

鋼製薄板による既存木造住宅の外付耐震補強工法の開発
その 7 角波鋼板耐震壁の解析的検討

木造住宅 耐震補強 角波鋼板
有限要素法解析 耐震性能評価

正会員 ○浅沼愛実*¹
同 高木次郎*²
同 遠藤俊貴*³

1. はじめに

本報では、角波鋼板耐震壁の性能を解析的に評価し、前報の実験との比較検討を行う。

2. 解析モデル

角波鋼板耐震壁の地震水平力作用時の挙動を有限要素法¹³⁾により評価する。耐震壁実験の試験体は、幅 720mm の鋼板 2 枚で構成され、試験体幅は幅 1440mm であったが、予備解析において、板 2 枚の耐震性能は概ね 1 枚の場合の 2 倍であることが確認できたことから、壁幅 720mm (鋼板 1 枚) の場合について解析モデルを作成して、挙動を精査することにした。図 1 に解析モデルを示す。鋼板は板厚 $t=0.5\text{mm}$ で、前報の材料試験より算出したヤング係数 $E=1.71 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ および降伏強度 $\sigma_y=328.2 \text{N/mm}^2$ を用いて完全弾塑性の材料特性を設定した。鋼板は 1 辺およそ 25mm でメッシュ分割し、4 節点 1 積分点のシェル要素により構成した。なお、板厚方向の積分点数は 3 である。木架構はすぎ材のヤング係数 $E=7 \text{kN/mm}^2$ ¹⁴⁾ を有する弾性ワイヤ要素とし、木材間でのモーメント伝達のないピン接合とした。境界条件は下端をピン (図 1 の a 部) 及びローラー (同 b 部) とし、木材端 (a-d 点) で面外方向 (図中の y 方向) の並進を拘束した。木架構と鋼板の木材繊維方向及び繊維直交方向の相対変位に対する反力ばねの復元力特性は前報のビス接合部実験より降伏耐力 1.18kN (変位 0.85mm)、最大耐力 2.62kN (変位 4.3mm) のトリリニア型とし (図 1)、面外方向の木材と鋼板間の相対変位はないものと仮定した。なお、繊維直交方向の反力ばねの復元力特性は繊維方向に対して耐力と剛性共に低下することが考えられるが、これについては精査できていない。今後、実験を含めて同方向の復元力特性を確認する計画とする。鋼板と木材のビス接合部位置に接合部ばねを設けた。位置は、鋼板の上下端から 25mm、左右端から 11.5mm の位置で柱に対しては 150mm 間隔、梁と土台に対しては 120mm 間隔でビス接合による接続ばねを設けた。また、接合部ばねが接続する鋼板側の節点まわりの局所的な変形は、接合部ばね特性で評価できていると考え、同節点周辺の鋼板要素 ($10 \text{mm} \times 10 \text{mm}$) を弾性高剛性のシェル要素とした。梁端 (図 1 の c 点) に面内方向 (x 方向) に強制変位を与え、幾何非線形を考慮した静的増分解析を行った。

3. 解析結果

図 2 に実験と解析の荷重-変形角関係を示す。縦軸は強

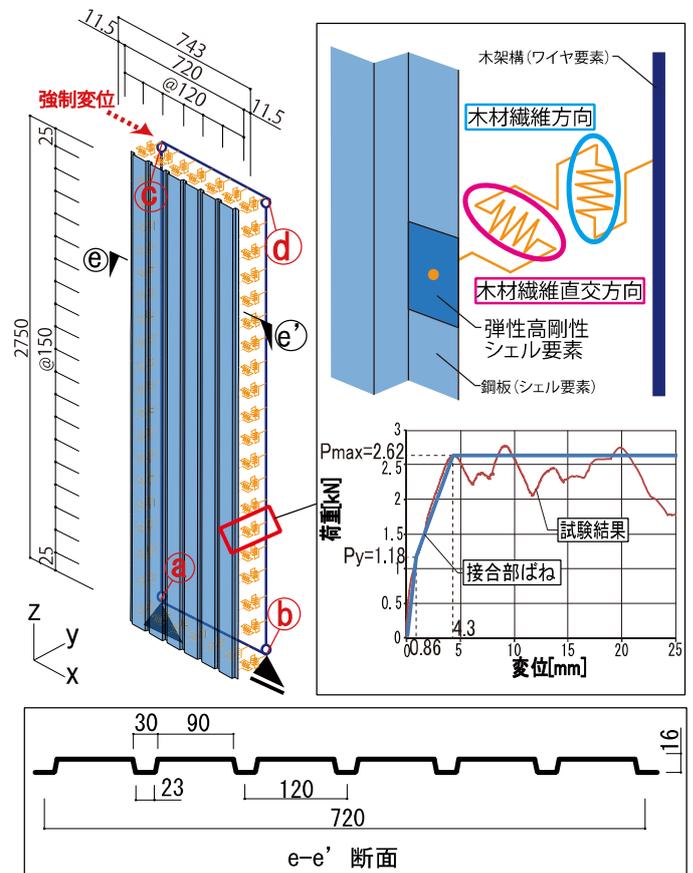


図 1. 解析モデル

制水平変位を与えた節点の反力で、横軸は頂部の梁の水平変位を試験体高さで除した変形角 R である。変形角 $R=0.62\%$ で解析が不安定となり終了した。このとき、単位長さあたりの水平耐力は最大値となり、 8.39kN/m であった。これを壁厚さの 0.5mm で除した平均せん断応力度は 16.8N/mm^2 である。原点と $R=0.5\%$ 時耐力時との割線剛性を比較すると、解析値と実験値はそれぞれ 1544kN/rad./m と 1630kN/rad./m であり、実験値の方が 5% 高いものの概ね一致したが、 R が 0.05% 以下での剛性は解析値が実験値を大幅に下回る結果となった。また、図 3 に変形角 0.51% 時の応力図と面外変形図を示す。変形角 0.31% 時から全体座屈が進展し、耐震壁の水平剛性が低下した。全体座屈の進展とともに角波鋼板の図 3 の f 部と f' 部のビス接合部位置に応力度が集中的に高くなっていき、対角線上に張力場が形成された。これにより、耐震壁内のせん断力が伝達されたと考えられる。前報の耐震壁実験でも同様の鋼板の全体座屈が確認されている。また、解析で接合

部ばねの変形が大きい箇所と実験での接合部破断箇所は概ね一致した。変形角 0.62%時の解析モデル右上の接合部のずれ変位を図 3 の[]内の数値 (mm) で示す。解析での接合部絶対変位が 0.7mm 以上の箇所で実験での接合部破断が発生している。実験での接合部破断時変形角は 6.1% 以上であり、本解析結果との直接的な比較はできないが、両者の傾向が一致することが確認できた。図 4, 5 に g-g', h-h' 断面応力図 (変形倍率 3 倍) を示す。波板の捻れや折部の開きなどが確認できる。このような変形の発生が、張力場形成上平板よりも波板が不利になる要因と考えられる。

ビス接合部の変形を無視して、同ばねを弾性高剛性とした場合の解析モデル (接合部変形無視モデル) を作成して結果を比較した。解析は変形角 R=0.30%で終了したが、同変形角時の最大耐力は 8.53kN/m であり、平均せん断応力度は 17.1N/mm² であった。R=0.12%時に全体座屈が発生し、剛性が低下した。接合部の変形を考慮した解析結果と比較して変形角 0.05%以下での初期剛性が特に一致している。このことから、接合部ばねの初期剛性の評価について、再検討の余地があると考えられる。

4. まとめ

既存戸建木造住宅耐震補強工法における角波鋼板耐震壁の性能を有限要素法により解析的に評価した。木架構と鋼板の相対変位に対する反力ばねをトリリニア型ばねで置換し、鋼板の材料及び幾何学的非線形を考慮した。変形角 R=0.51%の解析終了時の水平耐力は 7.37kN/m で、平均せん断応力度は 20.5N/mm² であった。初期剛性は補強壁水平耐力試験よりも低い値になったが、座屈モード、及び損傷の大きいビス接合部位置については概ね一致した。また、接合部の変形を無視した解析結果の初期剛性が実験とよく一致することを確認した。同接合部の剛性評価について木材繊維方向と繊維直交方向の特性を区別して評価することを含めて今後検討していくことにする。

謝辞

本研究の遂行にあたり、日本鐵板株式会社の関係諸氏および森吉直剛氏 (一級建築士事務所森吉直剛アトリエ) より多大なご協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 伊東和宏, 高木次郎, 見波進: 鋼製薄板による既存木造住宅の外付耐震補強工法の開発, 日本建築学会学術梗概集 (東海), 建築計画 pp1037-1038, 2012
- 2) 伊東和宏, 高木次郎, 遠藤俊貴: 鋼製薄板による既存木造住宅の外付耐震補強工法の開発その 2 耐震補強壁の耐力評価, 日本建築学会学術梗概集 (北海道), 構造 pp391-392
- 3) 浅沼愛実, 高木次郎, 遠藤俊貴, 伊東和宏: 鋼製薄板による既存木造住宅の外付耐震補強工法の開発その 3 鋼製薄板耐震壁の性能評価, 日本建築学会学術梗概集 (北海道), 構造 pp393-394
- 4) 坂下義治, 高木次郎, 遠藤俊貴: 鋼製薄板による既存木造住宅の外付耐震補強工法の開発その 4 既存架構と新設架構の一体化接合部の性能評価, 日本建築学会学術梗概集 (北海道), 構造 pp395-396
- 5) 一般財団法人日本建築防災協会, 国土交通省指定耐震改修支援センター: 2012 年改訂版木造住宅の耐震診断と補強方法 指針と解説編, pp55-104, 2012. 10

- 6) Midas GEN Ver. 800, MIDAS Information Technology Co., LTD.
- 7) 木質構造接合部設計マニュアル: pp317, 日本建築学会, 2009
- 8) 木質構造接合部設計マニュアル: pp82-88, 日本建築学会, 2009
- 9) 日本工業規格: JIS Z2201 金属材料引張試験方法
- 10) 公共財団法人日本住宅・木材技術センター: 木造の耐力壁及びその倍率性能評価業務方法書 Rev. 3.0
- 11) 株式会社タナカ: 住宅関連金物カタログ vol20, pp64, 2013. 7
- 12) 新日本製鐵: 新日本製鐵・関連会社 建築用資材ハンドブック, 2008. 6
- 13) Abaqus/CAE, Version6.13-4
- 14) 木質構造設計基準・同解説: pp395, 日本建築学会, 2006

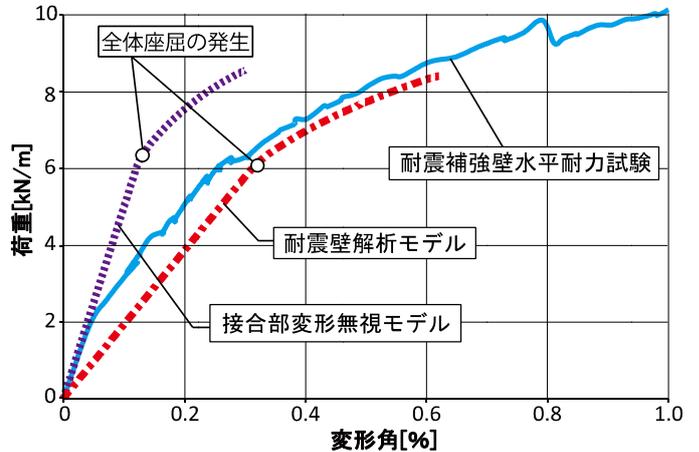


図 2. 解析結果 荷重-変形角関係

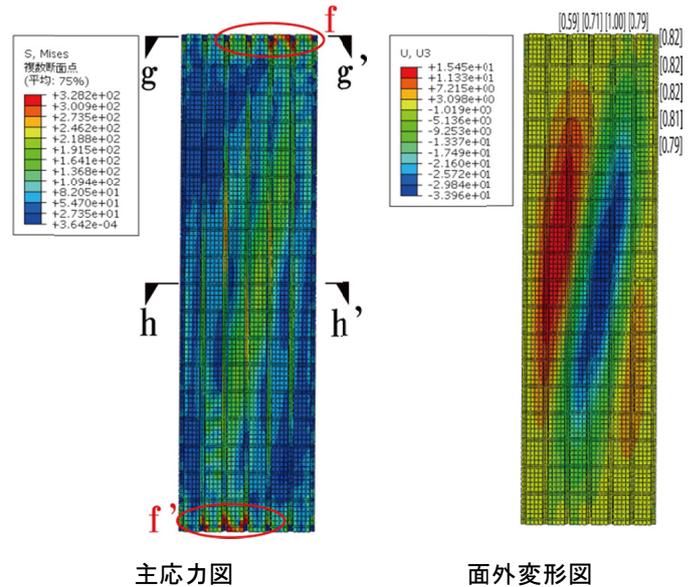


図 3. 変形角 0.62%時

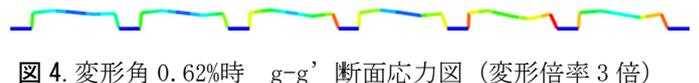


図 4. 変形角 0.62%時 g-g' 断面応力図 (変形倍率 3 倍)



図 5. 変形角 0.62%時 h-h' 断面応力図 (変形倍率 3 倍)

*1 首都大学東京都環境科学研究科建築学域 大学院生
 *2 首都大学東京都環境学部建築都市コース 准教授・Ph.D.
 *3 首都大学東京都環境学部建築都市コース 助教・博士 (工学)

*1 Graduate Student, Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ.
 *2 Associate Prof, Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ., Ph.D.
 *3 Assistant Prof, Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ., Dr.Eng.