

B-21

隅角部を支圧接合したCLTパネル耐震壁の水平剛性の評価方法に関する基礎的研究

(その1) 要素実験および数値解析による圧縮ブレース置換の軸剛性の把握

Basic Study on Evaluation Method for Horizontal Stiffness of CLT Panel Seismic Wall with Bearing Pressure Support at Corners (Part 1) Determination of Axial Stiffness of Compression Brace Replacement Based on Experiment and Numerical Analysis

○沖田空³, 宮里直也¹, 廣石秀造¹, 鴛海昂¹, 岡田章², 高野敦士³
 *Sora Okita³, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi¹, Akira Oshiumi¹, Akira Okada², Atsushi Takano³

Abstract: Seismic wall with CLT panel, can be modelled by replacing them with compression brace, as compression forces are transmitted in the diagonal direction during horizontal loading. One method of replacing the seismic wall with a compression brace is to model it with a series spring of axial stiffness K_1 and joint spring stiffness K_2 . However, the evaluation method for each stiffness has not yet been established. From the above, this paper reports on a study of axial stiffness K_1 with the aim of establishing an evaluation method for CLT panel as seismic wall. In Part 1, experiment and numerical analysis are carried out using a part of the CLT panel and the axial stiffness K_1 is discussed.

1. はじめに

近年, CLTパネルを中大規模鉄骨造の耐震壁に採用する事例が増加している. CLTパネルと鉄骨架構との取り合いは各種提案されているが, 本研究では施工性に優れ, 脆性的な破壊を生じにくい, 隅角部を支圧接合した耐震壁を対象とする. 本接合を用いた耐震壁は, 水平荷重時にCLTパネルの対角方向に圧縮力のみが伝達されるため, 圧縮ブレースとしてモデル化が可能である (Fig. 1). 耐震壁の圧縮ブレースへの置換は, 軸剛性 K_1 と接合部ばね剛性 K_2 の直列ばねとして, 対角方向の等価剛性 K_b を算出する方法が一般的である. しかし, CLTパネルの各剛性 $K_{1,2}$ および等価剛性 K_b の評価方法は, 未だ確立されていない.

以上を踏まえ, 隅角部を支圧接合したCLTパネル耐震壁の水平剛性の評価方法の確立を目指し, 軸剛性 K_1 についての検討を報告する. 本報(その1)では, CLTパネルの一部分を取り出した要素実験および数値解析を行い, 軸剛性 K_1 について考察する.

2. 要素実験および数値解析概要

耐震壁の一部分を抽出した試験体を対象にして, 圧縮実験 (以下「要素実験」と称す) および数値解析による検討を行った. 本報で対象とするCLTパネル耐震壁を Fig. 2, 要素実験および数値解析の試験体一覧を Fig. 3に示す. 試験体は, 面圧角度と繊維方向の関係が耐震壁と同様になるように抜き出した. 耐震壁の対角方向の応力負担幅を300mmと仮定し, 試験体寸法は幅300mm×高さ300mmとした. また, ハンキンソン式の K_1 値と比較するため, 強軸および弱軸方向に平行な試験体も対象とし, 計3ケース, 各3体とした. CLTパネ

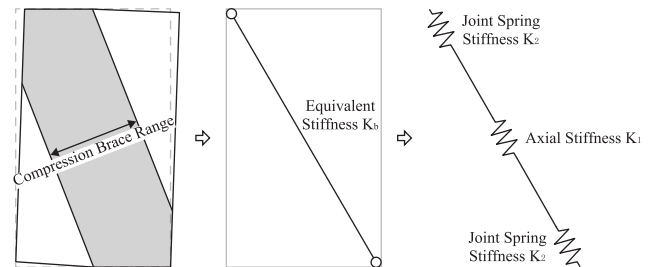


Figure 1. Compression Brace Mechanism

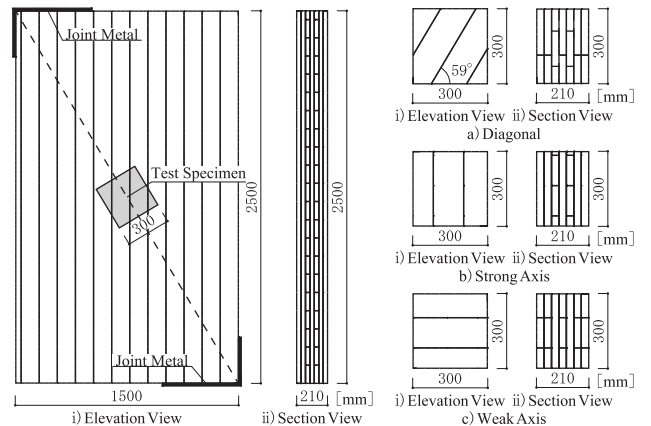


Figure 2. Study Model

Figure 3. Test Specimen List

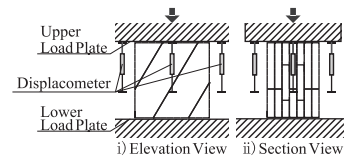


Figure 4. Overview of Compression Experiment



Figure 5. Experiment Photo

ルはS60Aの5層7プライ, 杉, 幅はぎ接着はなしとした. 要素実験概要および実験写真を Fig. 4, Fig. 5に示す. 実験には2000kN 耐圧試験機を用いて, 『構造用木材の強度試験マニュアル^[1]』に記載された縦圧縮試験方法に準じて行った. また, 上下載荷板間の鉛直変位は4箇所測定し, その平均値を全体の鉛直変位とした.

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大理工・上席研究員 3 : 日大理工・院 (前)・建築

数値解析概要をFig.6に示す. 本検討では, CLTパネル変形時のラミナ相互の滑りを考慮するため, 接触解析を行った. また, 荷重に伴うラミナ相互およびラミナと載荷板の接触時には, 摩擦係数0.45, 0.30をそれぞれ考慮した接触面を設定した. 荷重は, 試験体下部の載荷板(剛体)を固定し, 試験体上部の載荷板を(-Z)方向に強制変位させることにより付加した. その際, (Y)方向の変形は拘束した. なお, 数値解析には汎用解析プログラムADINA(Ver.9.8)を用いた.

3. 要素実験および数値解析結果

Fig.7に要素実験および数値解析で得られた荷重 - 鉛直変位関係を示す. 実験では全モデルにおいて, 概ね線形的に荷重が増加した後に降伏することが確認された. また, 降伏後に大きな耐力低下は確認されなかった.

要素実験および数値解析の結果をTable.1, 最小主応力図をFig.8に示す. 軸剛性 K_1 は(1)式を用いて算出した. なお, F_1 および F_2 は文献[1][4]を参考に, それぞれ最大荷重の推定値の30%, 60%とした.

$$K_{1(0,90)} = \frac{F_2 - F_1}{w_2 - w_1} \quad (1)$$

$F_2 - F_1$: 荷重鉛直変位関係の直線部分の荷重増分

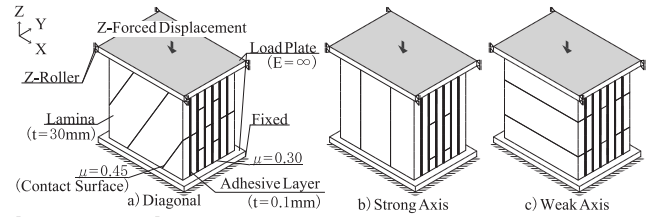
$w_2 - w_1$: $F_2 - F_1$ に対応する鉛直変位の増分

また, 強軸および弱軸方向の軸剛性 $K_{0,90}$ も算出し, 面圧角度と任意繊維方向の関係式であるハンキンソン式[5]を用いた K_1 の算出も行った.

Table.1より, 要素実験と数値解析の K_1 および $K_{0,90}$ は概ね一致しているため, 解析モデルは妥当であると判断した. 軸剛性 K_1 は要素実験および数値解析では379, 363kN/mmであるのに対し, ハンキンソン式は803kN/mmと約2.1倍大きく評価されている. また, 最小主応力図(Fig.8)より, 300角の試験体の場合, 上下の載荷板と接しているラミナが主に荷重を負担していることが確認された. すなわち, 1・2・4・6・7プライ目の平行層のラミナの内, 端部の三角形形状のラミナは荷重をほとんど負担していない. 一方で, Fig.2で示した耐震壁の応力負担幅内の場合, このような応力を負担しないラミナは存在しないと考えられる. また, ハンキンソン式もこのような応力状態を想定していないため, K_1 に大きな差が生じたと考えられる. したがって, 応力方向を考慮した要素実験を行って K_1 を算出する場合, 応力を負担しない三角形形状のラミナが試験体寸法に対して占める割合に注意する必要性が示唆された.

4. まとめ

本報(その1)では, 耐震壁の応力負担幅を想定し



[Analysis Parameters]

Material : Cedar (3D-Solid)
Boundary Conditions : Displacement constraints of the rigid body under the model Displacement constraint in the Y-direction of the model
Loading Condition : Forced displacement of the rigid body on top of the model
[Material properties (a : Tangential, b : Radius, c : Fiber Direction)]
Elastic Modulus (N/mm ²) [2][5] : E _c =8150, E _{ab} =163
Poisson's Ratio [2] : ν _{ab} =0.901, ν _{ac} =0.580, ν _{bc} =0.405
Shear Modulus (N/mm ²) [2] : G _{ab} =70, G _{ac} =635.5, G _{bc} =635.5
Elastic Modulus of The Adhesive Layer (3D-Solid) [2] : E=100N/mm ²

Figure 6. Overview of Numerical Analysis

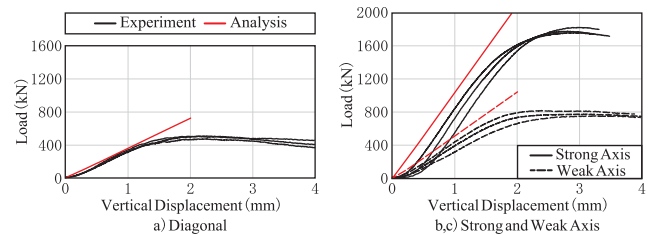


Figure 7. Load-Vertical Displacement Relationship

Table 1. Experiment and Numerical Analysis Results

	First Sample	Second Sample	Third Sample	Average Value	Hankinson Value	Analytical Value
Axial Stiffness [kN/mm]						
Diagonal (K_1)	377	394	368	379	803	363
Strong Axis (K_{0})	1070	1100	1095	1088		1053
Weak Axis (K_{90})	478	507	410	465		533

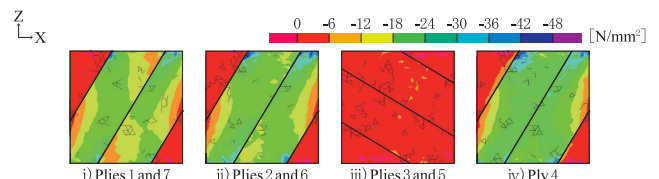


Figure 8. Minimum Principal Stress Diagram Based on Numerical Analysis (Central Cross Section of Each Ply)

た300角の試験体を用いて軸剛性 K_1 の算出を試みた. 本検討より, 対象とするCLTパネル耐震壁は, 降伏後に大きな耐力低下が生じないことを確認した一方で, 荷重を負担しないラミナの影響により, K_1 は過小評価となることを把握した.

5. 参考文献

- [1] 日本住宅・木材技術センター:「構造用木材の強度試験マニュアル」,2011.3
- [2] 松田昌洋他:「面内応力を受けるCLTの接着面をCZMとした有限要素法モデルの検討」,日本建築学会構造系論文集,88巻803号,pp.81-90,2023.1
- [3] 日本建築学会:「木質構造基礎理論」,2010.12
- [4] 荒木康弘他:「5層7プライヒノキCLTの部分圧縮性能に関する実験的研究」,日本建築学会技術報告集,28巻70号,pp.1201-1205,2022.10
- [5] 中島昌一他:「直交集成板の面圧および端部せん断挙動と繊維角度依存性」,木材学会誌,60巻4号,pp.216-226,2014.7