

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2) 実大モデルおよび部分モデルを用いた応力負担幅の数値解析的検討

Basic Study on Evaluation Method for Horizontal Stiffness of CLT Panel Seismic Wall with Bearing Pressure Support at Corners
(Part 2) Numerical Analysis Study on Stress Burden Width Using Full-Scale Model and Partial Model

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

Abstract: In Part 1, experiment and numerical analysis were carried out with a portion of the CLT panel taken out in order to calculate the axial stiffness K_1 of a model in which the target CLT-panelled seismic wall is replaced by a compression brace. However, the axial stiffness K_1 could not be ascertained because the triangular lamina at the ends bore little stress. From the above, a full-scale numerical analysis was carried out to determine the stress burden width, and numerical analysis with extraction width as a parameter using several partial models extracted from a full-scale model was carried out to try to calculate the axial stiffness K_1 . The results of the analysis are compared with the values calculated using the Hankinson formula, and the evaluation method is discussed.

1. はじめに

前報(その1)では, CLT耐震壁を圧縮ブレースに置換するための軸剛性 K_1 の算出を目的として, 300角の試験体を対象に, 要素実験および数値解析を行った. 300角の試験体では, 端部のラミナの影響が大きく, 軸剛性 K_1 は過小評価となった. 一方, 数値解析では要素実験と同様な評価が可能であることを確認した.

以上を踏まえ, 本報(その2)では, まず実大規模を対象とした数値解析により応力負担幅を把握する. さらに, 部分モデル(実大規模から一部分を抽出した解析モデル)を提示し, 当モデルの抽出幅をパラメータとした数値解析を行い, K_1 の算出を試みる.

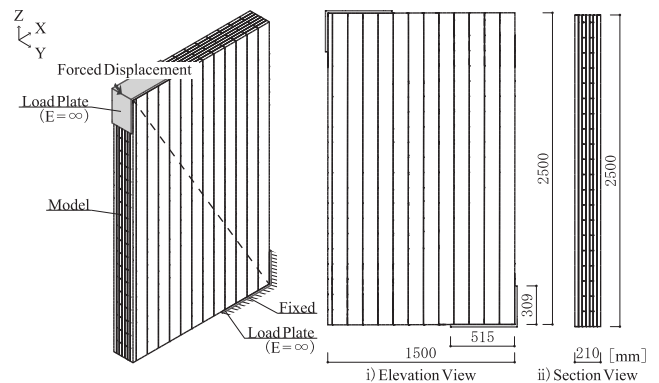
2. 実大規模のCLTパネルを模擬した数値解析

2-1. 数値解析概要

実大規模のCLTパネルの対角方向に圧縮力を加えた場合の応力状態の把握を目的として, 数値解析を行った. 解析概要をFig.1に示す. 解析モデルの材料諸元は前報と同様とした. 接合金物はL型の剛体とし, CLTパネル端部の対角に配置した. また, 試験体右下の剛体は固定し, 試験体左上の剛体を対角方向に強制変位させることにより荷重を付加した. その際, (Y)方向の変形は拘束した.

2-2. 数値解析結果

数値解析により得られた最小主応力図をFig.2に示す. 端部金物近傍で応力集中が見られるが, 3・5プライ目の直交層を除き, 概ね対角方向に最小主応力が分布することを確認した. また, 1・2・6・7プライ目の平行層の最小主応力は, ラミナごとの境界



【Analysis Parameters】	
Material :	Cedar (3D-Solid)
Boundary Conditions :	Displacement constraints of the rigid body at the bottom right of the model Displacement constraint in the Y-direction of the model
Loading Condition :	Forced displacement of the rigid body at the top left of the model
【Material properties (a : Tangential, b : Radius, c : Fiber Direction)】	
Elastic Modulus (N/mm ²) ^{[1][2]} :	$E_c=8150, E_{ab}=163$
Poisson's Ratio ^[1] :	$\nu_{ab}=0.901, \nu_{ac}=0.580, \nu_{bc}=0.405$
Shear Modulus (N/mm ²) ^[1] :	$G_{ab}=70, G_{ac}=635.5, G_{bc}=635.5$
Elastic Modulus of The Adhesive Layer (3D-Solid) ^[1] :	$E=100\text{N/mm}^2$

Figure 1. Overview of Numerical Analysis

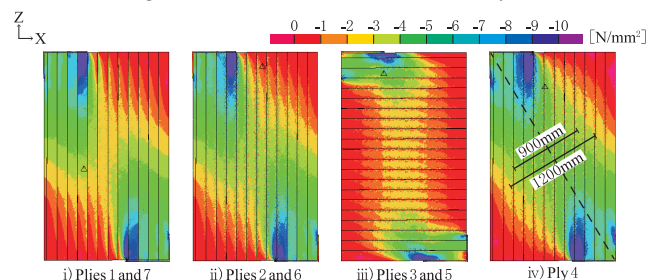


Figure 2. Minimum Principal Stress Diagram
(Central Cross Section of Each Ply)

に沿うように分布している. 一方で, 4プライ目は, ラミナごとの境界は見られず, 1枚のパネルと同様の分布性状を示した. これは, 両側面の直交層により拘束され, ずれ変形を生じずに応力を負担しているためと考えられる. パネル中央の4プライ目に着目すると, 対角方向の応力負担幅は最大900~1200 mm程

度であると考えられる。そのため、試験体幅600mmと900mmを対象にして、抽出幅をパラメータとした部分モデルを設定して軸剛性 K_1 の検討を行った。

3. 部分モデルを用いた軸剛性 K_1 の検討

3-1. 数値解析概要

数値解析モデル一覧をFig.3, 解析概要をFig.4に示す。部分モデルの抽出幅は600, 900mmとし、高さは前報同様に300mmとした。また、材料諸元や解析手法も前報と同様とする。

3-2. 数値解析結果

数値解析により得られた最小主応力図をFig.5に示す。抽出幅300mmと同様、600, 900mmにおいても、端部のラミナは応力をほとんど負担していない。その影響の度合いを比較するため、(1)式より、圧縮弾性係数 E_c を算出する。

$$E_c = \frac{\ell}{A} \cdot \frac{F_2 - F_1}{w_2 - w_1} \quad (1)$$

ℓ : 標点距離(本検討では試験体高さとする)

A : 加圧面の面積

$F_2 - F_1$: 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、軸剛性 K_1 も併せて算出した。ここで、数値解析を用いた K_1 の評価において応力負担幅を300mmと仮定した場合、要素実験および数値解析の抽出幅の設定方法を模索するため、加圧面積を考慮し、 K_1 をそれぞれ1/2, 1/3倍した結果も算出した。

圧縮弾性係数 E_c および軸剛性 K_1 の算出結果をTable.1に示す。抽出幅600mmの E_c は300mmに対して1.58倍、900mmは600mmに対して1.05倍であり、抽出幅が大きくなるに伴い E_c の値が収束する傾向が得られた。つまり、抽出幅900mm以上で端部のラミナの影響が小さくなり、精度の高い結果が得られると推察される。

次に、応力負担幅を300mmと仮定し、その際の K_1 を600, 900mmの結果より加圧面積を考慮して逆算すると、それぞれ575, 608kN/mmとなり、300mmの結果と比べ、1.58, 1.67倍となった。 E_c の結果も踏まえると、 K_1 は610kN/mm程度が適切であると考えられる。また、ハンキンソン式を用いて算出した K_1 は、解析結果に対して、300mmでは2.31倍、600mmでは1.47倍、900mmでは1.40倍となる。したがって、ハンキンソン式を用いてCLTパネルの任意方向の軸剛性を評価すると、過大となることが示唆された。

4. まとめ

本報(その2)では、抽出幅をパラメータとした部

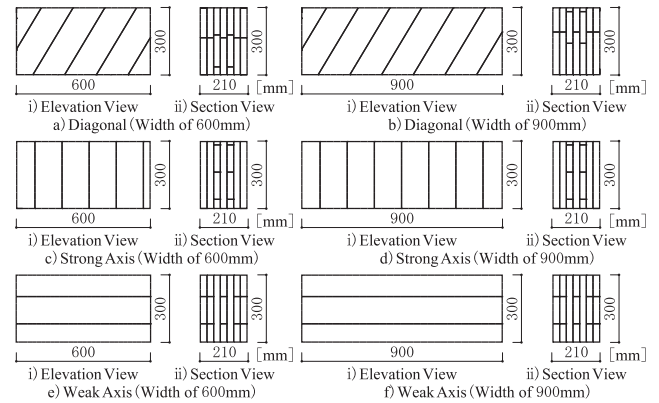
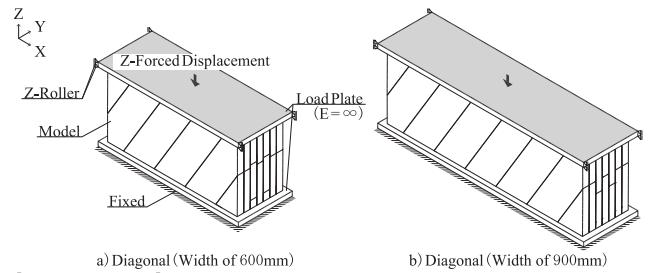


Figure 3. Partial Model Lists



[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) ^{[1][2]}	$E_c=8150, E_{ab}=163$
Poisson's Ratio ^[1]	$\nu_{ab}=0.901, \nu_{ac}=0.580, \nu_{bc}=0.405$
Shear Modulus (N/mm ²) ^[1]	$G_{ab}=70, G_{ac}=635.5, G_{bc}=635.5$
Elastic Modulus of The Adhesive Layer (3D-Solid) ^[1]	$E=100\text{N/mm}^2$

Figure 4. Overview of Numerical Analysis Using Partial Model

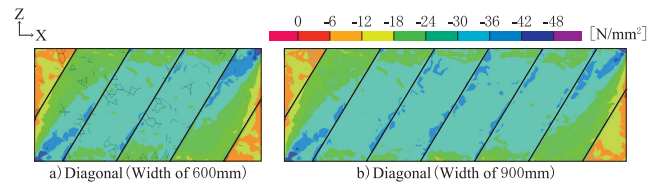


Figure 5. Minimum Principal Stress Diagram (Central Cross Section of Ply4)

Table 1. Numerical Analysis Results Using Partial Model

		Width of 300mm	Width of 600mm	Width of 900mm
Bulk Modulus (E_c) [kN/mm ²]		1.73	2.74	2.89
Axial Stiffness (K_1) [kN/mm]	Analytical Value	363	1150	1823
	Predicted Value Width of 300mm		575	608
	Hankinson Value	838	1695	2557

分モデルを用いて K_1 の算出を試みた。その結果、応力負担幅が300mmの場合においても、要素実験の抽出幅は900mm程度とし、300mmの K_1 を900mmの結果から加圧面積を考慮して逆算する必要性が示唆された。また、ハンキンソン式を用いた K_1 の算出は、ラミナごとのずれ変形を考慮できないため、過大評価になることが把握された。

5. 参考文献

- [1] 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
- [2] 日本建築学会:「木質構造基礎理論」, 2010.12