

令和4年度 木材製品の消費拡大対策及び
国内森林資源活用・建築用木材供給力強化対策事業のうち
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6年2月

一般社団法人 日本CLT協会

目次

第1章 事業内容	1
1.1 事業の目的.....	1
1.2 実施体制.....	1
1.3 委員名簿.....	2
1.4 実施スケジュール.....	3
第2章 異なる厚さのラミナを使用した CLT の製造試験	1
2.1 製造試験概要.....	1
2.1.1 試験の目的.....	1
2.2 スギ、ヒノキフィンガージョイント(FJ)ラミナの製造とヤング係数の測定.....	1
2.2.1 試験の目的.....	1
2.2.2 FJ ラミナの製造と試験方法.....	1
2.2.3 実施状況.....	2
2.2.4 ラミナのヤング係数の測定結果.....	7
2.2.5 まとめ.....	7
2.3 FJ ラミナ試験体の引張り試験結果.....	13
2.3.1 目的.....	13
2.3.2 引張り試験体と引張り試験方法.....	13
2.3.3 引張り試験結果.....	13
2.3.4 まとめ.....	14
2.4 FJ ラミナ試験体の縦圧縮試験結果.....	22
2.4.1 目的.....	22
2.4.2 縦圧縮試験体と縦圧縮試験方法.....	22
2.4.3 縦圧縮試験結果.....	22
2.4.4 まとめ.....	23
2.5 厚さ 20mm のスギラミナを用いた等厚構成 CLT の製造試験.....	24
2.5.1 厚さ 20mm のスギ FJ ラミナの製造.....	24
2.5.2 CLT 試験体の作製.....	24

添付資料

- ・ 第1回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議事録
- ・ 第2回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議事録

第1章 事業内容

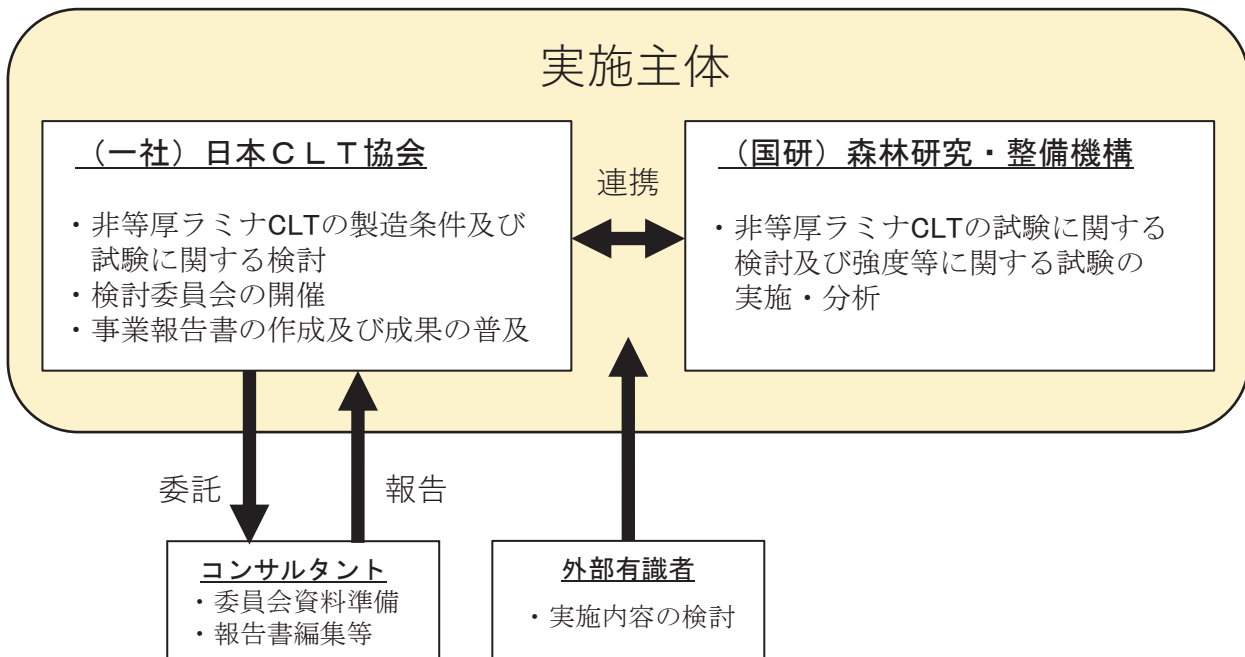
1.1 事業の目的

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。

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	○	



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准教授
	槌本 敬大	(国研) 建築研究所材料研究グループ グループ長
	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主任研究官
	秋山 信彦	国土技術政策総合研究所主任研究官

オブザーバー

杉原 伸一	国土交通省住宅局参事官 (建築企画担当) 付
甲斐 菜月	国土交通省住宅局参事官 (建築企画担当) 付
川原 聡	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
巻田 和丈	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
山内 一浩	(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
渡部 博	銘建工業
伊藤 一哉	株式会社 E P & 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
安東 真吾	一般社団法人日本 CLT 協会 事務局長
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
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
原田 真樹	(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

1.4 実施スケジュール

- 7月24日 第1回検討委員会開催 事業実施計画の検討
- 7月～10月 製造試験、強度試験の実施
- 11月～1月 強度試験の実施、試験結果の検討
- 2月2日 第2回検討委員会開催 結果の取りまとめ、成果報告書の作成

第2章 異なる厚さのラミナを使用した CLT の製造試験

2.1 製造試験概要

2.1.1 試験の目的

R3 年度（補正）事業では、①厚さ 40mm 超のラミナの連続式グレーディングマシンによる強度等級区分に関して、測定値のばらつきが小さくなるような手法の検討が必要であることが明らかになった。また、②厚さ 20mm、幅 70mm のラミナを用いた CLT に関しては、ラミナの曲げ強度試験結果から推定される CLT 曲げ強度に対して、実験値が低い値をとったことから、再度検証を行う必要があると考えられた。

そこで、R4 年度（補正）事業では、①ラミナのグレーディングに関しては、国内での厚物ラミナ、薄物ラミナの製造時の各工程でヤング係数の測定を行い、製造されたフィンガージョイントラミナの強度試験等を実施し、②厚さ 20mm のラミナを用いた等厚構成 CLT に関しては、その曲げ強度性能を明らかにすることを目的とする。

2.2 スギ、ヒノキフィンガージョイント (FJ) ラミナの製造とヤング係数の測定

2.2.1 試験の目的

現在、CLT の製造で主に用いられている仕上げ厚さ 30mm のラミナに比べて、厚いラミナ（仕上げ厚さ 40mm）、薄いラミナ（仕上げ厚さ 20mm）について、仕上げ厚さ 30mm のラミナと同様の手法により等級区分が可能であるかどうかを検討する。

2.2.2 FJ ラミナの製造と試験方法

スギ、ヒノキ原木から FJ ラミナ（仕上げ厚さ 20mm、30mm、40mm）の製造までの流れを図 2.2.2-1 に示す。あわせて図 2.2.2-1 に記した工程①～⑫の説明を記す。

- ① 原木（丸太）(3m) から、仕上げ断面寸法（厚さ×幅）20mm×105mm、30mm×105mm、40mm×140mm の FJ ラミナ試験体を製造するために、ラミナ（乾燥前）を製材した。
- ② ラミナ（乾燥前）を人工乾燥（スギ 12.5 日間、ヒノキ 9.5 日間）し、ラミナ（乾燥後、粗取なし、以下ラフという）を得た。
- ③ これらのラミナ（ラフ）から FJ ラミナ試験体の製造に必要な枚数を抜き取り、JAS3079 直交集成板に準じてラミナの曲げ B 試験に供した。試験は支点間距離を 2800mm とした中央集中荷重の 3 点曲げ方式で実施し、錘を載せて荷重を加えた。初期荷重を加えたときと最終荷重を加えたときのたわみの差を測定し、曲げヤング係数を求めた。
- ④ 曲げ B 試験を実施したラミナ（ラフ）について、厚さムラを取り除くために粗取切削を行い、ラミナ（粗取後）を得た。
- ⑤ ラミナ（粗取後）を連続式連続式グレーディングマシンに投入し、曲げヤング係数を測定した。
- ⑥ ラミナ（粗取後）を曲げ B 試験で求めた曲げヤング係数の順に並び替えた。
- ⑦ 並び替えた順で FJ 間隔が約 1225mm となるように短尺にクロスカットした。
- ⑧ これらの材を、並び替えた順で連続的にたて継ぎ（FJ）し、4m 間隔でクロスカットした。
- ⑨ 断面寸法を所定の寸法に仕上げ、FJ ラミナ（仕上げ）を得た。

- ⑩ 長さ 4m の FJ ラミナ（仕上げ）について、縦振動法によりヤング係数を測定した。
- ⑪ 縦振動法によるヤング係数の順に、FJ ラミナ（仕上げ）を引張り、及び圧縮試験体を採取するラミナ、曲げ試験体を採取するラミナに振り分けた。
- ⑫ FJ ラミナ（仕上げ）から、引張り試験体（長さ 2000mm）、圧縮試験体（長さ：ラミナ厚さの 6 倍）、曲げ試験体（長さ：ラミナ厚さの 25 倍）を採取した。

2.2.3 実施状況

曲げ B 試験を実施したスギラミナ（ラフ）、曲げ B 試験の実施状況を、連続式グレーディングマシンに投入する前のラミナ（粗取後）を、それぞれ写真 2.2.3-1～写真 2.2.3-3 に示す。

原木の径級、本数と得られたラミナ（乾燥前）の枚数を表 2.2.3-1 に、木取の例を図 2.2.3-2 に示す。ラミナ（乾燥前）、乾燥後で粗取していないラミナ（ラフ）、ラミナ（粗取後）、FJ ラミナ（仕上げ）の寸法を表 2.2.3-2 に示す。

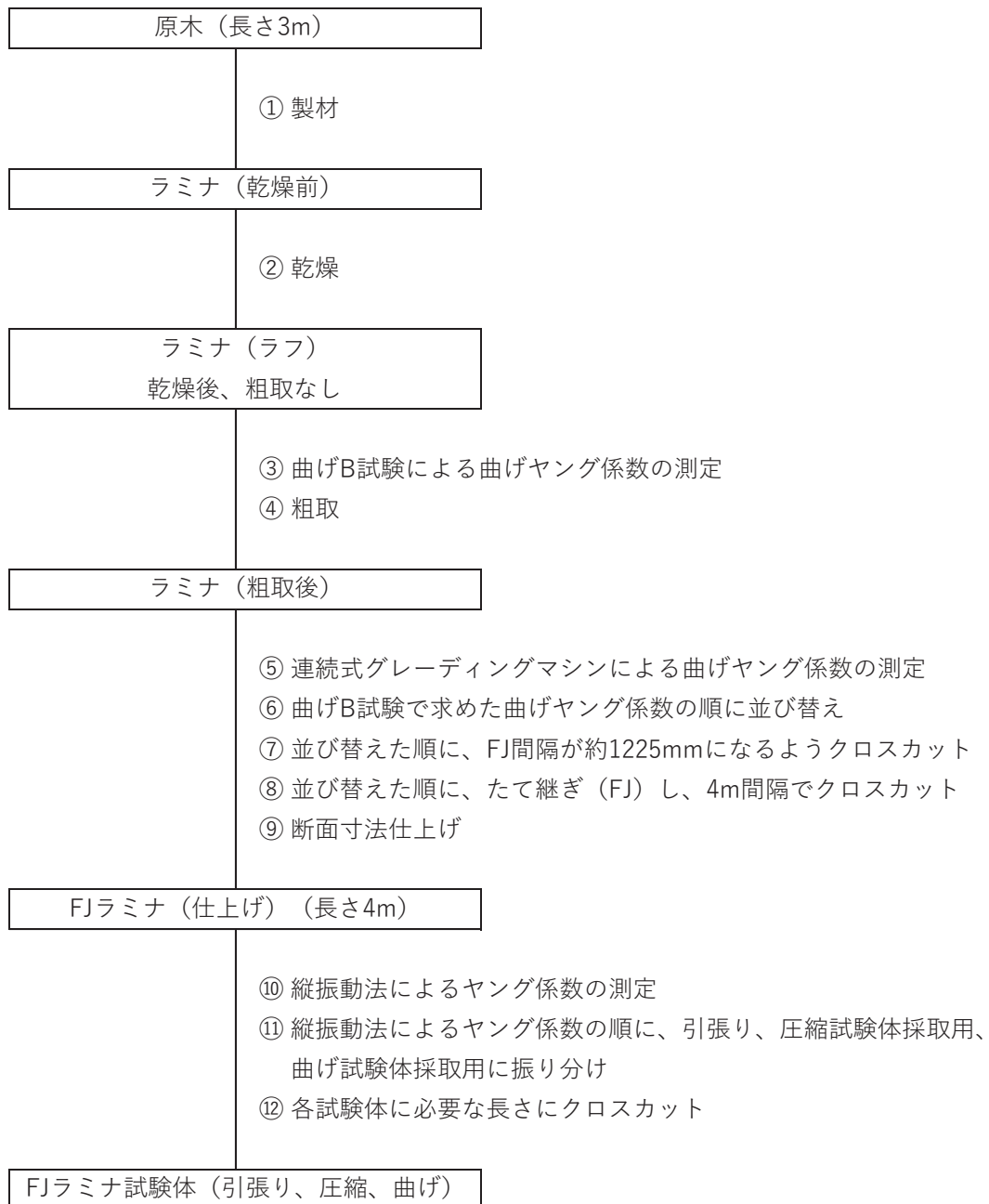


図 2.2.2-1 原木から FJ ラミナ試験体の製造までの流れ



写真 2.2.3-1 曲げ B 試験用のスギラミナ (ラフ) の一部



写真 2.2.3-2 ヒノキ・スギラミナ (ラフ) の曲げ B 試験の実施状況

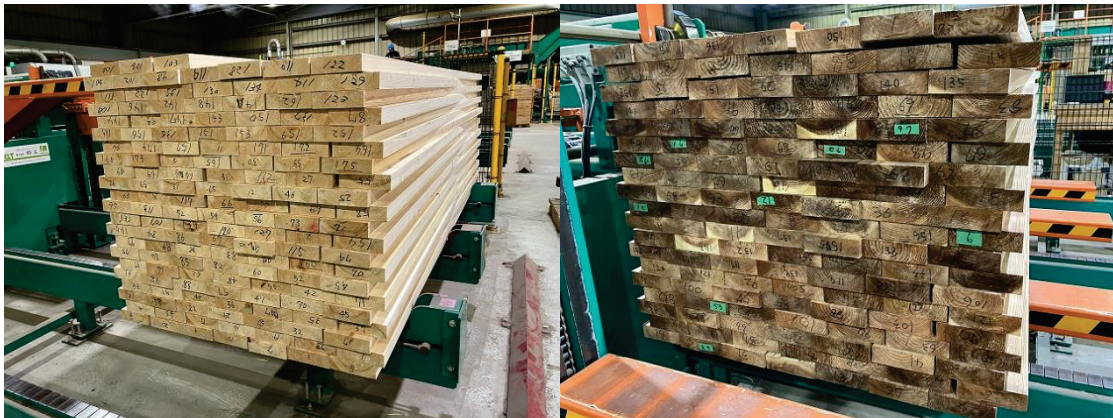


写真 2.2.3-3 連続式グレーディングマシン投入前のヒノキ、スギラミナ (粗取後)

表 2.2.3-1 原木の径級、本数と得られたラミナ（乾燥前）の枚数

樹種	ラミナ(乾燥前)の断面寸法		原木の径級 (cm)	原木の本数 (cm)	得られたラミナ(乾燥前)の枚数 (枚)
	厚さ (mm)	幅 (mm)			
スギ	29	116	24~32	27	210
	39	116	24~34	27	158
	48	150	22~36	40	172
ヒノキ	29	116	19~29	35	204
	39	116	20~29	38	193
	48	150	20~29	53	179

表 2.2.3-2 ラミナ(乾燥前)、ラミナ(ラフ)、ラミナ(粗取後)、FJラミナ(仕上げ)の断面寸法

ラミナの加工と測定	ラミナ(乾燥前)		ラミナ(ラフ) 乾燥後、粗取なし		ラミナ(粗取後)		FJラミナ(仕上げ後)	
	製材寸法		曲げB試験を実施		連続式グレーディングマシンによる測定を実施		縦振動法を実施	
樹種	厚さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	幅 (mm)
スギ	29	116	27	112	23	109	20	105
	39	116	38	113	33	109	30	105
	48	150	46	146	43	143	40	140
ヒノキ	29	116	29	114	23	109	20	105
	39	116	37.5	113	33	109	30	105
	48	150	47	145	43	143	40	140

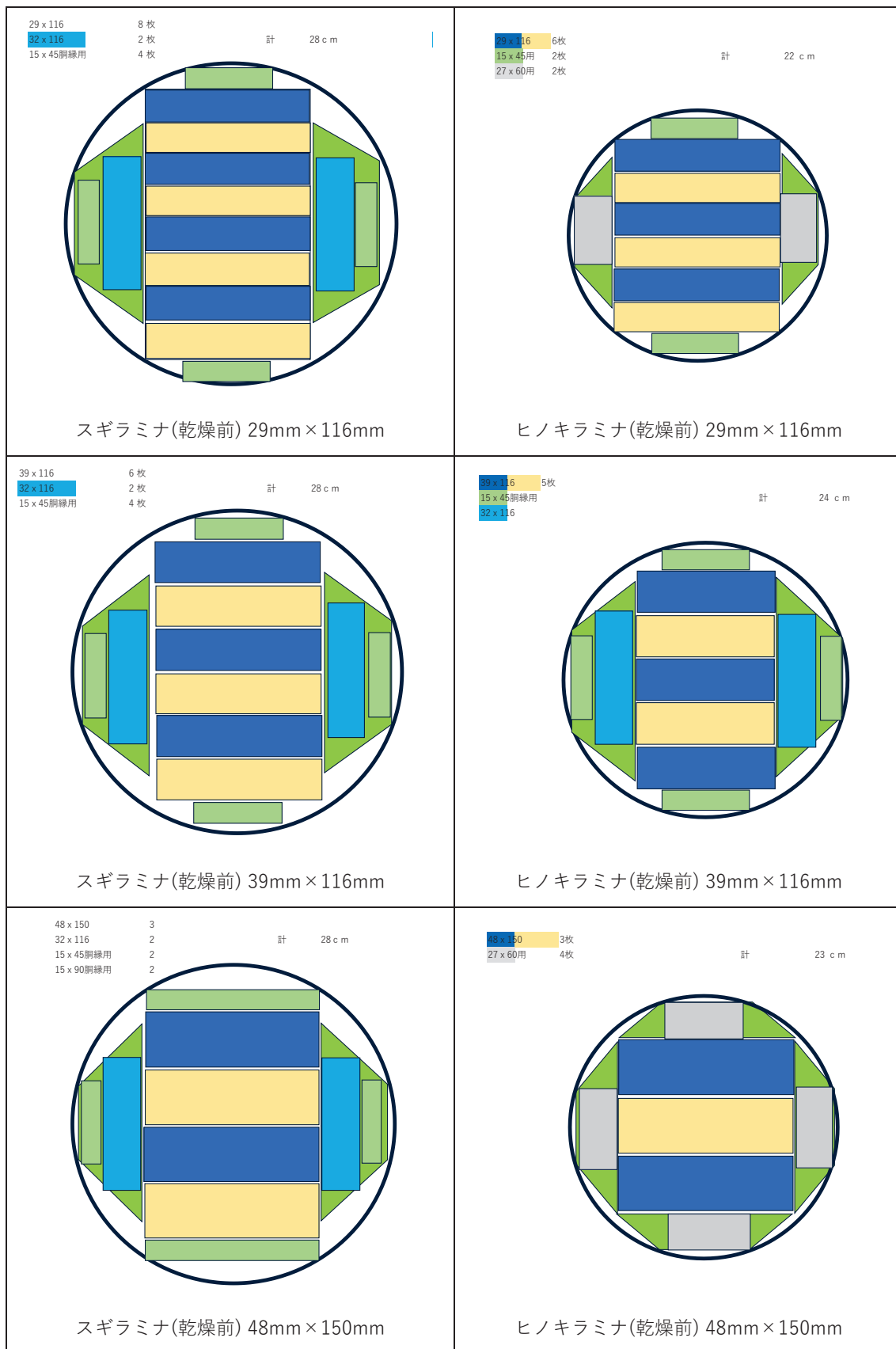


図 2.2.3-2 各厚さのラミナの木取の例

2.2.4 ラミナのヤング係数の測定結果

ラミナ(ラフ)、ラミナ(粗取後)、FJラミナ(仕上げ)について、各々の測定方法で求めたヤング係数を、スギについては表 2.2.4-1 に、ヒノキについては表 2.2.4-2 に示す。それらのヤング係数の分布を、スギ、ヒノキそれぞれ図 2.2.4-1、図 2.2.4-2 に示す。各々の方法で測定するラミナの断面寸法、測定範囲も異なるが、ヤング係数の平均値は同程度であり、ヤング係数の分布についても大きな違いは見られなかった。

また、曲げ B 試験により求めたラミナ(ラフ)の曲げヤング係数と連続式グレーディングマシンにより求めたラミナ(粗取後)の曲げヤング係数の関係を図 2.2.4-3 に示す。スギラミナ(粗取後) 43mm×143mm とスギラミナ(ラフ) 46mm×146mm の関係にはややばらつきが見られたが、曲げ B 試験、連続式グレーディングマシンのより求めた曲げヤング係数の間には高い正の相関が見られた。

2.2.5 まとめ

現在、CLT の製造で主に用いられている仕上げ厚さ 30mm のラミナに比べて、厚いラミナ(仕上げ厚さ 40mm)、薄いラミナ(仕上げ厚さ 20mm)の製造に際し、各工程において、ラミナのヤング係数を曲げ B 試験、連続式グレーディングマシン、縦振動法により求めた。それらの結果から、連続式グレーディングマシンでラミナの等級区分が可能であると推察されたが、スギの厚いラミナの等級区分については、連続式グレーディングマシンとは異なる等級区分機を検討することもひとつの方法であると考えられた。

表 2. 2. 4-1 各々の測定方法で求めたスギラミナのヤング係数

樹種	曲げB試験で求めたラミナ（ラフ）の 曲げヤング係数(kN/mm ²)			
	ラミナ寸法 (厚さ×幅mm)	27×112	38×113	46×146
	枚数(枚)	160	142	156
スギ	平均値	9.38	8.07	8.42
	最小値	4.63	4.72	3.68
	最大値	15.7	13.2	14.5
	標準偏差	2.37	1.73	1.89
	変動係数(%)	25.3	21.4	22.5

樹種	連続式グレーディングマシンで求めたラミナ（粗取後）の 曲げヤング係数(kN/mm ²)			
	ラミナ寸法 (厚さ×幅mm)	23×109	33×109	43×143
	枚数(枚)	130	110	133
スギ	平均値	8.67	8.53	9.31
	最小値	4.50	3.90	2.48
	最大値	13.4	12.3	15.8
	標準偏差	2.02	1.67	2.50
	変動係数(%)	23.3	19.6	26.8

樹種	縦振動法で求めたFJラミナ（仕上げ）の ヤング係数(kN/mm ²)			
	ラミナ寸法 (厚さ×幅mm)	20×105	30×105	40×140
	枚数(枚)	70	70	70
スギ	平均値	8.74	9.10	8.62
	最小値	4.68	5.11	4.66
	最大値	13.3	13.9	13.1
	標準偏差	1.92	1.63	1.81
	変動係数(%)	22.0	17.9	21.0

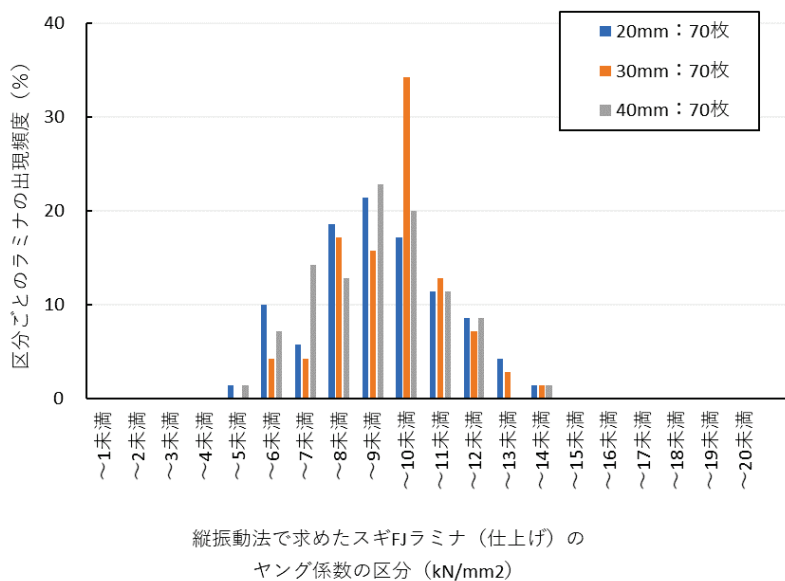
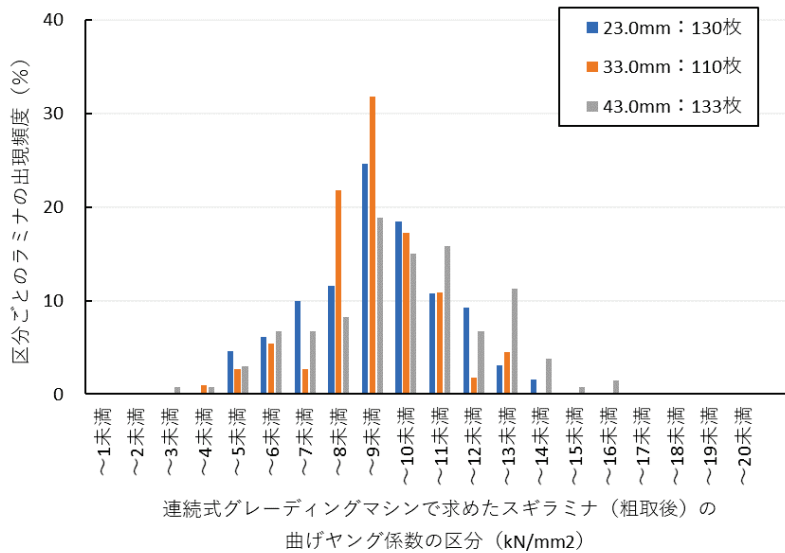
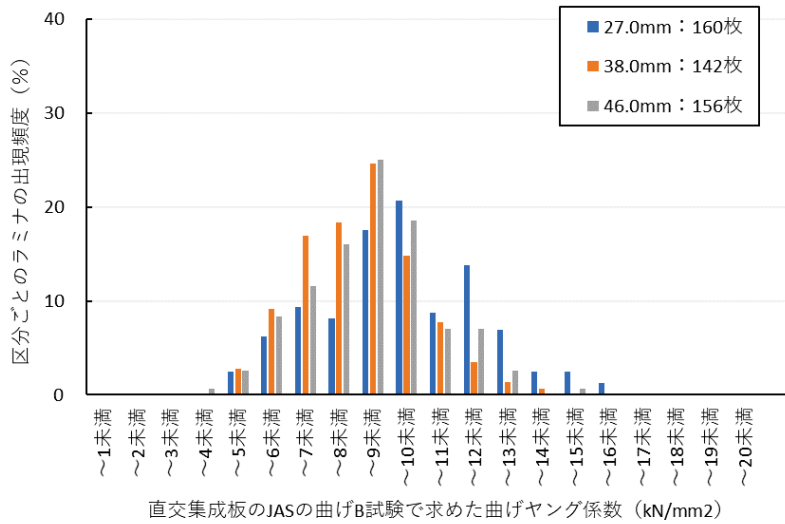


図 2.2.4-1 各々の測定方法で求めたスギラミナのヤング係数の分布

表 2. 2. 4-2 各々の測定方法で求めたヒノキラミナのヤング係数

樹種	曲げB試験で求めたラミナ（ラフ）の 曲げヤング係数(kN/mm ²)			
	ラミナ寸法 (厚さ×幅mm)	29×112	37.5×113	47×146
	枚数(枚)	157	178	175
ヒノキ	平均値	11.9	13.4	12.0
	最小値	7.63	8.33	8.66
	最大値	16.7	20.7	17.0
	標準偏差	1.64	2.11	1.58
	変動係数(%)	13.7	15.7	13.1

樹種	連続式グレーディングマシンで求めたラミナ（粗取後）の 曲げヤング係数(kN/mm ²)			
	ラミナ寸法 (厚さ×幅mm)	23×109	33×109	43×143
	枚数(枚)	124	145	150
ヒノキ	平均値	13.2	13.7	12.9
	最小値	7.64	8.83	9.7
	最大値	17.6	17.7	16.0
	標準偏差	1.70	1.83	1.31
	変動係数(%)	12.9	13.4	10.2

樹種	縦振動法で求めたFJラミナ（仕上げ）の ヤング係数(kN/mm ²)			
	ラミナ寸法 (厚さ×幅mm)	20×105	30×105	40×140
	枚数(枚)	70	70	70
ヒノキ	平均値	13.3	13.8	13.4
	最小値	9.94	9.33	10.8
	最大値	16.3	17.5	17.0
	標準偏差	1.34	1.66	1.31
	変動係数(%)	10.1	12.1	9.8

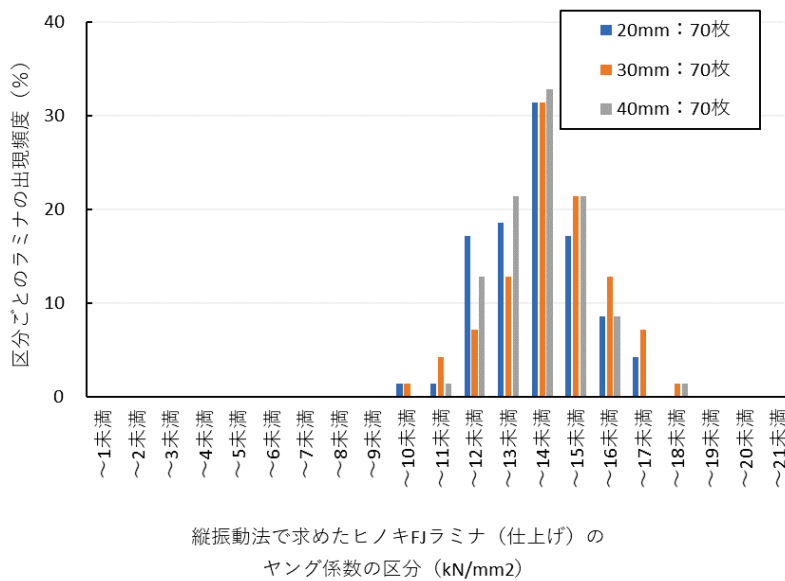
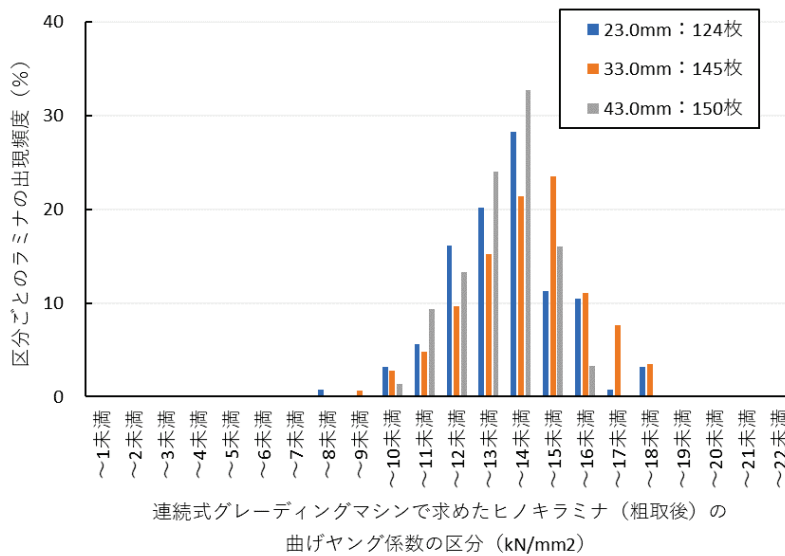
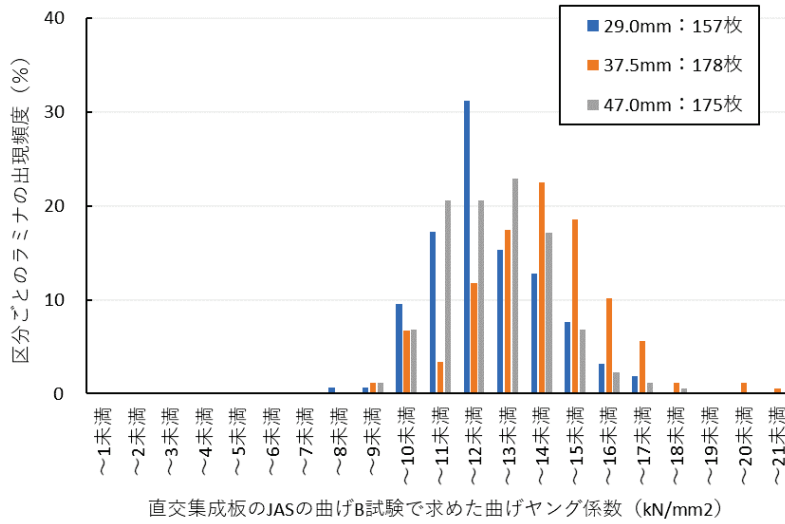


図 2.2.4-2 各々の測定方法で求めたヒノキラミナのヤング係数の分布

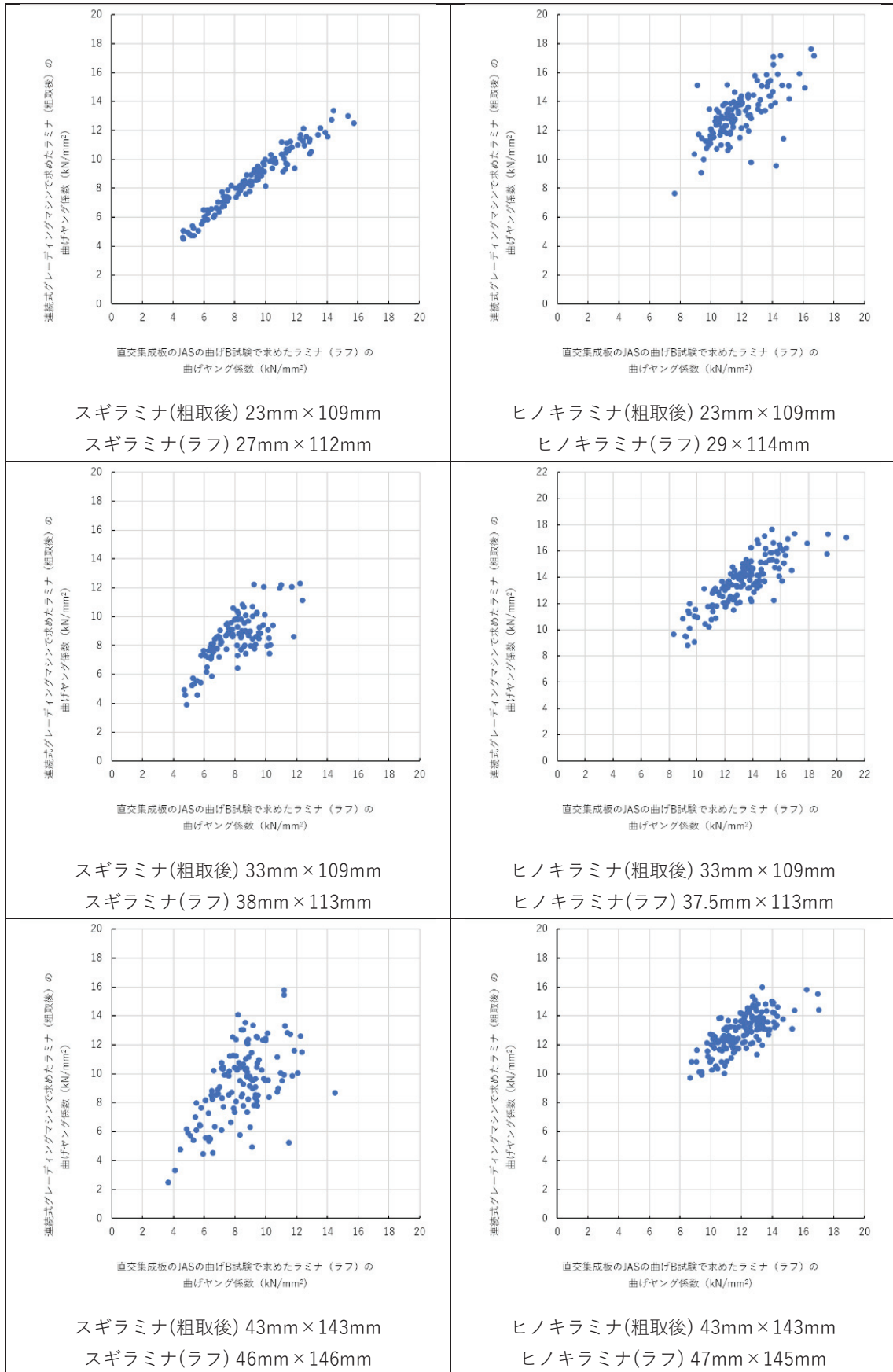


図 2. 2. 4-3 曲げB 試験で求めたラミナ(ラフ)の曲げヤング係数(横軸)と連続式グレーディングマシンで求めたラミナ(粗取後)の曲げヤング係数(縦軸)の関係

2.3 FJ ラミナ試験体の引張り試験結果

2.3.1 目的

現在、CLT の製造で主に用いられている仕上げ厚さ 30mm のラミナに比べて、厚いラミナ(仕上げ厚さ 40mm)、薄いラミナ(仕上げ厚さ 20mm)について、引張り強度性能を把握する。

2.3.2 引張り試験体と引張り試験方法

上記2. 1. 2の①～⑫の工程で、厚さ 20mm、30mm、40mm のスギ、ヒノキ FJ ラミナ引張り試験体を作製した。試験体の寸法を表 2.3.2-1 に示す。厚さ 30mm、40mm の試験体の幅は、CLT の直交層に使用されることを考慮して厚さの 3.5 倍とした。厚さ 20mm の試験体の幅は、厚さの 3.5 倍である 70mm では工場での FJ がむつかしいため、厚さ 30mm の試験体と同じ幅 105mm とした。試験体の長さ方向のほぼ中央に FJ が配置されるようにした。

各厚さの FJ ラミナ引張り試験体について、引張り試験機を用いて強度試験を行った。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 部を配置した。試験の状況を写真 2.3.2-1 に示す。

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	105	2000
	30	105	2000
	40	140	2000
ヒノキ	20	105	2000
	30	105	2000
	40	140	2000

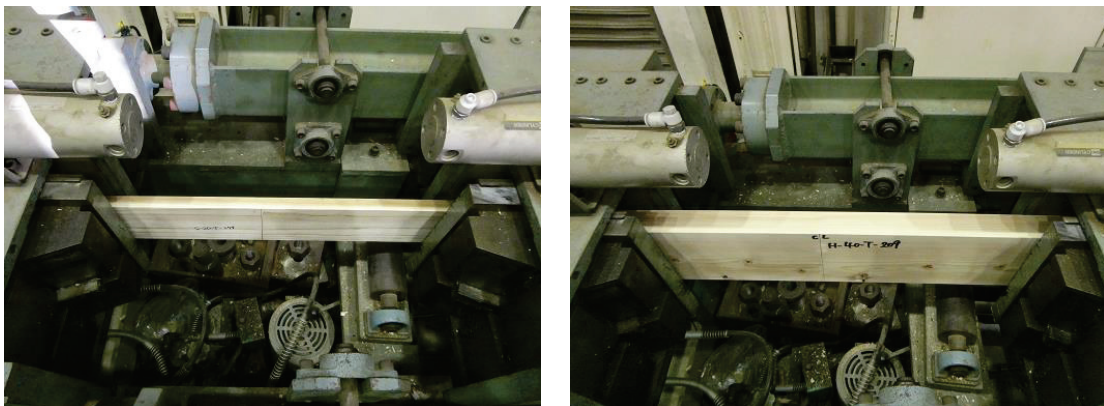


写真 2.3.2-1 FJ ラミナの引張り試験の状況 (左：スギ厚さ 20mm、右：ヒノキ厚さ 40mm)

2.3.3 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、それぞれ表 2.3.3-1、表 2.3.3-2 に示す。また、各 FJ ラミナ試験体について、厚さごとの引張り強度の平均値と標準偏差を図 2.3.3-1 に、縦振動法によるヤング係数と引張り強度の関係を図 2.3.3-2、図 2.3.3-3 に示す。FJ ラミナ試験体の破壊形態の例を、それぞれ写真 2.3.3-1、写真

2.3.3-2 に示す。

縦振動法によるヤング係数の平均値、変動係数は、スギ、ヒノキ FJ ラミナ試験体のいずれも長さ 4000mm の FJ ラミナ(仕上げ)の値と同程度であった。

引張り強度は、スギ、ヒノキ FJ ラミナ試験体いずれも、厚さ 30mm、40mm の試験体の値は同程度であり、20mm の試験体の値は厚さ 30mm、40mm の試験体の値の約 80%であった。また、スギ、ヒノキ FJ ラミナ試験体いずれも縦振動法によるヤング係数が高いほど、引張り強度も高い傾向にあった。

破壊形態については、スギでは FJ の根元やフィンガーの木部破壊が主であった。したがって、厚さ 20mm の試験体の引張り強度が、厚さ 30mm、40mm の試験体に比べて低かった原因を改めて検討する必要がある。ヒノキではスギに比べて FJ の根元や、フィンガーの木部破壊が明らかに見て取れるものの割合は低く、フィンガーの一部が抜ける(フィンガーの形状がそのまま残っている)ものの割合が高かった。特に厚さ 20mm でフィンガーの一部抜けが生じた割合が高かったことから、このことが厚さ 20mm の試験体の引張り強度が、厚さ 30mm、40mm の試験体に比べて低かった原因の一つとして考えられる。

2.3.4 まとめ

厚さ 20mm のスギ、ヒノキ FJ ラミナ試験体の引張り強度は、それぞれ厚さ 30mm、40mm の試験体に比べて低かった。厚さ 20mm のヒノキ FJ ラミナでは、フィンガーが一部抜けるものの割合が高かった。通常使用されている厚さ 30mm のラミナよりも薄いラミナを使用する場合には、FJ の工程に注意し、特に接着剤の塗布不足等が生じないようにする必要があると考えられた。

表 2.3.3-1 厚さ 20mm、30mm、40mm のスギ FJ ラミナ試験体の引張り試験結果

樹種 ラミナ厚さ		密度 (kg/m ³)	縦振動法による ヤング係数 (kN/mm ²)	引張り強度 (N/mm ²)	破壊形態
スギ 20mm	試験体数	35	35	35	FJ : 33体 FJ+K : 1体 K : 1体
	平均値	393	8.76	18.8	
	最小値	316	5.34	12.3	
	最大値	461	12.3	26.7	
	標準偏差	38.4	1.86	3.57	
	変動係数(%)	9.77	21.2	19.0	

樹種 ラミナ厚さ		密度 (kg/m ³)	縦振動法による ヤング係数 (kN/mm ²)	引張り強度 (N/mm ²)	破壊形態
スギ 30mm	試験体数	35	35	35	FJ : 33体 K : 2体
	平均値	388	9.19	23.6	
	最小値	332	5.66	13.9	
	最大値	455	14.2	33.3	
	標準偏差	27.9	1.79	4.08	
	変動係数(%)	7.19	19.5	17.3	

樹種 ラミナ厚さ		密度 (kg/m ³)	縦振動法による ヤング係数 (kN/mm ²)	引張り強度 (N/mm ²)	破壊形態
スギ 40mm	試験体数	35	35	35	FJ : 33体 FJ+K : 2体
	平均値	397	8.65	22.9	
	最小値	326	4.73	14.1	
	最大値	467	13.1	31.1	
	標準偏差	32.1	1.89	4.71	
	変動係数(%)	8.10	21.9	20.6	

表 2.3.3-2 厚さ 20mm、30mm、40mm のヒノキ FJ ラミナ試験体の引張り試験結果

樹種 ラミナ厚さ		密度 (kg/m ³)	縦振動法による ヤング係数 (kN/mm ²)	引張り強度 (N/mm ²)	破壊形態
ヒノキ 20mm	試験体数	34	34	34	FJ : 5体 FJ(一部抜け) : 22体 FJ(抜け) : 1体 FJ+K(一部抜け) : 3体 K : 3体
	平均値	523	13.3	29.9	
	最小値	420	10.8	17.8	
	最大値	601	16.5	47.6	
	標準偏差	38.1	1.40	6.73	
	変動係数(%)	7.29	10.6	22.5	

樹種 ラミナ厚さ		密度 (kg/m ³)	縦振動法による ヤング係数 (kN/mm ²)	引張り強度 (N/mm ²)	破壊形態
ヒノキ 30mm	試験体数	35	35	35	FJ : 11体 FJ(一部抜け) : 8体 FJ+K : 5体 FJ+K(一部抜け) : 6体 K : 5体
	平均値	525	14.1	35.2	
	最小値	451	10.5	18.8	
	最大値	588	17.0	44.8	
	標準偏差	32.5	1.52	6.70	
	変動係数(%)	6.19	10.8	19.0	

樹種 ラミナ厚さ		密度 (kg/m ³)	縦振動法による ヤング係数 (kN/mm ²)	引張り強度 (N/mm ²)	破壊形態
ヒノキ 40mm	試験体数	35	35	35	FJ : 14体 FJ(一部抜け) : 14体 FJ+K : 3体 FJ+K(一部抜け) : 1体 K : 3体
	平均値	521	13.5	36.0	
	最小値	462	11.0	20.4	
	最大値	583	17.0	50.4	
	標準偏差	29.2	1.46	7.28	
	変動係数(%)	5.62	10.8	20.2	

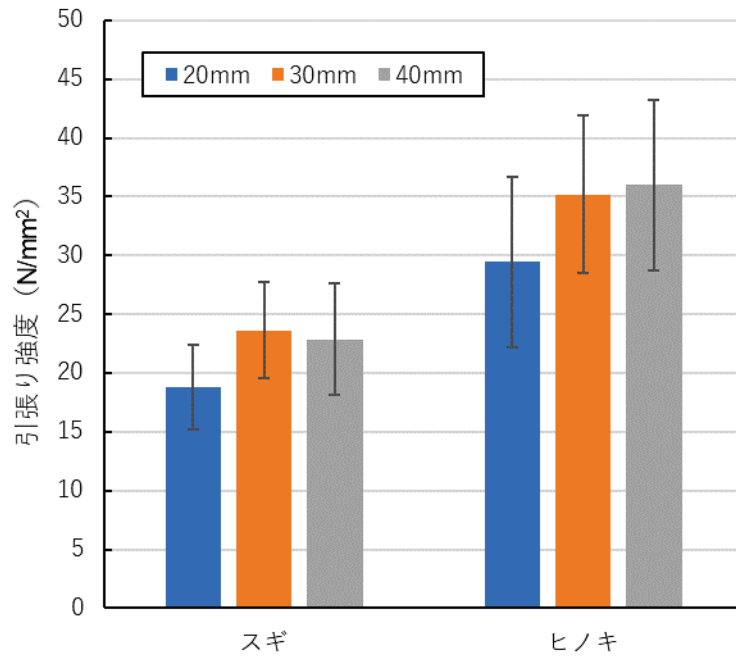


図 2.3.3-1 各厚さの FJ ラミナ試験体の引張り強度の平均値と標準偏差

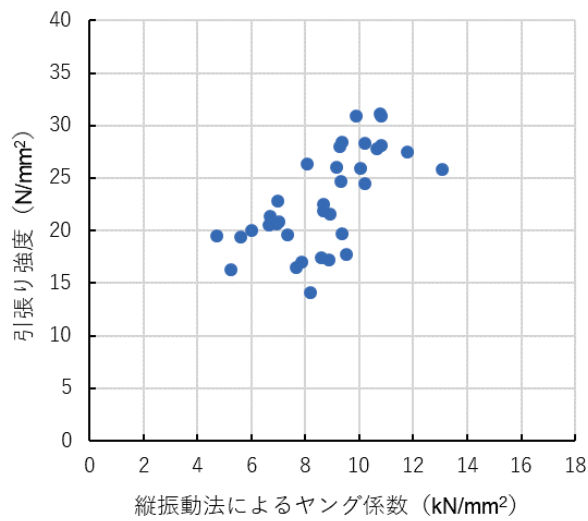
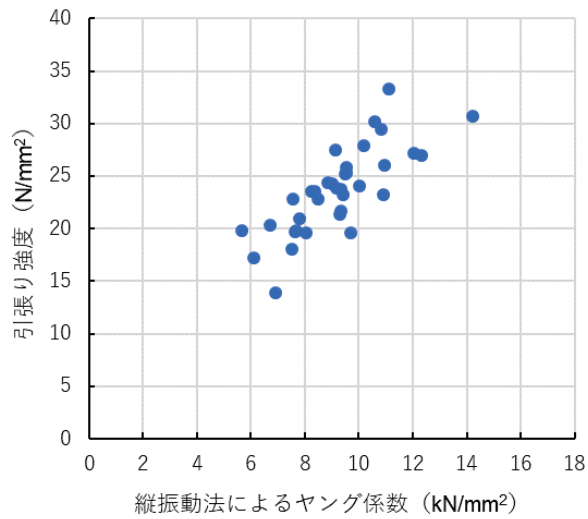
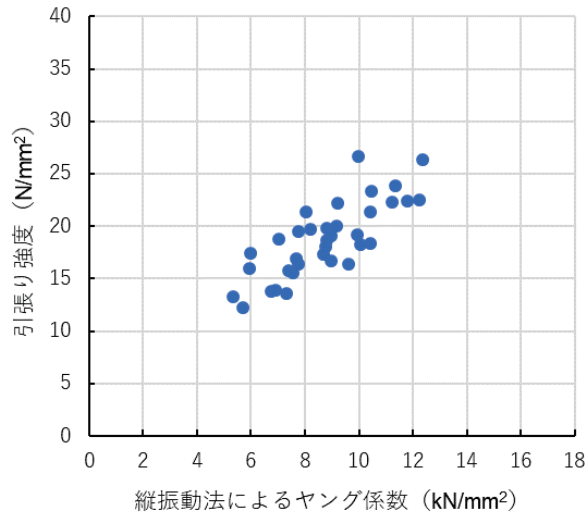


図 2.3.3-2 厚さ 20mm、30mm、40mm のスギ FJ ラミナ試験体の縦振動法によるヤング係数と引張り強度の関係（上から、厚さ 20mm、30mm、40mm）

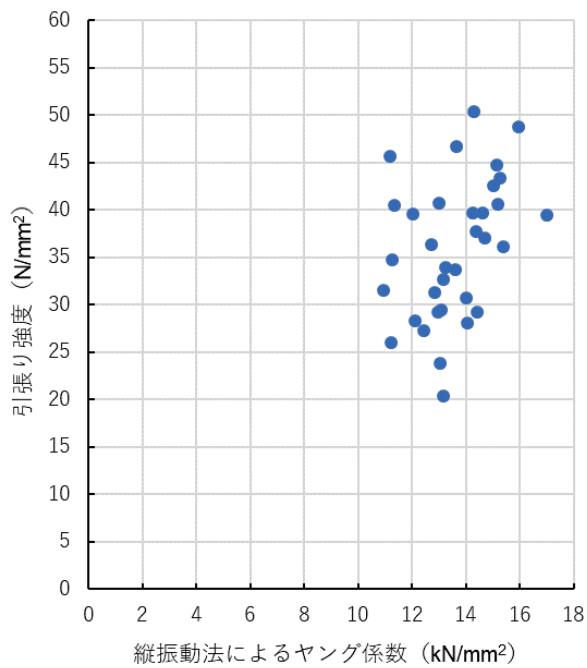
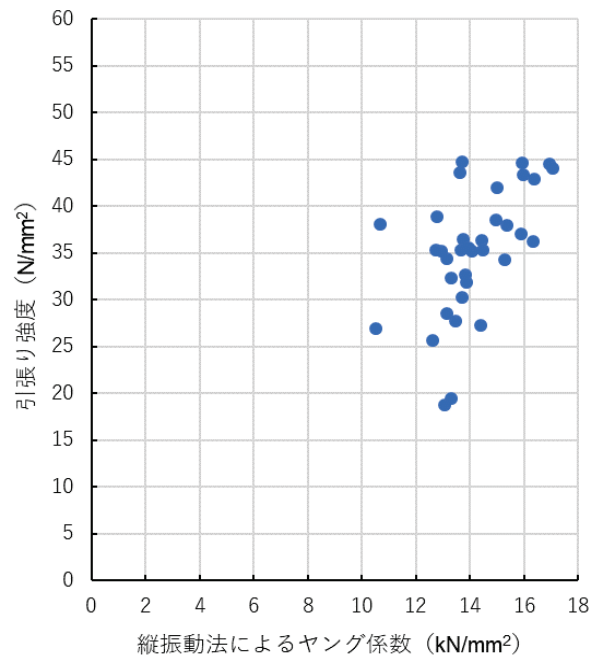
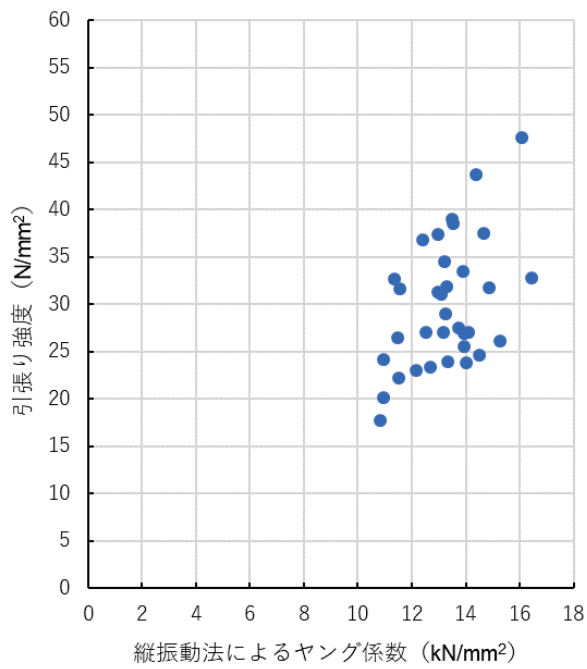


図 2.3.3-3 厚さ 20mm、30mm、40mm のヒノキ FJ ラミナ試験体の縦振動法によるヤング係数と引張り強度の関係 (左上：厚さ 20mm、右上：厚さ 30mm、左下：厚さ 40mm)

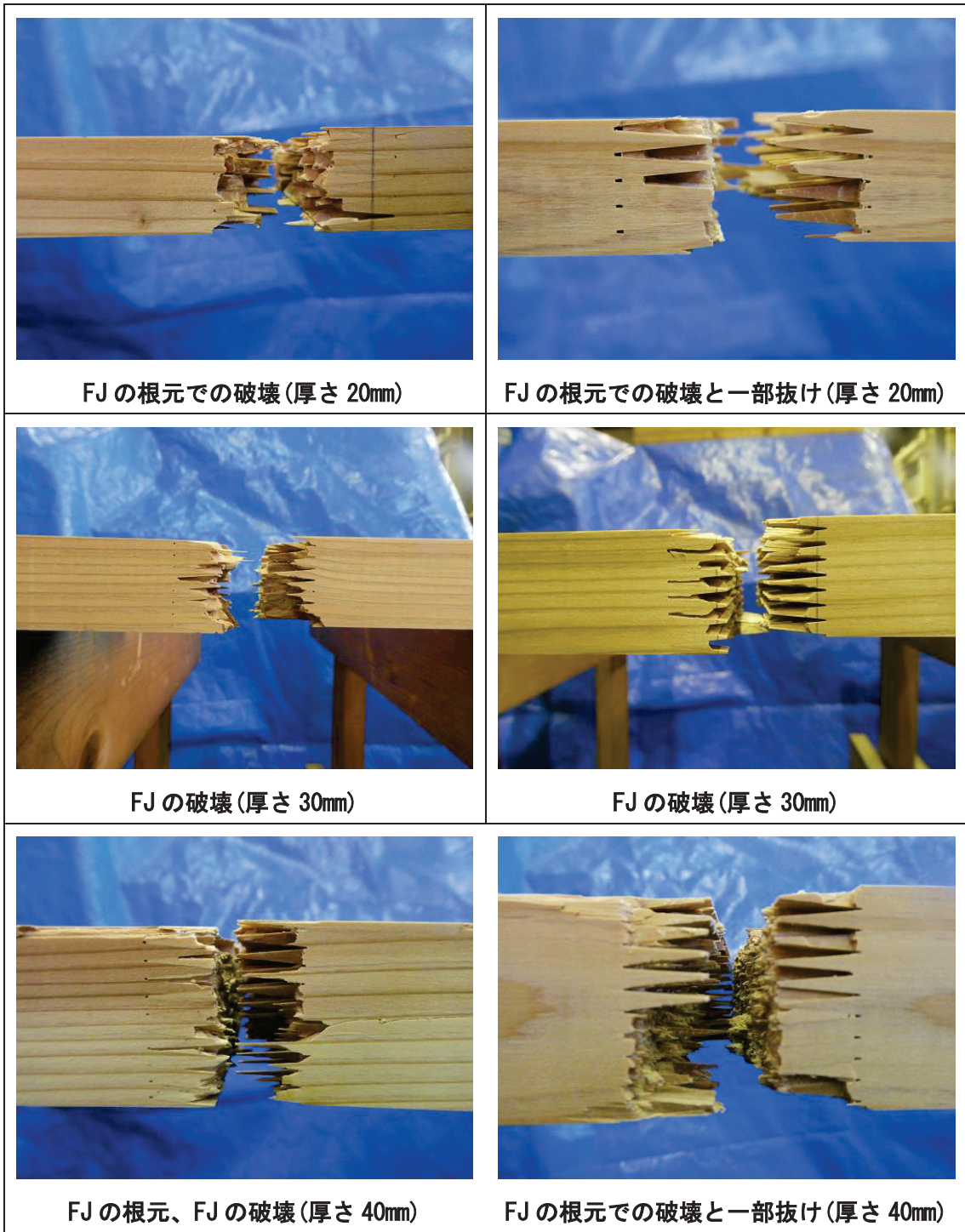


写真 2.3.3-1 スギFJラミナ試験体の引張り試験での破壊形態

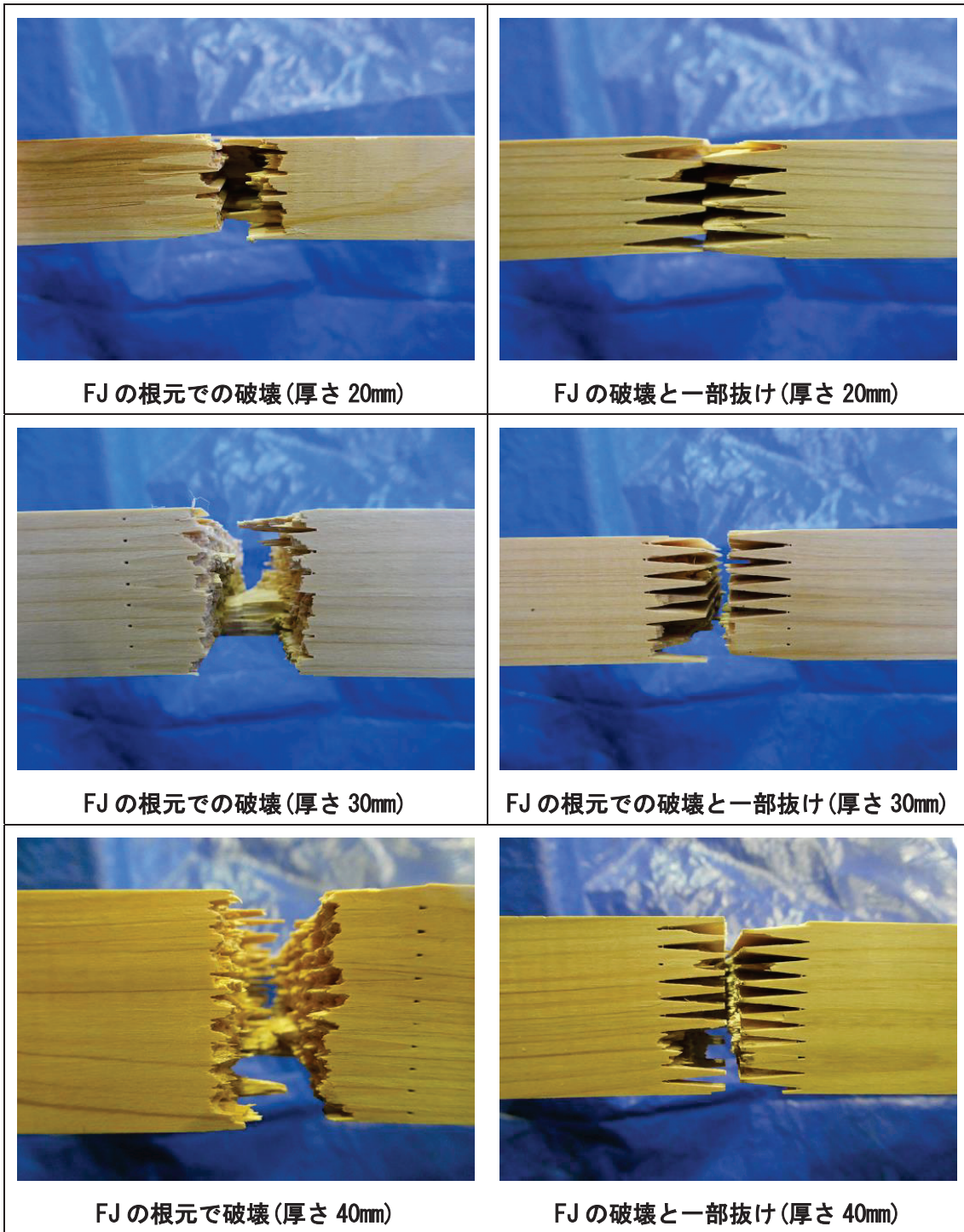


写真 2.3.3-2 ヒノキFJラミナ試験体の引張り試験での破壊形態

2.4 FJ ラミナ試験体の縦圧縮試験結果

2.4.1 目的

現在、CLT の製造で主に用いられている仕上げ厚さ 30mm のラミナに比べて、厚いラミナ(仕上げ厚さ 40mm)、薄いラミナ(仕上げ厚さ 20mm)について、圧縮強度性能を把握する。

2.4.2 縦圧縮試験体と縦圧縮試験方法

上記2.1.2の①～⑫の工程で、厚さ 20mm、30mm、40mm のスギ、ヒノキ FJ ラミナ縦圧縮試験体を作製した。試験体の寸法を表 2.4.2-1 に示す。試験体の長さは厚さの 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。厚さ 30mm、40mm の試験体の幅は、CLT の直交層に使用されることを考慮して厚さの 3.5 倍とした。厚さ 20mm の試験体の幅は、厚さの 3.5 倍である 70mm では工場での FJ がむつかしいため、厚さ 30mm の試験体と同じ幅 105mm とした。

各厚さの FJ ラミナ縦圧縮試験体について、圧縮試験機を用いて強度試験を行った。試験の状況を写真 2.4.2-1 に示す。

表 2.4.2-1 FJ ラミナ縦圧縮試験体の寸法

樹種	厚さ (mm)	幅 (mm)	長さ (mm)
スギ	20	105	120
	30	105	180
	40	140	240
ヒノキ	20	105	120
	30	105	180
	40	140	240



写真 2.4.2-1 FJ ラミナの縦圧縮試験の状況 (左から、スギ厚さ 20mm、30mm、40mm)

2.4.3 縦圧縮試験結果

各厚さのスギ、ヒノキ FJ ラミナ試験体の縦圧縮試験結果を表 2.4.3-1 に示す。また、各 FJ ラミナ試験体について、厚さごとの縦圧縮強度の平均値と標準偏差を図 2.4.3-1 に示す。

縦圧縮強度は、スギ、ヒノキ FJ ラミナ試験体いずれも、厚さ 30mm が最も高く、次いで厚さ 40mm の試験体で高

かった。厚さ 20mm の試験体の値は最も低く、厚さ 30mm の試験体に対して、スギでは 79%、ヒノキでは 77%であった。

2.4.4 まとめ

厚さ 20mm のスギ、ヒノキ FJ ラミナ試験体の縦圧縮強度は、それぞれ厚さ 30mm、40mm の試験体に比べて低かった。この要因については改めて検討する必要がある。

表 2.4.3-1 厚さ 20mm、30mm、40mm のスギ、ヒノキ FJ ラミナ試験体の縦圧縮試験結果

	樹種	スギ			ヒノキ		
	ラミナ厚さ	20 mm	30 mm	40 mm	20 mm	30 mm	40 mm
	試験体数	35	35	35	35	35	35
密度 (kg/m ³)	平均値	391	386	399	501	519	516
	最小値	317	344	343	400	452	414
	最大値	456	462	486	588	595	574
	標準偏差	34.8	27.3	33.7	48.7	27.7	37.7
	変動係数(%)	8.91	7.08	8.45	9.72	5.34	7.31
縦圧縮強度 (N/mm ²)	平均値	28.4	35.7	33.8	41.3	53.9	48.9
	最小値	22.9	31.1	27.6	28.3	42.5	40.0
	最大値	34.3	47.2	46.0	55.8	62.3	57.4
	標準偏差	3.38	2.99	4.75	4.96	5.07	4.45
	変動係数(%)	11.9	8.38	14.0	12.0	9.40	9.09

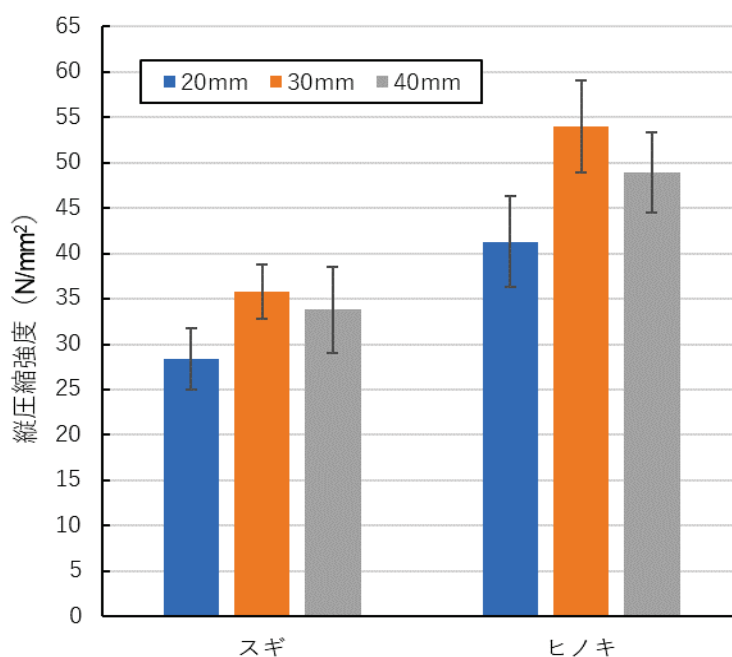


図 2.4.3-1 各厚さの FJ ラミナ試験体の縦圧縮強度の平均値と標準偏差

2.5 厚さ 20mm のスギラミナを用いた等厚構成 CLT の製造試験

2.5.1 厚さ 20mm のスギ FJ ラミナの製造

スギ原木(丸太) (3m)から、仕上げ断面寸法(厚さ 20mm×幅 105mm)の FJ ラミナを製造するために、ラミナ(乾燥前) (厚さ 32mm×幅 116mm)を製材した。原木の径級、本数と得られたラミナ(乾燥前)の枚数を表 2.5.1-1 に示す。これらのラミナから 2500 枚のラミナをランダムに抜き取り、人工乾燥を行った後、粗取して厚さ 23mm×幅 109mm に調整した。これらのラミナ(粗取後)から CLT の製造に必要な 2384 枚を連続式グレーディングマシンに投入した。得られたヤング係数の分布を図 2.5.1-1 に示す。

2.5.2 CLT 試験体の作製

ラミナ(粗取後)を厚さ 20mm のスギラミナを用いた等厚構成 CLT の製造に供するため、等級区分機による曲げヤング係数 8.0kN/mm^2 を閾値として外層用 1314 枚(8.0 以上、11.0 未満)、内層用 842 枚(4.0 以上、8.0 未満)を得た。

これらのラミナ(粗取後)から製造した FJ ラミナ(仕上げ) (厚さ 20mm×幅 105mm)を使用して、3 層 3 プライ、3 層 4 プライ、5 層 5 プライ、5 層 7 プライ、9 層 9 プライ CLT を製造し、それぞれから強軸方向の面外曲げ試験体を作製した。

表 2.5.1-1 原木の径級、本数と得られたラミナ（乾燥前）の枚数

樹種	ラミナ(乾燥前)の断面寸法		原木の径級 (cm)	原木の本数 (cm)	得られたラミナ(乾燥前)の枚数 (枚)
	厚さ (mm)	幅 (mm)			
スギ	32	116	24~37	545	4125

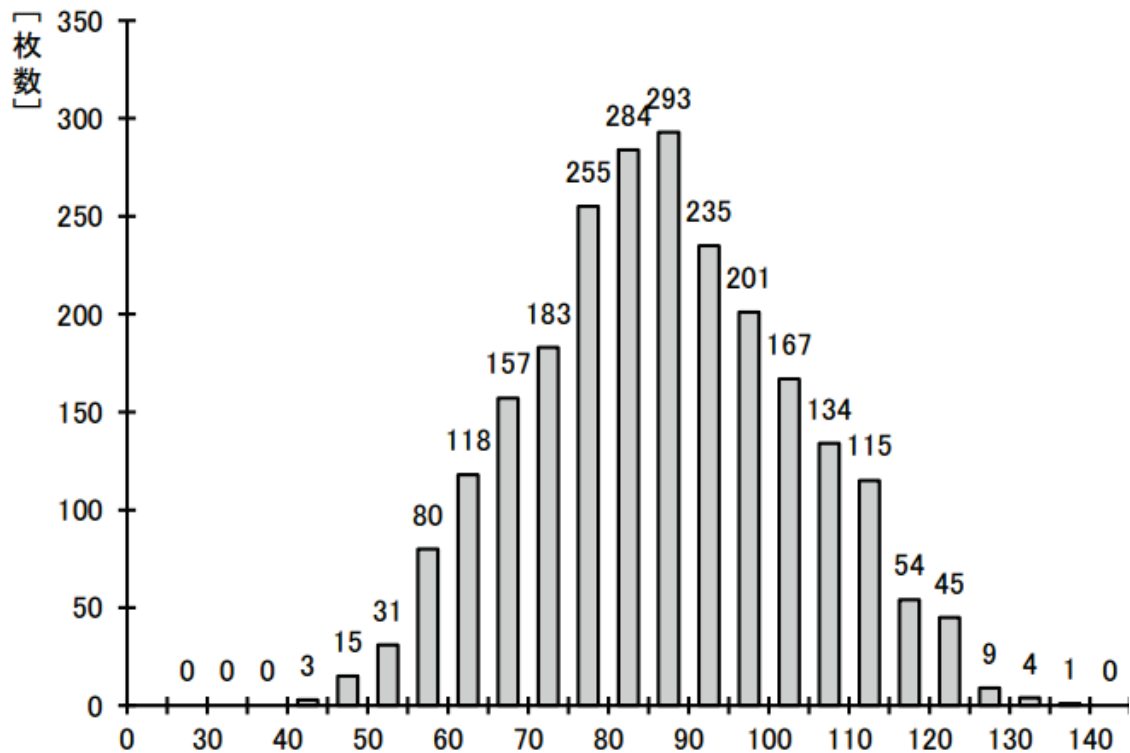


図 2.5.1-1 連続式グレーディングマシンで求めたスギラミナ（粗取後）の曲げヤング係数の分布（横軸 ×0.1 kN/mm²）

議 事 要 旨

件 名	令和4年度 木材製品の消費拡大対策及び 国内森林資源活用・建築用木材供給力強化対策事業のうち 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	2023年7月24日(月) 15時00分～17時00分	場所	東京都中央区立産業会館4階第4集会室 (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、(植本 敬大)、尾方 伸次、(神谷 文夫)、 荒木 康弘、(秋山 信彦) オブザーバー (杉原 伸一)、(甲斐 菜月)、(川原 聡)、(福島 純)、(巻田 和丈)、 (高木 望)、(山内 一浩)、(平原 章雄)、渡部 博、(伊藤 一哉) 事業実施者 坂部 芳平、(安東 真吾)、西妻 博康、(谷口 翼)、小田 祐二、 課題担当 平松 靖、(渋沢 龍也)、原田 真樹、(宮本 康太)、宮武 敦 その他 新藤、大木、須藤、巻田、井道、甲斐		
(役職・敬称略)			
<p>◆委員長挨拶</p> <p>昨年度は、始めるにあたっての議論があったが、今年度は2年目で、ある程度そろったデータを基にして開発を進めていくことになると思う。皆様の忌憚のないご意見を願います。</p> <p>◆資料の確認(事業実施者)</p> <p>資料1 議事次第 資料2 委員名簿 資料3 事業内容 資料4 非等厚ラミナCLT事業令和5年度試験計画 (案) 資料5 非等厚報告書 資料6 欧州CLTレポート非等厚 資料7 非等厚 CLT 製品の 検討 に 向けて</p> <p>◆委員長</p> <p>昨年は始めるにあたっての議論が色々あったが、今年は2年目で、出てきたデータを基にして開発を進めていく。皆さんの忌憚の意見を期待している。</p> <p>◆委員(資料2)の紹介(事業実施者 西妻氏)</p>			

◆事業概要（資料 3）の説明（事業実施者 西妻氏）

◆議事

◇資料 4-1 の説明（事業実施者 平松氏）

P9 「スギ CLT の面外曲げ試験結果各層構成の CLT の見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの関係」を見ると、5 層 5 プライまでは、ヤング係数と曲げ強さが妥当だが、5 層 7 プライ、7 層 7 プライの 20mm ラミナは、ヤング係数に対して曲げ強さが出ていない。20mm、70mm 幅は、通常のラインで使われておらず、製造時(搬送、積層)人力に頼らなければならない部分がある。それが影響している可能性があるが、詳細は不明だ。

P10 「ラミナの曲げ強度性能から推定した CLT の曲げ強度性能と実験値の関係」を見ると、30mm と 40mm は概ね推定値と実験値が一致している。20mm は、5 層 7 プライと 7 層 7 プライが推定値に比べて実験値が低くなっている。

P16、20mm については、R4 は 20×70、H28 は 20×105 で実施している。5 層 5 プライと 7 層 7 プライは、R4 と H28 は概ね同じ値になっている。H25 と比べても、概ね同様であり、ある程度の再現性が得られた。

P17 はミスタイプがあり、40mm 厚のラミナも用いている。CLT 寸法は T120 である。寸法効果を考慮するとこれまでと同様の結果が得られた。

20mm、30mm、40mm は MX60 とのことだが、使われたラミナの性能はどれくらいか。(安村委員長)
外層用は 7.5GPa 以上位のもの、内層はそれ以下で 2.5GPa 以上のものだ。MX90 で比較しても基準を満たしている。(事業実施者 平松氏)

JAS の下限の閾値は何だったか。(安村委員長)

M90 の下限値程度だ。(事業実施者 平松氏)

何と比較して JAS を満たしているのか。(安村委員長)

MX60 だが、Mx90 も満たしていたはずだ。(事業実施者 平松氏)

そこを分かり易く(表現してほしい)。60 としては高めになっている。(安村委員長)

Mx60 と Mx90 の両方との比較が必要になる。(事業実施者 平松氏)

内層用のプライも高めか。2.5GPa ということは無いだろうが。(安村委員長)

7~8GPa くらいが沢山でてくるので、ヤング係数の低いものが出てこない。内層用と外層用は、どうしてもそのあたりで区分せざるを得ない。(事業実施者 平松氏)

つまり、どちらかと言えば S60 か。(安村委員長)

近いが、外層用と多少は別れているので、S60 以上の MX90 未満という感じだ。(事業実施者 平松氏)

低減係数は、ラミナ 1 枚を曲げた場合と、構成された場合で応力状態が異なり、引張りに近づくことを考慮したものだ。(安村委員長)

ばらつき係数に低減係数を乗じて 0.48(0.5 弱)だった。(荒木委員)

層構成によっても異なるのか。(安村委員長)

30mm の試験結果で、層構成は 3 層 3 プライから 7 層 7 プライの結果を見て、それくらいの数値を乗ずれば良いとなった。(荒木委員)

あまり変わらないということか。(安村委員長)

散布図でみると、もしかしたら傾向があるのかもしれない。(荒木委員)

これには寸法調整係数のようなものが含まれていると言ってよいのか。つまり、9cm と 21cm で異なってくる。(安村委員長)

30mm のデータを精査しないと、質問に答えられない。今回、5 層 5 プライ 20mm、30mm、40mm はあまり変わらないが、5 層 7 プライや 7 層 7 プライになると 20mm や 40mm で下がってしまう。(荒木委員)

すべて 0.48 でやっているのか。(安村委員長)

ラミナの曲げ強度の平均値に対して、係数は乗じていない。等価断面法で CLT の曲げ強度を算出した値を提示している。今回 20mm のラミナは曲げのみを試験しているので、曲げ強度を基にして計算している。単純に平均を用いて計算した。(事業実施者 平松氏)

P2 もラミナの強さは平均値か。(荒木委員)

その通り。(事業実施者 平松氏)

曲げ強度は P2 に記されているように、20mm 外層用の平均値が 36.7、30mm 外層用の平均値が 26.6、40mm 外層用の平均値が 30.3N/mm² で計算しているのか。(荒木委員)

その通り。20mm のラミナの試験結果が思いのほか高い。ラミナ試験用はまとめて継いだので、CLT を製作した時に、何か不具合があったことも考えられる。現状では、このことは追及することができない。(事業実施者 平松氏)

ライン搬送は、100mm 幅を下限にしているところが多く、100mm を下回るとラミナそのものが軽くなり、搬送中に跳ね上げてラミナを破損することが多くあった。また、プレス時も割れたラミナが混入して CLT が製作された写真がある。ラミナ試験体はそういうラミナを除いて試験されているが、CLT はその影響がかなりあるのではないか。(銘建工業 渡部氏)

P10 のグラフの縦軸は、ラミナの曲げ強度から平行層理論で計算したということか。(神谷委員)

横軸が平行層理論で縦軸が実験値だ。(事業実施者 平松氏)

横軸は、曲げか、引張りか。(神谷委員)

P2 に示したラミナの曲げ試験結果の平均値を使っている。(事業実施者 平松氏)

曲げ強度から計算したということか。(神谷委員)

その通り。今回、20mm は引張りの実験を行っていないので、曲げの値を入れている。(事業実施者 平松氏)

このような結果になった理由は、20mm の曲げ強度がかなり高く出ていることにあるということか。(神谷委員)

20mm の曲げ強度がかなり高いので、推定値も上がっている。(事業実施者 平松氏)

P10 の横軸は、告示式で求めたのであれば、0.48 を乗じた結果か。(安村委員長)

乗じていない。平行層理論だ。(事業実施者 平松氏)

縦軸は実験結果で横軸が告示式とは言うものの 0.48 を乗じていないので、右側に寄るのは当然で、一致する方がおかしいのではないか。(安村委員長)

一致しているものが高めにしている。(荒木委員)

告示式は、曲げや引張、寸法調整等を考慮した式なので、0.48 を乗じたものだ。(安村委員長)

プロットされている試験結果の層構成は何か。(荒木委員)

30mm、40mm については、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 プライだ(事業実施者 平松氏)

その平均値だ。(安村委員長)

その通り。20mm については、3 層 4 プライ、5 層 5 プライ、7 層 7 プライの平均値だ。(事業実施者 平松氏)

P4 から P8 の平均値を見れば、プロットされている点の層構成が判るとのことか。(荒木委員)

その通り。(事業実施者 平松氏)

そうした説明を文章で追記せよ。(安村委員長)

下限値を算出するための係数(0.75)は乗じていないと思うが、0.65 は乗じているか。(事業実施者 宮武氏)

乗じていない。(事業実施者 平松氏)

つまり、平行層理論のままの値か。(事業実施者 宮武)

その通り。(事業実施者 平松氏)

寸法調整の話と下限値の話があり、下限値は乗じていないということか。(安村委員長)

乗じていない。(事業実施者 平松氏)

そうしたことが判るようにしておきたい。逆に、寸法調整係数が算出されるということだ。20mm～40mm で同じでよいのかという議論はある。20mm と 40mm で寸法効果により 20mm の方が若干強く出るといえる事があるかもしれない。ただ、30mm と 40mm はあまり違いがない。(安村委員長)

20mm と 30mm・40mm を製作したメーカーが異なり、フィンガージョイントの関わりもあるので、無垢のラミナに比べて寸法効果が生じるかもしれない。

300mm 幅で試験すると、70mm 幅ではフィンガージョイントが 4~5 か所入ってくるので、運悪く並んでしまったとき、(数値が)落ちてしまうことがあるかもしれない。実験では目立って変な壊れ方をしていた試験体はなかったが、結果として 30mm・40mm より(20mm が)低くなっており、(理由を)解明できていない。(事業実施者 平松氏)

同じ樹種の厚さが 20mm と 30mm で、これほど異なるということは、よくあることなのか。(神谷委員)

フィンガージョイントが入っているのだから、その違いが出たと考えている。(事業実施者 平松氏)

ということは、ラミナの強度ではなく、フィンガージョイントの加工精度のようなものが出たという事か。(神谷委員)

影響したのかなと考えている。形状も異なっているのだから、ある程度差が出てくるのではないか。(事業実施者 平松氏)

フィンガージョイントが無いラミナでは、20mm と 30mm で大きな差がなかったということか。(神谷委員)

通しラミナでは木取りの影響もあり、40mm になると加力点間に入ってくる欠点も変わってくるが、ここまで差はないかもしれない。(事業実施者 平松氏)

ヤング係数を見ると、20mm に比べて 30mm が大きく、本来は曲げ強度も 30mm の方が大きくなるはずだが、小さくなっている。寸法効果だけでは説明ができないので、やはりフィンガージョイントの影響があるのかなと思う。(井道氏)

◇資料 4-2 の説明 (事業実施者 平松氏)

等厚のもので試験するのか。(安村委員長)

今回は、①はラミナの試験のみ、②については 20mm 等厚の再試験だ。(事業実施者 平松氏)

グレーディングマシンが問題であり、その改良ということか。問題は、校正方法なのか、グレーディングマシンなのか。「より安定的に測定可能な手法の検討」が目的の一つになっているが、グレーディングマシンがきちんと仕事をしていないということか。(神谷委員)

厚いものを通した時と、薄いものを通したときに、グレーディングマシンが仕事をしていないのか、校正係数を樹種やヤング係数の分布に応じて変える必要があるのか、難しい。(事業実施者 平松氏)

使用しているグレーディングマシンは、メトリガードの CLT か。(神谷委員)

国内の工場に入っている製品だ。(事業実施者 平松氏)

グレーディングマシンのメカニズム、精度、安定性など、マシンそのものに問題がある可能性はないのか。(神谷委員)

その要素をかなり含んでいると考えている。国内メーカーのマシンは 30mm 前後のラミナを正確に測って仕上

げるとい前提で設計されており、40mmも測定できると謳っているが、断面が大きくなったり、樹種が変わったりすると、ラミナがたわみにくくなり、国産の連続式グレーディングマシンでは測りにくいという事情がある。アメリカでもヨーロッパでも機械等級区分の認定マシンがあり、ヨーロッパでは機械の目視のグレーディングと、世界的には厚さに拠らずにきちんと計れる打撃式のマシンが主流になっている。今後、厚物を本格的に取り扱っていくのであれば、その点の検討が必要ではないかという話が出てくると考えられる。(銘建工業 渡部氏)

メトリガードは、何回試しても同じ結果が得られ、ヘビーでがっしりしていたので、尋ねた。(神谷委員)

「ラミナおよび CLT の強度試験の目的」だが、先程の 0.48 という数値が、40mm の場合に、寸法に関わらずそのまま使用できるのか、変更する必要があるのかを検討できる資料は出てきそうか。(安村委員長)

ラミナの強度がきちんと測定できて、まずはラミナの強度と CLT の強度の関係がわかるということで、その話は別と考える。(荒木委員)

使えるデータがあれば良い。どういうデータであるかわかるようにしておくことが重要だ。(安村委員長)

◇資料 5 の説明

資料5は昨年度の報告書で、資料4と内容が重複するので、説明を割愛する。(事業実施者 西妻氏)

◇資料 6 の説明 (事業実施者 西妻氏)

どこのメーカーもラミナのグレードを、ビジュアル、インダストリアル、インダストリアル・ビジュアルの3段階程度に分けており、集成材も製造しているメーカーは、上の方の等級を集成材の外層に適用し、ビジュアルに劣る等級を CLT に適用するなど、製品を超えたカスケード利用を行っている。(銘建工業 渡部氏)

当初、各メーカーはバラバラ(1mm 単位)で独自構成だったが、これではまずいということで、2014 年ぐらいにストーラ・エンソ社を中心にオーストリアの 5 社が集まり、グラーツ工科大学のシックホーファー先生取りまとめの元、20mm、30mm、40mm に集約していこうという流れができ、以降、このサイズが中心になったと聞いている。幅については、メーカーによって異なることもあるが、製材工場を持つメーカーは、製材での採り易さや生産上の効率を考慮して、内層ラミナに幅広のラミナを意識して採用するケースが散見される。(事業実施者 安東氏)

(調査報告には)9mm、10mm、15mm もあるが例外的で、20mm、30mm、40mm が中心と思ってよさそうだ。P16 を見ると、製品が薄いものは外層より内層が厚く、製品が厚くなってくると外層も厚くなる傾向にある。製品が薄い場合は外層を厚くする必要はなく薄くて良いが、製品が厚くなると外層のボリュームも必要になるので、厚いラミナを使うという傾向ではないか。一概に、直交層を薄くするのではなく、製品全体が薄いものは、外を薄くした方が良く、床用など厚くなってくると、外層を厚くしてバランスを取る傾向にあるような気がする。(安村委員長)

ストーラ・エンソ社はその傾向がある。リップ付き集成材を商品化している。集成材と CLT のラミナの繊維方向をそろえて、横方向の力を伝達させて、かつ CLT を薄くするために外層をわざと厚くして面材剛性を高めるということをやっている。3 層 4 プライの 1 プライを省略するような考え方だ。(銘建工業 渡部氏)

厚さが変わった時に同じ等厚ラミナだと歩留まりが悪いので、ラミナ厚を何種類か作っておき、全体の厚さ調整

をしているのではないか。強度的な理由ではなく、生産上の理由が一番大きいのではないか。(神谷委員)
薄いラミナ 2 枚を貼るより、厚いラミナ 1 枚とする方が接着材も少ないし、工程も少ない。(安村委員長)
同じ層数で厚さを変えようとしたら、ラミナの厚さを変えることにはとてもメリットがある。(神谷委員)

日本では、どの辺を狙っているのか。(安村委員長)
スラブだ。(事業実施者 坂部氏)

ある程度厚いということか。(安村委員長)
どこでこれ(非等厚 CLT)を一番有効に使うと設計的に良いのかを、ゼネコンの意見も聞きながら(決めていきたい)。本委員会ですべてを行うのは難しいので、いくつかに絞り、一番効率的に使えるのはこれではないかというところへ持っていこうと考えている。今年度は等厚を行うので、その間にもう少し議論して方向性を明確にしていきたい。(坂部氏 事業実施者)

CLTとは、規格がなく各メーカーが第 3 者認証を取得して、好き勝手なものを提供していた。日本で言えば 37 条のようなものを、各国で全て取得し使用していた。今は、CEになっているのか。ENでは、メーカー毎ということにならず、ある程度まとまっている(必要があるだろう)。今、ENでどうなっているのかも(把握しておく必要がある)。(安村委員長)

◇資料 7 の説明 (事業実施者 安東氏)

欧州の調査資料を見ると、CLT製品の厚さのラインナップが多様だ。CLTは材積が大きい材料であるため、厚さのピッチを刻むことで、できるだけコストがあう提案にしたいというのが、設計・施工側の意見としてある。(その他の意見)にもあるように、順位をつけるというより、色々なものが提案できるようになると、メーカー・販売店側としてメリットが出てくる。(銘建工業 渡部氏)

どちらかと言えば、①は床などの曲げ材、②は壁などの圧縮材だ。圧縮を効かすなら繊維方向を厚くしておいた方が、メリットがある。だから、ただバリエーションということではなく、用途との関係があるような気がする。(安村委員長)

◇榎本委員のメールの紹介 (事業実施者 西妻氏)

環境省が CLT のリユースの可能性を検討し始めました。寸法は建築物によって、異なるのは仕方がないとしても等級、強度はある程度絞った方がリユースはうまく流れるかもしれません。リユースの道を確保することによって、価格が少々高くても使用しやすくなるという可能性もある。逆にある程度高価でないとリユースのための丁寧な解体、異物撤去、運搬の費用が出てこないのかもしれない。CLT においては、リユースの流れに乗せて行くのも一つの方法であると考えています。

◇CLT DESIGN CONTEST の紹介 (事業実施者 西妻氏)

◇総括意見

特になし。(河合委員)

特になし。(秋山委員)

本事業はロードマップに記さ入れている通り令和6年度頃に結論を得て、その後、非等厚 CLT の普及を進めていく。得られた成果を元に JAS 規格へ反映することで、CLT のバリエーションの拡充や CLT 建築物の幅を広げるという取り組みになる。(林野庁 福島氏)

◆次回日程など

次回日程は改めて連絡する。(事業実施者 西妻氏)

議 事 要 旨 (案)

件 名	令和4年度 木材製品の消費拡大対策及び 国内森林資源活用・建築用木材供給力強化対策事業のうち 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2日(金) 13時00分～15時00分	場 所	(一社)日本CLT協会 2F会議室 (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)、 <u>青木 謙治</u> 、(榎本 敬大)、 <u>尾方 伸次</u> 、(神谷 文夫)、 (荒木 康弘)、(秋山 信彦) オブザーバー <u>杉原 伸一</u> 、(甲斐 菜月)、川原 聡、福島 純、巻田 和丈、増井 僚、 <u>高木 望</u> 、山内 一浩、(平原 章雄)、渡部 博、(伊藤 一哉) 事業実施者 坂部 芳平、(安東 真吾)、西妻 博康、 <u>谷口 翼</u> 、(小田 祐二)、 課題担当 平松 靖、 <u>渋沢 龍也</u> 、 <u>原田 真樹</u> 、(宮本 康太)、 <u>宮武 敦</u>		
(役職・敬称略)			
<p>◆委員長挨拶</p> <p>前回の第1回委員会が7月だったので、約半年の期間が空いた。半年間の実験の成果のご報告とそれに対する皆様の忌憚のないご意見をお願いします。ではまず資料の確認を事務局からお願いします。</p> <p>◆資料の確認(事業実施者)</p> <p>資料1 議事次第 資料2 委員名簿 資料3 第1回委員会議事録 資料4 仕上げ厚さ20mm、30mm、40mm、スギ、ヒノキラミナの製造試験概要 資料5 非等厚CLT成果データ報告</p> <p>◆委員長</p> <p>では、議事次第の1.委員紹介は省略し、2.事業内容の資料3第1回委員会議事録(案)について、事務局からご報告をお願いします。</p> <p>◆第1回委員会議事録の説明と内容の確認(事業実施者 西妻氏)</p> <p>議事録内容について、委員より承認を得られたため、議事録(案)で確定とする。</p> <p>◆議事</p> <p>◇資料4 P1～P7の説明(事業実施者 平松氏)</p>			

資料 5 に試験内容を追記したバージョンが資料 4 なので、資料 5 の説明で資料 4 の説明に替える。(事業実施者 平松氏)

原木が 3m で仕上がりりが 2m であるなら、単にフィンガージョイント(以降 FJ と記す)で繋いだのではなく、いろいろ混ざっているのか。(安村委員長)

原木を 1200mm 程度に切って、節などを抜きながら曲げ B 試験で測定した曲げヤング係数の高いものから並べて順に繋いでいき、4m になったらカットする。(事業実施者 平松氏)

一つの材に異なる原木が混ざっているということか。(安村委員長)

継ぎ目によっては、同じ原木同士になる場合と、そうでない場合もありうるが、曲げヤング係数が近いもの同士が繋がられているので、大きく異なる材が接合されているということはない。3つ程、FJ が入るが、一つ前の材が製造されるときに最後にカットされた材の残りの部分が次の材の最初に来て接続されるので、FJ の位置は一致せず、左右に偏ることはある。(事業実施者 平松氏)

P6 の色に意味があるのか。(安村委員長)

無い。濃い青とクリーム色の材が桁状に並んでいる部分が今回の試験体だ。(事業実施者 平松氏)

◇資料 4 P8～P12 の説明 (事業実施者 平松氏)

P12、連続曲げ式のグレーディングマシンを用いたヤング率の計測では、スギの 40mm 厚さは相関が落ちる印象がある。スギは 20mm～30mm 厚なら曲げやすく測りやすいが(マシン自体が 30mm 前後のラミナにターゲットを絞って設計されていると考えられるため)、40mm 程度になると精度が落ちてくるようだ。(銘建工業 渡部氏)

製造時には行うと思うが、グレーディングマシンを通した場合にキャリブレーションのようなことは行うのか。(安村委員長)

使用するラミナから比較的良好な校正板を3レンジ程度選定し、それらが直線的に並ぶように校正係数を決定している。(銘建工業 渡部氏)

曲げ B 試験を含めて、含水率はどうなっているか。(安村委員長)

平均的には 10%程度だが、スギは初期の含水率の差に起因するばらつきが大きく、中には 8%程度の過乾燥のものもある。(銘建工業 渡部氏)

含水率の補正は行っているか。(安村委員長)

補正していない。(銘建工業 渡部氏)

縦振動の場合は、曲げ試験の結果が少し高めに出ているような気がする。動的なキャリブレーションはされているのか。(安村委員長)

今回は、得られた値から求めている。縦振動はせん断変形の影響を受けないので、曲げ B 試験に比べるとやや大きな値が出ている。ラミナのヤング係数を縦振動で測定すると、静荷重をかける試験に比べて高くでる。(事

業実施者 平松氏)

一番下は FJ が入っているが、上の二つは入っていない。その違いの影響はないか。(安村委員長)

一つの理由は動的か静的かだろう。大きな節のような欠点は除去しているので、極端に低い値は出ないはずだ。たて継ぎしたラミナを曲げ B 試験をした時と、通しラミナと節の影響が大きく出ると思うが、縦振動(動的)試験に節の影響がどの程度でるのか助言が欲しい。(事業実施者 平松氏)

複数の要因が考えられるので決められない。(安村委員長)

ヨーロッパにおけるラミナの計測では、打撃式グレーディングマシンを中心に、打撃だけではなく複数のマシン(センサー)を組み合わせ、節などの欠点の影響範囲を特定し、クロスカットで欠点を取り除いている。(銘建工業 渡部氏)

縦振動は 4m で、曲げ B 試験とグレーディングマシンは 3m だ。グレーディングマシンの場合、1200 と言っても、それは 4 点荷重になっているのか。(安村委員長)

曲げ B 試験とグレーディングマシンは中央集中だ。(事業実施者 平松氏)

縦振動は平均的で、他と異なる。(安村委員長)

縦振動は、どういう製品ができたかの確認のためで、後で曲げ試験用と引張・圧縮試験用に振り分けをするので、木取りを決めるためにあらかじめ計った。(事業実施者 平松氏)

(連続曲げ式の)マシングレーディングは速いのか。(安村委員長)

100m/分程度だ。(銘建工業 渡部氏)

その影響はないか。(安村委員長)

(米国の)メトリガードは 2 点で測るので、押さえが効くので、きちんとした結果が出やすい。弊社のものは 1 点なので、その影響があるかもしれない。(銘建工業 渡部氏)

→連続曲げ式としての回答になります。(銘建工業 渡部氏コメント)

◇資料 4 P13～P24 の説明 (事業実施者 平松氏)

FJ の圧縮条件は 30mm を基本にしている関係上、20mm は入りすぎている、40mm は入り辛く、課題を残している。(銘建工業 渡部氏)

圧力は一定なのか。(安村委員長)

圧力設定式により、断面によって圧力を変えている。しかし実際は、材料を見てフィンガーが入り過ぎたら圧力を下げ、入らなかつたら圧力をあげるという対応もしている。ヒノキは圧力を高くすると入るが、圧力を上げ過ぎると、材面を傷つけてしまうため、調整が難しかった。もう少し調整があると感じている。

加えて、そりや曲がりがある状況でフィンガーカッターに入っていくので、薄いラミナは影響を受けやすいのかもしれない。FJ 加工が上手くいかなかった場合、断面欠損的に 20mm は最も不利である。30mm～40mm といった厚いものが安定するのは、そうした理由もあるかもしれない。(銘建工業 渡部氏)

縦圧縮試験体はどういうものか。(安村委員長)

圧縮試験体は、各試験体、幅、厚さはそのまま、長さは厚さの6倍になっている。つまり、20mmなら120mm、30mmなら180mm、40mmなら240mmである。(事業実施者 平松氏)

圧縮試験はFJでやっているのか。(安村委員長)

その通り。(事業実施者 平松氏)

圧縮の壊れ方は30～40mmは、根本が壊れる破壊が多かった。20mmではフィンガー以外が壊れるものいくつも見られた。(井道)

フィンガー以外とは圧縮面での破壊か。(安村委員長)

縦に破壊線が見える。フィンガーがどう関係しているかはわからない。フィンガーの先端から破壊が伸びているのかもしれない。試験後の写真も改めて検討する。(井道)

◇資料4 P25～P26の説明 (事業実施者 平松氏)

今後に関わってくる。(安村委員長)

ラミナ試験の結果と併せて等価断面の推定式と一致するか調べる予定だ。JASでは12mm～50mmまで使えるが、告示では24mm～36mmだ。その範囲外の20mm、40mmについても計算で求められるようになると思う。(事業実施者 平松氏)

表3.1-1のスギの厚さ32mmは30mmラミナを想定しているのか。(安村委員長)

仕上げの寸法が厚さ20mm×幅105mmのFJラミナを製造するため、32mmは製材寸法で、乾燥させ粗どりするとラミナ厚さは23mmになる。その23mm(厚さ)×109mm(幅)のラミナを連続式グレーディングマシンに投入している。表とグラフに追記するようにする。(事業実施者 平松氏)

40mmは実施しているのか。(安村委員長)

今回の曲げB試験ではないが、前回は20mm、30mm、40mmで実施しており、外層用、内層用それぞれM30、M60という等級で行った。それぞれM30、M60で定められた基準は出ていた。

今回の3層3プライ=60mmだ。(安村委員長)

3層3プライは去年はやっていない。60mmは別の試験機で行う必要があるからだ。(事業実施者 平松氏)

40mm厚では、以前は3-4から7-7まで、3-3、3-4、5-5、7-7までやっている。

30mm、40mmは3-3、3-4、5-5、7-7、9-9までやっている。

ラミナの分布は今回と同じか。(安村委員長)

以前のものは、グレーディングマシンの結果は同じ程度だ。(事業実施者 平松氏)

閾値も同じか。(安村委員長)

ほぼ同じだ。(事業実施者 平松氏)

今回のものと比較して良いということか。引張と曲げの関係を明らかにするために、前回の試験と照合できるか。(安村委員長)

前回のラミナは曲げ試験のみだ。40mm は両方でやっている。(事業実施者 平松氏)

曲げ試験を実施したものと今回の引張りを比較して良いということか。(安村委員長)

その通り。(事業実施者 平松氏)

曲げ試験の性能は、外層の強度で決まってくる。以前の 24mm~36mm なら良いが、20mm や 40mm で良いかが今回の試験でわかるということか。(安村委員長)

係数を乗じたとき、どれくらいになるかを求めて、これまでの厚さと比較して、確認ができる。(事業実施者 平松氏)

両方とも安全サイドになるのか。(安村委員長)

基準とはなにか。(安村委員長)

計算値ということだ。MX60 の基準値ではない。(事業実施者 平松氏)

シミュレーションはできる。(安村委員長)

引張りと曲げの比率は。(安村委員長)

曲げに対して 0.65~0.7 程度だ。(事業実施者 平松氏)

厚さによって異なってくる。20mm は弱い比率が異なる。(安村委員長)

7月に委員会で報告した結果では、40mm については、外層用の曲げが平均値で 30.3 に対して、26 程度だ。外層用では 24.8 に対して 19.3 だ。(事業実施者 平松氏)

グレードが高い方が比率は小さくなる。場合によっては引張の方が高くなることもある。(安村委員長)

今言った曲げと引張は FJ がある場合だ。(安村委員長)

その通り。(事業実施者 平松氏)

曲げ試験体のそれぞれの層構成が何体の試験体になるのか。外層用のラミナは、各層構成の中で最外層だけではないかと思うが、何プライ目までが外層用ラミナを使うことになるのか。(河合)

6 体だ。外層用ラミナを使うのは、5 層 7 プライ外層の 2 プライ(表裏合わせて 4 プライ分)で、他は、最外層の 1 層(両側それぞれ1枚となる)だ。(事業実施者 平松氏)

今回は、9層9プライは実施するのか。(安村委員長)
実施する。外側2枚が外層用だ。(事業実施者 平松氏)

CLT 試験体を作るときに、どこのラミナが、ヤング係数がどれくらいということはわからないのか。(安村委員長)
わからない。80以上であることが判っているだけだ。偶然、集中している場合があるかもしれない。(事業実施者 平松氏)

シミュレーションはできるのか。(川原氏)

ラミナの分布があり、それぞれのヤング係数について、曲げ強度や引張強度が出るので、それらを解析することでシミュレーションをすることはできる。すでに実施している方もおり、森林総研内でもトライしている人がいるので、今回のデータができれば、もう少し詳しいところまで見ていける。

これをクリアして、非等厚に向けていく。ラミナのデータが出てきているので、次に非等厚の試験を実施し、ラミナと関係を結び付けていく。データが集まってくれば、様々な構成でシミュレーションを試みる事ができてくる。(事業実施者 平松氏)

繰り返しでできることはある意味で簡単だ。最外層で壊れるとすると、破壊のクライテリアは、曲げでみるのか、引張でみるのか。クライテリアを何にするかで異なってくる。集成材では寸法調整係数がある。もし、引張で決まるとするなら、そのような考えもある。寸法調整係数を入れるとややこしくなる。

横に3枚並べるが、グレードだけならよいが、モンテカルロ法でやるとどれかが破壊する。それが壊れたら終わりとするのかという話もある。計算は沢山回せるがクライテリアは決める必要がある。(安村委員長)

◇参考資料(画面)の説明(銘建工業 渡部氏)

参考として、弊社で製造・出荷されたCLTに厚さに関する近年の傾向について説明したい。厚さは90mm～210mmが多く、この範囲で9割を占める。

ここ数年の傾向では3層3プライ(90mm)、3層4プライ(120mm)が増えている。90mm厚、120mm厚は3階以下の低層の住宅や事務所に使われている。コストを下げするためには材積を抑える必要があり、90mm厚の壁とするか、強度が不足する場合は120mm厚を使用する。150mmはそれを超えるような建物で使われ、主に壁用途だ。210mmは7層7プライと5層7プライで構成できるが、5層7プライが大半占めている。恐らく用途は燃えしろ設計をした壁と、スパンを飛ばしたいときの床と考えられる。

第1回の委員会では、厚さのバリエーションを増やしてほしいという設計側の要望があると報告されたが、社内の営業・設計担当者と意見交換をしたところ、提案できる厚みのバリエーションが増える事が最も重要なため、優先する厚さは決められないという話になった。150mmと210mmの間が空いているので、非等厚によってこの間を製作できる。210mmに近い性能を出しつつ、より薄いサイズとできるのではないかと。120mmがあるが、90mmと150mmの間を非等厚で埋めることができる。1棟あたりの材積は小さくなるが、最適な厚さ(コスト)で提案することが可能になり、これまでコスト的に断念されてきた建築物においても、CLTが採用される可能性を高めることが期待できる。

この先、5～6階を超える中層建築物では、150～210を埋める非等厚構成がターゲットになる。

ほとんどのラミナは 30mm か。(安村委員長)

その通り。(銘建工業 渡部氏)

100mm が欲しいというと 33mm ラミナはできるのではないか。(安村委員長)

性能的にメリットが少ない。100mm なら、40mm と 20mm を組み合わせた方が、性能があがる。(銘建工業 渡部氏)

広げる話は難しく、20mm、40mm が従来の 24mm、36mm と同じなら良いが、異なるとなるとどのようにしていくかを考える必要がある。データが揃えば整理できるだろう。(安村委員長)

非等厚については色々なタイプがあるので、検討して絞っていく。次回(来年度)以降にまとめたい。(事業実施者 西妻氏)

議論は以上とする。(安村委員長)

◆林野庁福島氏のあいさつ

お忙しい中、活発なご議論、ありがとうございました。

地震の影響で、木造というだけで敬遠されることがないよう、林野庁としても情報の提供に努めてまいりたいと考えています。

事業はロードマップにも記されており、今後の CLT のバリエーションの拡充として、中・大規模 CLT に広げることになっています。

事業の終了に向け、報告書の取り纏めについてご尽力をお願いします。

本日は、ありがとうございました。

それではこれで今年度の委員会を終了します。(事業実施者 西妻氏)

(一社)日本 CLT 協会