

寺院解体古木材を用いた フィンガージョイントラミナの引張強度特性

名古屋大学 ○佐々木康寿, 名古屋工業大学 山崎真理子
名古屋大学 杉本 貴紀, 名古屋大学 山田 航

Tensile Strength of Finger-Jointed Laminae Recycled from Old Temples

Yasutoshi SASAKI, Mariko YAMASAKI, Takanori SUGIMOTO and Wataru YAMADA

1 緒 言

我が国は、森林被覆率が67%で世界でもトップレベルの森林国であるにもかかわらず、世界第2位の木材輸入国として木質資源の多くを海外に依存している。一方、土木・建築分野において排出される解体木材は年間570万tにのぼり、これは新たに住宅建設に使われる木材量の約15%に相当する量である。すなわち、解体木材は有用資源でありその有効利用は資源循環型社会を構築する上で重要な案件の一つである。しかし、その多くは木質系廃棄物として焼却、野積みおよび埋立・投棄されており、排出された有用な材料が有効利用されるどころか、みすみす無駄に廃棄され、むしろ環境汚染に加担しているのが現状であろう。

元来、木材は材料強度の持続性が高く加工も容易であるため古くは再利用が盛んに行われており、最終処分(熱源としての利用)に至るまでの可使用時間が長い材料であった。しかし、現在の土木・建築における解体木材の実情をみると、リサイクル方法として一部実現しているボード化は接着剤を多用するもので、その次世代のリサイクル方法は検討されておらず、問題を先送りした形となっている。木材は、再生可能な地上資源であるだけでなく、他の工業材料と比べて生産に要するエネルギーが少なく、さらにはCO₂の貯蔵機能も有する最も優秀な環境負荷低減型の材料である。循環型社会をめざす上で、こうした特長をもつ木材の利用を推進すべきであるが、そのためには木材利用の循環システムを確立しておくことが肝要である。すなわち、植林から材料として利用できるまでの木材の再生時間(更新時間)に相当する時間を可使用時間として維持・保証することが最低限必要であり、また、その可使用時間を向上させるほど、次世代の材料は時間をかけて再生することが可能となり、より質の高い材料、つまり可使用時間の長い材料を産出することができる。こうした背景から、建築物と解体木材との関連で解決すべき問題点を既存の土木・建築物に焦点を絞れば、分別解体を推進し、解体木材を如何にリユース・リサイクルするかが重要となる。

その観点に立つと、排出された解体木材をその材質に応じた用途に振り向けることが最適な有効利用方法であり、状態が良好なものについては、なるべく現有の形で構造用材として再利用(リユース)し、その後材質の低下に応じて材料を小片化していく、用途も構造材から造作材へと移行していくといったシステムが考えられるべきである。この過程のなかで集成材化は当然考慮されるべき用途であろう。

建築解体木材のなかでも、一般に寺院解体古木材は断面も大きく豪壮長大であるものが多いが、寺院建設当時の木材加工技術の問題もあり、断面が不定であることやほぞ穴・切り

欠き等のため長尺の挽板を得ることは難しい。したがって、フィンガージョイント(FJ)等の縦継ぎによる長尺化が図られるであろう。このような場合の古木材の強度性能については小原らにより精力的に行われた一連の研究が有名であり、また最近では平嶋らの研究により新材との比較において統計学的手法を導入した解析により特徴的な性状が明らかにされつつある。しかし、これらの研究は無欠点小試験片を対象としたもので、集成材化を視野に入れた古木材リユースのためにはFJラミナの強度性能も把握しておく必要があると考えられる。以上のような考えの基に、本研究は寺院解体古木材を用いたFJラミナの引張強度性能を調べ、現在我が国で流通しているJAS認定の工場生産FJラミナの性能を対象に統計学的手法を用いた比較により、性能把握を試みたものである。

2 方 法

供試材料は一連の研究にあたり長野県内にある寺院(西法寺、長野市松代町、築後経過年数約200年)本堂の解体の際入手したもので、小屋梁として使用されていたアカマツである。直径が約300mm、長さが約7mの丸太材であった。材に腐朽はみられなかったが、辺材部に虫食い穴が散見された。これより大きな節や虫食いなどの欠点をなるべく含まないよう板材を製材した。これらの材について、静的曲げ試験によりヤング係数を測定した。フィンガ-の形状・寸法は、現在我が国で構造用FJラミナを製造する際に用いられている一般的なもので、レゾルシノール樹脂接着剤を用いて接合した。これにより試験体の最終的寸法は厚さ20mm、幅67.5mm、長さ760mmとなった。製作した試験体数は73体となったが、この中には節や虫食い穴等が存在するものも含まれている。引張試験は試験体のFJ部を中央にチャック間距離を560mmとして長軸方向に引張負荷した。試験体の引張りずみはFJ部を跨ぐようにしてひずみゲージ(ゲージ長60mm)を貼り付けて測定した。負荷は定速変位制御(3mm/min)で行った。負荷開始後、最大荷重到達までに要した時間は約3分であった。実験の結果、得られた強度性能を比較検討するために、国内8社のJAS認定工場生産された市場流通FJラミナの引張強度データ(文献値)を用いてモンテカルロシミュレーションを行い、統計的解析を行った。

3 結果と考察

Fig. 1に引張試験によって得られた古木材FJラミナの引張強度(UTS)とヤング係数(MOE)との関係を示す。これらのプロットは、節や虫食いなどが原因でFJ部分以外で破壊した試験体のデータは除外し、FJ部分で破壊した33体のデータである。図のUTSとMOEの間には有意(危険率5%)な相関が認められた。しかし、両者と密度の間にはそれぞれ有意な相関

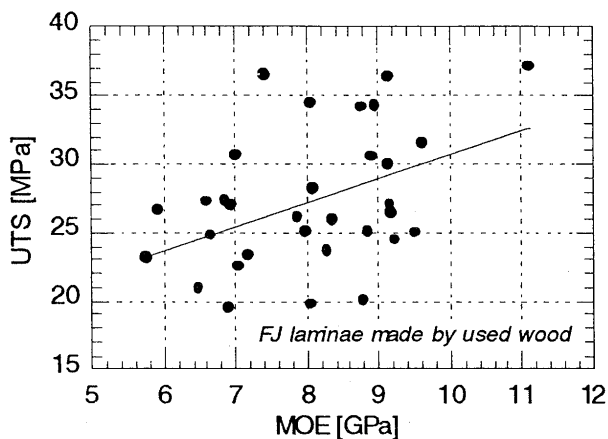


Fig. 1. Relationships between UTS and MOE of finger-jointed used-wood.

は認められなかった。この理由として、本研究で用いた FJ 試験体は全て同一の一本の古木材から採取したものであり密度の分布範囲が狭かったこと、FJ 試験体は密度が異なる 2 つのラミナを接合したものであったことなどが考えられる。既往の研究例においても FJ ラミナの UTS は密度より MOE との相関の高いことが報告されている。

このように得られた古木材 FJ ラミナの引張強度性能について、統計学的手法により国内 8 社の JAS 認定工場で生産された市場流通 FJ ラミナとの比較を行った。本研究では基準パラメータとして MOE を考慮し、これを用いた比較を行った。Fig. 2 にこれら市場流通 FJ ラミナの UTS-MOE 関係を示す。ここで、両者の関係を 1 つの回帰線で表現する必要があるが、Fig. 2 をみると市場流通 FJ ラミナの UTS データは、MOE が大きくなるにつれて分散が大きくなっている。したがって、これらの UTS-MOE 関係を単純な最小二乗法により回帰分析するのは好ましくない。そこで、強度データの分散の不均一性を修正するために、MOE を小区間に 10 分割し、その際の各区間の UTS 標準偏差を重みとして考慮した加重回帰分析（重み付き回帰分析）を行った。図中に示す UTS-MOE 関係の回帰線（実線）はこのようにして求めたものである。これにより、解体古木材 FJ ラミナが国内で流通している工場生産 FJ ラミナと比べてどの程度の強度を保持しているかを検討することができる。本実験の供試材と同等の MOE 分布をもつ市場流通 FJ ラミナの強度分布を推定するために乱数を利用した数値シミュレーション（モンテカルロシミュレーション）を行った。

以上のようにして求めた推定引張強度（Simulation-1）と解体古木材 FJ ラミナの実験結果（●）を併せて Fig. 3 に示す。同図の縦軸は累積頻度を、横軸は UTS を示す。これら両者の分布形に有意な差が認められるかどうかを KS 検定により調べた結果、有意水準 1% で差が認められた。すなわち、平均値で比較すると解体古木材 FJ ラミナの平均引張強度は 27.2 MPa であり、工場生産 FJ ラミナの 22.3 MPa に比べて約 22% 程度高い値を示した。

ところで、上述したように、これらの工場生産 FJ ラミナは MOE に対して UTS の分散が一定ではない。これに関して既往の研究では 8 社の工場における生産管理のばらつきが指摘さ

れており、JAS の基準値に充たない劣悪なものも一部含まれている。したがって Fig. 3 の結果だけでは今回の解体古木材 FJ ラミナが市場流通品に比べて遜色のないものとは言い切れない。そこで、シミュレーションに用いた Fig. 2 の回帰線の代わりに、同図の UTS-MOE 関係としてより厳しい条件となる、分布のほぼ上限を結ぶ包絡線（同図中の破線）を設定し、これを用いてシミュレーションを行った。その結果が Fig. 3 の Simulation-2 である。KS 検定の結果、解体古木材 FJ ラミナの実験値と推定強度との間に有意差は認められず、ほぼ同様の分布形を示した。これらのシミュレーションの結果より、解体古木材を利用した FJ ラミナは市場流通品と比べて遜色ない引張強度をもつということがいえる。

今回の結果は解体古木材のリユース策として集成材への利用に道筋をつけるものと考えられるが、一方で、今回の古木材 FJ ラミナの引張破壊性状をみると、極めて脆性的なものであった。また、解体古木材の強度性能に関する最近の研究によれば、未使用新材の推定強度と比較して引張では低下し、曲げおよび圧縮では同等と報告されている（新材、古材ともに無欠点小試片が対象）。したがって、引張の厳しい部位には古木材ラミナの配置を避ける等の配慮が必要となろう。さらに、解体古木材は、材に虫食い穴等が散見される場合があり、これが強度的欠点になるので、FJ ラミナの製造に当ってはより厳しい生産管理が要求されよう。

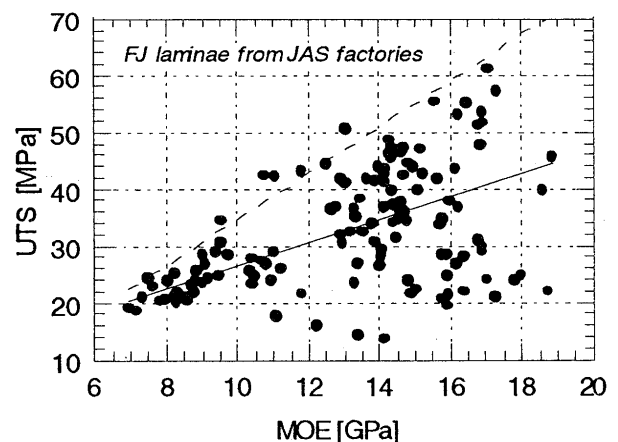


Fig. 2. Relationships between UTS and MOE of finger-jointed laminae manufactured by JAS factories

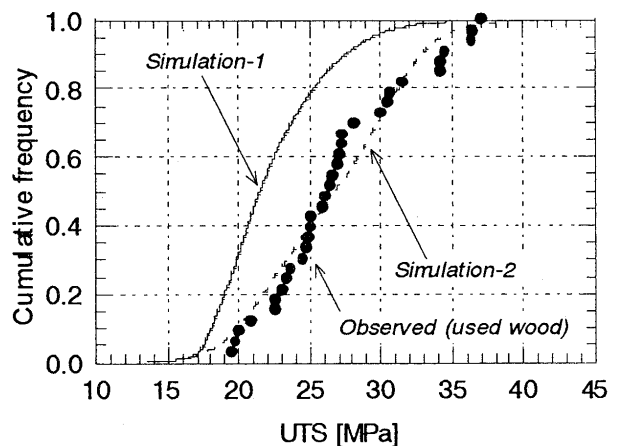


Fig. 3. Cumulative frequency of UTS for finger-jointed used-wood and simulation