果

本試験結果より各種特性値の算出を行った。各種特性値は「木造軸組工法住宅の許容応 力度設計」((財)日本住宅・木材技術センター発行、2008 年版)<sup>1)</sup>p.570~572 を参考に、試験 荷重と見かけのせん断変形角(y)の関係より、完全弾塑性モデルを用いて算出した。見かけ のせん断変形角の算出方法は以下の通りとした。

見かけのせん断変形角 γ=(#1-#2)/2950

ここで、#1(変位計1)と#2(変位計2)の位置は図51の通りである。

特性値の算出結果を表9と表10、荷重と変形量の関係を図52と図53に示す。ここで、 参考壁倍率の算出は、試験体数が1体であるため試験結果のばらつきが考慮されておらず、 また「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」p.572~574における、使用環境や施工性の影響による低減係数(a)も考慮していない。

表9と表10より、ビス1本当たりのせん断性能が高かった TYPE1 試験体の壁倍率が、 TYPE2 試験体よりも低い値となった。これは図52 に示すように、最大荷重後に急激に耐力 が失われたことにより靱性が乏しいことが決定要素となり、低い壁倍率となった。急激に 耐力が失われた原因は、ホールダウン金物の引張破壊であった。図53の TYPE2 試験体に ついても終局時に急激に耐力が低下しているが、これは建物の変形限界である1/15(0.67rad) を超えており、靱性のある壁体であると考えられる。

			参考値:短期基準せ	关 去 法 法 法 法 法 法 法 法 法 法 法 法 法 法 法 法 法 法
	(単位)		ん断耐力 <i>P</i> 。(kN)	多亏但·至旧平
1) <i>P</i> <sub>y</sub>	(kN)	33. 1		
2) $P_{\rm u} \times (0.2/Ds)$	(kN)	14. 8	14 0	7 55
3) $2/3 \times P_{\text{max}}$	(kN)	35. 1	14. 0	7. 55
4) <i>P</i> <sub>120</sub>	(kN)	15.8		
P <sub>max</sub> :最大耐力	(kN)	52.6		
P <sub>u</sub> :終局耐力	(kN)	46. 7		
K :初期剛性	(kN/rad)	1987		
µ ∶塑性率		1. 75		
Ds :構造特性係数		0.63		
${\mathcal S}_{\mathsf y}$ :降伏変形角	(×10 <sup>-3</sup> rad)	16.6		
${\mathcal S}_{{\scriptscriptstyle V}}$ :モデル降伏点変形角	(×10 <sup>-3</sup> rad)	23. 5		
${oldsymbol{\mathcal{S}}}_{ ext{u}}$ :終局変形角	$(\times 10^{-3} rad)$	41.2		

表 9 TYPE1 試験体解析結果(落とし込み工法)

耒	₹10	TYPE2 試験体解析結果(はめ込み工法)	去)
-1-	<u> </u>		<u> </u>

			参考値:短期基準せ	
	(単位)		ん断耐力 P <sub>o</sub> (kN)	◎ 今 恒 · 壁 信 平
1) <i>P</i> <sub>y</sub>	(kN)	30. 6		
2) $P_{\rm u} \times (0.2/Ds)$	(kN)	18.0	15 0	0 00
3) $2/3 \times P_{\text{max}}$	(kN)	36.8	15. 6	0.00
4) <i>P</i> <sub>120</sub>	(kN)	15.8		
P <sub>max</sub> :最大耐力	(kN)	55. 1		
P <sub>u</sub> :終局耐力	(kN)	49. 2		
K :初期剛性	(kN/rad)	1608		
µ ∶塑性率		2. 18		
Ds :構造特性係数		0. 55		
${\mathcal S}_{{}_{\mathsf y}}$ :降伏変形角	(×10 <sup>-3</sup> rad)	19.0		
${\mathcal S}_{{\scriptscriptstyle V}}$ :モデル降伏点変形角	(×10 <sup>-3</sup> rad)	30. 6		
${oldsymbol{\mathcal{S}}}_{ ext{u}}$ :終局変形角	(×10 <sup>-3</sup> rad)	66. 7		



見かけのせん断変形角(rad)





見かけのせん断変形角(rad)

図 53 TYPE2 試験体結果(はめ込み工法)

# 4.4.5 破壊性状

TYPE1 試験体の破壊性状は、CLT と柱材のビス接合においてせん断による微少な変形が 生じた後、柱脚のホールダウン金物のボルトが破断し荷重が大きく低下した。これにより 柱が梁を突き上げることで梁の曲げ破壊を生じた。TYPE1 試験体の破壊性状を図54 に示す。



(i) 試験前



(ii) 終局状態



(iii) 柱脚部の破壊



(iv) 梁材の曲げ破壊



(v) ビスの微少な曲げ変形



げ変形 (vi) 支圧によるビス穴の微少な変形 図 54 TYPE1 試験体の破壊性状

TYPE2 試験体の破壊性状は、CLT と柱材のビス接合に大きなせん断変形が生じた後、梁 材の柱材の突き上げによる曲げ破壊により終局状態となった。ただし、終局時の変形量は 1/15 を超える 1/12 程度の大きな変形であった。TYPE2 試験体の破壊性状を図 55 に示す。



(i) 試験前



(ii) 終局状態



(iii) CLT へのビス頭のめり込み



(iv) 梁材の曲げ破壊



ビスの曲げ変形と柱材の割裂破壊 (vi) CLT のビス穴の変形 図 55 TYPE2 試験体の破壊性状

# 4.4.6 まとめ

本試験により、壁倍率8倍程度の高耐力壁を開発することが出来た。特にTYPE2試験体 は、終局時にビスが大きく変形するなど、ビスのせん断性能を十分に発揮した靱性のある 高耐力壁となった。ただし、落とし込み仕様のTYPE1試験体はホールダウンの引張破壊と なった。高強度な耐力壁の場合には、各接合部を固定する接合方法にも高耐力が必要とさ れる。特に柱脚の引き抜き耐力は、その壁倍率に応じて大きくなる。本試験においても、 ビスのせん断性能が十分発揮される前にホールダウンが引張破壊するなど、今後改良が必 要であると考える。はめ込み仕様のTYPE2試験体については、今後施工性を見据えた各部 材間のクリアランスを考察することで、利用しやすい高耐力壁になると考える。

### 4.4.7 文献

1) 木造軸組工法住宅の許容応力度設計 2008 年版:(財)日本住宅・木材技術センター編、2009、 pp.570-574

#### 5 おわりに

本事業の最大の目的は、一つには、非住宅等への需要が大きく期待されている CLT とし て宮崎県産スギを展開させるための各種設計基準値を明らかにすること、もう一つは、本 事業名「宮崎県産スギを用いた新たな CLT の開発」のうち「新たな CLT」が意味する「幅はぎを 施したラミナで構成された CLT」(以下、幅はぎあり CLT)の性能を確認し、一般的に使用さ れている幅はぎを施さないラミナによる CLT(以下、幅はぎなし CLT)との性能比較からその 優位性を確認することにあった。その背景には、幅はぎあり CLT の性能に関するデータが 現状では皆無に近いこと、今年度中に県内集成材企業(ウッドエナジー協同組合)が幅はぎあ り CLT による JAS(直交集成板の日本農林規格)認定を取得する見込みであること、さらには 宮崎市に建設予定の 10 階建て鉄骨造建築物(宮崎県防災拠点庁舎)の耐力壁に幅はぎあり CLT を用いる計画であること等から、県内関連企業のバックアップのみならず、早急な設 計基準値の確認が必要であったことが挙げられる。

結果として、各種力学的性能や接合性能(LSB の引き抜き性能)に関しては、幅はぎあり CLT と幅はぎなし CLT の間に顕著な差異は認められなかったが、その一方で、長期性能(面 外曲げクリープ性能)に関しては、比較的明確な幅はぎあり CLT の優位性が認められ、幅は ぎなし CLT に比べて試験体間のばらつきが極めて少ない安定した傾向を示した。ただし、 何れの CLT も、曲げ強さについては全条件で JAS 基準値を大幅に上回り、せん断強さにつ いても全条件で「直交集成板の適正製造基準」に示された適合基準を上回った。さらに縦圧 縮強さについても、強軸試験体ではスギ製材(無等級材)の基準強度を上回り、クリープ調整 係数(負荷 50 年後の相対クリープ)も建設省告示 1459 号の変形増大係数の範囲内に収まった。 これらの結果を総合的に見れば、前述したように幅はぎあり CLT の力学的優位性は認めら れるものの、幅はぎなし CLT を用いた場合も含めて、宮崎県産スギを用いた CLT の力学的 性能は、構造部材としての要求性能を充分に満たすと結論づけて良いだろう。

この報告書の作成を開始してまもなく、国土交通省が CLT を用いた建物の構造設計法や 技術的な基準などの告示案についてのパブリックコメントを公示し、2016 年 4 月ごろには 交付・施行の見込みとなった。これにより CLT を取り巻く状況は大きく転換することが期待 されるが、その一方で、CLT を構造部材として一般化するためには、材料分野、構造分野 の双方から解決すべき課題も山積している。その意味から、本研究で得られた成果は CLT の材料特性や構造特性を新たな視点から捉えるものであり、各種の課題解決の一助になる はずである。今後、あらゆる場面で今回の成果が活用されることを期待するとともに、将 来的な宮崎県産スギ CLT の普及と宮崎県産材の需要拡大に貢献出来れば幸いである。

最後に、本事業の実施に当たっては、様々な研究者、事業者、行政担当者のご尽力を賜 り、事業の推進に関するご助言、ご協力をいただいた。この場を借りて関係各位に厚くお 礼を申し上げる。とりわけ、試験全般に渡って多くのご助言を賜った(国研)森林総合研究所 複合材料研究領域集成加工担当チーム長の宮武敦氏と(地独)北海道立総合研究機構林産試 験場技術部研究主査の大橋義徳氏には重ねて深甚の謝意を表したい。