

FEMによるCLTの曲げ・せん断挙動に関する基礎的研究

福岡大学 正会員 ○千田 知弘・渡辺浩
山佐木材(株) 村田 忠

1. はじめに

近年、新しい木質材料として、Cross laminated timber（以後、CLT）が建築分野を中心に注目を集めている。CLTは「ひき板を並列することで単層を構成し、その単層の軸方向を直行させながら積層接着した大きな断面を持つ面状の集成加工材料」と定義される¹⁾面材料であり、直交積層によって木材特有の異方性が改善される。土木分野での使用を想定した場合、橋梁の床版などへの利用が考えられ、使用するラミナのヤング率の構成を工夫することによって、橋軸方向だけではなく、幅員方向にも同等の強度を有する断面設計が可能である。しかしながら、CLTは新しい木質材料であるため、強度性能に関するデータが十分ではなく、すぐに土木材料として活用することは難しい。そこで本研究では、CLTを土木材料として用いるための基礎研究として、集成材の解析で実績があるFEM解析を用いて3点曲げ試験をシミュレートし、曲げ・せん断挙動の評価を行った。

2. 対象解析モデル

対象試験体の断面図を図-1に、側面図を図-2に示す。試験体は、異等級構成のCLT・Mx60²⁾の弱軸構成(最外層のラミナの繊維方向が桁軸方向と直交)と強軸構成(最外層のラミナの繊維方向が桁軸方向と同じ)の2種とした。Mx60は九州産スギ材を用いる場合の基準となる強度等級であり、強軸構成は橋軸方向、弱軸構成はと幅員方向の挙動を想定した。試験体寸法は、高さ150mm(ラミナ厚30mm×5層)×幅150mm×桁長2100mm(支間長1800mm)とし、3点曲げ試験とした。各ラミナの軸方向ヤング率は、図-1に示すようにMx60の強度等級とし、例えば、L60の場合、軸方向ヤング率は6GPaとなる。

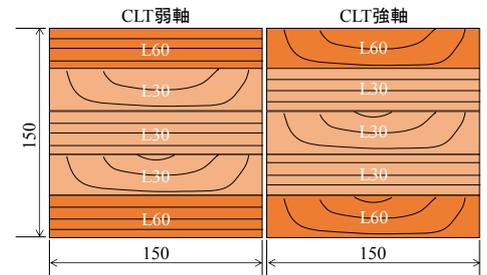


図-1 試験体断面図

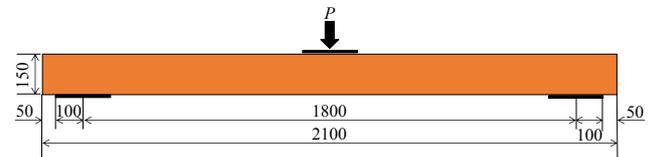


図-2 試験体側面図

3. FEM解析モデル

本研究の解析は、汎用有限要素解析ツール ANSYS ver.15 を用い弾性解析を行った。要素分割図を図-3に示す。図中にOで示した位置に原点を取り、幅方向にx軸、高さ方向にy軸、桁軸方向にz軸を取った。本試験体は左右に対称な断面を有するので、yz面で2分割された桁の半分を解析対象とした。要素は6面体8節点24自由度のソリッド要素を使用し、メッシュサイズは1辺5mmとした。解析では載荷板と支点板もモデル化し、木部要素と節点を共有させず、摩擦係数0.4を用いた接触解析を行った。境界条件は、yz対称面上にある全ての節点のx方向変位を拘束、原点側の支点板底部中央のy方向変位とz方向変位を線拘束、一方の支点板底部中央のy方向変位を拘束し、支点板が回転できるようにした。載荷は支点板中央に線載荷することとし、10kNを載荷した。木材要素に使用した材料定数は、軸直角方向ヤング率 $E_x=E_y=E_z/25$ 、せん断弾性係数 $G_{xy}=G_{yz}=G_{zx}=E_z/15$ 、ポアソン比は $\nu_{xy}=\nu_{xz}=\nu_{yz}=\nu_{yx}=0.016$ 、 $\nu_{zx}=\nu_{zy}=0.4$ とした³⁾。鋼材要素に使用した材料定数は、SS400の公称値を用いた。

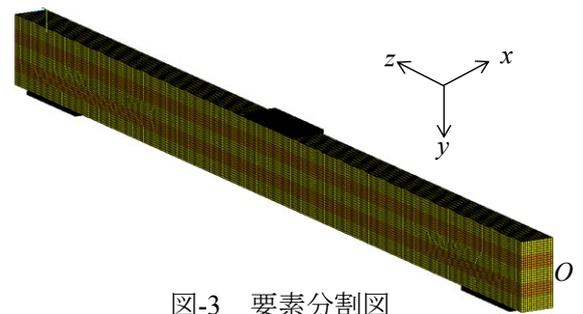


図-3 要素分割図

4. 解析結果

10kN 載荷時の弱軸構成試験体のz方向応力分布を図-4に、強軸構成試験体のz方向応力分布を図-5に、弱軸構成キーワード CLT, 面材料, FEM, 曲げ特性, せん断特性

連絡先 〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈八丁目 19-1 TEL 092-865-6031

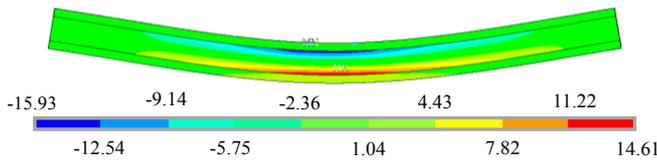


図-4 弱軸構成試験体の z 方向応力分布(単位: MPa)

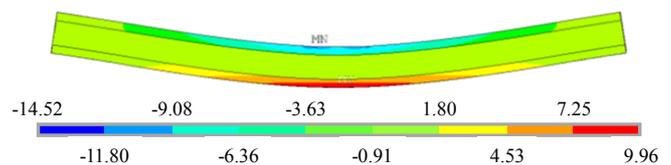


図-5 強軸構成試験体の z 方向応力分布(単位: MPa)

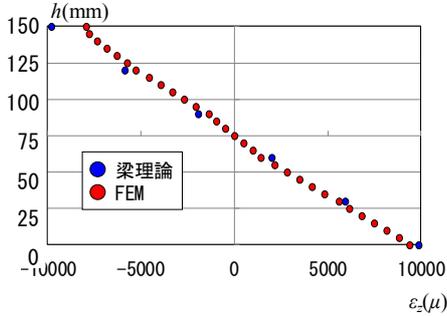


図-6 弱軸構成試験体の桁高方向のひずみ分布

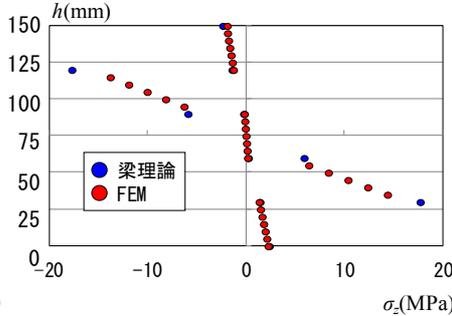


図-7 弱軸構成試験体の桁高方向の応力分布

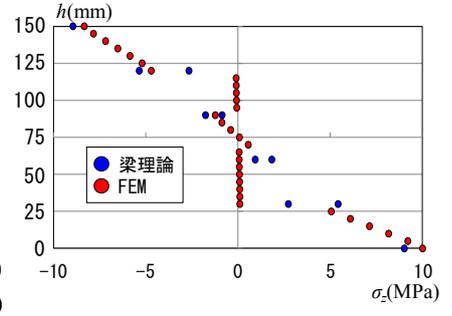


図-8 強軸構成試験体の桁高方向のひずみ分布

試験体の支間中央部における桁高方向のひずみ分布と応力分布を図-6 と図-7 に、強軸構成試験体の支間中央部における桁高方向の応力分布を図-8 に示す。図-6～図-8 には梁理論から算出される値も加えている。図-4 と図-5, 図-7 と図-8 を比較すると、最大値位置が大きく異なり、弱軸構成試験体では内層に最大値が生じ、強軸構成試験体では最外層に生じている。図-6 に示すように、ひずみの分布は連続するが、3.で示したように、木材は繊維方向と繊維直交方向のヤング率に 25 倍の差があるため、ひずみにヤング率を乗じて応力を算出すると、上記のように応力分布は連続性を失う。木質設計規準・同解説によると、スギ材の繊維方向の曲げの基準材料強度は 24.0MPa であり、そこから各試験体の耐荷力を逆算すると、弱軸構成で 16.8kN, 強軸構成で 24.1kN となる。しかしながら、繊維直交方向の強度は繊維方向の強度の 1/20 ともいわれており、その値から弱軸構成の耐荷力を求めると、5.95kN にしかならないことに留意が必要である。図-7, 図-8 を比較すると、弱軸構成においては、FEM 解析の値は梁理論から得られる値よりも小さいが、強軸構成においては、逆に FEM 解析の値の方が大きい。木材を扱う場合、梁理論と FEM 解析の値に差が生じることが分かっている³⁾が、本研究における梁理論と各 FEM 解析の値の差は数%しかなく、実験を行って比較した場合、実験誤差の方が大きく、差は明確に現れないと考えられる。せん断区間における桁高方向のせん断応力分布を図-9 に示す。強軸構成のせん断応力の最大値は、弱軸構成の最大値の 2 倍ほどの値となる。 z 方向応力に関しては、弱軸構成の最大値が強軸構成の最大値の 1.5 倍大きい(図-4, 図-5)が、せん断応力は逆の傾向を示す。FEM 解析と梁理論を比べると弱軸構成は 2%程の差しか生じないのに対し、強軸構成では 11%の差が生じた。

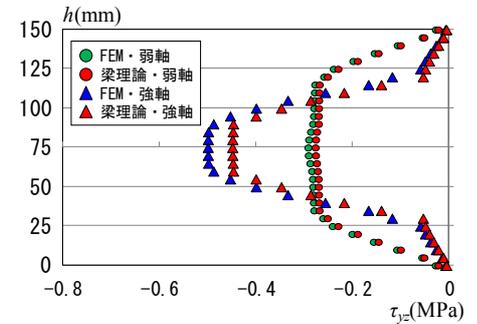


図-9 弱軸構成試験体の桁高方向の応力分布

5. まとめ

本研究では、CLT を土木材料として活用するための基礎研究を軸材料として解析を行い、多くの知見を得た。今後は面材料としての解析を行うとともに、実験を行うなど、継続的に研究を進める予定である。

参考文献

- 1) 「木材工業」編集委員会：木材工業, Vol.68, No.11, p.467, 2013.
- 2) 直交集成板の日本農林規格, p.5, 2013.
- 3) 例えば、千田ら：支間中央に継手を持つハイブリッド木桁の性能試験及び FEM 解析, 土木学会論文集 A1, Vol.67, No.1, pp.108-120, 2011.