

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11 既存モルタル外壁建物への適用試設計1

準会員 ○河合優\*1 正会員 高木次郎\*2  
同 安田裕俊\*3 同 大津達郎\*4  
同 有馬明日香\*5

木造住宅 耐震補強 モルタル壁  
鋼製薄板 耐震診断 立体弾性解析

1. はじめに

本研究では厚さ 0.5mm の鋼製薄板（以下、鋼板）を既存木造住宅の外壁に外付けし、耐震要素兼新規外装材とすることで、補強工事中の居住者の転居を必要としない耐震補強工法を開発する<sup>1)</sup>。本報では、開発工法の実物件への適用試設計について述べる。補強前後の耐震診断を行い、工法の適用効果を確認する。

2. 建物概要

対象建物は在来木造軸組工法による木造 2 階建てであり、瓦棒葺き屋根の屋上に塔屋とバルコニーがある（図 1）。延床面積 77.0m<sup>2</sup>、階高 2.96m（1 階）2.84m（2 階）である。1954 年に平屋で新築され、1969 年に 2 階と塔屋が増築された。また、1995 年に土台の補強と 1 階の一部の壁に筋交が設置された。1, 2 階共 910mm を基本モジュールとする平面構成であるが、2 階柱は 1 階柱の直上になく図面+Y 方向に 300mm ずれている。建物四隅の柱に隣接して通し柱がある。

調査により、外壁及び基礎のモルタルに有害なひび割れは無く、土台を含め躯体はほぼ健全であることを確認した。平屋建て時の屋根梁の上に束があり、その上に 2 階梁が配置されている。梁の大きさは一様ではなく丸太も混在しており、配置を含めて詳細は確認できていない。柱と梁及び土台の接合部は金物を用いて補強されている。外壁はモルタル仕上であり、内壁はプラスターボードである。床は合板で火打ちがある。また、外壁の戸袋の内側はモルタル仕上げになっていない（図 1）。

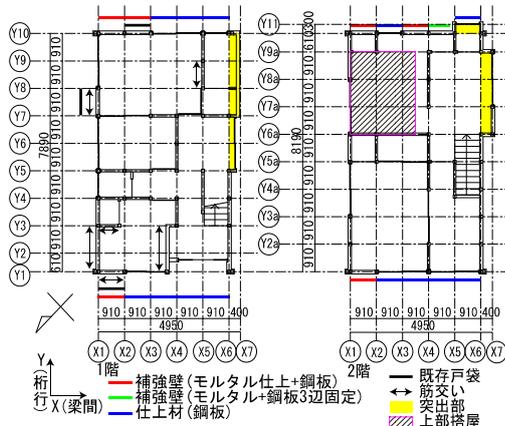


図 1 平面図

3. 荷重の算出

「建築物荷重指針」<sup>2)</sup>、「建築基準法施行令」<sup>3)</sup>に準拠して建物の固定荷重を算出した。長期積載荷重には床用積

載荷重（屋上を 900N/m<sup>2</sup>、2 階床を 1800N/m<sup>2</sup>）を使用し、各柱が負担する長期荷重を算出した。2 階上部の単位面積あたりの重量は 1.88kN/m<sup>2</sup>、2 階下部と 1 階上部の単位面積あたりの重量の和は 2.59kN/m<sup>2</sup>である。

固定荷重と地震用積載荷重（屋上を 300N/m<sup>2</sup>、2 階床を 600N/m<sup>2</sup>）により、標準層せん断力係数 C<sub>0</sub>=0.2、地域係数 Z=1.0、軟弱地盤係数 R<sub>1</sub>=1.0 として、A<sub>i</sub> 分布により地震荷重を算出した。屋根と 2 階床の重量はそれぞれ 67.4kN と 93.0kN であり、作用する地震荷重はそれぞれ 17.0kN と 15.1kN である。

4. 補強前精密診断

「木造住宅の耐震診断と補強方法」<sup>4)</sup>（以下、方法書）に準拠して、立体弾性解析により補強前の精密診断を行った。

表 1 耐震診断結果

階	位置	精密診断による評点	
		補強前	補強後
2F	X	0.85	1.51
	Y	1.16	1.19
1F	X	0.78	1.49
	Y	1.53	1.56

各部材の劣化、接合部の仕様、剛性率等による低減率を考慮し、汎用解析ソフト<sup>5)</sup>により C<sub>0</sub>=0.2 の地震力を与えた。立体弾性解析モデル概要図を図 2 に示す。耐力壁は壁基準剛性と等価な水平剛性を有するブレース線材に置換した。開口部をモデル化する目的で、外壁は全て高さ方向に 3 等分した上で、掃き出し窓と腰壁及び垂壁の高さをそれぞれ階高の 2/3 と 1/3 とした。それぞれの高さに解析上の胴縁を設けた。柱、梁、土台の断面は 105mm×105mm、ヤング係数は 7kN/mm<sup>2</sup>、ポアソン比を 0.3 とした<sup>6)</sup>。床の面剛性と耐力の評価は困難であるが、ここでは 2 階床レベルと屋根レベルを剛床と仮定した。各梁が負担する床重量の支配面積を算出し、各梁に作用する長期荷重を下階の柱に分配した。地震荷重は±X 方向と±Y 方向それぞれに、各階の重心位置に作用させた。通し柱は外周四隅の柱に隣接させて設けた。柱端、梁端、胴縁端、ブレースの端部はピン接合とした。図 1 に示す突出部の外壁は 1 階部分では X6 通りに開口または耐力壁として置換した。また、2 階部分では図 1 に示す位置に柱と壁をモデル化し、突出部の柱には長期荷重はかからないと仮定した。内壁のプラスターボードは 9mm×2 枚と仮定した。

壁をモデル化したブレースの軸力から、地震荷重下の壁の発生せん断力を算出した。それを方法書に準拠して算出した壁が保有するせん断耐力と比較した。柱接合部の仕様による壁耐力の低減係数を求めるにあたり、柱接

合部耐力が「3kN 以上」の値を用い、また、上部に搭屋がある部分は搭屋の重量を負担するため、階層区分を「3 階建ての 2 階」とした。「剛性率による低減係数」、「偏心率と床の仕様による低減係数」、「壁劣化低減係数」は 1.0 である。耐力壁を構成する各要素の壁基準剛性及び耐力は方法書を参考にし、それらを累加することで耐力壁の壁基準剛性及び耐力を算出した。+X 方向載荷時のせん断力を図 3 に示す。各壁の発生せん断力の保有するせん断耐力に対する比率を検定比とし、各階各方向の最大検定比の逆数を「評点」として耐震性能を評価した。±Y 方向では、全ての壁の検定比が 1.0 以下であるのに対し、±X 方向では、1 階 2 階共に検定比が 1.0 を上回る箇所が存在した(表 1)。

### 5. 補強設計概要

耐力が不足する X 方向のみの開発補強工法適用を考える(図 1, 4)。2 階の上段梁を鋼板と固定することで 1 階、2 階の構造一体化を強化する。本工法を適用する壁面のうち、開口が無い部分を補強壁とし、開口を有する箇所は非補強壁とする。非補強壁には外装材としてのみ機能させる目的で同じ鋼板を留め付ける。ただし、補強壁部分はドリルビス(φ6.0×115mm)(以下、長ビス)で既存架構に固定するのに対し、非補強壁部分はコンクリート用ビス(φ5.0×32mm)(以下、短ビス)でモルタルに固定する。入隅部などで一方の辺で鋼板を柱に固定できない場合は短ビスを用いる(以下、3 辺固定)。補強該当箇所の戸袋は撤去して構造用合板(t=7.5mm)等を併用して鋼板を固定する。

### 6. 補強後耐震診断

補強後の精密診断を行った。安田らによる実大耐力試験<sup>7)</sup>では本工法をモルタル外壁に適用した耐力壁の壁基準剛性は 1980kN/rad./m、壁基準耐力は 14.9kN/m であった。従って、本補強壁の耐力を方法書が上限と定める 10kN/m とした。3 辺固定の場合の壁基準剛性及び壁基準耐力は評価できていないため、壁基準剛性は安全側に補強のないモルタルと同様とし、壁基準耐力は 3.92kN/m(壁倍率 2)とした。2 階の突出部(図 1)の壁は、非補強壁とした。補強箇所での戸袋を撤去する部分の鋼板の壁基準耐力及び壁基準剛性は、既往の実験結果より 4.1kN/m、900kN/rad./m とした<sup>8)</sup>。

補強壁側柱の引抜耐力について、柱の引抜力はビスと鋼板を介して土台に伝達されと考えられる(図 5)。続編(その 13)より、本工法の長ビス接合部 1 箇所あたりのせん断耐力は 5.73kN である。柱直下で土台に設けられるビスとその両側 2 本の合計 5 本(鋼板が片側のみの場合は片側の 2 本の合計 3 本)が引抜に抵抗すると考え、引抜耐力は 28.7kN(両側鋼板)、17.2kN(片側鋼板)とし

た。工法を適用していない箇所の引抜耐力は 0kN とした。

+X 方向載荷時に北西側外壁で最も発生せん断力が大きくなり、6.88kN であった。また、検定比は全て 1.0 以下であることを確認した(表 1)。±X 方向載荷時の柱脚の引抜力を図 3 に示す。発生引抜力が許容引抜耐力を上回る箇所が存在するが、引抜発生部の柱脚の鉛直上方変位を許容した解析モデルを別途作成し、その場合も壁の検定比がすべて 1.0 以下であることを確認した。構面全体を鋼板で補強する本工法では、局部的に壁を補強する工法よりも補強部の柱脚引抜発生を緩和する効果があると考えられ、鋼板以外の補強部柱脚の補強を不要とすることができた。

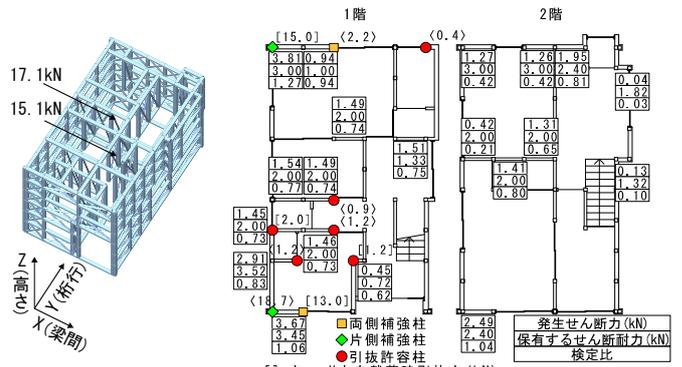


図 2 モデル概要図

図 3 X 方向載荷時せん断力及び引抜力図



図 4 補強後立面図

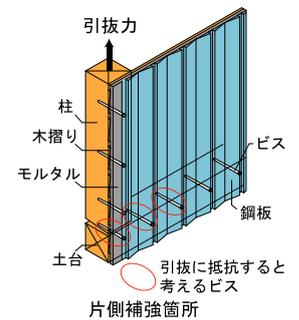


図 5 補強壁柱脚引抜要領図

### 7. まとめ

開発工法の実物件への適用試設計を行い、補強前後で耐震診断を行った。立体弾性解析により、 $C_0=0.2$ の地震荷重に対する耐震性能を確認した。その結果、桁行(Y)方向の耐震性能は十分であることを確認した。梁間(X)方向では、壁の発生せん断力が耐力を上回る箇所があり、工法を適用することで十分な耐震性能を確保できた。また、工法適用後も柱脚浮き上がりの可能性があるが、浮き上がりを考慮しても壁に発生するせん断力が保有するせん断耐力を超えないことを確認した。本工法による鋼面全体の補強により浮き上がりに対する有用性を示すことができた。

参考文献と謝辞は続編にまとめて示す。

\*1 首都大学東京都市環境学部建築都市コース 学部生  
 \*2 首都大学東京都市環境学部建築都市コース 准教授 Ph.D.  
 \*3 旭化成建材株式会社 修士(工学)  
 \*4 首都大学東京都市環境科学研究科建築学域 大学院生  
 \*5 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 大学院生

\*1 Under Graduate Student, Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ.  
 \*2 Associate Prof., Div. of Architecture Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ., Ph.D.  
 \*3 ASAH KASEI Construction Materials Corporation, M.Eng.  
 \*4 Graduate Student, Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ.  
 \*5 Dept. of Arch., Graduate School of Eng., The Univ. of Tokyo