

フェノール・レゾルシノール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 Phenol Resorcinol Formaldehyde 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 phenol resorcinol formaldehyde 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 the 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 toughness in the flatwise increased with increasing numbers of clothes.

要旨 : フェノール・レゾルシノール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・角度および体積率（ガラスクロスの使用枚数）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、フラットワイズ方向の場合、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。また、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、フラットワイズ方向の場合、ガラスクロスの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、ガラスクロスの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。フラットワイズ方向の場合、ガラスクロスの挿入位置・角度だけでなく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複数枚のガラスクロスを表層近くに 0° で挿入すると 3 倍以上に達した。

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¹⁾、その影響は厚さが薄く

なるほど大きくなる²⁾。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³⁾⁴⁾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³⁾を行った。また、ガラスクロス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⁴⁾。

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、フェノール・レゾルシノール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)製のマイクロガラス YEA 5001 (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 2.65 KN/25 mm、横方向の引張り強度が 2.02 KN/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、フェノール・レゾルシノール共縮合樹脂 (以下 PRF 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 300 g/m²、ガラスクロス間で 400 g/m² 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。

ガラスクロスの複合・挿入方法の概要を Fig.1 に示す。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 (θ) 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

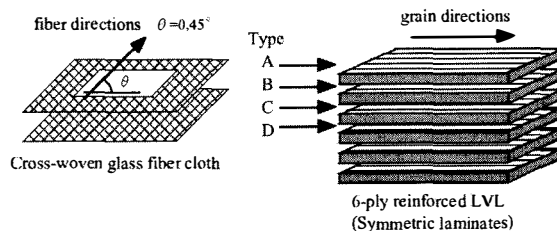


Fig. 1 Fiber cloth inserted forms and compositions of fiber-reinforced 6-ply LVL.

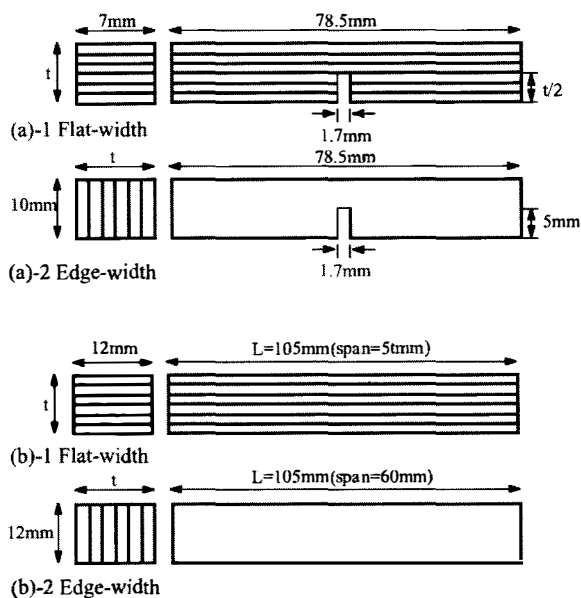


Fig. 2 Shape and dimensions of Charpy test (a) and ILSS (interlaminar shear strength) test (b).

イプでは、接着剤をガラスクロスの表面にも 400 g/m² 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 2.94 J) 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⁵⁾ (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。

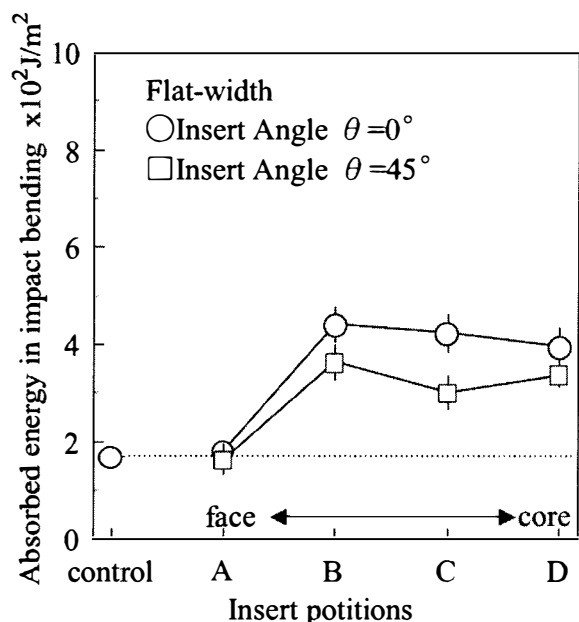


Fig. 3 Effects of inserted forms and positions of reinforcing cloth on absorbed energy in impact bending.

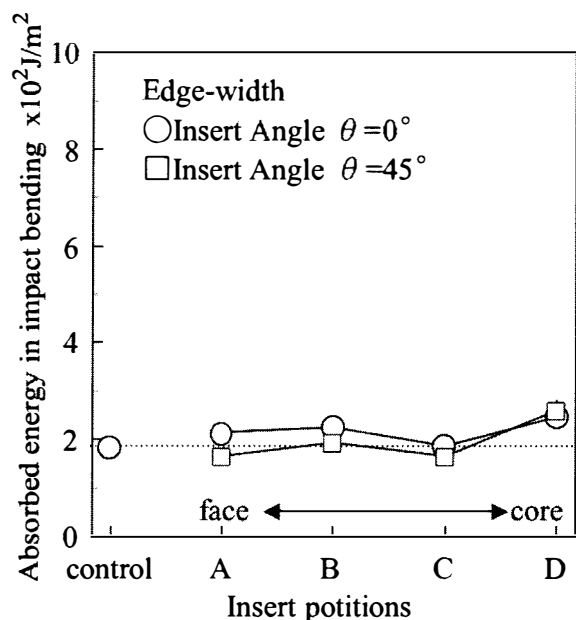


Fig. 4 Effects of inserted forms and positions of reinforcing cloth on absorbed energy in impact bending.

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。

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。ガラスクロスの複合・挿入による補強効果はあまり期待できない。また、挿入位置・角度はほとんど影響しない。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。

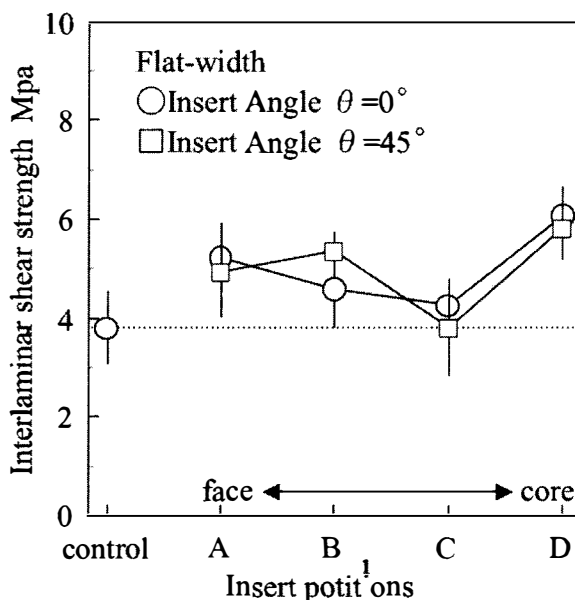


Fig. 5 Effects of inserted forms and positions of reinforcing cloth on interlaminar shear strength.

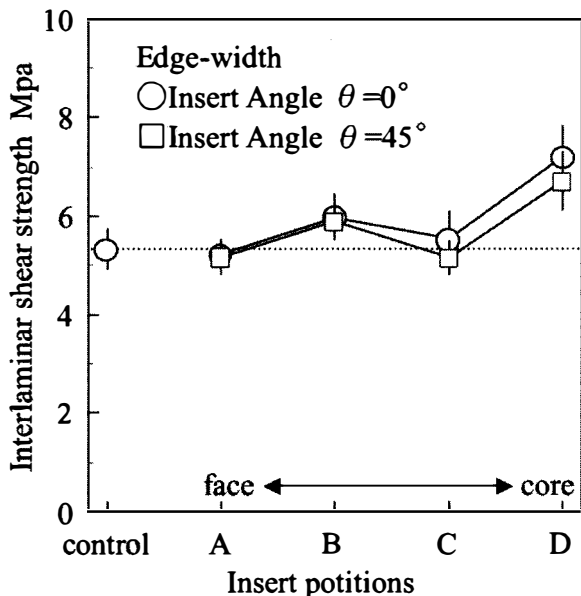


Fig. 6 Effects of inserted forms and positions of reinforcing cloth on interlaminar shear strength.

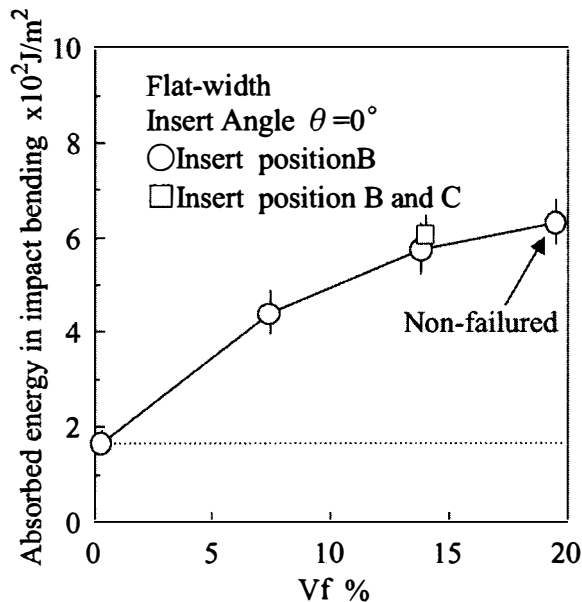


Fig. 8 Effects of volume fraction of reinforcing cloth on absorbed energy in impact bending.

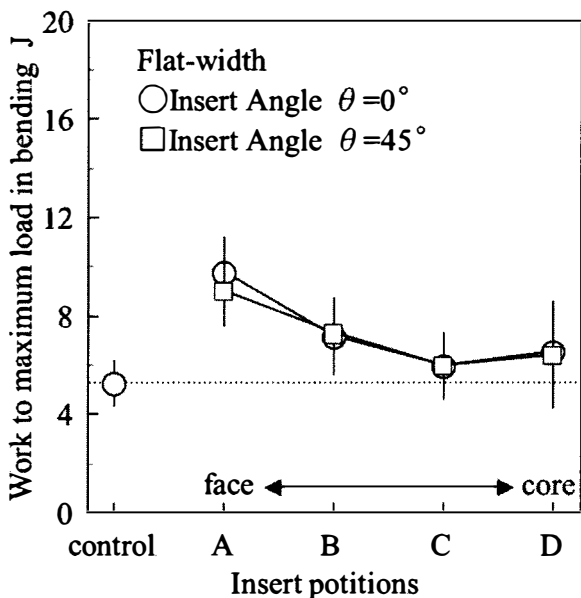


Fig. 7 Effects of inserted forms and positions of reinforcing cloth on work to maximum load in bending.

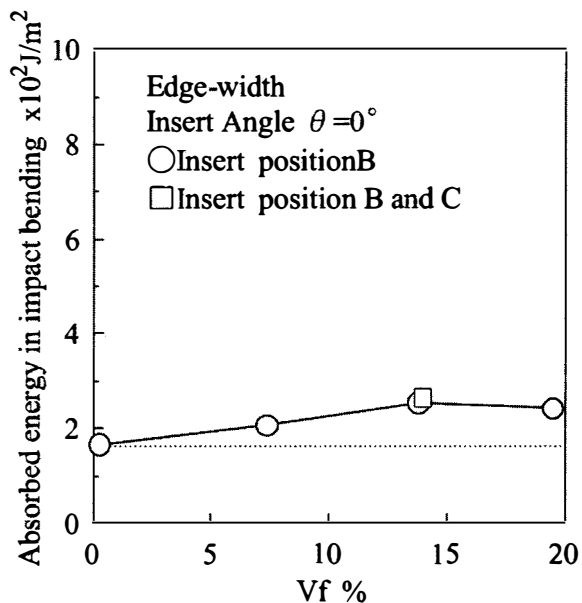


Fig. 9 Effects of volume fraction of reinforcing cloth on absorbed energy in impact bending.

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。

3.2 層間せん断強度に及ぼすガラスクロスの場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層間せん断強度においてはガラスクロスの補強効果が認められ、心層に挿入したタイプ D は最大でありコントロールのおよそ 1.5 倍にも達する。その他の挿入位置においては内層から外層に至るタイプ C、B、A の順序で大きくなる。また、挿入角度 $\theta = 45^\circ$ の場合、ガラスクロス

を心層近くに挿入すると層間せん断強度は減少する。一方、エッジワイズ方向の層間せん断強度値は、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 $\theta=45^\circ$ の場合、ガラスクロスを中心層近くに挿入すると層間せん断強度は減少する。

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い¹⁾。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。

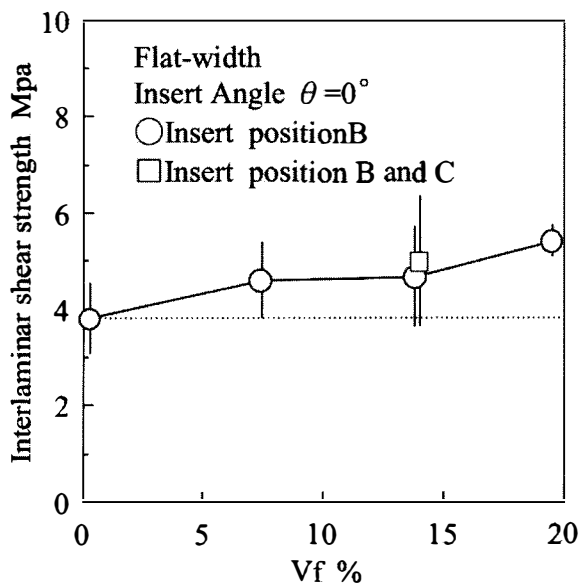


Fig. 10 Effects of volume fraction of reinforcing cloth on interlaminar shear strength.

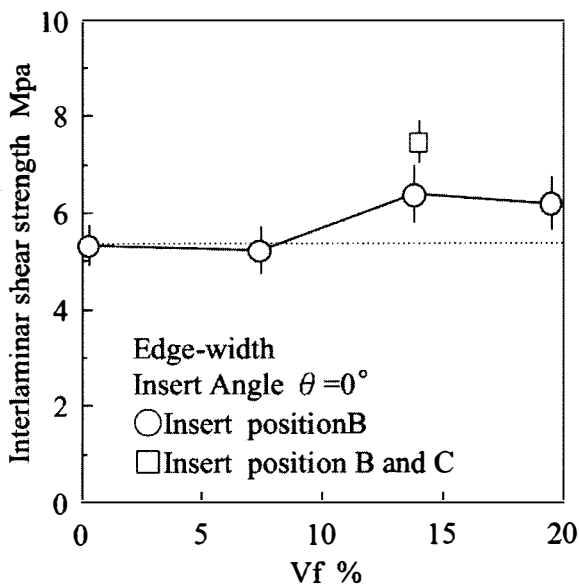


Fig. 11 Effects of volume fraction of reinforcing cloth on interlaminar shear strength.

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。ガラスクロスの複合・挿入は曲げ破壊仕事量の増加に対して極めて効果的である。表層に複合したタイプ A は最大であり、コントロールに対しておよそ 2 倍にも達する。挿入位置に関しては心層から外層に向かうタイプ D、C、B、A の順に大きい。また、挿入角度はほとんど影響しない。

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。挿入枚数が同じ (Vf=13.8%) であっても挿入位置を A、B に分散させたタイプ (□) が分散させないタイプ (○) に比べてやや大きな値を示す。また、ガラスクロス を 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層間せん断強度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。

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、補強効果はフラットワイズ方向に比べて小さい。挿入枚数が同じ (Vf=13.8%) であっても挿入位置を A、B に分散させ

たタイプ (□) が分散させないタイプ (○) に比べて補強効果が大きい。

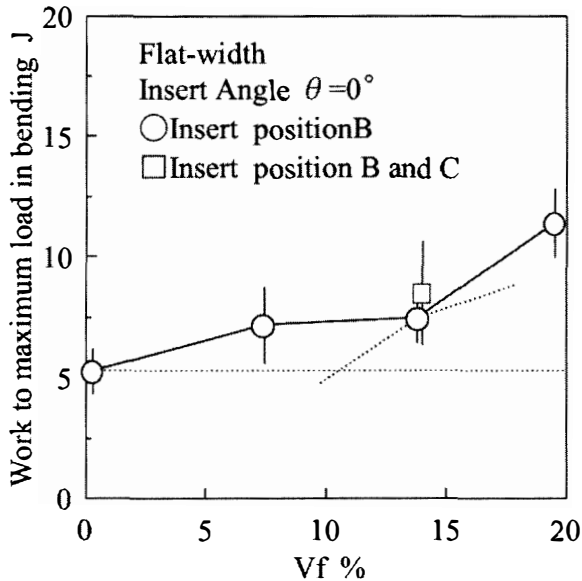


Fig. 12 Effects of volume fraction of reinforcing cloth on work to maximum load in bending.

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。

Fig.12 から Vf の大小によって次のような2つの曲げ破壊様式が想定される。単板はガラスクロスよりも先に破壊し、荷重はガラスクロスに伝達される。Vf が小さ

い場合、ガラスクロスはこの荷重を支えることができずに破断する。一方、Vf が大きい場合はガラスクロスに伝達される荷重ではガラスクロスの破壊を生ずるには不十分であり、荷重はガラスクロスの破壊強度に到達するまで増加する。このことからガラスクロス強化 LVL の破壊は Vf が小さい場合には主として単板の破壊強度に依存するのに対し、Vf が大きい場合にはガラスクロスの曲げ破壊強度に依存すると考えられる。

4 ま と め

フェノール・レゾルシノール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)