

CLT パネルのせん断耐力・剛性に開口が及ぼす影響に関する研究
その2 実験結果と構造性能の評価

CLT 開口 純せん断試験
せん断耐力 せん断剛性 低減率

正会員 小笠原 絢香*1 正会員 前田 匡樹*2
同 厚澤 瑛人*1 同 Hamood Alwashali*3
同 Ahmad Ghazi Aljuhmani*1 同 Alex Shegay*4

1. はじめに

本報では、その1に示した開口を設けた CLT パネルの実験結果を示し、無開口 CLT パネルに対する有開口 CLT パネルの耐力・剛性の低下率について検討する。また、同じくその1で示した変形・剛性の評価方法による計算値と実験値の比較を行う。

2. 実験結果

2.1 せん断力—せん断変形関係、破壊性状及び変形性状

図-1、図-2 に3体試験を行った試験体 A0 (無開口)、全試験体のせん断力—せん断変形関係を示す。

試験体 A6-6 以外の試験体は最大せん断力に到達後、外装ラミナの繊維に沿ったひび割れが発生し、急激にせん断力が低下した。試験体 A6-6 は最大せん断力に達した後徐々にひび割れが進展し、せん断力が上昇せず変形のみが進行する靱性的な挙動を示した。

全ての試験体の最終破壊状況の写真を図-3 に示す。無開口、及び正方形開口試験体は、CLT パネルの強軸方向に割れて破壊した。これはラミナの繊維方向がせん断力に弱く、同じ繊維方向が3層ある強軸方向が、2層しかない弱軸方向よりせん断力に弱いことによる。長方形開口試験体は、開口寸法の長い方向に割れて破壊した。これは開口を除いたパネルの残存長さが短くなったためである。

図-4 にひび割れ発生直前の全ての試験体のせん断・曲げ変形の合計を示す。開口が大きくなるにつれて曲げ変形量が大きくなり、開口面積が 160000mm² を超える試験体から曲げ変形の割合の増加が確認できた。特に試験体 A8-2・A6-6 は曲げ変形が支配的になっているため、曲げ破壊が先行し、せん断力が上がらなかったと考えられる。

2.2 開口サイズ・形状による影響

図-5 に実験による耐力・剛性の低下率—開口率関係を示す。開口面積が大きくなるほど耐力、剛性はともに低下し、剛性の低下率が耐力よりも大きかった。また、同じ開口面積であっても CLT パネルのせん断力の強軸方向に破壊する試験体の耐力がより大きくなった。

開口の最大幅とパネル幅の比と耐力の低下率の関係を図-6 に示す。試験体 A6-6 を除いて、最大開口幅比が大きくなるほど直線的に最大せん断耐力が低下した。図-5 と図-6 を比較すると、耐力の低下については、開口面積より最大開口幅比に影響を強く受ける傾向が見られた。

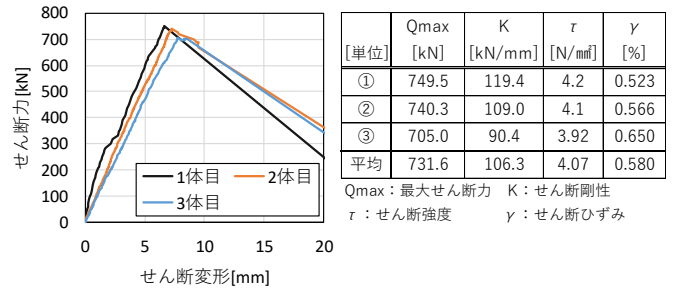


図-1 試験体 A0(無開口)の実験結果

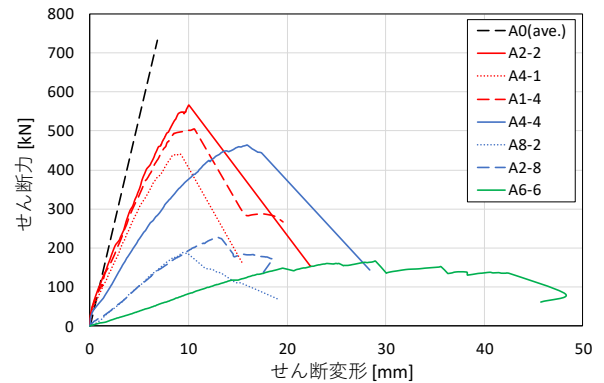


図-2 全試験体のせん断力—せん断変形関係

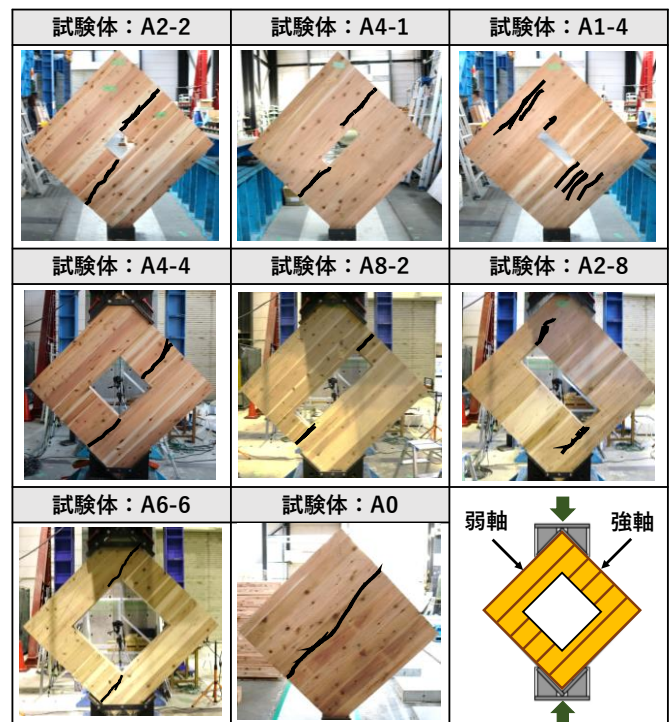


図-3 全試験体の破壊性状一覧

3. 構造性能の評価

3.1 セン断耐力の評価

実験結果から、最終破壊性状は図-7 に示す 2 パターンに区別でき、パネルの幅に対する開口幅比と面内弱軸・強軸せん断力の関係が影響する。そのため、無開口 CLT パネルに対する有開口 CLT パネルの耐力の低下率は、図-8 に示す式(8)により算出されると考えられる。この時、式(8)に用いられている係数 0.94 は、本報その 1 の材料試験及び参考文献²⁾により求められた強軸方向に対する弱軸の面内せん断応力度比である。

式(8)により求められる耐力低下率の計算値と実験値の比較を図-9 に示す。計算値と実験値は概ね一致しており、最大開口幅比に加えて面内せん断弱軸・強軸方向を考慮することで精度良く推定できた。

3.2 セン断剛性の評価

本報その 1 で示した変形・剛性の計算方法を用いて算出した剛性の計算値と実験値の比較を図-10 に示す。ここで CLT 設計施工マニュアル¹⁾を参考に、形状係数 $\kappa=1$ 、せん断弾性係数 $G=500[\text{N}/\text{mm}^2]$ 、面内曲げヤング係数 $E=2100[\text{N}/\text{mm}^2]$ (弱軸・強軸の平均値) と実験による各試験体の最大せん断力を用いて算出した。また、せん断剛性の実験値は文献 1 を参考にした完全弾塑性モデル作成時の剛性を比較に使用した。試験体 A0・A8-2 以外の試験体で、実験値と計算値が概ね一致した。試験体 A0 は、実験値と計算に用いたせん断弾性係数 G に大きな差があるため、剛性の実験値と計算値の間に大きな差が発生したと考えられる。また、試験体 A8-2・A6-6 については、曲げ変形が支配的であり、せん断応力度も他の試験体と比較して小さいことから、実験値と計算値に大きな差があると考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- ① 開口を設けた CLT パネルの構造性能を解明するため、単調再試験を行った。
- ② 開口が大きくなると耐力・剛性が低下し、剛性の低下率のほうが大きかった。
- ③ セン断耐力の低下率は、最大開口幅に加えて面内せん断弱軸・強軸方向を考慮することで、概ね推定することが可能となった。
- ④ セン断剛性の低下率は概ね良好に推定できたが、無開口 CLT パネルや、曲げ変形が支配的になる試験体では、さらなる検討をしていかなければならない。

【謝辞】

本研究を行うにあたり宮城県 CLT 等普及推進協議会の助成を頂いた。ここに記し関係各位に感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) CLT 設計施工マニュアル
- 2) CLT の面内せん断性能に層構成とラミナ等級が与える影響 中島晶一 他 (日本建築学会学術講演梗概集 2015 年 9 月)

*1 東北大学大学院工学研究科 博士課程前期
 *2 東北大学大学院工学研究科 教授 博士 (工学)
 *3 東北大学大学院工学研究科 助教 博士 (工学)
 *4 東北大学大学院工学研究科 学術研究院・Ph.D.

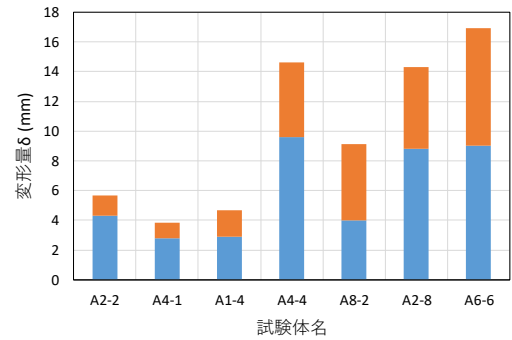
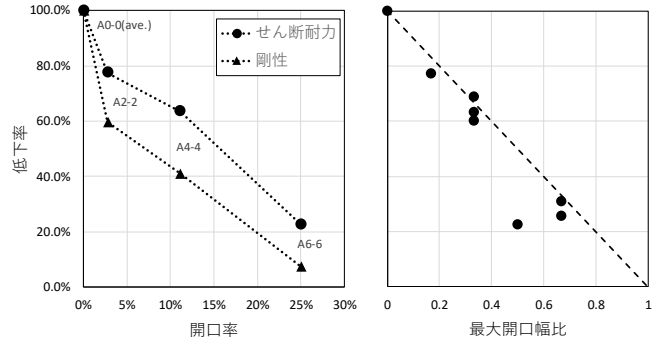


図-4 各エリアのせん断・曲げ変形の合計



(左) 図-5 耐力・剛性に対する開口面積の影響
 (右) 図-6 耐力低下率と最大開口幅比の関係

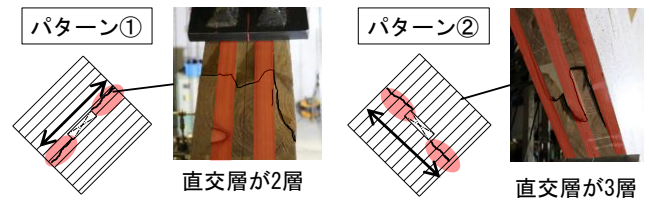
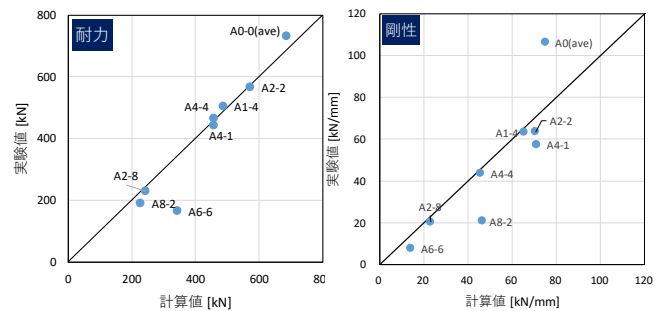


図-7 試験体の破壊パターン概要

$$\begin{aligned}
 & \text{耐力低減係数 } \alpha \\
 & = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \textcircled{1} (l - l_0) \times 0.94 \\ \textcircled{2} h - h_0 \end{array} \right. \\
 & \text{有開口CLTパネルせん断耐力} \\
 & = \text{耐力低減係数 } \alpha \times Q_0 \quad \dots (8)
 \end{aligned}$$

図-8 有開口 CLT パネルのせん断力の推定方法



(左) 図-9 セン断力の実験値と計算値の比較
 (右) 図-10 セン断剛性の実験値と計算値の比較

*1 Graduate Student, Graduate School of Eng., Tohoku Univ.
 *2 Professor, Graduate School of Eng., Tohoku Univ., Ph.D.
 *3 Assistant Professor, Graduate School of Eng., Tohoku Univ., Ph.D.
 *4 Research Fellow, Graduate School of Eng., Tohoku Univ., Ph.D.