

令和5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

国産材を用いた非等厚ラミナ構成CLTの製造技術に関する検討  
事業報告書

令和7年2月

一般社団法人 日本CLT協会

## 目次

<b>第1章 事業内容</b> .....	<b>1</b>
1.1 事業の目的 .....	1
1.2 実施体制 .....	1
1.3 委員名簿 .....	2
1.4 実施事項 .....	3
<b>第2章 非等厚構成 CLT の製造試験と性能評価</b> .....	<b>1</b>
2.1 非等厚構成 CLT の製造試験と性能評価概要 .....	1
2.1.1 試験の目的 .....	1
2.1.2 非等厚構成 CLT のラミナ厚さと層構成 .....	1
2.1.3 床パネルの許容スパン .....	2
2.2 非等厚構成 CLT 製造用ラミナの製造 .....	4
2.2.1 スギラミナ、ヒノキラミナの強度等級区分 .....	4
2.2.2 非等厚構成 CLT 大版パネルの製造 .....	6
2.3 フィンガージョイント(FJ)ラミナの強度性能 .....	8
2.3.1 FJ ラミナ試験体の製造 .....	8
2.3.2 FJ ラミナの引張り試験 .....	8
2.3.3 FJ ラミナの圧縮試験 .....	11
2.3.4 FJ ラミナの曲げ試験 .....	14
2.4 非等厚構成 CLT の強度性能 .....	18
2.4.1 非等厚構成 CLT 試験体 .....	18
2.4.2 非等厚構成 CLT の引張り試験 .....	18
2.4.3 非等厚構成 CLT の圧縮試験 .....	23
2.4.4 非等厚構成 CLT の曲げ試験 .....	31
2.4.5 非等厚構成 CLT のせん断試験 .....	39
2.5 非等厚構成 CLT の接着性能 .....	47
2.5.1 目的 .....	47
2.5.2 接着剝離試験体と接着剝離試験方法 .....	47
2.5.3 接着剝離試験結果 .....	47
2.6 製造試験と性能評価のまとめ .....	50
<b>添付資料</b> .....	<b>1</b>
第1回 国産材を用いた非等厚ラミナ構成 CLT の製造技術に関する検討委員会議事録 .....	1
◆挨拶 .....	2
◆資料 .....	2
◆議事 .....	2
◆閉会 .....	16
第2回 国産材を用いた非等厚ラミナ構成 CLT の製造技術に関する検討委員会議事録 .....	17

◆挨拶.....	18
◆資料.....	18
◆事業内容検討.....	18
◆閉会.....	29



# 第1章 事業内容

## 1.1 事業の目的

現在、「JAS3079 直交集成板の日本農林規格」(以下、JAS3079 とする)においては、直交集成板(CLT)を構成する各ラミナの厚さは等厚であることとされている。一方、CLT 製造時の原料の歩留まり向上や CLT を用いた建築物の設計の自由度向上を図るために、強軸方向の強度性能を効率的に向上させることができる、異なる厚さ(非等厚)のラミナで構成された CLT(以下、非等厚ラミナ CLT とする)の開発を推進する必要がある。本課題では、非等厚ラミナ CLT の JAS3079 への反映を念頭に、事業を実施した。

## 1.2 実施体制

(一社)日本CLT協会を代表者とし、(国研)森林研究・整備機構との共同で事業を実施する。業務分担は以下のとおりとする。(表 1.2-1、図 1.2-1)

表 1.2-1

事業内容	(一社)日本CLT協会	(国研)森林研究・整備機構
事業の進行管理	○	
検討委員会の開催・運営	○	
製造試験の実施	○	
強度試験の実施		○
成果報告書のとりまとめ	○	

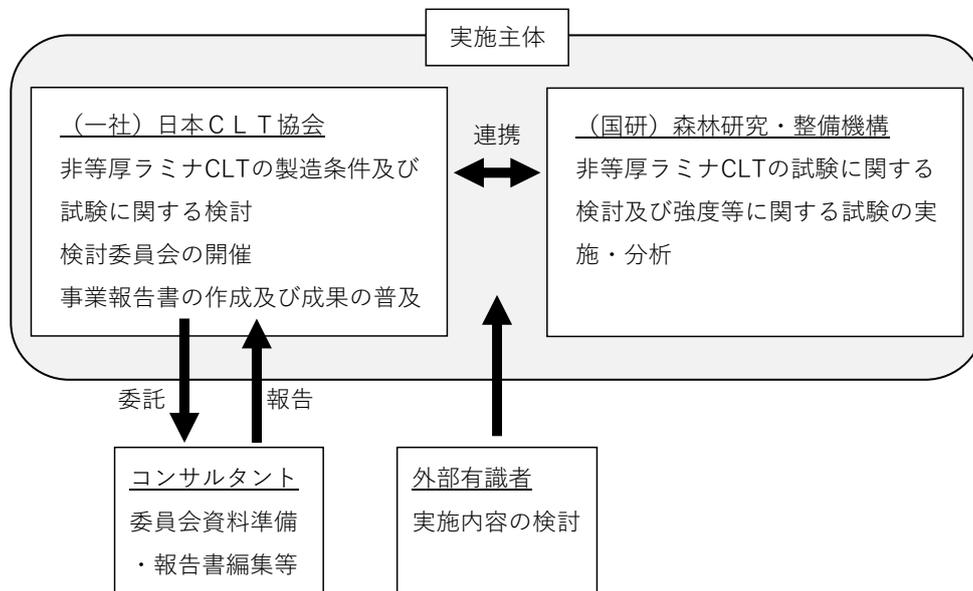


図 1.2-1

### 1.3 委員名簿

#### 非等厚ラミナで構成された CLT の強度データ収集検討委員会

委員会		
委員長	安村 基	静岡大学名誉教授
委員	河合 直人	工学院大学建築学部建築学科 教授
	青木 謙治	東京大学大学院農学生命科学研究科 教授
	槌本 敬大	(国研)建築研究所材料研究グループ グループ長
	秋山 信彦	(国研)建築研究所材料研究グループ 主任研究員
	尾方 伸次	(公財)日本合板検査会 専務理事
	神谷 文夫	セイホク(株) 技師長
	荒木 康弘	国土技術政策総合研究所評価システム研究室 室長
オブザーバー	佐藤 秀憲	農林水産省新事業・食品産業部食品製造課基準認証室
	福島 純	林野庁木材産業課木材製品技術室
	上田 萌香	林野庁木材産業課木材製品技術室
	高木 望	林野庁木材産業課木材製品技術室
	杉原 伸一	国土交通省住宅局参事官(建築企画担当)付
	吉田 優一朗	国土交通省住宅局参事官(建築企画担当)付
	中田 直	(独)農林水産消費安全技術センター
	平原 章雄	木構造振興(株)常務取締役
	伊藤 一哉	(株)EP&B
事業実施者	坂部 芳平	一般社団法人日本 CLT 協会 専務理事
	西妻 博康	一般社団法人日本 CLT 協会 総務企画部
	谷口 翼	一般社団法人日本 CLT 協会 開発技術部
	原 周平	一般社団法人日本 CLT 協会 総務企画部
	平松 靖	(国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域
	渋沢 龍也	(国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所 研究ディレクター
	杉本 健一	(国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域
	宮本 康太	(国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域
	宮武 敦	(国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域
	井道 裕史	(国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域
	新藤 健太	(国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域
	宇京 斉一郎	(国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域
	大木 文明	(国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域
	小島 瑛里奈	(国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域
	中川 美幸	(国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域

#### 1.4 実施事項

6月6日	第1回 検討委員会開催 事業実施計画の検討
7～12月	製造試験体の作成
11～2月	各種試験の実施、試験結果の検討
1月16日	補足委員会の開催
2月4日	第2回 検討委員会開催 結果のとりまとめ、成果報告書の作成



## 第2章 非等厚構成 CLT の製造試験と性能評価

### 2.1 非等厚構成 CLT の製造試験と性能評価概要

#### 2.1.1 試験の目的

R3 年度(補正)事業、R4 年度(補正)事業で得られた結果から、CLT に用いるラミナに関して、厚さ 20、30、40mm のスギラミナ、ヒノキラミナについて、機械等級区分、フィンガージョイント(FJ)等、製造に関する事項の検証を行い、FJ ラミナの強度性能の評価を行った。結果として、厚さ 20mm、40mm のラミナを通常 CLT 用に製造している 30mm のラミナと同様に製造でき、同等の強度性能が得られることが明らかになった。また、CLT に関して、厚さ 20、30、40mm のスギラミナを原料とした等厚構成 CLT(ラミナ厚さが各層、各プライで同じ厚さの CLT)の強度性能を評価し、JAS3079:2019 直交集成板の日本農林規格(以下、直交集成板の JAS)に規定される曲げ強度性能が得られることが明らかになった。曲げ試験を実施した CLT の層構成は 3 層 3 プライ、3 層 4 プライ、5 層 5 プライ、5 層 7 プライ、7 層 7 プライであり、厚さ 20mm のラミナを原料とした CLT のみ 9 層 9 プライも実施した。

R5 年度(補正)事業では、CLT を用いた建築物の設計の効率化を目的として、スパンに応じて対応可能な非等厚構成 CLT(ラミナ厚さが各層、各プライで異なる CLT)の製造、性能評価を行うことを目的とした。具体的には、厚さ 20mm、30mm、40mm のラミナを用いた非等厚構成 CLT について、各層を構成するラミナ厚さと層構成を検討するとともに、それらの製造試験及び性能評価を行った。

#### 2.1.2 非等厚構成 CLT のラミナ厚さと層構成

樹種及び CLT を構成するラミナの等級は、スギ対称異等級構成 CLT(外層 M60A、内層 M30A)、ヒノキ対称異等級構成(外層ヒノキ M120A、内層スギ M30A)とした。想定する使用箇所をもとに表 2.1.2-1 に示す非等厚構成 CLT について検討を行うこととした。

表 2.1.2-1 本事業において検討を行った非等厚構成 CLT のラミナ厚さと層構成

CLT厚さ (mm)	構成の区分	各プライの仕上げラミナ厚さ(mm)							想定する使用箇所
		※ = : 強軸方向のラミナ、⊥ : 弱軸方向のラミナ							
		=	⊥	=	⊥	=			
100	3層3プライ	40	20	40					低層建築物、床・壁
140	5層5プライ	40	20	20	20	40			低層建築物、床
160	5層5プライ	40	20	40	20	40			
180	5層5プライ	40	30	40	30	40			低層～中層建築物、床
220	5層7プライ	=	=	⊥	=	⊥	=	=	中層建築物、床
		40	40	20	20	20	40	40	
240	5層7プライ	40	40	20	40	20	40	40	

### 2.1.3 床パネルの許容スパン

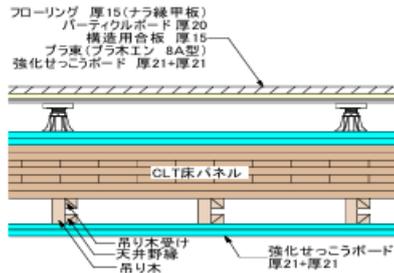
表 2.1.2-1 に示した非等厚構成 CLT と等厚構成 CLT を使用した床パネルの許容スパンを図 2.1.3-1、図 2.1.3-2 に示す。事務所床(1時間耐火仕様)、住宅床(防火仕様)を想定した。

#### □非等厚ヒノキ+スギHBMx120、等厚Mx120、非等厚スギMx60、等厚Mx60

#### 床パネルの許容スパン表

□ : 部分は、等厚のCLT

#### (1)事務所床(1時間耐火仕様)



部屋の種類	強度等級	厚さ構成	CLT厚さ (mm)	許容スパン (mm)	許容スパンの 判定要素
事務所床	Mx120-3-3	30-30-30	90	3,050	たわみ
	HBMx120-3-3	40-20-40	100	3,650	たわみ
	Mx120-3-4	30-30-30-30	120	4,000	たわみ
	Mx120-5-5	30-30-30-30-30	150	4,100	たわみ
	HBMx120-5-5	40-20-20-20-40	140	4,850	たわみ
	HBMx120-5-5	40-20-40-20-40	160	5,500	たわみ
	HBMx120-5-5	40-30-40-30-40	180	5,950	たわみ
	Mx120-5-7	30-30-30-30-30-30-30	210	6,900	たわみ
	HBMx120-5-7	40-40-20-20-20-40-40	220	7,550	たわみ
	HBMx120-5-7	40-40-20-40-20-40-40	240	8,000	たわみ
	※Mx120-9-9	30-30-30-30-30-30-30-30-30	270	7,400	たわみ
	Mx60-3-3	30-30-30	90	2,550	たわみ
	スギMx60-3-3	40-20-40	100	2,950	たわみ
	Mx60-3-4	30-30-30-30	120	3,300	たわみ
	Mx60-5-5	30-30-30-30-30	150	4,000	たわみ
	スギMx60-5-5	40-20-20-20-40	140	3,950	たわみ
	スギMx60-5-5	40-20-40-20-40	160	4,450	たわみ
	スギMx60-5-5	40-30-40-30-40	180	4,850	たわみ
	Mx60-5-7	30-30-30-30-30-30-30	210	5,650	たわみ
	スギMx60-5-7	40-40-20-20-20-40-40	220	6,100	たわみ
スギMx60-5-7	40-40-20-40-20-40-40	240	6,500	たわみ	
※Mx60-9-9	30-30-30-30-30-30-30-30-30	270	6,200	たわみ	

※ 9層9プライは、告示第1024号で面外方向は基準強度を定めていないため設計で用いることはできない。表の値は参考値として示している。

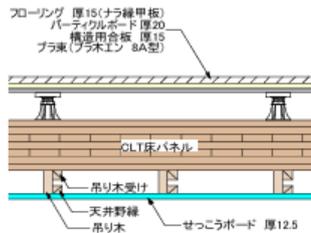
図 2.1.3-1 非等厚構成 CLT と等厚構成 CLT の床パネルの許容スパン許容スパン  
(事務所床(1時間耐火仕様)を想定)

□非等厚ヒノキ+スギHBMx120、等厚Mx120、非等厚スギMx60、等厚Mx60

床パネルの許容スパン表

□ : 部分は、等厚のCLT

(2)住宅床(防火仕様)



部屋の種類	強度等級	厚さ構成	CLT厚さ (mm)	許容スパン (mm)	許容スパンの判定要素
住宅床	Mx120-3-3	30-30-30	90	3,650	たわみ
	HBMx120-3-3	40-20-40	100	4,300	たわみ
	Mx120-3-4	30-30-30-30	120	4,700	たわみ
	Mx120-5-5	30-30-30-30-30	150	4,750	たわみ
	HBMx120-5-5	40-20-20-20-40	140	5,650	たわみ
	HBMx120-5-5	40-20-40-20-40	160	6,300	たわみ
	HBMx120-5-5	40-30-40-30-40	180	6,800	たわみ
	Mx120-5-7	30-30-30-30-30-30-30	210	7,850	たわみ
	HBMx120-5-7	40-40-20-20-20-40-40	220	8,500	たわみ
	HBMx120-5-7	40-40-20-40-20-40-40	240	9,000	たわみ
	※Mx120-9-9	30-30-30-30-30-30-30-30-30	270	8,300	たわみ
	Mx60-3-3	30-30-30	90	3,000	たわみ
	スギMx60-3-3	40-20-40	100	3,500	たわみ
	Mx60-3-4	30-30-30-30	120	3,850	たわみ
	Mx60-5-5	30-30-30-30-30	150	4,600	たわみ
	スギMx60-5-5	40-20-20-20-40	140	4,600	たわみ
	スギMx60-5-5	40-20-40-20-40	160	5,150	たわみ
	スギMx60-5-5	40-30-40-30-40	180	5,500	たわみ
	Mx60-5-7	30-30-30-30-30-30-30	210	6,450	たわみ
	スギMx60-5-7	40-40-20-20-20-40-40	220	6,950	たわみ
スギMx60-5-7	40-40-20-40-20-40-40	240	7,350	たわみ	
※Mx60-9-9	30-30-30-30-30-30-30-30-30	270	6,950	たわみ	

※ 9層9プライは、告示第1024号で面外方向は基準強度を定めていないため設計で用いることはできない。表の値は参考値として示している。

図 2.1.3-2 非等厚構成 CLT と等厚構成 CLT の床パネルの許容スパン (住宅床 (防火仕様) を想定)

## 2.2 非等厚構成 CLT 製造用ラミナの製造

### 2.2.1 スギラミナ、ヒノキラミナの強度等級区分

長さ 3m のスギ丸太、ヒノキ丸太を準備し、スギ丸太からは CLT に使用するラミナの厚さ(仕上げ厚さ)20mm、30mm、40mm を目標として、ヒノキ丸太からは仕上げ厚さ 40mm を目標として製材した。ラミナの幅はすべての厚さのラミナについて仕上げ幅 140mm を目標とした。製材した材を人工乾燥し、表 2.2.1-1、写真 2.2.1-1 に示す乾燥後ラミナを得た。

それぞれの乾燥後ラミナについて、打撃式(縦振動方式)の強度等級区分を用いてヤング係数を求め、スギラミナは内層用と外層用に区分し、ヒノキラミナは外層用を得た。各ラミナのヤング係数の区分値を表 2.2.1-2 に、仕上げ厚さ 40mm 用の乾燥後ラミナのヤング係数の分布を図 2.2.1-1、図 2.2.1-2 に示す。

表 2.2.1-1 乾燥後ラミナの寸法

樹種	仕上げ厚 mm	乾燥後ラミナ寸法		
		厚さ mm	幅 mm	長さ mm
スギ	20	25	143	3000
	30	33	143	3000
	40	45	143	3000
ヒノキ	40	45	143	3000

表 2.2.1-2 ラミナのヤング係数の区分値

	樹種	仕上げ厚 mm	打撃式(縦振動)グレーディングマシン で測定したヤング係数の区分値 kN/mm <sup>2</sup>	
内層用	スギ	20	2.5以上	8.0未満
		30	2.5以上	8.0未満
		40	2.5以上	7.0未満
外層用	スギ	40	7.0以上	11.0未満
	ヒノキ	40	9.5以上	15.0未満

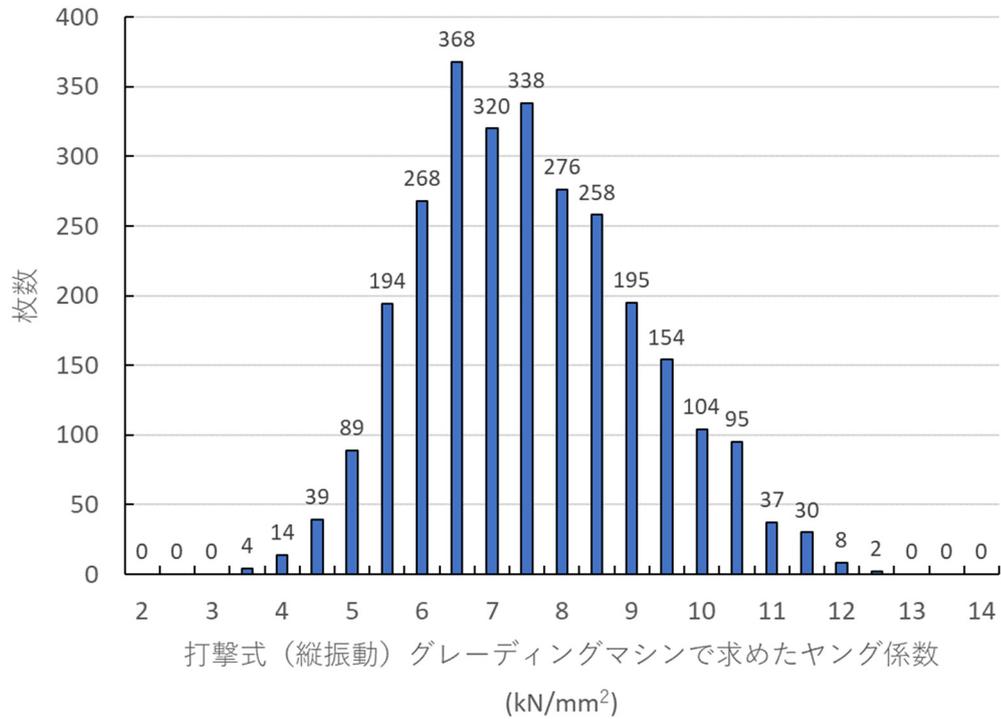


図 2.2.1-1 仕上げ厚さ 40mm 用のスギ乾燥後ラミナ (厚さ 45mm) (2794 枚) の打撃式 (縦振動) グレーディングマシンによるヤング係数の測定結果

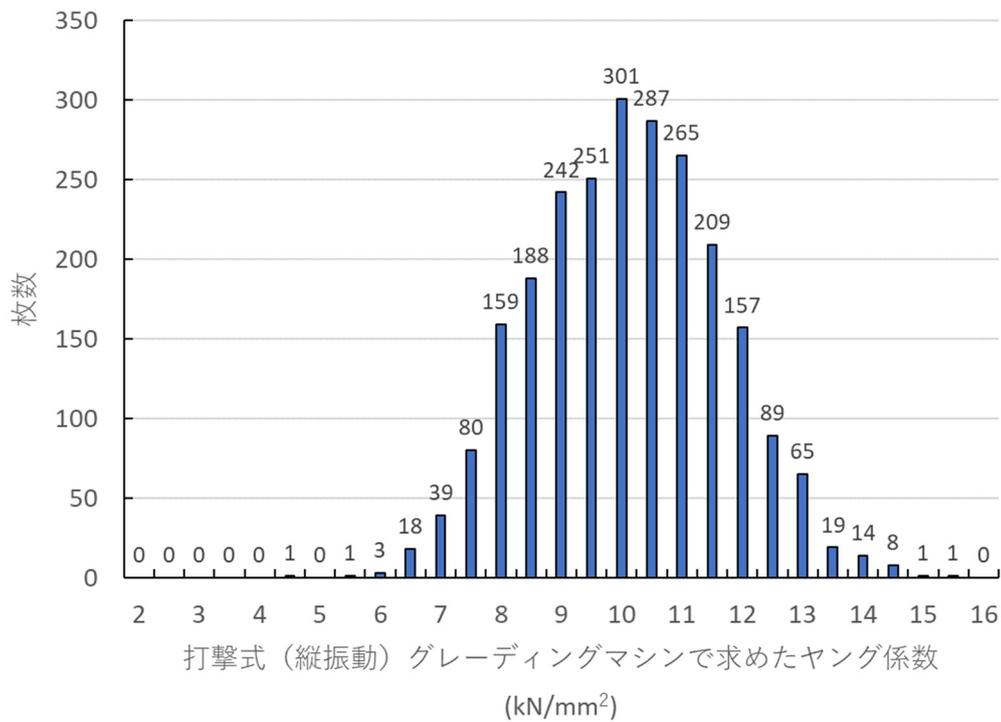


図 2.2.1-2 仕上げ厚さ 40mm 用のヒノキ乾燥後ラミナ (厚さ 45mm) (2398 枚) の打撃式 (縦振動) グレーディングマシンによるヤング係数の測定結果



写真 2. 2. 1-1 非等厚構成 CLT の製造に用いた乾燥後ラミナ（スギ）

### 2. 2. 2 非等厚構成 CLT 大版パネルの製造

強度等級区分した各厚さのスギ及びヒノキの乾燥後ラミナを、それぞれ水平フィンガージョイント(FJ)でたて継ぎした後、所定の長さ切断し、表 2.2.2-1 に示す断面寸法に仕上げ、CLT 製造用ラミナとした。なお、FJ のフィンガー長さは 15mm、接着には水性高分子イソシアネート系接着剤を用いた。

次に、CLT 製造用ラミナを用いて表 2.2.2-2 に示すとおり、全層にスギを用いた非等厚構成 CLT (以下、スギ非等厚構成 CLT)、及び外層にヒノキ、内層にスギを用いた非等厚構成 CLT (以下、ヒノキースギ非等厚構成 CLT) の大版パネルを製造した(写真 2.2.2-1)。ラミナの積層接着には水性高分子イソシアネート系接着剤を用いた。

表 2. 2. 2-1 CLT 製造用ラミナの断面寸法

樹種	厚さ mm	幅 mm
スギ	20	140
	30	140
	40	140
ヒノキ	40	140

表 2.2.2-2 非等厚構成 CLT のラミナ厚さ、層構成

層構成		ラミナ厚さ構成	ラミナの方向
全層スギ	3L3P	40-20-40	= ⊥ =
	5L5P	40-20-20-20-40	= ⊥ = ⊥ =
	5L5P	40-20-40-20-40	= ⊥ = ⊥ =
	5L5P	40-30-40-30-40	= ⊥ = ⊥ =
	5L7P	40-40-20-20-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =
	5L7P	40-40-20-40-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =
外層ヒノキ 内層スギ	3L3P	40-20-40	= ⊥ =
	5L5P	40-20-20-20-40	= ⊥ = ⊥ =
	5L5P	40-20-40-20-40	= ⊥ = ⊥ =
	5L5P	40-30-40-30-40	= ⊥ = ⊥ =
	5L7P	40-40-20-20-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =
	5L7P	40-40-20-40-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =

※例えば、層構成 3L3P は 3 層 3 プライを示し、  
40-20-40 は各プライのラミナ厚さ（単位 mm）を示す。



写真 2.2.2-1 製造した非等厚構成 CLT（スギ）の大版パネル

## 2.3 フィンガージョイント (FJ) ラミナの強度性能

### 2.3.1 FJ ラミナ試験体の製造

CLT 製造用ラミナと同様に、強度等級区分した各厚さの乾燥後スギ及びヒノキラミナを水平フィンガージョイント (FJ) し、4m あるいは 6m に切断した後、表 2.3.1-1 に示す断面寸法 (CLT 製造用ラミナと同じ寸法) に仕上げた。なお、FJ のフィンガー長さは 15mm、接着には水性高分子イソシアネート系接着剤を用いた。各仕上げ寸法のラミナから、引張り試験体、圧縮試験体、曲げ試験体を切り出し、試験に供した。なお、各試験体の長さ方向のほぼ中央に FJ が配置されるよう試験体を切り出した。

表 2.3.1-1 FJ ラミナ試験体の断面寸法

樹種	厚さ mm	幅 mm
スギ	20	140
	30	140
	40	140
ヒノキ	40	140

### 2.3.2 FJ ラミナの引張り試験

#### 2.3.2.1 目的

厚さ 20mm、30mm、40mm のスギ FJ ラミナ、及び厚さ 40mm のヒノキ FJ ラミナの繊維方向の引張り強度性能を把握する。

#### 2.3.2.2 引張り試験体と引張り試験方法

スギ FJ ラミナ引張り試験体及びヒノキ FJ ラミナ引張り試験体の寸法を表 2.3.2-1 に示す。引張り試験方法は直交集成板の JAS に定められるラミナの引張り試験に準じた。チャック間の距離は 600mm とし、チャック間のほぼ中央に試験体の FJ を配置した。

表 2.3.2-1 FJ ラミナ引張り試験体の寸法

樹種	厚さ mm	幅 mm	長さ mm
スギ	20	140	2000
	30	140	2000
	40	140	2000
ヒノキ	40	140	2000

### 2.3.2.3 引張り試験結果

各厚さのスギ、ヒノキ FJ ラミナ試験体の引張り試験結果を表 2.3.2-2 に示す。また、各 FJ ラミナ試験体について、厚さごとの密度、縦振動法によるヤング係数、及び引張り強度の平均値と標準偏差をそれぞれ図 2.3.2-1～図 2.3.2-3 に示す。

表 2.3.2-2 FJ ラミナの引張り試験結果

		密度 (kg/m <sup>3</sup> )	Efr-L (kN/mm <sup>2</sup> )	$\sigma t$ (N/mm <sup>2</sup> )	MC (%)
スギ内層用20mm	mean	395	7.6	22.9	11.7
	min	314	6.0	16.4	10.3
	max	480	9.2	29.4	14.0
	SD	36.2	0.8	3.3	0.8
	CV(%)	9.2	10.1	14.5	7.0
スギ内層用30mm	mean	422	7.1	22.8	10.4
	min	361	4.9	12.2	8.1
	max	493	9.0	34.6	14.5
	SD	35.2	1.2	6.2	1.7
	CV(%)	8.3	16.1	27.3	16.1
スギ内層用40mm	mean	382	6.9	22.2	10.5
	min	335	5.1	15.4	7.3
	max	481	8.4	32.2	14.8
	SD	32.8	0.8	4.6	1.7
	CV(%)	8.6	11.3	20.5	16.6
スギ外層用40mm	mean	420	10.0	30.7	9.0
	min	379	8.4	22.4	8.0
	max	476	12.2	38.6	11.1
	SD	27.7	0.8	3.9	0.6
	CV(%)	6.6	7.8	12.8	7.2
ヒノキ外層用40mm	mean	512	13.0	42.8	13.0
	min	418	11.3	24.8	9.9
	max	586	17.1	53.5	17.4
	SD	36.0	1.1	6.4	1.6
	CV(%)	7.0	8.7	15.0	12.3

※Efr-L：縦振動法によるヤング係数、 $\sigma t$ ：引張り強度、MC：全乾法による含水率

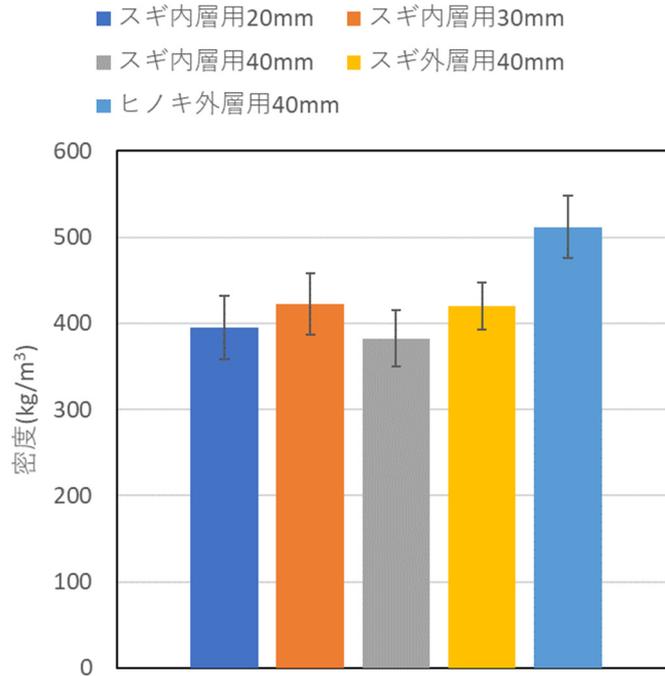


図 2.3.2-1 FJ ラミナ引張り試験体の密度の平均値と標準偏差

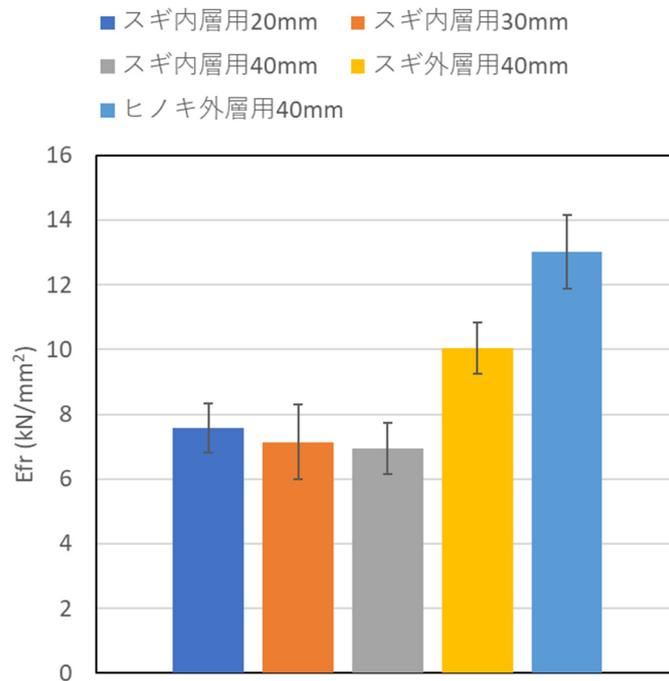


図 2.3.2-2 FJ ラミナ引張り試験体の縦振動法によるヤング係数の平均値と標準偏差

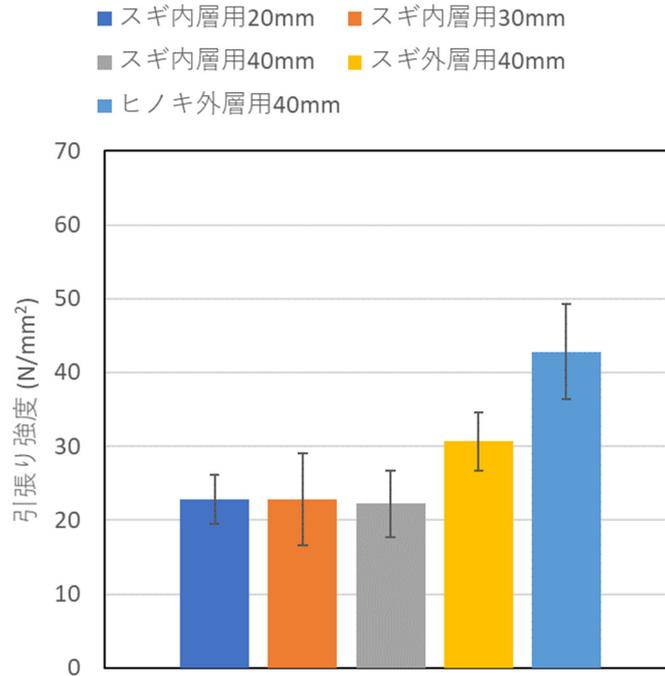


図 2.3.2-3 FJ ラミナ引張り試験体の引張り強度の平均値と標準偏差

### 2.3.3 FJ ラミナの圧縮試験

#### 2.3.3.1 目的

厚さ 20mm、30mm、40mm のスギ FJ ラミナ、及び厚さ 40mm のヒノキ FJ ラミナの繊維方向の圧縮強度性能を把握する。

#### 2.3.3.2 圧縮試験体と圧縮試験方法

スギ FJ ラミナ圧縮試験体及びヒノキ FJ ラミナ圧縮試験体の寸法を表 2.3.3-1 に示す。圧縮試験体の長さは断面寸法の短辺(試験体の厚さ)の 6 倍とし、長さ方向のほぼ中央に FJ が配置されるようにした。

表 2.3.3-1 FJ ラミナ圧縮試験体の寸法

樹種	厚さ mm	幅 mm	長さ mm
スギ	20	140	120
	30	140	180
	40	140	240
ヒノキ	40	140	240

### 2.3.3.3 圧縮試験結果

各厚さのスギ、ヒノキ FJ ラミナ試験体の圧縮試験結果を表 2.3.3-2 に示す。なお、表 2.3.3-2 に示した縦振動法によるヤング係数(Efr-L)は、試験体の切り出し時にエンドマッチした引張り試験体の Efr-L である。また、各 FJ ラミナ試験体について、厚さごとの密度及び圧縮強度の平均値と標準偏差をそれぞれ図 2.3.3-1～図 2.3.3-2 に示す。

表 2.3.3-2 FJ ラミナ試験体の圧縮試験結果

		密度 (kg/m <sup>3</sup> )	Efr-L (kN/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	MC (%)
スギ内層用20mm	mean	392	7.6	29.2	11.3
	min	321	6.0	23.0	9.9
	max	432	9.2	34.5	12.0
	SD	28.6	0.8	2.9	0.5
	CV(%)	7.3	10.1	10.0	4.0
スギ内層用30mm	mean	418	7.1	31.0	10.0
	min	338	4.9	24.7	8.4
	max	486	9.0	39.8	12.8
	SD	41.9	1.2	4.2	1.1
	CV(%)	10.0	16.1	13.5	11.5
スギ内層用40mm	mean	382	6.9	31.1	10.0
	min	328	5.1	24.5	8.4
	max	446	8.4	48.1	12.9
	SD	34.9	0.8	5.2	1.1
	CV(%)	9.1	11.3	16.6	10.7
スギ外層用40mm	mean	423	10.0	39.9	9.3
	min	372	8.4	34.1	8.6
	max	475	12.2	44.4	10.8
	SD	23.8	0.8	2.4	0.4
	CV(%)	5.6	7.8	6.0	4.6
ヒノキ外層用40mm	mean	512	13.0	45.2	12.8
	min	453	11.3	38.3	11.1
	max	572	17.1	53.0	14.8
	SD	28.7	1.1	3.6	1.1
	CV(%)	5.6	8.7	8.0	8.8

※Efr-L：縦振動法によるヤング係数（エンドマッチした引張り試験体の Efr-L）、  
 $\sigma_c$ ：圧縮強度、MC：全乾法による含水率

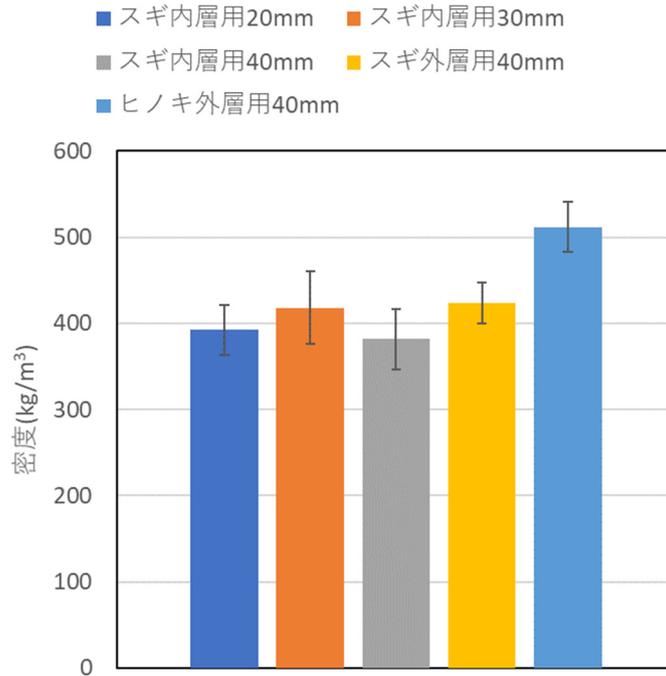


図 2. 3. 3-1 FJ ラミナ圧縮試験体の密度の平均値と標準偏差

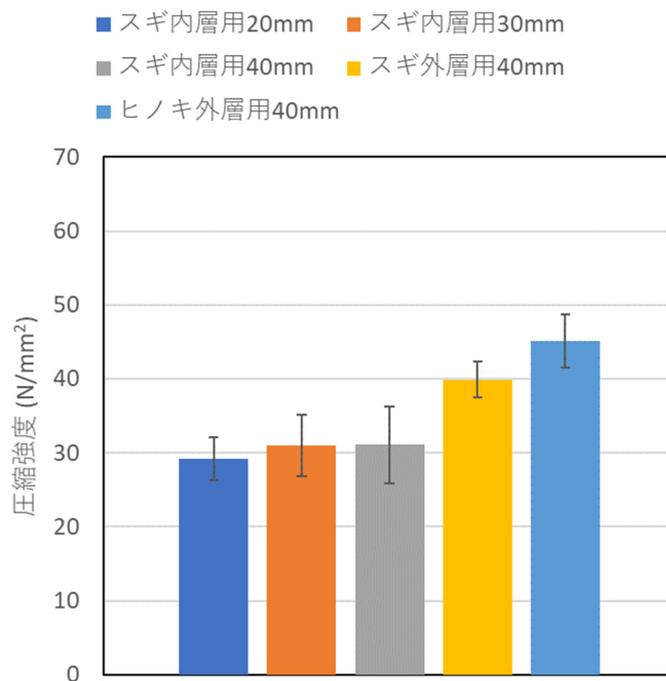


図 2. 3. 3-2 FJ ラミナ圧縮試験体の圧縮強度の平均値と標準偏差

## 2.3.4 FJ ラミナの曲げ試験

### 2.3.4.1 目的

厚さ 20mm、30mm、40mm のスギ FJ ラミナ、及び厚さ 40mm のヒノキ FJ ラミナの繊維方向の曲げ強度性能を把握する。

### 2.3.4.2 曲げ試験体と曲げ試験方法

スギ FJ ラミナ曲げ試験体及びヒノキ FJ ラミナ曲げ試験体の寸法を表 2.3.4-1 に示す。曲げ試験方法は直交集成板の JAS に定められるラミナの曲げ C 試験に準じて 3 等分点 4 点荷重方式とし、スパンを試験体厚さの 21 倍、荷重点間距離を試験体厚さの 7 倍とした。荷重点間のほぼ中央に試験体の FJ を配置した。試験の状況を写真 2.3.4-1 に示す。

表 2.3.4-1 FJ ラミナ曲げ試験体の寸法

樹種	厚さ mm	幅 mm	長さ mm
スギ	20	140	500
	30	140	750
	40	140	1000
ヒノキ	40	140	1000



写真 2.3.4-1 FJ ラミナの曲げ試験の実施状況（スギ、ラミナ厚さ 40mm）

### 2.3.4.3 曲げ試験結果

各厚さのスギ、ヒノキ FJ ラミナ試験体の曲げ試験結果を表 2.3.4-2 に示す。また、各 FJ ラミナ試験体について、厚さごとの密度、曲げヤング係数、及び曲げ強度の平均値と標準偏差をそれぞれ図 2.3.4-1～図 2.3.4-3 に示す。試験体の破壊はほぼすべての試験体で FJ であった。

表 2.3.4-2 FJ ラミナの曲げ試験結果

		密度 (kg/m <sup>3</sup> )	E <sub>app</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>b</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	MC (%)
スギ内層用20mm	mean	394	7.5	31.3	11.2
	min	328	5.0	19.8	10.0
	max	455	8.8	41.6	12.2
	SD	35.6	0.9	4.4	0.6
	CV(%)	9.0	11.5	14.2	5.3
スギ内層用30mm	mean	425	7.0	29.7	10.0
	min	347	4.8	17.9	8.3
	max	505	9.1	38.8	11.7
	SD	34.5	1.2	4.4	1.1
	CV(%)	8.1	16.7	14.9	11.1
スギ内層用40mm	mean	374	6.8	29.3	9.6
	min	299	4.9	18.4	8.0
	max	453	8.2	41.1	13.1
	SD	38.2	0.7	5.2	1.3
	CV(%)	10.2	9.9	17.6	13.2
スギ外層用40mm	mean	429	10.0	36.8	9.0
	min	391	8.0	24.0	8.1
	max	500	12.3	43.5	10.8
	SD	28.2	1.1	4.4	0.8
	CV(%)	6.6	10.6	12.0	8.5
ヒノキ外層用40mm	mean	510	12.4	53.7	12.6
	min	463	10.4	35.1	11.2
	max	569	15.1	71.8	14.9
	SD	24.7	1.1	8.0	1.0
	CV(%)	4.9	8.9	14.9	7.8

※E<sub>app</sub> : 曲げ試験時のスパン中央のたわみ量から求めた曲げヤング係数、σ<sub>b</sub> : 曲げ強度、MC : 全乾法による含水率

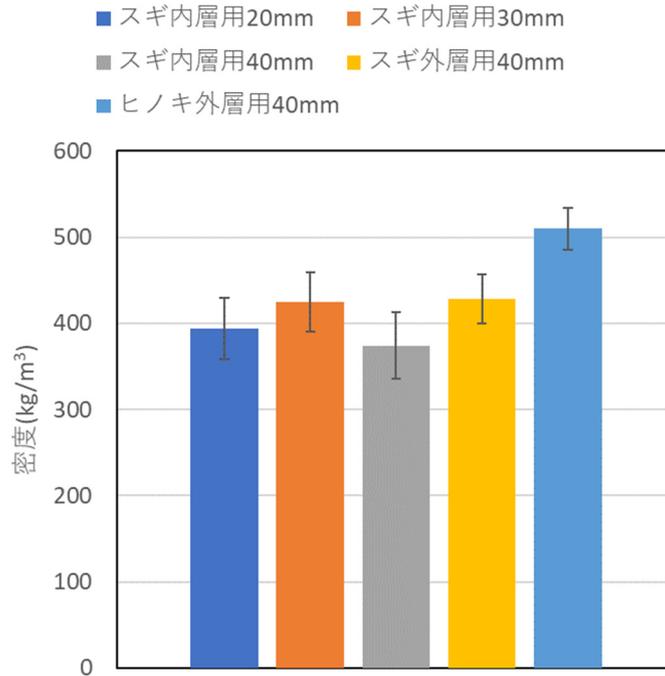


図 2.3.4-1 FJ ラミナ曲げ試験体の密度の平均値と標準偏差

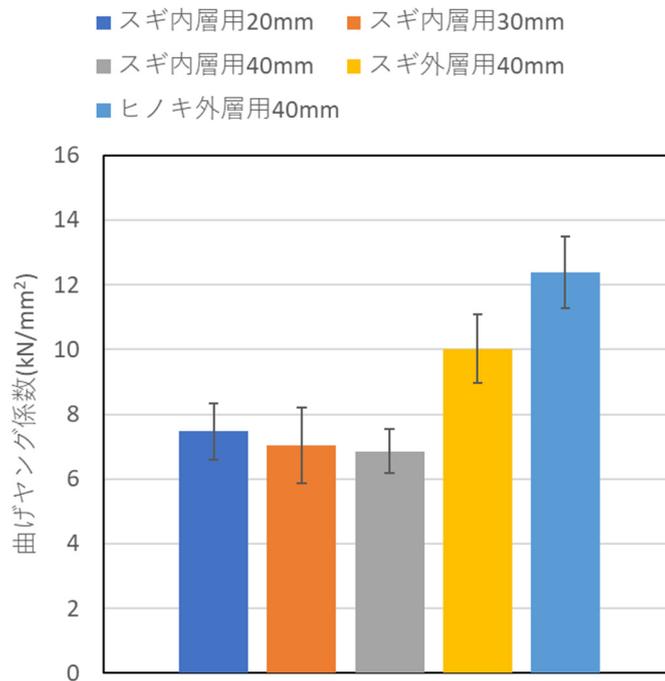


図 2.3.4-2 FJ ラミナ曲げ試験体の曲げヤング係数の平均値と標準偏差

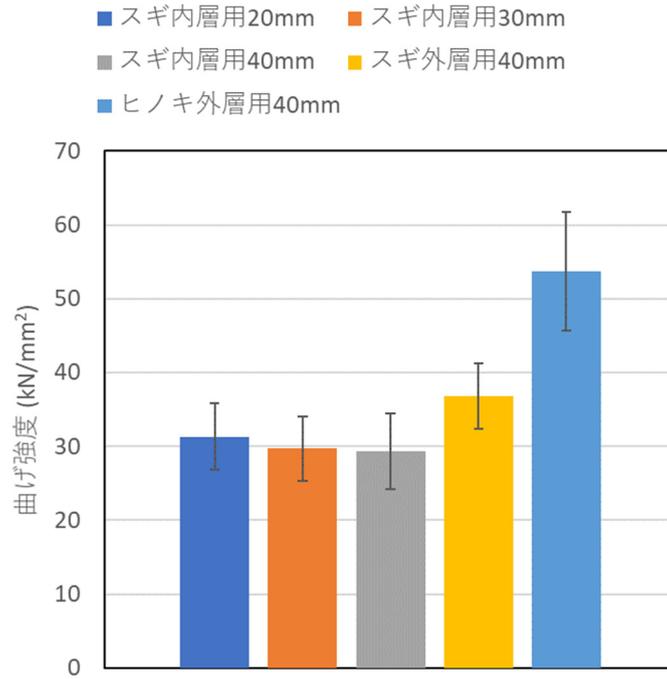


図 2. 3. 4-3 FJ ラミナ曲げ試験体の曲げ強度の平均値と標準偏差

## 2.4 非等厚構成 CLT の強度性能

### 2.4.1 非等厚構成 CLT 試験体

前項2.2で製造した非等厚構成 CLT の各大版パネルから表 2.4.1-1 に示す断面寸法の引張り試験体、圧縮試験体、曲げ試験体、せん断試験体を採取し、試験に供した。試験体はいずれも強軸方向の試験体とした。

表 2.4.1-1 非等厚構成 CLT 試験体のラミナ厚さ、層構成、断面寸法

層構成		ラミナ厚さ構成	ラミナの方向	CLT試験体断面寸法	
				厚さ mm	幅 mm
全層スギ	3L3P	40-20-40	= ⊥ =	100	300
	5L5P	40-20-20-20-40	= ⊥ = ⊥ =	140	300
	5L5P	40-20-40-20-40	= ⊥ = ⊥ =	160	300
	5L5P	40-30-40-30-40	= ⊥ = ⊥ =	180	300
	5L7P	40-40-20-20-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =	220	300
	5L7P	40-40-20-40-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =	240	300
外層ヒノキ 内層スギ	3L3P	40-20-40	= ⊥ =	100	300
	5L5P	40-20-20-20-40	= ⊥ = ⊥ =	140	300
	5L5P	40-20-40-20-40	= ⊥ = ⊥ =	160	300
	5L5P	40-30-40-30-40	= ⊥ = ⊥ =	180	300
	5L7P	40-40-20-20-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =	220	300
	5L7P	40-40-20-40-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =	240	300

※例えば、層構成 3L3P は 3 層 3 プライを示し、  
40-20-40 は各プライのラミナ厚さ（単位 mm）を示す。

### 2.4.2 非等厚構成 CLT の引張り試験

#### 2.4.2.1 目的

スギ非等厚構成 CLT 及びヒノキスギ非等厚構成 CLT の強軸方向の引張り強度性能を把握する。

#### 2.4.2.2 引張り試験体と引張り試験方法

引張り試験は、ラミナ厚さ構成 40-20-40 の 3 層 3 プライ構成 CLT 及びラミナ厚さ構成 40-20-20-20-40 の 5 層 5 プライ CLT について実施した。試験体の寸法を表 2.4.2-1 に示す。引張り試験方法は構造用木材の強度試験マニュアルに定められる引張り試験方法と同様の方法とし、チャック間の距離は CLT 試験体の断面寸法の長辺（試験体の幅）の 10 倍である 3000mm とし、引張り試験時の変位を測定する標点間距離は 1000mm とした。外層ラミナの少なくとも 1 枚においてはチャック間に FJ が配置されるようにした。試験の状況を写真 2.4.2-1 に示す。

表 2.4.2-1 非等厚構成 CLT 引張り試験体の寸法

層構成		ラミナ厚さ構成	ラミナの方向	CLT試験体寸法		
				厚さ mm	幅 mm	長さ mm
全層スギ	3L3P	40-20-40	= ⊥ =	100	300	5400
	5L5P	40-20-20-20-40	= ⊥ = ⊥ =	140	300	5400
外層ヒノキ 内層スギ	3L3P	40-20-40	= ⊥ =	100	300	5400
	5L5P	40-20-20-20-40	= ⊥ = ⊥ =	140	300	5400



写真 2.4.2-1 非等厚構成 CLT の引張り試験の実施状況（スギ3層3プライ、40-20-40mm 構成）

### 2.4.2.3 引張り試験結果

スギ非等厚構成 CLT 試験体及びヒノキスギ非等厚構成 CLT 試験体の強軸方向の引張り試験結果を表 2.4.2-2 に示す。また、各 CLT 試験体について、密度、引張りヤング係数、及び引張り強度の平均値と標準偏差をそれぞれ図 2.4.2-1～図 2.4.2-3 に示す。破壊は、外層ラミナの FJ で生じた。

表 2.4.2-2 非等厚構成 CLT の引張り試験結果（スギ、ヒノキースギ強軸方向）

		密度 (kg/m <sup>3</sup> )	Et (kN/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	M.C. (%)
スギ40-20-40	mean	422	7.9	13.5	10.4
	min	416	7.5	11.5	9.6
	max	431	8.1	15.7	11.8
	SD	6.2	0.3	1.7	0.9
	CV(%)	1.5	3.2	12.8	9.0
スギ40-20-20-20-40	mean	416	6.7	19.0	10.3
	min	410	6.5	17.6	9.9
	max	424	6.9	20.3	11.0
	SD	5.5	0.2	1.0	0.4
	CV(%)	1.3	2.5	5.0	3.6
ヒノキースギ40-20-40	mean	493	9.6	23.9	12.5
	min	474	8.7	21.4	11.5
	max	535	11.0	26.3	13.3
	SD	22.1	0.8	1.6	0.6
	CV(%)	4.5	8.7	6.9	5.2
ヒノキースギ40-20-20-20-40	mean	465	8.3	22.1	12.8
	min	457	8.0	20.9	12.4
	max	476	8.7	23.1	13.5
	SD	7.2	0.3	0.8	0.4
	CV(%)	1.6	3.1	3.8	3.3

※Et：引張りヤング係数、 $\sigma_t$ ：引張り強度、MC：全乾法による含水率

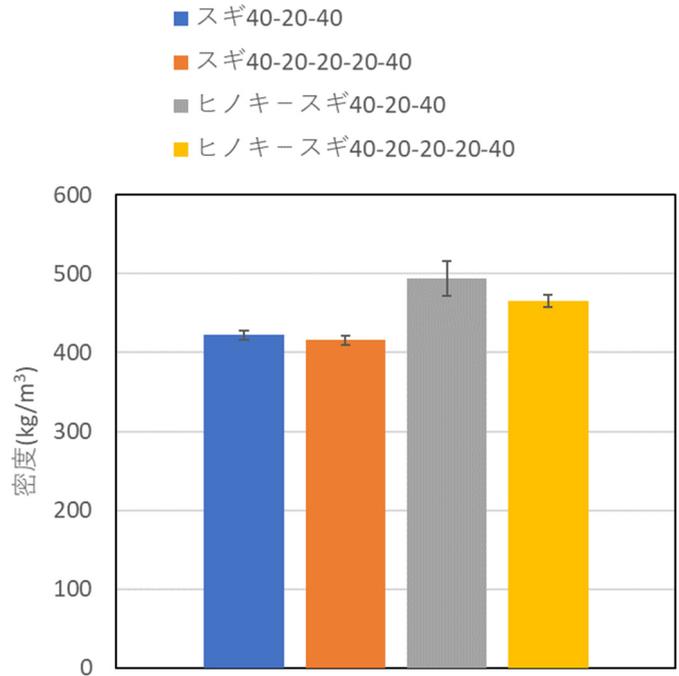


図 2. 4. 2-1 非等厚構成 CLT 引張り試験体の密度の平均値と標準偏差

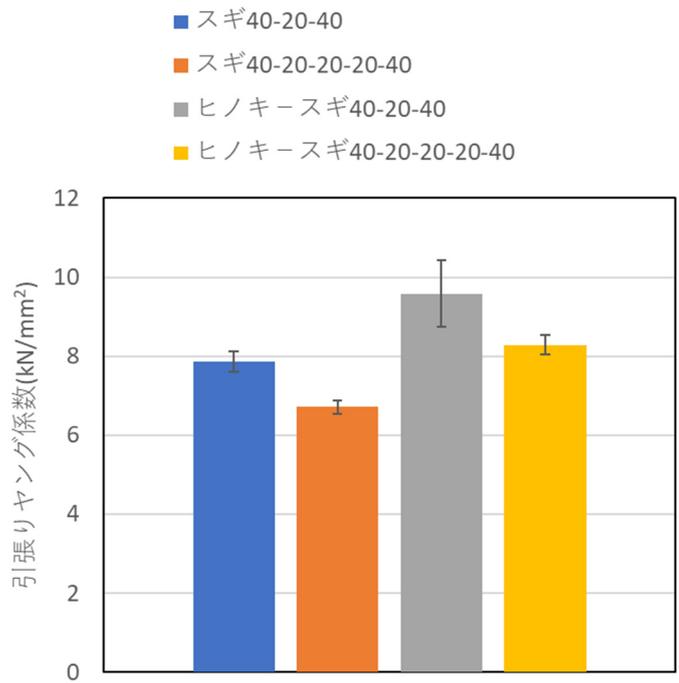


図 2. 4. 2-2 非等厚構成 CLT 引張り試験体の引張りヤング係数の平均値と標準偏差

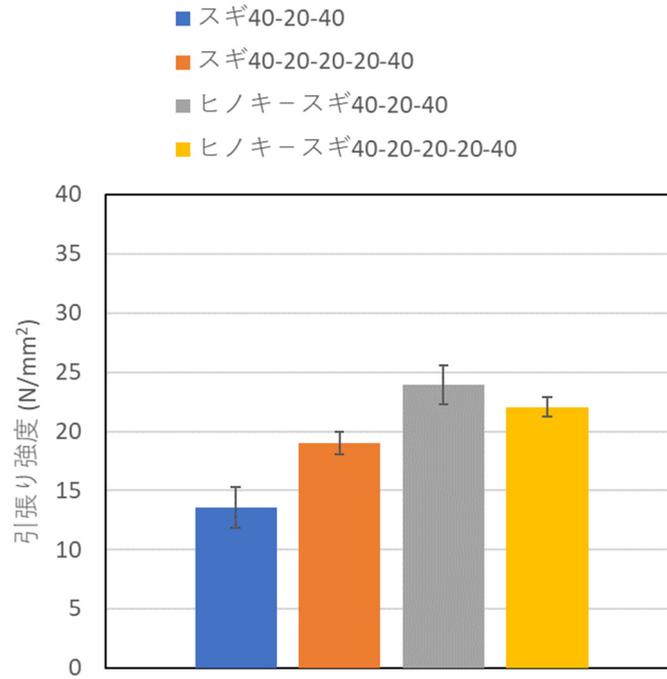


図 2.4.2-3 非等厚構成 CLT 引張り試験体の引張り強度の平均値と標準偏差

### 2.4.3 非等厚構成 CLT の圧縮試験

#### 2.4.3.1 目的

スギ非等厚構成 CLT 及びヒノキスギ非等厚構成 CLT の強軸方向の圧縮強度性能を把握する。

#### 2.4.3.2 圧縮試験体と圧縮試験方法

各構成のスギ非等厚構成 CLT 及びヒノキスギ非等厚構成 CLT について強軸方向の圧縮試験を実施した。試験体の寸法を表 2.4.3-1 に示す。圧縮試験方法は構造用木材の強度試験マニュアルに定められる圧縮試験方法と同様の方法とした。試験体の長さは CLT 試験体の断面寸法の短辺（試験体の厚さ）の 6 倍とした。ただし、5 層 7 プライの試験体の長さは試験体厚さの 4 倍とした。外層ラミナの少なくとも 1 枚においてはチャック間に FJ が配置されるようにした。試験の状況を写真 2.4.3-1 に示す。

表 2.4.3-1 非等厚構成 CLT 圧縮試験体の寸法

層構成		ラミナ厚さ構成	ラミナの方向	CLT試験体寸法		
				厚さ mm	幅 mm	長さ mm
全層スギ	3L3P	40-20-40	= ⊥ =	100	300	600
	5L5P	40-20-20-20-40	= ⊥ = ⊥ =	140	300	840
	5L5P	40-20-40-20-40	= ⊥ = ⊥ =	160	300	960
	5L5P	40-30-40-30-40	= ⊥ = ⊥ =	180	300	1080
	5L7P	40-40-20-20-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =	220	300	880
	5L7P	40-40-20-40-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =	240	300	960
外層ヒノキ 内層スギ	3L3P	40-20-40	= ⊥ =	100	300	600
	5L5P	40-20-20-20-40	= ⊥ = ⊥ =	140	300	840
	5L5P	40-20-40-20-40	= ⊥ = ⊥ =	160	300	960
	5L5P	40-30-40-30-40	= ⊥ = ⊥ =	180	300	1080
	5L7P	40-40-20-20-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =	220	300	880
	5L7P	40-40-20-40-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =	240	300	960



写真 2.4.3-1 非等厚構成 CLT の圧縮試験の実施状況

(左：スギ3層3プライ、40-20-40mm 構成)

(右：ヒノキースギ5層7プライ、40-40-20-40-20-40-40 mm 構成)

### 2.4.3.3 圧縮試験結果

スギ非等厚構成 CLT 試験体及びヒノキースギ非等厚構成 CLT 試験体の強軸方向の圧縮試験結果を、それぞれ表 2.4.3-2、表 2.4.3-3 に示す。また、各 CLT 試験体について、密度、圧縮ヤング係数、及び圧縮強度の平均値と標準偏差を、それぞれ図 2.4.3-1～図 2.4.3-3、図 2.4.3-4～図 2.4.3-6 に示す。破壊は、外層ラミナの FJ で生じた。

表 2.4.3-2 非等厚構成 CLT の圧縮試験結果（スギ、強軸方向）

		密度 (kg/m <sup>3</sup> )	E <sub>c</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	M.C. (%)
スギ40-20-40	mean	414	8.1	28.6	10.3
	min	402	6.9	27.0	9.4
	max	424	8.8	30.7	11.6
	SD	8.1	0.7	1.5	0.5
	CV(%)	2.0	8.4	5.1	4.6
スギ40-20-20-20-40	mean	422	6.8	29.8	10.3
	min	410	6.4	28.2	9.9
	max	428	7.5	31.2	10.6
	SD	7.7	0.4	1.1	0.4
	CV(%)	1.8	6.1	3.7	3.5
スギ40-20-40-20-40	mean	403	5.6	23.5	10.4
	min	396	5.3	22.6	9.8
	max	408	6.0	24.3	11.0
	SD	5.7	0.3	0.7	0.4
	CV(%)	1.4	4.6	3.1	4.1
スギ40-30-40-30-40	mean	413	5.5	22.3	10.4
	min	406	5.0	21.6	9.8
	max	431	6.1	23.0	11.0
	SD	9.3	0.4	0.7	0.3
	CV(%)	2.3	8.2	3.0	2.8
スギ40-40-20-20-20-40-40	mean	425	7.5	33.0	10.7
	min	417	6.5	32.0	10.1
	max	443	8.1	33.8	11.4
	SD	9.8	0.7	0.6	0.3
	CV(%)	2.3	8.8	2.0	3.2
スギ40-40-20-40-20-40-40	mean	419	7.8	30.8	9.9
	min	413	6.8	28.8	9.6
	max	429	9.0	32.3	10.3
	SD	5.6	0.7	1.4	1.0
	CV(%)	1.3	9.5	4.5	10.4

※E<sub>c</sub> : 圧縮ヤング係数、σ<sub>c</sub> : 圧縮強度、MC : 全乾法による含水率

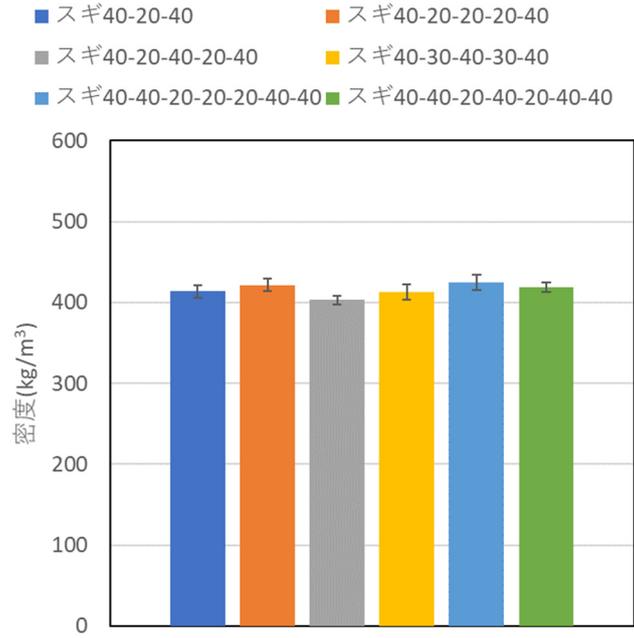


図 2. 4. 3-1 非等厚構成 CLT 圧縮試験体の密度の平均値と標準偏差 (スギ)

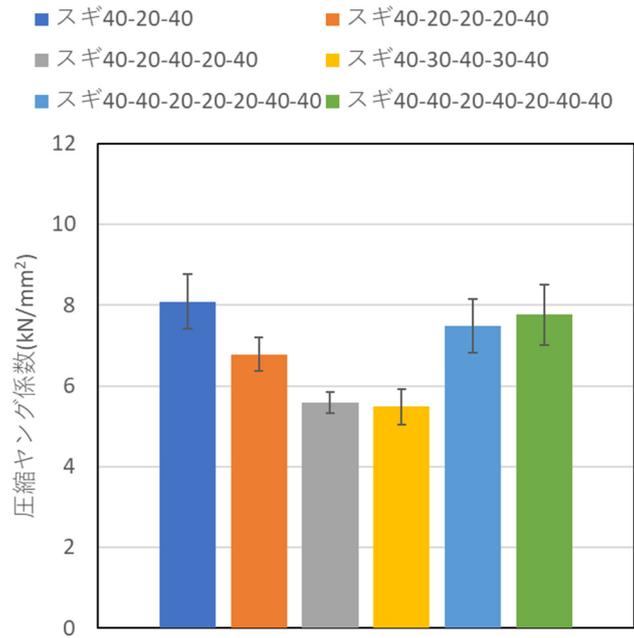


図 2. 4. 3-2 非等厚構成 CLT 圧縮試験体の圧縮ヤング係数の平均値と標準偏差 (スギ)

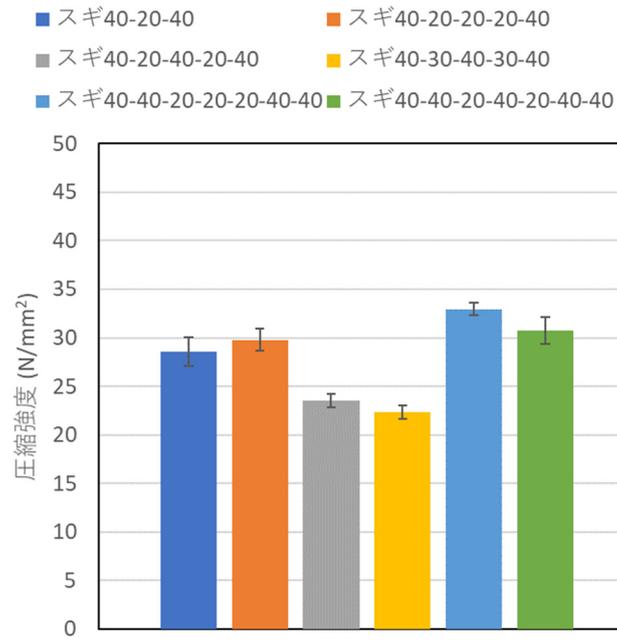


図 2. 4. 3-3 非等厚構成 CLT 圧縮試験体の圧縮強度の平均値と標準偏差 (スギ)

表 2.4.3-3 非等厚構成 CLT の圧縮試験結果（ヒノキースギ、強軸方向）

		密度 (kg/m <sup>3</sup> )	E <sub>c</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	MC (%)
ヒノキースギ40-20-40	mean	483	10.2	37.8	12.4
	min	472	8.9	34.8	12.0
	max	497	10.9	39.9	13.3
	SD	9.4	0.8	2.0	0.2
	CV(%)	1.9	8.1	5.3	1.9
ヒノキースギ40-20-20-20-40	mean	473	8.4	32.0	12.8
	min	457	7.8	30.1	12.3
	max	486	8.8	33.4	13.2
	SD	10.9	0.4	1.2	0.9
	CV(%)	2.3	4.3	3.9	7.2
ヒノキースギ40-20-40-20-40	mean	462	8.1	32.0	11.7
	min	454	6.8	31.4	11.2
	max	469	8.8	32.9	12.0
	SD	5.8	0.7	0.5	0.9
	CV(%)	1.3	8.6	1.6	7.6
ヒノキースギ40-30-40-30-40	mean	459	7.4	29.6	11.1
	min	448	6.9	28.8	10.4
	max	463	7.8	30.4	11.8
	SD	6.0	0.4	0.7	0.5
	CV(%)	1.3	5.1	2.3	4.9
ヒノキースギ40-40-20-20-20-40-40	mean	490	9.8	36.4	13.1
	min	474	9.2	35.8	12.8
	max	503	10.6	37.7	13.4
	SD	11.5	0.5	0.7	0.3
	CV(%)	2.4	4.7	1.9	2.6
ヒノキースギ40-40-20-40-20-40-40	mean	475	10.2	36.1	12.6
	min	456	9.0	35.4	12.4
	max	485	11.3	36.7	12.9
	SD	9.9	0.9	0.5	0.1
	CV(%)	2.1	9.3	1.3	0.6

※E<sub>c</sub> : 圧縮ヤング係数、σ<sub>c</sub> : 圧縮強度、MC : 全乾法による含水率

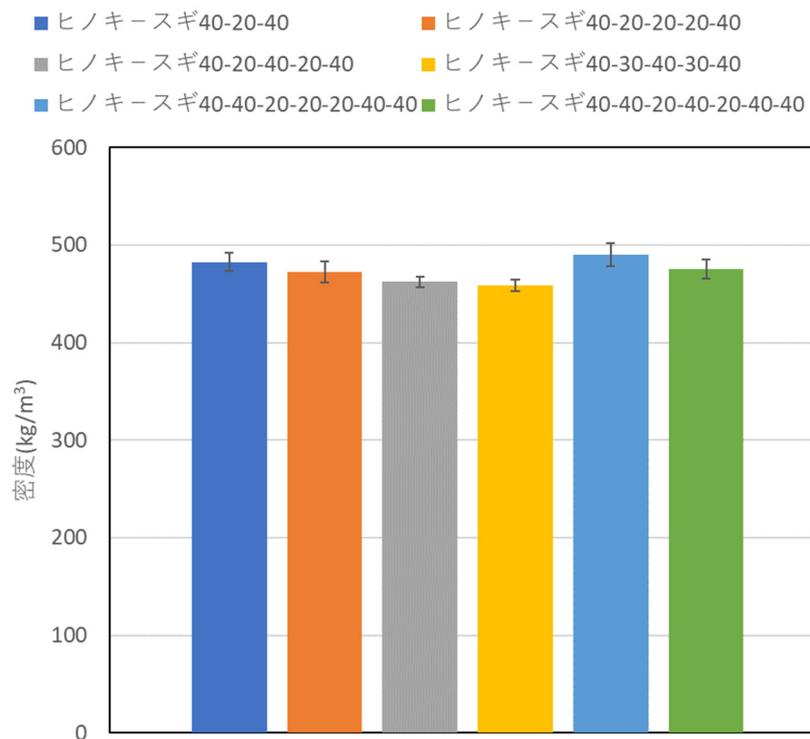


図 2. 4. 3-4 非等厚構成 CLT 圧縮試験体の密度の平均値と標準偏差 (ヒノキースギ)

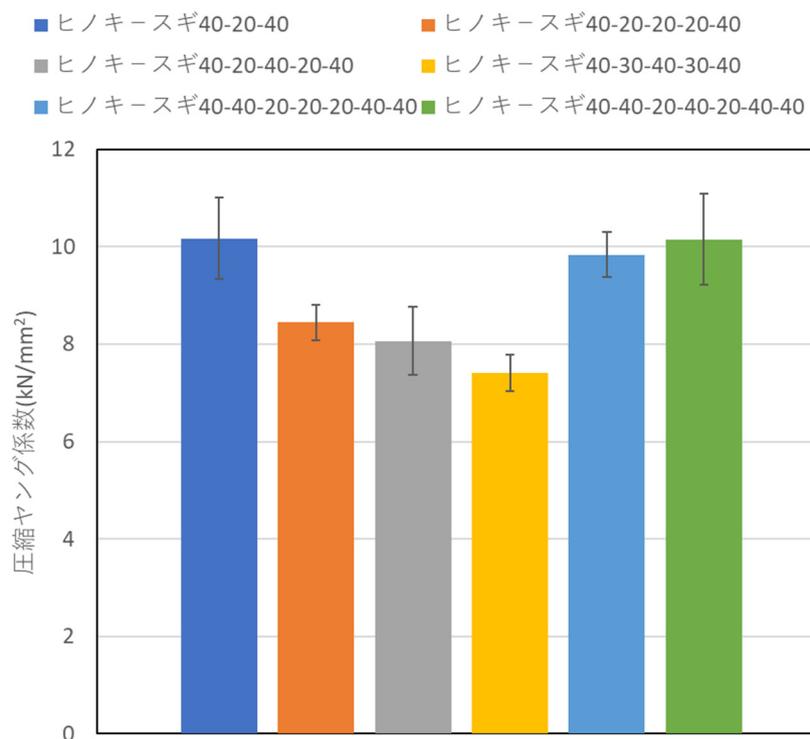


図 2. 4. 3-5 非等厚構成 CLT 圧縮試験体の圧縮ヤング係数の平均値と標準偏差 (ヒノキースギ)

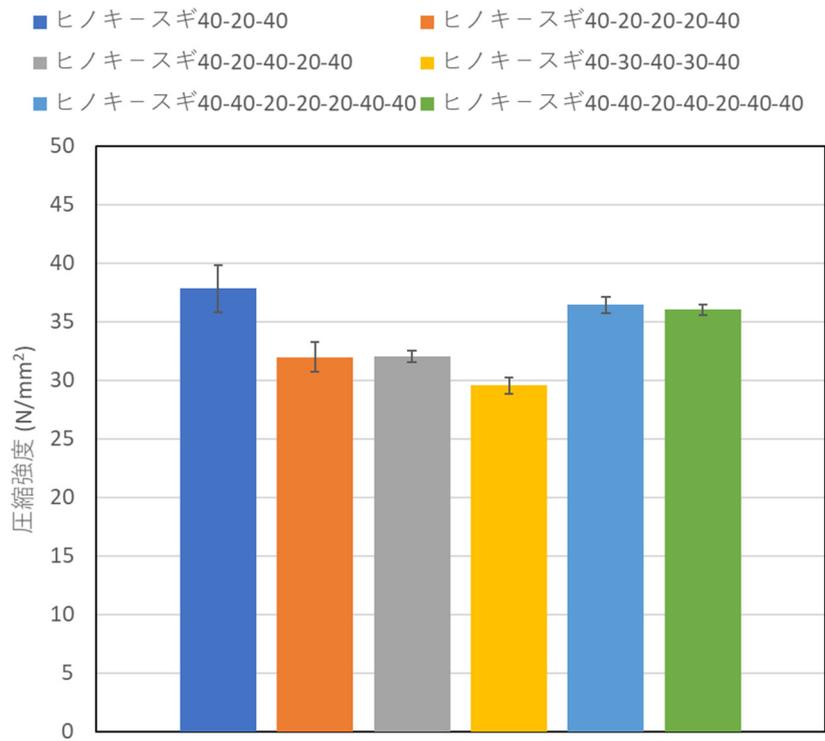


図 2.4.3-6 非等厚構成 CLT 圧縮試験体の圧縮強度の平均値と標準偏差 (ヒノキースギ)

## 2.4.4 非等厚構成 CLT の曲げ試験

### 2.4.4.1 目的

スギ非等厚構成 CLT 及びヒノキスギ非等厚構成 CLT の強軸方向の曲げ強度性能を把握する。

### 2.4.4.2 曲げ試験体と曲げ試験方法

各構成のスギ非等厚構成 CLT 及びヒノキスギ非等厚構成 CLT について強軸方向の曲げ試験を実施した。試験体の寸法を表 2.4.4-1 に示す。曲げ試験方法は直交集成板の JAS に定められる曲げ試験に準じて 3 等分点 4 点荷重方式とし、スパンを試験体厚さの 21 倍、荷重点間距離を試験体厚さの 7 倍とした。試験体の下側(引張り側)の外層ラミナの少なくとも 1 枚においては荷重点間に FJ が配置されるようにした。試験の状況を写真 2.4.4-1 に示す。

表 2.4.4-1 非等厚構成 CLT 曲げ試験体の寸法

層構成	ラミナ厚さ構成	ラミナの方向	CLT試験体寸法			
			厚さ mm	幅 mm	長さ mm	
全層スギ	3L3P	40-20-40	= ⊥ =	100	300	2300
	5L5P	40-20-20-20-40	= ⊥ = ⊥ =	140	300	3220
	5L5P	40-20-40-20-40	= ⊥ = ⊥ =	160	300	3680
	5L5P	40-30-40-30-40	= ⊥ = ⊥ =	180	300	4140
	5L7P	40-40-20-20-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =	220	300	5060
	5L7P	40-40-20-40-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =	240	300	5520
外層ヒノキ 内層スギ	3L3P	40-20-40	= ⊥ =	100	300	2300
	5L5P	40-20-20-20-40	= ⊥ = ⊥ =	140	300	3220
	5L5P	40-20-40-20-40	= ⊥ = ⊥ =	160	300	3680
	5L5P	40-30-40-30-40	= ⊥ = ⊥ =	180	300	4140
	5L7P	40-40-20-20-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =	220	300	5060
	5L7P	40-40-20-40-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =	240	300	5520



写真 2.4.4-1 非等厚構成 CLT の曲げ試験の実施状況  
(5 層 7 プライ、40-40-20-20-20-40-40mm 構成)

#### 2.4.4.3 曲げ試験結果

スギ非等厚構成 CLT 試験体及びヒノキースギ非等厚構成 CLT 試験体の強軸方向の曲げ試験結果を、それぞれ表 2.4.4-2、表 2.4.4-3 に示す。また、各 CLT 試験体について、密度、曲げヤング係数、及び曲げ強度の平均値と標準偏差を、それぞれ図 2.4.4-1～図 2.4.4-3、図 2.4.4-4～図 2.4.4-6 に示す。

スギ非等厚構成 CLT については、破壊は試験体の下側(引張り側)の外層ラミナの FJ を起因とする曲げ破壊であった。一方、ヒノキースギ非等厚構成 CLT については、試験体の下側(引張り側)の外層ラミナの FJ を起因とする曲げ破壊、及び外層ラミナは破壊せずに、せん断が主たる破壊となった試験体も見られた。表 2.4.4-4 に各 CLT の最大荷重時の破壊形態を示す。なお、表 2.4.4-3 に示す曲げ強度は、破壊形態に関わらず最大荷重から求めたものである。各構成のヒノキースギ非等厚構成 CLT について、曲げ破壊した試験体とせん断破壊した試験体の曲げ強度を比較したところ、40-20-20-20-40mm の 5 層 5 プライ構成のヒノキースギ CLT については、せん断破壊した試験体のほうが 15%程度高い値を示したが、そのほかの構成についてはいずれも同程度であった。

表 2.4.4-2 非等厚構成 CLT の曲げ試験結果（スギ、強軸方向）

		密度 (kg/m <sup>3</sup> )	E <sub>app</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>b</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	M.C. (%)
スギ40-20-40	mean	415	9.2	27.5	10.3
	min	402	8.5	24.6	9.1
	max	431	10.2	30.4	11.8
	SD	11.0	0.6	2.2	0.9
	CV(%)	2.7	6.5	8.0	8.4
スギ40-20-20-20-40	mean	417	8.9	32.5	10.3
	min	409	8.6	28.9	10.0
	max	428	9.3	37.7	10.5
	SD	7.0	0.2	3.5	0.2
	CV(%)	1.7	2.7	10.9	2.0
スギ40-20-40-20-40	mean	393	7.2	18.5	10.0
	min	387	7.1	16.5	9.1
	max	396	7.3	19.7	10.7
	SD	3.4	0.1	1.3	0.7
	CV(%)	0.9	1.2	7.1	6.5
スギ40-30-40-30-40	mean	419	8.0	18.7	9.8
	min	409	7.7	15.8	9.6
	max	427	8.3	21.6	10.2
	SD	8.2	0.2	2.0	0.2
	CV(%)	2.0	2.5	11.0	2.4
スギ40-40-20-20-20-40-40	mean	429	9.5	30.1	10.5
	min	422	9.2	28.2	10.2
	max	438	9.9	31.4	11.2
	SD	5.3	0.3	1.2	0.3
	CV(%)	1.2	2.8	3.9	3.1
スギ40-40-20-40-20-40-40	mean	412	9.2	25.3	10.2
	min	405	8.9	21.6	9.8
	max	419	9.6	29.1	10.7
	SD	5.7	0.3	2.8	0.3
	CV(%)	1.4	3.0	11.0	3.2

※E<sub>app</sub> : 曲げ試験時のスパン中央のたわみ量から求めた曲げヤング係数、  
σ<sub>b</sub> : 曲げ強度、MC : 全乾法による含水率

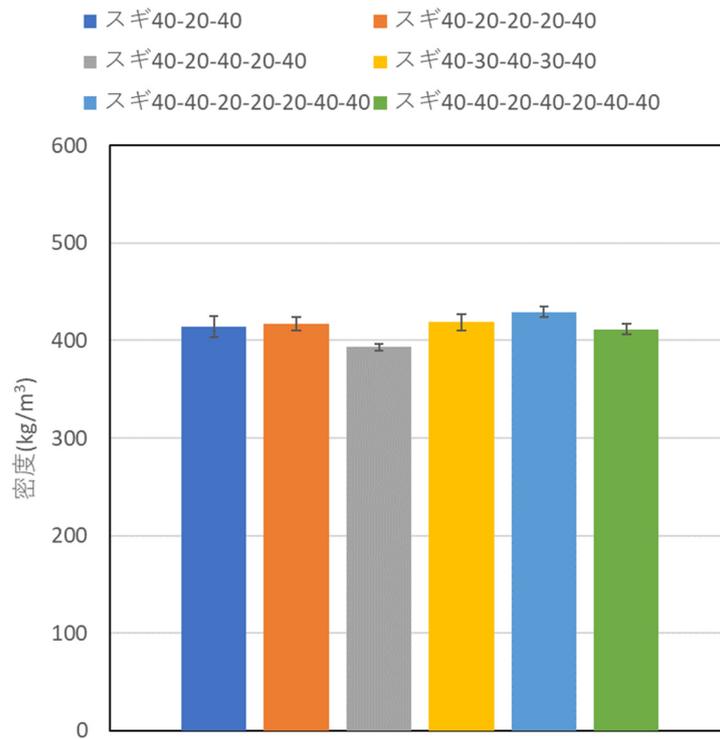


図 2. 4. 4-1 非等厚構成 CLT 曲げ試験体の密度の平均値と標準偏差 (スギ)

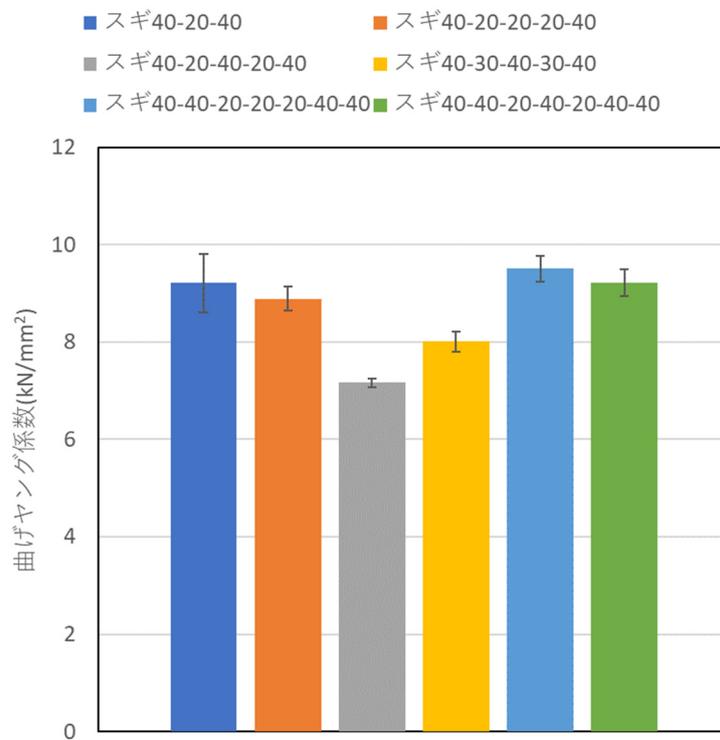


図 2. 4. 4-2 非等厚構成 CLT 曲げ試験体の曲げヤング係数の平均値と標準偏差 (スギ)

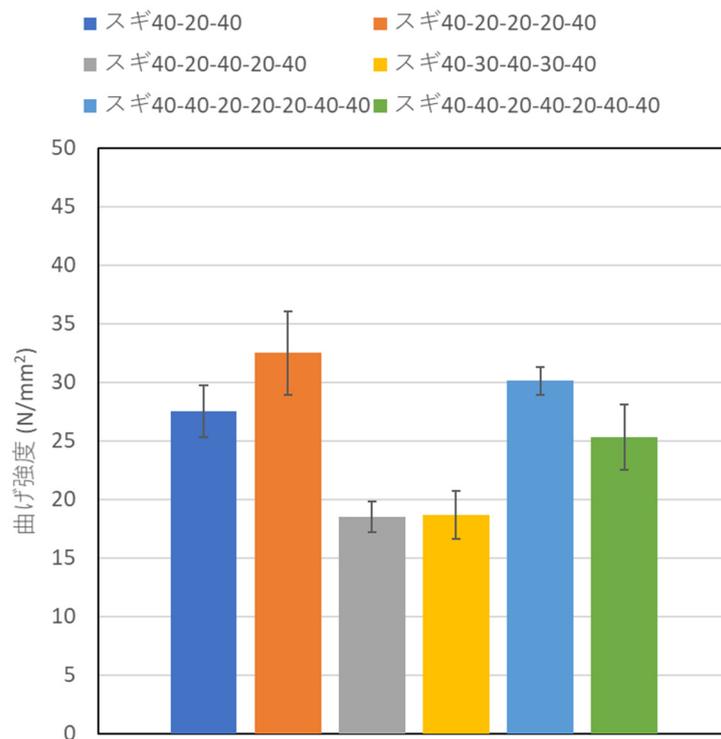


図 2. 4. 4-3 非等厚構成 CLT 曲げ試験体の曲げ強度の平均値と標準偏差 (スギ)

表 2.4.4-3 非等厚構成 CLT の曲げ試験結果（ヒノキースギ、強軸方向）

		密度 (kg/m <sup>3</sup> )	E <sub>app</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>b</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	M.C. (%)
ヒノキースギ40-20-40	mean	488	11.9	41.4	12.0
	min	482	10.6	33.9	11.3
	max	495	12.6	45.6	12.7
	SD	5.1	0.7	4.2	0.5
	CV(%)	1.0	6.0	10.1	4.4
ヒノキースギ40-20-20-20-40	mean	468	10.9	38.0	11.9
	min	457	10.6	32.7	11.5
	max	481	11.2	42.3	12.2
	SD	8.0	0.2	3.8	0.2
	CV(%)	1.7	1.9	9.9	2.0
ヒノキースギ40-20-40-20-40	mean	457	10.3	37.1	11.5
	min	451	9.9	34.4	11.2
	max	466	10.9	41.0	11.7
	SD	5.9	0.5	2.7	0.2
	CV(%)	1.3	4.4	7.3	1.7
ヒノキースギ40-30-40-30-40	mean	457	9.7	31.0	10.7
	min	448	9.3	26.0	10.4
	max	460	10.0	36.0	11.2
	SD	4.6	0.3	3.8	0.3
	CV(%)	1.0	3.1	12.3	2.8
ヒノキースギ40-40-20-20-20-40-40	mean	487	11.4	35.9	12.4
	min	481	11.0	32.5	12.1
	max	492	11.8	39.4	12.7
	SD	4.2	0.3	2.5	0.2
	CV(%)	0.9	2.9	6.9	1.7
ヒノキースギ40-40-20-40-20-40-40	mean	473	11.4	39.7	12.2
	min	467	10.9	37.8	11.9
	max	480	11.7	42.7	12.6
	SD	5.2	0.3	1.6	0.2
	CV(%)	1.1	2.9	4.1	2.0

※E<sub>app</sub> : 曲げ試験時のスパン中央のたわみ量から求めた曲げヤング係数、  
σ<sub>b</sub> : 曲げ強度、MC : 全乾法による含水率

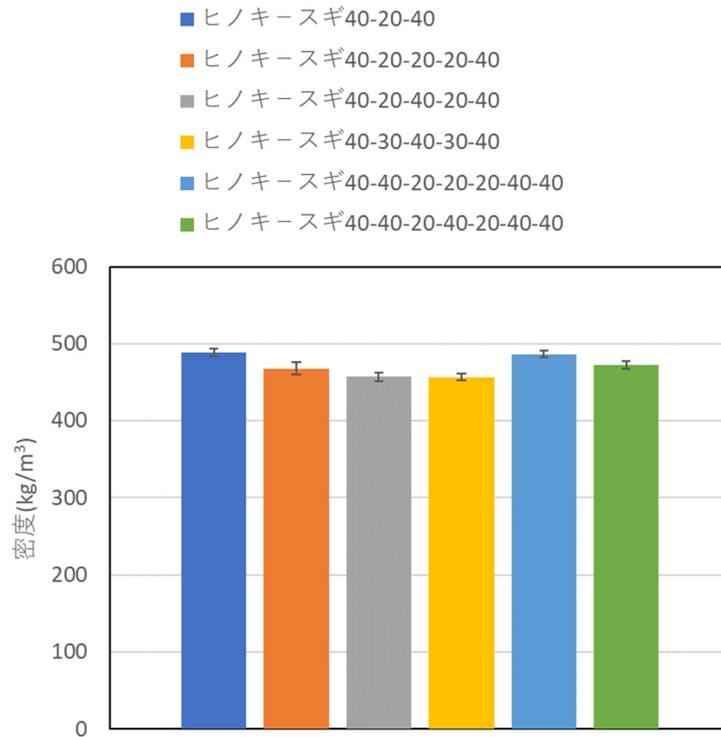


図 2. 4. 4-4 非等厚構成 CLT 曲げ試験体の密度の平均値と標準偏差 (ヒノキースギ)

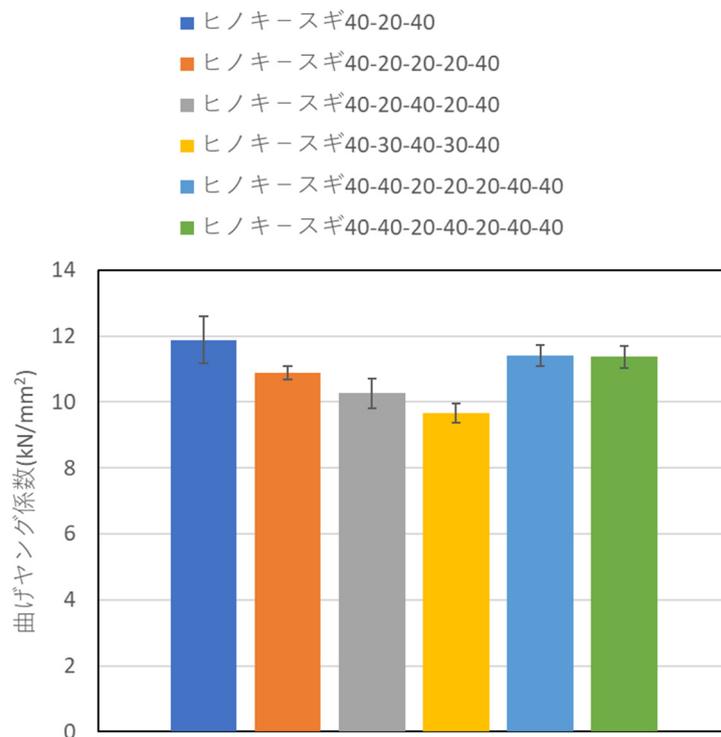


図 2. 4. 4-5 非等厚構成 CLT 曲げ試験体の曲げヤング係数の平均値と標準偏差 (ヒノキースギ)

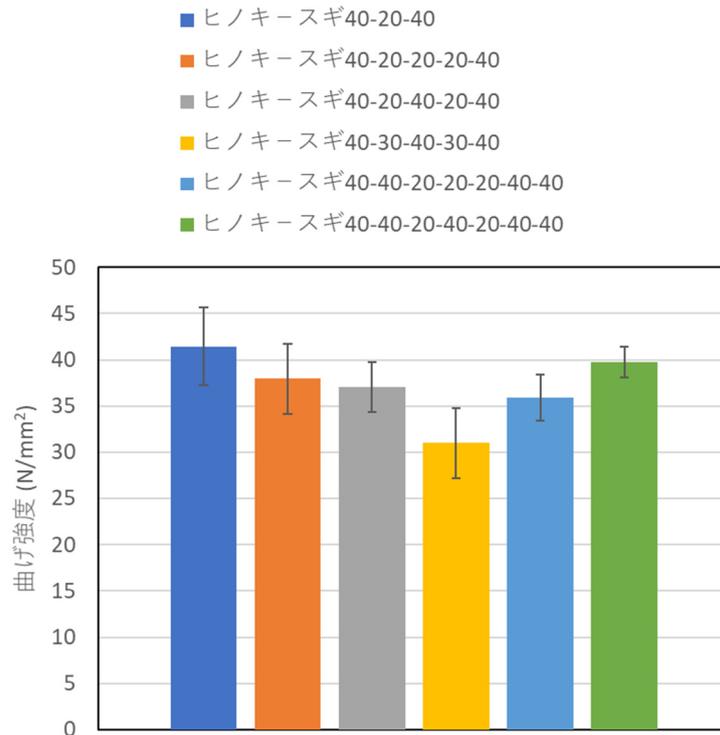


図 2.4.4-6 非等厚構成 CLT 曲げ試験体の曲げ強度の平均値と標準偏差 (ヒノキースギ)

表 2.4.4-4 非等厚構成 CLT 曲げ試験体の最大荷重時の破壊形態とその試験体数

層構成		ラミナ厚さ構成	全試験体数	最大荷重時の破壊形態とその試験体数	
				曲げ破壊	せん断破壊
全層スギ	3L3P	40-20-40	6	6	0
	5L5P	40-20-20-20-40	6	6	0
	5L5P	40-20-40-20-40	6	6	0
	5L5P	40-30-40-30-40	6	6	0
	5L7P	40-40-20-20-20-40-40	6	6	0
	5L7P	40-40-20-40-20-40-40	6	6	0
外層ヒノキ 内層スギ	3L3P	40-20-40	6	3	3
	5L5P	40-20-20-20-40	6	4	2
	5L5P	40-20-40-20-40	6	5	1
	5L5P	40-30-40-30-40	6	5	1
	5L7P	40-40-20-20-20-40-40	6	2	4
	5L7P	40-40-20-40-20-40-40	6	6	0

## 2.4.5 非等厚構成 CLT のせん断試験

### 2.4.5.1 目的

スギ非等厚構成 CLT 及びヒノキスギ非等厚構成 CLT の強軸方向のせん断強度性能を把握する。

### 2.4.5.2 せん断試験体とせん断試験方法

各構成のスギ非等厚構成 CLT 及びヒノキスギ非等厚構成 CLT について強軸方向のせん断試験を実施した。試験体の寸法を表 2.4.5-1 に示す。せん断試験方法は直交集成板の JAS に定められるせん断試験に準じた(写真 2.4.5-1)。試験体長を試験体厚さの 7 倍、スパンを試験体厚さの 5 倍とし、中央集中荷重方式で試験を実施した。

表 2.4.5-1 非等厚構成 CLT せん断試験体の寸法

層構成		ラミナ厚さ構成	ラミナの方向	CLT試験体寸法		
				厚さ mm	幅 mm	長さ mm
全層スギ	3L3P	40-20-40	= ⊥ =	100	300	700
	5L5P	40-20-20-20-40	= ⊥ = ⊥ =	140	300	980
	5L5P	40-20-40-20-40	= ⊥ = ⊥ =	160	300	1120
	5L5P	40-30-40-30-40	= ⊥ = ⊥ =	180	300	1260
	5L7P	40-40-20-20-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =	220	300	1540
	5L7P	40-40-20-40-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =	240	300	1680
外層ヒノキ 内層スギ	3L3P	40-20-40	= ⊥ =	100	300	700
	5L5P	40-20-20-20-40	= ⊥ = ⊥ =	140	300	980
	5L5P	40-20-40-20-40	= ⊥ = ⊥ =	160	300	1120
	5L5P	40-30-40-30-40	= ⊥ = ⊥ =	180	300	1260
	5L7P	40-40-20-20-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =	220	300	1540
	5L7P	40-40-20-40-20-40-40	= = ⊥ = ⊥ = =	240	300	1680



写真 2.4.5-1 非等厚構成 CLT のせん断試験の破壊状況  
(スギ 5 層 7 プライ、40-40-20-20-20-40-40mm 構成)

### 2.4.5.3 せん断試験結果

スギ非等厚構成 CLT 試験体及びヒノキースギ非等厚構成 CLT 試験体のせん断試験結果をそれぞれ表 2.4.5-2、表 2.4.5-3 に示す。また、各 CLT 試験体について、密度、最大せん断力、及びせん断強度の平均値と標準偏差を、それぞれ図 2.4.5-1～図 2.4.5-3、図 2.4.5-4～図 2.4.5-6 に示す。すべての試験体において直交層でのせん断破壊が観察されたが、一部、最大荷重時に曲げ破壊を生じた試験体があった。これらについては、曲げ破壊直前の荷重低下時のピークを最大せん断力として採用した。スギ非等厚構成 CLT 及びヒノキースギ非等厚構成 CLT のせん断強度はいずれの層構成においても、直交集成板の JAS に記載の積層方向のスギのせん断強さの基準である 1.50 MPa を上回る結果となった。

表 2.4.5-2 非等厚構成 CLT のせん断試験結果（スギ、強軸方向）

		密度 (kg/m <sup>3</sup> )	F <sub>s</sub> (kN)	τ <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
スギ40-20-40	mean	420	69.5	3.47
	min	410	55.5	2.77
	max	429	76.9	3.84
	SD	7.3	8.2	0.41
	CV(%)	1.7	11.7	11.7
スギ40-20-20-20-40	mean	424	88.9	3.18
	min	417	83.3	2.97
	max	429	96.1	3.43
	SD	4.9	4.9	0.17
	CV(%)	1.2	5.5	5.5
スギ40-20-40-20-40	mean	463	88.2	2.76
	min	457	77.1	2.41
	max	467	100.5	3.14
	SD	3.8	10.0	0.31
	CV(%)	0.8	11.4	11.4
スギ40-30-40-30-40	mean	413	75.2	2.09
	min	400	72.0	2.00
	max	424	79.7	2.21
	SD	8.4	3.0	0.08
	CV(%)	2.0	4.0	4.0
スギ40-40-20-20-20-40-40	mean	423	129.6	2.95
	min	416	103.0	2.34
	max	431	142.3	3.23
	SD	5.9	14.4	0.33
	CV(%)	1.4	11.1	11.1
スギ40-40-20-40-20-40-40	mean	418	141.2	2.94
	min	406	129.2	2.69
	max	427	150.2	3.13
	SD	7.8	8.0	0.17
	CV(%)	1.9	5.7	5.7

F<sub>s</sub> : 最大せん断力、

τ<sub>s</sub> : 最大せん断力を CLT の断面積で除して、係数 1.5 を乗じた値

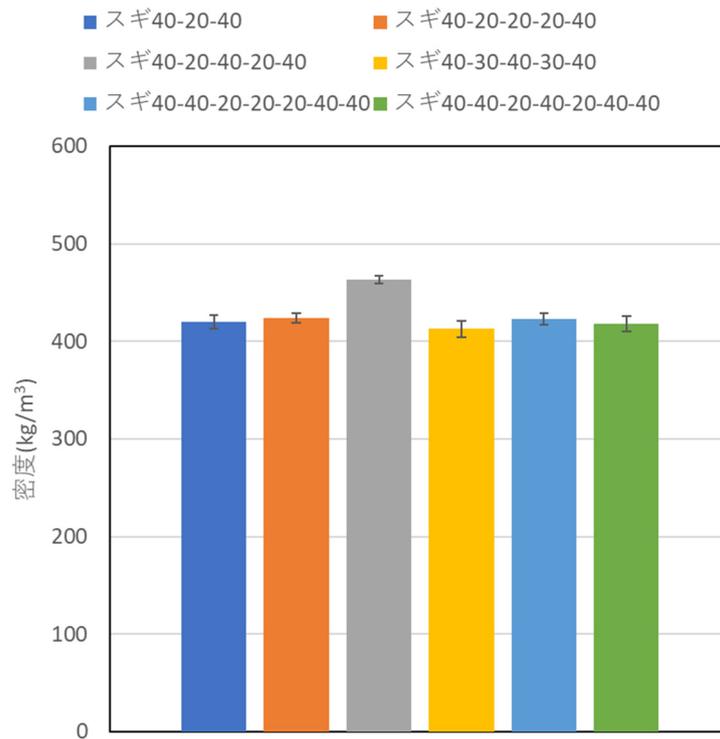


図 2. 4. 5-1 非等厚構成 CLT せん断試験体の密度の平均値と標準偏差 (スギ)

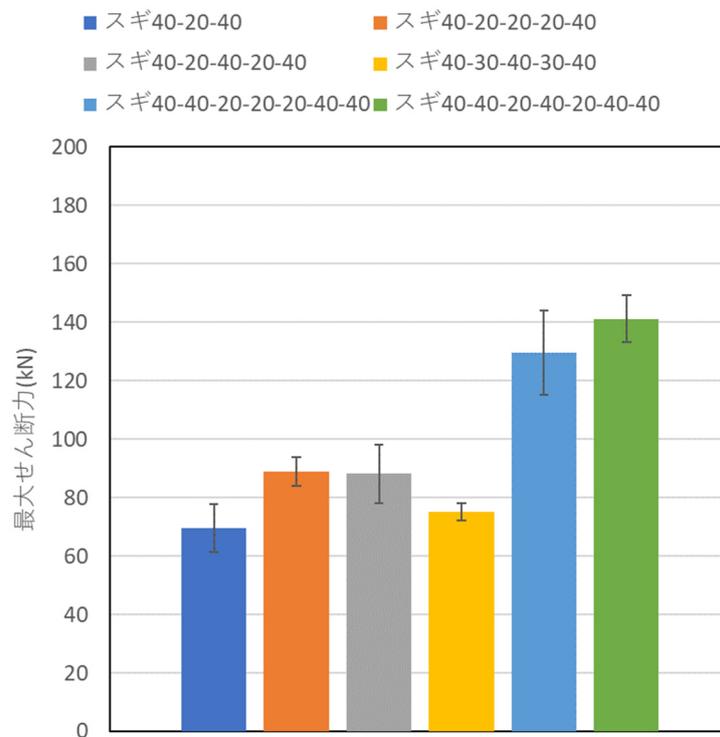


図 2. 4. 5-2 非等厚構成 CLT せん断試験体の最大せん断力の平均値と標準偏差 (スギ)

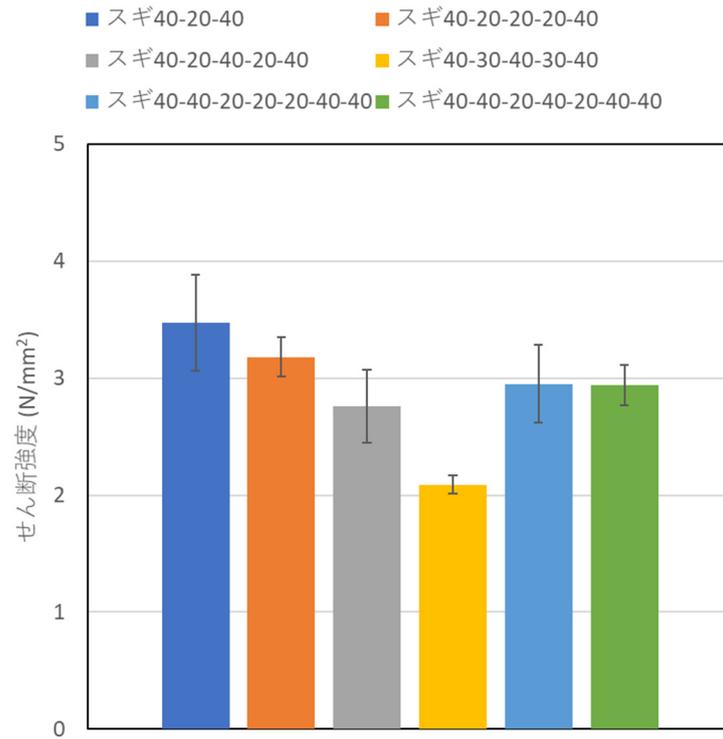


図 2.4.5-3 非等厚構成 CLT せん断試験体のせん断強度の平均値と標準偏差 (スギ)

表 2.4.5-3 非等厚構成 CLT のせん断試験結果 (ヒノキースギ、強軸方向)

		密度 (kg/m <sup>3</sup> )	F <sub>s</sub> (kN)	τ <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
ヒノキースギ40-20-40	mean	487	77.5	3.88
	min	474	66.3	3.31
	max	495	85.8	4.29
	SD	7.7	7.8	0.39
	CV(%)	1.6	10.0	10.0
ヒノキースギ40-20-20-20-40	mean	462	91.9	3.28
	min	449	84.5	3.02
	max	485	97.4	3.48
	SD	13.0	5.7	0.20
	CV(%)	2.8	6.2	6.2
ヒノキースギ40-20-40-20-40	mean	463	100.8	3.15
	min	457	84.6	2.64
	max	467	109.0	3.41
	SD	3.8	8.9	0.28
	CV(%)	0.8	8.8	8.8
ヒノキースギ40-30-40-30-40	mean	458	95.1	2.64
	min	452	83.1	2.31
	max	465	106.8	2.97
	SD	4.2	8.4	0.23
	CV(%)	0.9	8.8	8.8
ヒノキースギ40-40-20-20-20-40-40	mean	486	144.8	3.29
	min	469	133.8	3.04
	max	512	158.5	3.60
	SD	15.4	9.1	0.21
	CV(%)	3.2	6.3	6.3
ヒノキースギ40-40-20-40-20-40-40	mean	471	153.0	3.19
	min	463	144.9	3.02
	max	478	159.0	3.31
	SD	6.4	5.9	0.12
	CV(%)	1.4	3.9	3.9

F<sub>s</sub> : 最大せん断力

τ<sub>s</sub> : 最大せん断力を CLT の断面積で除して、係数 1.5 を乗じた値

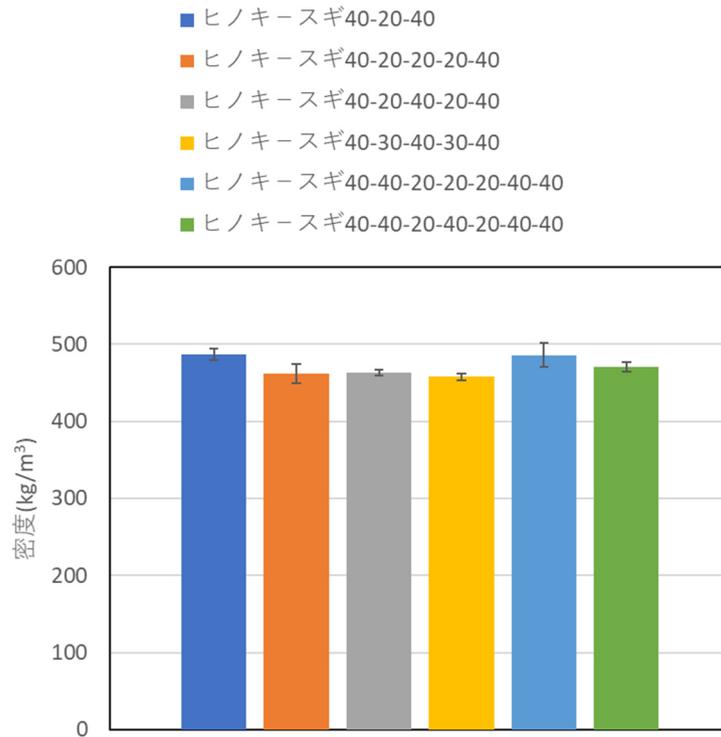


図 2. 4. 5-4 非等厚構成 CLT せん断試験体の密度の平均値と標準偏差 (ヒノキースギ)

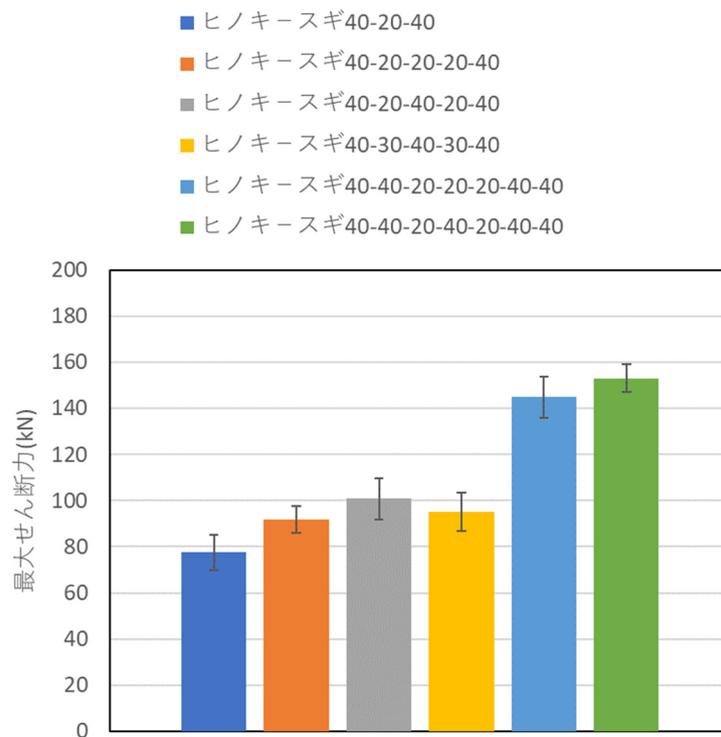


図 2. 4. 5-5 非等厚構成 CLT せん断試験体の最大せん断力の平均値と標準偏差 (ヒノキースギ)

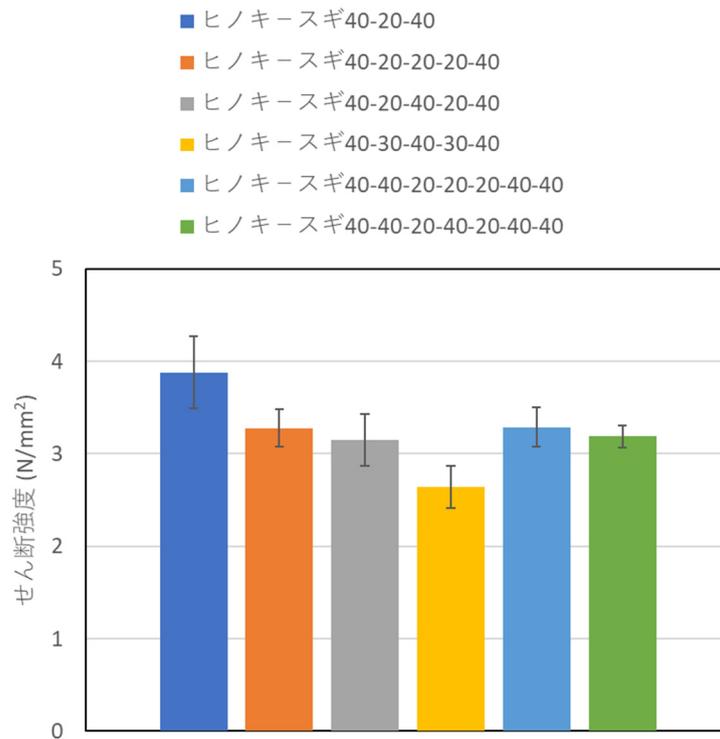


図 2.4.5-6 非等厚構成 CLT せん断試験体のせん断強度の平均値と標準偏差 (ヒノキースギ)

## 2.5 非等厚構成 CLT の接着性能

### 2.5.1 目的

厚さが異なるラミナを積層接着して製造する非等厚構成 CLT の場合、同じ厚さのラミナを積層接着して製造する等厚構成の CLT と比べて、水分の吸脱に伴うラミナの寸法変化の挙動が異なることが接着性能に影響を及ぼす可能性が考えられる。そこで本項では、スギ非等厚構成 CLT 及びヒノキースギ非等厚構成 CLT について、2.2の製造試験で設定した接着工程の妥当性の検証と、層構成と接着性能の関係を把握することを目的とする。

### 2.5.2 接着剝離試験体と接着剝離試験方法

前項2.4.1に示す各非等厚構成 CLT の大版パネルから、厚さはそのまま幅 75mm、長さ 1000mm の接着試験体作製用 CLT を切り出した後、それらから厚さはそのまま幅 75mm、長さ 75mm の接着剝離試験体を採取した。これらの試験体について直交集成板の JAS に定められる煮沸剝離試験、減圧加圧剝離試験に供した。ただし、繰り返し数は 2 回とした。試験体数は、各仕様とも 8 体とした。接着試験体の様子を写真 2.5.3-1 に示す。

### 2.5.3 接着剝離試験結果

スギ非等厚構成 CLT 試験体、及びヒノキースギ非等厚構成 CLT 試験体の煮沸剝離試験、及び減圧加圧剝離試験結果をそれぞれ表 2.5.3-1、表 2.5.3-2、及び表 2.5.3-3、表 2.5.3-4 に示す。いずれの剝離試験においても、全接着層、直交接着層及び平行接着層における剝離率は、直交集成板の JAS の基準値を満たす結果となった。すなわち、本事業における試験体の接着は良好であったと考えられ、本試験体を強度等の試験に供する上で接着の観点での問題はないと考えられる。

また、層構成の違いが接着性能に及ぼす影響について一意な傾向は見られなかったが、煮沸剝離試験においてヒノキースギ試験体の直交接着層における剝離率は、他と比べてやや高い傾向がみられた。これらの多くはヒノキラミナとスギラミナの間の接着層で生じたものであり、異樹種接着における特徴が現れたものと考えられる。



写真 2.5.3-1 スギ非等厚構成 CLT の接着試験体

(左 : 3L3P・t100、5L5P・t140、5L5P・t160、右 : 5L5P・t180、5L7P・t220、5L7P・t240)

表 2.5.3-1 非等厚構成 CLT の煮沸剝離試験結果（繰り返し 1 回目）

樹種	構成	厚さ (mm)	ラミナ厚さ構成	n	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	全接着層			直交接着層			平行接着層						
						剝離率(%)		剝離を 生じた 試験片数	4側面における 同一接着層の 剝離割合(%)		剝離を 生じた 試験片数	両木口面における 同一接着層の 剝離割合(%)		剝離を 生じた 試験片数				
						平均値	最大値		平均値	最大値		平均値	最大値					
スギ	3L3P	100	40-20-40	8	417	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	-	-	-				
スギ	5L5P	140	40-20-20-20-40	8	410	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	-	-	-				
スギ	5L5P	160	40-20-40-20-40	8	380	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	-	-	-				
スギ	5L5P	180	40-30-40-30-40	8	419	0.2	1.3	1	0.6	5.0	1	-	-	-				
スギ	5L7P	220	40-40-20-20-40-40	8	424	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0				
スギ	5L7P	240	40-40-20-40-20-40-40	8	405	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0				
ヒノキ/スギ	3L3P	100	40-20-40	8	496	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	-	-	-				
ヒノキ/スギ	5L5P	140	40-20-20-20-40	8	469	0.6	3.0	2	2.3	12.0	2	-	-	-				
ヒノキ/スギ	5L5P	160	40-20-40-20-40	8	458	0.3	2.0	1	1.0	8.0	1	-	-	-				
ヒノキ/スギ	5L5P	180	40-30-40-30-40	8	476	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	-	-	-				
ヒノキ/スギ	5L7P	220	40-40-20-20-20-40-40	8	495	0.6	4.8	1	0.7	5.3	1	2.3	18.0	1				
ヒノキ/スギ	5L7P	240	40-40-20-40-20-40-40	8	483	0.1	0.7	1	0.5	3.7	1	0.0	0.0	0				
直交集成板JAS基準値									≦10					≦40				≦25

表 2.5.3-2 非等厚構成 CLT の煮沸剝離試験結果（繰り返し 2 回目）

樹種	構成	厚さ (mm)	ラミナ厚さ構成	n	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	全接着層			直交接着層			平行接着層						
						剝離率(%)		剝離を 生じた 試験片数	4側面における 同一接着層の 剝離割合(%)		剝離を 生じた 試験片数	両木口面における 同一接着層の 剝離割合(%)		剝離を 生じた 試験片数				
						平均値	最大値		平均値	最大値		平均値	最大値					
スギ	3L3P	100	40-20-40	8	417	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	-	-	-				
スギ	5L5P	140	40-20-20-20-40	8	410	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	-	-	-				
スギ	5L5P	160	40-20-40-20-40	8	380	0.4	1.8	2	1.3	7.0	2	-	-	-				
スギ	5L5P	180	40-30-40-30-40	8	419	0.2	1.3	1	0.6	5.0	1	-	-	-				
スギ	5L7P	220	40-40-20-20-20-40-40	8	424	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0				
スギ	5L7P	240	40-40-20-40-20-40-40	8	405	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0				
ヒノキ/スギ	3L3P	100	40-20-40	8	496	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	-	-	-				
ヒノキ/スギ	5L5P	140	40-20-20-20-40	8	469	1.5	3.5	6	5.4	12.0	6	-	-	-				
ヒノキ/スギ	5L5P	160	40-20-40-20-40	8	458	0.3	2.0	1	1.0	8.0	1	-	-	-				
ヒノキ/スギ	5L5P	180	40-30-40-30-40	8	476	0.9	6.2	2	3.8	24.7	2	-	-	-				
ヒノキ/スギ	5L7P	220	40-40-20-20-20-40-40	8	495	1.1	4.8	5	2.2	10.3	3	4.7	18.0	3				
ヒノキ/スギ	5L7P	240	40-40-20-40-20-40-40	8	483	0.3	2.0	2	1.0	6.0	2	1.0	8.0	1				
直交集成板JAS基準値									≦10					≦40				≦25

表 2.5.3-3 非等厚構成 CLT の減圧加圧剥離試験結果（繰り返し 1 回目）

樹種	構成	厚さ (mm)	ラミナ厚さ構成	n	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	全接着層			直交接着層			平行接着層											
						剥離率(%)		剥離を 生じた 試験片数	4側面における 同一接着層の 剥離割合(%)		剥離を 生じた 試験片数	両木口面における 同一接着層の 剥離割合(%)		剥離を 生じた 試験片数									
						平均値	最大値		平均値	最大値		平均値	最大値										
スギ	3L3P	100	40-20-40	8	419	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	-	-	-									
スギ	5L5P	140	40-20-20-20-40	8	420	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	-	-	-									
スギ	5L5P	160	40-20-40-20-40	8	381	0.1	0.9	1	0.5	3.7	1	-	-	-									
スギ	5L5P	180	40-30-40-30-40	8	413	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	-	-	-									
スギ	5L7P	220	40-40-20-20-20-40-40	8	422	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0									
スギ	5L7P	240	40-40-20-40-20-40-40	8	405	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0									
ヒノキ/スギ	3L3P	100	40-20-40	8	488	0.3	2.0	1	0.5	4.0	1	-	-	-									
ヒノキ/スギ	5L5P	140	40-20-20-20-40	8	474	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	-	-	-									
ヒノキ/スギ	5L5P	160	40-20-40-20-40	8	460	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	-	-	-									
ヒノキ/スギ	5L5P	180	40-30-40-30-40	8	486	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	-	-	-									
ヒノキ/スギ	5L7P	220	40-40-20-20-20-40-40	8	492	0.2	1.7	1	0.0	0.0	0	2.2	17.3	1									
ヒノキ/スギ	5L7P	240	40-40-20-40-20-40-40	8	485	0.1	1.0	1	0.6	5.0	1	0.0	0.0	0									
直交集成板JAS基準値									≦10						≦40						≦25		

表 2.5.3-4 非等厚構成 CLT の減圧加圧剥離試験結果（繰り返し 2 回目）

樹種	構成	厚さ (mm)	ラミナ厚さ構成	n	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	全接着層			直交接着層			平行接着層											
						剥離率(%)		剥離を 生じた 試験片数	4側面における 同一接着層の 剥離割合(%)		剥離を 生じた 試験片数	両木口面における 同一接着層の 剥離割合(%)		剥離を 生じた 試験片数									
						平均値	最大値		平均値	最大値		平均値	最大値										
スギ	3L3P	100	40-20-40	8	419	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	-	-	-									
スギ	5L5P	140	40-20-20-20-40	8	420	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	-	-	-									
スギ	5L5P	160	40-20-40-20-40	8	381	0.1	0.9	1	0.5	3.7	1	-	-	-									
スギ	5L5P	180	40-30-40-30-40	8	413	0.1	0.8	1	0.4	3.3	1	-	-	-									
スギ	5L7P	220	40-40-20-20-20-40-40	8	422	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0									
スギ	5L7P	240	40-40-20-40-20-40-40	8	405	0.1	0.5	2	0.5	2.3	2	0.0	0.0	0									
ヒノキ/スギ	3L3P	100	40-20-40	8	488	0.3	2.0	1	0.5	4.0	1	-	-	-									
ヒノキ/スギ	5L5P	140	40-20-20-20-40	8	474	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	-	-	-									
ヒノキ/スギ	5L5P	160	40-20-40-20-40	8	460	0.1	0.5	1	0.3	2.0	1	-	-	-									
ヒノキ/スギ	5L5P	180	40-30-40-30-40	8	486	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	-	-	-									
ヒノキ/スギ	5L7P	220	40-40-20-20-20-40-40	8	492	0.3	2.4	1	0.0	0.0	0	3.0	24.0	1									
ヒノキ/スギ	5L7P	240	40-40-20-40-20-40-40	8	485	0.2	1.3	1	0.6	5.0	1	0.0	0.0	0									
直交集成板JAS基準値									≦10						≦40						≦25		

## 2.6 製造試験と性能評価のまとめ

CLT を用いた建築物の設計の効率化を目的として、スパンに応じて対応可能な非等厚構成 CLT として、厚さ 20mm、30mm、40mm のラミナを用いた非等厚構成 CLT の層構成を検討するとともに、それらの製造試験及び性能評価を行った。厚さ 20mm、30mm、40mm のラミナを用いた非等厚構成 CLT の製造に関して、機械等級区分、フィンガージョイント、積層接着等の検証を行い、等厚構成 CLT と同様に製造可能であることを明らかにした。また、非等厚構成 CLT の強軸方向の引張り、圧縮、曲げ、せん断強度性能、及び接着性能を明らかにした。

### 第 2 章 執筆担当者

2.1.1、2.1.2、2.2.1、2.2.2、2.3.4、2.4.1、2.6 平松靖

2.1.3 日本 CLT 協会

2.3.2、2.3.3、2.4.2、2.4.3 小島瑛里奈・井道裕史

2.4.4 大木文明・平松靖

2.4.5 新藤健太・宇京斉一郎

2.5 宮本康太

## 添付資料

### 第1回 国産材を用いた非等厚ラミナ構成 CLT の製造技術に関する検討委員会議事録

#### 議 事 要 旨 (案)

件 名	令和5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 (国産材を用いた非等厚ラミナ構成CLTの製造技術に関する検討)		第1回
日時	2024年6月6日(木) 10時00分～12時00分	場所	(一社)日本CLT協会 大会議室 東京都中央区日本橋茅場町3-9-10 茅場町ブロードスクエア2階 (WEB会議併用)
参加者	( 欠席者__ :WEB参加者(**) ) 委員長 安村 基 委員 (河合 直人)、(青木 謙治)、榎本 敬大、 <u>秋山 信彦</u> 、荒木 康弘、 神谷 文夫、尾方 伸次 オブザーバー (佐藤 秀憲)、福島 純、上田 萌香、増井 僚、(高木 望)、(杉原 伸一)、 (吉田 優一朗)、中田 直、 <u>平原 章雄</u> 、(伊藤 一哉)、渡部 博、布施 美月 (中越 隆道) 事業実施者 坂部 芳平、西妻 博康、(谷口 翼)、平松 靖、(渋谷 龍也)、(杉本 健一)、 (宮本 康太)、 <u>(宮武 敦)</u> 、(井道 裕史)、(新藤 健太)、(宇京 斉一郎)、 (大木 文明)、(小島 瑛梨奈)、(中川 美幸)		

## ◆挨拶

林野庁木材産業課の福島です。本日はお忙しい中、委員長の安村先生を初め、皆様にお集りいただき、ありがとうございます。

日頃より林野行政の推進にあたりご理解とご協力いただきまして、改めましてお礼申し上げます。

本事業はロードマップにも記載されております非等厚ラミナを用いた CLT の製造技術に関するデータを収集する解析です。得られた成果をもとに JAS 規格への反映を行うことで、CLT のバリエーションの拡充や、延いては CLT を利用した大規模建築物をさらに広げることができると言われていた重要な取組です。

本日は年度初めの委員会です。忌憚のないご意見を賜ればと思いますので、よろしく願いいたします。

## ◆資料

資料 1 資料 1 議事次第

資料 2 資料 2 委員名簿

資料 3 資料 3 事業計画書

資料 4 資料 4 非等厚ラミナ CLT 令和 5 年度補正事業 実施内容 (案)

資料 5 資料 5 ラミナ\_CLT 強度試験結果スライド

資料 6 非等厚ヒノキ+スギ HBMx120、非等厚スギ Mx60 想定基準強度の一覧

資料 7 非等厚ヒノキ+スギ HBMx120、等厚 Mx120 非等厚スギ Mx60、等厚 Mx60  
床パネルの許容スパン表

## ◆議事

### 資料 2 (委員名簿)

委員長は引き続き安村先生にお願いし、委員も昨年・一昨年と同様であることが説明された。加えて、オブザーバー、事業実施者について紹介があった。

### 資料 3 (事業計画書)

事業計画について、1. 実施事業名、2. 実施団体、3. 事業担当者、4. 事業実施体制、5. 本事業で実施する内容 (スケジュール含む)、6. 予定成果、7. 事業完了予定年月日についての説明があった。

### 資料 4 1. 1 ラミナデータ

これまでの事業の結果について説明があった。(平松)

### 資料 4 1. 2 CLT データ

資料 5 を用いて説明があった。(平松)

#### P1 下のグラフ

厚さ 20mm、30mm、40mm のスギ、ヒノキ FJ ラミナの曲げ、引張り、圧縮強度圧縮試験の結果  
左から曲げ、引張り、圧縮強度の平均値と標準偏差を示している。30mm のヒノキについては、曲げ、  
圧縮が多少高い傾向が見られたが、20mm、30mm、40mm で概ね同等の値が得られた。(平松)

#### P2 の散布図

スギ(上)、ヒノキ(下)の厚さ 20mm、30mm、40mm の FJ ラミナの見かけの曲げヤング係数(実験で得られた曲げヤング係数)(横軸)と曲げ強度(縦軸)の関係を示した散布図だ。青色のプロットが 20mm 厚さ、黄土色のプロットが 30mm 厚さ、赤色のプロットが 40mm 厚さのラミナの試験結果だ。

これは等級区分されたラミナではなく、ラミナの曲げ B 試験を行い、それらを低いものから高いものまで順に立て継いでいったもので、ヤング係数は低いものから高いものまでがあったことになる。

上下各グラフの下に見えている緑とオレンジの横棒線は、緑が JAS 基準の左から M30、M60、M90、M120 の平均値で、オレンジの横線は、左から JAS 規格の下限値で、左から M30、M60、M90、M120 だ。

上のスギの散布図を見ると、ラミナ試験で多少のばらつきはあるが、概ね 20mm、30mm、40mm の厚さにおいても、JAS 規格の基準を満たせるラミナが製造できると考えられる。

下のヒノキの散布図を見ると、スギに比べてヤング係数が高いところに分布している。また、青色でプロットした 20mm ラミナが 30mm 厚、40mm 厚のラミナに比べて多少バラつきが見られた。しかし、どの厚さでも JAS 規格を満たせるラミナを製造できることが分かった。(平松)

#### P3 下のヒストグラム

昨年度に実施した 20mm 厚のラミナを用いた CLT の曲げ強度について説明する。これは、CLT を製造するために正式なグレーディングマシンでラミナのヤング係数を測定した結果で、分布を見ると、概ね 8 から 9kN/mm<sup>2</sup> にピークがある。昨年度の試験では内層用ラミナとして、左のオレンジの四角で囲った 2.5 以上 8.0kN/mm<sup>2</sup> 未満のものを使用し、外層用のラミナとしては 8.0 以上 11.0 kN/mm<sup>2</sup> 未満のものを使用した。(平松)

#### P4 上の散布図

曲げヤング係数(横軸)と曲げ強さ(縦軸)の散布図だ。オレンジ色のプロットが内層用のラミナ、青色のプロットが外層用ラミナの試験結果を示している。外層用と内層用は、概ね 8 kN/mm<sup>2</sup> を境に分かれており、いずれも JAS 規格の基準値を上回っている。(平松)

#### P4 下のグラフ

20mm 厚の FJ ラミナの曲げ強度と引張り強度の関係を示したものだ。左が曲げ強度、右が引張り強度の平均値で、青色が外層用、オレンジ色が内層用となっている。曲げと引張りの強度比は、曲げ強度に対して外層用は 0.75、内層用は 0.70 となっている。(平松)

### P5 上のグラフ

昨年度事業で試験した 20mm、30mm、40mm のラミナを用いたスギ CLT の曲げ強度だ。横軸が構成、縦軸が曲げ強度を示しており、各 6 試験体の平均値と標準偏差を示している。

青色の縦棒が一昨年度に実施したラミナ厚 20mm の CLT で、オレンジのものが昨年度実施したラミナ厚 20mm の CLT、グレーが一昨年度実施したラミナ厚 30mm の CLT、黄色が一昨年度実施したラミナ厚 40mm の CLT の面外方向の曲げ強度の試験結果だ。黒色の横棒実線は MX90、黒色の横棒点線は MX60 に対する JAS 適合基準値（曲げ強さ平均値）だ。（平松）

試験実施年度	20mm	30mm	40mm
令和 4 年度	青（幅 70mm）	グレー	黄色
令和 5 年度	オレンジ（幅 105mm）		

5 層 7 プライと 7 層 7 プライの青色の縦棒（20mm 厚さ）を見ると強度が低い。これは、幅 70mm（3.5 倍）のラミナで CLT を製造したが、ラミナが軽すぎてプレスや搬送上のトラブルが起こり、積層工程に問題が生じたのではないかと考えた。そこで昨年度は、幅 105mm の 20mm 厚ラミナを使用した CLT で再試験を行った。それがオレンジの縦棒だ。

1 番左の 3 層 3 プライはラミナ厚が厚くなるにつれて CLT 厚も厚くなるが、厚い方がやや曲げ強度が低い傾向にあった。どの構成についても概ね同様の傾向を示していたが、すべて MX90、MX60 の基準値を満たしている。（平松）

### P5 下の散布図

横軸は等価断面法で計算した CLT の曲げ強度で、縦軸が曲げ強度の実験値だ。等価断面法の計算では、外層ラミナの曲げ強度を使用した。この実験値も平均値であり、計算にもラミナの平均値を用いているので、今回は調整係数 0.65 のみを等価断面法で得られた値に掛け合わせた。その結果、全体的に計算値よりも実験値の方が上回った。（平松）

### P6 上の散布図

上記と同様、横軸が等価断面法によるヤング係数の計算結果、縦軸が実験で得られた見かけのヤング係数（6 試験体の平均値）だ。左側は調整係数無し、右側は等価断面法で計算した値に、せん断たわみによる低減係数 0.90 を乗じた結果だ。概ね計算で実験値に近い値が出ることが分かった。（平松）

最後から 2 枚目のスライドの調整係数についてもう一度説明が欲しい。等価断面法で計算した値を調整しているのか。（神谷委員）

その通り。（平松）

理由は何か。（神谷委員）

0.65 は、CLT においては、外層ラミナにかかる応力の部分が、引っ張りが高くなっていく効果、その辺りを含めた調整係数になっていると思う。告示には「その他の調整係数」と記されているが、そのような効果も含めた調整係数として 0.65 を乗じた。(平松)

異等級構成の MX60 相当だが、外層が 8 から 11kN/mm<sup>2</sup> のラミナで、内層が実質的には 4.0 以上 8.0kN/mm<sup>2</sup> 未満なので、MX60 に比べると内層も外層も随分高くなっている。MX90 でも内層がやや高いので、内層 M60、外層 M90 ぐらいに近いと思う。(平松)

令和 4 年度の厚み 20mm 厚のラミナは、幅が 70mm だと乾燥等で良くなかったので、令和 5 年度は幅を 105mm にしたら想定されるような結果が得られたという説明だったか。(荒木委員)

乾燥ではなく工場内での運送で、ラミナが軽くて浮くなどして、プレス前の吸着がうまくいかず、手作業が入る部分があった。この部分の影響が大きかったのかなと思う。(平松)

機械側の調整をすれば良いものなのか、それとも 20mm 厚程度のラミナは幅を大きくした方が良いのか。これから詰めていくのだろうが、製造基準などに関係してくるのかと思い質問した。

30mm 厚とか 40mm 厚は 70mm ぐらいの幅か。(荒木委員)

30mm 厚の幅は、3.5 倍で 105mm、40mm 厚は 3.5 倍の 140mm で、厚みに比例する。(平松)

色々な厚みのラミナが組み合わさった時、(層によってラミナの幅が異なることになるが、) 問題ないのか。(荒木委員)

搬送については、恐らく各メーカー、通常使用するラミナのサイズがあり、例えば厚さ 30mm で幅 120mm 前後といったものを中心にラインを設計しており、それに合わせて、機械のバネやいろいろな部分を調整している。しかし、その時に一昨年度の試験 (27 種類) では、やはり力が強過ぎてしまうということがあり、どうしてもうまく製造できないという状況があったのではないか。(銘建工業 渡部)

銘建工業に限らずどこのメーカーでも軽過ぎると良くない、ということか。(荒木委員)

その通り。(銘建工業 渡部)

1 ページの 3 つ目の圧縮グラフを見ると、引っ張り圧縮が若干低いので、20mm と他の厚さに差が有るのではないか。(安村委員長)

これは、ラミナ試験用ということで通常作っている試験体数と同数で作っており、縦継の部分で調整不足があったかもしれない。とはいえ、基準として見ればそれを満たせる程度の強度は出ている。

P4 下のグラフの右側に、CLT 試験体製造用厚さ 20mm スギ FJ ラミナの引っ張り試験結果が示してあり、外層用で 25.6 N/mm<sup>2</sup> だ。ラミナ試験のときは全体でざっくり計算すると外層や内層や平均値が 22 N/mm<sup>2</sup> 位になると思うが、ラミナ試験用の P1 に示したように、スギの 20mm は 18.8 N/mm<sup>2</sup> なので、調整をきちんとしていけば、強度も向上した安定したものが生産できると考えられる。(平松)

つまり、ラミナの材質というよりもフィンガージョイントが関係していて、薄くなると、そういうことはないのか。これはどちら方向だったのか。(安村委員長)

水平フィンガーだ。厚さ方向に対してフィンガー形状が見えるようになっている。(平松)

5 ページの下のグラフの右側の青色のプロットが令和 4 年度の結果で、厚さ 20mm 幅 70mm で製造したラミナだ。手作業が入ったので、このような結果となった。どうしても積層工程で転がるなどしたため、接着剤の 8 時間以内でのプレスが困難な状況もあった。ラミナが少し歯抜けになっていることもあった。側圧でうまく詰められなかった試験体もあった。それだけが原因ではないと思うが、このような理由も考えられる。(平松)

P3 を見ると、内層用は 11 kN/mm<sup>2</sup> で切っているのが B 種のラミナだと思う。内層用は 5.0 kN/mm<sup>2</sup> で切らなければいけないところを 8 kN/mm<sup>2</sup> まで使っている。(榎本委員)

今回は、得られた材料のラミナで試験体を作成するために、これぐらいの比率が必要で、ここで分けた。(平松)

そうすると 5 ページの上の方のグラフで MX60 や MX90 に比べて大きいのは当たり前で、適正に製造強度を設定しているという証明にはならないと思った。強いラミナを使っているのに、何故、JAS の基準と比べるのか。(榎本委員)

この資料は面外曲げだが、面外曲げは最外層で決まるから内層はそれほど関係ないと思う。(荒木委員)

概ねその通りだが、5 層 5 プライは真ん中にしかないが、7 層 7 プライくらいになると 11 kN/mm<sup>2</sup> から少しずれたところに高いラミナが入っていることになる。(榎本委員)

外層で強度が決まると思う。(荒木委員)

強度の計算値と実験値で安全側に出ているということだ。この強度の計算値はそれぞれラミナののものを使えば当然計算値も強度が出て、それが安全側にある。(神谷委員)

P5 の上のグラフはあくまで目安で考えてもらえればと思う。(平松)

資料 4 P1 令和 5 年度補正事業での実施内容 (案)

## 2. 1 非等厚ラミナ CLT の層構成 (案)

今年度は非等厚構成の CLT の試験を実施する。CLT 協会が性能 WG、製造・加工 WG、設計 WG にヒアリングをした結果、一方向で良いので、なるべく長いスパンを材積少なく飛ばせるような試験体にしてほしいという要望があった。そこで、スパンに応じて対応可能な非等厚ラミナ CLT の製造と性能評価を行うことを目的として試験を実施していきたい。

樹種及び強度等級はすべてスギを用いたものだが、MX60 相当で外層にヒノキを用いた対称異等級構成 CLT だ。ヒノキのヤング係数の分布によるが、MX90 もしくは MX120 として表 1 に示す層構成案を考えている。一番左側の列の DT は非等厚を示す仮の記号で、そのあとに続く数値は層厚だ。例えば DT-100 は、非等厚 CLT で厚さが 100mm という意味だ。

主に低層から中層の床での使用を念頭に置いた構成案を考えたい。DT-100 から DT-240 まで 6 種類が示してあるが、この中で DT-100、DT-140、DT-160、DT-180、DT-240 の 5 つの構成を試験したいと考えている。DT-100 は 3 層 3 プライ、DT-140 から DT-180 までは 5 層 5 プライ、DT-240 は 5 層 7 プライの構成になっている。ラミナ厚さは、外層は 40mm を基本としている。内層は 20mm、30mm、40mm のラミナを用いる。ただし、工場での製造において 3 種類混ざると大変だろうという判断で、1 構成のラミナ厚は 2 種類までとした。例えば DT-160 は 5 プライの仕上げラミナ厚さは左から 40、20、40、20、40 だ。DT-180 では、40、30、40、30、40 のように 2 種類だけの構成になっている。(平松)

### 資料 6

#### P1 下の表

1024 号の規定に基づいて圧縮、引っ張り、曲げ、面内せん断の基準強度をまとめた。色の付いているところが、現状の設計施工マニュアルに出ている等厚の 30mm のラミナで作る CLT で、白抜きの色のない行が非等厚の CLT だ。

120 が、ヒノキと内層にスギを使ったもので、非等厚よりも厚くなっているため、当然数字が高く算定されている。

先ほどはラミナの幅が 105mm という話があったが、ここでの面内せん断基準強度は、ラミナ幅 140mm で算定をしている。140mm との指定があったからだ。混在すると樹種の弱い方の基準値を用いて算定をしなければならないので、面内せん断に関しては数字が低くなっていることが分った。(中越)

#### P2 上の表

これは面外方向の曲げ基準強度とせん断応力度分布係数だ。設計施工マニュアルの算定式に準じて算出している。3 層 3 プライは少し低めに出ているが、5 層 5 プライなどは高めにでている。この傾向は 60 も同様だ。(中越)

#### P2 下の表

設計施工マニュアルに書かれている弾性係数の算定式に基づいて算定している。着目すべき面外方向のヤング係数強軸については、等厚よりも高い値が出ている。例えば 120 の 5 層 5 プライでは、等厚に比

べて徐々に性能が上がっていくようだ。5層7プライも同様だ。(中越)

#### 資料 7

この結果を使い、どのくらいの許容スパンになるか、等厚の場合と比べてどうかを、資料 7 のスパン表で示した。(中越)

#### P2 (1) 事務所床 (1時間耐火仕様)

例えば MX120 の 5 層 5 プライを見ると、等厚の場合の許容スパンは 4100mm だ。50mm 刻みですべて計算したが、非等厚の 5 層 5 プライで 140 厚 (40 20 20 20 40) の CLT は 4850mm、160 厚は 5500mm、180 厚は 5950mm になり、5 層 7 プライに行くまでの補完的なスパンが出ていることが分かった。

MX60 に関しては 140 の場合、少し数字が低く出ていたので補完にはなっていないが、160 厚と 180 厚については 5 層 7 プライに至るまでの補完的なスパンになっている。

同様なことが 5 層 7 プライの 240 厚についても、MX120 も MX60 のいずれも同様な形で 9 層 9 プライに至るまでの補完又はそれ以上の数字が出ていた。9 層 9 プライには面外基準強度の規定がないが、参考値として示した。許容スパンの決定要素はすべて撓みだった。(中越)

#### P3 (2) 住宅床 (防火仕様)

住宅の場合の低層床の防火仕様で、図のような床の許容スパンを計算した。

事務所と同様に許容スパンの決定要素はすべて撓みだった。荷重が変わっただけなので事務所と同様な傾向で、スパンは長くなった。等厚の 5 層 5 プライと 5 層 7 プライ間を補完できている。5 層 7 プライの 240 厚では 9 層 9 プライよりもスパンが飛ぶ、すなわち性能が良いことが示された。(中越)

計算をしたということだが、ラミナの強度は厚さに関係なく告示なのか。(安村委員長)

1024 号で決められている基準値があるのでそれを用いた。(中越)

前の実験とは関係ないということか。(安村委員長)

関係ない。(中越)

資料 6 の P2 の上の表の、構成が 30-30-30 の Fb (曲げ) 強軸が 19.71 N/mm<sup>2</sup> で、40-20-40 が、13.05 N/mm<sup>2</sup> になっている。何故、後者がこのように下がるのか。40-20-40 は厚さが 10mm 増えているだけで、100mm の厚さの内 80%が外層だ。30-30-30 は、厚さが 90mm で外層が 60mm だから 56%が外層だ。(神谷委員)

MX120-3-3 が、MX60-3-3 と同じ強度になっている。(銘建工業 渡部氏)

薄物程効果が大きいですが、全体が厚い場合、ヤング係数で言えばそれ程効果がない。40 厚ラミナの効果が小さくなってしまいます。だから全体の厚さに対する外層の厚さでいうとそれ程効果がない。等厚で作るのに対して非等厚で作る製造コストの上昇に対してヤング係数の向上の効果という辺の費用対効果だ。(神谷委員)

資料 7 の P2 の事務所床の許容スパンを見ると、例えばスパンを 5000mm 飛ばしたい時に、現行では、MX120-5-5 (厚さ 150mm) では 4100mm で足りず、6900mm の MX120-5-7 (厚さ 210mm) まで飛んでしまう。それに対し、非等厚の 160mm 厚さなら 5000mm スパンを実現できるので、最適な材積でコストダウン含めてお客様に提案できる。(銘建工業 渡部氏)

非等厚の効果というよりも、等厚だと断面選択が限られるが、非等厚では、断面を上げなくても使えるということか。(神谷委員)

#### 資料 4 2. 2床パネルの許容スパン

許容スパンに対応したときにどれぐらいの材積になるかというのを示した。(平松)

#### 表 2 CLT の床パネルの許容スパン及び各スパンでの各 CLT パネルの材積

等厚に黄色の色を付けている。強度等級は、MX120 が上半分、下半分は MX60 だ。右側には、500mm 刻みでスパンを取ったときに、CLT 幅 1000mm の材積を示した。ハイフンが付いているセルは、この構成の CLT では対応できない=許容スパン外であることを示している。

例えば、5000mm のスパンが必要な場合、各スパンの 5000 と記された列を見ると、等厚 MX120 の 5-5 では対応できず、等厚で対応するには MX120-5-7 である必要がある。一方、その間の非等厚構成 GT-160 GT-180 の 5 層 5 プライでは対応ができて、材積も例えば GT-160 の場合は 0.80 m<sup>3</sup>、GT-180 の場合は 0.90 m<sup>3</sup> になり、CLT の材積を、210mm (MX120-5-7) に比べて抑えられる。さらに 5 層 7 プライから 9 層 9 プライまでの範囲では、例えば各スパン 7000 の列を見ると、30mm を用いた等厚の 5 層 7 プライでは対応できず、等厚なら 9 層 9 プライでしか対応できないことがわかる。非等厚構成では、このスパンを 220mm 厚や 240mm 厚で実現でき、厚さや CLT の材積を抑えることができる。

また、5 層 7 プライは、DT-220 の許容スパンは 7550mm、DT-240mm の許容スパンは 8000mm なので、現行構成の 30mm 等厚 CLT では対応できないところまでスパンを伸ばせる。(平松)

等厚の場合はラミナの厚さが 30mm、非等厚の場合は 20mm、30mm、40mm であるということを前提とした検討で、34mm や 33mm といった好きな厚さのラミナで、等厚の CLT を作った場合の結果は異なるのだろう。しかし、実際には色々なラミナ厚さを工場を用意することは難しいので、30mm しかないとして検討した。非等厚では、厚さの種類がいろいろ選べるので、厚いラミナを使用せずとも小さい厚さで済んでしまう。どちらにせよ等厚は飛び飛びだから、その間を埋められると小さめのものが使えて材積も少なくなり、コストも下がる。(安村委員長)

結構効果大きい。例えば 6P、545 のスパンの時だと等厚だと 210mm のセイなければならぬところ 160mm で済む。8P の場合は等厚では 270mm だが非等厚では 220mm で済む。(神谷委員)

非等厚は 20、30、40mm の 3 種類で良いということだ。これはもう決めないと進めない。(安村委員長)

設計上限がパターン化されて決まっているのであれば最適なラミナが決まるかもしれないが、建物によって積載荷重などすべて変えられたら、そのようなことをやっても仕方がない。住宅なら決まっているが。(神谷委員)

事務所でこうなるということだ。積載が変われば若干変化するだろう。シミュレーションは簡単にできると思うので、検討してほしい。

### 表 3 CLT の床パネルの許容スパン及び各スパンでの各 CLT パネルの材積

住宅用として、455 ピッチで同様の表を作っているが、同様の傾向になった。

### 資料 4 2. 4 非等厚ラミナ CLT の製造試験、強度試験 (案)

このスパン表と今年の実験物は、必ずしも整合はしていない。これを全部試験するのか。今年の実験体はどうするのか。(安村委員長)

表 2 の上から非等厚の DT-100、DT-140、DT-160、DT-180、240 の 5 層 7 プライだ。8 メートルのスパンがあるということで今回の実験では 240 をやってきた。試験の種類は、これらの構成の CLT を大判パネルの製造試験を行い、それらから試験体を採取して強度試験を行う。強度試験の項目としては、今年度は、いずれも強軸方向で、引っ張り、圧縮、面外曲げ、面外せん断、加えて、非等厚構成なので、接着性能に関する試験を実施したい。

先の報告で、140mm で検討したとの報告があったが、20、30、40mm のラミナ幅については、製造で同じ強軸方向を向くラミナで幅が変わると側圧をかけたりするときかなり調整が必要になるので、今回はいずれも 140mm に揃えて試験を実施したい。

オールスギの CLT を作る場合、内層用と外層用を分ける閾値は、強度分布にもよるが、これまで同様に 8GPa くらいになると思う。ヒノキラミナの等級については M120 のラミナの強度等級を想定しているが、出現頻度によっては M90 までも含めたラミナを使って実験を行いたい。(平松)

MX120 だけか。(安村委員長)

オールスギで MX60 相当と、ヒノキ・スギの構成で MX120 相当のものだ。同じ層構成のものを両方の等級で作る。(平松)

8m を超える寸法か。(神谷委員)

3m、8m、3m、12m の中で最適な木取で作る。(銘建工業 渡部氏)

試験は A 試験か。(安村委員長)

面外曲げは A 試験で、スパンは厚さの 21 倍だ。最大厚さが 240 になるので 21 倍は 5040mm だ。(平松)

それなら 8m で試験する必要はない。(安村委員長)

その通りだ。(平松)

将来的には、これを JAS に追加するというイメージか。(槌本委員)

#### 資料 4 2. 3 直交集成板の日本農林規格での記載の仕方のイメージ

##### P5 の表 4

資料 4 の P5 の表 4 (直交集成版の JAS 規格の表 18) は、直交集成版の曲げヤング係数と曲げ強さの適合基準だが、異等級構成及び同一等級構成について、それぞれの強度等級、性能区分、曲げヤング係数、曲げ強さの適合値が示されている。

表 5 は、JAS の中にこのように取り込んでいけないかというイメージだ。

異等級構成、同一等級構成と並んでいるところに非等厚、異等級構成、強度等級のところに非等厚を示す記号を示して、層構成別に、曲げヤング係数、曲げ強さの適合基準を示していく。表 5 の一番左の非等厚、異等級構成の下の※印を付けたところに「※CLT の厚さ、構成、及び各層の仕上げラミナ厚さは下表に示すものに限る。」として表 6 を見てもらう。

同様に、CLT の厚さ、構成の区分で各層の仕上げラミナ厚さを、強軸方向のラミナとして、例えば DT-100 であれば 3 層 3 プライでは 40-20-40 に限る、240mm 厚であれば 40-40-20-40-20-40-40 の構成に限るとした。色々な構成ができる訳ではなく、構成を限定した形を考えてこの表を作った。(平松)

限定するという事だが、いくらでもバリエーションは出てくるので、38、18 がやりたいと言われたら、また新たな表を作るのか。どんどん要望が来ると思うが、これ以上は増やさないということか。それは難しいのではないか。であれば、基準強度は式で与えており、ラミナの強度は決まっているので、この式で計算すればどんな強度になるかを算出できる。上限値や下限値があるにせよ、将来どのような厚さや構成も対応できるのではないか。表で加えていくと、その度に試験が必要になる。2mm だったら必要ない、といった議論はもう必要ない。20mm と 40mm を試験したのだから、限界が 50mm でも良いのではないか、と思う。どんな厚さの構成でも、非対称の厚さ構成でも良いのではないか。それ程ずれないだろう。

(槌本委員)

何でもできるとすれば、とんでもない構成にした場合、本当にその計算が合っているのか、となるので、

何でも勝手にという訳にはいかない。加えて CLT は、接合の事があるので構成がわかってないと設計のとき困る。厚さ、構成の表示はどうしても必要になる。そういうことを一々できるかどうかという問題がある。(安村委員長)

真ん中で繋ぐ場合もあり、当然ラミナの想定を表示をする。(樋本委員)

対称だとしても無限に出てくると問題だ。(安村委員長)

無限に出てきてしまうのではないかと、という質問だ。要望を制御するのが良いのか。別の事業かも知れないが、無限に出てきても大丈夫なように、極端に危険そうな事例を確認して制限事項を設け、あとは自由、あとは計算、という方法もあるのではないかと。(樋本委員)

しかし、その研究をきちんと実施しようとするの大変だ。(安村委員長)

今実施していることを否定しているのではなく、拡張できるのではないかと、という意見だ。(樋本委員)

等厚で 20mm と 40mm のラミナの試験をしたとうことだが、20mm 等厚の CLT は昨年度まで試験している状況で、基準強度は一応問題なくクリアしているということだった。今年度は、非等厚を試験しようとしている。告示は 24mm から 36mm だったと思うが、20mm から 40mm に広げるのは、技術的には問題なさそうと考えてよいか。(荒木委員)

**20mm でも 40mm でも大丈夫だという結果が出ているので、そこまでは良いのではないかと。50mm はどうか**ということはあるが。(樋本委員)

とりあえず 20mm から 40mm に拡大できれば良いと思う。(荒木委員)

20mm から 40mm までは大丈夫ではないかと。(荒木委員)

外層に 20mm が使われている。(安村委員長)

20mm の CLT を作ったのは、20mm の方が危険になることがあるからか、40mm を実施しなかった理由は予算の関係か。CLT 製品にして試験をしたのか。(荒木委員)

40mm は一昨年度に実施しており、20mm は製造上の問題があったので昨年度に再試験を実施した。(平松)

つまり、20mm から 40mm は製品においても強度は確認できているということか。(荒木委員)

その通り。(平松)

非等厚はまだ実験が終わってないので、等厚の 20mm から 40mm 厚は問題ないということだ。とはいえ、非等厚で満たせないことはないだろう。(槌本委員)

この事業を始めるときに、CLT 協会とラミナ厚をどこまで広げるのかという議論をした。現状の 30mm のラミナよりも厚さを広げていったときに、森林総合研究所としては JAS の規格の構造を考えると 12mm から 50mm までのラミナすべてを基準強度の対象にするのが良いという提案をした。しかし、ラミナの厚さが変わったときにラミナ自体の強度性能が変わり得るということと、厚いラミナにしていくとラミナ幅を広げなければならず現実的ではない、という理由で、CLT 協会が、20mm から 40mm にまで広げるのが現実的であると判断をした。今回は現状の範囲からプラスマイナス 4mm 広げる研究をしているという位置づけだ。したがって、より範囲を広げていく場合には、ラミナの身体検査を行って、同じ等級のときに下限値が同じになるか、という検討する必要があるし、別立ての研究をしなければならないと考えている。(洪沢)

ということで今回は 20mm から 40mm だ。(安村委員長)

では、なぜ集成材のラミナは 50mm で OK なのか。CLT は 40mm でなければならない一方で、集成材は 50mm でも良いのはどういうことか。(神谷委員)

CLT のヤング係数での選別をしている 30mm のラミナに関して十分データがないので、CLT 協会が、実際に使えるものは 20mm と 40mm が良いと判断した。(洪沢)

集成材は最初から 50mm か。(安村委員長)

50mm に上げた。(槌本委員)

特殊な集成材を作るときに 50mm を使いたいという要望があり、取り入れた。(安村委員長)

最初は寸法が狂っているという事情があった。その後、技術が進んできて作れると証明されたので拡張された。(神谷委員)

2 プライで逆に付けた双子木材という製品が登場した。もともと集成材に 50mm が欲しいという話ではなく、そういう製品が出てきたので 50mm が入った。(安村委員長)

これを集成材に混ぜ込むのはいかなものか、と指摘した。(槌本委員)

50mm ラミナを使っている製品はあまりないのではないか。(安村委員長)

外国の CLT 規格は JAS よりずっと大らかだ。他の材料も入れ込める。(神谷委員)

MX を実施しているが、同一等級の非等厚は取り上げないのか。(安村委員長)

強軸方向を強く、と考えると MX で読めば良いと思う。(平松)

必要はないか。(安村委員長)

同一等級で 2 方向にある程度強いというものがあれば、逆に外層を薄くして内層を厚くする、というような形はあるかもしれない。(平松)

XY 方向の強度を揃えたいという要望もあるのではないかと。(槌本委員)

等級は、同一等級なのか異等級なのか。この提案は、厚さの種類を決めておいて、外層・内層の等級も決めている。(安村委員長)

ラミナを下から上まで使うということになると異等級構成の方が広く使える。非等厚にして同一等級にした場合に、どこまでいくか。長手強軸方向の床で考えると少ないかもしれない。(平松)

今回の研究で考えたいということでないので、別の機会に実施すれば良い。(安村委員長)

昔からの持論を言えば、やはり曲げがほとんどなので、異等級、異樹種でないと合理的なものは作れないと思っている。壁も座屈だから本来は曲げだ。だから、外層にできるだけ強いものを使うのが良い。有効に使うのであれば、強い樹種は供給量が少ないので薄くして外層に使い、中にはスギを入れ込む。これが森林資源の力学的な有効利用だ。(神谷委員)

この 120 は異等級ではなく、異樹種だ。(安村委員長)

20mm、40mm に限定しても 6 通りでは済まないのではないかと。(槌本委員)

あまり話を広げてはいけない。(神谷委員)

等厚構成の中で MX120 も異樹種構成もある。(平松)

今回基準強度を計算するとき、恐らく壁や垂れ壁などに用いた場合に影響が出てくると思うが、内層にスギを使うことによってせん断基準強度が非常に低い値になる。同一等級であれば、ヒノキを使えば面外は 1.2 取れて、面内はヒノキの決められた強度で計算するので高い値が出てくる。しかし、異等級の場合はスギに支配されて算定値が出るので、かなり低めなものになってしまう。したがって、例えば

壁にも使われる可能性が非常に高い3層3プライの100は、同一等級も視野に入れた方が良いのではないかと思う。(中越)

これは、ラミナの厚さなどの構成が決まっていれば、あまり問題はない。構成が同じであれば、それを異等級にするか同一等級にするかは計算の問題だと思う。このように厚いものを壁に使うことはないだろうから、曲げもせん断も計算すれば良い。実験で薄いものについて確かめる必要があるが、基準上あまり問題はないと思う。

それよりも、今回実施するなら、厚みの構成などが問題になる。同一等級でも、面外曲げは若干強くなるだろうがあまり関係がない。(安村委員長)

参考として、ヤング係数や面外曲げも計算してみたが、数パーセントしか変わらなかった。面内のせん断に大きな違いが出た。(中越)

同一等級の場合、せん断が問題になったが、それ程差がないので同一にした。(安村委員長)

面内せん断は樹種によって決まっていると考えて良いのか。(平松)

スギでMX120の3層3プライの場合、ヒノキとスギなので、全層ヒノキにすれば面内せん断強度が上がる。したがって、そういうこともある。

ヒノキのせん断を使えば良いか。(安村委員長)

その通り。決められた値が大きいので面内せん断強度が上がる。(中越)

ラミナが厚くなると、面内せん断強度が下がることはないのか。(神谷委員)

厚くなるとラミナの幅が広くなり、数値的には安全側になる。(銘建工業 渡部)

面内せん断基準強度の場合、破壊モードが1,2,3とあり、厚いとモードが変わるので値が低めに出る可能性がある。(中越)

検討してもらった必要があるが、計算して選定すれば良い。基準せん断強度はヒノキを使えばよい。

実験ではHBという記号が使われており、このJASの案ではDTになっている。Differentには必ずfromが付くので、JASの記号は、英語圏の人に違和感がないように考えてほしい。(神谷委員)

そのようにする。(平松)

全体を通して他に意見はあるか。(安村委員長)

無し。(一同)

本日はここまでとする。(安村委員長)

◆閉会

議論された内容について実験を進めていきたいと思っています。

(一社)日本 CLT 協会

## 第2回 国産材を用いた非等厚ラミナ構成 CLT の製造技術に関する検討委員会議事録

### 議 事 要 旨 (案)

件 名	令和5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 (国産材を用いた非等厚ラミナ構成CLTの製造技術に関する検討)		第2回
日時	2024年2月4日(木) 15時00分～17時00分	場所	(一社)日本CLT協会 大会議室 東京都中央区日本橋茅場町3-9-10 茅場町ブロードスクエア2階 (WEB会議併用)
参加者	<p>( 欠席者____:WEB参加者(**) )</p> <p>委員長 安村 基</p> <p>委員 (河合 直人)、(青木 謙治)、(槌本 敬大)、<u>秋山 信彦</u>、(荒木 康弘)、 (神谷 文夫)、尾方 伸次</p> <p>オブザーバー (佐藤 秀憲)、福島 純、上田 萌香、増井 僚、<u>杉原 伸一</u>、<u>吉田 優一朗</u>、 中田 直、(平原 章雄)、<u>伊藤 一哉</u></p> <p>事業実施者 坂部 芳平、西妻 博康、原 周平、渡部 博、布施 美月、平松 靖、(渋沢 龍也) (杉本 健一)、(宮本 康太)、(宮武 敦)、(井道 裕史)、(新藤 健太)、 (宇京 斉一郎)、(大木 文明)、(小島 瑛梨奈)、(中川 美幸)</p>		

## ◆挨拶

林野庁木材産業課の福島です。本日はお忙しい中、委員長の安村先生を初め、皆様にお集りいただき、ありがとうございます。

日頃より林野行政の推進にあたりご理解とご協力をいただきまして、改めましてお礼申し上げます。

本事業はロードマップにも記載されておりますように非等厚ラミナを用いた CLT の製造技術に関するデータを収集・解析です。本年は、各構成の強度試験、それから合理的な構成によるスパン表等を作成していただいております。まだ残りの試験等が残っていると聞いております。来期以降になると思いますが、実施していただいた強度試験を基に、JAS 改正というところまで踏み込んでいければと思いますので、よろしく願いいたします。

## ◆資料

- 資料 1 議事次第
- 資料 2 第 1 回委員会議事録
- 資料 3 非等厚構成 CLT の強度試験結果
- 資料 4 FJ ラミナと CLT の引張り、圧縮、曲げ強度試験結果一覧
- 資料 5 非等厚ヒノキ+スギ HBMx120、等厚 Mx120、非等厚スギ Mx60、等厚 Mx60 床パネルの許容スパン表

## ◆事業内容検討

### 資料 2（第 1 回委員会議事録）

第 1 回委員会議事録の説明があった。（西妻）

以下の 3 所について修正意見があった。

P9：直交修正版→直交集成版、

P12：強軸方法→強軸方向、MF120→MX120

P7：神谷委員の「なぜ下がるのか」という質問に対する回答の表現は「資料のリンクが誤っている」とするのが良い。（銘建工業 渡部）

議事録は発言の通りとすべきなので、この意見はコメントとする。他に意見が無ければ、これらを修正して議事要旨とする。（安村委員長）

### 資料 3（非等厚構成 CLT の強度試験結果）

#### 1. 試験を実施した非等厚構成 CLT の層構成

平松氏からの説明の後、質疑応答があった。

## 質疑応答

NU220 や NU240 は、平行層の厚さの比率がかなり大きい。平行方向と直角方向のラミナの比率がかなり異なるので、実際に使ったときに、クリープが出たりすると、割れる等、色々な問題が出るのではないかと懸念する。例えば NU220 は平行層が  $40+40+20+40+40=180$  で、全体に占める割合は  $180/220$  ( $\approx 82\%$ ) だ。材を直交させて CLT とする理由は、材の収縮膨張（膨潤？）を止めるためだと考えている。この試験体は、こうした問題が生じないかを考慮し、限界構成として選定したのか、あるいは全く考えないで単に実験結果から導いた構成なのか。（神谷委員）

直交方向の強度を考慮しているか。（安村委員長）

今回の実験では、考慮していない。（平松）

合板の場合は、平行層と直交層の比率の上限が決められている。それを超えると、環境の変化で色々な問題が生ずるといえることがあるからだ。220mm のうち 180mm が平行層で、直交層が 40mm しかない場合、冬と夏で平衡含水率になると大変なことになる。（神谷委員）

寸法変化ということか。（平松）

寸法変化というより、膨潤収縮で繊維直角方向に割れが出るなどが考えられる。NU220 では、表面の  $40+40=80\text{mm}$  が繊維直角方向に収縮や膨潤するとき、次の 20mm の直交層でそれを抑えることになっているが、抑え切れなと思う。（神谷委員）

直交層が平行層の寸法変化を抑えきれず、平行層に割れが生ずるといえることか。（平松）

その通り。だから、そういうことを考えて試験体を作ったのか、あるいは、それは別の問題ということ考えずに、この試験体を作ったのか。（神谷委員）

今回の計画では強度性能を目標として考えたので、抑え切れるかは考慮していない。（平松）

加えて、止めきれずローリングシアが出ると思う。（神谷委員）

せん断実験は実施しているか。（安村委員長）

積層方向のせん断実験は実施している。（平松）

その時にローリングシアを～。今日は資料としてあるのか。（安村委員長）

せん断試験結果については解析中の部分があり、まだ報告できない。（平松）

指摘したのは面内せん断ではなく、収縮膨潤が出たときに、表側の 80mm が動こうとする中で、それを止めようとする材の厚さが 20mm であるということだ。結果として、2 層目と 3 層目の間にすごい力がかかるので、そこが大丈夫かという懸念だ。(神谷委員)

寸法変化に対するせん断力ということか。(平松)

JAS ではこの割合は決められていたか。(安村委員長)

構成が決まっているだけだ。(河合委員)

等厚構成では 5 層 7 プライが最も直交層の割合が低い。30mm の等厚構成における 5 層 7 プライでは、平行層が  $30 \times 5 = 150\text{mm}$ 、直交層が  $30 \times 2 = 60\text{mm}$  で、直交層が占める割合は  $60/150 (=40\%)$  だ。(平松)

実験は実施するので、不都合があるならば割合を考えるということだろう。LVL は大分異なるのではないか。(安村委員長)

LVL の A 種はビームなので、直交層があっても集成材のビームと同じように特に問題がない。一方、面として使う場合は、層構成の割合が決められていたと思う。環境変化で寸法が伸び縮みするので、せん断力がかかるなどがある。合板は直交層が最低 3 割だったと思う。(神谷委員)

3 割から 7 割だ。(青木委員)

NU220 は  $40/220 \div 18\%$  なので、これまでの考え方に照らせば懸念がある。(神谷委員)

意見として受け止め、この懸念について検討してほしい。(安村委員長)

今、議論したことを、検討項目として記録しておいてほしい。(神谷委員)

## 2. 乾燥後ラミナのグレーディング

平松氏から説明があった。

P10 のグラフの注記について以下の訂正があった。

$$1.0\text{kN/mm}^2 \rightarrow 15.0\text{kN/mm}^2$$

説明の後で質疑応答があった。

質疑応答

どのような試験法を採用したのか。(安村委員長)

イタリア マイクロテック社ヴィスキャンというグレーディングスキャナーを用いた。側面から打撃するという点は通常のものと同じだが、干渉波を音声ではなくレーザーで把握するため、ラインの音を拾わなくて済む。事前に数百枚のラミナを用いて、それぞれの厚さに対して、非破壊で重りを載せて曲げB試験を行った結果と、この打撃式グレーディングマシンの値の相関が90パーセントを超えるように調整して測定した。(渡部)

これは実際のラインで使える機器か。(安村委員長)

使用している。密度はロードセルで1枚1枚計測している。(渡部)

どれくらいの速度で測定しているのか。(安村委員長)

比較的速い。連続式の曲げのグレーディングマシンと変わらない速度だ。(渡部)

### 3. たて継ぎ (FJ) ラミナの強度試験

引張り、圧縮、曲げ (繊維方向)

平松氏から説明があった。

#### 質疑応答

フィンガージョイントが有るものと無いもので、違いは判るか。(安村委員長)

今回の試験体については調べていないが、フィンガージョイントが有ると、無いラミナに比べて、強度は平均して7割程度には落ちるのではないかと思う。節などで突発的な破壊というような影響は、縦継ぎすることによって取り除けるのではないかと思う。著しく低いものは出ないと思う。(平松)

厚さに関係ないか。(安村委員長)

関係ないと思う。森林総研で調べたデータがあるので確認する。(平松)

外層用ではM60位に相当するという説明だったが、青の点を見ると、最低値がM120よりも上回っており、平均値についてはもっと上回っていて、M120としてもまだ安全側のような気がするが、そのように解釈してはいけないのか。(神谷委員)

強度に関してはM120を上回っているが、ヤング係数については、横棒で示したM120の基準値の範囲

(10～15kN/mm<sup>2</sup>) に分布していないためだ。(平松)

了解した。(神谷委員)

P14 の曲げ強度に対する比が示されたが、従来の値と比べてどのようなものか。概ね同等ということで、問題ないことを確認したというレベルなのか。(青木委員)

曲げに比べると少し引張りの割合が高い印象をもっている。ただ、今回のラミナで曲げが低かったという訳ではなく、むしろ引張りが高く出たと考えている。初年度の実験結果は、引張りが 0.7 位だったと思うので、それに比べると今回、引張りが少し高かったということになる。(平松)

了解した。(青木委員)

構造用製材の基準強度の比率を見ると、引張りは 0.6 しかない。高い値が出た理由は、多分厚さが 20～40mm であることではないか。(神谷委員)

構造用製材に比べて高くなっている理由は、ラミナを使用しているからだという指摘か。(平松)

そのような気がする。(神谷委員)

フィンガージョイントが無い製材と比べると、引張りももう少し低くなるのか。曲げで、フィンガージョイントが有る場合と無い場合の違いのデータはあるのか。(安村委員長)

曲げの違いは 0.7 倍ぐらいになる。(平松)

そうであれば、製材と比べると 0.5 位か。(安村委員長)

引張りではそうなる。(平松)

その程度だろう。(安村委員長)

フィンガージョイントラミナについての曲げと引張りの比は、前の試験では 0.65～0.7 位だった。今回、ヒノキ外層用で 0.8 という結果が出ているので、これまでの実験に比べて少し高いと言えるが、限られた試験体での結果だ。(平松)

#### 4. 非等厚構成 CLT の強度試験

平松氏から引張り（強軸方向）について説明があった。

P16 の表題の右のカッコは削除する。

P17 の引張り強度のグラフについては、一番左端の青色のスギ 40-20-40 が低く出ている。ヤング係数と同じように考えれば、本来、スギ 40-20-20-20-40 よりも高くなると考えられるが、今回の試験結果では低くなった。

P18 左側グラフで、一般的にヤング係数が高くなると引張り強度も高くなるという傾向にあるが、40-20-40 の青色のプロットが外れている。

P18 右側のグラフは、縦軸が引張り強度の平均値、横軸が計算値だ。平行層のラミナだけが寄与すると考え、平行層理論に基づきラミナの引張り強度の平均値を基準に計算している。

理想は 1 対 1 の関係（点線）だが、3 層 3 プライが両方とも、計算値よりも実験値の方が低い結果が得られた。フィンガーで破壊しているが、このような結果になった原因を明らかにするには、どのような影響があったのか全体の破壊の状態を調べてみる必要があると考えている。

### 引張り（強軸方向）についての質疑応答

P18 の引張り強度の計算値と実験値の関係をみると、40-20-40 は計算値の 75%しか出ていない。計算値に比較して実験値があまりにも低いので、CLT ならではの問題なのか、試験方法の問題なのか、後でよく検討して欲しい。どちらが原因だと思うか。（神谷委員）

単なる感想だが、初年度の等厚 40mm 構成（40-40-40）の試験体では、計算値と実験値が比較的良好一致していたので、今回、何らかの原因があるのかもしれない。層が薄いことが影響するのか、わからない。（平松）

チャックと接触している材は平行層なので、チャックから材料へ力が伝わると思うが、その次の直交層のところは、柔らかいものが間に入っているので、きちんと引張り応力が断面全体に均等に渡ってない気がした。前回の実験ではそういうことはなかったということか。（神谷委員）

そうだ。（平松）

何年か前の事業で、等厚 20mm～40mm 等の実験を実施していたか。（荒木委員）

初年度に等厚構成で 20mm、30mm、40mm を実施したが、20mm については、製造が難しかったため、昨年度の事業で 20mm の曲げをやり直した。（平松）

薄いものは昨年度やり直したが、曲げしかやってないということか。（荒木委員）

等厚構成の 20mm も実験している。（平松）

その時は、実験値の方が計算値よりも大きくなっているのか。（荒木委員）

20mm の等厚構成の引張り試験は、CLT のデータ収集事業の 28 年の委託事業の中で行っている。計算値に対して実験値が 0.9 位になっている。初年度に等厚構成の 40mm の試験を実施しているが、推定値に対して実験値が 0.88 位だ。

今回と似たような傾向だったといえるか。(荒木委員)

今回、5 層 5 プライの 40-20-20-20-40 については、これまでの試験結果と同様の結果が得られたが、その 3 層 3 プライの 40-20-40 は、これまでと異なり計算値に比べて低いので、検証が必要と考えている。例えば、今回使うラミナで、全層スギなら MX60 が主流だが、まあ外層を M60、内層を M30 という等級区分で構成した場合の、JAS に示されたラミナの値から計算したものよりは上回っている。ヒノキについても、MX120 で計算したものよりは上回っている。(平松)

計算値とはラミナの 2 枚分の引張り強度で、それに比べて実験値が低いということで、接着したものが低くなったということか。(安村委員長)

その通り。CLT になるとラミナが外層 6 枚分になり、断面積が大きくなるという寸法効果がある。また、ラミナの場合はチャック間 600mm で試験しているが、CLT の引張り試験では 3000mm なので、そのような寸法効果が現れているかもしれない。例えばラミナを 3000mm のチャックで壊してみると直接の比較が出しやすいかもしれない。(平松)

これは幅が 300mm なのか。(安村委員長)

その通り。ラミナが 140mm 幅の 80-80 になっているが、つまり 3 枚で構成されているが、実質 2 枚だ。(平松)

ヤング係数も低いのか。平均と言っても値は 6 枚の中の弱いもので決まるから低くなるということもあり得る。(安村委員長)

ヤング係数については、一致している。今回は、あくまで試験体同士で比較した結果なので、低い値のものが外層ラミナのどこかに混じれば、それに引っ張られて低くなるということがありえると思う。(平松)

3 層 3 プライ 40-20-40 の試験体には幅方向に 3 枚のラミナがあるが、フィンガージョイントが、長さ方向のほとんど同じ場所に集まっており、かつ両外層でも同じような場所に集まっていた。破壊性状を確認したところ、そこの一部の箇所だけでいきなり破壊が起こっていた。それだけで、これだけ強度が低くなるかと問われれば悩ましいが、こうしたフィンガージョイントの構成も要因の一つなのかもしれないと考えている。(小島)

フィンガージョイントが分散されると強くなるので、集中している場合は、弱くなるのではなく強くなる効果がなかっただけの話だ。だから、フィンガージョイントが全部集まっていたので弱くなったという理屈は通らないと思う。ラミナで引っ張った時はフィンガーが最も弱い箇所だが、CLTになった時はフィンガージョイントの場所が分散されれば、分散効果で逆にそちらの方が強くなるというのが一般的な傾向だ。だから、今回、そろっていたから弱くなったということはないと思う。(神谷委員)

その通りだと思うが、弱いところの平均値を使って計算しているので、低いところが集まって壊れたということも考えられると思った。実験実施者としての印象だ。(小島)

幅方向はラミナ何枚か。(神谷委員)

80mm、140mm、80mm の 3 枚だ。(小島)

ということは、フィンガージョイントが 6 つ集まったため、最も弱いところで壊れるという理屈からすれば、かなり下がるかもしれない。さきほどの表現は、誤っている部分があったので訂正する。(神谷委員)

引っ張りなので、やはり一番弱いところから効いてくると思うので、そういったこともあり得るのかと考えた。(小島)

引張り試験で、ラミナ単体の試験に対して CLT の幅は何倍になっているのか。ラミナ単体のスパンに対して、CLT のスパンは何倍になっているのか。(神谷委員)

ラミナ単体はチャック間距離が 600mm で、CLT が 3000mm だ。外層ラミナの幅は 140mm で、CLT が 300mm だ。

ということは長さが 5 倍で、幅が 2 倍程度なので、ボリュームがものすごく増えている。ボリューム効果で、最弱決定(欠点?)モデルであることを考慮すれば、かなり強度が下がってもおかしくない。また、先ほど小島氏が言及したように、最弱部分が 6 つ集まるとさらに下がるので、この数値は頷けるかもしれない。(神谷委員)

その点についてはもう少しデータを見たい。過去に森林総研の長尾氏が引張りのチャック間距離の影響について学会発表されているので、参照しつつ改めて検討したい。(平松)

やはり弱いところで壊れるので、平均と平均を比べるのは無理がある。弱いところが壊れた時に破壊とするならば、何か確率的な扱いが必要だろう。(安村委員長)

## 圧縮（強軸方向）

平松氏から圧縮（強軸方向）について説明があった。

P24 の右グラフの 42424 というシンボルで表された結果は、ヤング係数と強度が少し低い。これは、ヤング係数の低いラミナが外層に集まってしまったために全体的に強度が落ちたと考えている。製造の記録からも明らかになっている。

P25 のタイトルが曲げ強度になっているが、曲げヤング係数の誤りだ。

## 圧縮（強軸方向）についての質疑応答

曲げ強度の計算値と曲げ強度の実験値のグラフがある。曲げ強度の計算値は等価断面法で計算しているが、その時の強度は引張強度を用いるのか。（神谷委員）

曲げ強度を使っている。（平松）

曲げ強度で等価断面法か。（神谷委員）

その通り。（平松）

曲げ強度はラミナの強度か。（神谷委員）

ラミナの曲げ強度だ。（平松）

集成材の強度を推定する場合、等価断面ではなくて普通の断面だが、なかなか計算と合わない。集成材の梁成が大きくなったときの強度の計算では引張り強度を使うのか。（神谷委員）

一応、曲げ強度を使い寸法調整係数が入る。（安村委員長）

梁成が大きくなると強度が下がるという状況に対して、研究者が単純に計算する場合だ。（神谷委員）

本来、引張りを用いるべきだと思うが、決まった方法はない。（安村委員長）

少し断面が変わったりして方法が変わると、引張り強度が下がるという話と、層構成の応力分布など、色々な問題が入っている気がする。（神谷委員）

最外層のラミナが曲げに近いのか引張りに近いのか。本当は複合力になっているのだから、複合力できちんと解析しなければいけないが、実際の設計ではそのようにせず、曲げを使っているから引っ

張りの 0.65 ということになった。(安村委員長)

最外層に引張りと曲げが加わっているから、それで計算する方法が初期の頃の集成材の強度設計だ。  
0.65 という調整係数は、森林総研の実験から導かれたと思うが、これは実験の係数か。(神谷委員)

告示で書かれた調整係数だ。(平松)

告示の数値の元は何か。(神谷委員)

これは国交省が決めた。(安村委員長)

規制値はそうだが、実験が元になっているのではないか。(神谷委員)

実験が基になっているのだろう。(安村委員長)

CLT の強度データ収集という林野庁の委託事業だ。(平松氏)

理論値ではなく実験値ではないのか。(神谷委員)

そうだろう。私は少し検討したが、通常、内部の応力分布を計算することはしない。だから、CLT の曲げ試験結果と計算を比較したら 0.65 位にしないと合わないということだろう。(安村委員長)

集成材にある梁成の係数はないのか。(神谷委員)

将来を考えても 9 層 9 プライまでで 30 センチまではいかない。高さがそれ程高くないので、梁成の係数はない。(安村委員長)

左のグラフが右のグラフになるので、とてもうまい数値だ。(神谷委員)

だから 0.65 位を乗ずると良い、ということではないか。曲げと引張りで 0.7 という状況を考慮すると、0.65 位で良いという感じがする。

実験している CLT の各層のヤング係数はわかるが、製品はどうか。(安村委員長)

製品の各層のヤング係数は、分布の形でしかわからない。(平松)

そのものは実験してないからわからないが、それは、各層のラミナがわかっているならシミュレーションできるということか。(安村委員長)

たわみの振動で求めたヤング係数から逆算することはできるかもしれない。たわみの振動で取得した CLT のヤング係数を用いて、どちらがどちらかはわからないが、外層は同じものとして、わかるのではないかと思う。平均でしかないが、引張りは特にヤング係数から～これ位という値は得られるのではないか。

(平松)

実用的には良いとしても、学術的に細かく見ていくときは、一本一本について、計算がどれぐらい異なるかのデータが必要かもしれない。(安村委員長)

外層を二枚重ねの 4040 にして試験をしているが、その試験体についての結果の強度は、特に問題はなかったということによいか。特に極端な構成にはしていないので妥当な結果だったということか。(神谷委員)

その通りだ。(平松)

今回、非等厚ということで改めて CLT の剥離試験を実施したところ、すべての構成において、JAS 基準を満たしている結果が得られた。したがって、今回の強度試験において、接着の状況が何らかの悪さをしたということや、極端な影響を与えたということにはなかったと考えている。(平松氏)

## 5. 欧米の CLT メーカーが製造する CLT の記号

平松氏から説明があった。

### 質疑応答

少なくともこれだけの情報は、印刷するかどうかは別として、分からないと困るということだ。加えて樹種だ。(安村委員長)

### 資料 5

非等厚ヒノキ+スギ HBMx120、等厚 Mx120、非等厚スギ Mx60、等厚 Mx60 床パネルの許容スパン表  
スパン表は参考資料だ。(平松)

### 資料 5 今後の課題

CLT 協会にお越しの皆様には紙で配っていますが、メールでは送付していません。WEB 参加の方には後追いで送付します。(西妻)

平松氏から「資料5 今後の課題」について説明があった。

#### 質疑応答

せん断試験は1.5を乗じているのか。(安村委員長)

乗じている。(平松)

直交層の割合が少なくなると、収縮膨潤に対して割れなど色々な問題が生ずる可能性がある。無制限に直交層を減らして良いとは思えないので、検討項目として残しておいた方が良いのではないか。集成材で壁を作ると、厚いからなかなか平衡状態にならないので、それほど急に縮んだり伸びたりしないが、かつて森林総研が30mmほどの幅広板というものを開発し、実際に製造されて使われたことがある。

幅が600mmであったが、冬は収縮して隙間ができてしまった。直交層がないためかなり激しかった。厚いので平衡状態になるかどうかは分からないが、どこかで線を引かないといけない気がする。(神谷委員)

問題として、CLTは今、弱軸は考えていない。1枚しか入っていないと良いかという、それはやはりまずいだろう。加えて、環境で変形するなどの問題が生じないか、ということもある。どこかに置いておくなどする必要があるかもしれない。少なくとも、かなり湿気の多いところでは問題が出るかもしれない。薄いとは結構曲がったりするようだ。(安村委員長)

乾燥の方が大きいと思う。ヨーロッパで見ると、ほとんど割れが入ってしまっている。現実には外層が厚ければ厚いほど、割れが入りやすい。(神谷委員)

使用状況との関係があるので、暴露まで行かなくても、そのような検討を実施しておく必要がある。(安村委員長)

海外ではそうした問題をどのように考えているのか、情報収集することも有効だ。(神谷委員)

構成については、これで良いということか。(安村委員長)

良いと思う。(坂部氏)

他に無いので、ここまでとする。(安村委員長)

#### ◆閉会

ご協力ありがとうございました。(西妻)