

LVL におけるラミナのバットジョイントの間隙寸法*

佐々木 光**・高谷 政広***・浜田 良三***

Clearance of Butt-Joint Between Laminae in LVL*

Hikaru SASAKI**, Masahiro TAKATANI*** and Ryozo HAMADA***

は じ め に

LVL (単板積層材) の製造において、単板の縦継ぎにはバットジョイント (突付け接合) が許容されている。この場合、その部分には、必ずしも接着強度が必要でなく、接合箇所を製品 (LVL) 内で分散させれば、個々のバットジョイントの弱点は製品全体の強度にあまり影響しなくなる。したがって、実用的には、バットジョイント部分で単板同士は接触することなく、数ミリメートル程度の間隙をもったまま LVL に圧縮される。

しかし、許容されるバットジョイントの間隙寸法には限度があると考えられる。何故ならば、間隙寸法が非常に大きい場合は、それに隣接する接着層は製造時に十分な圧縮圧をうけず、したがって接着不良を生ずる可能性がある。このような接着不良箇所がバットジョイントの周辺に存在する場合、その LVL が構造部材として曲げ (モーメント) の圧縮側などに使用されると、ラミナが挫屈して強度性能を低下させる原因になると考えられる。

本資料は有限要素法による数値計算を行なって、異なる間隙寸法をもつバットジョイントが圧縮時に隣接接着層の圧縮圧に及ぼす影響を算出し、一方で圧縮圧を変化させて積層接着した 2 プライ平行合板の接着力を求めて、これら両結果を比較し、バットジョイントの許容される間隙寸法の範囲を考察したものである。

1. 圧縮圧分布の数値解析

LVL の圧縮成板時に、バットジョイントの間隙が存在する層の一つ上部の接着層に最も大きな圧縮圧低下をきたす条件は、バットジョイントが上から 3 層目のラミナに存在する場合である。バットジョイントの位置が 3 層目以上離れると、問題の接着層より上部のラミナのたわみが増加して、その接着層の圧縮圧が増加する。したがって、ここでは圧縮圧低下の最も著しい例として、5 プライの LVL の中央層に間隙寸法 b のバットジョイントが存在する場合をとりあげ、圧縮時の応力分布を有限要素法を用いて、2 次元弾性問題として数値解析した。解析の対象とした断面は、繊維方向に平行で、接着層に垂直な断面で、その中央にバットジョイントが存在する。

有限要素の形はすべて三角形とした。図 1 に要素分割の方法と境界条件を示す。図は対称性を応用して断

* 第33回日本木材学会大会 (昭和58年4月2日) において発表, Presented at the 33rd Meeting of the Japan Wood Research Society on April 2, 1983

** 木質材料部門, Research Section of Composite Wood

*** 近畿大学農学部, Faculty of Agriculture, Kinki Univ.

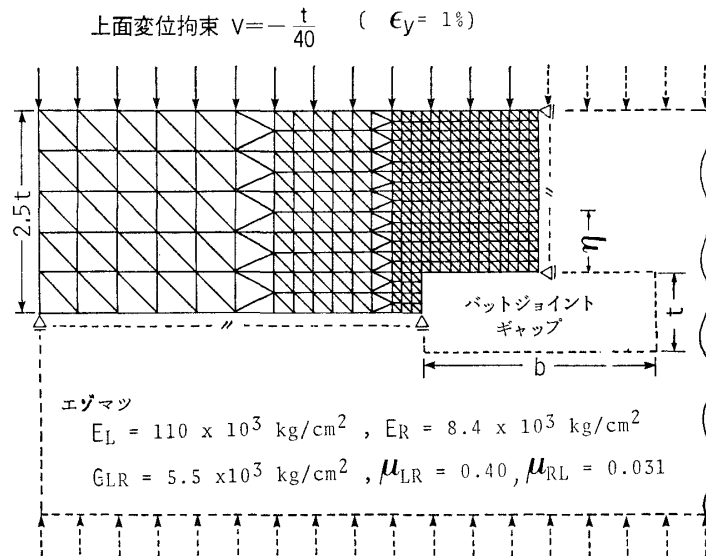


図1. 数値計算のための有限要素分割

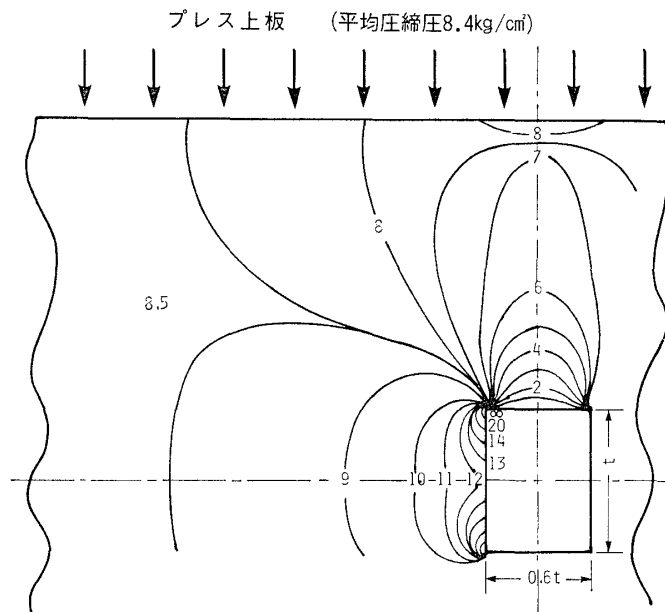


図2. 圧縮圧の分布 (5 プライ LVL の中央層にラミナの厚さ t の6/10のバットジョイントギャップのある場合の1例)

面の左上1/4の部分についてのみ解析を行ったことを意味している。図において、バットジョイント間隙（以下ギャップと云う）の寸法 b をギャップの幅（単板の厚さ） t の0.25～3.0倍の範囲で変化させた。これに対応して、要素数を347～699に変化させて計算を行なった。図は $b=3t$ 、要素数699の場合の例である。

材料の弾性定数として、エゾマツの値を用いた。それらを図中に示す。

境界条件を次のように設定した。すなわち、対称軸上では軸に沿ってのみ自由に動くことが可能な条件を与え、プレスとの境界（図の上下端）では一定の y 方向変位 v を与えた。 v の値は簡単のために y 方向の平均ひずみが1%となるように、バットジョイントのギャップの幅 t （単板の厚さ）の40分の1とした。この

変位拘束の条件は平均圧縮圧 8.4 kg/cm^2 に相当する。

計算結果のうち、圧縮圧 σ_y (y 方向の垂直応力) の分布の一例を図 2 に示す。図は 5 プライの LVL の中央層にバットジョイントが存在し、その間隙の寸法が単板の厚さ (ギャップの幅) の 0.6 倍の場合の例である。図から、ギャップの四隅には高い応力集中が見られること、ギャップの中央を通る y 軸に平行な線上では、ギャップの上縁で $\sigma_y=0$ であり、上方へ離れるにしたがって σ_y が増加するのが見られるが、これらの値は x 軸に平行な同一線上では最も低い σ_y の値であることなどが明らかである。

図 1 に示すように、ギャップの上縁から上方への距離を η とする。ギャップの中央を通る y 軸に平行な直線上で $\eta=t, \frac{3}{4}t, \frac{1}{2}t, \frac{1}{4}t$ (t はギャップの幅) の点の圧縮圧 σ_y の値はギャップの寸法 b を t で除した値 b/t についてプロットすると図 3 のようになる。

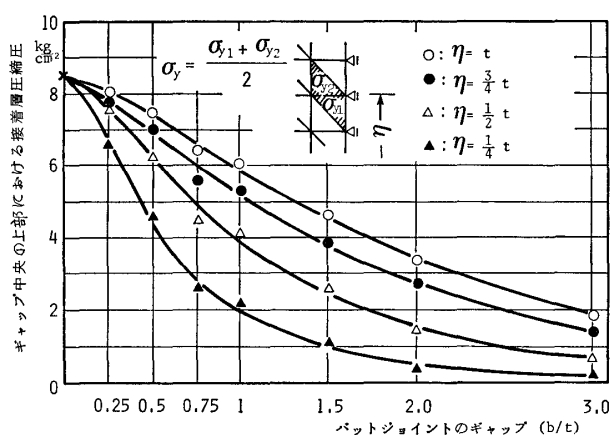


図3. バットジョイントギャップ中央上部における圧縮圧の低下

図からギャップの寸法 b が大きくなればなるほど、またギャップ上縁からの距離 η が小さくなればなるほど σ_y は低くなることがわかる。たとえば $\eta=t$ (通常の LVL では単板の厚さは一定であるから、この層が接着層となる) の場合の σ_y はギャップ寸法 b が $1.7t$ のとき、平均圧縮圧 (8.4 kg/cm^2) の $1/2$ に、 $2.3t$ のとき約 $1/3$ に、 $2.8t$ のとき $1/4$ に低下している。

2. 圧縮圧と接着力の関係

前節で示したように、ギャップの寸法 b が大きくなると、その隣接接着層の圧縮圧が低下することが明らかであるが、実際にどの程度まで圧縮圧が低下すると、接着力が不十分になるのか実験で明らかにする必要がある。

厚さ 4 mm のラワン単板および 3.8 mm のカラマツ単板のそれぞれについて、圧縮圧を $1 \sim 7 \text{ kg/cm}^2$ の範囲で変化させ、2 プライの積層材 (単板の繊維方向を平行とした) を熱圧成板し、接着力と圧縮圧の関係を実験的に調べた。

接着剤はユリア樹脂で、塗布量は一接着層当り 170 g/m^2 で片面に塗布し、積層後直ちにプレスに挿入した。したがってアッセンブリータイムは1分間程度である。プレスの温度は 135°C 、プレス・タイムは5分とした。単板の寸法は $300 \times 300 \text{ mm}$ 、ラワンはセラヤと思われる剥き肌の良いもの、カラマツはソ連産のもので、剥き肌の悪いものであり、両者共裏割れ率はほぼ60%であった。

接着試験片は幅 25 mm 、長さ (繊維方向) 90 mm でその中央部に 16 mm の間隔をもって表と裏から接

着層に達する各1本の鋸目を繊維に直交して入れたものである。この試験片について、合板の常態せん断試験の方法及び2類浸せき試験の方法に従って接着試験を行なった。試験機は東京衡機製2tレバー式材料試験機で、破壊まで所要時間を約20秒とした。常態試験ではプレス後約1カ月間室内に静置した後に、浸せき試験ではプレス後約1カ月間室内に静置、70°Cの水中に2時間浸せき、60°Cの乾燥器内で3時間乾燥の後に接着力試験を行なった。

試験片の数は樹種及び各圧縮圧条件につき常態試験用は6個、浸せき試験用は10~15個である。各条件共、常態用と浸せき用を互いに隣接した位置から採取し、採取位置による強度のバラツキが影響しないようにした。

ラワンについての実験結果を図4に、カラマツについてのそれを図5に示す。

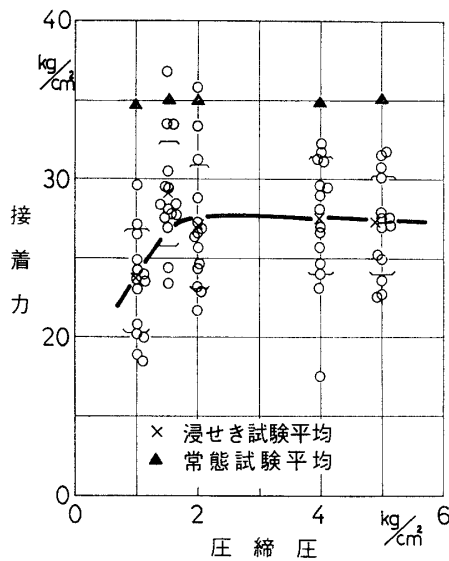


図4. 圧縮圧と2類浸せき処理後の接着力ラワン、4mm、2プライ、UF

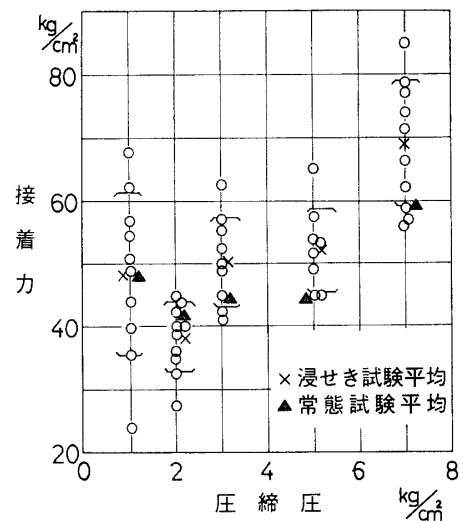


図5. 圧縮圧と2類浸せき処理後の接着力カラマツ、3.8mm、2プライ、UF

これらの図では、煩雑をさけるため、浸せき試験については個々の測定値をプロットしたが、常態試験についてはバラツキが少なかったためその平均値のみを示した。

図から意外なことに、この範囲の圧縮圧では圧縮圧が変化しても接着力はあまり影響を受けていないことがわかる。これは本実験の場合、アッセンブリータイムが極端に短かったことに原因するのかもしれない。

図4において、ラワンの常態接着力は極めて安定しており、圧縮圧が実験範囲で変化しても影響を受けないが、浸せき処理後の接着力は圧縮圧1 kg/cm²の場合、危険率5%において有意な低下が認められる。

図5において、カラマツ単板の接着力は常態・浸せきを問わず、非常に大きなバラツキをもっており、また、圧縮圧の変化に対して複雑な動きを示している。これは供試カラマツ単板の表面あらさが大きく、また早・晩材間の組織の差異の大きいことなどが関係し、中途半端な圧縮圧では組織的な圧潰を生ずるわりに密着性が高まらず、反って接着力を低くするためではないかと考えられる。

また、浸せき処理後の接着力の方が常態接着力よりも高い値になっている点も非常にめずらしい現象であるが、この点も単板の表面あらさが関係していると思われる。すなわち、単板同士の接触面の密着性が低いため、接着は断続的な接着層によって形成されており、したがって接着層には多くの応力集中点が散在しているものと考えられる。常態試験ではこの応力集中が接着力を低下させており、浸せき試験では被着材の弾

性低下によりこの応力集中が軽減せれるために逆に接着力に有利に働き、常態より浸せき試験の場合の接着力が高く現われるのではないかと考えられる。

さて、図4及び5において、常態接着力に対する浸せき処理後の接着力の比 R を求め、圧縮圧と R の関係をプロットすると図6のようになる。この R の値によって圧縮圧が接着力に及ぼす効果を論ずることが妥当かどうかの問題は残るが、今かりにこの R の値を圧縮圧効果の指標と考えるならば、次のようなことがいえる。すなわち、剥き肌の良いラワン単板の場合、十分な接着性能を得るためにはおよそ 2 kg/cm^2 以上の圧縮圧が必要で、剥き肌の悪いカラマツ単板の場合、およそ 3 kg/cm^2 以上の圧縮圧が必要でと考えられる。

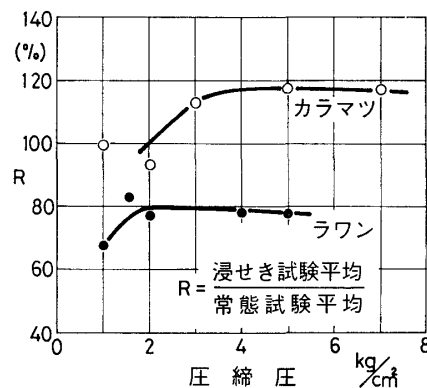


図6. 圧縮圧と残留接着力の関係

3. ギャップの許容寸法

以上1, 2の両節の結果からバットジョイントの間隙寸法の許容限界を求めると次のごとくなる。

まず、2節の結果から圧縮圧は 3 kg/cm^2 以上必要であると考ええる。これを図3の $\eta=t$ (ここでは等厚単板を用いた LVL を仮定している) の曲線にあてはめると、 $b/t=2.2$ となる。すなわち、圧縮時にバットジョイント近傍の接着層が十分な圧縮圧を得るためにはバットジョイントの間隙寸法は単板の厚さ2.2倍以下に制限する必要があるということになる。

通常の LVL の単板の厚さは 2.5 mm 以上であるから、実用上、単板のバットジョイント間隙寸法を決めるならば、それは 5 mm 以下とすれば十分であると考えられる。

単板の厚さが特別に薄い場合、たとえば 2.2 mm 以下の単板を用いる場合は、理論上バットジョイント間隙寸法の許容限界を 5 mm よりもせまくとすべきであるが、これでは製造上問題が生じ、規制は困難であり、また通常このような場合には、積層数が多いため、局所の接着不良が強度に及ぼす影響も軽減されるであろうし、またその接着力の低下の程度も図4, 5のように、はっきりとしたものでないことから、上記の間隙寸法の許容値 5 mm 以下という値は、 2.5 mm 未満の単板を使用する場合に対しても実用上適用して大過ないものと考えられる。

なお、この場合は圧縮圧として常用されている範囲の1つの値 8.4 kg/cm^2 を用いて計算した結果であるが、若しこれを 5 kg/cm^2 等他の値を用いる場合はその比を考慮する必要がある。

お わ り に

LVL の単板の縦継ぎにバットジョイントを用いる場合のジョイント部分の間隙寸法はあまりせまく規制されると製造上困難をきたす。かと云って広くすると、その隣接接着層の圧縮圧が低下し、接着不良をおこ

す。

ここでは、数値解析により、圧縮圧の分布に及ぼすジョイント間隙の寸法の影響を調べ、一方で行なった圧縮圧と接着力の関係を求める実験の結果とをつき合わせ、通常の LVL の製造におけるバットジョイント間隙の許容寸法を割り出した。

その結果許容寸法を 5 mm 以下とするのが妥当であろうとの結論を得た。しかし、ここで行なった実験は限られた樹種、接着剤、接着方法に関する一例であって、すべての可能性を含むものではない。今後検討を重ねて、より妥当性の高い結論を得たいと考えている。本報告が関連分野の方々の参考になれば幸甚である。