

鋼製枠組みと LVL パネルを用いたハイブリッド耐震システムの開発 —その3 実験結果と解析の比較—

正会員 ○落合 徹* 同 塩手 博道*
同 丸谷 周平*

大規模木質構造 耐震構造 単板積層材
鉄骨構造 実大実験

1. はじめに

本編では、その2で示した実験結果を基に、解析によって耐震パネルの応力状態を確認する。また、耐震パネルの構造システムが簡単なモデルで表現できる有効なシステムであることを示す。解析モデルはその2で示したトラス構造を用いてモデル化する。

2. 耐震パネルの応力伝達機構

耐震パネルの応力伝達機構は、その2で示したように枠組み CT はせん断力を負担せず、LVL パネルが 100%せん断力を負担している。LVL パネルは、図1の上端の加力点側(A)と下端対角側(B)、およびジベル部のみ枠組み CT と接しているため、それらの接面のみ応力の伝達が行われる。ここでは、ある程度の面積を持った面を介して支圧力で応力を伝達しているため「接点」ではなく、「接面」という用語を用いている。

まず水平力の伝達について考えると、図1に示すように、水平力の応力伝達を行っている接面は、上端の加力点側(A)と下端の加力点と逆側(B)である。これは LVL パネル内を対角線上に応力が伝達されていることを示し、単純に圧縮ブレース状の応力状態になっていると考えられる。次に、ジベルから枠組みに伝わる応力は、図2に示すように、枠組み CT の引張側の引張応力を圧縮側の圧縮応力へ LVL パネルを介して伝達しているため、引張ブレース状と考えることができる。

以上により、LVL パネルの応力伝達機構は、圧縮ブレースと引張ブレースで置換できると考えられる。

3. 各ブレースの剛性とその算定法

前項で示した、圧縮ブレースと引張ブレースが持つ剛性の考え方と算定法を示す。

圧縮ブレースは、主に水平力を伝達する。水平力の伝達機構は、主に LVL パネルのせん断応力である。よって、LVL パネルのせん断剛性を求めることで圧縮ブレースの軸剛性を求めることができる。しかし、明快な圧縮ブレース機構を形成できる要因の一つとして、LVL パネルの回転が挙げられる。LVL パネルの下端の加力点側(C)が加力時に浮き上がらなければ、LVL パネルが枠組み CT の中で回転せず、ブレース状よりもせん断壁状の挙動となる。以上より、圧縮ブレースの軸剛性を求めるにあたってはパネルの回転剛性を加味する必要がある。図3に示すように、同一の水平力に対して、LVL パネルがせん断変形および回転変形するため、相互の剛性は直列接続であると考えられる。

引張ブレースは、主に LVL パネルの回転を抑制する応力を

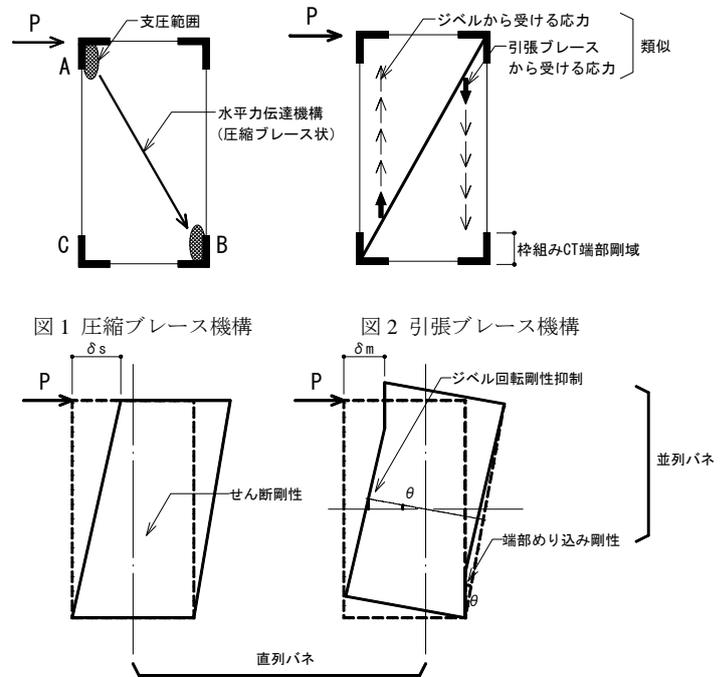


図3 各変形要素の相互関係

模擬する。しかし、LVL パネルの回転抑制に対する剛性は、パネルの回転変形に対して働くため、図3の右図に示すように LVL パネルの回転剛性と並列接続であると考えられる。

これを式で表現すると、次式となる。

$$\frac{1}{K_H} = \frac{1}{K_S} + \frac{1}{K_M + K_J} \quad (1)$$

$$\frac{1}{K_C} = \frac{1}{K_S} + \frac{1}{K_M} \quad (2)$$

$$K_T = K_H - K_C \quad (3)$$

ここで、 K_H はシステム全体の水平剛性、 K_S は LVL パネルのせん断剛性、 K_M は LVL パネルの回転剛性、 K_J はジベルの回転抑制剛性、 K_C は圧縮ブレース水平換算剛性、 K_T は引張ブレース水平換算剛性を示す。

次に、それぞれの変形要素が持つ剛性を算定する。

LVL パネルのせん断剛性 K_S は、次式で算定する。

$$K_S = \frac{t \cdot w \cdot G}{H} \quad (4)$$

ここで、 t は LVL パネルの厚さ、 w は LVL パネルの幅、 G は LVL パネルのせん断弾性係数 ($G=E/15$)、 H は LVL パネル

の高さを示す。

LVL パネルの回転剛性は、図 5 を参考に、枠組み CT の端部にめり込むことで起きる回転剛性を考える。めり込み範囲は、端部三角プレートによる補強範囲とする。ここでは、図 5 における端部の三角めり込みモーメントと水平力によって発生する偶力モーメントが釣合うと考え、回転剛性を算出すると下式となる。

$$K_M = \frac{2H_p^3 \cdot t \cdot E_{90}}{H^2 \cdot w'} \left[\frac{1}{3} + \frac{2w'}{3H_p} \left\{ 1 - \exp\left(\frac{-3(H - H_p)}{2w'} \right) \right\} \right] \quad (5)$$

ここで、 H_p は縦方向端部剛域長さ、 E_{90} は繊維直方向ヤング係数、 w' はめり込み有効長さを示す。

ジベルによる回転抑制剛性は次式で算定する。

$$K_J = \frac{w^2}{2H^2} \cdot n \cdot K_{Ji} \quad (6)$$

ここで、 n は片側ジベル箇所数、 K_{Ji} はジベル 1 箇所当たりのせん断剛性を示す。

4. 各要素の耐力の算定

次に、各要素の終局耐力、降伏耐力を算定する。

LVL パネルのせん断終局耐力は、実験結果より繊維方向（高さ方向）のせん断破壊した時点であったため、繊維方向が終局せん断耐力に達した時点を終局耐力と定義する。すると、終局耐力は下式で算定される。

$$Q_U = \frac{w}{H} \cdot H \cdot t \cdot F_{SU} = w \cdot t \cdot F_{SU} \quad (7)$$

ここで、 F_{SU} は繊維方向の終局せん断応力度を示す。

端部がめり込むことで起きる回転に対する耐力は、下式により降伏回転角を算定し、前項で示した各要素の剛性からその回転角に達した時点のせん断耐力を逆算して算定する。また、降伏後の剛性低下率は、回転の初期剛性に対して 1/7 とする。

$$\theta_y = \frac{w' F_{cv}}{H_p \cdot E_{90} \cdot \sqrt{C_x \cdot C_y \cdot C_{xm} \cdot C_{ym}}} \quad (8)$$

ここで、 F_{cv} はめり込み強度、 C_x 、 C_y 、 C_{xm} 、 C_{ym} はそれぞれめり込み範囲に対する影響係数である。

ジベルに対する終局耐力は、ジベル 1 箇所当たりの終局耐力を用いて、下式で算定する。

$$Q_{JU} = \frac{w}{H} \cdot n \cdot Q_{JUi} \quad (9)$$

ここで、 n は片側ジベル箇所数、 Q_{JUi} はジベル 1 箇所当たりの終局せん断耐力(その 2: ジベル要素実験の結果)を示す。

5. 静的荷重増分解析の結果と実験値の比較

以上で示した、各要素の剛性と耐力を用いて静的荷重増分解析を行う。前項では、LVL パネルの水平方向に対する諸元を導いたため、ブレース置換するために、それぞれの値を角

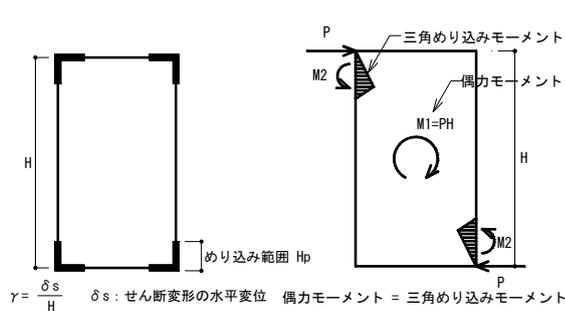


図 4 せん断剛性

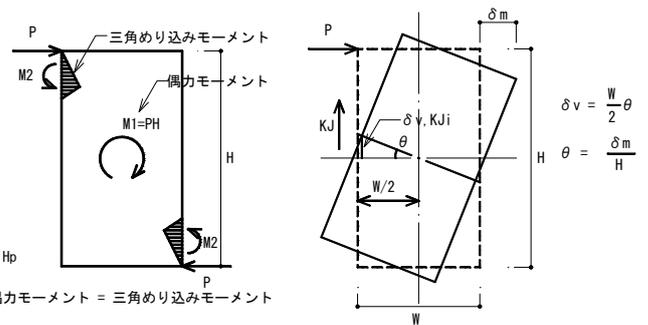


図 5 めり込み回転剛性

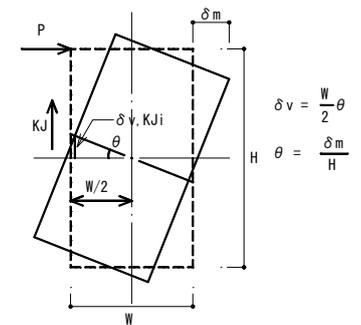


図 6 ジベル回転抑制剛性

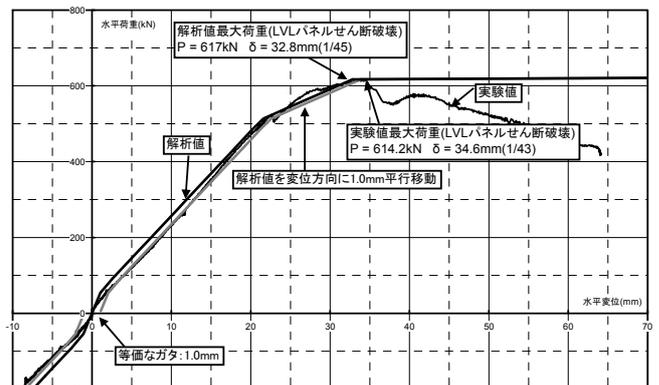


図 7 解析値と実験値の比較

度補正する。また、枠組み CT については、試験体に用いた断面の性能を持つ線材としてモデル化する。終局耐力後は、便宜的に初期剛性に対して低下率を 1/1000 とした。

静的荷重増分解析の結果得られた P- δ 曲線を図 7 に示す。

P- δ 曲線は 3 つの折れ点から構成されており、順に LVL パネルの端部が回転めり込み降伏した点、ジベルが終局状態に達した点、LVL パネルが繊維方向にせん断破壊した点を示す。

LVL パネルの繊維方向終局せん断応力度は、材料強度として定められていないため、解析より $F_{SU}=3.8\text{N/mm}^2$ とした。

実験値は初期剛性が解析ほど高くなく、2 次勾配とよく一致している。これは、初期スリップによる影響だと考えることができる。しかし、実験ではラグスクリューや枠組み CT の初期剛性、また摩擦などの影響により明快な初期スリップが現れなかったのではないかと考えられる。ここで、1 つ目の折れ点を実験値と重なる点まで平行移動させると、x 軸と約 1.0mm の位置で交わることがわかる。これを理想的にスリップした時の等価なガタと考えることができる。

また、解析ではジベルにかかる耐力をジベルの箇所数倍しているため、全てのジベルが同時に終局状態に達していることになるが、実験では応力が集中する下側のジベルから徐々に終局状態に達するため、変形角 1/67 からなだらかな剛性低下を起こしていると考えられる。

6. まとめ

本論では、鋼製枠組みと LVL パネルを用いたハイブリッド耐震システムの開発および実験、解析を行い、提案した耐震システムが極めて単純な構造システムでモデル化でき、剛性、終局耐力を推定することが可能であることを示した。