

単板積層材 (LVL) の材質改良技術に関する研究 (第2報)

—ガラスクロス複合LVLの力学的性能—

本多 琢己・佐野 正明

Improvement Of Laminated Veneer Lumber (LVL) Performance (2nd Report)

—Mechanical Properties Of Glassfiber Reinforced LVL—

Takumi HONDA and Masaaki SANŌ

要 約

6 プライLVLの接着層および表面にガラスクロスを挿入、複合したLVLを作製し、ガラスクロスの挿入角度および挿入位置が力学的性能に及ぼす影響を考察した。挿入角度の影響は曲げヤング係数に顕著に現われた。曲げ強度は挿入、複合位置が外層に近いほど大きな値を示した。また、縦圧縮強度では挿入位置の影響は認められなかった。一方、応力拡大係数は、挿入、複合位置が外層に近いほど挿入角度の影響を受けた。この複合LVLは従来LVLでは到底得られなかった優れたタフネスを示した。

1. 緒 言

住宅の工業製品化や消費者ニーズの多様化に伴い、近年、住宅用取付け家具の長尺化が進展し、その結果、長尺部材化の可能な単板積層材 (LVL) が家具部材として利用され始めている。

一方、LVLは木材と比べると繊維方向に沿って割れやすいことがかねてより指摘されている^{1)~3)}。また、今後の森林資源の状況から、単板の原料はより低質な針葉樹主体にならざるを得ず、その場合さらなる割裂性の低下が予想される。このため、LVLを長尺部材として利用するのであれば、応力の集中する接合部等に亀裂が発生・進展しやすいという実用上無視できない課題を解決する必要がある。

前報⁴⁾では、ガラスクロスで強化した複合LVLの製造条件およびその基礎材質を検討し、ガラスクロスとの複合化

はLVLの材質、特に割裂性の改良に極めて有効であることを明らかにした。一方、材質に対するガラスクロスの寄与の程度は複合LVLの積層構成によっても異なることが予想された。そこで、本研究では、複合LVLの積層構成、すなわちガラスクロスの挿入位置および挿入角度が力学的性能に及ぼす影響を検討した。

2. 実験方法

2-1 複合LVLの製造

本研究の主たる目的は、LVLの繊維方向の割裂性を改良することにある。したがって、一般的な複合材料に見られるような一方向材料による強化ではなく、直交材料 (ガラスクロス) に着目して補強を行った。前報⁴⁾の手順に従ってTable. 1 に示す複合LVLを作製した。挿入角度 (θ) を

Table 1 Constructions and physical properties of tested specimens.

Types of specimens	Adhesives	Specific gravities (g/cm ³)	Constructions
Control	PRF	0.584	V-V-V-V-V-V
	API	0.598	〃
A0	PRF	0.710	0G-V-V-V-V-V-V-0G
	API	0.716	〃
B0	PRF	0.676	V-0G-V-V-V-V-0G-V
	API	0.681	〃
C0	PRF	0.676	V-V-0G-V-V-0G-V-V
	API	0.681	〃
A45	PRF	0.710	45G-V-V-V-V-V-V-45G
	API	0.713	〃
B45	PRF	0.704	V-45G-V-V-V-V-45G-V
	API	0.693	〃
C45	PRF	0.687	V-V-45G-V-V-45G-V-V
	API	0.687	〃

Legend : PRF : Phenol resorcinol formaldehyde resin, API : Aqueous polymer isocyanate resin, V : Veneer, G : Glass cloth, — : Glue-line.
Note : The numbers before G are fiber orientations to face ply grains.

単板の繊維方向とガラスクロスの縦方向とのなす角度と定義し、 $\theta=0^\circ$ および $\theta=45^\circ$ の2条件とした。また、最外層の単板にガラスクロス積層したAタイプにおいては、ガラスクロスの表面にも接着剤を 400 g/m^2 塗布した。なお、今回は複合LVLの材質に及ぼすガラスクロスの挿入位置及び角度の影響を明確にするため、裏割れの少ない2mm単板を使用した。

2-2 曲げ強度試験

単板の繊維方向とスパン方向が一致するように試験片を採取した。スパンを厚さの16倍とし、中央集中荷重方式によりフラットワイズ（接着層に垂直方向に負荷）の試験を行った。

2-3 圧縮強度試験

一般に家具を構成する各部材は、その接合部や棚受部の金具等から局部的な圧縮荷重を受ける。そこで小試験体の縦方向圧縮強度を求めた。試験体は、横断面が正方形の直六面体とし、その寸法は、辺長を厚さに等しくし、高さを辺長の2倍とした。

2-4 応力拡大係数の測定

Fig. 1 に示すような形状、寸法のCT試験片を用いてモードIの応力拡大係数 K_{Ic} を実験的に求めたり、初期クラックを単板の繊維方向と平行に導入し $\theta=45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ の3方向について測定した。さらに、試験終了後の破壊面の様子を電子顕微鏡で観察した。

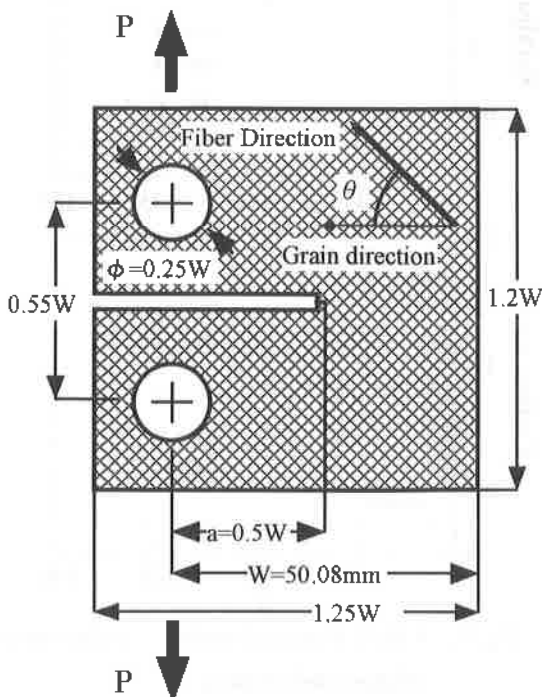


Fig. 1. Dimensions of specimen for compact tension method.

3. 結果および考察

3-1 曲げ性能

Fig. 2 に複合LVLの曲げヤング係数 (MOE) とガラスクロスの挿入位置、角度との関係を接着剤ごとに示す。PRFの試験体においては挿入位置の影響が認められ、その傾向は挿入角度によって異なっていた。すなわち、MOEは、 0° 挿入の場合、外層に複合すると最も大きかったが、 45° 挿入の場合、これとは逆に最も小さかった。一方、APIの試験体においても挿入位置の影響が認められ、挿入、複合の位置が中層に近いほどMOEは大きかった。また、挿入角度の影響は外層に複合した場合に最も顕著に現われた。以上の結果から、外層に複合したガラスクロスのMOEは心層のそれに比べ、曲げ荷重に対して支配的に作用するものと考えられた。

MOEについては、PRFの一部を除いて十分な補強効果が得られなかった。これには、主に単板とガラスクロスの縦弾性率の差が小さいことが原因していると考えられた。しかしながら、ガラスクロスの弾性異方性が小さいことから、複合LVLのMOEは、従来のLVLでは繊維方向に比べ著しく小さい直交方向において改善され、その弾性異方性も減少しているものと推察される。

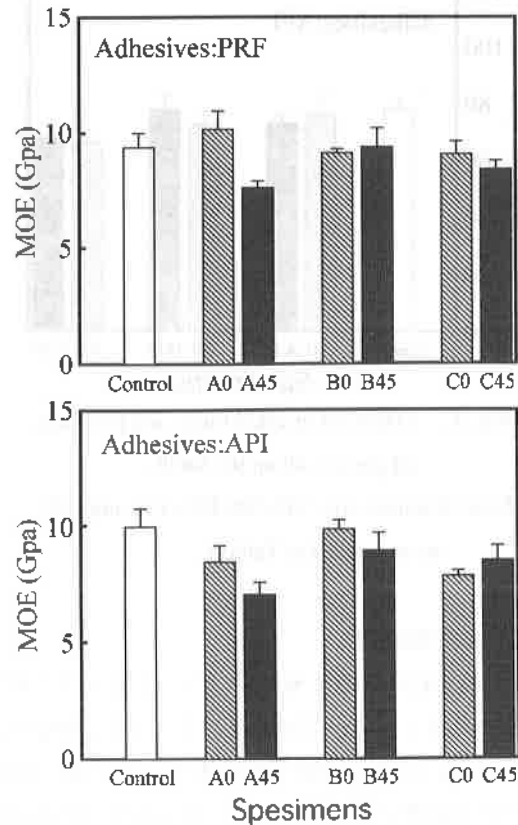


Fig. 2. Effects of inserted forms and positions of glass cloth on the MOE.

Note: Control, A0, A45, B0, B45, C0, and C45 are expressed in Table 1.

次に、Fig. 3 に複合LVLの曲げ破壊強さ (MOR) とガラスクロス の挿入位置、角度との関係を接着剤ごとに示す。PRFの試験体においてはMORの補強効果が挿入位置や角度に関係なく認められた。一方、APIの試験体においては その補強効果が認められなかった。これには接着剤の物性、特にガラスクロスへの浸透性の良否が関係しているもの と考えられた。

PRFの試験体においては45° 挿入の場合に挿入位置の影 響が認められ、挿入、複合位置が外層に近いほどMORは 大きくなった。一方、APIの試験体においては、挿入角度 に関係なく挿入、複合位置が外層に近いほどMORは大き かった。

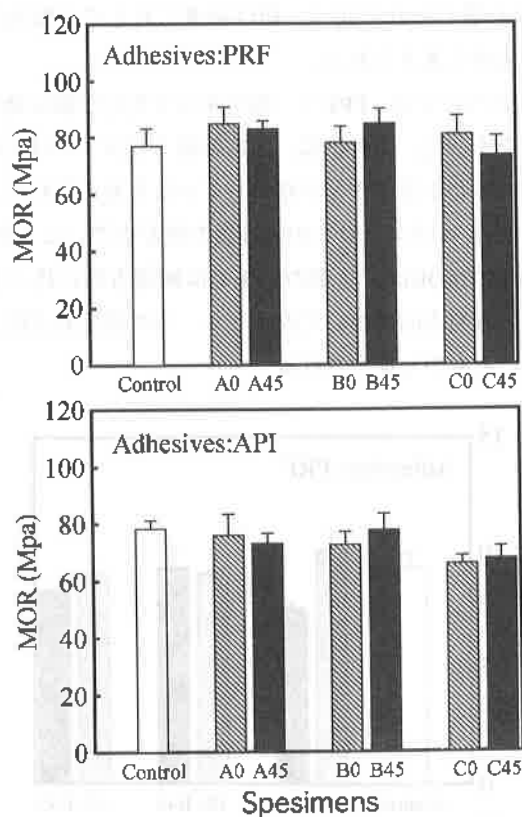


Fig. 3. Effects of inserted forms and positions of glass cloth on the MOR.

Note : Control, A0, A45, B0, B45, C0, and C45 are expressed in Table 1.

3-2 縦圧縮強度

Fig. 4 に複合LVLの縦圧縮強度 (Cs) とガラスクロス の挿入位置、角度との関係を接着剤ごとに示す。PRFの試験 体においては、Csの補強効果が現われ、特に45° 挿入の 場合にそれが顕著であった。また、挿入位置の影響は認め られなかった。一方、APIの試験体においては、挿入角度 や挿入位置のCsに及ぼす影響がほとんど確認されなかつ た。

破壊形態は、A0およびA45タイプで圧縮破壊が、また、

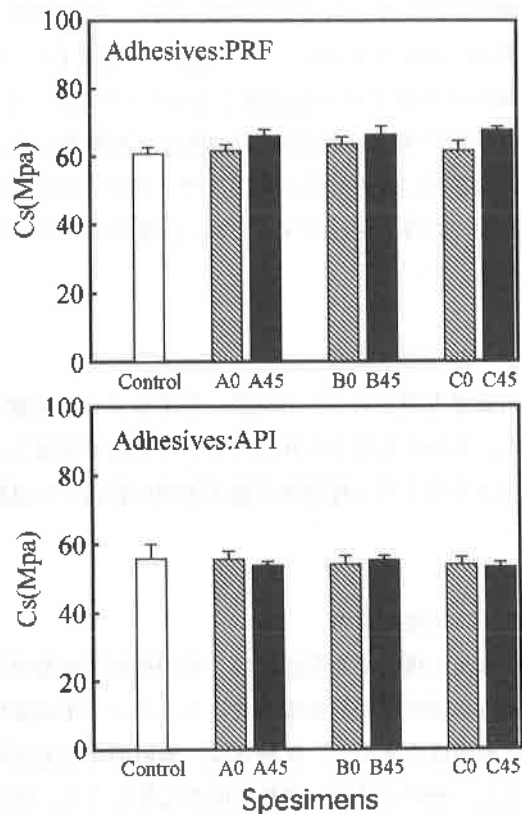


Fig. 4. Effects of inserted forms and positions of glass cloth on the Cs.

Note : Control, A0, A45, B0, B45, C0, and C45 are expressed in Table 1.

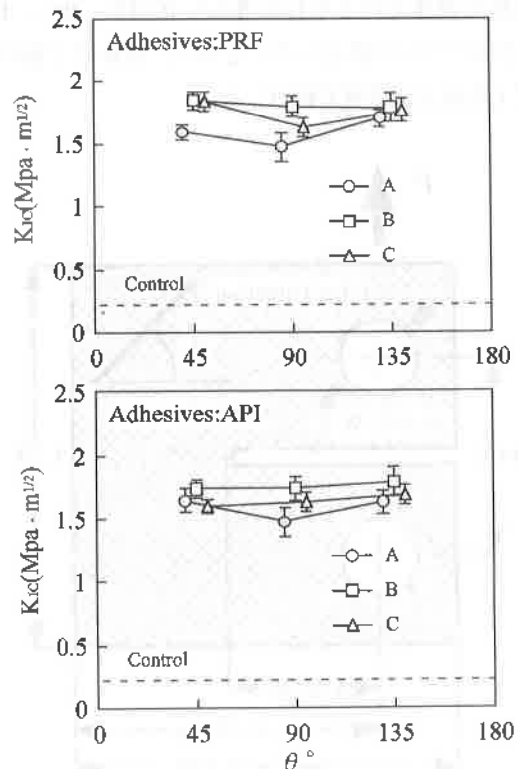


Fig. 5. Effects of inserted angle θ and positions of glass cloth on the K_{Ic}.

Note : Control, A, B, and C are expressed in Table 1.

B0, B45, C0およびC45タイプでせん断破壊がそれぞれ観察された。

3-3 破壊じん性および破面の観察

前報¹⁾でガラスクロスを挿入、複合したLVLの応力拡大係数 (K_{Ic}) は著しく改善されることを報告した。本報告では、さらに複合LVLの応力拡大係数に及ぼすガラスクロスの挿入位置、角度の影響を詳細に検討した。その結果をFig. 5に示す。PRFおよびAPIの両試験体において K_{Ic} に及ぼす挿入位置の影響が認められ、 K_{Ic} は挿入位置が心層に近いほど大きくなった。これは、ガラスクロスを外層に複合した場合、ガラスクロスへ浸透した樹脂に生ずる硬化応

力がクラック近傍の応力集中を高めるためと考えられる。また、挿入角度の影響は挿入、複合位置が外層に近いほど顕著に現れ、単板の繊維方向に対して斜め ($\theta=45^\circ, 135^\circ$) に挿入することでより大きな K_{Ic} が得られた。

次に、破壊靱性試験終了後の破面の様子をFig. 6に示す。0°挿入の場合、PRFの試験体では、比較的平滑で、異なった高さの繊維の塊状破面 (A) が、APIの試験体では、広範囲な繊維の引抜きを伴う刷毛状破面 (B) が観察された。また、45°挿入の場合、接着剤の種類に関わらず刷毛状破面 (PRF接着剤: (C), API接着剤: (D)) が観察された。さらに、0°挿入の高倍率像から、PRFの試験体 (E) ではAPIの試験体 (F) に比べて、繊維束中へより

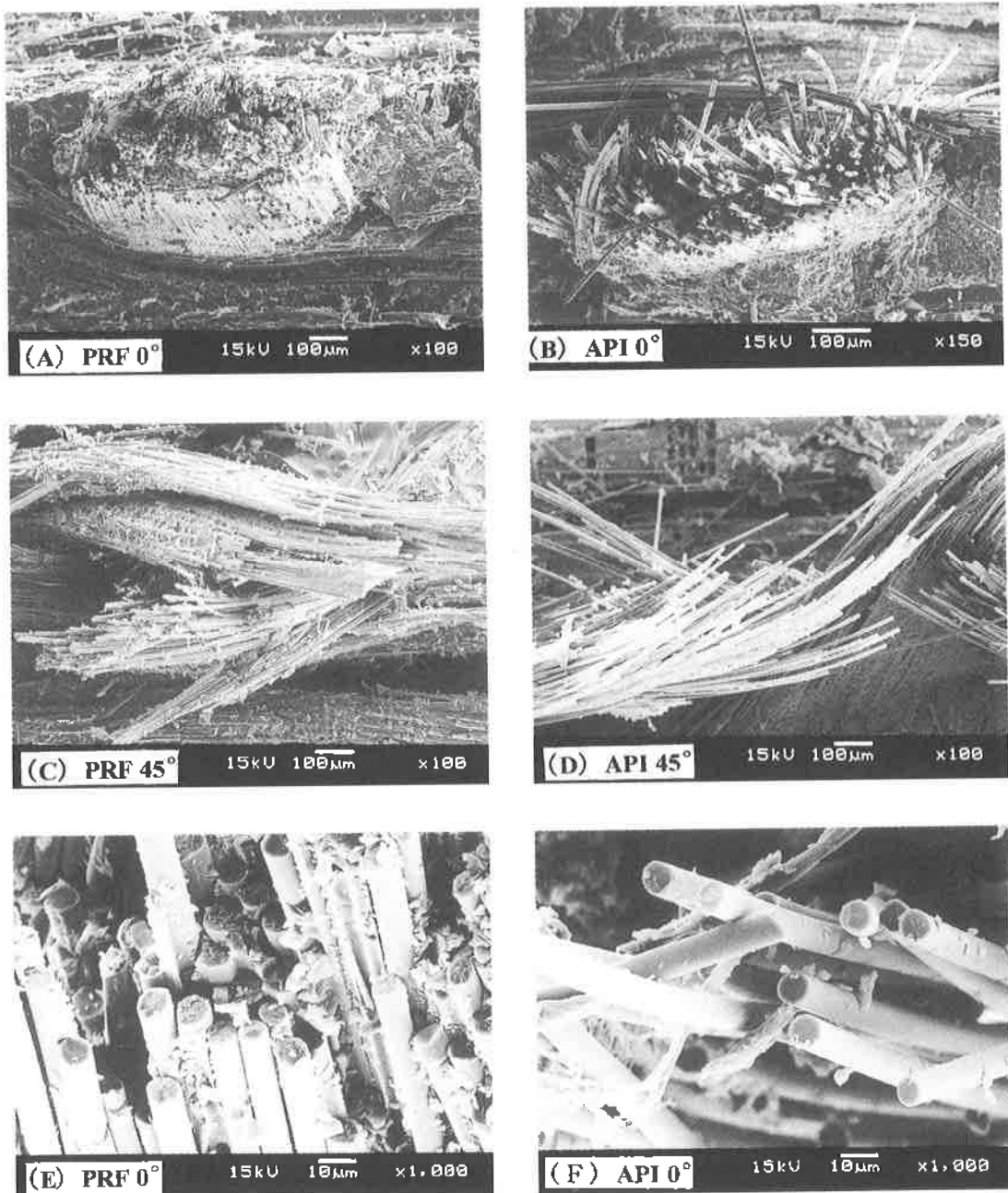


Fig. 6. SEM of the fracture surface of specimens in compact tension testing.

多くの樹脂が浸透している様子が分かる。

複合LVLのクラック先端における破壊エネルギーは、繊維の切断、剥離、および引き抜きのためのエネルギーと樹脂の破壊靱性の合計として表わすことができる⁹⁾。上述のようにPRFとAPIの試験体の破壊機構は異なるものであるが、それにも関わらず両者の K_{Ic} はほぼ同程度の値を示した。このことは、複合LVLの K_{Ic} には、繊維の剥離、および引き抜きのエネルギーがあまり寄与しておらず、主に繊維の切断に要するエネルギーの寄与が大きいことを示唆している。

4. 結 言

本研究では6プライLVLの接着層および表面にガラスクロスを挿入、複合したLVLを作製し、その力学的性能に及ぼすガラスクロスの挿入角度および挿入位置の影響を考察した。得られたおもな結論は以下のとおりである。

(1) MOEについては、 0° 挿入の場合、APIの試験体で挿入位置の影響が認められた。一方、 45° 挿入の場合、外層に複合することは接着剤の種類に関係なくMOEに対してマイナスに効果することが分かった。

(2) MORは、 0° 挿入の場合、APIの試験体では挿入、複合位置が外層に近いほど大きかった。一方、 45° 挿入の場合、接着剤の種類に関係なく挿入、複合位置が外層に近いほどMORは大きかった。

(3) 挿入角度が C_s に及ぼす影響はPRFの試験体において顕著に認められ、 45° に挿入することでより大きな C_s が得られた。また、 C_s に及ぼす挿入位置の影響は認められなかった。

(4) K_{Ic} は、挿入、複合位置が外層に近いほど挿入角度の影響をより大きく受けることが認められた。

参考文献

- 1) R. M. Echols, R. A. Currier: For. Prod. J., 23, 45 (1973)
- 2) 有馬孝礼, 大熊幹章: 木材工業, 28, 254 (1973)
- 3) 本多琢己, 佐野正明: 山梨県工業技術センター研究報告, 12, 16 (1998)
- 4) 白鳥正樹, 三好俊郎, 松下久雄共著: 数値破壊力学, 実教出版株式会社, 218-225 (1980)
- 5) 成澤邦夫著: プラスチックの破壊靱性, 株式会社シグマ出版, 188-189 (1993)