

木質系面材による RC 骨組の耐震補強工法に関する実験的研究：その 4 CLT 耐震補強効果のメカニズム

正会員 ○幅 亮太* 正会員 高橋 豪** 正会員 森 拓郎*** 正会員 北守 顕久***
正会員 五十田 博*** 正会員 福原 武史**** 正会員 栗原 嵩明****

木質 RC 骨組 耐震補強工法
CLT 耐震壁 接着工法

1.はじめに

その 3 では、CLT による耐震補強試験体の実験結果について述べた。本報では材料要素試験で得られた結果を基に、耐震補強試験結果の分析をおこなう。

2. 要素実験

2.1 CLT に関連して実施した要素実験

本報で行った材料試験および単位接合部要素試験は CLT の圧縮試験、CLT の面内せん断試験、CLT 面材パネル同士の接着せん断試験、CLT 面材パネルとコンクリートの接着せん断試験の 4 種類である。特に構造実験では CLT 面材パネルを斜めに配置する斜交型補強法を検討課題として用いている。この効果を検証する為、上記の各種材料試験、要素試験の実験のパラメータとして繊維の傾斜角度を設定した。

2.2 CLT 材料の構成

使用した CLT 材料は構造実験に用いたものと同時に作製した、厚さ 30mm の 3 層 3 プライ異等級スギ CLT である。ラミナの平均曲げヤング係数は 7.97kN/mm^2 、原板の密度は平均値 381.8kg/m^3 であった。

2.3 圧縮試験

圧縮強度または座屈強度を検討するための圧縮実験の概要、試験体の種類を図 1 に示す。試験体は 5 種類(各 6 体、計 30 体)であり、パネル表層の繊維方向(鉛直方向に対して $\theta=0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$)の異なる条件を設けた。

圧縮強度の結果を図 2 に示す。 $\theta=0^\circ$ の圧縮強度が最も高く、 25N/mm^2 であった。試験体表層の繊維方向が傾くにつれて、圧縮強度は低下したが、 $30^\circ\sim 90^\circ$ は概ね同程度の圧縮強度であり、 11N/mm^2 程度の値を示した。CLT の直交積層効果により、一般木材ほどの顕著な異方性は示さないことが分かった。なお、以降の耐震補強試験体の考察では、W-C01 は 90° 、W-Cs01 および W-Cs02 は 60° 、Wo-C03 では 0° の圧縮試験結果を参考にする。

2.4 CLT せん断試験

パネルせん断を受ける木材は加力方向に対する繊維角

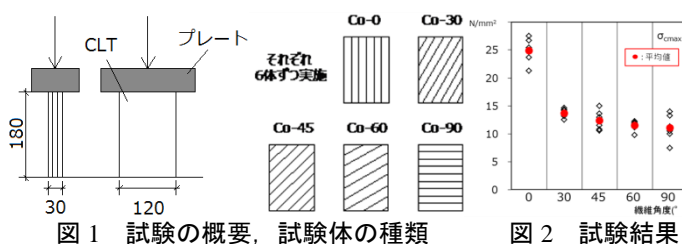


図 1 試験の概要、試験体の種類 図 2 試験結果

度によっては軸力抵抗が生じ、見かけのせん断弾性係数が変化する。パネル自体のせん断弾性係数とせん断強さを逆対称 4 点曲げ試験で検討した。図 3 に試験方法、試験体の種類とせん断変形角 γ 、平均せん断応力度 τ_{ave} 、せん断強度 F_s 、せん断弾性係数 G の式をそれぞれ(1), (2), (3), (4)に示す。試験体は 3 種類(各 6 体、計 18 体)であり、パネル表層の繊維方向(水平面に対して $\theta=0^\circ, -30^\circ, 30^\circ$)を変化させた。パネル下端部の表裏両側で計測した水平変位から、みかけの変形角を求めた。

図 4、表 1 に実験結果を示す。全ての試験体においてせん断強度は概ね 6N/mm^2 程度であった。ただし、 30° 条件(S-30T)では両者にせん断破壊がおこらなかったため参考値である。せん断弾性係数は 0° 条件では 700N/mm^2 程度、 -30° と 30° 条件では両者に大きな差異は無く 1400N/mm^2 と 0° 条件の 2 倍近い値を示した。

2.5 CLT-CLT の接着強度試験

2.4 の逆対称 4 点曲げ試験方法において、左右部材を中央で接着厚 5mm のエポキシ樹脂接着によって試験体を構成し、接着せん断試験をおこなった。試験体は 3 種類(各 6 体、計 18 体)である。全ての試験体において、最大耐力は 2.4 の条件を上回り、接着界面ではなく、パネル自体で破壊を生じた。よって、接着材のせん断強度はパネルのせん断強度を上回ることを確認した。

2.6 CLT-RC の接着強度試験

2.5 と同様に、逆対称 4 点曲げ試験によってエポキシ樹脂を用いた CLT とコンクリートの接着強度を検討した。

図 5 に試験の概要と試験体の種類を示す。コンクリート

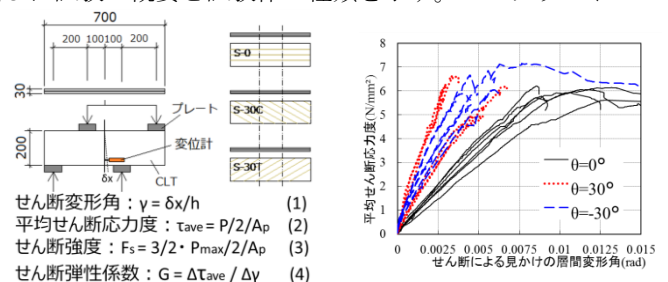


図 3 試験の概要と試験体の種類 図 4 せん断試験結果

表 1 せん断試験結果

| 平均値 | S-0 | S-30T | S-30C |
|-----------------------------|--------|---------|---------|
| $\tau_{max}[\text{N/mm}^2]$ | 8.99 | 8.73 | 9.05 |
| $G[\text{N/mm}^2]$ | 701.04 | 1413.06 | 1433.18 |

試験体はフレーム試験体と同時に打設した普通コンクリートであり、試験時圧縮強度 25 N/mm²であった。エポキシ樹脂の接着厚さは 5mm とした。

表 2 に実験結果を示す。試験体は、いずれもコンクリートの表面より中に入ったコンクリート面でせん断破壊した。最大せん断応力度はいずれの条件下においても、ばらつきが大きかったが τ_{max} の平均値は 3N/mm²程度を示した。

3. 補強効果と耐力発現機構

CLT 耐震壁接着工法試験体の補強効果を確認するため、その 3 で得られた実験結果の荷重-変形関係の包絡線耐力から、同一変位時の RC フレームの包絡線耐力を差し引いたものを、パネル上辺の接着面積で除し、パネル面内の平均的なせん断応力度として図 6 に示した。図 6 には 2.4 で得られたせん断弾性係数を形状係数の 1.2 で除して算出したせん断剛性をあわせて示す。また、フレームとパネルの接着面における上端および下端の変位計の値より接着剥離の層間変形角 R を決定し、図 6 中に丸でプロットした。

3.1 接着剥離前(0~4 × 1000⁻³ rad.時)

図 7 に示すように、W-C01, W-Cs01, W-Cs02 の接着破壊前の最大せん断応力度は 3N/mm²前後であり、2.6 の材料試験結果と概ね等しい接着強度を発揮したが、W-C03 は材料試験結果を大きく下回った。また、いずれの試験体の補強効果も、2.4 の材料試験から求めたせん断剛性と、ほぼ同等の剛性が発揮されているが、せん断強度については材料試験結果以下であった。

3.2 終局変形時(4-10 × 1000⁻³ rad.時)

終局変形時における、全面壁型、方立壁型の試験体の力のつり合い関係の模式図と曲げモーメントの釣り合い式(5), (6)を図 8 に示す。ここでは静止摩擦係数 μ を 0.3

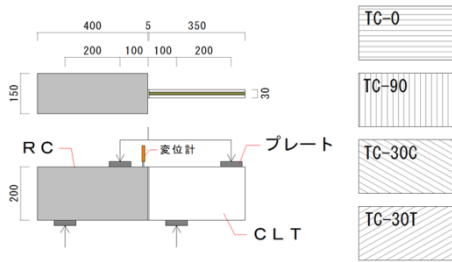


図 5 せん断試験方法と試験体の種類

表 2 CLT-RC の接着強度試験結果

| $\tau_{max}(N/mm^2)$ | 平均値 | 標準偏差 | 5%下限値 |
|----------------------|------|------|-------|
| TC-0 | 3.50 | 1.09 | 0.95 |
| TC-90 | 2.89 | 1.02 | 0.51 |
| TC-30C | 2.88 | 1.24 | — |
| TC-30T | 3.39 | 0.61 | 1.97 |

※TC-30C はばらつきが大きく、5%下限値を算出できず。

*京都大学大学院 農学研究科
 ** (一財) ベターリビング
 *** 京都大学 生存圏研究所
 **** (株) 竹中工務店 技術研究所

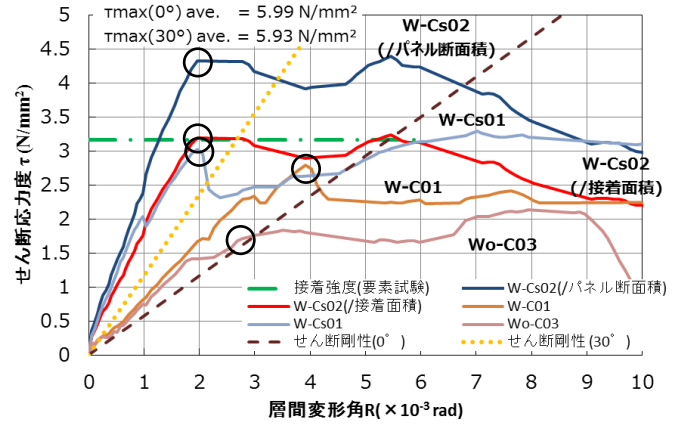


図 6 せん断応力度 - 層間変形角

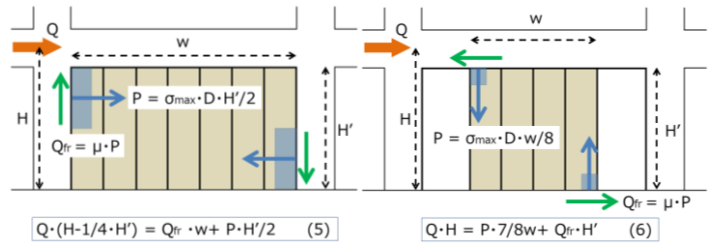


図 7 終局変形時(左：全面壁型，右：方立壁型)

表 3 実験値と計算値の比較

| (kN) | 計算値 | 実験値 | 計算値/実験値 |
|--------|-----|-----|---------|
| W-C01 | 323 | 223 | 1.45 |
| W-Cs01 | 336 | 304 | 1.11 |
| Wo-C03 | 128 | 111 | 1.15 |
| W-Cs02 | 336 | 282 | 1.19 |

とした。全面壁型は鉛直変位が摩擦によって拘束されるため、パネル側面の圧縮抵抗によって、方立壁型はパネル上下の端部の圧縮抵抗によって、耐力を発現するモデルとし、圧縮が終局耐力に達する時の圧縮抵抗および摩擦抵抗によるモーメントと外力モーメントのつり合いから補強効果の終局耐力を計算した。

表 3 に(3), (4)の計算結果と実験結果の比較を示す。計算結果は実験結果の値と概ね一致することが分かった。

4. まとめ

耐震補強試験体の剛性、接着破壊前の最大耐力、終局変形時の最大耐力は、材料試験の試験結果から求めた計算結果より評価できることが分かった。

「謝辞」

本研究の一部は林野庁助成事業（平成 25 年度補正 林野庁委託事業 CLT 等新製品・新技術利用促進事業）の一環として実施されたものです。実験にあたり信州大学田守伸一郎准教授のご協力ををいただきました。ここに謝意を表します。