

## 水性高分子ーイソシアネート系樹脂接着剤で結合した ガラスクロス強化LVLの靱性

本多 琢 己

Toughness of Glassfiber Reinforced Laminated Veneer Lumber  
Bonded with Aqueous Polymer Isocyanate Resin Adhesive

Takumi HONDA

**Summary** : Fiber-reinforced laminated veneer lumbers (LVL) composed of veneer and glassfiber cloth of different inserted forms and positions were manufactured with Aqueous polymer isocyanate resin and their toughness were investigated. The effects of reinforcing insert orientations, positions and numbers of clothes on the absorbed energy in impact bending, the interlaminar shear strength and the work to maximum load in bending of fiber-reinforced LVL were discussed.

The results are summarized as follows:

- 1) Inserting the fiber cloth with 0° orientations near both surfaces was very advantageous for absorbed energy in impact bending in the flatwise.
- 2) The interlaminar shear strength in the flatwise of fiber-reinforced depends on the positions of the reinforcing layers but not on the reinforcement orientation. Reinforcing layer are placed most advantageously on or near both surfaces for improving the interlaminar shear strength in the flatwise.
- 3) The work to maximum load in bending of fiber-reinforced depends on the positions of the reinforcing layers but not on the reinforcement orientation. Reinforcing layer are placed most advantageously on both surfaces for improving the work to maximum load in bending.
- 4) When fiber cloth placed at a 0° orientation in the gluelines nearest to surfaces, the absorbed energy in impact bending in the flatwise increased with increasing numbers of clothes.

**要旨** : 水性高分子ーイソシアネート系樹脂接着剤を用いて6プライLVLの表面および接着層にガラスクロスを複合、挿入した複合LVLを作製し、ガラスクロスの挿入位置・角度、体積率が複合LVLの衝撃曲げ吸収エネルギー、層間せん断強度および曲げ仕事量に及ぼす影響を明らかにした。

衝撃曲げ吸収エネルギーについては、フラットワイズの場合、ガラスクロスの挿入によって大きく改善され、コントロールに比べて最大値が2倍に達した。ガラスクロスの挿入位置・角度の影響が認められ、挿入角度が衝撃曲げ吸収エネルギーに大きく影響することが分かった。層間せん断強度については、フラットワイズの場合、挿入位置が外層に近いほど大きくなった。層間せん断強度に及ぼすガラスクロスの挿入角度の影響はほとんど認められなかった。曲げ破壊仕事量は、挿入位置が外層に近いほど大きくなった。曲げ破壊仕事量に及ぼすガラスクロスの挿入角度の影響はほとんど認められなかった。表層近くに0°挿入の試験体においては、フラットワイズ方向の場合、ガラスクロスの挿入枚数も影響することが分かった。衝撃曲げ吸収エネルギーはコントロールに比べて最大で3倍以上に達した。しかし、層間せん断強度及び曲げ仕事量については、ガラスクロスを1層あたり3枚以上挿入しなければ改善されなかった。

### 1 はじめに

針葉樹LVLは裏割れを有する単板で構成されているため、繊維方向に割裂しやすく<sup>1)</sup>、その影響は厚さが薄

くなるほど大きくなる<sup>2)</sup>。そのためLVL本来の軸方向の優れた力学的特性に影響を及ぼさずに亀裂先端の応力集中を分散し、亀裂の進展を抑制することが重要である。一方、LVLをパネルの枠材など比較的断面寸法の小さい部材として利用する場合には、他材料と複合化するなど

の方法で接合部の信頼性を高める必要がある。そこで、針葉樹 LVL の単板の裏割れに起因する低い割裂性を改良するため、ガラスファイバークロス (GFC) の中でも縦方向と横方向の強度比の小さいタイプに着目し、単板の亀裂の進展方向に対して直交配置した複合 LVL の技術開発<sup>3) 4)</sup>を行ってきた。これまで、複合 LVL の接着性能について接着系に破壊力学を適用して求めたひずみエネルギー解放率とせん断接着強さとを比較することによって多角的な評価<sup>3)</sup>を行った。また、ガラスクロスとの複合位置及び挿入角度の異なる複合 LVL の力学的性質を検討し、ガラスクロスとの複合化は LVL の繊維方向の低靱性の改良に極めて有効であることを明らかにした<sup>4)</sup>。

本報告では、動的荷重に対する性能として衝撃曲げ吸収エネルギーを取り上げ、水性高分子-イソシアネート系樹脂接着剤で複合化したガラスクロス強化 LVL に及ぼすガラスクロスとの複合位置、挿入角度及び積層枚数の影響について評価し、さらに衝撃損傷と関係が深いと考えられる層間せん断強度ならびに衝撃曲げ吸収エネルギーと相関の高い曲げ破壊仕事量についても検討した。

## 2 実 験

### 2.1 ガラスクロス強化 LVL の作製

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、裏割れの少ない厚さ 2 mm のアカマツロータリー単板を使用した。

繊維材料には、日本板ガラス(株)製のマイクログラス YEA5001 (綾織、アラミノシラン処理)を用いた。その厚さは 0.48 mm、縦方向の引張り強度は 2.65KN/25 mm、横方向の引張り強度が 2.02KN/25 mm であった。また、接着剤は、木材接着に汎用されている構造用接着剤で、水性高分子-イソシアネート系樹脂 (以下 API と略) 接着剤を用いた。ここで、接着剤の塗布量は、単板間および単板とガラスクロス間で 300g/m<sup>2</sup>、ガラスクロス間で 400g/m<sup>2</sup>である。圧縮条件は、圧縮圧 0.98 Mpa、室温下で 24 時間硬化させた。

ガラスクロスとの複合・挿入方法の概要を Fig.1 に示した。複合位置により表面から順に A、B、C、D のようにタイプ分けした。挿入角度 ( $\theta$ ) を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、タイプ B ( $\theta=0^\circ$ ) については挿入枚数の影響を調べた。

なお、最外層の単板にガラスクロス積層した A タ

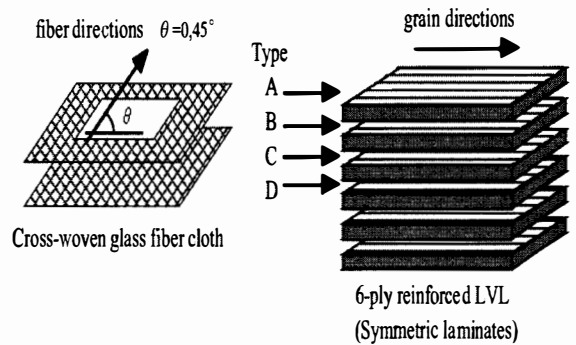


Fig. 1 Fiber cloth inserted forms and compositions of fiber-reinforced 6-ply LVL.

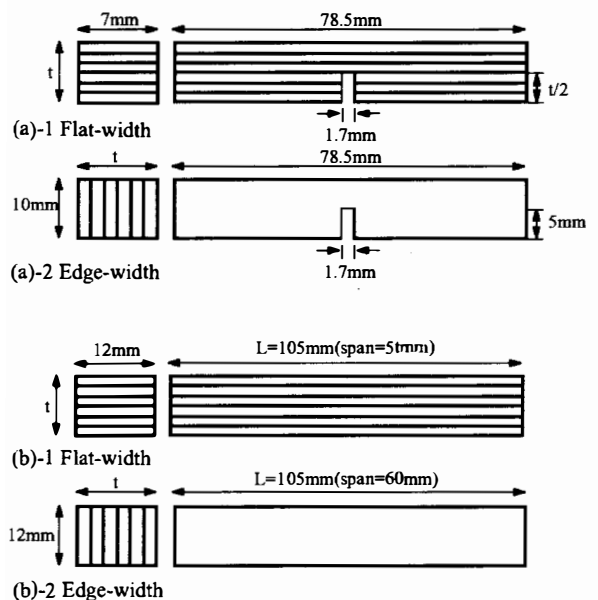


Fig. 2 Shape and dimensions of Charpy test (a) and ILSS (Interlaminar shear strength) test (b).

イプでは、接着剤をガラスクロスの表面にも 400g/m<sup>2</sup> 塗布した。

### 2.2 衝撃曲げ試験

Fig.2(a) に示した切り欠き付の試験体を用いてシャルピー衝撃試験 (容量 2.94J) を行い、衝撃曲げ吸収エネルギーを算出した。フラットワイズ (接着層に垂直方向に負荷) 及びエッジワイズ (接着層に平行方向に負荷) の両方向について試験を行った。

### 2.3 層間せん断強度試験

Fig.2(b) に示した試験体を用いてショートビーム法<sup>5)</sup> (スパン/厚さ = 5) により層間せん断強度 (ILSS) を求めた。クロスヘッドスピードは 1 mm/min で、フラットワイズおよびエッジワイズの両方向について試験を行った。

## 2.4 曲げ破壊仕事量の算出

単板の繊維方向とスパン方向が一致するように採取した試験片に対してスパンを厚さの16倍、中央集中荷重方式によりフラットワイズの曲げ強度試験を行った。荷重-変位曲線から曲げ破壊仕事量を算出した。

以上の試験では、20℃、65%RHの恒温恒湿室中で充分養生させた試片を供試し、その後、同環境下で測定した。

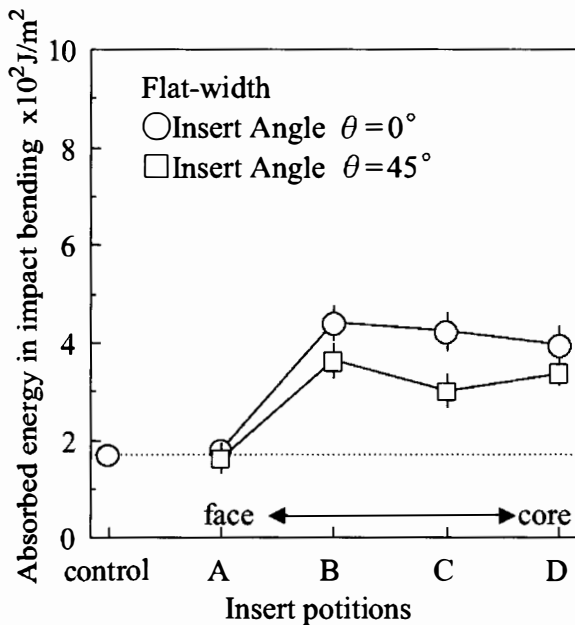


Fig. 3 Effects of inserted forms and positions of reinforcing cloth on absorbed energy in impact bending.

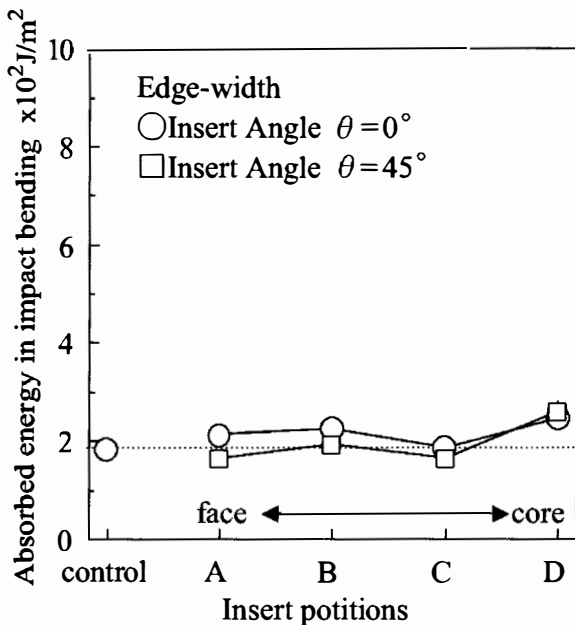


Fig. 4 Effects of inserted forms and positions of reinforcing cloth on absorbed energy in impact bending.

## 3 結果及び考察

### 3.1 衝撃曲げ吸収エネルギーに及ぼすガラスクロスの複合位置及び挿入角度の影響

衝撃曲げ吸収エネルギーとガラスクロスの挿入位置・角度の関係についてフラットワイズ方向を Fig.3 に、また、エッジワイズ方向を Fig.4 に示す。フラットワイズ方向の衝撃曲げ吸収エネルギーは、表面に積層したタイプ A ではコントロールとほぼ同程度の値であるが、接着層に挿入した各タイプにおいて著しい増加を示し、挿入位置が内層から外層に至るタイプ D、C、B の順序で大きくなる。また、挿入角度の影響については挿入角度  $\theta = 45^\circ$  の場合に挿入位置に関係なく衝撃曲げ吸収エネルギーの減少が確認される。一方、エッジワイズ方向の衝撃曲げ吸収エネルギーは、フラットワイズ方向の値に比べて小さい。このように試験方向によってガラスクロスの補強効果は大きく異なるが、それは次の理由によると思われる。フラットワイズ方向の試験においては衝撃荷重が接着面に垂直方向に負荷されるため、ガラスクロスは亀裂の進展を阻止するように働く。これに対してエッジワイズ方向の試験においては衝撃荷重が接着面に水平方向に負荷されるため、ガラスクロスは亀裂の進展を分散するように働く。

以上のように衝撃曲げ吸収エネルギーにおいては、挿入位置・角度の影響がフラットワイズ方向において顕著に現われる。

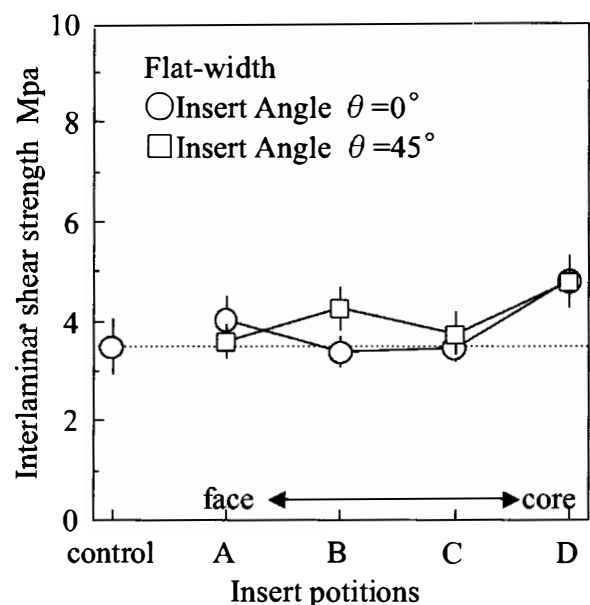


Fig. 5 Effects of inserted forms and positions of reinforcing cloth on interlaminar shear strength.

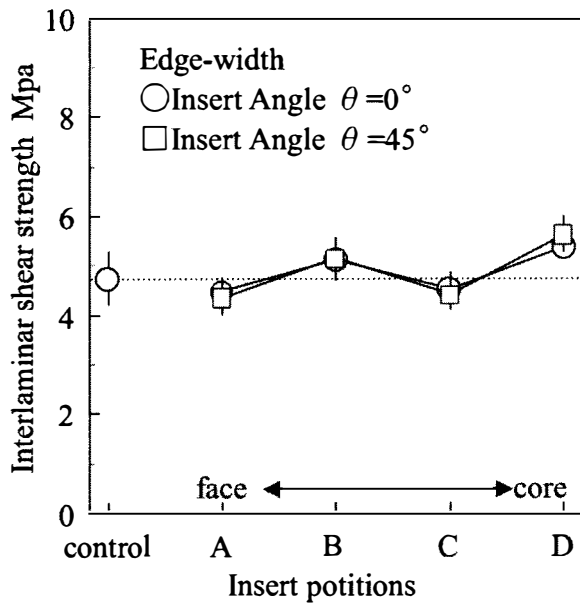


Fig. 6 Effects of inserted forms and positions of reinforcing cloth on interlaminar shear strength.

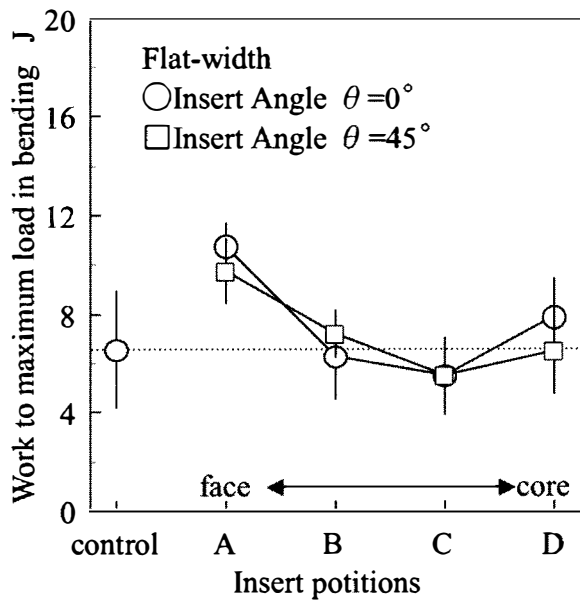


Fig. 7 Effects of inserted forms and positions of reinforcing cloth on work to maximum load in bending.

### 3.2 層間せん断強度に及ぼすガラスクロス複合位置及び挿入角度の影響

層間せん断強度とガラスクロスの挿入位置・角度の関係についてフラットワイズ方向を Fig.5 に、また、エッジワイズ方向を Fig.6 に示す。フラットワイズ方向の場合、ガラスクロスの補強効果は心層に挿入したタイプ D において顕著に認められたものの、それ以外のタイプでは補強効果は小さく、かつ各タイプ間にほとんど差がな

い。また、挿入角度の影響は認められない。

一方、エッジワイズ方向の層間せん断強度は、フラットワイズ方向に比べて全般的に大きい。ガラスクロスの補強効果は心層に挿入したタイプ D において顕著に認められるものの、それ以外のタイプでは補強効果は小さい。また、挿入角度の影響は認められない。

層間せん断強度試験において破壊は心層から発生する。ガラスクロス接着結合のひずみエネルギー解放率とせん断接着強さの値は木材接着結合のそれよりも著しく大き

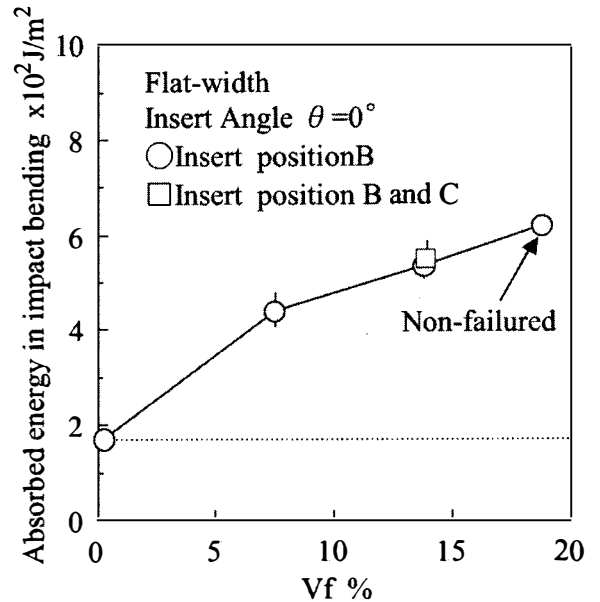


Fig. 8 Effects of volume fraction of reinforcing cloth on absorbed energy in impact bending.

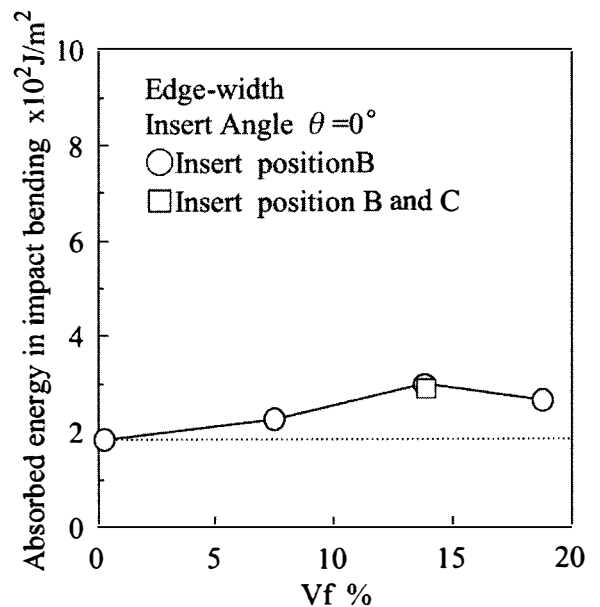


Fig. 9 Effects of volume fraction of reinforcing cloth on absorbed energy in impact bending.

い<sup>1)</sup>。このことから、ガラスクロスを中心層に挿入したタイプDで最大の補強効果が得られると考えられる。

### 3.3 曲げ破壊仕事量に及ぼすガラスクロスの複合位置及び挿入角度の影響

フラットワイズ方向の曲げ破壊仕事量とガラスクロスの挿入位置・角度の関係についてFig.7に示す。ガラスクロスによる補強効果は表層に複合したタイプAにおいて認められるものの、タイプB、Cでは曲げ破壊仕事量はコントロールに比べて小さい。また、挿入角度の影響はほとんど認められない。

積層材料では最外層の引張り強度が高いほど曲げヤング係数や曲げ強度が大きくなる。ガラスクロスの引張り強度は木材のそれよりも高いことから、曲げ破壊仕事量は表層に複合したタイプAで最大となる。

### 3.4 衝撃曲げ吸収エネルギーに及ぼすガラスクロス挿入割合の影響

衝撃曲げ吸収エネルギーとガラスクロスの体積率(Vf)の関係についてフラットワイズ方向をFig.8に、また、エッジワイズ方向をFig.9に示す。フラットワイズ方向の衝撃曲げ吸収エネルギーはガラスクロスの挿入枚数が多い(Vfが大きい)ほど大きい。挿入枚数(Vf=13.8%)が等しく、挿入位置をA、Bに分散させたタイプ(□)と分散させないタイプ(○)の衝撃曲げ吸収エネルギーはほぼ同程度であることから、挿入位置の分散

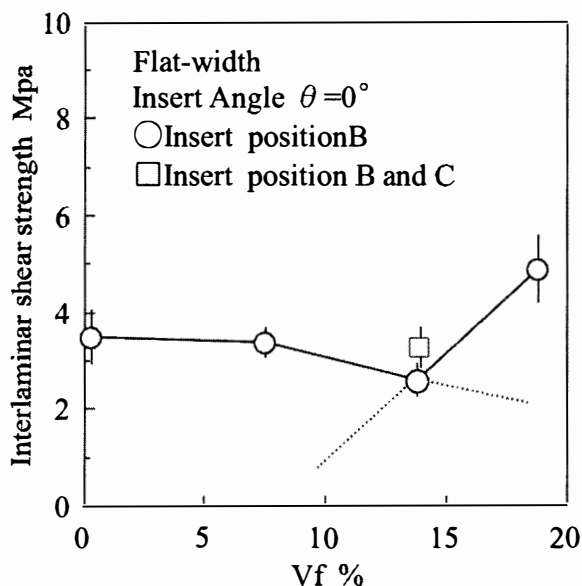


Fig. 10 Effects of volume fraction of reinforcing cloth on interlaminar shear strength.

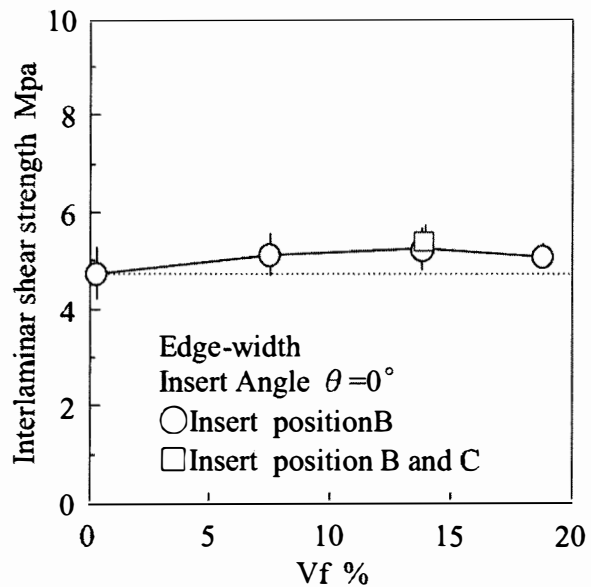


Fig. 11 Effects of volume fraction of reinforcing cloth on interlaminar shear strength.

による効果は期待できない。また、ガラスクロス6枚挿入した試験体(Vf=19.5%)では完全に破断しない。

一方、エッジワイズ方向の衝撃曲げ吸収エネルギーもガラスクロスの挿入枚数が多いほど大きい。フラットワイズ方向に比べて補強効果は小さい。

### 3.5 層間せん断強度に及ぼすガラスクロス挿入割合の影響

層間せん断強度とガラスクロスの体積率(Vf)の関係についてフラットワイズ方向をFig.10に、また、エッジワイズ方向をFig.11に示す。フラットワイズ方向の場合、ガラスクロスの補強効果はガラスクロス6枚挿入した試験体(Vf=19.5%)においてのみ認められ、挿入枚数が4枚以下(Vf=13.8%)の場合には層間せん断強度はコントロールに比べて減少する。挿入枚数(Vf=13.8%)が同じでも挿入位置をA、Bに分散させたタイプ(□)は分散させないタイプ(○)に比べて補強効果は大きい。

API樹脂接着剤はやや粘度が高いことからガラスクロス中への浸透はあまり良くなく、ガラスファイバー束内に樹脂量の少ない部分が生じている<sup>6)</sup>。Vfが小さい場合には主として単板が荷重を受け持つが、ガラスクロス内の空隙の存在により有効断面積が減少し、荷重負担能力がVfに比例する分だけ減少する。一方、ガラスクロス6枚挿入した試験体(Vf=19.5%)の場合には、ガラスクロス同士の接着層を4層有していることか

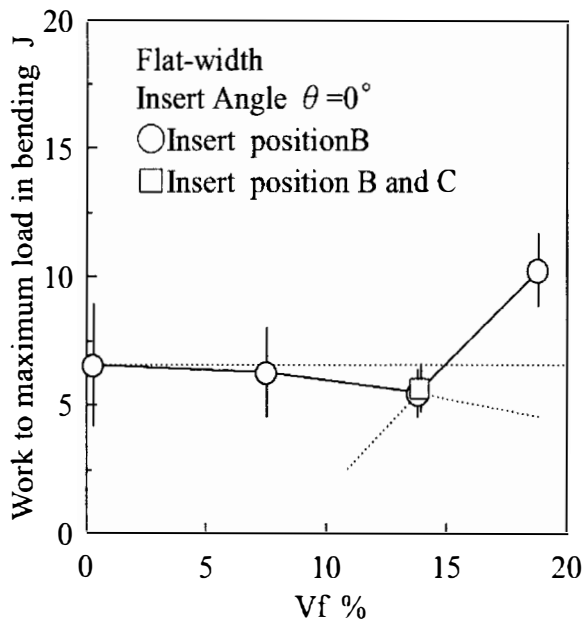


Fig. 12 Effects of volume fraction of reinforcing cloth on work to maximum load in bending.

ら、ガラスクロス間の塗布量を単板間および単板とガラスクロス間の塗布量に対して増量 ( $300\text{g}/\text{m}^2 \rightarrow 400\text{g}/\text{m}^2$ ) した効果が現われ、積層クロスは一体となって荷重を負担するものと考えられる。

一方、エッジワイズ方向の層間せん断強度もガラスクロスの挿入枚数が多いほど大きい、フラットワイズ方向に比べて補強効果は小さい。また、挿入位置の分散の有無による補強効果の違いは確認されない。

### 3.6 曲げ破壊仕事量に及ぼすガラスクロス挿入割合の影響

フラットワイズ方向の曲げ破壊仕事量とガラスクロスの体積率 (Vf) の関係について Fig.12 に示す。曲げ破壊仕事量に及ぼす Vf の影響はフラットワイズ方向の層間せん断強度 (Fig.10) と同様である。すなわち、ガラスクロスの補強効果はガラスクロスをも6枚挿入した試験体 (Vf=19.5%) においてのみ認められ、挿入枚数が4

枚以下 (Vf=13.8%) の場合には曲げ破壊仕事量はコントロールに比べて減少する。

ここで、曲げ破壊の形態は単板の裏割れ面が互いに接する中央の接着層を破壊の起点とする水平せん断破壊である。前述の通り API 樹脂接着剤はガラスクロス中への浸透があまり良くない。そのため、ガラスクロスによる補強効果が十分に発揮されなかった可能性がある。層間せん断強度と同様に、Vf が小さい場合には荷重負担能力が Vf に比例するある分だけ減少する。一方、Vf が大きい場合には積層クロスが一体となって荷重を負担するものと考えられる。

## 4 まとめ

水性高分子-イソシアネート系樹脂接着剤を用いて6プライ LVL の表面および接着層にガラスクロスを複合、挿入した複合 LVL を作製し、ガラスクロスの挿入位置・角度、体積率が複合 LVL の衝撃曲げ吸収エネルギー、層間せん断強度および曲げ仕事量に及ぼす影響を明らかにした。

## 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, 12,16-19 (1998).
- 4) 本多琢己, 佐野正明: 山梨県工業技術センター研究報告, 13,24-28 (1999).
- 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).
- 6) 本多琢己: 第51回日本木材学会大会研究発表要旨集, P581 (2001).