

県産針葉樹材を用いた構造用集成材に関する研究 (第1報)

～ スギおよび能登ヒバを用いた構造用集成材の製造と強度性能 ～

小 倉 光 貴

要旨： 県産針葉樹（スギ、ヒバ）の中径材の用途拡大のため、構造用集成材の試作と強度性能試験を行い、曲げ強度（MOR）、曲げヤング係数（MOE）、比例限度強度（PL）等を求めた。

その結果、剛性を高めるため外層ラミナにヒバを用いることにより、ヒバ集成材1級に相当するMOR、MOEが得られた。ただし、外層ラミナをフィンガージョイント（以下「FJ」という）により縦継ぎしたものでは強度が約40%低下したので、改めてFJ部分を金物で補強したものと、幅はぎによりFJ位置を幅方向に分散したものを試作して再試験を行った結果、幅方向に分散させた場合で約20%強度の改善が認められた。

I はじめに

木材需要の大宗を占める木造住宅の部材、部品に対しては、安全性、耐久性に関する技術開発と水準の向上が求められている。一方で、戦後の造林木が主伐期を迎え、供給サイドからはこれらの材の有効利用と需要の拡大が求められている。こうした状況を踏まえ、県産材の新しい用途として構造用集成材の試作と強度性能試験を企画した。実験では、曲げに対する剛性を強化する目的で、最も応力のはたらく外層ラミナにヒバを用いた。その結果、強度性能の向上の点で一応の成果が認められたので、さらに、縦継ぎを施したラミナのジョイント部分の補強法について検討した。

II 試験方法

1 試験概要

本試験はFJによる強度低下を比較し、定量化するためのFJ試験と、FJによる強度低下に対して行った補強法の効果を検定するための補強試験とにわけられる。

(1) FJ試験

通直ラミナ（以下「NJラミナ」という）により構成された集成材と縦継ぎラミナ（以下「FJラミナ」という）により構成された集成材についてMOR、MOE、PL等について比較した。図-1に示すとおりいずれも6プライとし、すべてNJラミナによるAタイプ、すべてFJラミナによるCタイプ、外層のみNJ、中間層、内層はFJラミナによるBタイプの3種類を設定し、各6体試作した。なお、いずれのタイプも外層はヒバ、中間層、内層はスギを使用し、B、Cタイプでは、FJの位置を隣接するラミナ相互間で40cmずらすこととした。

よるCタイプ、外層のみNJ、中間層、内層はFJラミナによるBタイプの3種類を設定し、各6体試作した。なお、いずれのタイプも外層はヒバ、中間層、内層はスギを使用し、B、Cタイプでは、FJの位置を隣接するラミナ相互間で40cmずらすこととした。

(2) 補強試験

一次試験の結果において、CタイプのMORおよびPLがAタイプ、Bタイプに比べて著しく小さく、いずれも引張り側のFJ部で破断が発生したことから、この部分の補強法について二通りの方法を検討した。一つはFJを幅方向に分散するため、外層ラミナを幅はぎとしたもの。（Eタイプ、図-2）もう一つはCタイプの引張り側ラミナのFJ部を接合金物（ギャングネイル）で補強したもの（Fタイプ）である。なお、比較のためAタイプと同様のもの（Dタイプ）と、各3体試作した。

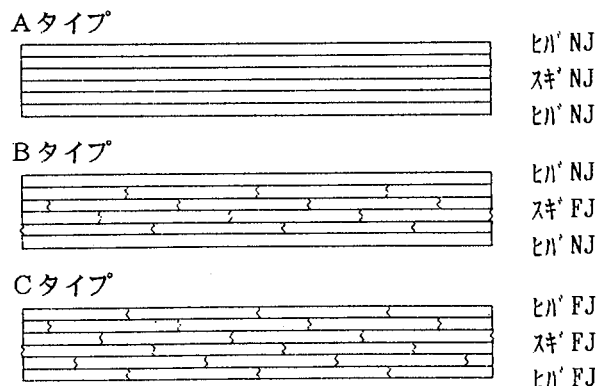


図-1 ラミナ構成図

Eタイプ

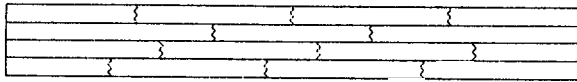


図-2 幅はぎラミナ FJ 位置見取り図

2 供試材

(1) FJ 試験材

ラミナは $b=120\text{mm}$ 、 $h=30\text{mm}$ とし、集中節径比と動的ヤング係数 (Efr) により図-3 のように区分した。ヒバラミナは穴水町産、スギラミナは能都町産でいずれも $\phi 20\sim 26\text{cm}$ 材より採材している。今回、実験に使用したラミナの樹種別、形態別本数および静的ヤング係数は表-1 に示すとおりである。

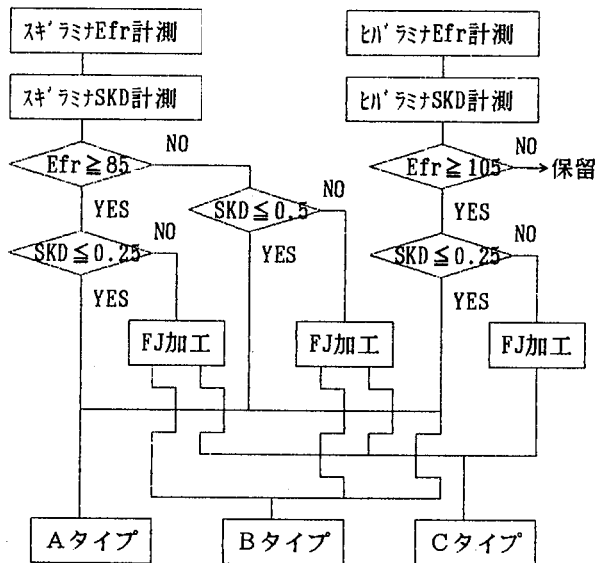


図-3 合わせ貼り軸材料試作・試験フロー

表-1 供試材ラミナの剛性値 (静的ヤング係数)

用途	ラミナ種別	本数	Edw (tf/cm ²)				備考
			AVG.	MAX.	MIN.	STD.	
外層用	ヒバNJ	24	116.04	140.72	101.51	8.877	
	ヒバFJ	12	109.48	115.47	104.75	5.048	
中間層用	スギNJ	12	124.76	140.48	110.22	11.093	
	スギFJ	24	115.90	139.01	86.42	10.860	
内層用	スギNJ	12	103.56	114.46	90.20	7.475	
	スギFJ	24	99.99	112.94	75.08	8.440	

(2) 補強試験材

ラミナは FJ 試験と同様に $b=120\text{mm}$ 、 $h=30\text{mm}$ とした。ヒバラミナおよびスギ FJ ラミナは FJ 試験の残材を使用し、スギ NJ ラミナは津幡町産スギ ($\phi 20\sim 26\text{cm}$) より採材した。

また、Eタイプの幅はぎラミナは縦継ぎしたヒバラミナ4枚を隣接するラミナの FJ が相互に 25cm 以上ずれるように積層して 12cm 角の正角材を作り、これを積層方向と垂直にスライスした。Fタイプの引張り側中央部の FJ 部にギャングネイル ($107\times 120\text{mm}$ 、ネイル長さ 9~13mm) を圧入した。今回の実験に使用したラミナの樹種別、形態別本数および静的ヤング係数は表-2 に示すとおりである。

なお、FJ 試験、補強試験とも FJ はフィンガー長 12mm、ピッチ 4mm で、接着は水性高分子イソシアネート系接着剤を硬化剤配合率 15% (重量比) で使用した。接着圧力は縦継ぎが単位断面積当り 60kg/cm^2 、圧縮 8 sec.、積層は 7kg/cm^2 、圧縮 150~180min.、養生 5 日以上 (20℃) で行った。

表-2 供試材ラミナの剛性値 (静的ヤング係数)

用途	ラミナ種別	本数	Edw (tf/cm ²)				備考
			AVG.	MAX.	MIN.	STD.	
外層用	ヒバNJ	6	123.72	132.03	115.10	5.986	幅はぎラミナ
	ヒバLJ	6	113.50	119.30	105.75	4.200	
	ヒバFJ	6	108.88	113.56	102.86	3.977	
中間層用	スギNJ	12	86.98	94.57	77.69	5.365	
	スギFJ	6	104.66	111.99	93.43	6.150	
内層用	スギNJ	12	60.41	73.17	49.94	6.742	
	スギFJ	6	95.71	100.83	86.26	4.585	

3 曲げ強度試験

実大材強度試験機 (島津製作所 UH100A) を使用し、構造用大断面集成材の日本農林規格¹⁾ (以下「JAS」と略) に準拠して以下の荷重条件により載荷して、MOE、MOR、PL 等について測定した。

○ 荷重条件

スパン: 3,420mm

荷重点スパン: 760mm

中央部歪み量検出区間: 500mm

荷重方式および速度: 等速荷重制御 1,000kg/min.

(単位断面積当り $103\text{kg/cm}^2/\text{min.}$)

4 接着はく離試験

(1) 煮沸はく離試験

JAS 規格に準拠して、熱水 (85~90℃) 中で 5 時間煮沸した後、室温の水中で 1 時間冷却したものを 60℃ のオーブンで 24 時間乾燥して接着層のはく離長さを計測した。

(2) ブロックせん断試験

JAS 規格に準拠して、800kg/min. の荷重速度で破断させ、せん断強さ τ (kg/cm²) と木部破断率を求めた。

Ⅲ 結果および考察

1 FJ 試験

(1) 曲げ強度試験

試験結果を表-3に示す。

外層にヒバNJラミナを使用したA、BタイプはMORに関してはJAS規格に定める針葉樹A-2の特級を超える性能を有していたが、ヒバFJラミナを使用したCタイプでは約40%低下した。また、Cタイプの試験体はいずれも引っ張り側中央部のFJ部分が引っ張りにより破断しており、材全体としての破壊状況はA、Bタイプに比べ小規模であった。

MOEについてはすべてのタイプで平均値が100tf/cm²を上回り、針葉樹A-2の1級の基準を満たしていた。

表-3 合わせ貼り軸材料曲げ強度試験結果

	Aタイプ (n=5)			Bタイプ (n=6)			Cタイプ (n=6)		
	MOE tf/cm ²	MOR kg/cm ²	PL kg/cm ²	MOE tf/cm ²	MOR kg/cm ²	PL kg/cm ²	MOE tf/cm ²	MOR kg/cm ²	PL kg/cm ²
AVG.	109.8	586	463	107.8	536	450	104.1	-326	280
MAX.	111.7	648	511	110.1	610	513	109.1	461	419
MIN.	106.2	466	416	105.4	470	361	94.1	269	238
CV.(%)	1.79	10.61	7.14	1.66	11.46	10.80	4.74	19.57	22.87

(2) 煮沸はく離試験

試験結果を表-4に示す。

最終的に基準を満たさなかった試験体はなく、また、タイプによる差異も認められなかった。

表-4 煮沸はく離試験結果

	試験 体数	はく離 固体数	はく離率 最大値	備考
Aタイプ	12	7	5.6%	再試験1体
Bタイプ	12	6	3.6	
Cタイプ	12	6	9.8	
計	36	19	9.8	

(3) ブロックせん断試験

試験結果を表-5に示す。

平均値はJAS規格を満たしていたが、特にスギースギの接着面においてせん断強度が基準を満たさないものが多く、25%が再試験の対象となった。

ヒバースギの異樹種間接着による問題点は見られなかった。

表-5 ブロックせん断試験結果

	試験 体数	せん断強度		木部破断率		再試 験率	最終 適合率
		平均値	最小値	平均値	最小値		
ヒバースギ	72	86.4 kg/cm ²	13.3 kg/cm ²	92 %	33 %	2.8 %	100.0 %
スギースギ	108	75.4	10.3	90	44	25.0	99.1
合計	180	79.8	10.3	91	33	16.1	99.4

2 補強試験

(1) 曲げ強度試験

試験結果を表-6に示す。

Aタイプと同様の設計としたDタイプでは、スギラミナのEdwが小さいにもかかわらず、MOE、MORともAタイプと比較して概ね遜色ない性能を示した。また、E、Fタイプを含めMOEはJAS規格のA-2の1級の基準値を満たした。

FJ部の補強の効果については、幅はぎによりFJを分散したEタイプでは、Cタイプとの比較でMORが約20%改善されたが、JAS規格のA-2の1級の基準値(405kg/cm²)を満たすには至らなかった。また、金物による補強を施したFタイプでは、その効果はほとんど認められなかった。FJ部の引き抜けによる破断は見られなかったが、打ち込まれたネイルの列に沿って破断が発生していた。

表-6 合わせ貼り軸材料曲げ強度試験結果(補強)

	Dタイプ (n=3)			Eタイプ (n=3)			Fタイプ (n=3)		
	MOE tf/cm ²	MOR kg/cm ²	PL kg/cm ²	MOE tf/cm ²	MOR kg/cm ²	PL kg/cm ²	MOE tf/cm ²	MOR kg/cm ²	PL kg/cm ²
AVG.	105.9	566	416	103.5	383	357	103.0	287	259
MAX.	119.1	609	463	105.0	431	384	105.1	335	296
MIN.	98.3	521	365	101.0	341	341	100.9	253	229
CV.(%)	8.83	6.35	9.64	1.72	9.68	5.32	1.67	12.16	10.73

(2) 煮沸はく離試験

試験結果を表-7に示す。

全般に前回の試験より良好な結果であり、また、タイプによる差異も認められなかった。

表-7 煮沸はく離試験結果

	試験 体数	はく離 固体数	はく離率 最大値	備考
Dタイプ	6	2	2.8%	
Eタイプ	6	1	0.9	
Fタイプ	6	2	3.2	
計	18	5	3.2	

(3) ブロックせん断試験

試験結果を表-8に示す。

せん断強度はJAS規格値に満たないものも再試験の結果適合した。また、木部破断率が基準に満たない試験体はなかった。ヒバースギの異樹種間接着による問題点は見られなかった。

表-8 ブロックせん断試験結果 (補強)

	試験 体数	せん断強度		木部破断率		再試 験率	最 終 適 合 率
		平均値	最小値	平均値	最小値		
		kg/cm ²	kg/cm ²	%	%	%	%
ヒバースギ	36	91.7	64.1	98	84	2.8	100.0
スギースギ	54	82.6	11.2	98	80	9.3	100.0
合 計	90	86.3	11.2	98	80	6.7	100.0

3 得られた知見

試験結果から以下のような知見を得た。

① 試験体集成材のMOEと接着前のラミナのEdwから回帰分析により求めた相関係数rは表-9のとおりであった。母相関係数ρ=0の仮設でn=26の相関関係の検定を5%の有意水準で行うとr>0.388で棄却される⁽²⁾。したがって、本試験結果においては、引っ張り側2層平均の場合と全ラミナ加重平均の場合に、MOEとの間に相関が見いだせる。

表-9 試験体の剛性(MOE)と構成ラミナの剛性との相関

	r	備 考
全ラミナ平均	0.29	
引っ張り側外層ラミナ	0.34	
外層ラミナ平均	0.22	
引っ張り側ラミナ2層平均	0.41	
全ラミナ加重平均	0.44	中立軸の移動がないと仮定して、各ラミナの断面二次モーメントを計算した ⁽³⁾⁽⁶⁾

② 外層ラミナのFJによる強度の低下は予想以上であった。しかし、FJラミナによってもほとんど強度低下が起こらなかった報告例⁽⁴⁾もあり、接着剤の種類や接着条件について再度検討を要する。

③ 破壊が引っ張り側中央部のFJから引き抜

けあるいはフィンガー根元部の折損により発生したことは、当初より予想されたことであり、また、過去の報告例⁽⁵⁾においても同様の指摘がなされている。このことより、FJ部を節などの欠点と同等のものとして考える必要があり、欠点の大きさ、集中度の如何によっては、敢えてこれを取り除いてFJ化することの是非についても検討の余地があると考えられる。

④ 幅はぎによるFJ分散の効果は、幅はぎしないFJラミナを使用した試験体と比較して約20% MORを向上させる効果は認められたが、NJラミナを使用した場合との比較では30%程度低く、また、製造の際の手数の増加も問題点として残る。

⑤ 金物によって補強したものでは、ネイルの列に沿って破壊が発生しており、木材の繊維が横方向に切断された影響が大きかったと考えられる。このことについては、今後ネイルの密度や材の厚みに対するネイル長さなどについて、さらに検討を重ねていく。

謝 辞

本試験を実行するにあたり、関東ギャングネイルトラス株式会社より製品の試用についてごD)承諾をいただいたことについて厚謝します。

文 献

- (1) 日本農林規格：「構造用大断面集成材の日本農林規格」(社)日本農林規格協会 p. 21~37 (1989)
- (2) 奥野忠一ほか：「応用統計ハンドブック」養賢堂 p. 114~119 (1978)
- (3) 平嶋義彦, 山本幸雄, 鈴木滋彦：木材学会誌 vol. 40, p. 1172~1179 (1994)
- (4) 林知行, 宮武敦, 星通：木材学会誌 vol. 38, p. 247~255 (1992)
- (5) 石井誠, 前田典昭, 堀江秀夫ほか：林産試験場報 vol. 2-3, p. 1~12 (1988)
- (6) 志村一男, 栗原博：「絵とき建築構造力学」オーム社 p. 128~131 (1976)