

〈論文〉

アルコール可溶性および水溶性フェノール樹脂を用いて工場生産された強化LVLの性能*1

中田欣作

Mechanical properties of compressed LVL fabricated using
alcohol- and water-soluble phenolic resin

Kinsaku NAKATA

木質構造の接合具として用いる強化LVLの強度性能向上を目的として、アルコール可溶性および水溶性フェノール樹脂を用いて強化LVLを製造し、その基礎物性を検討した結果、以下のような結論を得た。

- (1) 接合ピンとして使用する平行積層強化LVLおよび接合板として使用する直交積層強化LVLの曲げ性能は見かけの密度から樹脂の固形分を差し引いた木質部実質の密度に比例して増大した。平行積層強化LVLのせん断性能および直交積層強化LVLの圧縮性能は見かけの密度に比例して増大した。平行積層強化LVLおよび直交積層強化LVLにおいて、縦使い方向の強度性能は平使い方向のそれより高くなった。
- (2) 水溶性樹脂から製造した強化LVLはやや脆性的な強度性能を示したが、アルコール可溶性樹脂から製造したものは韌性に富んだ性質を有していた。
- (3) 重量増加率が同じ場合には、アルコール可溶性樹脂から製造した強化LVLは水溶性樹脂から製造したものよりも寸法安定性が低くなった。接着剤を用いない場合には重量増加率が低いと直交層における接着層のはく離が生じたが、直交層に接着剤を塗布することによりはく離率が低くなった。
- (4) 強度性能および接着性能を総合すると、重量増加率を低くして木質部の密度を高くし、かつ、直交層に接着剤を塗布したアルコール可溶性樹脂から製造した強化LVLが接合ピンおよび接合板として適していた。

To develop compressed wood fasteners for timber construction, compressed LVL were produced with alcohol-soluble and water-soluble phenolic resin in a factory, and the basic properties of those were examined. The results were as follows :

- (1) The bending properties of the parallel-laminated compressed LVL to use as joining pins and the crossband-laminated compressed LVL to use as joining plates increased with increasing density of woody part. The shear properties of the parallel-laminated compressed LVL and the compressive properties of the crossband-laminated compressed LVL increased with increasing apparent density. The strength of the edge-wise load was higher than that of the flat-wise load.
- (2) The compressed LVL made with water-soluble resin showed brittle behavior, but the compressed LVL made with alcohol-soluble resin showed ductile behavior.
- (3) In case of the same weight percent gain of the resin, the dimensional stability of the compressed LVL made with alcohol-soluble resin lowered than that of the compressed LVL made with water-soluble resin. When I did not use glue, the delamination of the

*1: 本研究の一部は、第54回日本木材学会大会(2004年8月, 札幌)において発表した。

本研究は中小企業技術開発産学官連携促進事業の一環として行った。

crossband layers occurred if the weight percent gain was low, but the delamination rate lowered by applying glue to the crossband layers.

- (4) The compressed LVL made with alcohol-soluble resin which applied glue to crossband layers with low weight percent gain of the resin was suitable as a joining pin and a joining plate when I put mechanical properties and adhesive properties together.

1. 緒言

木質構造の接合に一般的に用いられている鋼板接合板と丸鋼ドリフトピンの代わりに、フェノール樹脂を含浸処理したスギ材単板を積層圧密した強化LVLを接合ピンと接合板に使用する接合方法を考案した¹⁾⁷⁾。この接合方法では、集成材のスリットに接合板を挿入した状態で、集成材と接合板の同時穴あけを行って接合ピンを挿入することができるため、現場での加工性と接合精度が非常に良い。

これまでに、水溶性フェノール樹脂を用いて実験室で強化LVLの製造を行い、各種の強度性能を検討した。その結果、強化LVLの強度性能は密度の増加とともに増大するが、樹脂の含有量が過大な場合には強度性能の増加が認められないとともに塑性変形における粘りが少ない¹⁾。また、強化LVLの衝撃曲げ吸収エネルギーは密度の増加に相応した性能ではなく素材のそれと同等である¹⁾。ここで、製造時に発生する損傷を考慮すると、密度の最大値は1.3程度であるため、強化LVLの強度性能はこの密度に応じた値が限界値である。

強化LVLのような硬化積層材の製造には水溶性フェノール樹脂が用いられることが多いが、アルコール可溶性のものについても検討されている。カバ材を原料としたCompregでは、アルコール可溶性樹脂を用いたCompregは水溶性樹脂を用いたものと比較すると、ヤング係数と引張強さは同等、せん断強さと衝撃強さは優れており、圧縮強さと寸法安定性が劣っている⁸⁾。また、アルコール可溶性樹脂を用いた積層板は水溶性樹脂を用いたものより、引張強さと衝撃強さが優れており、吸水率が大きい⁹⁾。ただし、アルコール可溶性樹脂をスギ材に適用した例はない。

本報告では、アルコール可溶性フェノール樹脂を用いてスギ材の強化LVLを製造し、水溶性フェノール樹脂を用いて製造した強化LVLとの強度性能を比較し、基礎物性の向上を図るとともに接合材料に適した物性が得られる製造条件について検討した。

2. 実験

2.1 供試材料

スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) 丸太から得られた厚さ3mmのロータリー単板を用いて、サンウッド工業株式会社において強化LVLを製造した。すなわち、水溶性およびアルコール可溶性のフェノール樹脂を用いて単板に含浸処理した後、単板を所定の枚数積層し、温度135~140°Cで元の厚さの約1/3まで圧縮した。積層方法は、積層数13~21枚の平行積層と全体の約1/4に直交層を配置した積層数10~20枚の直交積層とした。平行積層は強化LVL接合において接合ピンとして用い、直交積層は接合板として用いるものである。

製造条件は、溶液濃度、含浸方法および接着剤の有無とし、水溶性およびアルコール可溶性のフェノール樹脂を用いて製造した強化LVL（以下、水溶性およびアルコール可溶性強化LVLと略す。）の組み合わせおよび略号を表1に示す。水溶性強化LVLのWLGおよびWMGタイプでは半数の単板に、アルコール可溶性強化LVLのAMGタイプでは直交層の単板に、フェノール樹脂接着剤を塗布量200g/m²で両面塗布した。積層数は含浸後の単板の乾燥重量を基にして、仕上がり時の密度が約1.3g/cm³となるように設定した。

ここで、強化LVLに含まれているフェノール樹脂の固形分および接着剤の固形分より木質部実質の密度（以下、木質部密度と略す。） ρ_0 を以下の式により求めた。

$$\rho_0 = \frac{(\rho - \rho_p) \times 100}{100 + WPG}$$

$$\rho_p = \frac{S \times a \times 0.6}{h}$$

ただし、

ρ : 見かけの密度

ρ_p : 接着剤の固形分を強化LVLの体積で割った値、
接着剤の固形分は60%とした。

WPG : 樹脂の重量増加率(%)

S : 接着剤の塗布量(200g/m²)

a : 接着層の数、WLGおよびWMGタイプでは積層数-1、AMGタイプでは直交層数×2

h : 強化LVLの厚さ

2.2 強化LVLの強度試験

2.2.1 曲げ試験

平行積層強化LVLより直径20mm、長さ320mmの丸棒を作製し、スパン280mmの中央集中荷重で曲げ試験を行った。また、直交積層強化LVLより厚さはそのままにして幅20mm、長さ320mmの試験片を作製して、同様に曲げ試験を行った。荷重方向は、積層方向に直角（平使い方向）および積層方向に平行（縦使い方向）とした。試験片の長さ方向は、平行積層では繊維方向、直交積層では繊維方向および繊維と直交方向（接線方向）とした。試験体数は6体とした。ただし、平行積層強化LVLのAMGタイプ、直交積層強化LVLのALおよびAMGタイプの繊維方向では試験体数は15体とした。

2.2.2 圧縮試験

直交積層強化LVLより厚さはそのままにして幅20mm、長さ40mmの試験片を作製して圧縮試験を行った。荷重方向は、繊維方向および繊維と直交方向（接線方向）とした。試験体数は6体とした。

2.2.3 衝撃曲げ試験

直交積層強化LVLより厚さはそのままにして幅20mm、長さ300mmの試験片を作製して衝撃曲げ試験を行った。荷重方向は、積層方向に直角（平使い方向）および積層方向に平行（縦使い方向）とした。試験体数は6体とした。

ここで、標準的な試験片は幅**b**および高さ**h**が20mmであるが、強化LVLの厚さは表1に示したようにこれらの寸法と異なるため、試験片の高さによる影響を取り除くために下式により衝撃曲げ吸収エネルギー**a**を求めた¹⁰⁾。

$$a = \frac{W}{bh} \times \frac{20}{h}$$

ただし、

W：衝撃仕事量

2.2.4 せん断試験

せん断試験は、金属治具を用いて強化LVL単独のせん断性能を測定するせん断試験Sと実際に使用する状態を想定して集成材に挿入した強化LVLのせん断性能を測定するせん断試験Wを行った。せん断試験Sは、図1に示すように直径20mm×長さ67mmの平行積層強化

表1 強化LVLの製造条件 Table 1 Production conditions of compressed LVL.

フェノール樹脂 Phenolic resin	略号 Type	SO (%)	WPG (%)	含浸方法 Impregnate method	接着剤 Adhesive	平行積層 Parallel laminates 積層数-厚さ Ply-Thickness	直交積層 Crossbanded laminates 積層数-厚さ Ply-Thickness (直交層) (Crossband layer)
水溶性 Water-soluble	WLG	15	17	浸せき Soaking	あり Yes	21ply-21mm	17(4)ply-17mm
〃	WM	15	38	減圧 Decompression	なし No	21ply-21mm	18(4)ply-17mm
〃	WMG	15	41	減圧 Decompression	あり Yes	21ply-21mm	17(4)ply-17mm
アルコール可溶性 Alcohol-soluble	AL	13	30	減圧 Decompression	なし No	20ply-21mm	20(5)ply-21mm
〃	AMG	17	41	減圧 Decompression	直交層のみ Crossband	20ply-21mm	19(4)ply-21mm
〃	AM	26	59	減圧 Decompression	なし No	17ply-21mm	14(3)ply-17mm
〃	AH	52	92	減圧 Decompression	なし No	13ply-21mm	10(2)ply-17mm

WPG：重量増加率 Weight percent gain、フェノール樹脂固形分の木材の気乾重量に対する比 Ratio of solid weight of phenolic resin to air-dried weight of wood SO：溶液濃度 Solution concentration

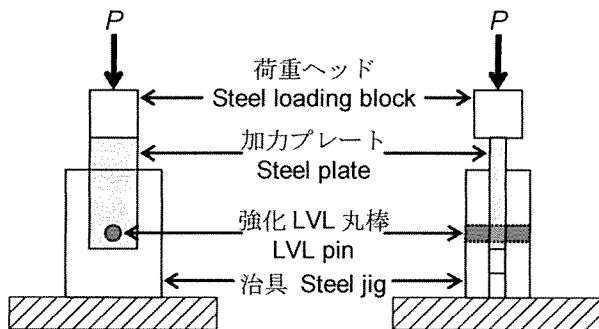
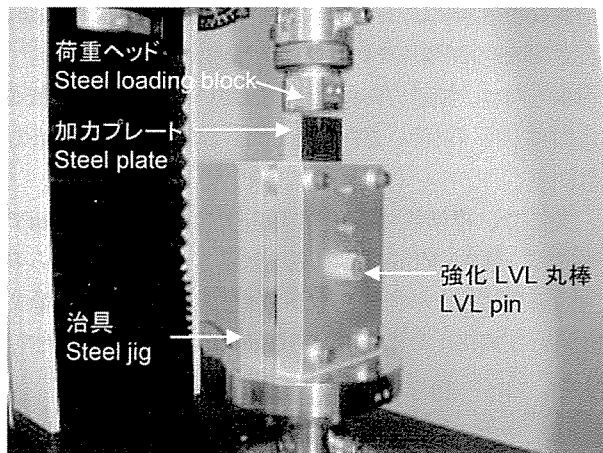


図1 せん断試験Sの方法 Fig. 1 Shearing test S.

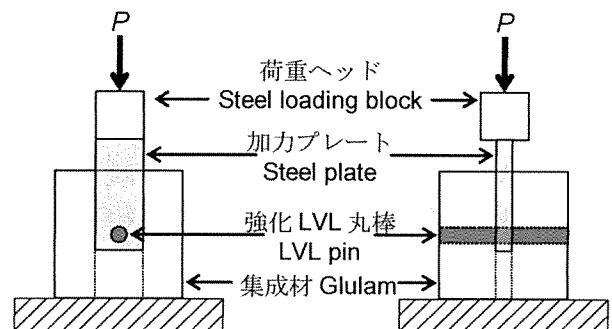
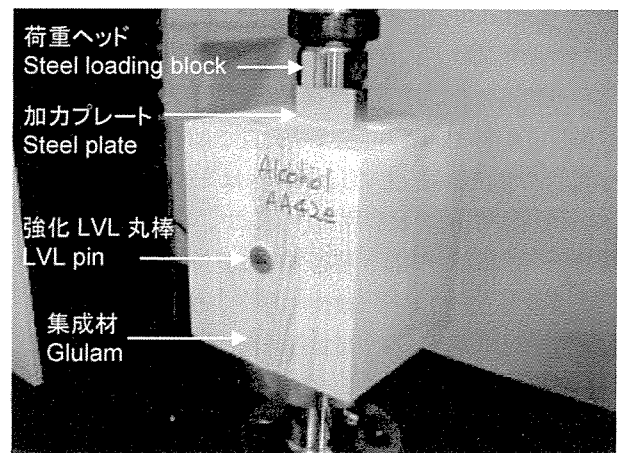


図2 せん断試験Wの方法 Fig. 2 Shearing test W.

LVL丸棒を用いて、直径20mmの穴を開けた厚さ25mmの鋼板2枚と厚さ17mmの鋼板1枚の間でせん断破壊させて行った。せん断試験Wは、図2に示すように直径20mm×長さ150mmの平行積層強化LVL丸棒を用いて、直径20mmの穴を開けた幅150mm×厚さ148mm×長さ168mmのロジポールパイン構造用集成材とその幅19mmのスリットの中に挿入した厚さ17mmの鋼板1枚の間でせん断破壊させて行った。いずれの試験においても荷重速度は1mm/minとした。荷重方向は、積層方向に直角（平使い方向）および積層方向に平行（縦使い方向）とした。試験体数は3体とした。

2.3 強化LVLのはく離試験

接着性能を検討するために、構造用単板積層材の日本農林規格に準拠して直交積層強化LVLの浸せきはく離試験および煮沸はく離試験を行った。

浸せきはく離試験では、試験片を室温の水中に24時間浸せきした後、70±3℃の恒温乾燥器に入れ、器中に湿気がこもらないようにして24時間以上乾燥し、乾燥後の含水率が試験前の含水率以下となるようにした。試験片寸法は、厚さはそのままにして幅20mm×長さ5mm、20mmとした。

煮沸はく離試験では、試験片を煮沸水中に4時間浸せきし、さらに室温の水中に1時間浸せきした後、70±3

℃の恒温乾燥器に入れ、器中に湿気がこもらないようにして24時間以上乾燥し、乾燥後の含水率が試験前の含水率以下となるようにした。試験片寸法は、厚さはそのままにして幅20mm×長さ5mm、20mmおよび幅75mm×長さ75mmとした。

浸せきおよび煮沸の前後の重量および厚さを測定して吸水率および厚さ膨張率を算出した。また、24時間乾燥後の重量および厚さを測定して浸せきおよび煮沸の開始時との変化率を算出した。厚さの測定は、幅20mm×長さ5mm、20mmの試験片では中央部の1箇所、幅75mm×長さ75mmの試験片では4隅において10mmずつ内側で行った。また、幅75mm×長さ75mmの試験体を用いて、試験片の4側面におけるはく離の長さを測定し、4側面および同一接着層におけるはく離率を測定した。試験体数は4体とした。

3. 結果と考察

3.1 平行積層強化LVLの強度性能

図3に平行積層強化LVLの曲げ性能を示す。見かけの密度との関係では、水溶性強化LVLの曲げヤング係数および曲げ強さは密度が増加してもほぼ一定の値を示したが、アルコール可溶性強化LVLのそれらは密度に

比例して増加した。木質部密度との関係では、水溶性およびアルコール可溶性強化LVLともに曲げヤング係数および曲げ強さは密度に比例して増加した。

縦使い方向と平使い方向の比較では、曲げヤング係数では両者はほぼ同等であるが、曲げ強さでは平使い方向の方が縦使い方向より高くなった。

水溶性強化LVLとアルコール可溶性強化LVLを比較すると、同等の木質部密度に対しては曲げヤング係数はほぼ同じであるが、曲げ強さは水溶性の方がアルコール可溶性よりも低くなった。また、曲げ強さに対する比例限度の比率は逆に水溶性強化LVLの方が高くなった。水溶性強化LVLの比例限度の比率は約75~85%であり、一般の木材のそれが約60%であることから、水溶性強化LVLは脆性的な材料になっていることが分かる。一方、アルコール可溶性強化LVLでは比例限度の比率は約55~70%と一般の木材とほぼ同等であり、靱性に富んだ材料であることが分かる。

せん断試験Sでは、水溶性強化LVLは縦使い方向の荷重において、まず、丸棒の長さの中央で曲げ破壊し、

荷重が一旦低下した後荷重が回復および増加し、次に金属治具同士の界面付近で丸棒がせん断破壊した。平使い方向の荷重では、曲げ破壊は顕著ではないが、せん断破壊は同様に生じ、荷重は大きく低下した。両方向の荷重において、試験後の試験体はほぼ3つに分断されていた。一方、アルコール可溶性強化LVLでは、曲げ破壊は徐々に生じるとともに、せん断破壊も徐々に生じ、最大荷重を示した後の荷重の低下も緩やかであるとともに、試験後の試験体はほぼ全体がつながっている状態であった。

せん断試験Wにおいても、せん断試験Sと同様の破壊形態を示した。

図4に平行積層強化LVLのせん断強度性能を示す。

せん断試験Sでは、水溶性およびアルコール可溶性強化LVLともに見かけの密度に比例してすべり係数およびせん断強さが増加した。木質部密度との関係では、アルコール可溶性強化LVLでは密度に比例してすべり係数およびせん断強さが増加したが、水溶性強化LVLでは逆に低下した。荷重方向の比較では、平使い方向のすべり係数およびせん断強さは縦使い方向のそれらより低

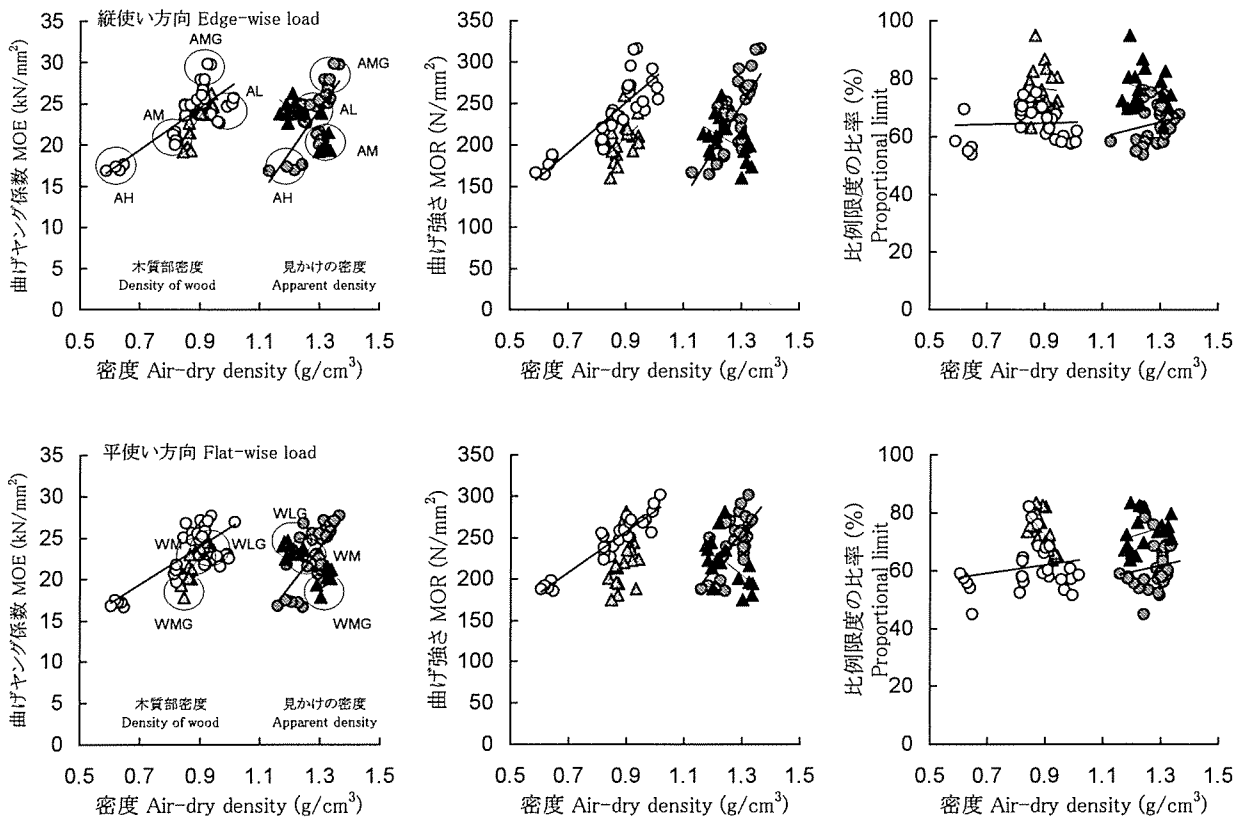


図3 平行積層強化LVLの曲げ性能 Fig. 3 Bending properties of parallel-laminated compressed LVL.

○：アルコール可溶性（木質部密度） Alcohol-soluble resin (Air-dried density of woody part)、▲：水溶性（木質部密度） Water-soluble resin (Air-dried density of woody part)、●：アルコール可溶性（見かけの密度） Alcohol-soluble resin (Apparent air-dried density)、▲：水溶性（見かけの密度） Water-soluble resin (Apparent air-dried density)、WLG、WM、WMG、AL、AMG、AM、AH：表1参照 Refer to Table 1

くなくなった。

せん断試験Wでは、せん断試験Sと同様の傾向を示したが、せん断試験Sよりもばらつきが大きくなった。これは、すべり係数およびせん断強さは集成材のヤング係数のばらつきの影響を受けるためである。

表2に製造条件の違いによる強化LVLの強度性能を示す。平行積層強化LVLでは重量増加率の低いアルコール可溶性強化LVLが優れた強度性能を示した。なお、同様の硬化積層材であるCompregTMの平行積層物のヤング係数および曲げ強さはそれぞれ25.4kN/mm²および250.3N/mm²であり、アルコール可溶性樹脂を用いてスギ材から得られた強化LVLはこれと同等の優れた強度性能を有していると言える。

3.2 直交積層強化LVLの強度性能

図5に直交積層強化LVLの曲げ性能を示す。直交積層強化LVLの曲げ性能は平行積層強化LVLと同様に、水溶性およびアルコール可溶性強化LVLともに、曲げヤング係数および曲げ強さは木質部密度に比例して増加した。また、水溶性強化LVLとアルコール可溶性強化L

VLを比較すると、曲げヤング係数では両者はほぼ同等であるが、曲げ強さでは水溶性の方がアルコール可溶性よりも低くなった。また、曲げ強さに対する比例限度の比率は水溶性強化LVLの方が高くなり、平行積層強化LVLと同様に水溶性強化LVLは脆性的な材料であると言える。

繊維方向と繊維に直交方向の性能を比較すると、水溶性およびアルコール可溶性強化LVLともに、曲げヤング係数および曲げ強さは、それぞれ後者は前者の約50%および約40%となった。

図6に直交積層強化LVLの衝撃曲げ性能を示す。水溶性およびアルコール可溶性強化LVLともに、衝撃曲げ吸収エネルギーは木質部密度に比例して増加した。水溶性強化LVLとアルコール可溶性強化LVLを比較すると、アルコール可溶性は水溶性の約2倍の性能を示した。また、平使い方向の性能は縦使い方向の約2倍の性能を示した。

図7に直交積層強化LVLの圧縮性能を示す。水溶性

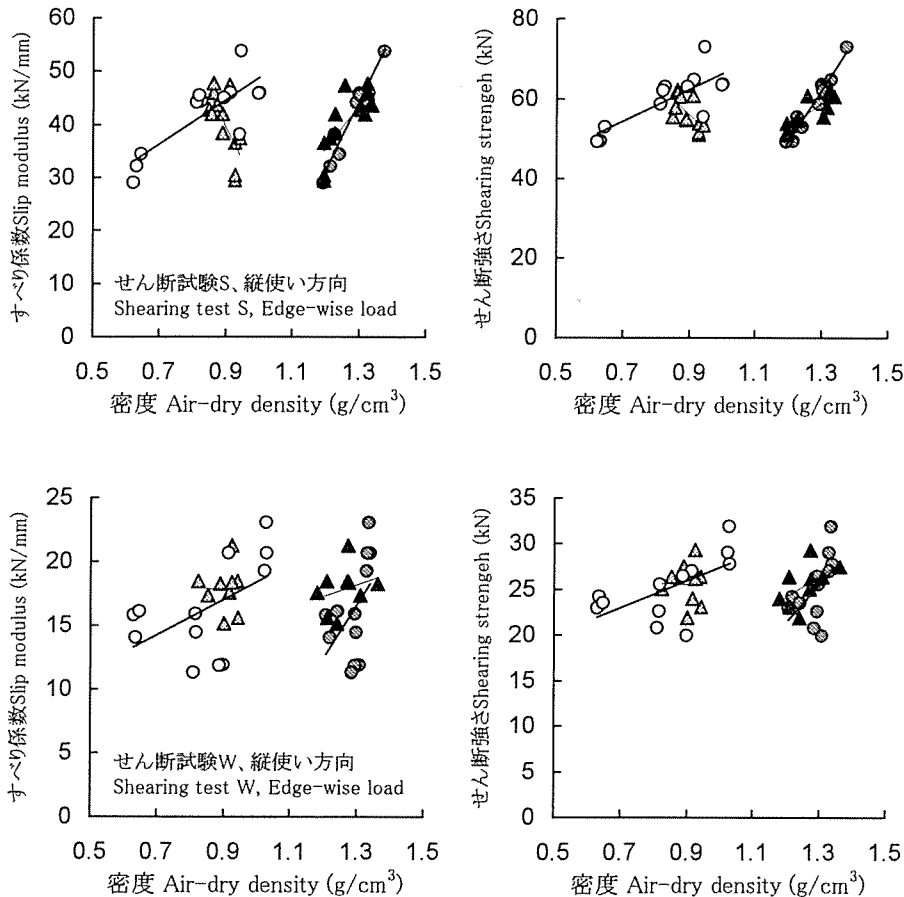


図4 平行積層強化LVLのせん断性能 Fig.4 Shearing properties of parallel-laminated compressed LVL.
○、△、●、▲：図3参照 Refer to Fig.3

表2 強化LVLの強度性能 Table 2 Mechanical properties of compressed LVL.

試験体 Species	項目 Item	単位 Unit	水溶性樹脂 Water-soluble resin			アルコール可溶性樹脂 Alcohol-soluble resin			
			WLG	WM	WMG	AL	AMG	AM	AH
	<i>WPG</i>	%	17	38	41	30	41	59	92
平行積層強化LVL Parallel-laminated compressed LVL	ρ	g/cm ³	1.20	1.23	1.32	1.27	1.31	1.30	1.20
	ρ_0	g/cm ³	0.93	0.89	0.86	0.98	0.90	0.82	0.63
	E_b -Le	kN/mm ²	24.7	23.9	20.5	24.2	26.4	20.8	17.3
	E_b -Lf	kN/mm ²	23.8	23.4	20.0	23.1	26.0	20.9	17.1
	σ_b -Le	N/mm ²	211.5	224.7	186.6	261.5	264.4	204.7	176.4
	σ_b -Lf	N/mm ²	226.0	243.6	194.0	274.1	255.7	239.8	190.5
	K -Se	kN/mm	33.5	42.6	44.4	43.3	48.3	44.7	31.9
	K -Sf	kN/mm	24.7	35.2	34.9	33.9	37.7	35.5	23.4
	K -We	kN/mm	17.2	18.3	18.0	21.0	14.8	13.9	15.3
	K -Wf	kN/mm	13.5	16.5	16.8	19.4	14.1	13.5	12.2
	σ_s -Se	kN	52.5	56.9	59.6	60.8	66.9	61.3	50.6
	σ_s -Sf	kN	36.4	42.2	44.2	44.2	47.7	46.8	38.8
	σ_s -We	kN	24.5	25.8	26.3	29.6	24.5	23.0	23.6
	σ_s -Wf	kN	18.3	18.5	19.4	22.4	18.9	18.7	19.2
直交積層強化LVL Crossbanded- laminated compressed LVL	ρ	g/cm ³	1.20	1.30	1.35	1.30	1.29	1.27	1.29
	ρ_0	g/cm ³	0.93	0.94	0.89	1.00	0.88	0.80	0.67
	E_b -Le	kN/mm ²	19.5	21.9	17.2	20.6	20.7	17.2	12.6
	E_b -Lf	kN/mm ²	18.5	22.4	18.2	20.0	20.4	19.0	14.4
	E_b -Te	kN/mm ²	9.1	10.4	9.9	10.9	10.6	8.8	7.5
	E_b -Tf	kN/mm ²	8.0	8.6	8.9	9.5	9.2	7.5	5.9
	σ_b -Le	N/mm ²	144.8	145.4	115.3	195.3	188.9	148.6	128.1
	σ_b -Lf	N/mm ²	168.1	187.5	156.0	203.2	189.6	198.0	151.1
	σ_b -Te	N/mm ²	56.1	51.3	54.1	81.7	73.2	58.5	38.0
	σ_b -Tf	N/mm ²	57.0	45.1	44.5	64.3	59.5	53.4	51.9
	σ_c -L	N/mm ²	129.8	157.7	149.4	145.0	149.6	133.9	132.1
	σ_c -T	N/mm ²	85.9	114.0	121.8	109.2	110.2	102.3	110.7
	a -e	J/cm ²	2.1	1.6	1.6	2.9	4.3	2.8	2.2
	a -f	J/cm ²	3.6	2.7	2.4	7.3	7.5	6.8	5.3

WLG、WM、WMG、AL、AMG、AM、AH：表1参照 Refer to Table 1

WPG：重量増加率 Weight percent gain、 ρ ：見かけの密度 Apparent air-dried density、 ρ_0 ：木質部密度 Air-dried density of woody part、 E_b ：ヤング係数 Modulus of elasticity、 σ_b ：曲げ強さ Modulus of rupture、 K ：すべり係数 Slip modulus、 σ_s ：せん断強さ Shear strength、 σ_c ：圧縮強さ Compressive strength、 a ：衝撃曲げ強さ Impact strength、L：繊維方向 Parallel to the grain、T：繊維と直交方向（接線方向） Perpendicular to the grain (Tangential direction)、e：縦使い方向 edge-wise load、f：平使い方向 flat-wise load、S：せん断試験 S Shearing test S、W：せん断試験W Shearing test W、

(注) 試験体数は6体、ただし、曲げ試験における平行積層のAMGタイプと直交積層のALおよびAMGタイプでは15本、せん断試験では3体 Sample number is six for each specimen, but fifteen at parallel-laminated AMG type and crossband-laminated AL and AMG type in bending tests, three at all in shearing tests.

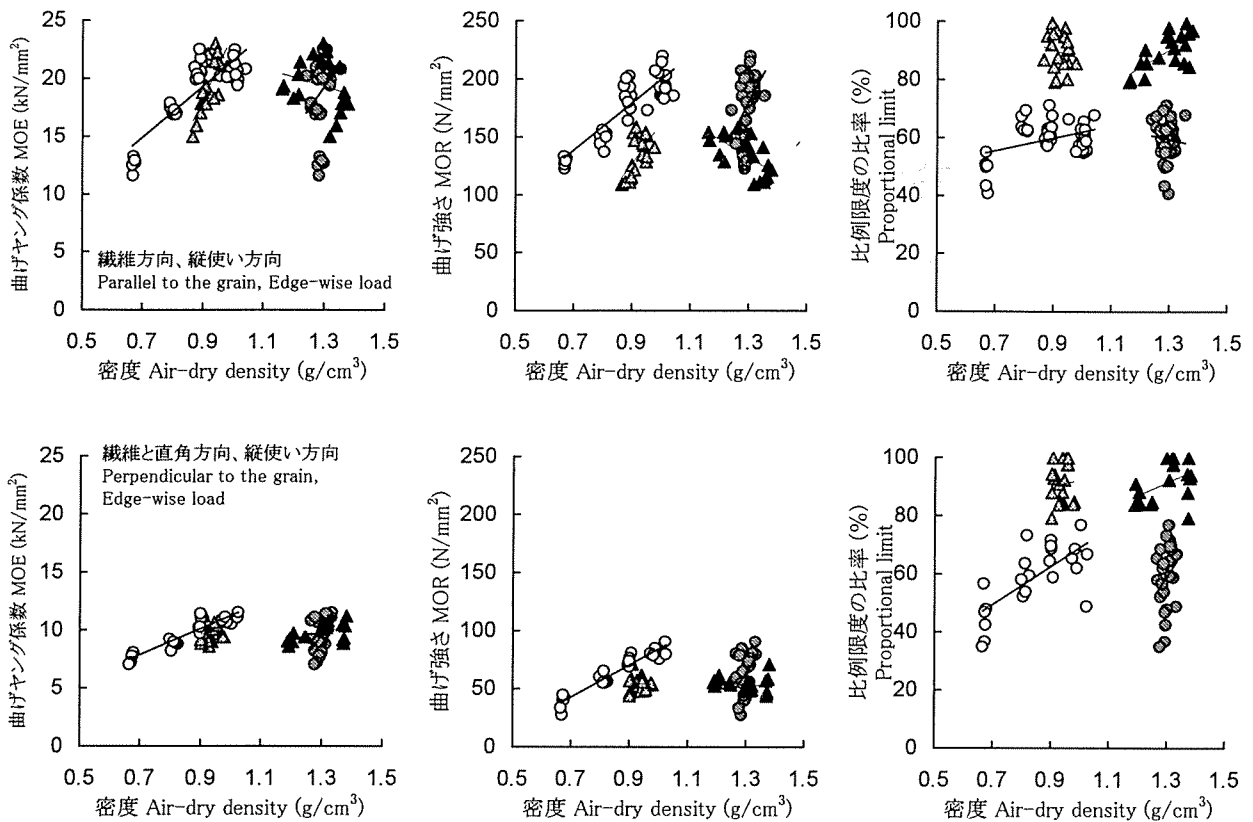


図5 直交積層強化LVLの曲げ性能 Fig.5 Bending properties of crossbanded-laminated compressed LVL.
○、●、△、▲：図3参照 Refer to Fig.3

およびアルコール可溶性強化LVLともに、圧縮強さは木質部密度が変化してもほぼ一定の値を示し、見かけの密度に比例して増加した。水溶性強化LVLとアルコール可溶性強化LVLを比較すると、圧縮強さはほぼ同等であった。また、繊維に直交方向の圧縮強さは繊維方向のその約70%であった。

表2に示すように、直交積層強化LVLでは重量増加率の低いアルコール可溶性強化LVLが優れた強度性能を示した。なお、重量増加率が高い場合には曲げ強さは圧縮強さより低くなるが、重量増加率が低い場合には曲げ強さは圧縮強さよりも高くなる。接合板として用いる際には、圧縮強さで示される面圧性能が重要であるが、接合板そのものが曲げモーメントに耐えられる性能も必要である。重量増加率の低いアルコール可溶性強化LVLでは両者の性能が優れていると言える。

3.3 直交積層強化LVLの接着性能

表3に製造条件の違いによる直交積層強化LVLの接着性能を示す。水溶性強化LVLのWMGタイプでは吸水率が低く、従って厚さ膨張率も低く、高い寸法安定性を示した。これは重量増加率が高い場合には、細胞壁に浸透した樹脂が水の浸入を抑制することにより、細胞壁に

寸法安定性を付与するためである。しかし、ほぼ重量増加率が同じWMタイプでは吸水率および厚さ膨張率が高くなった。これは、接着剤を用いていないために接着層のはく離が生じたためである。なお、WMGタイプのはく離率が高くなっているが、接着層のはく離はWLGタイプと同様に少ないが、接着層以外の部分での割れが発生したためである。その他のタイプにおいても接着層以外の部分での割れが生じているが、接着層での割れとそれ以外の部分での割れを明確に区別できない場合があるため、その合計値ではく離率を示した。また、24時間乾燥後にはすべての試験体で試験開始時より重量が小さくなり、厚さ膨張率の低いタイプでは厚さも試験開始時より小さくなった。しかし、厚さ膨張率の高いタイプでは24時間乾燥後の厚さは試験開始時より大きくなり、圧縮された部位が回復していることが分かる。

アルコール可溶性強化LVLでは、重量増加率が高い場合には高い寸法安定性を示した。重量増加率が低い場合には、浸せき処理では高い寸法安定性を示したが、煮沸処理では吸水率が高くなることにより厚さ膨張率が高くなり、乾燥後の寸法回復も若干生じた。ALタイプは重量増加率が低いのはく離率が高くなった。このタイ

プでは、接着層のはく離が多数生じており、特に直交層の部分でははく離が顕著であった。一方、AMGタイプは重量増加率が低いが、直交層に接着剤を塗布したのではく離率が低くなった。

以上、重量増加率が同じ場合には、アルコール可溶性

強化LVLは水溶性強化LVLよりも寸法安定性が低くなった。接着剤を用いない場合には重量増加率が低いと直交層における接着層のはく離が生じたが、直交層に接着剤を塗布することによりはく離率が低くなった。

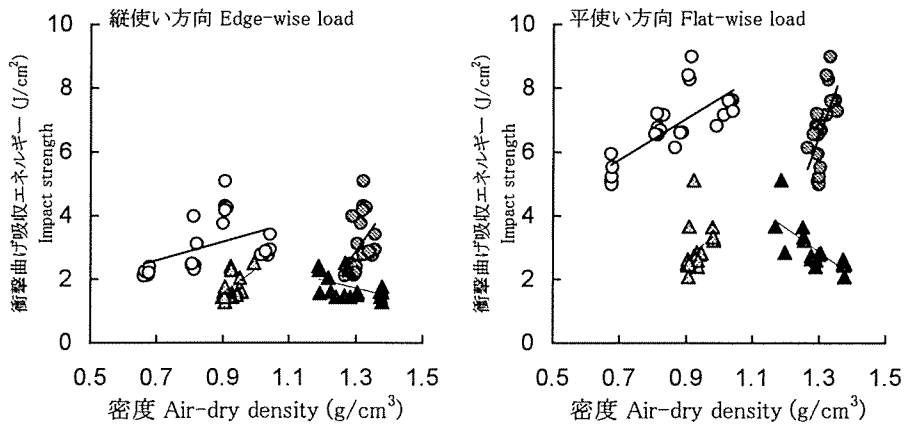


図6 直交積層強化LVLの衝撃曲げ性能 Fig.6 Impact strength of crossband-laminated compressed LVL.
○、△、●、▲：図3参照 Refer to Fig.3

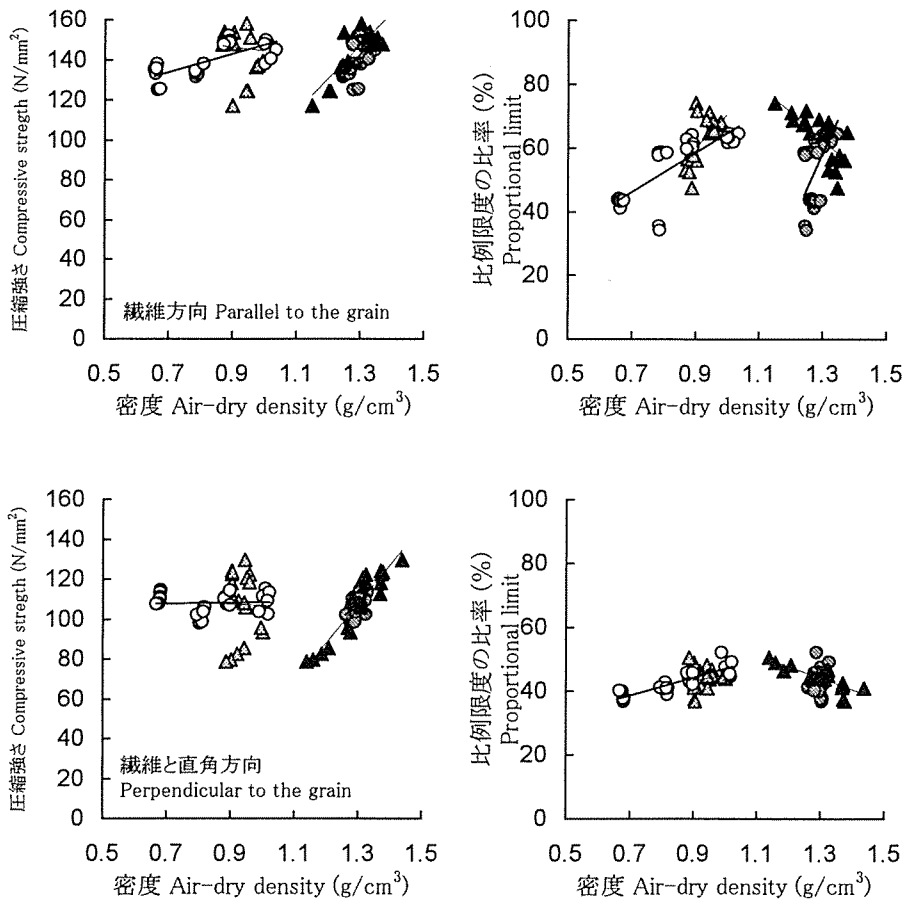


図7 直交積層強化LVLの圧縮性能 Fig.7 Compressive properties of crossband-laminated compressed LVL.
○、△、●、▲：図3参照 Refer to Fig.3

表3 直交積層強化LVLの接着性能 Table 3 Adhesive properties of Crossband-laminated compressed LVL.

項目 Item	処理 Treatment	厚さ Thickness	水溶性樹脂 Water-soluble resin			アルコール可溶性樹脂 Alcohol-soluble resin				
			WLG	WM	WMG	AL	AMG	AM	AH	
										%
<i>WPG</i>			%	17	38	41	30	41	59	92
<i>MC</i>			%	9.0	7.4	9.3	6.8	5.3	6.5	7.7
WA	S	5mm	%	9.7	6.0	2.7	5.1	6.4	5.5	2.9
WA	S	20mm	%	6.5	3.4	1.7	2.1	2.6	1.9	2.2
WA	B	5mm	%	21.6	12.4	5.9	15.2	15.9	14.8	5.5
WA	B	20mm	%	21.3	10.0	3.6	10.1	12.0	10.2	4.6
WA	B	75mm×75mm	%	11.3	3.5	0.6	1.4	2.7	4.3	4.0
TS	S	5mm	%	3.6	3.0	1.3	5.1	4.8	3.5	2.5
TS	S	20mm	%	2.8	1.4	0.3	1.9	2.3	1.1	1.7
TS	B	5mm	%	17.8	9.4	5.3	17.3	15.7	14.2	6.7
TS	B	20mm	%	16.0	7.3	2.5	12.3	12.9	12.2	4.8
TS	B	75mm×75mm	%	12.3	4.6	1.6	5.3	5.6	9.7	6.5
WC	S	5mm	%	-7.4	-5.6	-7.1	-4.6	-4.0	-4.9	-5.1
WC	S	20mm	%	-6.2	-4.3	-5.0	-3.1	-3.0	-4.0	-3.4
WC	B	5mm	%	-8.2	-7.2	-8.2	-5.6	-6.8	-9.0	-5.1
WC	B	20mm	%	-6.7	-5.0	-5.8	-4.0	-4.2	-5.8	-5.1
WC	B	75mm×75mm	%	-3.8	-2.1	-2.5	-1.9	-1.3	-2.8	-1.7
TC	S	5mm	%	-4.1	-2.3	-3.4	-1.8	-1.2	-2.3	-2.4
TC	S	20mm	%	-3.3	-1.7	-1.9	-0.2	-0.6	-1.4	-0.9
TC	B	5mm	%	2.1	-1.2	-2.2	3.6	1.8	0.1	-1.7
TC	B	20mm	%	2.2	-0.2	-1.1	4.0	2.9	1.6	-0.3
TC	B	75mm×75mm	%	2.2	1.1	0.5	2.2	1.6	3.3	1.8
DR	AL		%	1.1	9.9	8.5	11.3	4.9	5.3	4.7
DR	SL		%	7.6	24.4	33.9	41.8	18.9	18.3	19.7

WLG、WM、WMG、AL、AMG、AM、AH：表1参照 Refer to Table 1

WPG：重量増加率 Weight percent gain、*MC*：含水率 Moisture content、WA：吸水率 Water absorption、TS：厚さ膨張率 Thickness swelling、WC：乾燥後の重量変化 Weight change after drying、TC：乾燥後の厚さ変化 Thickness change after drying、DR：はく離率 Delamination rate、S：浸せき Soaking、B：煮沸 Boiling、AL：全層 All layer、SL：同一層 Same layer

(注) アルコール可溶性樹脂の場合の含水率はアルコール溶液の含有率を示す。Moisture content of alcohol-soluble resin indicate ratio of alcohol solution.

試験体数は4体 Sample number is four for each specimen.

4. 結論

本研究では、アルコール可溶性および水溶性フェノール樹脂を用いて強化LVLを製造し、その基礎物性を検討した結果、以下のような結論を得た。

(1) 平行積層および直交積層強化LVLの曲げ性能は木質部密度に比例して増大した。平行積層強化LVLのせん断性能および直交積層強化LVLの圧縮性能は見かけの密度に比例して増大した。これらの曲げ、せん断お

よび圧縮性能のすべてを向上させるためには、樹脂の重量増加率を低くして木質部密度の割合を高めるとともに、見かけの密度の最大値が得られるように圧縮すれば良いと言える。

(2) アルコール可溶性強化LVLは水溶性強化LVLと比較すると、曲げ、せん断および衝撃曲げ性能が優れており、圧縮性能は同等であった。また、水溶性強化LVLはやや脆的な強度性能を示したが、アルコール可溶性強化LVLは韌性に富んだ性質を有しており、強度性能

の面ではアルコール可溶性強化LVLが優れていると言える。

(3) 重量増加率が同じ場合には、アルコール可溶性強化LVLは水溶性強化LVLよりも寸法安定性が低くなった。接着剤を用いない場合には重量増加率が低いと直交層における接着層のはく離が生じたが、直交層に接着剤を塗布することによりはく離率が低くなった。

(4) 強度性能および接着性能を総合すると、重量増加率を低くし、直交層に接着剤を塗布したアルコール可溶性強化LVLのAMGタイプが接合ピンおよび接合板として適していた。

引用文献

- 1) 中田欣作、杉本英明、井上雅文、川井秀一：硬化積層材を利用した木質構造接合部材の開発（第1報）：フェノール樹脂含浸処理を施した強化LVLの強度性能. 木材学会誌 43 (1), 38-45 (1997).
- 2) 中田欣作、杉本英明、井上雅文、川井秀一：硬化積層材を利用した木質構造接合部材の開発（第2報）：強化LVLを接合板に用いたドリフトピン接合部の繊維方向荷重に対するせん断耐力. 木材学会誌 44 (4), 247-254 (1998).
- 3) 中田欣作、杉本英明、井上雅文、川井秀一：硬化積層材を利用した木質構造接合部材の開発（第3報）：ドリフトピンによるスギ強化LVL接合板の面圧特性. 木材学会誌 46 (1), 37-46 (2000).
- 4) 中田欣作、杉本英明、井上雅文、川井秀一：硬化積層材を利用した木質構造接合部材の開発（第4報）：モーメント抵抗型接合モデルにおける強化LVL接合板のせん断耐力およびガラス繊維補強の効果. 木材学会誌 46 (3), 203-212 (2000).
- 5) 中田欣作、杉本英明、井上雅文、川井秀一：硬化積層材を利用した木質構造接合部材の開発（第5報）：強化LVL接合板とドリフトピンによるモーメント抵抗型接合部の強度性能. 木材学会誌 47 (4), 327-336 (2001).
- 6) 中田欣作、杉本英明、井上雅文、川井秀一：硬化積層材を利用した木質構造接合部材の開発（第6報）：強化LVL接合板および接合ピンによる木質構造接合部の強度性能. 木材学会誌 48 (2), 89-97 (2002).
- 7) 中田欣作、杉本英明、上杉三郎、原田寿郎、井上雅文、川井秀一：硬化積層材を利用した木質構造接合部材の開発（第7報）：強化LVL接合板および接合ピンによる木質構造接合部の耐火性能. 木材学会誌 48 (4), 249-256 (2002).
- 8) Stamm, A. J. : " Wood and cellulose science" , New York, NY, Ronald Press, 1964, p.348-350.
- 9) 村山新一：“フェノール樹脂”、東京、日刊工業新聞社、1960、p.329.
- 10) 北原覚一：“木材物理”、東京、森北出版、1966、p.174-176.
- 11) Forest Products Laboratory: " Wood Handbook- Wood as an Engineering Material" , Madison, WI, Forest Products Laboratory, 1999, p.19.5-19.9.

(2006年11月24日受理)