

既調合軽量セメントモルタル仕上げ外壁の 構造性能に関する調査研究報告書

特定非営利活動法人湿式仕上技術センター

木造モルタル塗り外壁の耐震診断・補強技術の開発研究会

平成25年7月

目 次

1. 研究の概要	1
1.1 研究の背景および目的	1
1.2 研究の体制	2
1.3 研究の内容	3
1.4 用語	4
2. モルタル仕上げ外壁の耐震性に関する調査	9
2.1 地震による被害および原因に関する資料調査	9
2.2 構造性能に関する既往の研究の調査	18
2.3 現状の課題	23
3. モルタル仕上げ外壁の構造性能に関する試験	24
3.1 目的および背景	24
3.2 開口部を有するモルタル外壁の構造性能（2009年度の試験報告）	25
3.2.1 試験体	25
3.2.2 試験方法	37
3.2.3 試験結果	38
3.2.4 試験結果の解析	48
3.2.5 耐震性能評価	54
3.2.6 考察	57
3.3 直交壁を有するモルタル外壁の構造性能（2011年度の試験報告）	58
3.3.1 試験体	58
3.3.2 試験方法	63
3.3.3 試験結果	64
3.3.4 試験結果の解析	70
3.3.5 耐震性能評価	84
3.3.6 考察	87
4. 背景と今後の課題	89
4.1 モルタル外壁に関する基規準例	89
4.2 モルタル外壁の本来の性能と施工実態（共同研究）	90
4.3 高気密住宅と直張り構法による危険性（共同研究）	92
4.4 通気構法の効果	94
4.5 今後の課題	95
5. 既調合軽量セメントモルタル仕上げ外壁による耐震補強効果の試算	97
6. 総括	100
7. 参考資料	103
8. 付録（日本建築学会大会梗概）	104

1. 研究の概要

1.1 研究の背景および目的

NPO 法人湿式仕上技術センターは、木造軽量セメントモルタル仕上げ外壁について、防火構造および準耐火構造の国土交通大臣認定を受けている団体で、主として日本建築仕上材工業会（仕上塗材・左官材等の製造業者団体）、日本左官業組合連合会（左官工事業者の団体）、日本塗装工業会（塗装工事業者の団体）、日本外壁仕上業協同組合連合会（吹付け工事業者の団体）、リフリート工業会（コンクリートの補修改修工事業者・材料製造業者の団体）で構成されており、湿式仕上げの普及・啓発活動に取り組んでいる。

国内における戸建住宅外壁の仕上げには、サイディング、モルタル、ALC パネルなどが使用されており、「住宅用建材使用状況調査、日本サッシ協会」の近年におけるデータに基づく、モルタル仕上げの構成割合は約 15%と推定されており、窯業系サイディングの約 70%に次いでいる。また、「エネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）」における断熱地域別ではⅣ地域で約 20%、さらに工法別では枠組工法の約 33%がモルタル仕上げと推定されている。

一方、住宅性能保証制度における登録住宅を対象とした「住宅保証機構データブック（平成 11 年度～平成 20 年度）、住宅保証機構」によれば、外壁仕上げの全国総計において窯業系サイディングとモルタルの比率は概ね 7:2 で推移しているが、特に東京・神奈川では 5:4 程度の状況にあり、都市部においてモルタルが多く用いられている。

このような状況にあつて、平成 22 年 5 月に公布された「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律（公共建築物木材利用促進法）」は、地球温暖化防止、循環型社会の形成、森林の有する国土の保全等を目的として、公共建築物への木材の利用の促進および一般建築物への波及効果が期待されており、モルタル仕上げの普及への関心も高まってきている。

しかし、一方では阪神・淡路大震災、新潟県中越沖地震、東日本大震災後の調査結果などにおいて、一部の建物に不適切な設計・施工が原因とみなされる外壁モルタル層の被害が認められ、モルタル仕上げそのものが耐震性に劣るといった誤解も生じている

外壁モルタル仕上げの工事仕様については、「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 15 左官工事：日本建築学会」や「木造住宅工事仕様書：住宅金融支援機構」などに標準化されているが、これらの仕様に準拠していない既存の建物にあつては、地震時におけるモルタル外壁の被害、防火性能の低下、都市部での延焼拡大なども想定されるため、都市型地震における非構造部材の安全性確保への対策は急務とされている。

さらに、平成 20 年 12 月には、建築ストックの増加への対応、地球規模での環境負荷低減、廃棄物の削減などを目的として「長期優良住宅の普及の促進に関する法律（長期優良住宅普及促進法）」が公布され、3 世代を超える住宅の長寿命化に向けて、住宅の耐久性、耐震性、安全性の確保、維持管理などに関する技術の整備が求められてきている。

本研究は、このような社会的動向を踏まえ、戸建住宅におけるモルタル仕上げ外壁の適正な普及活動の一環として、地震による被害や劣化原因に関する資料調査、耐震性に関する既往の研究の調査および基礎的な水平加力試験を行い、木造モルタル仕上げ外壁の構造性能の向上に資することを目的としたものである。

1.2 研究の体制

本研究にあたっては、NPO 法人湿式仕上技術センター内に「木造モルタル塗り外壁の耐震診断・補強技術の開発研究会」を設置し、平成 20 年 4 月から研究を開始した。

研究会の委員名簿および研究会の開催日を以下に示す。

【委員名簿】

委員長	古賀 一八	(福岡大学)
委員	小野 泰	(ものづくり大学)
	小俣 一夫	(NPO 法人湿式仕上技術センター)
	鈴木 光	(一般社団法人日本左官業組合連合会、鈴木建塗工業(株))
	田原 賢	(大阪工業大学大学院)
	中尾 方人	(横浜国立大学大学院)
	西尾 康	(近畿メタルラス工業組合、南和ラス工業(株))
	伏木 剛志	(近畿メタルラス工業組合、日総工業(株))
	宮村 雅史	(国土交通省 国土技術政策総合研究所)
	山崎 肇	(田島応用化工(株))
	山中 豊茂	(近畿メタルラス工業組合、(株)山中製作所)
	生駒 恭敏	(日本建築仕上材工業会、(株)豊運)
	石井 壮一郎	(日本建築仕上材工業会、昭和電工建材(株))
	稲垣 和宏	(日本建築仕上材工業会、スチライト工業(株))
	大原 信二	(日本建築仕上材工業会、富士川建材工業(株))
	末益 大祐	(日本建築仕上材工業会、(株)トクヤマエムテック)
	成田 瞬	(日本建築仕上材工業会、日本プラスター(株))
	水上 幸男	(日本建築仕上材工業会、秩父コンクリート工業(株))
	守屋 善裕	(日本建築仕上材工業会、日本化成(株))
協力委員	武藤 正裕	(一般社団法人日本塗装工業会、(株)ダイイチ)
事務局	井上 照郷	(NPO 法人湿式仕上技術センター)

【研究会開催日】

第 1 回準備会	平成 19 年 12 月 7 日	第 2 回準備会	平成 20 年 2 月 14 日
第 1 回研究会	平成 20 年 4 月 18 日	第 2 回研究会	平成 20 年 5 月 30 日
第 3 回研究会	平成 20 年 7 月 28 日	第 4 回研究会	平成 20 年 9 月 11 日
第 5 回研究会	平成 20 年 11 月 11 日	第 6 回研究会	平成 21 年 1 月 19 日
第 7 回研究会	平成 21 年 3 月 13 日	第 8 回研究会	平成 21 年 6 月 5 日
第 9 回研究会	平成 21 年 7 月 14 日	第 10 回研究会	平成 21 年 9 月 11 日
第 11 回研究会	平成 21 年 11 月 20 日	第 12 回研究会	平成 22 年 1 月 25 日
第 13 回研究会	平成 22 年 3 月 15 日	第 14 回研究会	平成 22 年 5 月 21 日
第 15 回研究会	平成 22 年 7 月 20 日	第 16 回研究会	平成 22 年 10 月 28 日
第 17 回研究会	平成 22 年 12 月 16 日	第 18 回研究会	平成 23 年 2 月 7 日
第 19 回研究会	平成 23 年 5 月 6 日	第 20 回研究会	平成 23 年 6 月 28 日
第 21 回研究会	平成 23 年 8 月 8 日	第 22 回研究会	平成 23 年 12 月 8 日
第 23 回研究会	平成 24 年 2 月 7 日	第 24 回研究会	平成 24 年 4 月 6 日
第 25 回研究会	平成 24 年 6 月 26 日	第 26 回研究会	平成 24 年 8 月 28 日
第 27 回研究会	平成 24 年 11 月 6 日	第 28 回研究会	平成 25 年 1 月 29 日
第 29 回研究会	平成 25 年 3 月 19 日	第 30 回研究会	平成 25 年 6 月 14 日

1.3 研究の内容

本研究においては、木造住宅における外壁モルタル仕上げの適正な普及活動の一環として、地震による構造性能への影響を主眼とした資料調査および水平加力試験を行い、結果を検証・考察するとともに現状ならびに今後の課題をまとめた。

なお、研究の内容に係る本報告書の概要は、以下のとおりである。

(1) 「2. モルタル仕上げ外壁の耐震性に関する調査」

中越地震、中越沖地震、東日本大震災におけるモルタル仕上げ外壁の被害状況に関する資料を調査し、被害を受けた外壁について原因を考察した。

また、モルタル仕上げ外壁の構造性能に関する既往の研究について調査し、研究の要点をまとめるとともに、通気構法を対象とした研究の充実が望まれることを指摘した。

(2) 「3. モルタル仕上げ外壁の構造性能に関する試験」

既調合軽量セメントモルタル仕上げによる二層下地通気構法を基本として、開口部の有無や形状、ラスの種類、開口部周りの補強方法、ステーブルの種類、補強用繊維ネットの種類、直交壁の有無、通気胴縁の材質、ラス張りの方向などの違いが構造性能に与える影響を確認するために、水平加力試験を実施し結果を検証した。

(3) 「4. 今後の課題」

本研究における調査結果および試験結果を踏まえ、今後の課題を整理した。

(4) 「5. 既調合軽量セメントモルタル仕上げ外壁による耐震補強効果の試算」

耐震補強が必要とされる既存の木造住宅外壁に、本研究で対象とした既調合セメントモルタル仕上げを施した場合の耐震補強効果について試算した。

1.4 用語

本報告書で用いる用語の意味は、次のとおりとする。

主要構造部材： 構造耐力上主要な部材のこと。

基礎、基礎ぐい、壁、柱、小屋組、土台、斜材、床版、屋根版又は横架材で、建築物の自重若しくは積載荷重、積雪荷重、風圧、土圧若しくは水圧または地震その他の振動若しくは衝撃を支えるもの。

非構造部材： 主要な構造の耐震設計に際して通常は耐震要素から除外される部材または部位。外装材や天井がこれにあたる。

構面： 外力に抵抗できるように幾つかの部材で平面的に組み立てられた平面骨組。鉛直構面と水平構面に区分する。

耐力壁： 建築基準法で規定された倍率を有し、地震や風などの水平荷重を負担する壁（鉛直構面）のこと。木造建築物では、筋かいを挿入した壁や構造用合板等の面材を張った壁である。

全壁： 開口部が無く全て壁面で覆われている壁。

腰壁： 窓台から下の壁面を言い、各階の横架材から窓下までの部分のこと。

垂壁： 天井から垂れ下がった形の壁のことであり、各階の窓上から横架材までの部分のこと。

直交壁： ある方向の壁に対して直交する壁。例えば、けた行方向の壁に対しては張り間方向の壁が直交壁となる。本報告書では、試験体の加力方向の壁面に対して直交する小壁をいう。

瑕疵担保履行法： 新築住宅の売主等による特定住宅瑕疵担保責任（住宅品質確保促進法 94 条・95 条）の履行を確保するため、あらかじめ売主等に保証金の供託または保険への加入を義務付け、また、当該保険にかかる紛争の処理について定めたものである。

品確法： 住宅の品質確保の促進等に関する法律の略称。

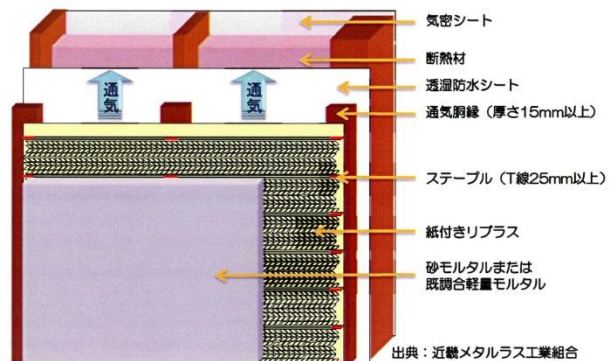
次世代省エネルギー基準： 通称「次世代省エネルギー基準」とは、平成 11 年 3 月に改正 告示された「住宅に係るエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断と基準」および「同設計及び施工の指針」のこと。この基準は、昭和 55 年に初めて定められ、平成 4 年に一度、改正されていたものだが 21 世紀の住まいづくりに照準を合わせて、全面的に改正された。

- 長期優良住宅： 長期優良住宅の普及の促進に関する法律に適合する住宅。
長期にわたり良好な状態で使用するための措置（構造躯体の劣化対策、耐震性、維持管理・更新の容易性、可変性、バリアフリー性、省エネルギー性の性能を有し、かつ、良好な景観の形成に配慮した居住環境や一定の住戸面積有する住宅）が講じられた優良な住宅のこと。
- 耐震改修・耐震補強： 既存建築物の耐震性能の向上を目的として、強度や靱性（変形性能）を改善すること。
- 耐震診断： 既存建築物の耐震性能を評価すること。
- 評点： 木造住宅の耐震診断と補強方法（日本建築防災協会）における上部構造の判定基準であり、上部構造評点に対する判定は以下のとおりである。
- 1.5 以上：倒壊しない
 - 1.5～1.0：一応倒壊しない
 - 1.0～0.7：倒壊する可能性がある
 - 0.7 未満：倒壊する可能性が高い
- Z マーク表示金物：（公財）日本住宅・木材技術センターの規格による在来工法木造住宅用の接合金物の総称。接合部材や取付け位置により使用する金物の種類、釘の仕様などの施工方法が決められている。住宅金融支援機構では Z マーク表示金物またはそれと同等以上の金物の使用が推奨されている。
- 既調合軽量セメントモルタル： JASS 15M-102「ラス系下地用既調合軽量セメントモルタルの品質規準」に適合するもの。
製造所において原料の調整・調合を行い、紙製などの容器に入れ、封緘して出荷されるもので、主としてラス系下地に用いられる。結合材には、ポルトランドセメント単味または無機系混和材料を混合したものを扱い、骨材としては軽量のパーライトあるいは粒状の樹脂系発泡体もしくはチップ類を単体または混合して用いる。その他水溶性樹脂・再乳化形粉末樹脂などの有機系混和材料及び無機質ならびに有機質の繊維類が用いられる。
- ステープル： ラス網を固定するための「コ」の字形の針。
JIS A 5556や JASS15 M-105で品質基準が規程されている。
- 脚長： ステープルの足長さのこと。
- 直張り（塗り）構法： 柱などの構造部材に取り付けたラス下地板や面材に、防水層を介して直接ラス網を留め付け、モルタルを塗り付ける構法のこと。
- 通気構法： 壁体内に通気経路を設けた構造で、外壁仕上げと軸組等の間に中空層が設けられている等軸組等が雨水に接触することを防止するための有効な処置が講じられているもの。

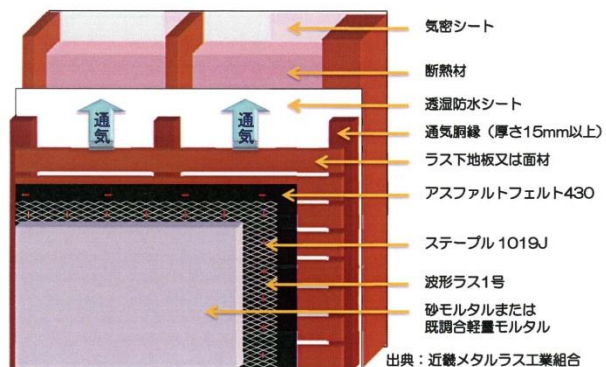
をいう。また、断熱層の外側に設ける空気の層で両端が外気に解放されたもののことでもある。

小屋裏と外気の温度差、壁上下の温度差や風により空気が流れることにより、湿気は上方から排出され、結露水や侵入した雨水は下部から外部に排出される機構で、耐久性の高い構法である。

通気構法のうち、空気層の外側に直接ラスとモルタルを施工するものを単層下地通気構法、空気層の外側にラス下地板や面材を設けてからモルタルを施工するものを二層下地通気構法という。



単層下地通気構法



二層下地通気構法

業務方法書： 建築基準法に基づく指定資格検定機関等に関する省令（平成 11 年 4 月 26 日建設省令第 13 号）により認定された機関が行う業務内容を示したもの。

面外方向： ここでは、壁面に直交する方向のこと。

面内方向： ここでは、壁面に平行な方向のこと。

せん断力： 耐力壁の場合、地震や風によって面内方向に作用する力のこと。

面内せん断試験： 倍率を算定するための静的な加力によるの試験方法。タイロッド式による方法と載荷式又は無載荷式(柱脚固定式)による方法がある。

- 層間変形角： 地震、風等の水平荷重による建物の傾きを表す指標。
 (せん断変形角) 各階の高さに対する水平変位量で表す。
 検討式: $r=\delta/h$
 r : 層間変形角、 δ : 水平変位、 h : 各階の高さ
- 構面の特性値： 面内せん断試験から得られた荷重－変形角曲線(実験曲線)より、完全弾塑性モデルを構築し、そのモデルに基づいて算出する降伏耐力、剛性、塑性値などを総じてこれと呼ぶ。
- 完全弾塑性モデル： 実験結果を評価しやすいように、単純なモデル化したもの様々な形状となる実験曲線を、荷重-変形関係が直線的比例関係となる弾性領域と定荷重で変形のみが進行する塑性領域に二分する形のごく単純なモデルに整理したものこと。
- 降伏耐力： 完全弾塑性モデルにおいて、降伏変位時の荷重を指す。
- 終局変位： 最大荷重後の $0.8P_{max}$ 荷重低下域の包絡線上の変位または、 $1/15rad$ のいずれか変形量の小さい値。
- 終局耐力： 完全弾塑性モデルにおいて、終局変位時の荷重を指す。
- 剛性： 完全弾塑性モデルにおいて、外力に対する変形のしにくさを表す値。
- 塑性率： 完全弾塑性モデルにおいて、終局変位を降伏変位で割った値であり、構造の粘りの指標を表す。
 値が大きくなるほど靱性があり、小さくなるほど塑性となる。
- 構造特性係数： 構造の粘りを表す値。値が小さくなるほど靱性があり、大きくなるほど塑性となる。
- FEM： 有限要素法（ゆうげんようそほう、英語：Finite Element Method、FEM）は数値解析手法の一つ。実際には複雑な形状・性質をもつものを、単純な要素に分割し、要素ごとに解析し、その集合体としての全体の動きを近似解析する方法。
- シーリングエリア係数： 無開口壁に対する有開口壁のせん断耐力の低減率を表す値。
- 封かん養生： コンクリートまたはモルタルからの水分の逸散がなく、外部からの水分の供給もない状態で行うコンクリートまたはモルタル供試体の養生方法。
- 固有周期： 建物の質量と剛性で決まる固有振動の周期。
- 壁内結露： 壁体内に発生する結露のこと。
- ラジアン(rad)： 角度を表す単位。 2π ラジアン $=360^\circ$ となる。
- カイン(kine)： 速度を表す単位（ $1kine=1cm/s$ ）。

- ガル(gal) : 加速度を表す単位 ($1\text{gal}=1\text{cm/s}^2$ 、 $980\text{gal}=9.8\text{m/s}^2=1\text{G}$ (重力加速度))
- マグニチュード(M) : 地震の規模(発するエネルギーの大きさ)を表した指標値である。地震のエネルギーと対数関係にあり、マグニチュードが 2 増えるとエネルギーは約 1000 倍になる。
- 震度 : 地震動の強さの程度を表すもので、震度計を用いて観測する。
- 「気象庁震度階」はある震度が観測された場合、その周辺で実際にどのような現象や被害が発生するのかを示すものである。
- SI 値 : (SI= Spectrum Intensity) とは、「地震によって一般的な建物がどれだけ大きく揺れるか」を数値化したもの。SI 値が大きいほど、構造物は大きく揺れることになり、被害が起こりやすくなる。(単位 : kine または cm/s)

【参考：東京ガス HP より】

「地震の揺れの指標は、体感的なものとしては「震度」、測定値としては「加速度」を用いるのが一般的です。しかし、被害の有無は最大加速度よりも SI 値の大小で判断するほうがより確かです。東京ガスでは、この SI 値を安全対策の指標として用いています。なお、気象庁が整備している地震計測網の指標である計測震度と SI 値は非常に相関が高いことが明らかになっており、簡易震度計として用いることも可能です。」

2. モルタル仕上げ外壁の耐震性に関する調査

2.1 地震による被害および原因に関する資料調査

ここでは、近年発生した中越地震、中越沖地震、東日本大震災の地震動被災地におけるラス下地モルタル仕上げ（以下、ラスモルタルという。）外壁の調査結果について考察を行う。

2.1.1 はじめに

JASS 15⁻²⁰⁰³では、外壁における木下地へのラスの取り付けは、取り付け強度と取り付け部のフレキシビリティを持たせるために、質量 700g/m^2 以上の異形ラスを足長さ 19mm 以上のステープルを用いピッチ 100mm 以内で取り付けることとしている。ステープルなどの埋め込み深さが浅いほど、あるいは止め付け間隔広いほど、フレキシビリティが無くなり、小さな変形角で止め付け部から抜け、はく離しやすくなる。

上記 JASS 15 の仕様による耐震性の実験結果によれば、層間変形角 $1/100$ まではひび割れは発生せず、層間変形角 $1/60$ や $1/25$ においても脱落が無いと報告されている。（ラス下地モルタル塗り外壁の強度・変形性能と破壊性状：その 1 実験概要と強度変形性能 日本建築学会学術講演概要集 2007, 213-214）

2.1.2 中越地震

平成 16 年 10 月 23 日 17 時 56 分頃新潟県中越地方においてマグニチュード 6.8 の地震が発生した。川口町の震度 7 をはじめとし、小千谷市、山古志村、新潟小国町で震度 6 強、長岡市、十日町市、栃尾市、越路町、三島町、堀之内町、広神村、守門村、入広瀬村、川西町、中里村、刈羽村で震度 6 弱を観測するなど、東北地方から近畿地方にかけて震度 1 から 5 強を観測した。また、同日 18 時 11 分頃に M6.0、18 時 34 分頃に M6.5 の地震が発生し、いずれも最大震度 6 強が観測されるなど、同日中に震度 5 以上の余震が 10 回発生した。震源地近くの K-Net 小千谷観測点では、最大加速度 1500gal 、最大 SI 値 130kine の地震動が観測され、K-Net 十日町でも最大加速度 1700gal の地震動が観測された。1995 年の兵庫県南部地震時の神戸海洋気象台、JR 鷹取の記録と比較すると、加速度値では、小千谷、十日町の記録のほうが大きく、速度は神戸の記録と比較して十日町の最大 SI 値 53kine のほうが小さく、小千谷の最大 SI 値 130kine の記録は同等という結果である。卓越周期は JR 鷹取の $1.5\sim 2(\text{秒})$ であったのに対し、小千谷では $0.6\sim 0.7(\text{秒})$ と短く構造物が共振する固有周期とずれている(2007 年新潟県中越地震における各地の地震動特性 澤田純男 京都大学防災研究所 http://www.jsce.or.jp/report/43/report/2_1.pdf)。

11 月 10 日 15:00 の消防庁の発表によると、この地震による死者は 39 名、負傷者は 2761 名、全壊住家 808 棟、半壊住家 1735 棟、一部損壊住家 16089 棟となっている。

中越地震では、リブラスを固定している結束線の腐食による脱落(写真 2.1.1)、ラスを下地に固定するステープルの足長さ・太さ不足（足長さ 13mm 手打ち用）による下地からの抜け・脱落（写真 2.1.2 および写真 2.1.3）、取付けピッチの荒さ（ 100mm ピッチを越える）、質量不足のラス使用（ 700g/m^2 未満）など、過去に指摘された原因のものがほとんどである。足長さ 13mm のステープルが多く用いられているのは、足長さ 16mm を超えると手打ちタッカーでの固定ができず、コンプレッサーを使用したエアタッカーを用いなければならないため、設備投資、ホースの取り回しなどが不必要な施工の容易な手打ちを用いたのではないかと思われる。

今回、内部結露が原因と思われる木下地や鉄骨下地の腐食が多く見られた（写真 2.1.4 および写真 2.1.5）。ラスモルタルやラスシートモルタルの下地の設計においては、ラス、シートや固定金物の防食対策はもちろんのこと、壁体内の結露防止や通気層を設けるなどの対策が必要と考える。

最近多く行われているのが、メタルラスに軽量セメントモルタル塗りの準耐火構造認定仕様であり、中越地方にも比較的新しい住宅に多く見られ、写真 2.1.6 に示すように（鉄骨露出柱脚の破壊で「危険」と判定された鉄骨造ではあるが）、他の建物（写真 2.1.7）と同様に外壁に目立った損傷は見られなかった。



写真 2.1.1 リプラス結束線腐食



写真 2.1.2 ラスモルタルの落下

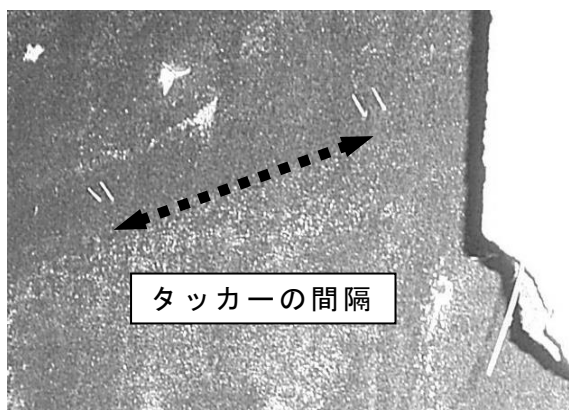


写真 2.1.3 足長さ不足によるタッカー釘抜け



写真 2.1.4 下地の腐食

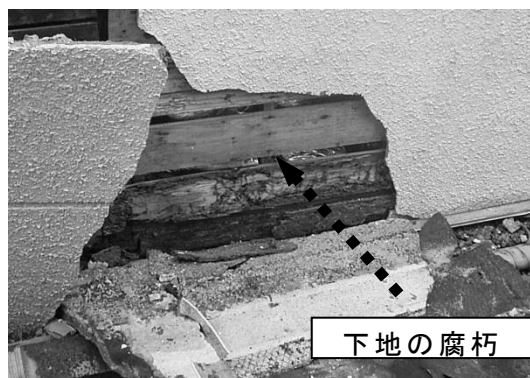


写真 2.1.5 下地の腐朽



写真 2.1.6 ラスモルタル外壁の建物



写真 2.1.7 ラスモルタル外壁の建物

2.1.3 中越沖地震

平成 19 年 7 月 16 日 10 時 13 分頃新潟県上中越沖においてマグニチュード 6.8 の地震が発生した。新潟県柏崎市、刈羽村、長野県飯綱町の震度 6 強をはじめとし上越地方で震度 5 強を越える地震が観測された。

国土交通省が設置している米山（新潟県柏崎市大字青海川字スゲ田）の地震計では、最大加速度 659gal、最大 SI 値 77kine を観測している。

表 2.1.1 にモルタル外壁（ラスモルタル、ラスシートモルタル）の被害率を示す。

表 2.1.2 に示したように 347 棟を調査し、そのうち外観上何らかの損傷を受けていると思われる建物が 82 棟存在した。347 棟中モルタル外壁は 60 棟である。2004 年新潟県中越地震における、小千谷、川口町などの山間部と比較して、柏崎市では土壁外部の下見板張りから派生したサイディング外壁が多く存在する。モルタル外壁の建物で、倒壊しているものは見当たらなかった。図 2.1.1 に示したように、ラスモルタル外壁は、幅 910mm で JASS15 仕様で水平耐力約 8kN、腐食の影響がなければ、例えステーブルの足長 12mm であっても水平耐力 4kN 程度の能力を有している。

ラスモルタル外壁の多くが、開口部が多い玄関周りに採用されている例が多く、この中には、店舗併用住宅も含まれ、店舗併用住宅の被害が多い中、倒壊がなかったことは、ラスモルタル外壁が耐力壁として寄与していたことが想像される。

なお、この地域は、山間部と比較して積雪が少なく、古くから土壁外壁の外側に下見板張りが多い地域であり、サイディングによる改修が最も早く普及した地域でもある。

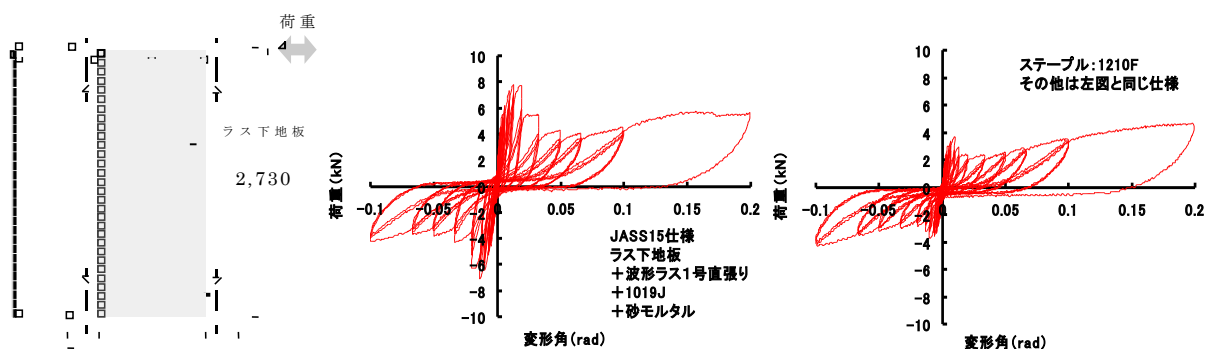


図 2.1.1 面内水平せん断繰り返し強度実験 (JASS15-2007)

表 2.1.1 モルタル外壁被害率(%)

種類	被害なし	はく落	ひび割れ	破損	合計
ラスモルタル	39	4	2	2	47
ラスシート	7	4	1	1	13

表 2.1.2 調査地域の被災度調査

調査区域	健全建物	損傷建物
西湊町	8 棟	2 棟
西本町	134 棟	47 棟
東本町	43 棟	5 棟
駅前	30 棟	3 棟
小倉町、四谷周辺	50 棟	25 棟
小計	265 棟	82 棟
合計	347 棟	

表 2.1.1 においてラスモルタルおよびラスシートモルタル外壁の「はく落」と示しているものは、木下地・鉄骨下地の腐朽・腐食によるもので、ステープルやビスの抜け出しおよび下地の脱落によるものである。健全であるモルタル外壁の詳細は一部しか確認できなかった。

(1) 下地腐食によるはく落例

写真 2.1.8～写真 2.1.11 に、木下地の腐朽および鋼製下地の腐食が原因と思われるラスモルタルのはく落例を示す。なお、写真 2.1.10 および写真 2.1.11 は下地の腐朽原因が結露によると考えられる被害事例である。



写真 2.1.8 サッシ取り合い部からの漏水による木下地およびステープル・ラスの腐食によるラスモルタル外壁のはく落例



写真 2.1.9 雨樋閉塞による漏水で筋かいが腐朽し、変形が大きくなり脱落したラスモルタル外壁の例(西本町)



写真 2.1.10 外壁下地腐食によるリブラスモルタル外壁の脱落(小倉町)築 30 年以上



写真 2.1.11 写真 2.1.10 の拡大(内壁および断熱材の鋼製下地周りに結露跡が見られる)

(2) 健全なラスモルタル外壁の例

調査区域のラスモルタル外壁（一部使用含む）の 83%が無被害か軽微な損傷であった。その中で代表的な建物を写真 2.1.12～写真 2.1.17 に示す。

表 2.1.1 および写真 2.1.12～写真 2.1.17 に示したように、2004 年新潟県中越地震の被害事例と比較して、ラスモルタル外壁の被災例が少なかった要因として考えられることは、健全な建物の外壁の詳細は確認できないが、確認できた範囲から類推すると、中越沖地震では足長 12mm の細いステープルが用いられていたのに対し、柏崎市では細いステープルよりも下地から抜けにくい又釘(写真 2.1.18)を使用していたことも要因と考えられる。



写真 2.1.12 鉄骨造ラスモルタル外壁



写真 2.1.13 ラスモルタル真壁外壁(築約 20 年)外部柱を銅板で覆うことで腐朽を防止し、構面内にモルタル壁を設置することで耐震性を考慮した建物



写真 2.1.14 店舗併用住宅(東本町)
築 30 年以上玄関周りのみラスモルタル外壁



写真 2.1.15 ラスモルタル外壁建物(築約 20 年)



写真 2.1.16 新築中のラスモルタル外壁建物(西本町)



写真 2.1.17 改修中※のラスモルタル外壁建物(西本町) 築 30 年以上

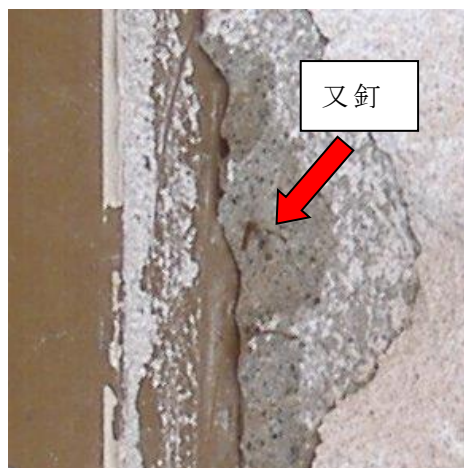


写真 2.1.18 又釘使用例
(写真 2.1.17 の建物)

※既存のラスモルタル外壁に透湿防水シートを張付け、通気胴縁を取り付けた状態

2.1.4 東日本大震災

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分 18 秒、東北地方太平洋沖(男鹿半島島南東約 130Km 付近)において M9.0 の地震が発生した。死者行方不明者は 19,009 名であり、多くが津波被害である。地震動による死者は 63 名である。

地震動の大きさは、宮城県栗原市で震度 7 であった。そのほか、仙台市内で震度 6 弱 仙台市内においては 4 月 7 の余震による震度の方が大きく震度 6 強が観測され、被害が広がった。

その中で、ラスモルタル外壁の多くがひび割れなどなく、異常は認められなかったが、一部の建物では、ラスモルタル外壁の落下が見られた。以下に概要を示す。

写真 2.1.19 は震度 6 強の地域である名取市に建つ建物で竣工後およそ 15 年程度と思われる。ひび割れなどは見当たらなかった。写真 2.1.20 は同じく名取市に建つ建物で、竣工後約 30 年程度経過していると思われ、開口部にひび割れが見られたがそのほかの損傷は外見上見られなかった。写真 2.1.21 は震度 6 弱の地域である白石市に建つ比較的新しい建物で、外壁にはひび割れなどの損傷は見られなかった。写真 2.1.22 は白石市に建つ昭和 8 年竣工のワイヤーラスを用いた建物で、基礎部分に部分的な剥落は見られたが、その他の部位には外見上損傷は見られなかった。

写真 2.1.23～写真 2.1.26 は名取市に建つ、竣工後 30 年程度の建物で、1 階の壁が部分的に脱落している。写真 2.1.24 に示すようにラス下地板にはステープルが残っており、写真 2.1.25 および写真 2.1.26 に示すように 400g/m^2 程度の細い平ラスが使用され、ラスが破断している状況が確認された。

写真 2.1.27 は白石市に建つ、竣工後 30 年程度と思われる建物の妻面の外壁が剥落していた。写真 2.1.28 に示すように、ステープルの足長さが 12mm でステープルが抜けた状況であった。

写真 2.1.29 は福島市に建つ、竣工後約 30 年程度と思われる建物で、柱部分が生物劣化により腐朽している。



写真 2.1.19 損傷が認められなかったラスモルタル外壁の例(名取市)ひび割れ無



写真 2.1.20 開口部のひび割れのみラスモルタル外壁の例(名取市)



写真 2.1.21 損傷が認められなかったラスモルタル外壁の例(白石市)



写真 2.1.22 損傷が認められなかったラスモルタル外壁の例(白石市)昭和8年竣工ワイヤラス



写真 2.1.23 ラスモルタル外壁が部分的に落下した例(名取市)



写真 2.1.24 ラス下地板にステープルが残っている状況(名取市)



写真 2.1.25 線径の細い平ラスが使用されている(名取市)



写真 2.1.26 平ラスの破断状況(名取市)



写真 2.1.27 ラスモルタル外壁が部分的に落下した例(白石市)



写真 2.1.28 ステープルが抜けた状況



写真 2.1.29 生物劣化による柱部分の腐朽(福島市)

2.1.5 まとめ

これまでの地震動によるラスモルタル外壁は健全な建物の方の数が多い。落下などの被害が見られた建物には、現行の JASS15 をはじめとする仕様書と照らし合わせて、適切でないか生物劣化による下地の腐朽が原因と考えられるものがほとんどである。

適切な施工を行うためには、適切な単価、設計者・監理者・施工者の知識・意識が重要であることは言うまでもないが、生物劣化による下地腐朽は、結露・雨水の浸透などによる長期間の高含水状態が原因であるので、通気構法などにより下地を低含水状態に保つ納まりが重要である。

2.2 構造性能に関する既往の研究の調査

モルタル壁の構造性能に関して既往の研究の調査を行った。実験例は少なくはなく、水平耐力が高いことも報告されているが、下地やステープル、ラスなど、構造性能に深く関係する仕様の記述がないものも多い。また、ほとんどの研究は、直張り構法を対象としており、耐久性の高い通気構法を対象とした研究結果の充実が望まれている。さらに、実際の建物におけるモルタル壁の壁長は様々であり、開口部も存在し、直交壁の影響も考えられる。壁長が 1P (910mm) や 2P (1820mm) の無開口のモルタル壁試験体の実験だけから、直接、実際の建物におけるモルタル壁の構造性能を正確に評価することは難しく、実状に即した様々な形状のモルタル壁について、実験的および解析的研究成果の充実が望まれる。

以下に、調査した各文献の概要を示す。

- (1) モルタル壁の水平耐力・変形状を定量的に把握しようとした先駆的な実験研究としては、坂本・大橋の研究¹⁾がある。試験体の壁長は 1200mm、高さは 1887mm で、計 32 体についてせん断加力実験を行っている。ここでの試験体仕様は、胴縁下地ラスシート仕様、木ずり下地メタルラス仕様および木ずり下地ワイヤラス仕様で、それぞれモルタルの回転拘束の状態やステープルなどの接合具間隔をパラメータにしている。ラスシートは、軸組および胴縁（受け材）に対して、N38 釘を用いて 150mm ピッチで留められている。メタルラスは、ラス下地板に対して、足長さ 19mm のステープルを用い、300mm 間隔で留められている。ワイヤラスは、足長さ 25mm の山型のステープルを用いて 300mm 間隔で留められている。実験の結果、仕様の違いによって、耐力はワイヤラス>ラスシート>メタルラスとなったことや、接合具の足長さによって耐力低下を生じる変形が異なること、接合具の間隔によって耐力に差が生じること、回転の拘束によって最大耐力時の変形が小さくなることなどが指摘されている。

さらに、文献 2) では、壁長 5P で高さ 5m の 2 階分の壁面に相当する試験体のせん断加力実験を行った結果を報告している。試験体は A、B の 2 体であり、A 試験体はラスモルタル（外装）とせっこうボード（内装）、B 試験体は硬質木片セメント板（外装）と真壁ラスボード（内装）である。モルタルの施工により試験体の耐力はかなり向上し、単体壁の積算値以上の耐力を発揮するが、比較的小さな変形で開口のコーナー部分にひび割れが生じ、1/36rad. で全面が脱落したと報告している。このラスモルタル壁には、山高さ 9mm の波形ラスを使用したことが示されているが、ステープルの種類や留め付け間隔などは示されていない。

- (2) 馬場らは、文献 3) で接合具やラスの種類などをパラメータにした非常に多くの要素実験を行い、その結果を用いた数値解析でモルタル壁の荷重－変形関係を予測した結果を報告している。ここでは、終局時のせん断変形角はモルタルの寸法の逆数に比例し、終局耐力は 2 乗に比例することなどが示されている。
- (3) 難波は、阪神淡路大震災で多くのモルタルが脱落して火災の延焼を防ぐことができなかったことから、モルタル壁工法の改善を意図して、壁長が 2P で片筋かいを併用した試験体によるせん断加力実験を行っている⁴⁾。試験体は当時の公庫仕様に準じて製作され、ステープルの足長さは 19mm で 200 本/m² としたが、当時の実状としては、その 1/3 程度の本数であるとしている。モルタルは、広く普及している軽量モルタル（圧縮強度 8.3N/mm²）を 15mm の厚さで施工している。1/60rad. 時には、モルタルの対角線上にひび

割れが生じ、1/20rad.時には5本のひび割れが生じたと報告しているが、モルタルの剥落はなかったようである。

さらに、外装がモルタル壁で瓦葺の一般的な在来軸組工法の実大建物の試験体による振動台実験⁵⁾では、繰り返し行われた加振でも、モルタルにひび割れは発生するものの脱落はなく、モルタル壁が貴重な耐震要素であることが示された。なお、この試験体におけるモルタル壁は、足長さ19mmのステープルを用いて100mm間隔で留められており、軽量モルタルが17mm厚で施工されている。

- (4) 宮村らは、文献 6)において、ラスの種類やモルタル仕上げの有無などをパラメータにした壁長が1Pの試験体によるせん断加力実験を行っている。ステープルは1019Jを用い、留め付け間隔はすべて100mmであり、20mm厚の砂モルタルを用いている。モルタルの剥離は、ステープルの破断による影響が大きく、1/8radから剥離が急速に進み、1/5.5rad時に脱落したと報告している。さらに、文献 7)においては、ラス下地板を留めるN50釘やラスを留めるタッカー釘のせん断力-相対変位関係をモデル化し、前述の試験体をモデル化することで、各変形角におけるタッカー釘の相対変位および応力を求めている。そして、その結果が実験結果と対応することを示している。

次に、文献 8)では、ステープルやラスの種類をパラメータにした実験の結果、ラスの違いが耐力に及ぼす影響は小さいこと、モルタル厚さが2/3でも耐力性状に大きな差がないこと、足長さの短い1210Fでは、1/20rad付近でモルタルの脱落があったと報告している。一般に普及しているステープルは1210Fであり、早急な対応が必要としている。これに対して文献 9)では、ステープルのせん断試験やラスの引張試験を実施し、解析によってステープルおよびラスの破壊箇所を特定して、実験結果と対応することを示している。

文献 10)および11)では、壁長が1Pの全壁と2Pの開口を有する3Pの試験体による水平加力実験により、モルタル壁の耐力・変形性状および破壊性状の検討を行っている。試験体は大きく分けて直張り構法と単層の通気構法の2種類であり、モルタルは基本的に砂モルタルである。パラメータは、下地材の種類、タッカー釘の種類、サッシによる拘束の有無などである。その結果、JASS15仕様のモルタル壁は、合板張りの場合と同等の最大耐力で、窯業系サイディングと比べても剛性、最大耐力ともに上回っていることや、実態調査を踏まえた仕様と比べて最大耐力は1.8倍、変形追従性も高いことを示している。また、通気構法であっても、下地に構造用合板を用いることで、合板を用いた直張り構法の場合と同等の耐力性状になったと報告している。また、破壊性状に関しては、ひび割れの発生状況や剥離量を定量的に整理し、実態調査を踏まえた仕様では、幅の大きいひび割れが局所的に集中して発生し、比較的小さい変形角で剥落すること、開口の隅角部を平ラスで補強しても著しいひび割れが生じたことなどを報告している。さらに、耐久性の高い通気構法を対象として、ひび割れを抑制するための工夫を施した試験体による追加実験を行い、強度・変形性能とひび割れの抑制を両立させることは可能としている。

- (5) 永田ら¹²⁾は、ステープルの足長さおよびピッチがラスモルタル壁の耐力性状や破壊性状に与える影響を把握するため、壁長2Pの試験体による静的せん断加力実験を行っている。ステープルの種類は1013Jと1019J、留め付けピッチは120mmと70mmであり、

直張り仕様で平ラス 3 号を用い、20mm 厚の砂モルタルを施工している。その結果、ステープルの足長さが大きく、留め付けピッチが小さいほど、水平耐力が高くなると報告している。また、初期剛性に関しては、留め付けピッチが同じなら、足長さが異なっても同程度であったとしている。

また中尾ら¹³⁾は、前述の試験体について、FEM で増分解析を行い、軸組の曲げ剛性や間柱脚部と土台との接合部の剛性もモルタル壁の耐力性状に大きな影響を及ぼすことを示した。

- (6) 神谷ら¹⁴⁾は、既存木造住宅からモルタル外壁を含む構面を抽出し、これを試験体として水平せん断試験を行った結果と比較するため、抽出構面と可能な限り同一仕様で新しい材料を用いて製作した再現構面試験体の水平せん断試験を行っている。抽出構面試験体の結果と再現構面試験体の結果との比較において、経年の影響で最大耐力が 12~20%、初期剛性が 26~59%低下していたと報告している。福本ら¹⁵⁾は、同様に、再現構面試験体の振動台実験を行っており、再現構面試験体における 2 回目の加振の結果は、抽出構面試験体の 1 回目の加振と同様の結果であったこと、倒壊までの吸収エネルギーは、抽出構面のほうが大きかったことを報告している。
- (7) 中島¹⁶⁾らは、モルタル壁試験体に、日射、散水繰り返しによる促進劣化試験を実施し、仕様の違いによる劣化状態の違いについて報告している。仕様のパラメータは、ステープルが 1019 と 1013、ラスが波形 1 号と平ラス 30F (300g/m²)、モルタルについては、厚さ 20mm と 12mm である。その結果、ステープルやラスの性能が低い場合には、促進劣化によって幅の広いひび割れが生じやすく、モルタルの厚さが薄いと、ひび割れの幅が広く、数も多くなるとしている。
- (8) 松田ら¹⁷⁾は、1P と 3P のせっこうボード、窯業系サイディングおよびモルタル壁の水平加力実験を行っている。ラス下地板は直張りで、ステープルの種類は不明であるが、留め付け間隔は 100mm、ラスは波形 1 号を用い、モルタルの厚さは 20mm である。1P あたりの耐力に換算すると、3P 試験体の耐力が 1P 試験体より高く、モルタルの剛体回転により、回転中心から離れたステープルで多くの力を負担したためとしている。
- (9) 上村ら¹⁸⁾は、ひび割れ防止技術の信頼性向上のために、通気構法で開口の有無、ラスの種類（通気リプラス、通気力骨付き平ラス）、ガラス繊維ネットの伏込み方法をパラメータにした壁長 2P の試験体を製作し、水平加力試験を行っている。胴縁は 45mm×18mm であり、ステープルの種類は 625TRD で、留め付け間隔は縦方向は 150mm ピッチ、横方向は 455 ピッチである。軽量モルタルを用い、厚さ 15mm で施工している。同時に行った直張り仕様の試験体の結果と比べ、通気構法におけるひび割れの発生状況は、同等か少ないことが報告されている。また、水平加力試験後に行った、モルタル層の面外引張試験では、ラスモルタル層の面外方向慣性力に対し、十分な余裕を有していることも確認されている。
- (10) 的野ら¹⁹⁾は、1700mm の幅の掃き出し開口を有する壁長 4P の試験体で静的面内せん断試験を行い、通気層の有無、ラスの種類、ステープルの種類、モルタルの種類が損傷性状に及ぼす影響を検証している。下地には全ての試験体で構造用合板を用いており、通気層がある場合、ラスは力骨付き平ラス、ステープルは 625T を用い、留め付けピッチは 150mm である。通気層がない場合、力骨付き平ラスを用いる仕様でのステープルは

719Mでピッチは150mmであるが、波ラスを用いる仕様でのステープルは1019Jであり、留め付けピッチは100mmと70mmの2種類である。なお、試験体の片側には、長さ432.5mmの直交壁を有している。せん断加力試験の結果、通気層がある場合は、胴縁を留める釘の影響で最大耐力が高くなること、通気層がない場合は力骨付き平ラスより波形ラスの耐力が高いことなどが示されている。また、損傷状況としては、通気層の有無で差がないこと、力骨付き平ラス仕様の場合は波ラス仕様の場合に比べて、隅角部のせん断亀裂が早期に発生すること、ステープルの種類はモルタルの損傷性状に大きな影響を与えないことなども報告されている。

参考文献

- 1) 坂本 功, 大橋 好光: 木造軸組ラスモルタル壁の水平剪断実験 その1～その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造系分冊, pp.2077-2080, 1982
- 2) 大橋 好光, 安達 文男, 坂本 功: 木造住宅用内外装材の変形性能に関する実験 その1～その2, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.89-96, 1986
- 3) 馬場 明生, 白山 和久: ラスセメントモルタルの面内剪断変形追従性〔その3・壁体の追従性の予測手法〕, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.417-420, 1983
- 4) 難波蓮太郎: 木造住宅のモルタル外壁被災調査及び耐震・防火性能改善に関する研究, 工学院大学総合研究所年報, 第1号, pp.175-199, 1994
- 5) 難波蓮太郎, 田辺英男, 坂本功, 上田善規, 宮澤健二, 飯鉢整, 池本孝, 山留美子: 軸組構法住宅の実大振動実験(B棟) その3. ラスモルタル外壁仕上げの耐震性付与, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊, pp.141-142, 1996
- 6) 宮村雅史, 太田正光, 山口修由: ラス下地モルタル塗り工法の耐力及び剥落に関する研究 ラス下地板の場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊, pp.475-476, 2004
- 7) 宮村雅史, 太田正光, 佐藤雅俊: ラス下地モルタル壁の耐力と破壊性状(第1報) ラス下地材を用いたモルタル壁のせん断変形挙動の解析, 木材学会誌, Vol.52, No.5, pp.303-311, 2006
- 8) 宮村雅史, 太田正光, 佐藤雅俊, 山口修由: ラス下地モルタル塗り工法の耐力及び剥落に関する研究 構成材料による影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊, pp.377-378, 2005
- 9) 宮村雅史, 太田正光, 佐藤雅俊: ラス下地モルタル壁の耐力と破壊性状(第2報) メタルラスとステープルからなる接合部の壁体強度特性への影響, 木材学会誌, Vol.54, No.5, pp.272-280, 2008
- 10) 宮村雅史, 山中豊茂, 西山榮一, 鈴木光, 横田裕司, 中川貴文: ラス下地モルタル塗り外壁の強度・変形性能と破壊性状 その1～その3, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊, pp.213-218, 2007
- 11) 宮村雅史, 西山榮一, 横田裕司, 山中豊茂, 鈴木光, 中川貴文: ラス下地モルタル塗り外壁の強度・変形性能と破壊性状 その4, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊, pp.425-426, 2008
- 12) 永田智彦, 中尾方人, 山崎裕: 木造住宅におけるラスモルタル外壁の耐震性能評価に関する研究, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.143-146, 2004

- 13) 中尾方人，永田智彦，山崎裕：軸組の剛性がラスモルタル外壁の耐震性能に与える影響，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊，pp.477-478，2004
- 14) 神谷文夫，槌本敬大，五十田博：既存木造住宅の耐震性向上に関する総合的研究 その 20 モルタル外壁の面内せん断性能の経年劣化，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊，pp.173-174，2004
- 15) 福本有希，佐藤友彦，槌本敬大，腰原幹雄，五十田博，坂本功：既存木造住宅の耐震性向上に関する総合的研究 その 39 既存木造住宅からの抽出構面と新築構面の振動台実験の比較，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊，pp.151-152，2005
- 16) 中島史郎，濱崎仁，宮村雅史，相馬智明：木造建築物の改善改修技術の開発 木造モルタル壁の劣化度評価と剛性評価，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊，pp.109-110，2005
- 17) 松田和浩，坂田弘安，笠井和彦，大木洋司：財産保持に優れた制振住宅に関する開発の経過報告 その 22 繰返し水平力を受ける在来軸組木造住宅の挙動に対する内外装材の影響，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊，pp.427-428，2008
- 18) 上村昌樹，大原信二，原田進，渡部嗣道：通気工法を有する木造軸組ラスモルタル壁の水平加力実験，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊，pp.453-454，2009
- 19) 的野博訓，前川秀幸，大橋好光，伊東洋路，藤代東，松留慎一郎，有富統政：木造モルタル壁の損傷性状に関する研究 その 1～その 2，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊，pp.295-298，2009

2.3 現状の課題

木造住宅の耐震性を示す指標として「壁倍率」というものがある。壁倍率は、建築基準法施行令第46条および昭和56年6月1日建設省告示第1100号に定められているが、その中ではモルタル壁の特性は壁倍率に加味されていない。

また、既往の研究においてモルタル壁を施工し、モルタル壁の構造性能を検証した事例は多くあるが、モルタル壁は外装材として扱われているため下地やステープル、ラスなど、構造性能に深く関係する仕様の記述がないものが多く、また、殆どの研究は、直張り構法を対象としており、試験体も業務方法書（木造の耐力壁及びその倍率 試験業務方法書、枠組壁工法耐力壁及びその倍率 試験・評価業務方法書）に準じて壁長が1P（910mm）や2P（1820mm）の無開口の試験体が多い。

直張り構法は、モルタル外壁の一般的な構法ではあるが、近年は耐久性向上の観点からモルタル外壁でも通気構法が増えつつあり、今後の主流になると考えられるが、既往の研究は、直張り構法を対象としている場合が多く、通気構法によるモルタル壁の構造性能の検証数が少ない。そのため、通気構法によるモルタル外壁の特性や剥落安全性などの技術データを収集する必要があると考える。

また、既往の研究では試験体の寸法、形状は業務方法書に準じて1P、2P程度で行われている場合が多く、直交壁は、業務方法書では設定していない。

実際の建物におけるモルタル壁の壁長や開口部の寸法、形状は様々であり、直交壁も存在する。

1P、2P程度の無開口のモルタル壁試験体の実験だけから実際の建物におけるモルタル壁の構造性能を正確に評価することは難しく、実情に即した様々な形状のモルタル壁で評価を行う必要があると考える。

既往のモルタル壁の構造性能を検証した研究においてモルタルは現場調合の砂モルタルを使われている場合が多いが、現在木造住宅のモルタル外壁に使用されるモルタルの多くはJASS15 M-102に適合した既調合軽量セメントモルタルである。

砂モルタルと既調合軽量セメントモルタルとでは配合や特性に違いがあるため、砂モルタルでの検証結果が既調合軽量セメントモルタルでも同等となるかは既往の研究結果を精査しなければならないが、実際の施工状況に即して既調合軽量セメントモルタルでの評価、技術データの収集が必要と考える。

3. モルタル仕上げ外壁の構造性能に関する試験

3.1 目的および背景

ラスモルタル外壁の特徴として、「シームレスで目地のない多種多様な意匠性」、「防耐火性能」などが挙げられる。

一方、工事関係者の立場としては「ひび割れ発生」、「工期が長い」などの指摘、施主の立場としては「地震時の脱落」、「ひび割れ発生」などの指摘がある。

ひび割れ発生に関しては、既調合軽量セメントモルタルの採用、質量 700g/m^2 以上の異形ラスの採用、開口部周辺の平ラスによる補強、ガラス繊維ネットの伏せ込みなど、2.1 に示したように、ごく一般的な仕様であれば、ひび割れ発生や地震時の脱落の恐れはないことが判っている。

さらに、JASS15 をはじめとする各仕様書通りに、ラスモルタル外壁の施工を行ったものは、宮村氏の構造実験などの結果、直張り工法では $1/5.5\text{rad}$ の変形角で初めて脱落するなど、ラスモルタル外壁の耐震性の高さは確認されている（2.2(4)参照）。

しかし、前述の指摘のように、ひび割れや地震時の脱落が発生している例が現実には存在する。

また、地震被害の調査において、脱落したラスモルタル外壁の中には、下地としての柱・間柱やラス下地板の腐朽が見られる場合がある。下地の腐朽は外部からの漏水や内部結露によってもたらされた水分が長期間壁体内に留まることが原因と考えられている。

本研究会発足当時、耐震性の高い直張り工法のラスモルタルが木造建築物の耐震要素になりうるとして、壁倍率としての評価並びに「外壁モルタル仕上げの改修マニュアルー木造編ー」（日本建築仕上材工業会編集，NPO 法人湿式仕上技術センター監修，平成 18 年 10 月）における、耐震性に疑念が残る劣化の場合の塗替えや耐震改修時の耐震要素としての評価を成果物として研究を進めてきた。

耐震要素としての評価方法の検討を進めるうちに、ステープル、ラスおよび下地の劣化により耐震性が低下する可能性について評価をどのように行うか、脱落に至る劣化を確実に低減させるにはどうしたらよいかなど、確実な耐久性確保を担保できないと、耐震性の評価ができないのではないかという方向に転換することになった。

ラスモルタル外壁の耐久性を確保する工法の一つとして、ラスモルタル通気構法が挙げられる。通気構法であれば、壁体内結露や雨水侵入などにより壁体内に水が介在しても、通気により長期間水分が壁体内に留まる時間が大幅に短くなり、下地を含めたラスモルタル外壁の大幅な耐久性確保につながることが期待できる。

一方、ラスモルタル通気構法の耐震性に関する研究はさほど行われていないことから、当研究会では、ラスモルタル通気構法の耐震性に関する研究に着手した。

ラスモルタルの耐震性の検証がなされることにより、耐震性確保の仕様、ひいてはラスモルタル工法の普及に大いに役立つものと期待している。

3.2 開口部を有するモルタル外壁の構造性能（2009 年度の試験報告）

3.2.1 試験体

(1) 試験体の仕様

試験体の寸法は、図 3.2.1 に示す、壁長 4550mm(5P)×高さ 2730mm とし、二層下地通気構法を基本として、表 3.2.2 に示すように全壁・門型開口部あり（1P・2P・3P）・窓型開口部あり（1P・2P・3P）の 7 タイプに分け 12 体を作製した。また門型開口部ありについては、単層下地構法（No.3-s）・アラミド 4 軸ネット伏せこみ（No.3-a4）・高耐力（No.3-h）の仕様の試験体 No.3 を追加した。試験体の構造材と胴縁・ラス下地材の種類、寸法及び材料を表 3.2.1 に示す。試験体の構造図を図 3.2.2 に示す。

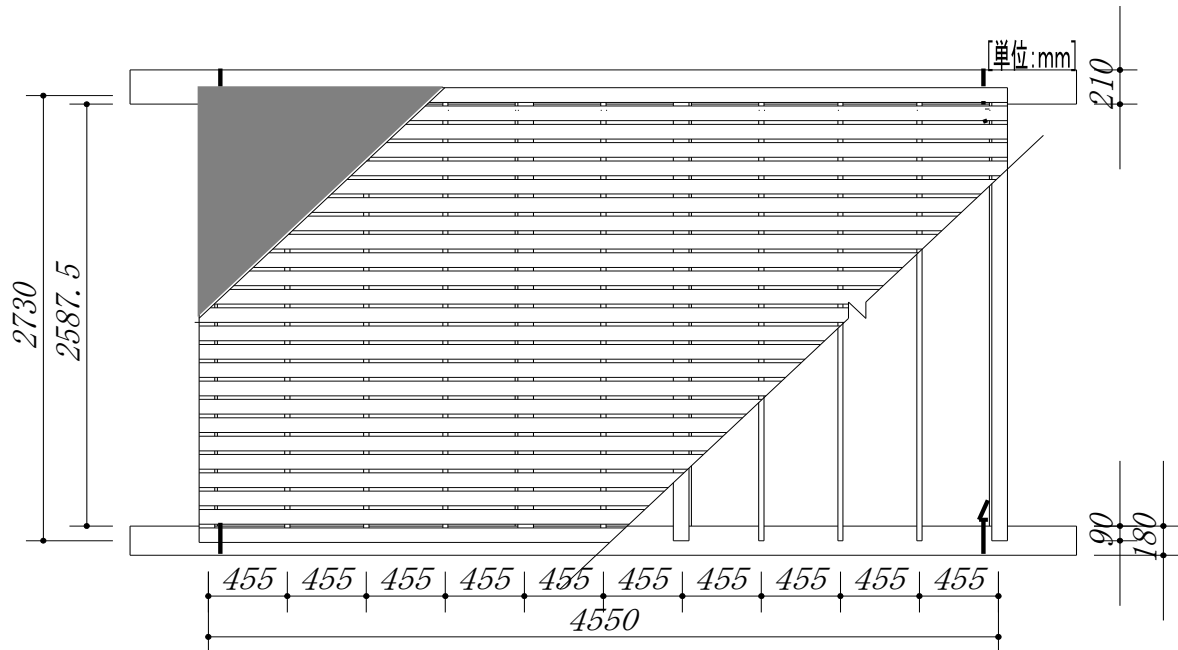
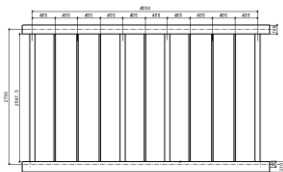
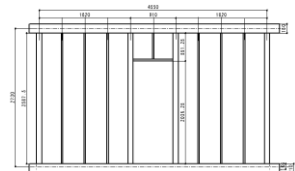
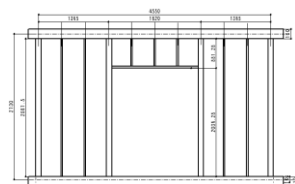
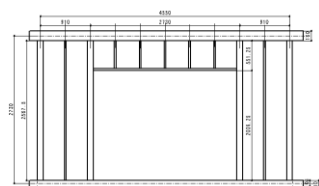
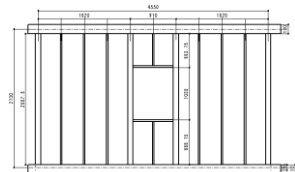
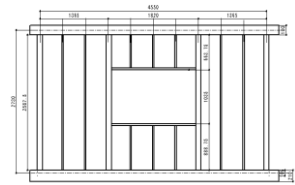
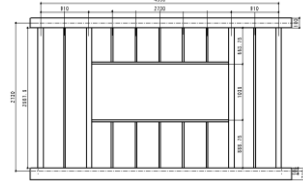


図 3.2.1 試験体の寸法

表 3.2.1 構造材と胴縁・ラス下地材の種類寸法および材料

種類	寸法	材質
桁	105mm×180mm	べいまつ集成材
土台	105mm×210mm	すぎ集成材
柱	105mm×105mm	すぎ
間柱	30mm×105mm	すぎ ※No.3-s については 45mm×105mm
まぐさ窓台	30mm×105mm	すぎ
縦胴縁	15mm×90mm(柱上)	すぎ
(通気胴縁)	15mm×30mm(間柱上)	すぎ ※No.3-s については 15mm×45mm
ラス下地板	12mm×90mm (目透かし 22.5mm)	すぎ 5 枚毎乱継ぎ、柱上で継ぐ(間柱上では継がない)、土台・桁にも各 1 段
ホールダウン 金物	HD15(両サイド柱の柱頭・柱脚 及び開口部柱の柱頭・柱脚)	Z マーク表示金物
かど金物	CPT(連続する柱の柱頭・柱脚)	Z マーク表示金物
アンカーボルト	M16、座金 80×80×9	Z マーク表示金物

表 3.2.2 試験体の番号とタイプの一覧

試験体 番号	開口の大きさ	仕様・試験体数	タイプ
No.0	開口幅：0 mm 開口高：0 mm	全壁 標準：3 体	
No.1	開口幅：805.00 mm 開口高：2036.25 mm	標準：1 体	1 P 
No.2	開口幅：1715.00 mm 開口高：2036.25 mm	門型開口部あり 標準：1 体	2 P 
No.3	開口幅：2625.00 mm 開口高：2036.25 mm	門型開口部あり 標準：1 体 単層下地(3-s)：1 体 アラミド4軸(3-a4)：1 体 高耐力(3-h)：1 体	3 P 
No.4	開口幅：805 mm 開口高：1035 mm	標準：1 体	1 P 
No.5	開口幅：1715 mm 開口高：1035 mm	窓型開口部あり 標準：1 体	2 P 
No.6	開口幅：2625 mm 開口高：1035 mm	窓型開口部あり 標準：1 体	3 P 

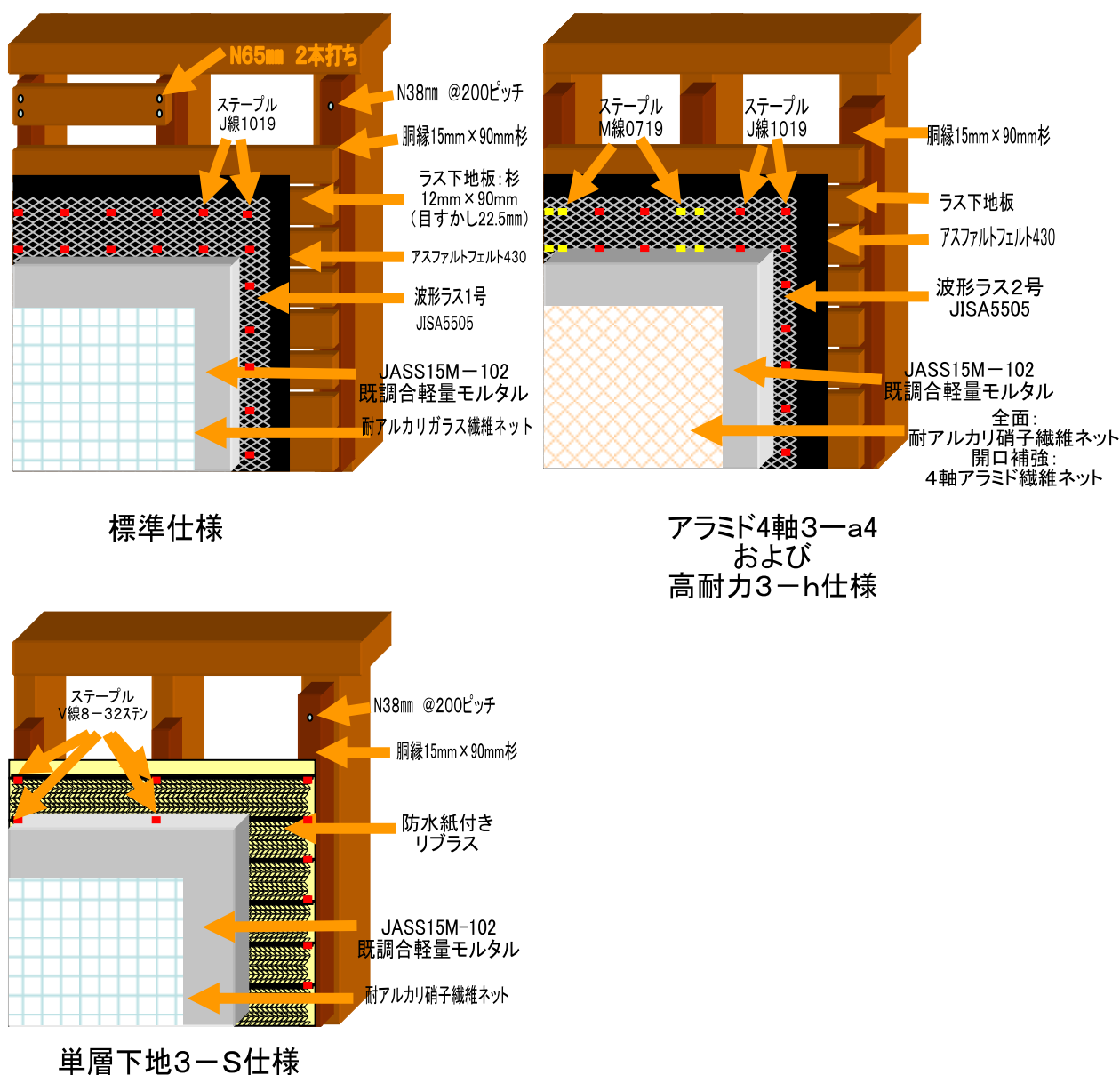


図 3.2.2 試験体の構造図

① くぎ

まぐさ・窓台端部は柱に 10mm 大入れし N75 にて 2 本斜打、間柱の頭脚は桁と土台に 10mm 大入れし N75 にて 2 本斜打、胴縁は、N38 にて@200 (※No.3-s については N50 にて@150)、ラス下地板は柱、間柱上に 2 本 N65 にて固定した。

② 防水紙

防水紙は JIS A 6005 アスファルトルーフィングフェルトに適合するアスファルトフェルト 430 同等品を使用した。No.3-s の単層下地工法は、ターポリン紙による防水紙を使用した。また、躯体側の透湿防水シートは、全ての試験体で省略した。

③ ラス

標準試験体 (単層下地通気構法仕様と高耐力使用以外の試験体) のラスは波形ラス 1 号=700g/m²・メッシュ 13×26mm・山高 6mm・寸法 910×1829mm とし、高耐力仕様は、波形ラス 2 号=1050g/m²・メッシュ 13×26mm・山高 6mm・寸法 910×1829mm を使用した。単層下地通気構法による試験体は、防水紙付きリブラス=800g/m²・山高 5mm・リブ間隔

155mm・寸法 930×1870mm を使用した。また、開口部補強用とし平ラス 1 号=450g/ m² を使用した。



図 3.2.3 ラスの種類

④ ステープル

標準試験体の波形ラス 1 号の留め付けは、1019J（線形：J 線・幅 10mm・脚長 19mm）を使用した。

No.3-h の高耐力仕様は波形ラス 2 号を横方向にはステンレス 832（線形：V 線・幅 8mm・脚長 32mm）および 719M（線形：M 線・肩幅 7mm・脚長 19mm）を使用した。単層下地通気構法の防水紙付きリブラスは、ステンレス 832V を使用した。使用したステープルの種類および線径の厚みを、写真 3.2.1 に示す。

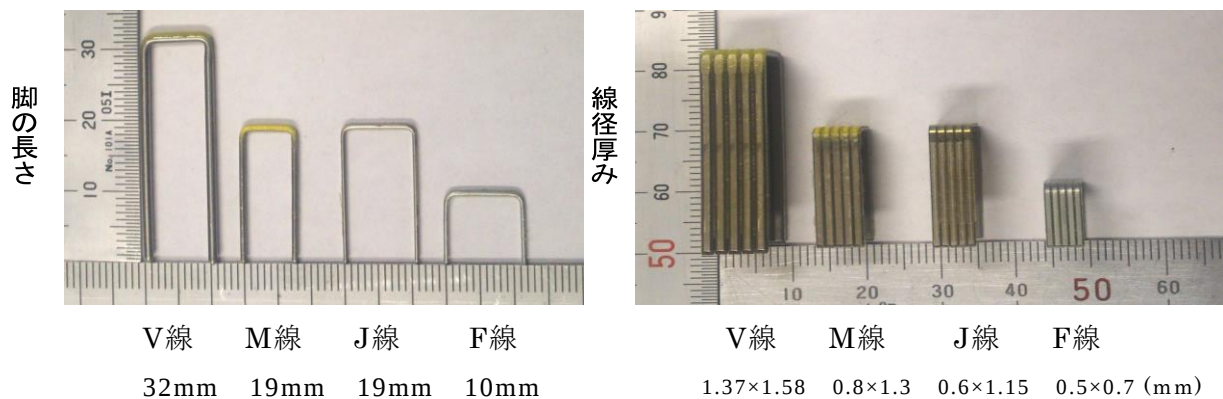


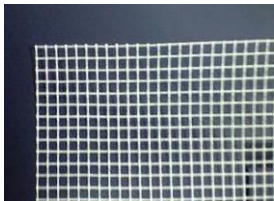
写真 3.2.1 ステープルの種類と線径の厚み

⑤ 補強材

開口部の四隅には、平ラス 1 号 (450g/m²) 幅 100×長さ 200mm を使用した。但し、No.3-s は、ラスによる開口補強は入れなかった。また、各試験体ともモルタル施工時に耐アルカリガラス繊維 2 軸ネット（以下、ガラスネットという。）を使用し、No.3-h および No.3-a4 は、アラミド繊維 4 軸ネット（以下、アラミドネットという。）を使用した。補強用繊維ネット性状を表 3.2.3 に示す。

※ dtex【デシテックス】(10 dtex=1tex)素材により異なる糸の太さの表記を統一する単位。長さ1000mで重さが1gある糸の太さを【1テックス】といい、この補助単位。

表 3.2.3 補強用繊維ネットの性状

補強用繊維ネットの種類	引張り強さ		網目寸法	単位質量
ガラスネット 	縦糸	700N	5×5mm	150g/m ²
	横糸	740N		
アラミドネット 	1100dtex ※	2200N/50mm	5mm	94g/m ²

⑥試験体の番号と使用材料の一覧

試験体に用いた材料の一覧を表 3.2.4 に示す。

表 3.2.4 試験体に用いた材料の一覧

試験体 番号	防水紙	ラス	開口補 強	ステー プル	留め間隔	備考
No.0	アスファルトフェルト 430 横張り(重ね 代は縦横と も 90mm 以 上)	波形ラス 1 号 横張り(重ね代 は縦：1 山重 ね・横：30mm 以上)	平ラス 1 号	1019J	縦：ラス下地 板 毎 横:100mm 毎	ガラスネット
No.1						
No.2						
No.3-1						
No.3-a4						
No.3-s	なし	防水紙付きリ ブラス 横張り(重ね代 は縦：リブ重 ね・横：30mm 以上)	なし	832V ステンレス	縦:155mm 毎 横:455mm 毎	単層下地・ ガラスネット
No.3-h	アスファルトフェルト 430 横張り(重ね 代は縦横と も 90mm 以 上)	波形ラス 2 号 横張り(重ね代 は縦：1 山重 ね・横：30mm 以上)	平ラス 1 号	832V ステンレス 719M ステンレス	柱 2 列・間柱 1 列 ラス下地板 に 2 列	開口部 アラミドネット
No.4		波形ラス 1 号 横張り(重ね代 は縦：1 山重 ね・横：30mm 以上)		1019J	縦：ラス下地 板 毎 横:100mm 毎	ガラスネット
No.5						
No.6						

(2) 試験体の作製工程

試験体の作製期間を以下に示す。

- ・木工事 平成 21 年 11 月 4 日～10 日

- ・下地造作 平成 21 年 11 月 9 日～10 日
- ・左官工事 平成 21 年 11 月 13 日～14 日（下塗り）
平成 21 年 11 月 20 日～21 日（上塗り）

①木工事

まぐさ・窓台端部は柱に 10mm 大入れし N75 にて 2 本斜打、間柱の頭脚は桁と土台に 10mm 大入れし N75 にて 2 本斜打、胴縁は、N38 にて@200（※No.3-s については N50 にて@150）、ラス下地板は柱、間柱上に 2 本 N65 にて固定した。



写真 3.2.2 軸組の概要

②防水紙の張付け

柱、間柱と胴縁の間には全試験体で透湿防水シートの張付けは無しとした。

ラス下地板上には 430 アスファルトフェルトを張付けた。張付けは横張りとし、壁面下部から張り始めた。縦方向の継ぎ手が無い形とし、開口部を設ける仕様については開口部隅角部は欠き込みとした。横方向の継ぎ手は 100mm の重ねとした。留付けは手打ちタッカー（ステーブル寸法：足長 10mm、肩幅 12mm）を使用し、しわ、たるみがない様適度に打ち付けた。No.3-s の単層下地工法は無しにした。



写真 3.2.3 防水紙張付け

③ラスの張付け

試験体仕様 No.3-h、No.3-s 以外のラスの張付け方法は共通である。（標準仕様）ラスは

波形ラス 1 号を使用した。張付けは横張りとし、壁面右上部から張り始めた。ラスの留付けはステープル（1019J）をエアーネイラーにて打ち付けて行った。ステープルの間隔は、縦方向はラス下地毎・横方向は 100mm とした。また、重ね代は、縦方向は 1 山重ね・横方向は 30mm 重ねとした。開口部を設ける仕様については開口部遇角部を欠き込みとし、補強用として幅 100×長さ 200mm に裁断した平ラス 1 号を開口部遇角部に張付けた。



写真 3.2.4 ラス張付け



写真 3.2.5 ラス張付け(開口補強)

（No.3-h）ラスは波形ラス 2 号を使用した。張付けは横張りとし、壁面右上部から張り始めた。ラスの留付けはステンレス 832V のステープルを柱下地部には横に 2 列、間柱下地部には 1 列にラス下地毎打ち付け、柱・間柱間のラス下地板のみの部分には 719M のステープルを縦方向はラス下地毎・横方向は等間隔に打ち付けた。また、重ね代は、縦方向は 1 山重ね・横方向は 30mm 重ねとした。開口部周りについては標準仕様の開口部を設ける仕様と同様、開口部遇角部を欠き込みとし、補強用として幅 100×長さ 200mm に裁断した平ラス 1 号を開口部遇角部に張付けた。

（No.3-s）ラスは防水紙付きリブラスを使用した。張付けは横張りとし、壁面左下部から張り始めた。ラスの留付けはステンレス 832V のステープルを使用し、横方向は胴縁毎にリブ谷部へ水平打ちし、縦方向は 155mm のリブごとに固定した。また、重ね代は、縦方向はリブ重ね・横方向は 45mm 重ねとした。開口部周りについては標準仕様の開口部を設ける仕様と同様、開口部遇角部を欠き込みとした。なお、No.3-s については補強用の平ラス 1 号の張付けは行わなかった。



写真 3.2.6 ラス張付け(No.3-s)

④モルタルの塗付け

モルタルは NPO 法人湿式仕上技術センターの試験体作製用標準既調合軽量セメントモルタルを使用した。

製品 1 袋 25kg に対し水 10.5 リットルを加えて混練を行ったモルタルを下塗りとし、上塗りの 2 回に分けて塗付けた。下塗りの塗付け完了後、塗り厚を均等にとすることと上塗りの付着を高める為モルタル表面に木ゴテによるならしを行った。ならし後のモルタル塗付け厚は実測値で約 9mm であった。

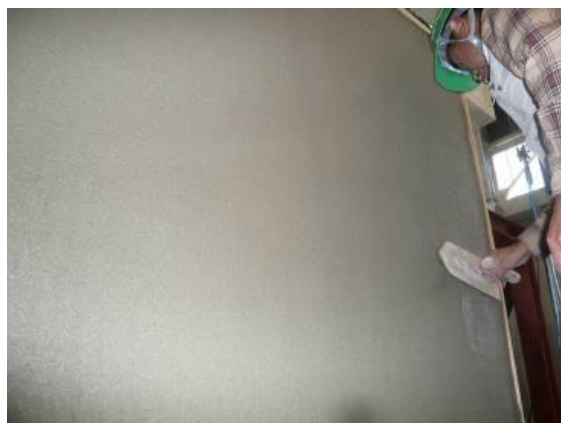


写真 3.2.7 モルタル塗付け(下塗り)

No.3-h においては、木ゴテによるならしを行ったのち開口部周囲に幅 300mm のアラミドネットを伏せこんだ。

下塗り完了から 7 日間の養生期間を設けた後、上塗りの塗付けを行った。

上塗りの塗り厚は下塗りと合わせ 15mm となる厚さとした。上塗りの塗付け後、モルタル表層部にガラスネットを伏せこんだ。伏せこみは No.0 については、左端より右端に向かって縦張りにて伏せこみ、開口部を設けた仕様については、開口部より 50mm 試験体中央側に入った位置より左右に伏せこみ始めることを共通とし、試験体の中央部および両端を伏せこみ終わりとした。なお、No.3-a についてはガラスネットではなく幅 300mm のアラミドネットの伏せこみとした。



写真 3.2.8 モルタル塗付け(上塗り)ネット伏せこみ



写真 3.2.9 ネット伏せこみ(伏せこみ始め)



写真 3.2.10 耐アルカリガラス繊維
2 軸ネット

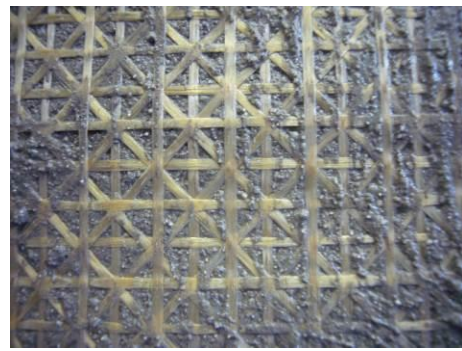


写真 3.2.11 アラミド繊維
4 軸ネット

⑤養生

モルタルの塗付け完了から試験開始までの養生期間は 28 日以上とした。

(3) モルタルの物性値

モルタルは JASS15M-102 に適合した、防火上不利な条件の NPO 法人湿式仕上技術センターの試験体作製用標準既調合軽量セメントモルタルで、使用した軽量セメントモルタルの物性を表 3.2.5 に示す。物性値は、材令 28 日目の値である。供試体寸法は、密度、曲げ・圧縮強さは $40 \times 40 \times 160 \text{mm}$ 、割裂引張強度、圧縮静弾性は $100 \times \phi 50 \text{mm}$ である。

表 3.2.5 軽量セメントモルタルの基本物性

No.	密度	曲げ 強さ (N/mm^2)	圧縮 強さ (N/mm^2)	割裂引張 強度 (N/mm^2)	圧縮静弾性	
					最大 歪み (μ)	静弾性 係数 (N/mm^2)
1	1.03	2.71	7.88	0.96	3083	3401
2	1.03	2.64	8.13	0.99	3325	3761
3	1.02	2.57	7.99	1.10	2644	3835
平均	1.03	2.64	8.00	1.02	3017	3666



写真 3.2.12 物性測定用試験体作製の様子

(4) ステープルの一面せん断特性

水平力を受けるモルタル塗り外壁の破壊性状としては、ステープルのラス下地板からの引き抜けや破断が最も顕著である。過去の震災においても、ステープルの数や足長さの不足がモルタル外壁の脱落につながっていることが確認されている。ステープル単体の構造性能を把握するために、実大試験体と同じ仕様でステープルの一面せん断試験を実施した。

図 3.2.4 のように、ステープル(1019J)によって、75mm 角の防水紙（JIS A 6005 に適合するアスファルトフェルト 430 同等品）およびラス（波形ラス 1 号）をラス下地板に留め付け、厚さおよそ 15mm の既調合軽量モルタルを塗ったものを試験体とした。ラス下地板の繊維方向に対して平行に加力する試験体と、直角に加力する試験体を各 6 体製作し、モルタルを固定して、ラス下地板に引張力を载荷した。加力の状況を写真 3.2.13 に示す。

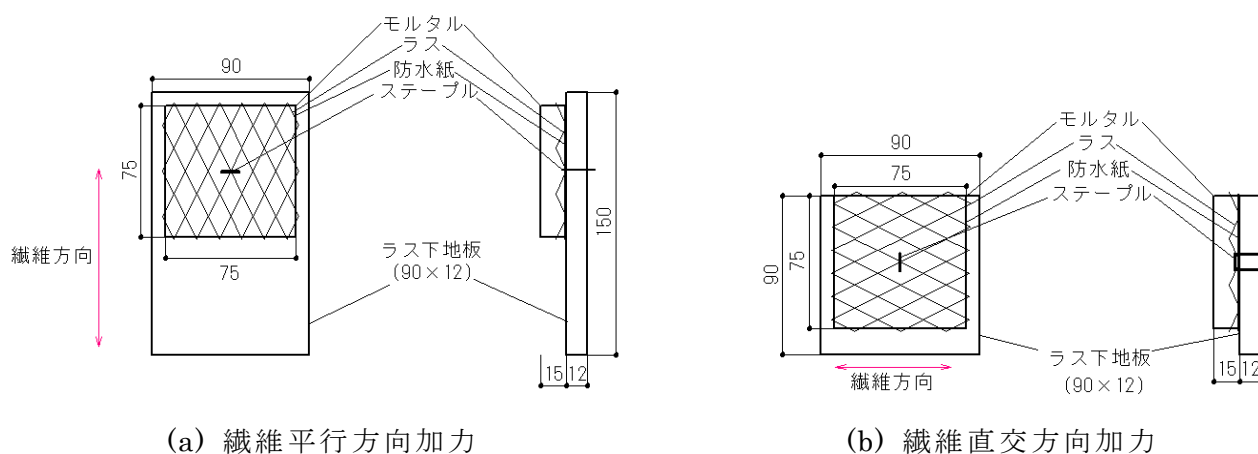


図 3.2.4 ステープルの一面せん断試験の試験体

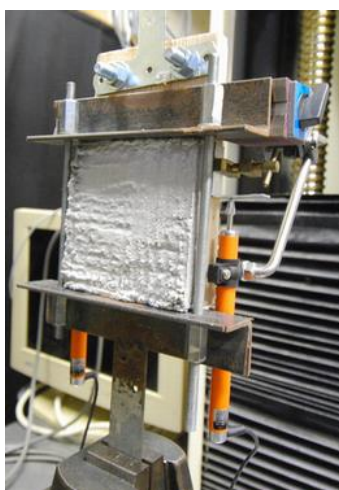


写真 3.2.13 ステープルの一面せん断試験の状況

ラス下地板の繊維と平行方向に加力した場合の結果を図 3.2.5 に示す。この場合は、写真 3.2.14 のように、ステープルが引抜ける破壊モードであり、最大耐力は概ね 0.3kN 程度であった。図 3.2.6 は、繊維と直角方向に加力した場合であり、この場合は、写真 3.2.15 と写真 3.2.16 に示すように、ステープルは引抜けず、ラスが切れてモルタルから剥離するような破壊モードが多く、最大耐力は概ね 0.3～0.4kN 程度であった。最大耐力に関しては、加力方向によらず同程度であるが、剛性は後者のほうが高く、変形能力は、前者のほうが

優れているといえる。

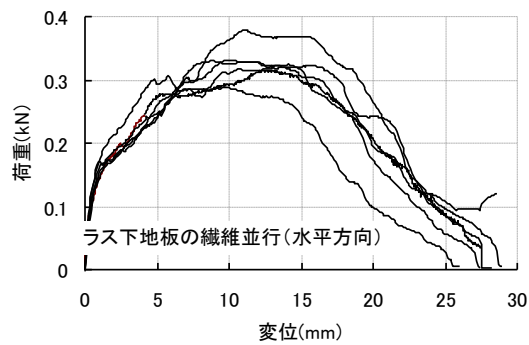


図 3.2.5 ラス下地板の繊維に平行に加力した場合

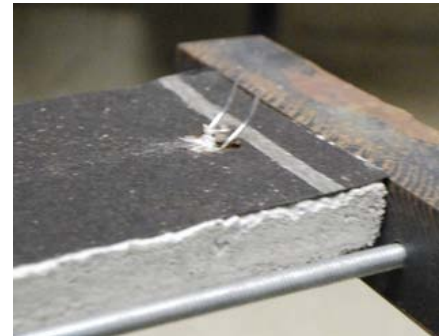


写真 3.2.14 ステープルの引抜け

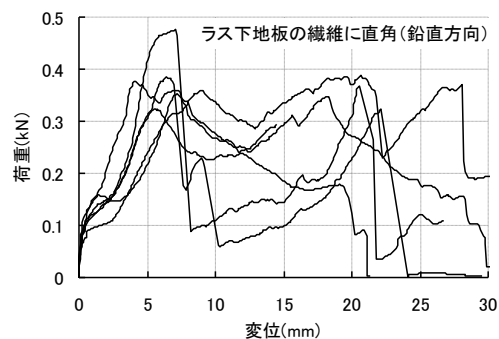


図 3.2.6 ラス下地板の繊維に直角に加力した場合



写真 3.2.15 ラスの破断

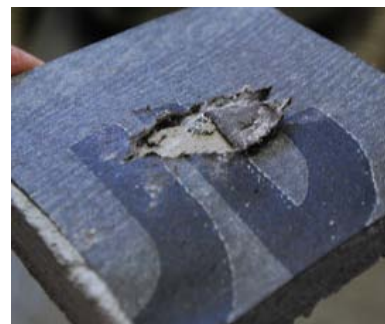


写真 3.2.16 モルタルからのラスの剥離

次に、表 3.2.6 に示す 3 種類のステープル（1210F、1019J、1019M）を厚さ 12mm のスギのラス下地板に対して平行に留め付け、せん断力を加えたときの結果¹⁾を示す。図 3.2.7 は、ラス下地板の繊維方向に対して平行に加力した場合、図 3.2.8 は直角に加力した場合の荷重－変位関係である。

ステープルの種類により、変形追従性および強度が著しく異なる。ラス下地板の繊維と平行方向の加力においては、1019M と 1019J の最大耐力はほぼ同等であるが、1210F は約 1/3 となった。1019M は 15mm 付近で保持力が無くなるが、1210F は 10mm、1019J は 6mm 付近で保持力が低下し、再度上昇する結果となった。

ラス下地板の繊維に直角方向の加力においては、線径により最大耐力の差が著しかった。

1210F は 7mm 付近で保持力が無くなり、1019J と 1019M には試験体によるばらつきがあり、1019J は 12mm 付近、と 1019M は 15mm 付近で保持力が急激に低下しているものがあった。

表 3.2.6 各ステープルの寸法

	内幅 (mm)	足長 (mm)	線厚 (mm)	線幅 (mm)	断面 積比
1210F	12	10	0.5	0.7	1.0
1019J	10	19	0.6	1.15	2.0
1019M	10	19	0.8	1.3	3.0

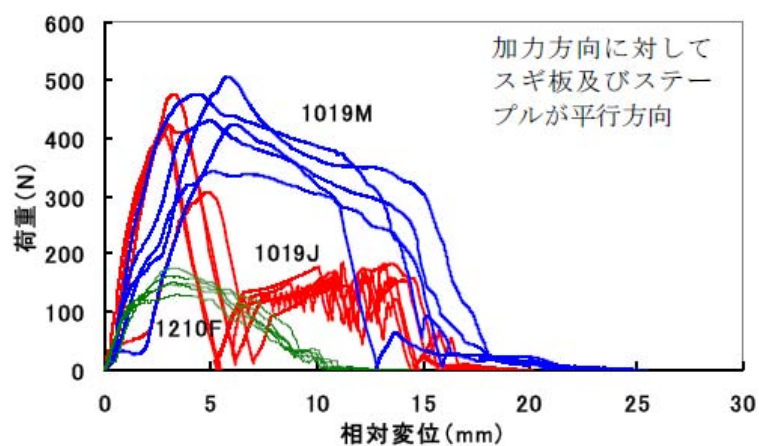


図 3.2.7 ラス下地板の繊維方向に平行に加力した場合の荷重－変位関係

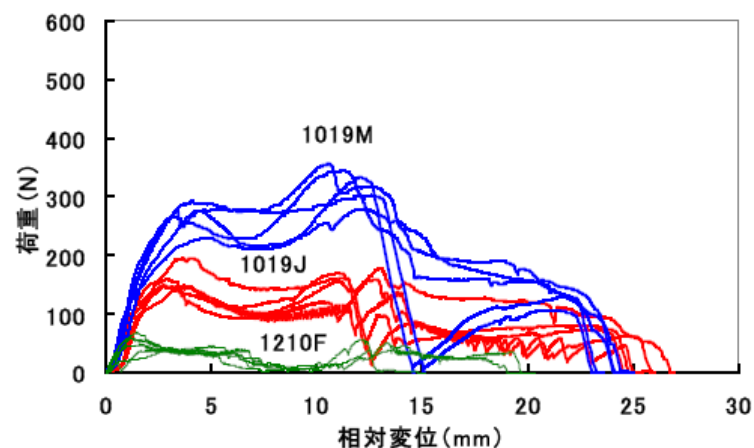


図 3.2.8 ラス下地板の繊維方向に直角に加力した場合の荷重－変位関係

参考文献

- 1) 鈴木光、山中豊茂、西山栄一、横田裕司、宮村雅史：ラス下地モルタル塗り工法に関する調査研究（その 2）、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 構造Ⅲ、pp.271-272、2006.9

3.2.2 試験方法

試験方法は、無載荷柱脚固定式とした。図 3.2.9 に示すような鋼製フレームに土台部分を固定し、桁材端部に油圧ジャッキを用いて加力を行った。

加力スケジュールは、土台-桁間の見かけのせん断変形角が $1/600$ 、 $1/450$ 、 $1/300$ 、 $1/200$ 、 $1/150$ 、 $1/100$ 、 $1/75$ 、 $1/50$ 、 $1/30\text{rad}$ まで正負交番 3 回繰り返し載荷、その後最大変形角 $1/10$ に至るまで単調加力とした。

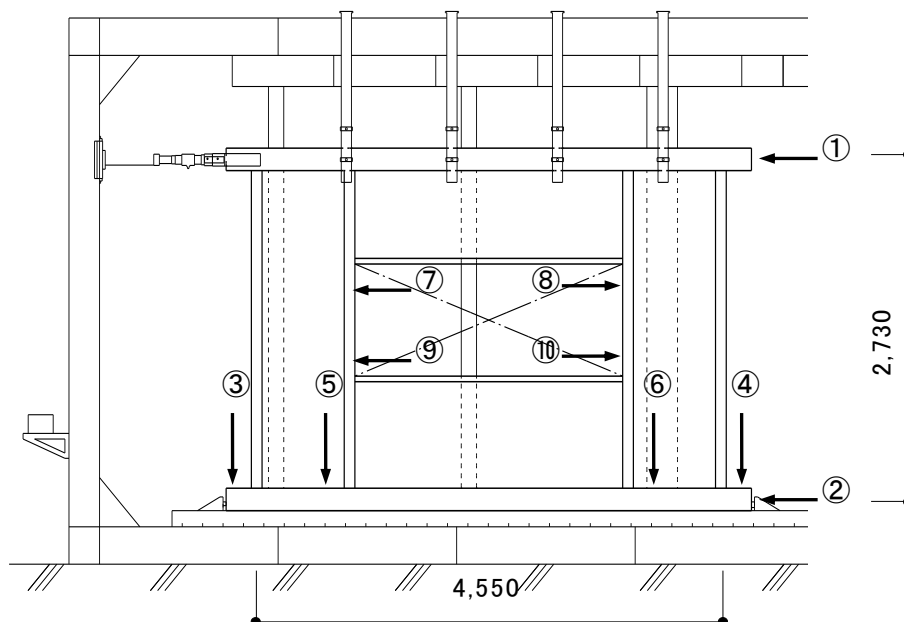


図 3.2.9 試験体図

桁材は、中間部に振れ止めを 4 箇所設け、横振れを防止した。変位の測定は、図 3.2.9 に示す①桁の水平変位、②土台の水平変位、③加力側柱、④反加力側柱、⑤中柱(左)、⑥中柱(右)の柱脚の鉛直変位を変位計により測定し、全体および各壁の見かけのせん断変形角と真のせん断変形角を算定した。有開口壁については、⑦～⑩開口 4 隅における柱の回転変位を測定し、柱の回転角を算定した。

その他、試験体 4 隅・開口 4 隅計 8 箇所についてモルタル壁面の面外への変位を計測した。(写真 3.2.17)

また、画像解析を行うための測点を壁体および桁・土台に設け、画像撮影を行った。



写真 3.2.17 モルタル面外変位の測定

3.2.3 試験結果

(1) 全体の荷重－変形関係

図 3.2.10 に各試験体の荷重と見かけのせん断変形角の関係をそれぞれ示す。

なお、柱脚・柱頭補強用引寄せ金物(HD15)の効果により、脚部のせん断変形角は最大時でも $1/500\text{rad}$ 以下となり、真の変形角も見かけとほとんど変わらないものであった。

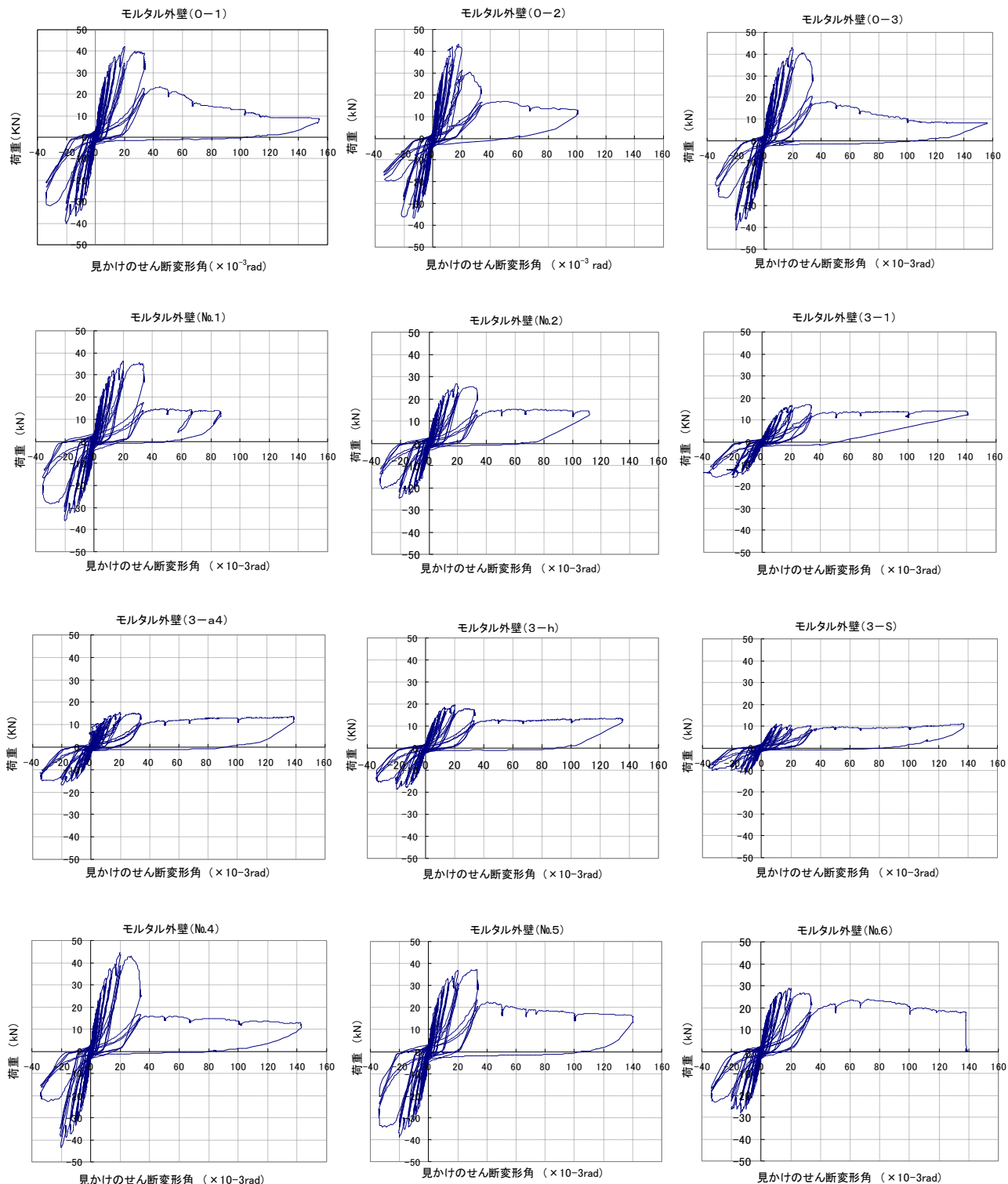


図 3.2.10 荷重－見かけの変形角

表 3.2.7～表 3.2.9 に最大耐力および特定変形時の耐力等の一覧を示す。

表 3.2.7 No.0 試験結果一覧

試験体記号	0-1	0-2	0-3	平均値 ($\bar{A}_v$)	標準偏差 (σ_{n-1})
最大耐力 P max(kN/4.55m)	42.00	43.40	43.10	42.83	0.737
最大耐力時変形角 $\delta_{\max}(10^{-3}\text{rad})$	20.374	18.147	19.542	19.35	1.125
2/3 P max (kN/4.55m)	28.00	28.93	28.73	28.55	0.490
見かけのせん断変形角(γ)一定変形時耐力(kN/4.55m)					
1/300rad	17.99	20.57	16.47	18.34	2.07
1/200rad	23.42	26.01	21.65	23.69	2.19
1/150rad	28.09	30.04	26.36	28.16	1.84
1/120rad	30.58	32.63	29.39	30.87	1.64
1/60rad	38.10	42.96	38.30	39.79	2.75
1/30rad	38.76	—	32.42	35.59	4.48

表 3.2.8 No.1～6 試験結果一覧

試験体記号	No.0 (平均値)	No.1	No.2	No.3 (標準仕様)	No.4	No.5	No.6
最大耐力 P max(kN/4.55m)	42.83	36.20	26.90	17.20	44.50	37.20	28.80
最大耐力時変形角 $\delta_{\max}(10^{-3}\text{rad})$	19.354	19.509	19.502	32.143	19.810	32.985	19.377
2/3 P max (kN/4.55m)	28.55	24.13	17.93	11.47	29.67	24.80	19.20
見かけのせん断変形角(γ)一定変形時の耐力(kN/4.55m)							
1/300rad	18.34	15.62	11.36	5.70	16.98	16.77	15.05
1/200rad	23.69	20.37	14.56	7.92	22.28	20.40	18.63
1/150rad	28.16	23.86	17.62	9.42	25.98	24.42	21.69
1/120rad	30.87	26.43	19.27	11.00	29.32	27.33	23.73
1/60rad	39.79	34.06	24.47	15.70	39.79	34.21	28.02
1/30rad	35.59	35.13	24.22	16.46	31.14	36.80	24.05

表 3.2.9 No.3 シリーズ試験結果一覧

試験体記号	No.3-1 (標準仕様)	No.3-s (単層リプラス)	No.3-a4 (アラミド4軸)	No.3-h (高耐力仕様)
最大耐力 P max(kN/4.55m)	17.20	11.00	15.50	19.70
最大耐力時変形角 $\delta_{\max}(10^{-3}\text{rad})$	32.143	10.777	19.916	19.601
2/3 P max (kN/4.55m)	11.47	7.40	10.33	13.13
見かけのせん断変形角(γ)一定変形時の耐力(kN/4.55m)				
1/300rad	5.70	5.15	10.15	8.28
1/200rad	7.92	7.10	11.00	11.32
1/150rad	9.42	9.03	11.85	13.36
1/120rad	11.00	9.97	12.96	14.94
1/60rad	15.70	10.60	14.74	18.82
1/30rad	16.46	10.20	14.61	16.73

(2) 破壊状況

表 3.2.10 に破壊状況の一覧を示す。

表 3.2.10 破壊状況一覧

全壁	No.0	1/30 程度より胴縁の抜け出し(一部割裂)が大きくなり、面外へも変位。1/20 で、間柱部分の胴縁の割裂が進行し耐力が低下する(特に No.0-2 で顕著)。モルタルの変形はほとんど見られず。回転中心は下寄りに片寄る。ステーブル抜け出しは部分的。
掃き出し開口	No.1	1/60 で開口下側はほぼ破断。1/30 で開口上隅亀裂が壁上端に達し、開口際モルタルが剥離。木ずりとモルタルのずれが目立つ。1/20 でステーブル抜け・破断、左右壁の個別回転が健著。
	No.2	1/120 付近より徐々にひび割れが進行。1/60 で上隅垂壁側モルタル剥離が顕著。1/30 で開口下隅破断、上側も亀裂が上端に達する。個別回転が大きくなり、ステーブル抜け・面外変位。以後ステーブル抜け出しが顕著。
	No.3	1/100 で、開口上隅に亀裂、1/60 でモルタル表層が剥離。1/20 でほぼ破断。下隅は 1/60 で亀裂が生じ、1/20 でほぼ破断。1/30 以降は左右壁の個別回転が顕著、ステーブル抜け出し・切れ。まぐさの柱からの離れ。
	No.3-s	1/120 で開口隅にひび。1/60 でネット浮き。1/50 で、反加力側柱脚付近モルタル浮き。リブ部分破断。1/15 で、垂壁部分はほぼ破断、各壁回転大、ステーブル抜け、外周リブ破断。反加力側柱脚部のモルタル、架台に接触。
	No.3-a4	1/60 で、隅部重ね貼り補強ネットが剥離。1/30 で、開口上隅壁側モルタルの浮きが顕著となるが、ネットにより完全に分離せず。終局時には、垂壁上に耐力壁側のモルタルが乗り上げ。反加力側外柱柱脚部めりこみ圧壊。
	No.3-h	1/60 付近よりひび割れ進行、ネット浮き。垂壁部の通気胴縁のせん断変形、釘抜け出し顕著。1/30 で垂壁に耐力壁側が乗り上げる形でモルタルの浮き上がり、ステーブル抜け出し。
窓開口	No.4	1/60 まで、モルタル・木ずり・胴縁のずれが徐々に生じる。1/30 で開口 4 隅のひび割れが 30cm 程度まで進行。胴縁の釘の抜け出し、割裂が顕著となる。回転中心は下寄りに片寄る。
	No.5	1/30 で開口 4 隅の亀裂が進行、ネットの浮きが目立つ。壁の上下端にも亀裂が生じる。モルタル・木ずり・胴縁のずれが徐々に進行。1/10 で垂壁・腰壁はほぼ破断、ステーブル抜け顕著。まぐさ・窓台の離れも大
	No.6	1/60 で壁左右両端及び上端からも亀裂。1/30 で開口下端より水平方向へ破断。1/20 で開口上隅から上端がほぼ破断。まぐさ離れ大。耐力壁上部の浮上大。加力側・壁下部で胴縁割裂、反加力側はステーブル抜け。

① 無開口仕様(No.0)

無開口の No.0-1～No.0-3 は、各試験体共に概ね 1/50rad で最大耐力となった。その後、モルタルにはひび割れ等の損傷や回転挙動はみられず(写真 3.2.18)、間柱上の胴縁が割裂して耐力が低下した(写真 3.2.19)。

② 掃き出し開口仕様(No.1～No.3)

掃き出し開口を有する No.1～No.3 は、1/50rad～1/30rad で最大耐力となった。No.1～No.3 の最大耐力は、No.0 の 85%、63%、40%であり、概ね、試験体の全長に対する全壁部分の壁長の比に比例している。

最大耐力以降、開口部の隅角を起点とするひび割れが大きくなり、左右の全壁が別々に回転挙動をして(写真 3.2.20、写真 3.2.22、写真 3.2.24)、軸組との相対変位が大きい外側ではステーブルの抜けや破断が顕著にみられた(写真 3.2.21、写真 3.2.23、写真 3.2.25)。

③ 窓開口仕様(No.4-6)

窓開口を有する No.4～No.6 でも、1/50rad～1/30rad で最大耐力となり、その後、No.5 および No.6 については開口部の隅角を起点とするひび割れが大きくなり、全壁部分と垂壁・

腰壁部分とが分離する様子が観察された(写真 3.2.36、写真 3.2.38)。なお、No.6 の腰壁側は壁が水平に破断した(写真 3.2.39)。

No.4 については、開口隅部よりひび割れが生じたが、モルタルはほぼ一体性を保ち、回転運動もほとんど生じなかった(写真 3.2.34)。逆に、No.4 では胴縁の割裂が顕著であった(写真 3.2.35)。

各試験体の最大耐力は、No.0 の 104%、87%、67%であり、掃き出し開口を有する No.1～No.3 と比較すると、垂壁だけではなく、腰壁の存在効果は大きく、モルタル壁の耐力に有効に寄与していることが分かる。

④No3 系列の各仕様の差異(No.3-1, No.3-s, No.3-a4, No.3-h)

掃き出し開口 No.3 の標準とは異なる仕様の 3 種類の試験体に関しては以下のような傾向を示した。

最大耐力に関して、単層仕様(3-s)の場合には標準仕様より 35%程度低く、高耐力仕様(3-h)の場合には 15%程度高い結果であった。また、アラミド 4 軸仕様(3-a4)の初期剛性はかなり高いが、1/100rad 付近より急速な低下を生じた。

終局耐力は 3-s を除く各仕様では大きな差異は生じなかった。破壊性状も同じ傾向を示し、開口上隅部より亀裂が生じ垂壁部が分断した後、左右壁が個別に回転し、モルタル部のステーブルの拔出し・破断が生じた(写真 3.2.24、写真 3.2.26、写真 3.2.28、写真 3.2.31)。

単層仕様(3-s)においては側端部において、リブラスのリブの端部がステーブルにより引き剥がされる現象が生じた(写真 3.2.27 左)。内部側ではステーブルの引き抜きが生じていた。また裏面の防水紙が破れた箇所があった(写真 3.2.27 右)。

アラミド 4 軸仕様(3-a4)は、上隅部の亀裂が開口隅より斜めに生じた後、伏せ込みネット継目に沿って縦方向に破断した(写真 3.2.29)。伏せ込みネットのはく離が生じている範囲が広く、継目重ね代部分のはく離が目立つ。また、本試験体では反加力側の柱脚の土台へのめり込みが顕著に生じていた。

高耐力仕様(3-h)においては、垂壁部の胴縁のずれ・割裂が目立った(写真 3.2.33)。



写真 3.2.18 No.0-2 押切時全景



写真 3.2.19 No.0-2 胴縁の割裂状況



写真 3.2.20 No.1 押切時全景



写真 3.2.21 No.1 モルタル剥離状況



写真 3.2.22 No.2 押切時全景



写真 3.2.23 No.2 壁脚部モルタル剥離状況



写真 3.2.24 No.3-1 終局時



モルタル浮上り / まぐさ離れ
写真 3.2.25 No.3-1 各部破壊状況



写真 3.2.26 No.3-s 終局時



リブ端部の破損 / 防水紙破れ
写真 3.2.27 No.3-s 各部破壊状況



写真 3.2.28 No.3-a4 押切時

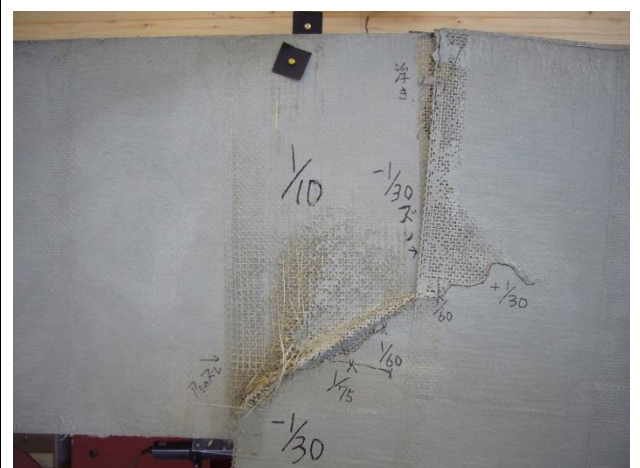


写真 3.2.29 No.3-a4 上隅角亀裂



写真 3.2.30 No.3-a4 柱脚圧壊



写真 3.2.31 No.3-h 押切時

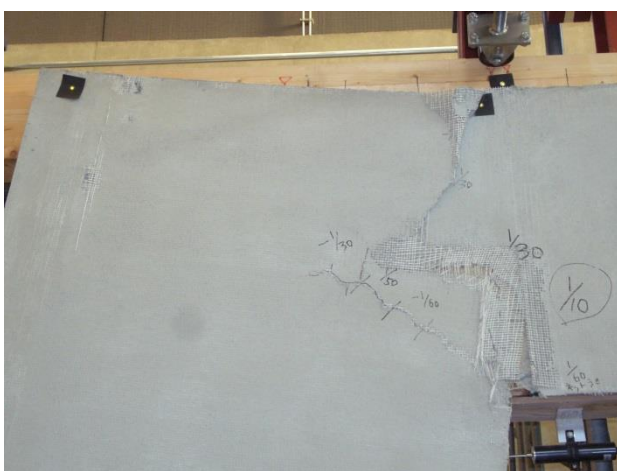


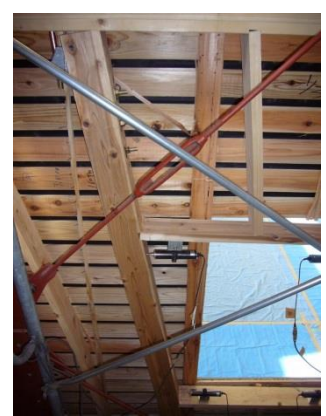
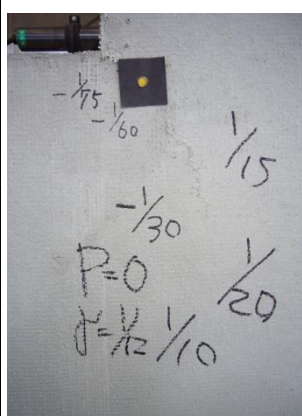
写真 3.2.32 No.3-h 開口上隅破壊状況



写真 3.2.33 No.3-h 垂壁の胴縁破壊



写真 3.2.34 No.4 押切時



開口隅部の亀裂 / 胴縁割裂

写真 3.2.35 No.4 各部破壊状況

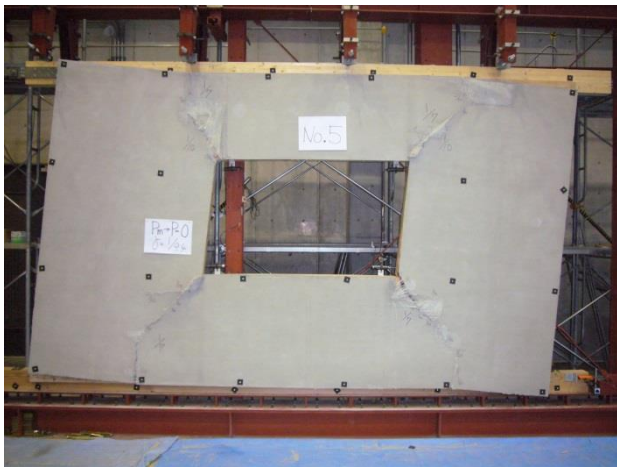


写真 3.2.36 No.5 押切時



開口左下隅部の亀裂 / 窓台左端部腰壁浮き

写真 3.2.37 No.5 各部破壊状況



写真 3.2.38 No.6 押切時



写真 3.2.39 No.6 左下側破断状況

(3) 各部分の荷重-変形関係

図 3.2.11 には左側全壁(左壁)、中央開口部(中壁)それぞれの荷重と脚部の見かけの変形角の関係を示す。なお、左右全壁の変形性状は大差ないため、右側全壁は省略した。

左壁については、開口幅が同じであれば、窓型開口の方が変形角が小さく、垂壁・腰壁の効果が確認できる。

中壁のせん断変形角は各試験体が最大荷重に達するまでは、窓開口・掃き出し開口それぞれで同じ傾向を示している。

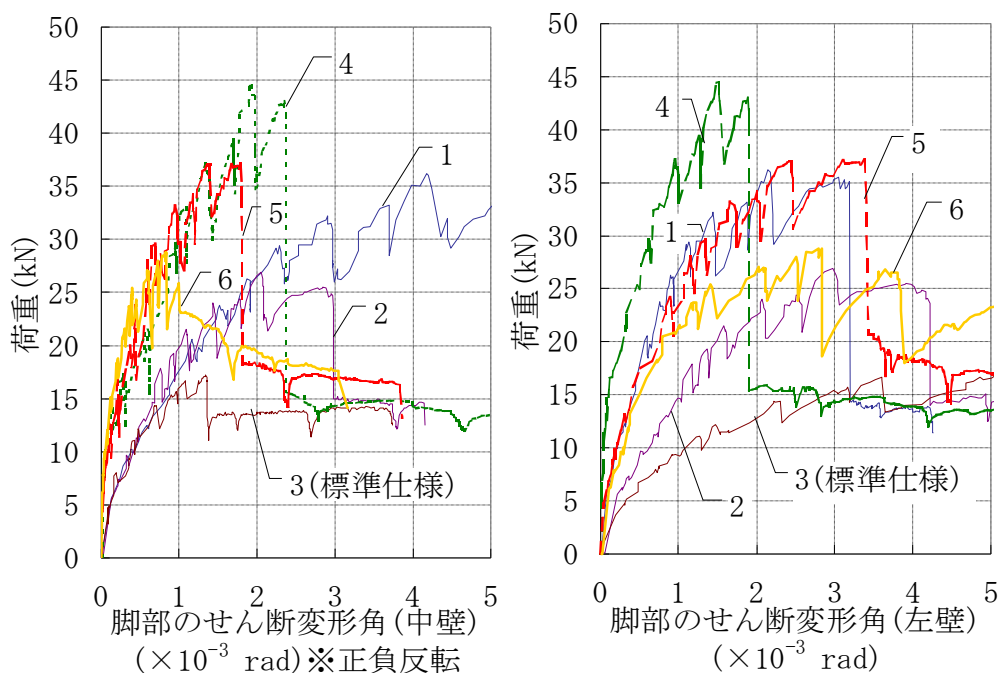


図 3.2.11 荷重-脚部のせん断変形角(左壁, 中壁)

$$\text{左壁変形角} = \{(\text{変位計③} - \text{変位計⑤}) / \text{左壁巾}\} \times 1000$$

$$\text{中壁変形角} = \{(\text{変位計⑤} - \text{変位計⑥}) / \text{中壁巾}\} \times 1000$$

(4) 面外方向の変形

モルタルの面外変位は、試験体・箇所により異なり、増大の傾向も異なる。

回転変形によるステーブル拔出しに伴う面外変位の他に、開口隅ひび割れ部においては、圧縮時の部分的なモルタルの浮き上がりが生じていた。

また、左右壁部分と垂・腰壁部が破断後は、一方がもう一方の上に乗り上げていく現象も確認した(写真 3.2.37 他)。

(5) まとめ

無開口・小開口壁においては、木ずりとモルタルは一体となって挙動し、木ずり・通気胴縁釘の抜け出し・割裂が変形の主体となる。ステーブル・ラスの破断はほとんど生じない。

胴縁の割裂が生じた際の耐力低下は大きい。

有開口壁は、開口が小さいほど初期の剛性は高いが、開口隅部より生じたモルタル亀裂

の進展に伴い剛性が低下する。

亀裂が進行して左右壁が個別に回転するようになると、モルタルと木ずりの間でもステープルの抜け出しによる回転変形が生じ、ステープルの破断により耐力低下する。

モルタルの面外変位は、せん断変形に伴う釘やステープルの抜け出しの影響によるものの他に、開口隅部の局所的な座屈や、亀裂が生じた後のモルタル同士の乗り上げによっても生じている。

伏せ込みネットは、変形が進むにつれ、開口隅部付近よりはく離する。

3.2.4 試験結果の解析

(1) 開口部の変形挙動

本実験では、軸組およびモルタル表面の主要な箇所に反射シールを貼った画鋺（以下、標点という。）を設置して、特定変形角時にデジタルカメラで試験体全体を正面から撮影した。実験後にデジタル画像内の標点の座標をピクセル値として読みとってデータ処理することで、モルタル面全体の挙動および回転角を定量的に把握できる。写真 3.2.40 に標点を設置した試験体の例を示す。

図 3.2.12 に標点の座標をもとに描いたみかけのせん断変形角 $1/30\text{rad}$ 時のモルタル面の変形性状を示す。各標点の変位から、軸組のせん断変形による水平方向の移動量は差し引いてあり、軸組に対するモルタル面の相対変形を示していることになる。なお、変位量のスケールは 10 倍にして表示している。

掃出し開口を有する No.1～No.3 試験体では、左右の全壁部分の回転角が大きく、また、垂壁部分が左右の全壁を繋いでいるため、全壁の回転中心が試験体の中央寄りになっていることが分かる。試験体の左右端では、軸組に対するモルタルの相対変位が大きく、実験時の観察でも、この部分での破壊が先行し、モルタルの面外への浮き上がりが生じていたことを確認している。窓開口を有する No.4～No.6 試験体では、回転挙動が少なく、モルタルの上下端では、柱との水平方向の相対変位が大きいことが分かる。

図 3.2.13 に、モルタルの標点と土台の標点との距離から計算した、左右の全壁部分と垂壁・腰壁部分の回転角を示す。左右の全壁部分の回転角は、いずれの試験体においても、概ね、みかけのせん断変形角に比例するように増加している。増加の割合は、開口が大きい試験体ほど大きい傾向にある。また、左右の全壁部分の回転角は概ね同じであることが分かる。なお、垂壁や腰壁部分では、ほとんど回転挙動は生じていなかった。

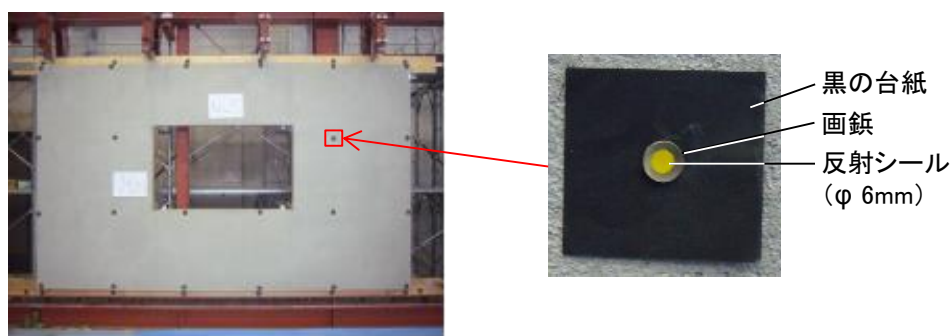


写真 3.2.40 反射シール付き画鋺(標点)を設置した試験体の例

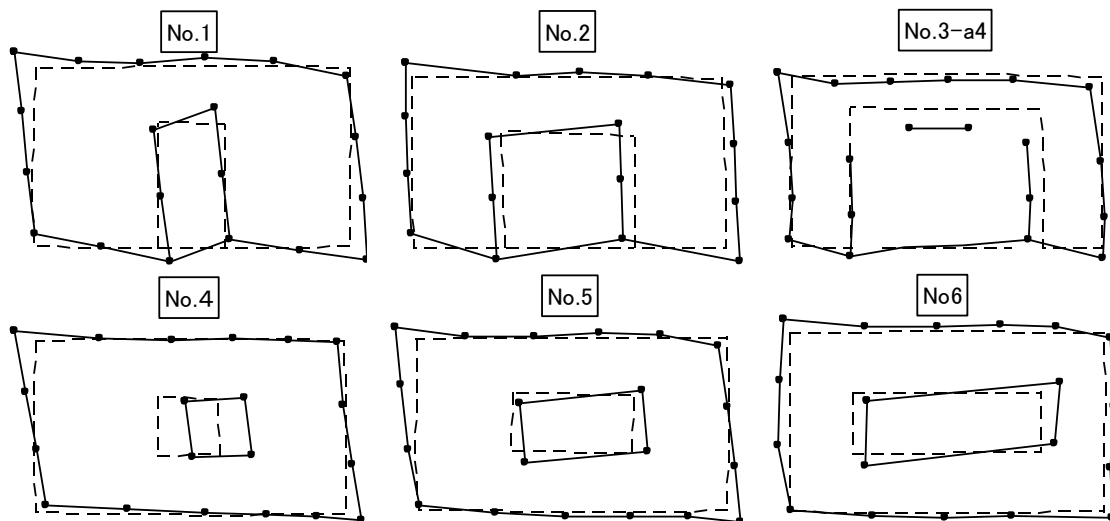


図 3.2.12 1/30rad 時における軸組に対するモルタル面の相対変位
(破線は軸組を表す。No.3 では標点座標の読取り誤差が大きいため代わりに No.3-a4 の図を示した。)

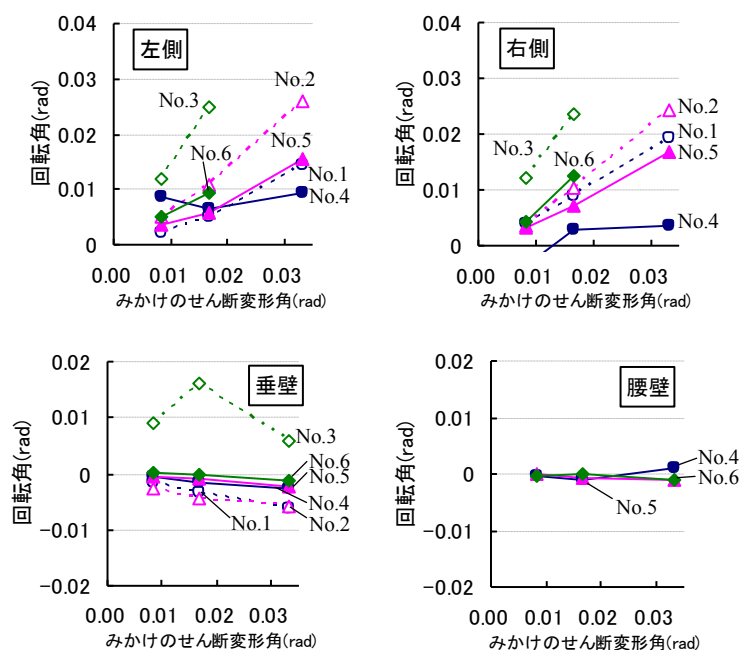


図 3.2.13 せん断変形角とモルタルの回転角の関係

(2) 開口部付近の挙動

開口部付近のモルタル層の挙動を詳細に把握するため、開口のコーナー部を想定した、モルタル壁小試験体を製作し、水平力の静的載荷実験を行った。

試験体はモルタル壁の掃き出し開口のコーナー部を想定した、左右非対称のもので、図 3.2.14 のように、ラス下地板まで施工したものが 1 体、その上にモルタルまで施工したものが 2 体である。モルタル塗り試験体の 2 体の仕様は同じである。軸組は 204 材であるが、胴縁～ラス下地板～モルタルの仕様は、3.2.1 に示す試験体と同じである。

開口コーナー部からのひび割れの発生や伸展状況を正確に把握するため、静的な水平力

を一方方向に載荷しながら、載荷ステップ毎にモルタル面の観察と写真撮影を行った。モルタル塗り試験体 2 体は、加力の方法が異なる。写真 3.2.41 に実験の状況を示す。

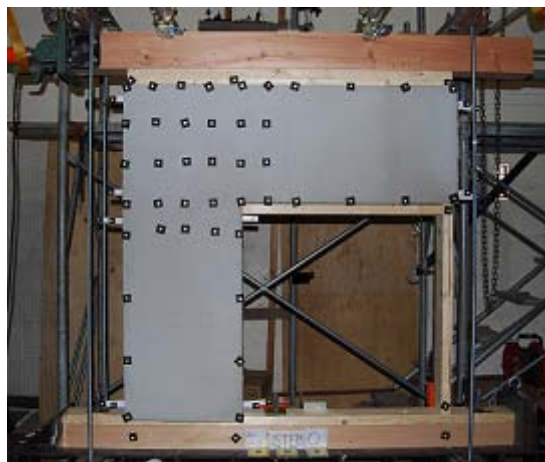
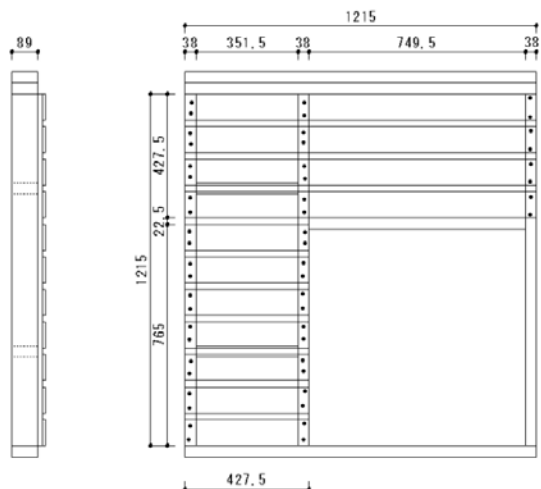


図 3.2.14 モルタル壁小試験体の軸組

写真 3.2.41 実験状況

通気構法 2 層下地仕様、軸組：204 材、波型ラス、ステープル：1019J@100mm、NSK 仕様既調合軽量モルタル 15mm 厚、モルタル圧縮強度：7.5N/mm²、引張強度：1.2N/mm²（ばらつきが大きい）

ラス下地板試験体は正負 1 回繰り返し、モルタル試験体 2 体については、それぞれ、正側、負側に 1 方向加力とした。加力梁を図 3.2.14 の左側に移動させる方向を正側とした。図 3.2.15 に荷重－変形関係、写真 3.2.42 と写真 3.2.43 は、正側および負側の 1/13rad 時の状況である。

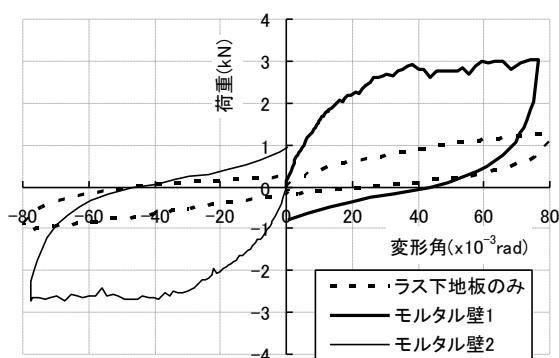


図 3.2.15 モルタル壁小試験体の荷重－変形関係

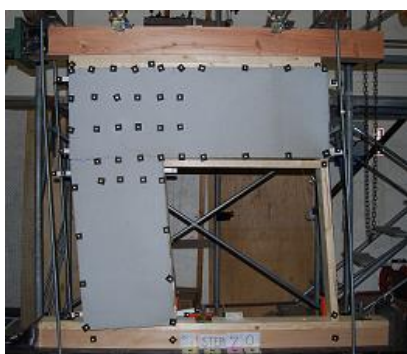


写真 3.2.42 正側加力時

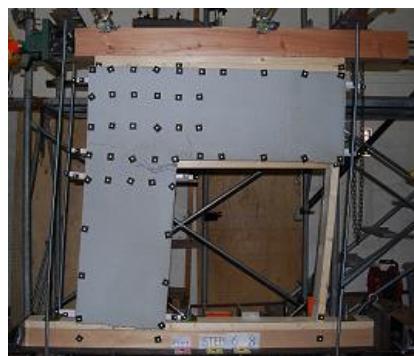


写真 3.2.43 負側加力時

ラス下地板試験体は、 $1/13\text{rad}$ で 1kN 程度の耐力であるが、そのうちの 0.3kN 程度はタイロッドの拘束による増加分であることは、同じ試験体で別途行った、タイロッドを緩めた実験から確認している。正側加力のモルタル塗り試験体は、Step35 (2.0kN 、 $17.0 \times 10^{-3}\text{rad}$) で開口コーナー付近のモルタルが圧壊し、Step55 (2.6kN 、 $43.9 \times 10^{-3}\text{rad}$) でモルタル左端に引張ひび割れが生じた。写真 3.2.44 に最終の破壊状況を示す。負側加力のモルタル塗り試験体については、Step32 (-2.0kN 、 $-21.9 \times 10^{-3}\text{rad}$) で開口コーナー付近に引張ひび割れが生じ、Step43 (-2.5kN 、 $-34.2 \times 10^{-3}\text{rad}$) でモルタル左端に圧壊が生じた。写真 3.2.45 は最終破壊状況である。

モルタルには、ひび割れ防止のためにガラス繊維ネットが伏せ込まれており、引張応力に対する耐力は高い。しかし、圧縮応力に対する補強は施されていないため、正側加力の試験体では、圧壊がひび割れに先行して生じたものと考えられる。高い引張耐力に釣り合うよう、モルタルの圧縮強度を高めるなどの対策も必要と考えられる。

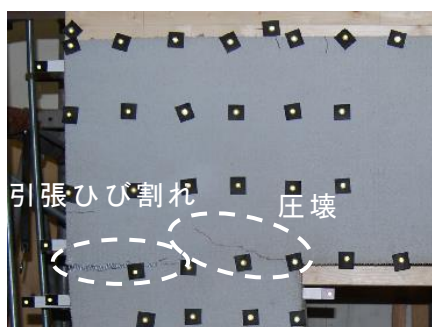


写真 3.2.44 正側加力の試験体における開口部付近の破壊状況

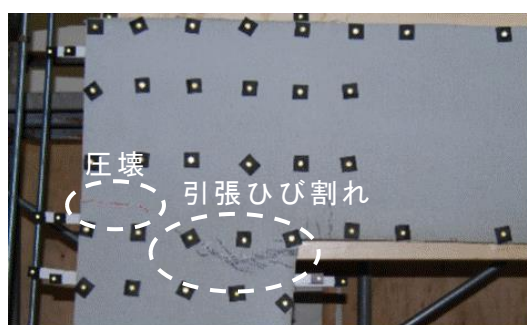


写真 3.2.45 負側加力の試験体における開口部付近の破壊状況

(3) 面外への変形挙動

モルタル層の面外への浮き上がり量を把握するため、写真 3.2.46 のようにモルタル層の隅角部や開口部の隅角部に変位計を設置し、モルタル層の面外変位を計測した。これらの変位計を設置した箇所では、軸組に対するモルタル層の面内の相対変位が大きくなるため、モルタル層の面外への浮き上がり量も大きくなると考えられる。

一例として図 3.2.16 と図 3.2.17 に、No.0 試験体と No.3 試験体における計測結果を示す。いずれの試験体においても、概して、ステーブルの引き抜けや破断が生じてモルタル層が

面外に浮き上がっており、ラス下地板や通気胴縁の面外変位は比較的小さい。モルタル層の面外変位は、変形角とともに大きくなる傾向であるが、各変形角における正負繰り返しの間では、変形角がゼロ付近でモルタル層の面外変位が最大となり、各変形角のピークに近づくにつれて小さくなる傾向がみられた。これは、各変形角のピーク時においてモルタル層とラス下地板との面内の相対変位が最大となってステープルが引き抜け、次に変形角が小さくなるときには、モルタル層とラス下地板との面内の相対変位は小さくなるが、一度引き抜けたステープルはもとには戻らないため、引き抜けたステープルがモルタル層を面外に押し上げていることによると考えられる。

No.0 試験体に代表されるように、開口部が無いが、あっても小さい場合には、モルタル層の面内での回転量が小さく、軸組とモルタル層との水平方向の相対変位が大きくなるために、モルタル層が変位計と干渉し、必ずしも全ての計測点で大変形域までの計測値が得られていない。従って、 $1/75\text{rad}$ 時における面外変位で比較すると、No.0 試験体では 2～6mm 程度、No.3 試験体では、概ね 2mm 以下である。開口がある試験体のほうが、平均的な面外変位は小さい傾向であるが、足長さが 19mm のステープル (1019J) が完全に引き抜けるのは、少なくとも 15mm 以上であると考えられるため、この程度の面外変位では、いずれの試験体においても、モルタル層の脱落は考えられない。さらに、 $1/30\text{rad} \sim 1/10\text{rad}$ の大変形域になると、モルタル層の面外変位が大きくなって計測値が得られていない箇所もあるが、少なくとも各試験体の 2 箇所の計測点では、面外変位が 10mm 程度以下である。これは、モルタル層と軸組との面内の相対変位が、試験体の上部と下部とで均等ではなく、どちらかに変形が集中するためである。

本試験においては、 $1/10\text{rad}$ に達する大変形域においても、モルタル層の脱落は生じなかったが、このことが前述の計測結果とも対応しているといえる。

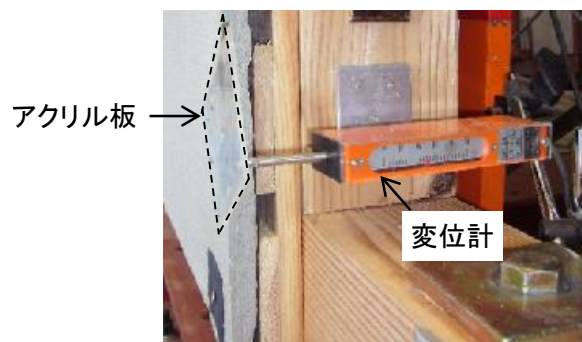


写真 3.2.46 モルタル層の面外への挙動の計測状況

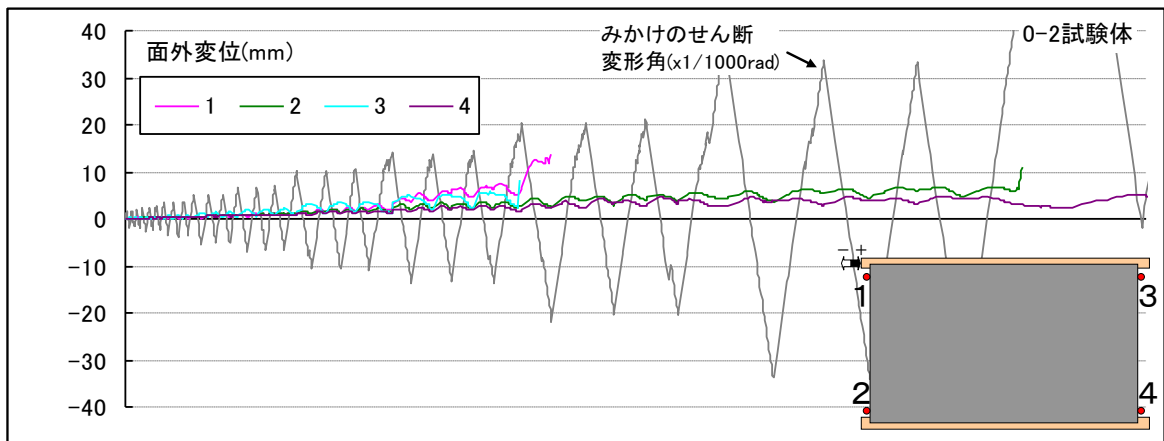


図 3.2.16 No.0 試験体におけるモルタル層の面外変位の

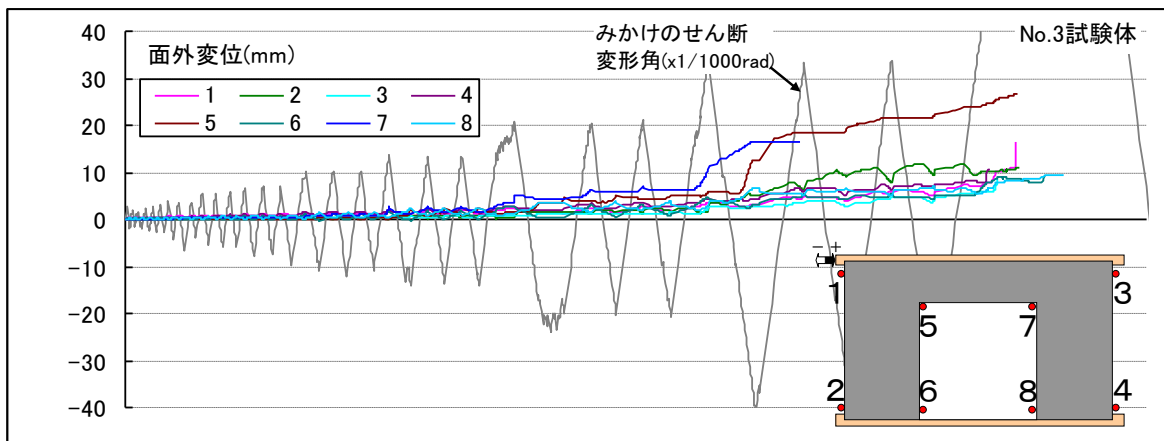


図 3.2.17 No.3 試験体におけるモルタル層の面外変位

3.2.5 耐震性能評価

3.2.3 および 3.2.4 より、「既調合軽量セメントモルタル仕上げ外壁」の耐震性能について、(財)日本住宅・木材技術センター発行「木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008 年版)」第 6 章に準じ短期基準せん断耐力(P_0)等を算定した。

(1) 完全弾塑性モデルおよび特性値

図 3.2.18 に各試験体の完全弾塑性モデルを示す。各グラフ中の赤線が包絡線より作成した完全弾塑性モデルである。完全弾塑性モデルは試験から得られた荷重－変形角曲線(包絡線)をモデル化したもので、完全弾塑性モデルより試験体の弾性、塑性、降伏、剛性、靱性、脆性およびエネルギー保有能力等の特性値を算定する。算定した各試験体の特性値を表 3.2.11 に示す。試験体の記号 No.0-1～No.0-3 の 3 体は無開口壁、No.1～No.3 は開口高さ 2036.25mm の掃き出し開口を有し、それぞれの開口幅は No.1 : 805mm、No.2 : 1715mm、No.3、No.3-s、No.3-a4、No.3-h の 4 体は 2625mm である。また、No.3 の試験体は標準仕様であるが、No.3-s は単層下地、No.3-a4 はアラミド 4 軸、No.3-h は高耐力仕様である。No.4～No.6 は開口高さ 1035mm の窓型開口を有し、それぞれの開口幅は No.4 : 805mm、No.5 : 1715mm、No.6 : 2625mm である。

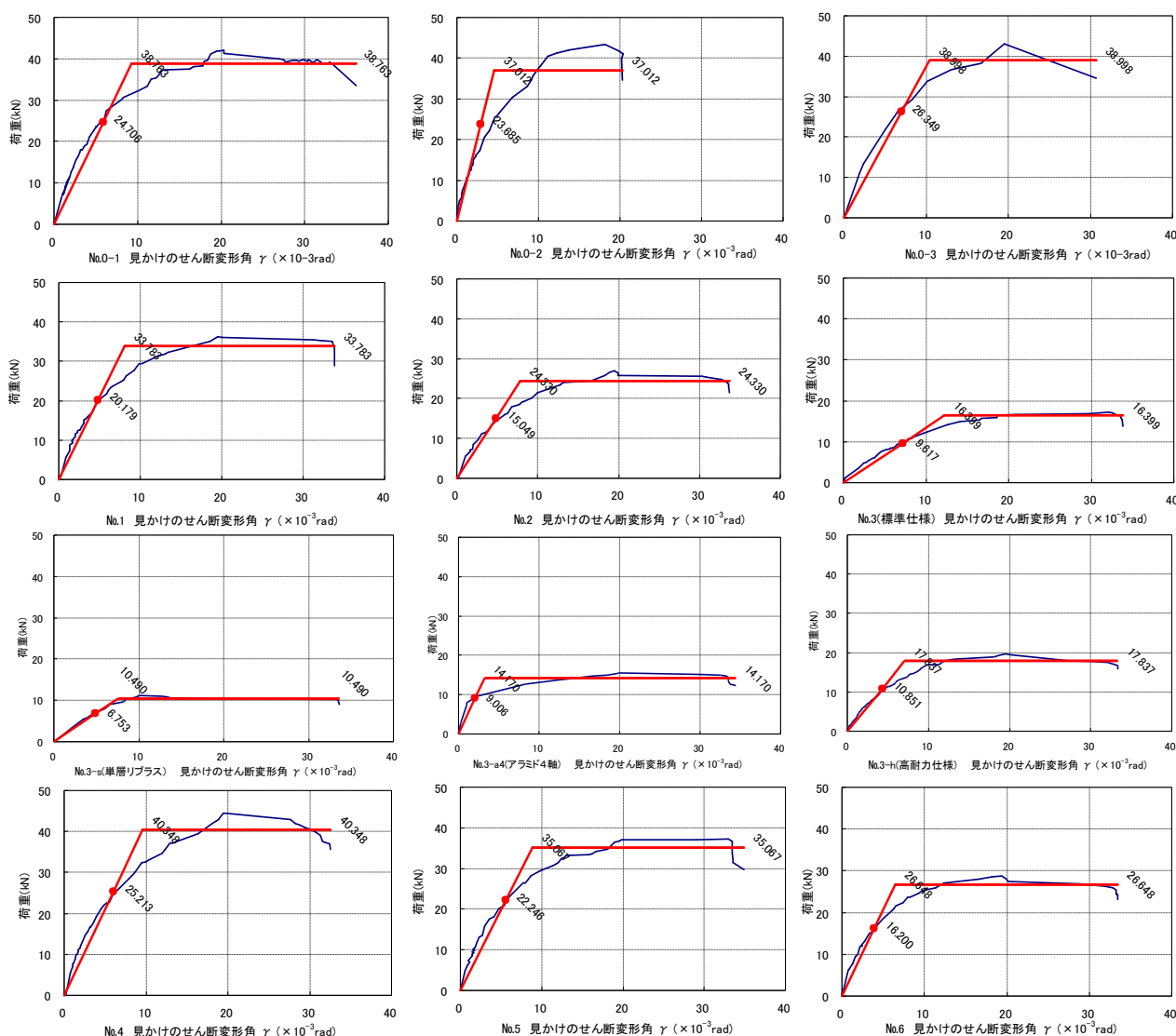


図 3.2.18 各試験体(標準仕様)の完全弾塑性モデル

表 3.2.11 完全弾塑性モデルから算定した特性値

	No.0-1	No.0-2	No.0-3	No.0 平均値	No.1	No.2	No.3-1 (標準仕様)	No.3-s (単層リプラス)	No.3-a4 (アラミド4軸)	No.3-h (高耐力仕様)	No.4	No.5	No.6
①降伏耐力 Py(kN/4.55m)	24.71	23.69	26.35	24.92	20.18	15.05	9.62	6.75	9.01	10.85	25.21	22.25	16.20
降伏変形角 $\delta_y (10^{-3}\text{rad})$	5.581	4.264	6.661	5.50	4.885	5.336	7.138	4.601	1.829	4.692	6.075	5.765	3.939
終局耐力 Pu(kN/4.55m)	38.76	37.01	39.00	38.26	33.78	24.33	16.40	10.49	14.17	17.84	40.35	35.07	26.65
終局変形角 $\delta_u (10^{-3}\text{rad})$	36.124	20.333	30.648	29.04	33.849	33.686	33.825	33.597	34.407	33.384	32.751	34.861	33.440
降伏点変形角 $\delta_y (10^{-3}\text{rad})$	9.262	4.517	10.444	8.07	8.113	7.804	12.267	7.576	3.216	7.077	9.603	8.883	6.417
剛性(kN/rad) K(Py/ δ_y)	4.43	5.56	3.96	4.65	4.13	2.82	1.35	1.47	4.93	2.31	4.15	3.86	4.11
塑性率 $\mu (\delta_u/\delta_y)$	3.90	4.50	2.93	3.78	4.17	4.32	2.76	4.43	10.70	4.72	3.41	3.92	5.21
構造特性係数 Ds ($1/\sqrt{2\mu-1}$)	0.38	0.35	0.45	0.40	0.37	0.36	0.47	0.36	0.22	0.34	0.41	0.38	0.33
②Pu $\times(0.2/Ds)$ (kN/4.55m)	20.22	20.94	17.21	19.46	18.31	13.44	6.97	5.89	12.80	10.36	19.47	18.36	16.36
③2/3Pmax (kN/4.55m)	28.00	28.93	28.73	28.55	24.13	17.93	11.47	7.40	10.33	13.13	29.67	24.80	19.20
④P _{1/120rad} (kN/4.55m)	30.58	32.63	29.39	30.87	26.43	19.27	11.00	9.97	12.96	14.94	29.32	27.33	23.73

各試験体の完全弾塑性モデルの終局耐力(Pu)は 0.8Pm 時、降伏点変形角(δ_y)は 1/100rad 前後、終局変形角(δ_u)は 1/30rad 前後であり、開口部の有無・大きさに関わらず降伏後の耐力は延性的に維持されている。また、降伏変形角(δ_y)は No.3 を除き、1/200rad 前後、構造特性係数(Ds)は No.3 を除くと、開口面積が大きいほど小さくなる傾向を示す。剛性(k)では、無開口 No.0 の 4.65 に対し、掃き出し開口(No.1,2,3)は 4.13、2.82、1.35 と明確に小さくなっているが、窓開口(No.4,5,6)は 4.15、3.86、4.11 であり差異はない。掃き出し開口の No.3 シリーズ(3-1,3-s,3-a4,3-h)では、No.3-a4 の k が 4.93、Ds が 0.22 と他の 3 体を抽んでている。これは、壁全面に伏せ込んだ密度の高いアラミド繊維(4 軸)の補強効果に関係している可能性が高い。

(2) 短期基準せん断耐力(Po)の算定

表 3.2.12 に無開口(No.0-1,-2,-3)の短期基準せん断耐力(Po)を算定する 4 つの指標を示す。ばらつき係数は、統計的処理に基づく信頼水準 75% の 50% 下限許容限界値より 0.952 であった。この値を乗じた最小の指標は②Pu $\times(0.2/Ds)$ で 18.52(kN/4.55m)となった。

表 3.2.12 無開口(No.0)の 4 つの指標

	① 降伏耐力(Py) (kN/4.55m)	② Pu $\times(0.2/Ds)$ (kN/4.55m)	③ 2/3Pmax (kN/4.55m)	④ $\gamma (1/120\text{rad})$ (kN/4.55m)
No.0-1	24.71	20.22	28.00	30.58
No.0-2	23.69	20.94	28.93	32.63
No.0-3	26.35	17.21	28.73	29.39
平均値(Av)	24.92	19.46	28.55	30.87
標準偏差(σ_{n-1})	1.342	1.979	0.490	1.639
変動係数(CV)	0.054	0.102	0.017	0.053
ばらつき係数	0.975	0.952	0.992	0.975
①～④の最小値	24.28	18.52	28.32	30.09

表 3.2.13 に壁幅 1m に換算した各試験体の Po を示す。No.3-a4 と No.6 を除く各試験体の最小の指標は②Pu $\times(0.2/Ds)$ であり、壁の終局時までの入力エネルギーが Po の決定付けたものといえる。ここで、有開口(No.1～No.6)の各試験体数は 1 体であり、前述の統計処理に基づくばらつき係数を算定できないため、試験体の材料・仕様・施工精度が No.0 と同等と判断し、No.0 のばらつき係数(0.952)を乗じて Po を算定した。有開口試験体の Po は開口幅が広がるほど小さくなり、その傾向は窓開口(No.4,5,6)に対し掃き出し開口(No.1,2,3)の方が著しい。これは腰壁の有無が影響したものである。

また、参考として低減係数 α を 0.95 に仮定し、これを Po に乗じた短期許容せん断耐力

(Pa)と、Pa を壁幅 1m あたりの基準せん断耐力 1.96kN で除した壁倍率を示す。無開口(No.0)の倍率は 1.97 であり、ラス下地板(施行令 46 条での倍率 0.5)を除くモルタル壁自体の倍率は約 1.5 で断面寸法 30×90mm 木製筋かいと同程度であった。

表 3.2.13 各試験体の短期基準せん断耐力 (Po)

	No.0 平均値	No.1	No.2	No.3-1 (標準仕様)	No.3-s (単層リプラス)	No.3-a4 (アラミド4軸)	No.3-h (高耐力仕様)	No.4	No.5	No.6
短期基準せん断耐力 Po (kN/m) 注1	4.07	3.83	2.81	1.46	1.23	1.89	2.17	4.07	3.84	3.39
短期許容せん断耐力 Pa (kN/m) 注2	3.87	3.64	2.67	1.39	1.17	1.79	2.06	3.87	3.65	3.22
壁倍率 注3	1.97	1.86	1.36	0.71	0.60	0.91	1.05	1.97	1.86	1.64

注1: No.1～No.6の短期基準せん断耐力は、No.0のパラッキ係数(0.952)を乗じて開口部を含む壁幅4.55mで除した壁幅1mあたりの参考値

注2: 短期許容せん断耐力は、短期基準せん断耐力に低減係数 α (0.95)を乗じた参考値

注3: 壁倍率は、短期許容せん断耐力を壁幅1mあたりの基準耐力(1.96kN)で除した参考値

(3) 短期基準せん断耐力 (Po) と開口面積等との関係

表 3.2.14 に有開口試験体(Po)の無開口試験体(Po)に対する比率を示す。表中の各比率は、有開口試験体(No.1～No.6)の Po の無開口試験体(No.0)の Po に対するシージングエリア係数、壁面積比 $\{1-\alpha(\alpha$ は開口比) $\}$ 、壁長比(β)を指標に算定したものである。

表 3.2.14 各有開口 (Po) の無開口 (Po) に対する比率

	No.1	No.2	No.3-1	No.4	No.5	No.6
No.0(Po)/No.1～No.6(Po)	0.941	0.691	0.358	1.000	0.944	0.833
シージングエリア係数(r)	0.868	0.701	0.515	0.928	0.822	0.676
壁面積比($1-\alpha$)	0.874	0.731	0.589	0.936	0.863	0.791
壁長比(β)	0.827	0.632	0.436	0.827	0.632	0.436

このうち最も相関性が高かった壁面積比($1-\alpha$)と Po との関係を図 3.2.19 に示す。図より、窓開口は直線 $X=Y$ に平行で優位であった。しかし、掃き出し開口は壁面積比 0.8 を境に不利側となった。また、全ての有開口試験体の相関性は掃き出し開口と同傾向となったことから、掃き出し開口(No.3)は他の有開口試験体とは異なる耐力の減少傾向にある。

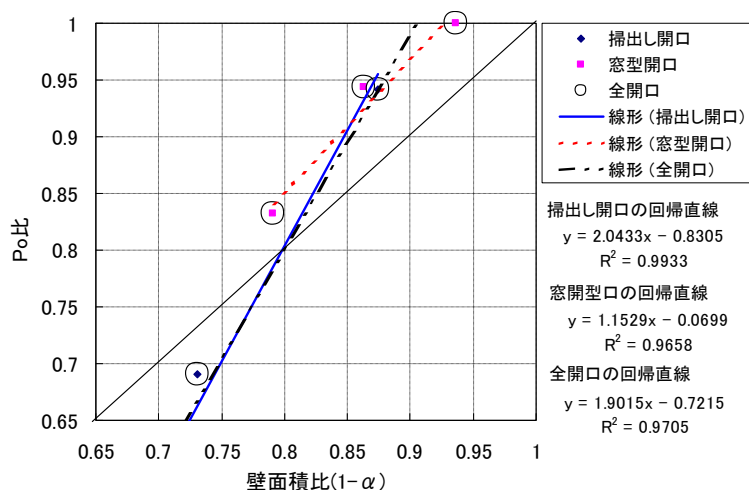


図 3.2.19 壁面積比と短期基準せん断耐力 (Po) 比との関係

(4) まとめ

完全弾塑性モデルを作成し、各試験体の短期基準せん断耐力(Po)を算定した。Po は無開口試験体(No.0)で 4.07(kN/m)、最も低い掃き出し開口試験体(No.3-s)で 1.23(kN/m)となった。そのうち標準仕様の試験体(No.0, No.1, No.2, No.3-1, No.4, No.5, No.6)の Po の関係は、壁面積比に相関が高かった。

また、ラス下地を含まない軽量モルタル塗り通気構法外壁の倍率を無開口試験体(No.0)より算定すると、無開口試験体(No.0)の壁倍率は 2.0、ラス下地の倍率が基準法上 0.5 であるため、これを差し引くと 1.5 となり、断面寸法(30×90mm)の木製筋かいと同等であった。

3.2.6 考察

試験体の仕様、試験体の施工、面内せん断試験結果より以下について考察する。

(1) 試験体の仕様・施工方法について

実験により構造性能を明確にし、それを実際の建築物に生かすためには、実際の建築現場でも使用可能な部品・部材、施工方法による試験体を製作しなければならない。今回の試験体のモルタル、伏せ込みネット、ステープル、ラス網等は、全て JASS15 に適合する製品を用い、一般的な施工方法により製作した。

(2) 開口部隅部のひび割れについて

試験体の見かけのせん断変形角が 1/120rad 付近までは、伏せ込みネットの効果によりモルタル表層のひび割れは生じず、木造の変形能力限界付近である 1/75rad 以降より、モルタル表層からひび割れが入り込み、変形が進むにつれてモルタル内部まで進行した。

(3) モルタル壁の脱落について

全ての試験体について最大荷重後、1/8～1/7rad(桁変位 340～390mm)まで変形させたが、モルタル壁の脱落は皆無であった。これより、JASS15 に記述する通気構法の仕様を遵守して施工すれば、地震時においてもラスモルタル外壁は脱落しないことを示唆している。

(4) モルタル壁の耐久性について

通気胴縁を用いた壁内通気構法は、壁体内部に水分が長時間滞留しないので、ステープル、ラス、木下地等の腐食・腐朽を防止し、モルタル壁の耐久性を確保するためには不可欠である。今回の試験では通気胴縁の割裂が最大耐力以降の耐力低下に影響した。

(5) モルタル壁の耐力について

各試験体の短期基準せん断耐力(P_o)の平均値は、開口部を含む軽量モルタル塗り通気構法外壁の短期基準せん断耐力と見なすとすれば、その値は 3.35(kN/m)となる。そこで、参考として当該 P_o の平均値に低減係数 $\alpha(=0.95)$ を乗じて短期許容せん断耐力(P_a)を求めると 3.2(kN/m)となる。(財)日本建築防災協会発行「木造住宅の耐震診断と補強方法」第 3 章一般診断法では、モルタル塗り壁の壁強さ倍率は 1.6(kN/m)であるから、今回の軽量モルタル塗り通気構法外壁は、その 2 倍の壁強さ倍率を有するものであった。

(6) 今後の課題

考察より今後の課題として下記の 3 点が挙げられる。なお、この課題の解決に向けて 2011 年度に構造実験等を実施した。

- ① 1/120rad 以降、効果のある開口部隅部の補強方法
- ② 通気胴縁の割裂防止に有効な樹種、板厚、接合具(釘・ビス)等の仕様の検討
- ③ 壁の耐力に寄与する直交壁の効果

3.3 直交壁を有するモルタル外壁の構造性能（2011 年度の試験報告）

3.3.1 試験体

(1) 試験体の仕様

試験体の構造は、二層下地通気構法とし、試験体の部材、寸法、材質、寸法等は、3.2 の開口部を有するモルタル外壁の構造性能（2009 年度の試験報告）の 5P と同様である。試験体は全壁で、大きさは、壁長 1,820mm(2P)×壁高 2,730mm である。試験体を図 3.3.1 に示す。なお、直交壁の大きさは 105mm で、二層下地にモルタル 15mm 厚が壁厚みとなる。

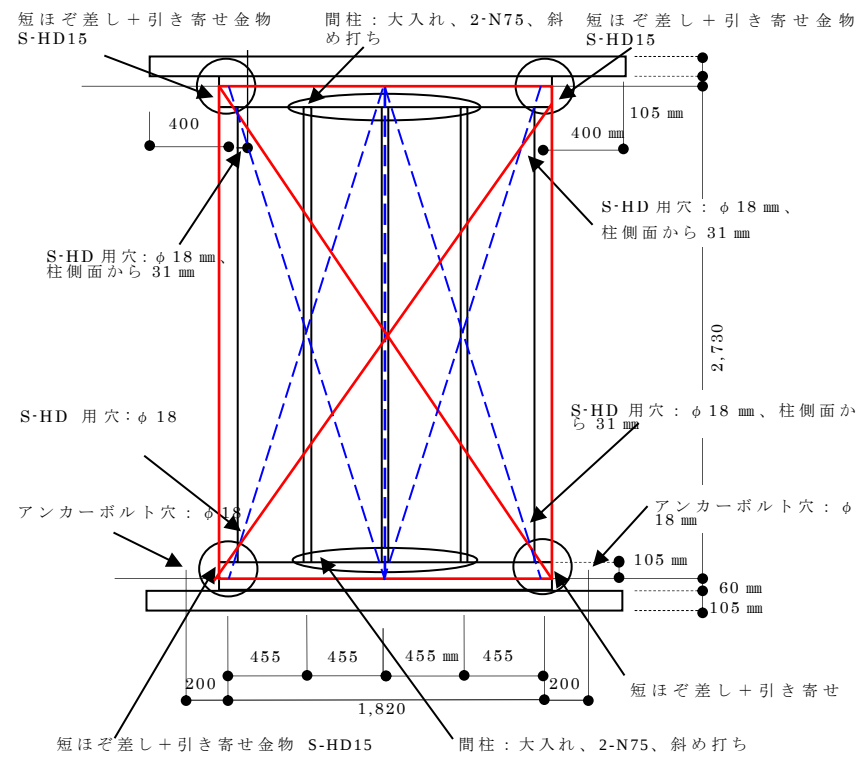


図 3.3.1 試験体図

構造材と胴縁・ラス下地材の種類寸法および材料を表 3.3.1 に示す。

表 3.3.1 構造材と胴縁・ラス下地材の種類寸法および材料

種類	寸法(mm)	材質	備考・釘の接合方法
柱	105×105	すぎ製材	
土台	105×270	すぎ集成材	
桁	105×270	べいまつ集成材	
間柱	30(45)×105	すぎ製材	()は合板下地の場合
ラス下地板	12×90	すぎ製材	釘 2-N65 平打ち
構造用合板	厚 9mm	針葉樹	釘 N50@150mm 平打ち
標準通気胴縁	15×30(90)	すぎ製材	釘 N38@200mm 平打ち
合板通気胴縁	15×30(90)	構造用合板	90 幅は 2-N65 平打ち

試験体数は、標準仕様(L-1,2,3)3 体、直交壁仕様(Law-1,2,3)3 体、構造用合板ラス下地(PW)、構造用合板通気胴縁(L-pw)、ラス縦張り(Law-v)およびラス下地のみ(L-n)は各 1 体の合計 10 体である。

試験体名と仕様の一覧を表 3.3.2 に示す。

表 3.3.2 試験体名と仕様の一覧

試験体名	試験体仕様					
	試験体数	直交壁	下地材	通気胴縁	ラス方向	モルタル
L-n	1	無	すぎ製材	すぎ製材	無	無
L-1,2,3	3		構造用合板		横張り	有
PW	1			構造用合板		
L-pw	1		すぎ製材		縦張り	
Law-1,2,3	3	有	すぎ製材	縦張り		
Law-v	1					

材料

- ①防水紙：JIS A 6005 アスファルトルーフィングフェルトに適合するアスファルトフェルト 430 同等品を使用し、躯体側の透湿防水シートは、全ての試験体で省略した。
- ②ラ ス：波形ラス 1 号=700g/m²・メッシュ 13×26mm・山高 6mm・寸法 910×1829mm を使用した。なお、ラス横張りの直交壁(Law)の角部は平ラス 1 号=450g/ m²を重ね補強したが、ラス縦張り (Law-v)の角部はそれをしていない。
- ③ステープル：ラスの留め付けに使用するステープルは、1019J(線径： J 線・幅 10mm・脚長 19mm) とし、縦方向はラス下地板毎、横方向は 100mm 毎とした。
- ④モルタル：JASS15 M-102 に適合した既調合軽量セメントモルタルを用い、下塗り後 7 日養生し、上塗りで 15mm 厚とし、モルタル表層部に耐アルカリガラス繊維ネットを伏せこんだ。

(2) 試験体の作製工程

①木工事

軸組の概要を写真 3.3.1 に、また直行壁なし写真 3.3.2、直交壁あり写真 3.3.3 に示す。



写真 3.3.1 ラス下地板



写真 3.3.2 直交壁なし



写真 3.3.3 直壁あり



写真 3.3.4 ホールダウン金物 写真 3.3.5 構造用合板下地 写真 3.3.6 構造用合板縦張り

まぐさ・窓台端部は柱に 10mm 大入れし N75 にて 2 本斜打、間柱の頭脚は桁と土台に 10mm 大入れし N75 にて 2 本斜打、胴縁は、N38 にて@200、ラス下地板は柱、間柱上に 2 本 N65 にて固定した。ホールダウン金物の取付を写真 3.3.4 に、構造用合板下地の取付状態を写真 3.3.5 および写真 3.3.6 に示す。

②防水紙の張付け

柱、間柱と胴縁の間には全試験体で透湿防水シートの張付けは削除した。ラス下地板および構造用合板の上には 430 アスファルトフェルトを張付けた。張付けは横張りとし、壁面下部から張り始めた。縦方向の継ぎ手が無い形とし、横方向の継ぎ手は 100mm の重ねとした。留付けは手打ちタッカー（ステープル寸法：足長 10mm、肩幅 12mm）を使用し、しわ、たるみがない様適度に打ち付けた。防水紙の張り付け状況を写真 3.3.7 に示す。



写真 3.3.7 防水紙の張付け

③ラスの張付け

試験体仕様 Law-v 以外のラスの張付け方法は共通で、波形ラス 1 号を使用した。写真 3.3.8 に示す。張付けは横張りとし Law-v はラスを縦張りとした。ラスの留付けはステープル（1019J）をエアーネイラーにて打ち付けて行った。ステープルの間隔は、縦方向はラス下地毎・横方向は 100mm とした。また、重ね代は、縦方向は 1 山重ね・横方向は 30mm 重ね

とした。ラスの縦横の違いによるステープルの留め方は、写真 3.3.11 および写真 3.3.12 に示すとおりである。出隅部の収まりは、Law-1.2.3 は出隅部で突合せとし、補強用として幅 90×90mm の平ラス 1 号を波形ラスの上から張付けた。Law-v ラス縦張りは、出隅部で曲げて補強は入っていない。写真 3.3.9 および写真 3.3.10 に施工状況を示す。



写真 3.3.8 直交壁なし



写真 3.3.9 直交壁有
(ラス横張り)



写真 3.3.10 直交壁有
(ラス縦張り)



写真 3.3.11 ラス横張りのステープル



写真 3.3.12 ラス縦張りのステープル

④モルタルの塗付け

モルタルは NPO 法人湿式仕上技術センターの既調合軽量セメントモルタルを使用した。写真 3.3.13 に使用したモルタルを示す。製品 1 袋 25 kg に対し水 10.5 リットルを加えて混練を行ったモルタルを下塗りとし、上塗りの 2 回に分けて塗付けた。下塗りの塗付け完了後、塗り厚を均等にとすることと上塗りの付着を高める為モルタル表面に木ゴテによるならしを行った。ならし後のモルタル塗付け厚は実測値で約 9mm であった。写真 3.3.14 および写真 3.3.15 に下塗り施工と下塗り状況を示す。



写真 3.3.13 既調合軽量セメントモルタル



写真 3.3.14 下塗り施工



写真 3.3.15 下塗り



写真 3.3.16 上塗り直交壁なし



写真 3.3.17 直交壁有

下塗り完了から 7 日間の養生期間を設けた後、上塗りの塗付けを行った。上塗りの塗り厚は下塗りと合わせ 15mm となる厚さとした。上塗りの塗付け後、モルタル表層部に耐アルカリガラス繊維 2 軸ネットを伏せこんだ。写真 3.3.16 および写真 3.3.17 に上塗り後の直交壁なしと直交壁有の状況を示す。

(3) モルタルの仕様

使用した既調合軽量セメントモルタルの物性を表 3.3.3 に示す。物性値は、材齢 28 日目の値である。養生は封かん養生とし、試験体と同一の場所とした。試験体は、密度・曲げ・圧縮用は 40×40×160mm、割裂引張・圧縮静弾性用は 100×φ50mm である。

表 3.3.3 使用した既調合軽量セメントモルタルの基本物性

No.	密度	曲げ 強さ	圧縮 強さ	割裂引張 強度	圧縮静弾性	
					最大 歪み	静弾性 係数
		(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(μ)	(N/mm ²)
1	1.10	2.67	9.09	0.99	2651	3175
2	1.08	2.57	9.00	0.99	2528	3238
3	1.11	2.71	8.97	0.99	2427	3515
平均	1.09	2.65	9.02	0.99	2535	3310

3.3.2 試験方法

試験方法は無載荷柱脚固定式とした。図 3.3.2 に試験体各部の変位計測位置を示す。図中の①～⑭は直交壁有りの試験体、①83～④と白抜きの⑤～⑩は直交壁無しの試験体である。

各変位計は、①桁水平変位、②土台水平変位、③, ④柱鉛直変位、⑤～⑧および白抜きの⑤～⑩モルタル仕上げ面の面外変位、⑪～⑭直交壁の面外変位をそれぞれ計測した。

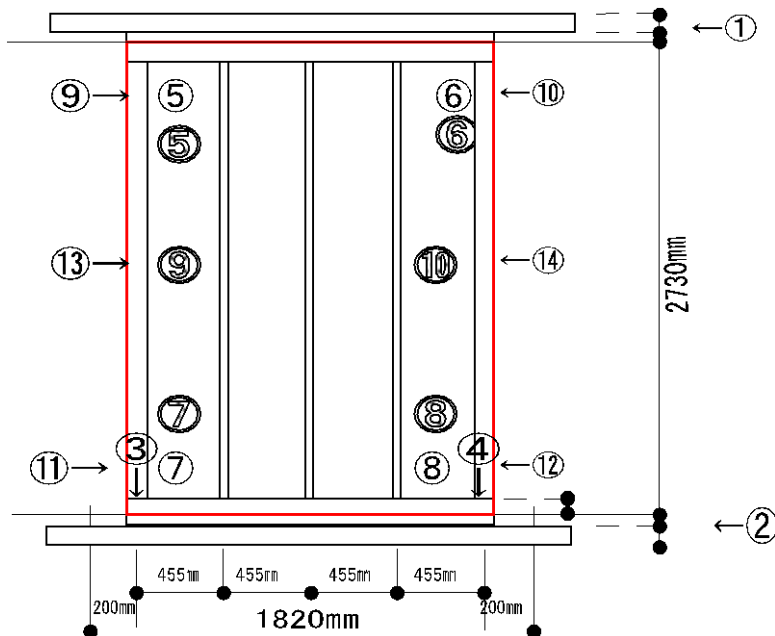


図 3.3.2 試験体装置図

また、画像解析用測定点(画鋲)を壁体および桁・土台に設け、画像撮影を行った。写真 3.3.18 に試験状況を示す。



直交壁無し



直交壁有



直交壁有の場合の
変位計設置状況

写真 3.3.18 試験状況

加力スケジュールは、土台－桁間の見かけのせん断変形角が $1/600$, $1/450$, $1/300$, $1/200$, $1/150$, $1/100$, $1/75$, $1/50$, $1/30\text{rad}$ まで正負交番 3 回繰り返し加力とし、その後、最大変形 $1/10\text{rad}$ に至るまで単調加力を行った。

3.3.3 試験結果

(1) 荷重-変形関係

標準仕様(L-1～3)および直交壁仕様(Law-1～3)の試験結果を表 3.3.4 に示す。

構造用合板ラス下地(PW)、構造用合板通気胴縁(L-pw)、ラス縦張り(Law-v)およびラス下地のみ(L-n)の試験結果を表 3.3.5 に示す。

また、各試験体の荷重－見かけのせん断変形角関係を図 3.3.3 に示す。

表 3.3.4 標準仕様および直交壁仕様の試験結果一覧

	標準仕様					直交壁仕様				
試験体記号	L-1	L-2	L-3	平均値 (Av)	標準偏差 (σ_{n-1})	Law-1	Law-2	Law-3	平均値 (Av)	標準偏差 (σ_{n-1})
最大耐力	20.20	16.90	17.60	18.23	1.739	29.20	28.80	27.10	28.37	1.115
Pmax(kN/1.82m)										
最大耐力時変形角	33.201	19.941	19.861	24.334	7.679	33.112	33.225	33.221	33.186	0.064
$\delta_{max}(10^{-3}rad)$										
2/3Pmax	13.47	11.27	11.73	12.16	1.159	19.47	19.20	18.07	18.91	0.743
(kN/1.82m)										
2/3Pmax 時変形角	9.337	8.377	8.599	8.771	0.503	11.947	13.228	13.191	12.789	0.729
$\delta_{2/3Pm}(10^{-3}rad)$										
見かけのせん断変形角(γ)一定変形時耐力(kN/1.82m)										
1/300rad	6.78	6.30	6.58	6.55	0.24	8.93	8.49	7.68	8.37	0.63
1/200rad	9.22	8.30	8.61	8.71	0.47	11.95	11.25	10.08	11.09	0.94
1/150rad	10.90	9.96	10.10	10.32	0.51	14.28	13.37	11.97	13.21	1.16
1/120rad	12.40	11.23	11.50	11.71	0.61	16.23	14.94	13.72	14.96	1.26
1/60rad	17.13	15.30	16.08	16.17	0.92	25.42	21.33	19.81	22.19	2.90

表 3.3.5 その他仕様の試験結果一覧

試験体記号	L-n	L (平均値)	Pw	L-pw	Law (平均値)	Law-v
最大耐力 Pmax(kN/1.82m)	4.04	18.23	16.30	22.60	28.37	21.2
最大耐力時変形角 δmax(10 ⁻³ rad)	66.667	24.334	32.795	32.729	33.186	20.025
2/3Pmax (kN/1.82m)	2.69	12.16	10.87	15.07	18.91	14.13
2/3Pmax 時変形角 δ _{2/3Pm} (10 ⁻³ rad)	30.355	8.771	10.870	9.159	12.789	2.120
見かけのせん断変形角(γ)一定変形時耐力(kN/1.82m)						
1/300rad	0.71	6.55	6.56	7.90	8.37	8.00
1/200rad	0.90	8.71	8.13	10.30	11.09	10.49
1/150rad	1.05	10.32	9.25	12.36	13.21	12.63
1/120rad	1.22	11.71	10.37	14.12	14.96	14.54
1/60rad	1.86	16.17	13.54	19.73	22.19	20.19
1/30rad	2.83	—	—	—	—	—

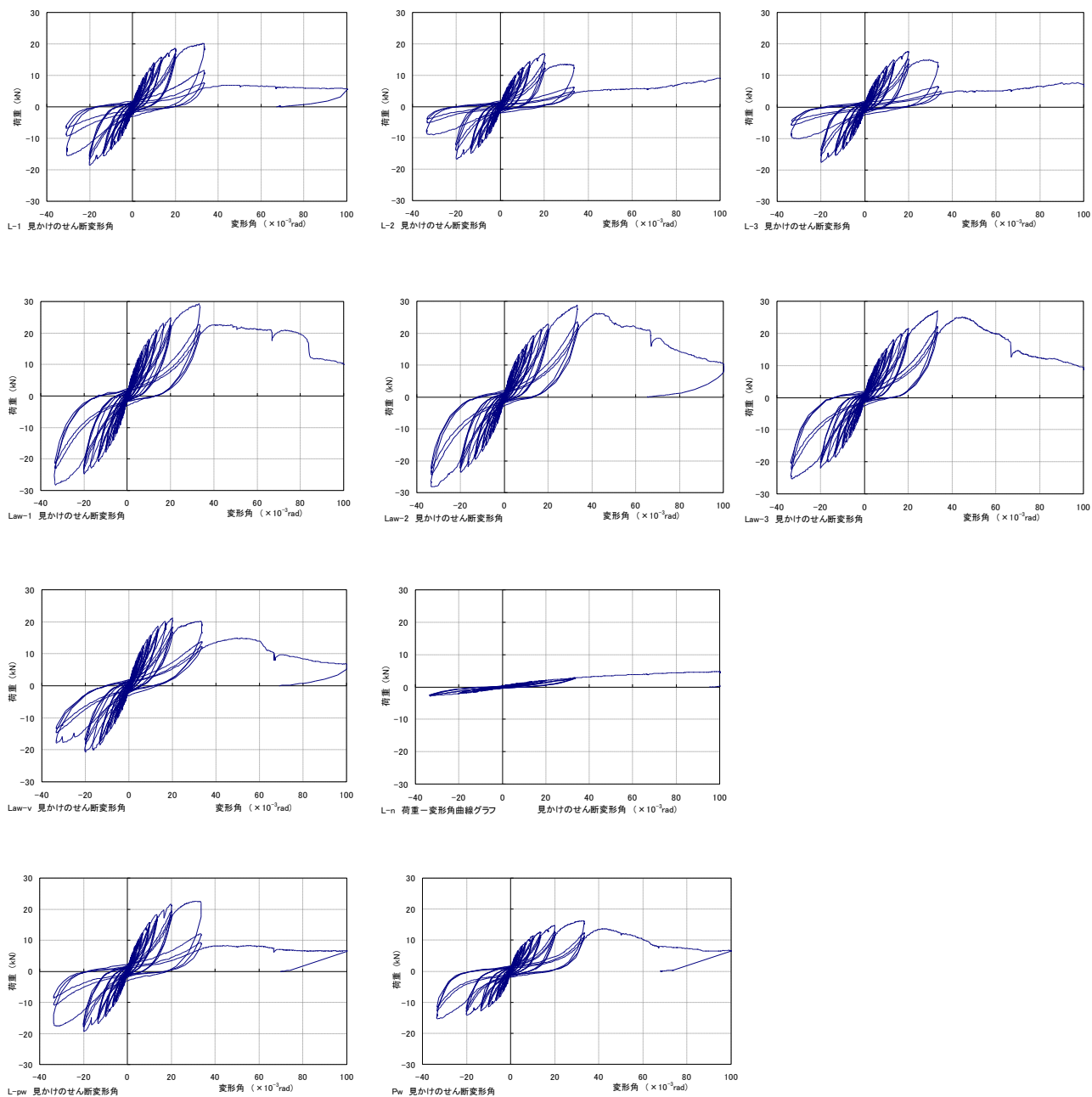


図 3.3.3 荷重-見かけの変形角関係(包絡線)

(2) 標準仕様の破壊状況

各試験体の荷重-変形性状は変形角 $1/50$ 付近までは似通った傾向を示した。

L-1 は $1/30\text{rad}$ までは荷重が増加していったが、その後は耐力が急低下し、試験終了時の $1/15\text{rad}$ までに $0.8P_{\text{max}}$ に到達しなかった。

L-2,3 は変形角 $1/50$ 付近で最大耐力に達し、以後耐力は徐々に低下するが、 $1/30$ 付近で L-1 と同様に耐力が急低下した。

終局時の破壊状況は、モルタル壁体の回転に伴うステーブルの拔出し・破断またはラス網の破断が主体であった。また、これに伴いモルタルに面外変位が生じた(写真 3.3.20, 写真 3.3.21)。

L-1 においてはラス下地板の割裂が見られた。(写真 3.3.22)

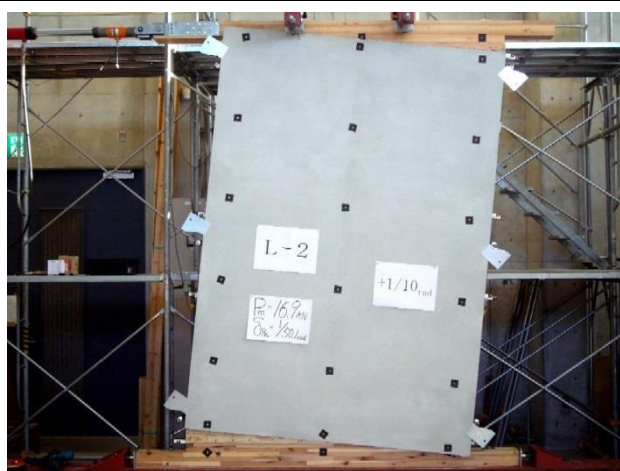


写真 3.3.19 標準仕様の終局状態(L-2)

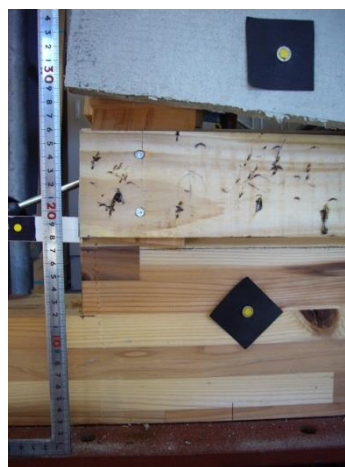


写真 3.3.20 モルタル回転・ステーブル拔出し



写真 3.3.21 モルタルの浮き

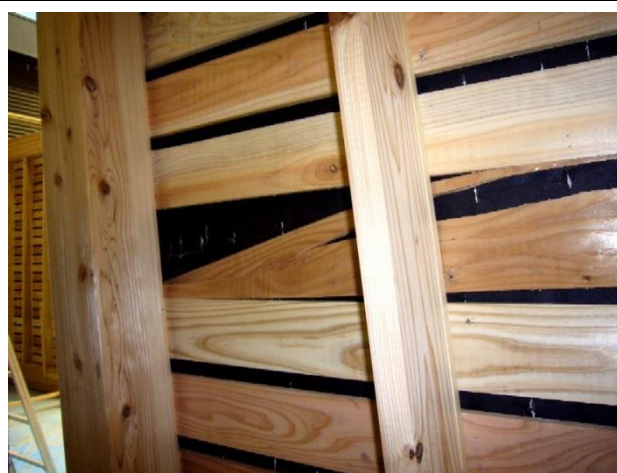


写真 3.3.22 ラス下地板の割裂

(3) 直交壁仕様の破壊状況

直交壁仕様は最大耐力に達するまでは、3体共に似通った荷重-変形性状を示した。

以後、Law-2,3は変形につれて耐力が徐々に低下し、終局変形角は $1/20\text{rad}$ 程度であった。

Law-1は $1/30\text{rad}$ 繰り返し加力後、最大耐力の75%程度まで耐力が低下し、試験終了まで $0.8P_{\text{max}}$ に到達しなかった。

終局時においてもラスモルタルの回転はほとんど生じなかった(写真 3.3.23)。

軸組の回転に伴うステーブルの拔出し・破断またはラス網の破断と、隅角部のラス下地板の割裂・釘の拔出し(せん断)が生じた(写真 3.3.25)。

胴縁の割裂は Law-1 で目立った(写真 3.3.24)。

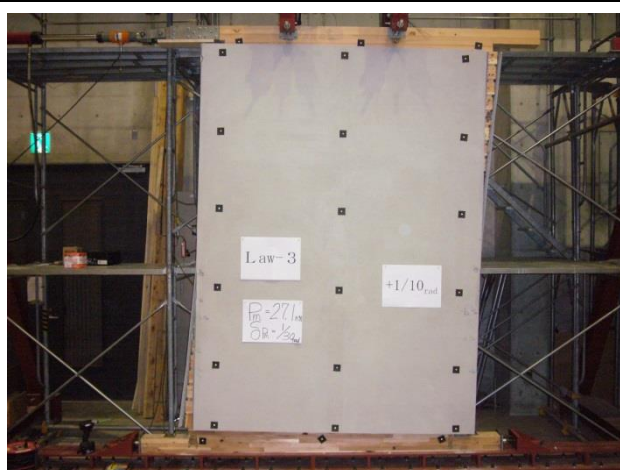


写真 3.3.23 直交壁仕様の終局状態(Law-3)



写真 3.3.24 胴縁割裂



写真 3.3.25 釘抜け/ステーブル抜け状況



写真 3.3.26 モルタルの剥離



写真 3.3.27 コーナー部の破断

直交壁コーナー部は、モルタル外壁と軸組と相対変位の増大に伴い、壁上下端部より亀裂が生じた。 $1/30\text{rad}$ 繰り返し後の押し切り加力になると、亀裂は $1/15 \sim 1/10\text{rad}$ 時ではほぼ全高に達した。

加力側の上端および対角の下端側は完全にモルタルが浮き上がり、はく離した(写真 3.3.26)。

反加力側の上端及び対角の下端はコーナービード部ではく離・破断した(写真 3.3.27)。

(4) ラス下地のみ仕様 (L-n) の破壊状況

初期剛性は、標準仕様と比較すると $1/10$ 程度である。変形角 $1/20$ でやや腰折れしているが、荷重はなおも漸増傾向を示したが、変形角 $1/7$ で加力を打ち切った。(写真 3.3.28)

明確な破壊性状は示さず変形のみが増大した。

胴縁の割裂(写真 3.3.29)、柱柱脚のめり込み(写真 3.3.30)が生じていた。



写真 3.3.28 L-n 終局状態



写真 3.3.29 胴縁の割裂

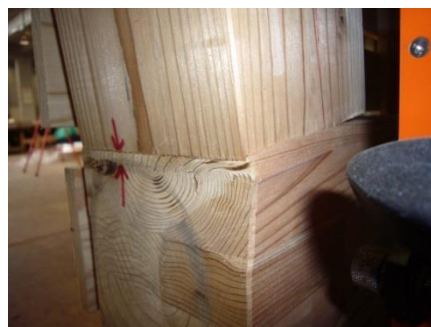


写真 3.3.30 柱脚のめり込み

(5) 構造用合板をラスの下地材に用いた試験体 (Pw) の変形性状

$1/200\text{rad}$ 付近までは耐力に差はないが、それ以降、Pw 試験体が L-1～L-3 試験体よりやや低い。Pw 試験体の耐力は、 $1/50\text{rad}$ 時で 14.8kN 、 $1/30\text{rad}$ 時で 16.0kN である。

$1/50\text{rad}$ 時における、Pw 試験体の耐力は L-1～L-3 試験体の平均より 15%程度低い、 $1/30\text{rad}$ 時では同等である。 $1/30\text{rad}$ 以降の耐力性状からも、ラスの下地材に構造用合板を用いたほうが、耐力の低下がゆるやかであるといえる。

終局時の破壊状況は、モルタル層の構造用合板からのはく離やずれは生じることなく、構造用合板を留める N50 の引抜けが生じた。



写真 3.3.31 Pw 終局状態



写真 3.3.32 合板釘抜け出し



写真 3.3.33 胴縁の割裂

(6) 構造用合板を胴縁に用いた試験体 (L-pw) の変形性状

合板胴縁(L-pw)の耐力は、すぎ胴縁(L)を最大荷重時で 12.4%、1/120rad 時で 12.1%上回った。また、最大荷重時の変形角も L の 1/41rad に対し L-pw は 1/31rad であったことから高い変形性能を有していた。図 3.3.3 より、L(L-1 を除く)は、1/50rad 時の正負交番繰り返し荷重後、1 回目 1/50rad 時の荷重を超えずに荷重は低下したが、L-pw は 1/50rad 以降も荷重が上昇し 1/30rad まで達した。

写真 3.3.34 および写真 3.3. 35 は、終局変形 1/10rad 時の胴縁の破壊状況である。すぎ胴縁は釘により繊維直交方向に割裂したが、合板胴縁ではそのような割裂は皆無であった(写真 3.3.34)。また、くぎ(N65)とくぎ(N38)が打たれた合板胴縁の端部は、N65 がラス下地板を突き抜けて変形しているが、合板胴縁は端部にもかかわらず割裂が生じていない(写真 3.3.35)。

(7) ラスを縦貼りした試験体 (Law-v) の変形性状



写真 3.3.34 通気胴縁の破壊状況(左:すぎ製材,右:合板)



写真 3.3.35
N65 の抜け・変形

Law の耐力は Law-v を最大荷重時で 13.4%、1/120rad 時で 10.3%上回った。最大荷重時の変形角は Law の 1/50rad に対し Law-v は 1/30rad であり、変形性能に優れている。



写真 3.3.36 ラス縦貼仕様の終局状態
(Law-v)



写真 3.3.37 釘抜け/ステープル抜け状況

3.3.4 試験結果の解析

(1) 直交壁の効果

標準仕様 3 体の耐力および見かけのせん断変形角の平均は、1/120rad 時の耐力 11.7kN、最大耐力 18.23kN、最大耐力時の変形角は約 1/40rad であったのに対して、直交壁仕様の試験体 3 体の耐力および見かけのせん断変形角の平均は、1/120rad 時の耐力 14.96kN、最大耐力 28.37kN、最大耐力時の変形角は 1/30rad であった。

直交壁仕様は標準仕様に対し、平均で剛性 1.3 倍・耐力 1.5 倍・変形能力 1.3 倍の性能の向上が見られた。

また、L-1, Law-1 で見られた割裂に伴うと思われる急激な耐力低下が生じる場合においても、直交壁付である Law-1 の方が耐力低下の度合いが小さかった。

直交壁が抵抗することで、モルタル外壁本体部分の全体回転が抑制され、剛性・耐力が向上するものと考えられる。これによりステープルの拔出しによる耐力低下が抑制され、ラス下地・通気胴縁に割裂が生じない範囲で変形能力も向上するものと考えられる。

図 3.3.4 に代表として L-2 と Law-2 の挙動の比較を示す。標準仕様比べ、直交壁仕様では θ_y が小さく θ_x が大きく、 γ も大きい傾向がある。直交壁によってモルタル壁の回転が抑えられ、より大きなせん断力の負担が可能となり、水平剛性が高くなることを示すものである。

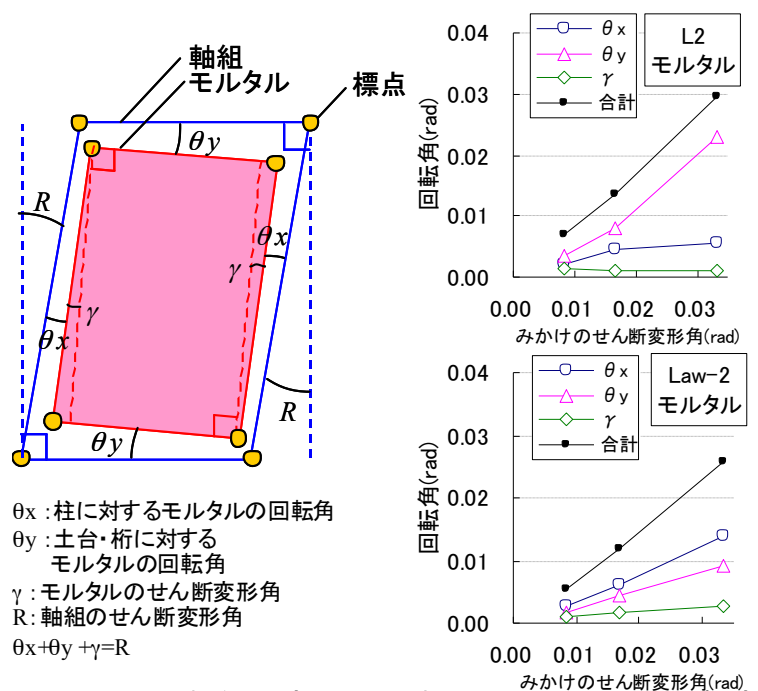


図 3.3.4 軸組の変形に対するモルタル層の回転変

直交壁は回転が進むと浮き上がりによるステープル拔出しとコーナー部はく離が生じ、耐力は減少していくが、1/30 まで剛性の急低下やモルタル壁の回転はみられず、直交壁効果が得られる性能が有ることが確認された。

コーナー部は、ひび割れの状況からコーナービードと上塗りモルタルが早期にはく離していると考えられる。この部分の付着強度が低いために、直交壁の効果が低くなっている可能性も考えられる。

また、加力に伴い直交壁が試験体両端の柱からはく離する状況は、平部と直交壁部のラ

ス下地板および通気胴縁の取合いの勝ち・負けが影響するものと思われるが、今回はそれを比較する試験は行っていないため、その影響を確認することはできなかった。

(2) ラス下地の種類

ここでは、ラスの下地材にすぎ製材のラス下地板を用いた場合と構造用合板を用いた場合の静的せん断加力実験の結果を比較することにより、ラスの下地材がモルタル仕上げ外壁の水平耐力や破壊性状といった構造性能に及ぼす影響について検討する。

図 3.3.5 にすぎ製材のラス下地板を用いた試験体と構造用合板を用いた試験体における材料の構成の違いを示す。ラス下地板を用いた試験体では、柱および間柱にすぎ製材の通気胴縁が N38@200 で留められ、その上から断面が 12mm×90mm のすぎ製材のラス下地板が柱または間柱との交点において 2-N65 で留められている。ラス下地板の間隔(目すかし)は 20mm である。さらに、ラス下地板の上に防水紙とラスを順に張り、既調合軽量モルタルが施工されている。一方、構造用合板をラスの下地材に用いた試験体では、ラス下地板の代わりに 3×9 版の構造用合板が N50@150mm で留められ、その上に防水紙、ラスおよびモルタルが施工されている。いずれの仕様でも、ラスは横張りで、足長さ 19mm のステープル 1019J により、縦方向、横方向とも 100mm ピッチで留められている。

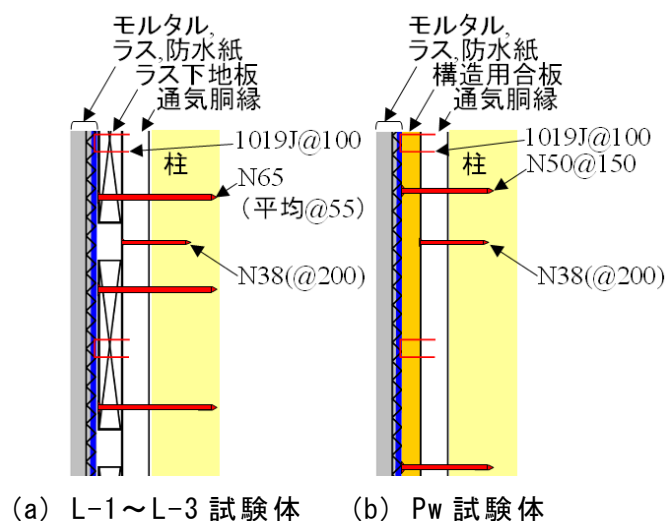


図 3.3.5 材料の構成の違い

図 3.3.6 にラス下地板を用いた試験体 L-1～L-3 と構造用合板をラスの下地材に用いた試験体 Pw の包絡線を示す。L-1～L-3 試験体は同じ仕様である。表 3.3.6 には特定点の耐力およびみかけの変形角の一覧を示した。1/200rad 付近までは耐力に差はないが、それ以降、Pw 試験体が L-1～L-3 試験体よりやや低い。L-1～L-3 試験体の耐力の平均は、1/50rad 時で 17.7kN、1/30rad 時で 15.9kN であるのに対し、Pw 試験体の耐力は、1/50rad 時で 14.8kN、1/30rad 時で 16.0kN である。1/50rad 時における、Pw 試験体の耐力は L-1～L-3 試験体の平均より 15%程度低い、1/30rad 時では同等である。1/30rad 以降の耐力性状からも、ラスの下地材に構造用合板を用いたほうが、耐力の低下がゆるやかであるといえる。

終局時の破壊状況は、ラス下地板を用いた L-1～L-3 試験体では、写真 3.3.38 および写真 3.3.39 のように、ラスを留めるステープルの引抜けや破断が生じ、ラス下地板を留める N65

の引抜けはみられなかった。構造用合板を用いた Pw 試験体では、写真 3.3.40 および写真 3.3.41 のように、モルタル層の構造用合板からのはく離やずれは生じることなく、構造用合板を留める N50 の引抜けが生じた。

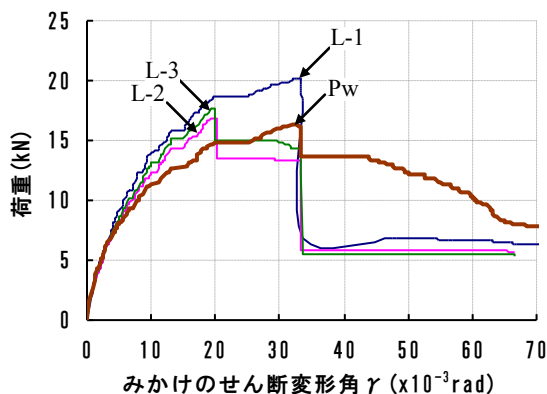


図 3.3.6 荷重－みかけのせん断変形角の包絡線

表 3.3.6 試験結果の一覧

試験体記号	ラス下地板試験体					構造用合板 下地試験体
	L-1	L-2	L-3	平均値 (Av)	標準 偏差 (σ_{n-1})	Pw
最大耐力 $P_{max}(kN/1.82m)$	20.2	16.9	17.6	18.2	1.7	16.3
最大耐力時変形角 $\delta_{max}(10^{-3}rad)$	33.2	19.9	19.9	24.3	7.7	32.8
2/3 P_{max} ($kN/1.82m$)	13.5	11.3	11.7	12.2	1.2	10.9
2/3 P_{max} 時変形角 $\delta_{2/3P}(10^{-3}rad)$	9.3	8.4	8.6	8.8	0.5	10.9
見かけのせん断変形角(γ)一定変形時耐力($kN/1.82m$)						
1/300rad	6.8	6.3	6.6	6.6	0.2	6.6
1/200rad	9.2	8.3	8.6	8.7	0.5	8.1
1/150rad	10.9	10.0	10.1	10.3	0.5	9.3
1/120rad	12.4	11.2	11.5	11.7	0.6	10.4
1/60rad	17.1	15.3	16.1	16.2	0.9	13.5
1/50rad	18.6	16.9	17.6	17.7	0.9	14.8

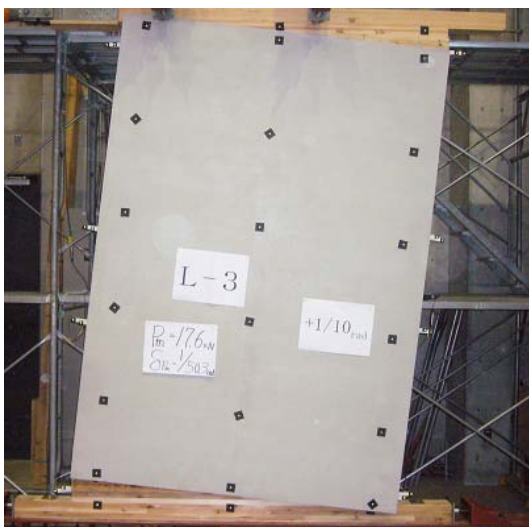


写真 3.3.38 ラス下地板下地試験体 (1/10rad) 引抜け



写真 3.3.39 ステープルの
・ 破断 (1/10rad)

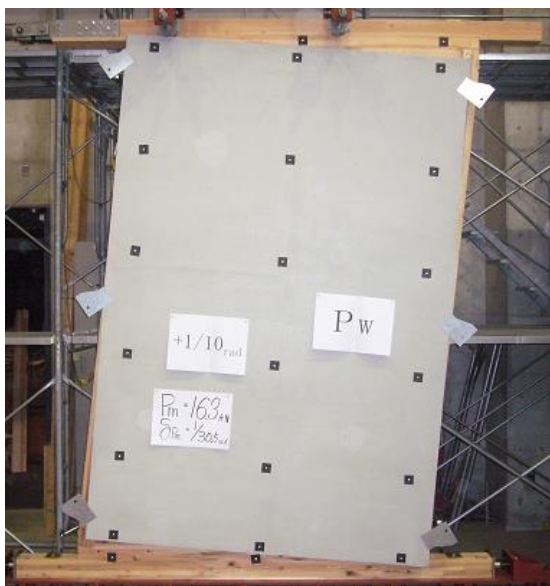


写真 3.3.40 構造用合板下地試験体(1/10rad)



写真 3.3.41 N50 釘の引抜け (1/10rad)

(3) モルタル壁の回転挙動

写真 3.3.42 に示すように、軸組やモルタルの表面、ラス下地板や通気胴縁の側面に貼付した標点の座標を写真から読み取り、図 3.3.7 のように、モルタル層の柱に対する回転角 θ_x 、土台および桁に対する回転角 θ_y ならびにモルタル層自体のせん断変形角 γ を算出した。

図 3.3.8 に、各試験体における軸組の変形に対するモルタル層の回転変形を示す。本試験における標準仕様の試験体 L-1～L-3 の場合には、 θ_x や γ よりも θ_y が支配的であるが、直交壁を有する試験体(Law-1～Law3)では、 θ_y が小さく、 θ_x が大きい。 γ も大きい傾向がある。直交壁によって、モルタルの回転が抑えられ、モルタルによってより大きなせん断力を負担し、水平剛性が高くなっている。直交壁を有し、ラスを縦張りにした場合(Law-v)は、1/30rad で最も θ_y が小さく、 θ_x が大きい。

ラスの下地材に構造用合板を用いた Pw 試験体では、 θ_x と θ_y の差は小さく、 γ が L-1～L-3 試験体よりやや大きいことが分かる。胴縁が構造用合板の場合(L-pw)は、すぎ製材の場合(L1～L3)より θ_y が小さく、 θ_x が大きい傾向であり、モルタルの回転を抑え、モルタル壁としての水平剛性を高める効果があるといえる。

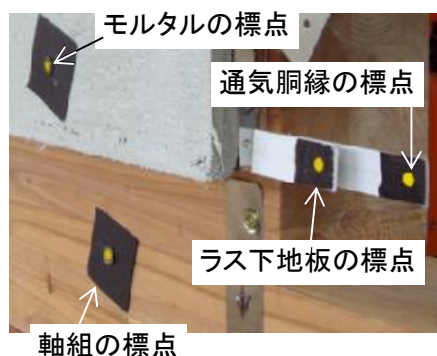


写真 3.3.42 各部の標点の取り付け位置

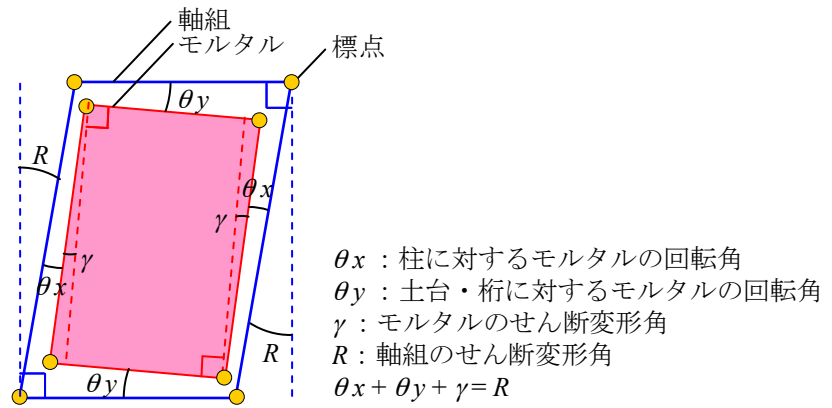


図 3.3.7 軸組に対するモルタル層の回転変形の定義

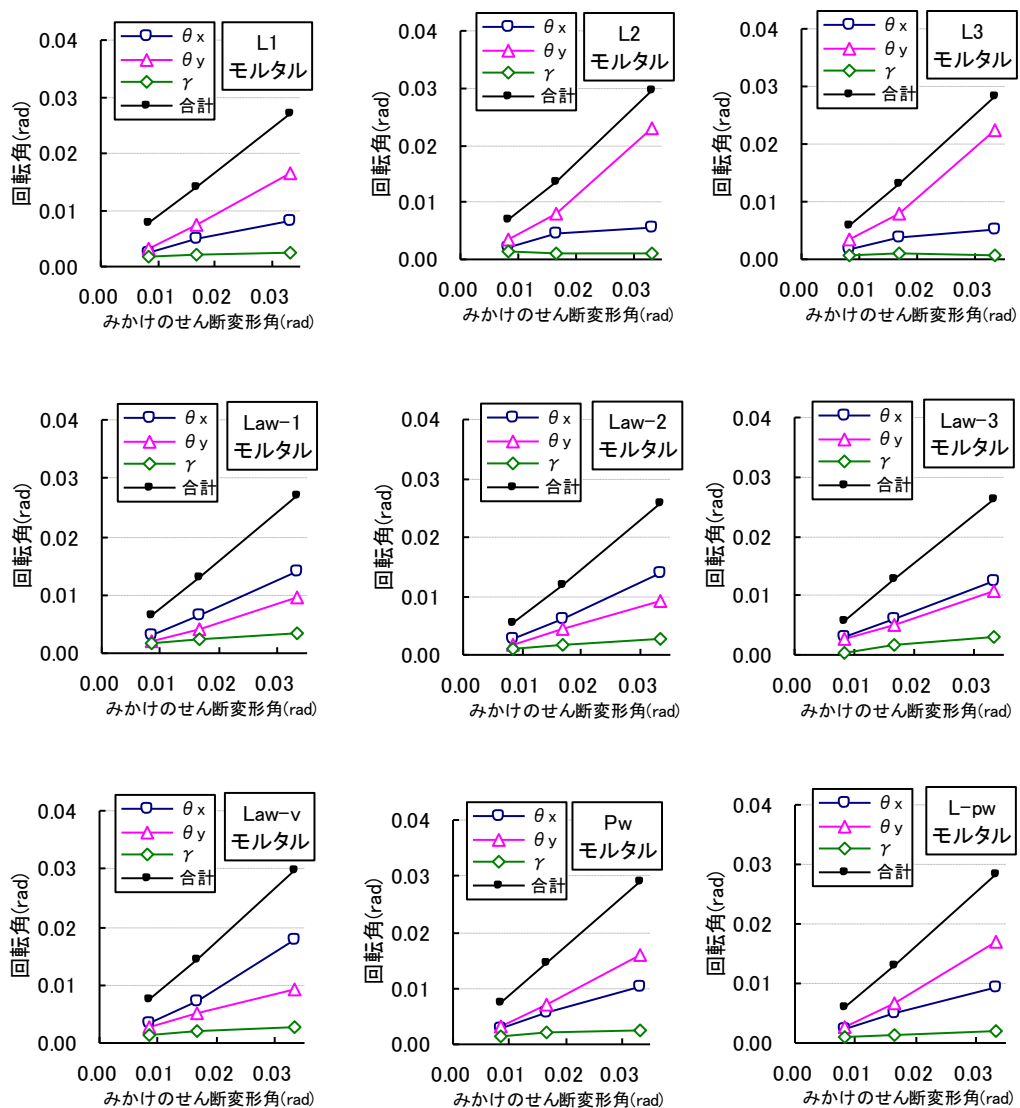


図 3.3.8 軸組の変形に対するモルタル層の回転変形

図 3.3.9 のように、ラス下地板や通気胴縁の柱に対する回転角 θ_x 、土台および桁に対する回転角 θ_y ならびにラス下地板や通気胴縁を含む面のせん断変形角 γ を算出し、その結果を図 3.3.10 に示す。

胴縁が構造用合板の場合(L-pw)は、本実験における標準仕様であるすぎ製材の場合(L-1～L-3)よりラス下地板の γ が小さい傾向がある。胴縁を構造用合板にすることで、ラス下地板間のずれが小さく、ラス下地板層の面内せん断剛性が高くなっていると考えられる。また、胴縁については、L-1～L-3 試験体のようにすぎ製材であっても、L-pw 試験体のように構造用合板であっても、挙動に大きな違いはみられない。

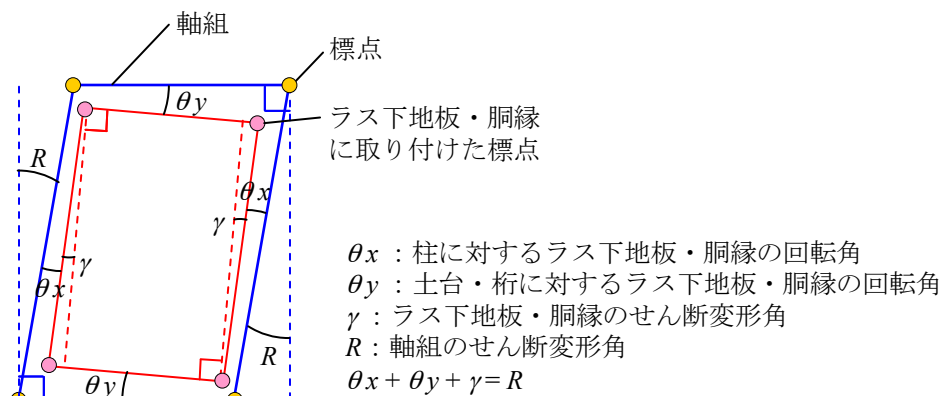


図 3.3.9 軸組に対するラス下地板や通気胴縁の回転変形の定義

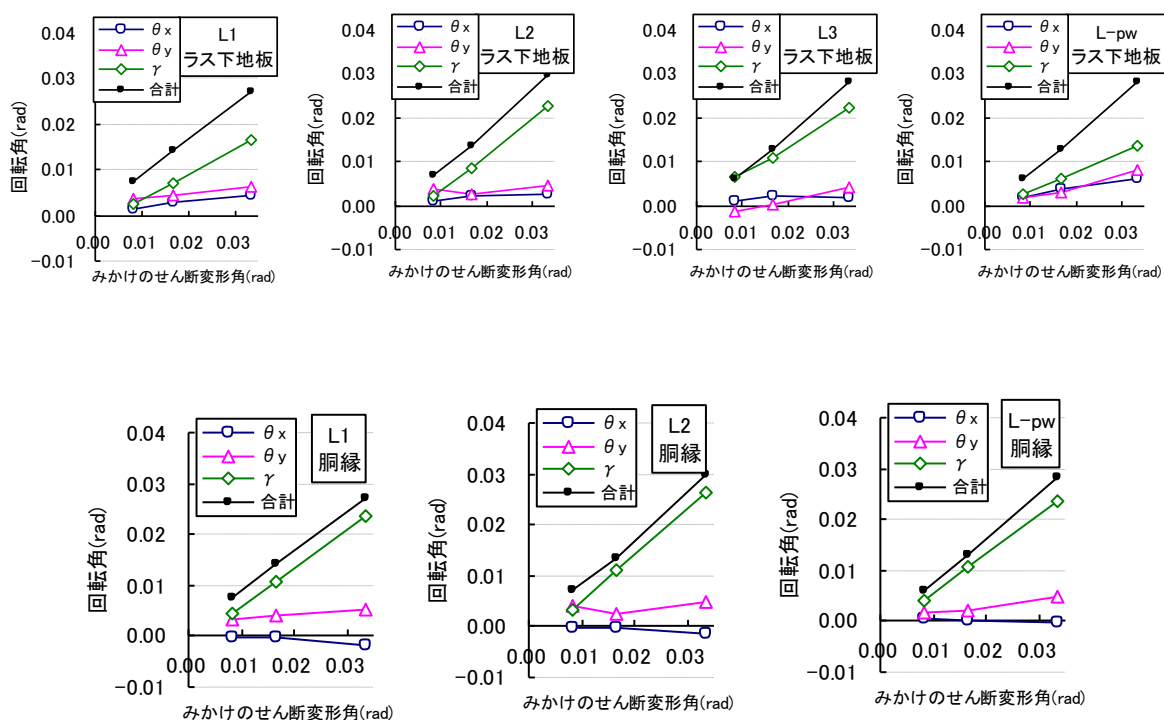


図 3.3.10 軸組の変形に対するラス下地板や胴縁の回転変形

(4) 面外への変形挙動

加力方向および直交方向のモルタル層の面外への浮き上がり量を把握するため、写真 3.3.43 のように変位計を設置し、軸組に対する面外変位を測定した。

図 3.3.11～図 3.3.15 に加力方向のモルタル層の面外変位の測定結果を示す。下地材料に構造用合板を用いた Pw 試験体以外の試験体では、概して、ステーブルの引き抜けや破断

が生じてモルタル層が面外に浮き上がった。モルタル層の面外変位は、変形角とともに大きくなる傾向である。本試験における標準仕様の試験体（L-1～L-3）では、1/30rad 時には平均 10～15mm 程度の面外変位であるのに対し、直交壁を有する試験体（Law-1～Law-3）では、平均 10mm 以下である。直交壁により、加力方向のモルタル壁の面外変位が抑えられていると考えられる。直交壁を有し、ラスを縦張りにした試験体（Law-v）では、1/30rad において、試験体下端のコーナー部分からラスが切れて、加力方向の壁と直交壁との縁が切れてしまったために、加力方向の壁の下端での面外変位が急増したものと考えられる。

下地材料を構造用合板とした試験体（Pw）では、1/30rad 時でも面外変位が 10mm 程度であり、直交壁を有する試験体（Law-1～3）と同程度である。この試験体では、ステーブルではなく、構造用合板を留める N50 釘が引き抜けたためであると考えられる。胴縁に構造用合板を用いた L-pw 試験体では、すぎ製材を用いた標準試験体（L-1～L-3）と概ね同程度である。



(a) 加力方向の壁



(b) 直交壁

写真 3.3.43 モルタル層の面外変位を測定する変位計

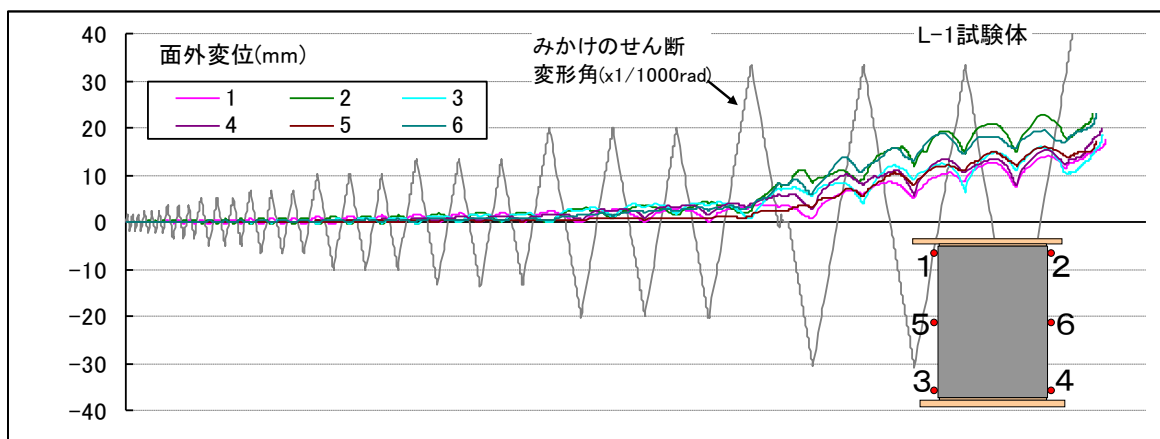


図 3.3.11 L-1 試験体におけるモルタル層の面外変位

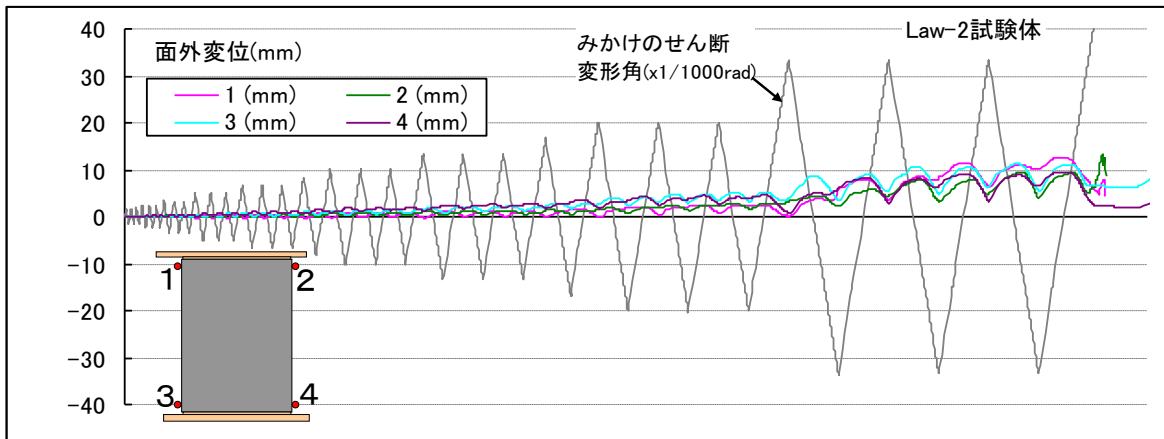


図 3.3.12 Law-2 試験体におけるモルタル層の面外変位

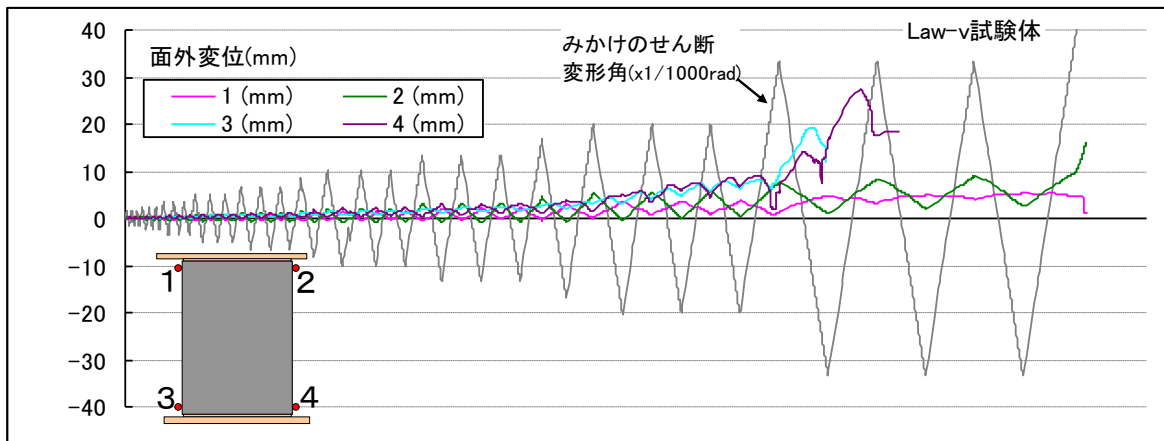


図 3.3.13 Law-v 試験体におけるモルタル層の面外変位

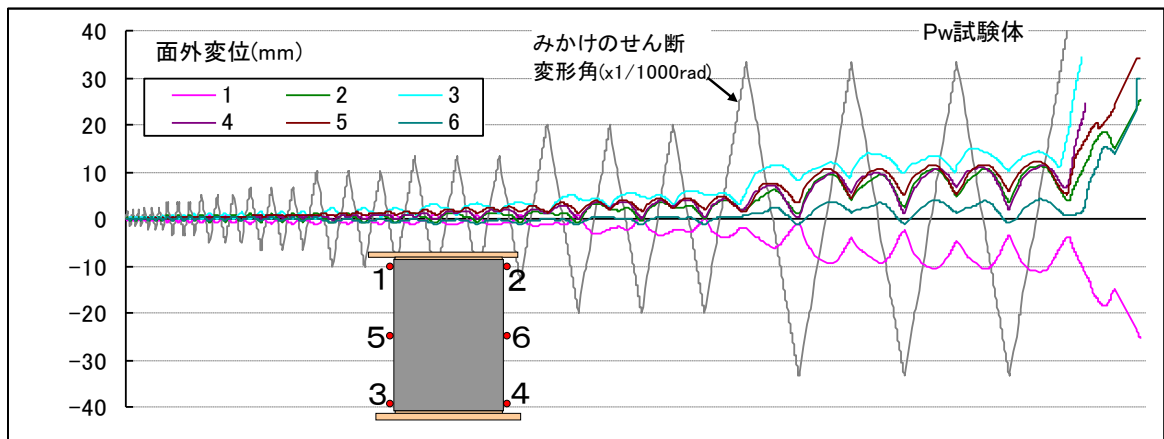


図 3.3.14 Pw 試験体におけるモルタル層の面外変位

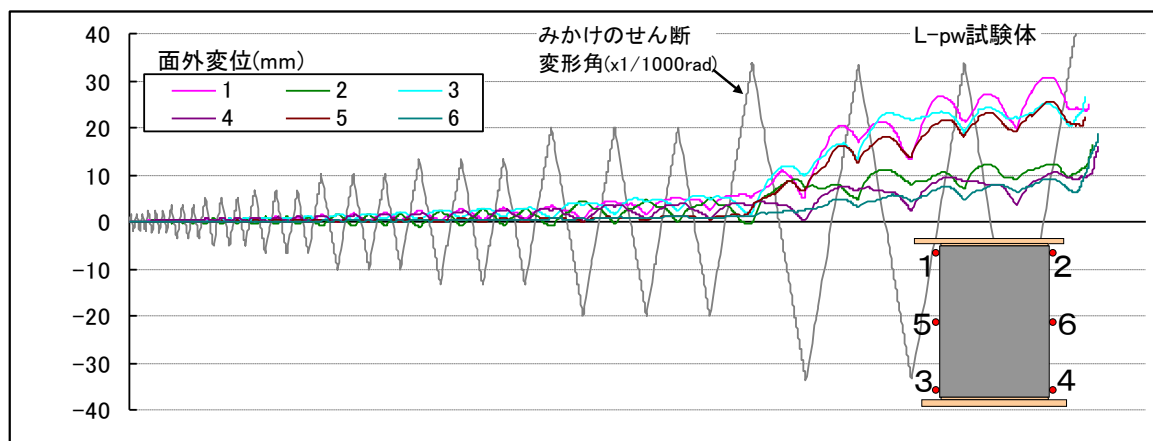


図 3.3.15 L-pw 試験体におけるモルタル層の面外変位

直交壁を有する試験体では、図 3.3.16 に示すように、直交壁がない試験体に比べて、加力方向の壁の回転が小さく、隅角部において軸組との間に比較的大きな水平方向の相対変位を生じる。その結果、図 3.3.17 のように、加力方向の壁の隅角部では直交壁を押し出すように挙動し、直交壁に面外方向の回転を生じさせる。従って、図 3.3.18 と図 3.3.19 に示すように、直交壁の面外変位を測定する変位計では、片側の上下の変位計の測定値は正負逆であり、それぞれの対角方向の変位計の測定値は同じように推移している。

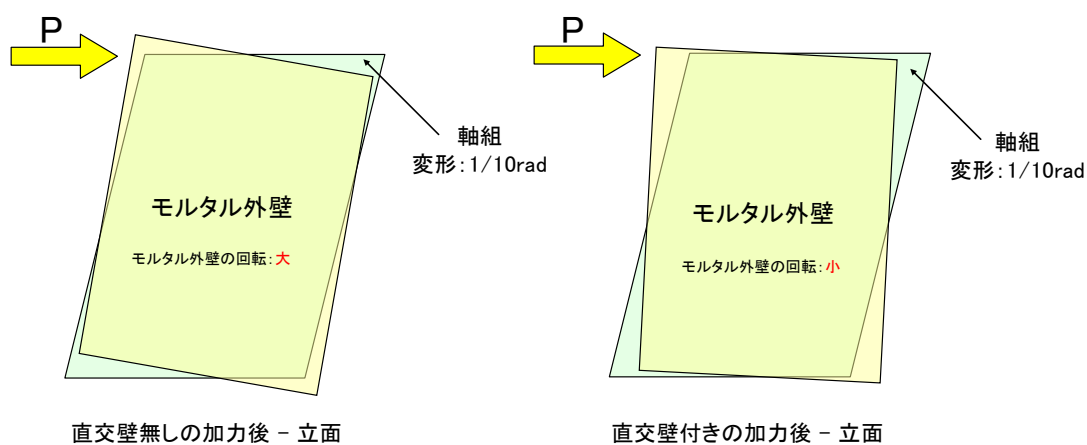


図 3.3.16 加力方向の壁の面内挙動



図 3.3.17 直交壁の挙動

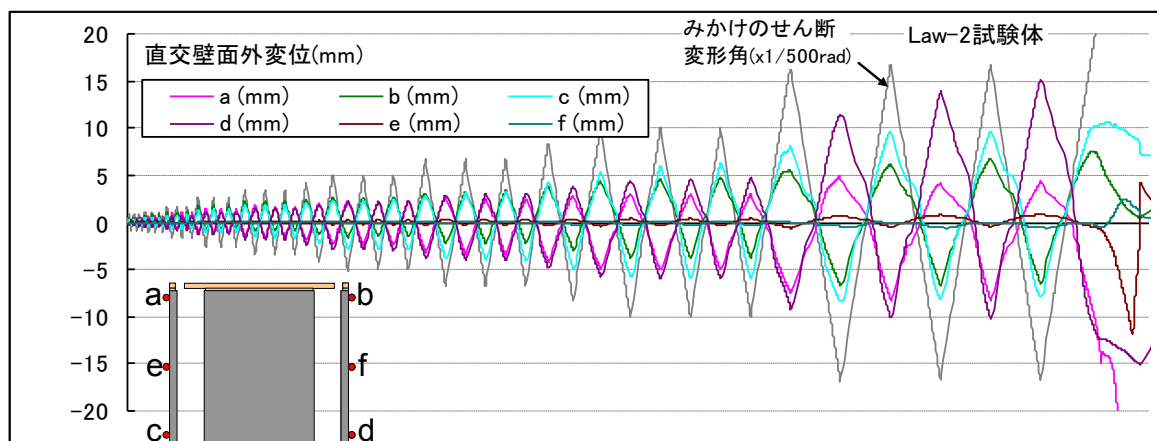


図 3.3.18 Law-2 試験体における直交壁の面外変位

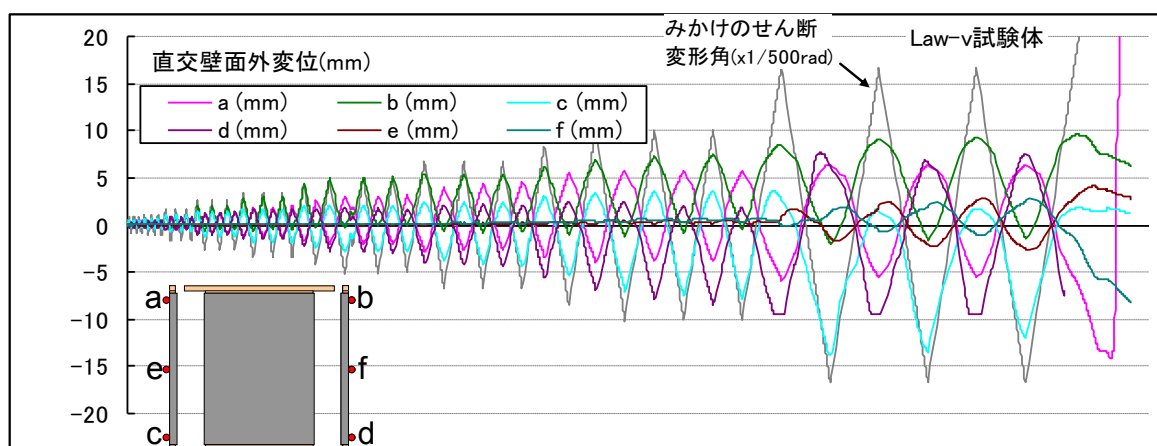


図 3.3.19 Law-v 試験体における直交壁の面外変位

(5) 通気胴縁の材料の違いによるモルタル壁の構造性能

通気胴縁は、剛性が高いモルタル層と剛性が低い軸組(ラス下地板の場合)との間に位置し、双方の荷重伝達を受け持つ部材である。2009 年度の実験では、モルタル層と軸組双方のせん断変形の違いから、すぎ製材による通気胴縁(以下、すぎ胴縁とする)は、接合している釘により繊維直交方向に割裂して面内せん断耐力の低下の要因となった。

そこで、通気胴縁の材料を、単板の直交積層により直交異方性の影響が小さい構造用合板とした試験体の面内せん断耐力、変形性能および破壊状況を把握する。

① 構造用合板通気胴縁の仕様

構造用合板による通気胴縁(以下、合板胴縁とする)の施工状況を写真 3.3.44 に示す。合板胴縁は、3×9 版の構造用合板(1 級,特類)から長さ 2730mm の 1 本物を切り出し、くぎ(N38)を間隔 200mm で柱および間柱に平打ちした。また、合板胴縁にはラス下地板を接合するくぎ(2-N65)も平打ちされている。

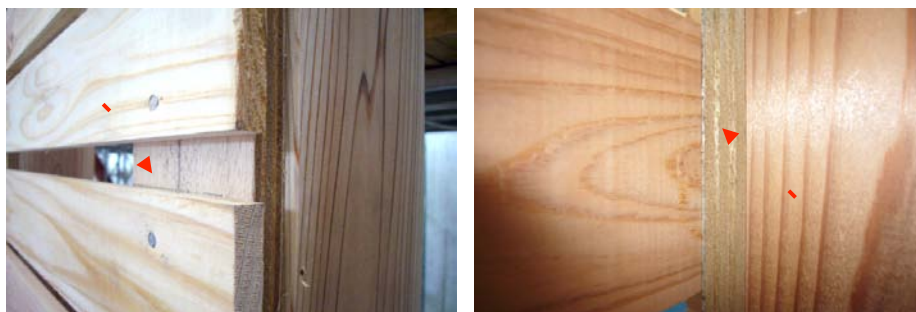


写真 3.3.44 構造用合板通気胴縁 (左:表, 右:裏)

② 合板胴縁仕様試験体の構造性能

試験結果を図 3.3.20、表 3.3.7 および写真 3.3.45 ならびに写真 3.3.46 に示す。図 3.3.20 より、L(L-1 を除く)は、1/50rad 時の正負交番繰返し荷重後、1 回目 1/50rad 時の荷重を超えずに荷重は低下したが、L-pw は 1/50rad 以降も荷重が上昇し 1/30rad まで達した。

表 3.3.7 より、合板胴縁(L-pw)の耐力は、すぎ胴縁(L)を最大荷重時で 24%、1/120rad 時で 21%上回っている。また、最大荷重時の変形角においても L の 1/41rad に対し L-pw は 1/31rad であったことから高い変形性能を有している。

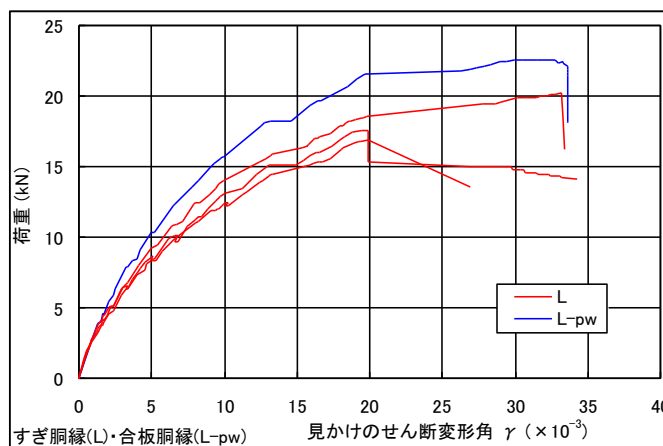


図 3.3.20 荷重－変形角曲線グラフ (包絡)

表 3.3.7 すぎ胴縁と合板胴縁の試験結果

試験体記号	すぎ胴縁 (標準仕様試験体)					合板胴縁
	L-1	L-2	L-3	平均値 ($\bar{A}_v$)	標準偏差 (σ_{n-1})	L-pw
最大耐力 $P_{\max}$ (kN/1.82m)	20.20	16.90	17.60	18.23	1.739	22.60
最大耐力時変形角 $\delta_{\max}$ (10^{-3} rad)	33.201	19.941	19.861	24.334	7.679	32.729
$2/3 P_{\max}$ (kN/1.82m)	13.47	11.27	11.73	12.16	1.159	15.07
$2/3 P_{\max}$ 時変形角 $\delta_{2/3P_m}$ (10^{-3} rad)	9.337	8.377	8.599	8.771	0.503	9.159
見かけのせん断変形角 (γ) 一定変形時耐力 (kN/1.82m)						
1/300rad	6.78	6.30	6.58	6.55	0.241	7.90
1/200rad	9.22	8.30	8.61	8.71	0.468	10.30
1/150rad	10.90	9.96	10.10	10.32	0.507	12.36
1/120rad	12.40	11.23	11.50	11.71	0.613	14.12
1/60rad	17.13	15.30	16.08	16.17	0.918	19.73

写真 3.3.45 および写真 3.3.46 は、終局変形 1/10rad 時の胴縁の破壊状況である。

すぎ胴縁は釘により繊維直交方向に割裂したが、合板胴縁ではそのような割裂は皆無であった(写真 3.3.45)。また、くぎ(N65)とくぎ(N38)が打たれた合板胴縁の端部は、N65 がラス下地板を突き抜けて変形しているが、合板胴縁は端部にもかかわらず割裂が生じていない(写真 3.3.46)。



写真 3.3.45 通気胴縁の破壊状況(左:すぎ製材,右:合板)



写真 3.3.46 N65 の抜け・変形

(6) ラス張りの方向

ラス張りの施工は、全国平均で縦張り 65%、横張り 31%であり※¹、ラスは、長手方向の引張耐力が短手方向より約 1.5 倍の耐力を有する※¹。また、すぎ板に打ったステープルの線材方向の引張耐力が線材に直交方向の耐力を約 1.4 倍上回る報告がある※²。よって、最も高い強度を得られる組合せは「ラス横張り＋ステープル横打ち」だが、実際の施工では「ラス横張り＋ステープル縦打ち」または「ラス縦張り＋ステープル横打ち」となることから、この 2 つの仕様の耐力および変形性能の差異を確認した。

※1:ラス下地モルタル塗り工法外壁の各種構成材料及び施工法による剥離・剥落性への影響に関する研究(H16～H18)/国総研,日左連他

※2:建築工事標準仕様書・解説 JASS15(左官工事)第 5 版/日本建築学会

① 試験体の仕様

ラスの張り付け方向を図 3.3.21 に示す。ラス横張り (Law) は「ラス横張り＋ステープル縦打ち」、ラス縦張り (Law-v) は「ラス縦張り＋ステープル横打ち」である。

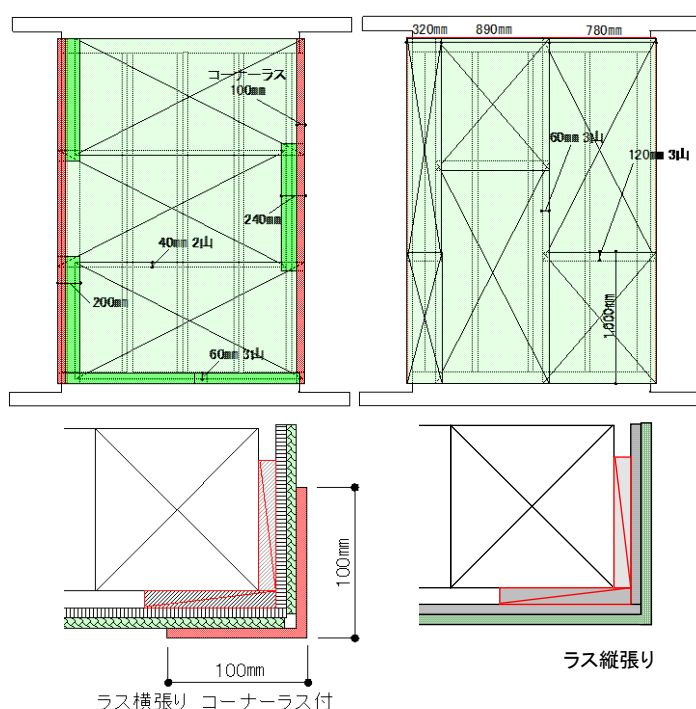


図 3.3.21 ラスの張り付け方向(左:横張 Law, 右:縦張 Law-v)

② ラス横張りと縦張りの構造性能

試験結果を図 3.3.22 および表 3.3.8 に示す。図 3.3.22 より、ラス縦張り (Law-v) は、1/50rad 時の正負交番繰り返し荷重後、1 回目 1/50rad 時の荷重を超えず、終局変形は 1/30rad にとどまった。しかし、ラス横張り (Law) は 1/50rad 以降も荷重が上昇し 1/30rad まで達し、終局変形は 1/20rad を超える変形性状を示した。

表 3.3.8 より、ラス横張り (Law) の耐力は、ラス縦張り (Law-v) を最大荷重時で 34%、1/120rad 時で 10.3% 上回った。最大荷重時の変形角はラス横張り (Law) の 1/50rad に対しラス縦張り (Law-v) は 1/30rad であり、変形性能に優れている。

本試験結果より、モルタル外壁に面内せん断耐力および変形性能を十分に与えるには、「ラス横張り＋ステープル縦打ち」とし、通気胴縁は、終局変形時に割裂が生じ難い構造用合板(接着の程度:1 類または特類)とする仕様が望ましい。

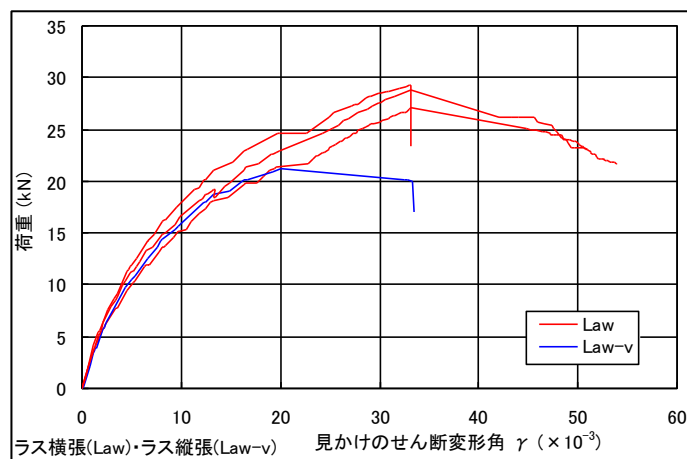


図 3.3.22 荷重－変形角曲線グラフ（包絡線）

表 3.3.8 ラス横張りラス縦張りの試験結果

試験体記号	ラス横張（直交壁付き試験体）					ラス縦張
	Law-1	Law-2	Law-3	平均値 ($\bar{A}_v$)	標準偏差 (σ_{n-1})	Law-v
最大耐力 $P_{\max}$ (kN/1.82m)	29.20	28.80	27.10	28.37	1.115	21.20
最大耐力時変形角 $\delta_{\max}$ (10^{-3} rad)	33.112	33.225	33.221	33.186	0.064	20.025
$2/3 P_{\max}$ (kN/1.82m)	19.47	19.20	18.07	18.91	0.743	14.13
$2/3 P_{\max}$ 時変形角 $\delta_{2/3P_m}$ (10^{-3} rad)	11.947	13.228	13.191	12.789	0.729	2.120
見かけのせん断変形角 (γ) 一定変形時耐力 (kN/1.82m)						
1/300rad	8.93	8.49	7.68	8.37	0.634	8.00
1/200rad	11.95	11.25	10.08	11.09	0.945	10.49
1/150rad	14.28	13.37	11.97	13.21	1.164	12.63
1/120rad	16.23	14.94	13.72	14.96	1.255	14.54
1/60rad	25.42	21.33	19.81	22.19	2.901	10.90

3.3.5 耐震性能評価

3.3.3 および 3.3.4 より、「既調合軽量セメントモルタル仕上げ外壁」の耐震性能について、(財)日本住宅・木材技術センター発行「木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008 年版)」第 6 章に準じ短期基準せん断耐力(P_0)等を算定した。

(1) 完全弾塑性モデルおよび特性値

図 3.3.23 に各試験体の完全弾塑性モデルを示す。試験体記号 L-n はラス下地のみ、L-1 ～L-3 の 3 体は標準仕様、Law-1～Law-3 は直交壁付き、L-pw は構造用合板胴縁、PW は構造用合板下地、Law-v は直交壁付きラス縦張り仕様である。

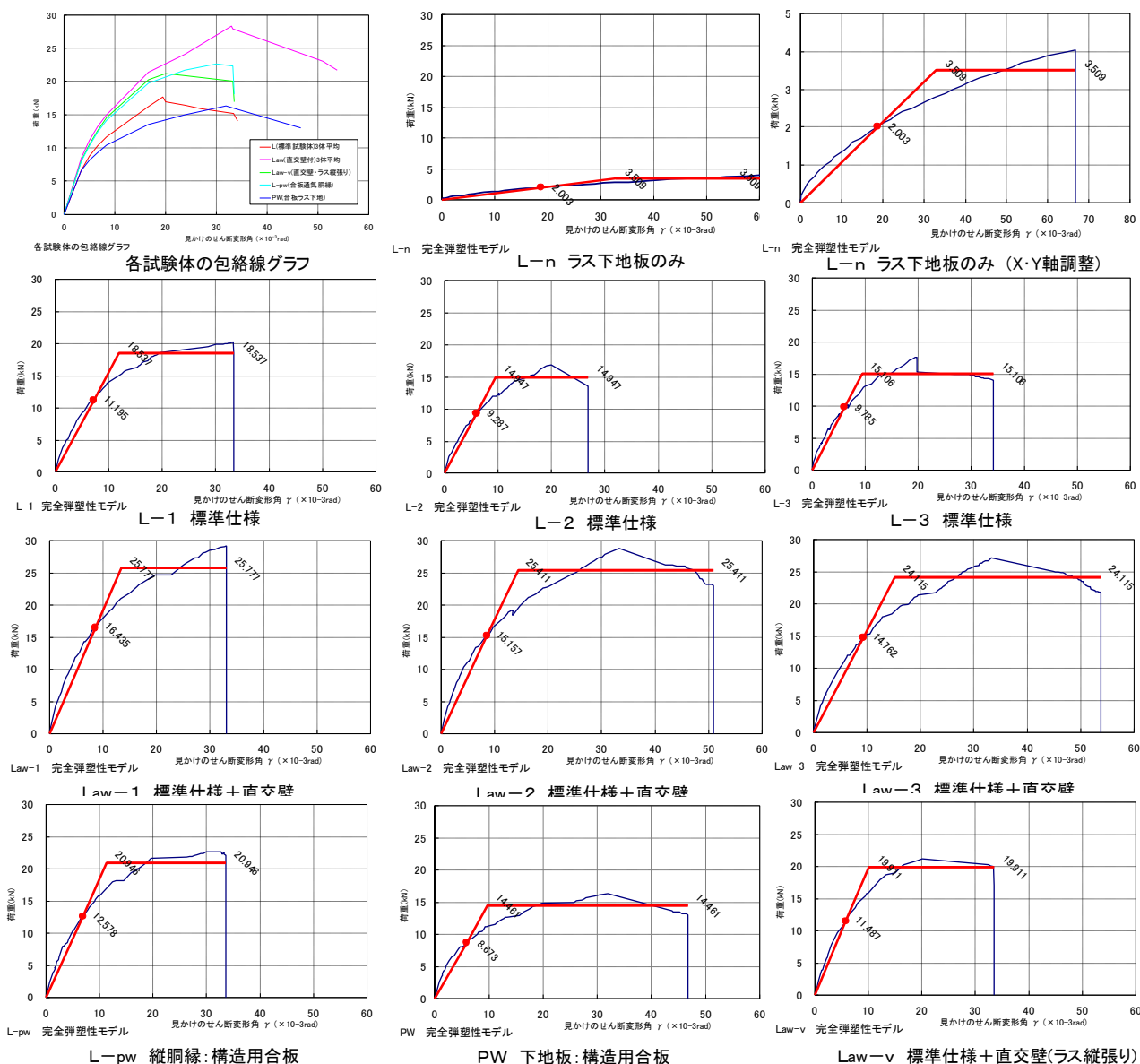


図 3.3.23 各試験体の完全弾塑性モデル

表 3.3.9 に各試験体の特性値を示す。完全弾塑性モデルおよび特性値より、各試験体の耐力性能、変形性能および剛性等を考察する。

標準仕様(L)の降伏点変形角(δ_v)は 1/100rad 前後、終局変形角(δ_u)は 1/30rad 前後(L-2 を除く)で、2009 年に実施した壁幅 4,550 mm の試験体(No.0)と同様な傾向であった。これに対し、直交壁仕様(Law)の δ_v は 1/70rad 前後、 δ_u は 1/20rad(Law-1 を除く)まで延び、終局耐力(P_u)

も高く、完全弾塑性モデルのエネルギー面積が標準仕様(L)よりも広がったことから、直交壁効果は明らかである。

構造用合板下地(PW)は、 δv および P_u は標準仕様(L)と同等であるが、 δu は $1/21\text{rad}$ と延びていることから、構造用合板ラス下地は、終局時の変形性能に優れている。

通気胴縁を構造用合板とした(L-pw)は、 δu は標準仕様(L)と同等であるが、 P_u および剛性(K)が高くなったことから、すぎ製材の通気胴縁よりも耐力的に優れている。

ラス縦張り(Law-v)は、ラス横張り(Law)に比べ剛性(K)は高くなったが、 δu および P_u が低くなったため、耐力・変形ともに耐震性はラス横張りに劣る結果となった。

表 3.3.9 完全弾塑性モデルから算定した特性値

	仕上無し	合板下地	標準仕様				合板胴縁	直交壁				ラス網縦張
	L-n	PW	L-1	L-2	L-3	平均値	L-pw	Law-1	Law-2	Law-3	平均値	Law-v
最大荷重 P _m (kN/1.82m)	4.04	16.30	20.20	16.90	17.60	18.23	22.60	29.20	28.80	27.10	28.37	21.20
最大荷重時変形角 δP _m (10 ⁻³ rad)	66.667	32.795	33.201	19.941	19.861	24.334	32.729	33.112	33.225	33.221	33.186	20.025
① 降伏耐力 P _v (kN/1.82m)	2.00	8.67	11.20	9.29	9.70	10.06	12.58	16.44	15.16	14.76	15.45	11.49
降伏変形角 δ _v (10 ⁻³ rad)	18.785	5.853	7.226	5.983	6.092	6.434	6.864	8.558	8.597	9.334	8.830	5.815
終局耐力 P _u (kN/1.82m)	3.51	14.46	18.54	14.95	15.11	16.20	20.95	25.78	25.41	24.11	25.10	19.91
終局変形角 δ _u (10 ⁻³ rad)	66.667	46.670	33.363	26.913	34.257	31.511	33.608	33.112	50.993	53.826	45.977	33.480
降伏点変形角 δ _v (10 ⁻³ rad)	32.913	9.759	11.964	9.287	9.404	10.218	11.430	13.422	14.423	15.248	14.364	10.079
剛性 (kN/rad) K (P _v /δ _v)	0.11	1.48	1.55	1.55	1.59	1.56	1.83	1.92	1.76	1.58	1.76	1.98
塑性率 μ (δ _u /δ _v)	2.026	4.782	2.789	2.898	3.643	3.110	2.940	2.467	3.536	3.530	3.178	3.322
構造特性係数 D _s (1/√ (2*μ-1))	0.572	0.342	0.467	0.457	0.399	0.441	0.453	0.504	0.406	0.406	0.439	0.421
② P _u × (0.2/D _s) (kN/1.82m)	1.23	8.46	7.93	6.55	7.58	7.35	9.26	10.23	12.52	11.87	11.54	9.46
③ 2/3 P _{1/120rad} (kN/1.82m)	2.69	10.87	13.47	11.27	11.73	12.16	15.07	19.47	19.20	18.07	18.91	14.13
④ P _{1/120rad} (kN/1.82m)	1.22	10.37	12.40	11.23	11.50	11.71	14.12	16.23	14.94	13.72	14.96	14.54

(2) 短期基準せん断耐力 (P_o) の算定

表 3.3.10 に短期基準せん断耐力(P_o)を示す。表中の L-n はラス下地板のみの試験体であり、モルタル層の P_o を算定するために試験を実施した。また、2009 年に実施した壁幅 4,550mm の算定結果も示す。 P_o を算定するにあたり、L-n,Pw,L-pw,Law-v の試験体数は各 1 体であり、信頼水準を設定した統計処理に基づくばらつき係数を算定できないため、試験体の材料・仕様・施工精度を同一と見なし、直交壁を有さない L-n,Pw,L-pw は標準仕様(L)のばらつき係数を、直交壁を有する Law-v は直交壁仕様(Law)のばらつき係数を便宜的に適用した。 P_o を決定する各試験体の最小の指標は全て $P_u \times (0.2/D_s)$ であることから、終局時までの入力エネルギーの大きさで決定した。

表 3.3.10 短期基準せん断耐力 (P_o)

		L-n 仕上無し	Pw 合板下地	L 標準仕様	L-pw 合板胴縁	Law 直交壁	Law-v ラス縦張り	2009年度 壁幅:4.55m
短期基準 せん断耐力 (P_o)	$P_o (\text{kN/m})$ 注1	0.64	4.44	3.85	4.85	6.04	4.95	4.07
	L-n(仕上無し)の P_o を減じた値		3.79	3.21	4.21	5.39	4.31	

注1: L-n,Pw,L-pwの P_o はLのパラツキ係数(0.954)を乗じ、Law-vの P_o はLawのパラツキ係数(0.952)を乗じ、壁幅1.82mで除した壁幅1mあたりの値

(3) 短期許容せん断耐力 (P_a) の算定

表 3.3.11 に短期許容せん断耐力(P_a)を示す。ここで、低減係数(α)は、以下の要件を踏ま

えて算定した。 α_1 (用途に伴う影響)は、用途区分 I (屋外で直接風雨に曝される)ため、これを 0.9 とした。 α_2 (耐久性の影響)は、メタルラス、ステープルおよびくぎ等の金属類は、溶融亜鉛めっき鋼材または有効な表面処理を施し、通気胴縁およびラス下地板等の製材は、通気構法により乾燥状態が維持されるので長期の耐久性が確保されるため、1.0 とした。 α_3 (施工性による影響)は、試験体作製時と実際の施工状態との差異を考慮し 0.9、 α_4 (工学的判断)は、耐力壁として新工法であることから 0.9 とした。よって、 $\alpha = f\{\min(\alpha_1, \alpha_2) \times (\alpha_3 \text{ or } \alpha_4)\}$ の計算式より、低減係数(α)を 0.81 とした。

P_a は、許容応力度計算に用いる「単位長さあたりの許容せん断耐力(kN/m)」である。また、日本建築防災協会発行の「木造住宅の耐震診断と補強方法」では「壁強さ倍率(kN/m)」で、モルタル塗り壁は下地材の種類が不明であるが 1.6(kN/m)と規定している。そこで、表 3.3.11 の P_a は壁強さ倍率と見なせば、標準仕様である L(ラス下地板)の壁強さ倍率は 3.1(kN/m)、L-n の P_a を減じたモルタル外壁のみの L の壁強さ倍率は 2.6(kN/m)となり、同書のモルタル塗り壁の壁強さ倍率 1.6(kN/m)を上回る値を得ている。また、Law より直交壁の効果を考慮するとその値は 4.37~4.89(kN/m)となり、既存木造住宅の耐震改修の際、当該試験体仕様による軽量モルタルを施工した外壁は、耐震補強効果を十分に有するものである。

表 3.3.11 短期許容せん断耐力(P_a)

		L-n 仕上無し	Pw 合板下地	L 標準仕様	L-pw 合板胴縁	Law 直交壁	Law-v ラス縦張り	2009年度 壁幅:4.55m
短期許容 せん断耐力(P_a) (壁基準耐力)	P_a (kN/m) 注2	0.52	3.59	3.12	3.93	4.89	4.01	3.30
	L-n(仕上無し)の P_a を減じた値			2.60	3.41	4.37	3.49	

注2: P_a は、短期基準せん断耐力に低減係数 $\alpha = 0.81(\alpha: 1.0.9 \times \alpha: 3.0.9)$ を乗じた値

(4) 壁倍率の提案

表 3.3.12 に壁倍率を示す。建築基準法において、外装材として倍率が与えられているのは土塗り壁であり、施行令 46 条では倍率 0.5、告示 1100 号では詳細な材料・施工仕様を条件に倍率 1.0,1.5 が規定されている。よって、同じ外装材であるモルタル外壁も、告示 1100 号の土塗り壁と同様に詳細な規定を設けることで、建築基準法上の耐力壁となりうる可能性が高い。

例えば、L の倍率は 1.59 であり、3×9cm の木製筋かい(1.5)と同等、L-pw および Law-v はそれぞれ 2.01,2.04 であることから、4.5×9cm の木製筋かい(2.0)と同等の倍率を有する。また、直交壁の効果を考慮すると Law の倍率 2.49 は、構造用合板(2.5)に匹敵する倍率を有していると見なせる。

表 3.3.12 壁倍率

		L-n 仕上無し	Pw 合板下地	L 標準仕様	L-pw 合板胴縁	Law 直交壁	Law-v ラス縦張り	2009年度 壁幅:4.55m
壁倍率	壁倍率 注3	0.27	1.83	1.59	2.01	2.49	2.04	1.68
	L-n(仕上無し)の 壁倍率を減じた値			1.33	1.74	2.23	1.78	

注3: 壁倍率は、 P_a を壁幅1mあたりの基準耐力(1.96kN)で除した値

3.3.6 考察

2011年度の軽量モルタル外壁の面内せん断試験結果より以下について考察する。

(1) 直交壁の効果について

直交壁仕様は標準仕様に対し、平均で剛性 1.3 倍・耐力 1.5 倍・変形能力 1.3 倍の性能の向上が見られた。また、モルタル層の割裂に伴う耐力低下においても直交壁仕様では、耐力低下の度合いが小さかった。つまり、直交壁が抵抗することで、モルタル外壁本体部分の全体回転が抑制され、剛性・耐力が向上するものと考えられる。よって、モルタル外壁の耐力・変形性能を精査に検討するには、直交壁を含めた評価が適切であると考えられる。

(2) ラス下地の種類について

ラス下地に構造用合板を用いたPW仕様とラス下地板(すぎ製材)を用いた標準仕様は1/200rad付近までは耐力に差はないが、それ以降ではPW仕様が標準仕様より、やや低い値を示した。しかし、標準仕様の耐力は1/30rad時で急激に低下するが、同変形時においてPW仕様の耐力低下は緩やかであり1/20radまで変形性能を有した。これは、柱・横架材等の構造躯体に下地を留め付ける接合具の種類に起因すると思われる。標準仕様では、ラスを留めるステーブルの引抜けや破断が生じたが、ラス下地板を留めるN65の構造躯体からの引抜けは生じなかった。よって、例えば、ステーブルの留め付け間隔を狭くすることで、変形時を1/30rad以降まで延ばせ、急激な耐力低下を防げるものと考えられる。また、PW仕様では、ラスを留めるステーブルの引抜けや破断は生じなかったが、モルタル層を留めるN50が構造躯体から引抜けが生じたため、N50の釘打ち間隔を狭くするか、またはCN50やN65などN50より耐力を有するくぎに変更することで、初期から終局までの耐力を向上させることが可能であると考えられる。

(3) モルタル壁の回転挙動について

モルタル面の回転挙動を調べると、モルタル壁のせん断剛性やせん断耐力との関係が深いことが分かった。標準仕様では、モルタル面の回転角(θ_y)は層間変形角に近いが、直交壁仕様における回転角は、標準仕様の 1/2 程度であった。このことより、直交壁によりモルタル面の回転が拘束されたため、モルタル壁のせん断剛性やせん断耐力が向上したものと考えられる。胴縁が構造用合板の L-pw 仕様でも、胴縁がすぎ製材である標準仕様よりモルタル面の回転角が小さいことから、構造用合板の胴縁は、モルタル面の回転を抑え、モルタル壁としてのせん断剛性を高める効果があると考えられる。

(4) 面外への挙動について

モルタル面の面外への浮き上がり量を計測した結果、標準仕様においては、1/30rad 時に平均 10～15mm 程度であるのに対し、直交壁仕様においては、平均 10mm 以下であった。このことより、直交壁は加力方向のモルタル面の面外への浮き上がりを拘束し、モルタルの脱落を抑制する効果を有しているといえる。直交壁を有していても、ラスが縦張りの場合には、ラスがコーナー部分で破断しやすく、横張りの場合よりもモルタル面の浮き上がりを拘束する効果は小さくなる可能性があることが分かった。なお、ラス下地に構造用合板を用いた PW 仕様では、ラスが横張りの直交壁仕様と同等の浮き上がり量であった。

(5) 通気胴縁の材料について

通気胴縁は、モルタル層と軸組との間に位置し、双方の荷重伝達を受け持つ部材である。標準仕様であるすぎ胴縁の壁は、モルタル層と軸組双方の剛性(せん断変形性能)の違いか

ら、接合している釘により、すぎ胴縁が繊維直交方向に割裂して荷重低下の要因となった。しかし、合板胴縁の L-pw 仕様では、合板(単板の積層数：5 プライ)であるが故に製材の弱点である繊維直交方向の割裂が生じず、標準仕様を上回る耐力と変形性能を示した。よって、通気胴縁の材料に構造用合板を適用することは構造耐力上有効である。

(6) ラス張りの方向について

ラス張りの方向は、全国的に見れば、「ラス縦張り」が約 2/3 を占めているが、ラスの引張強度は長手方向が強いため、壁としての耐力は「ラス横張り」が有効である。そこで、ラス張りの方向の違いによる壁の耐力および変形性能について、「ラス横張り＋ステープル縦打ち」と「ラス縦張り＋ステープル横打ち」の試験を行った。その結果、「ラス横張り＋ステープル縦打ち」が、「ラス縦張り＋ステープル横打ち」を上回る耐力と変形性能を示した。よって、モルタル外壁に面内せん断耐力および変形性能を十分に与えるには、「ラス横張り＋ステープル縦打ち」が有効である。

(7) モルタル外壁の耐力および壁倍率について

今回の構造試験では、直交壁の有無、ラス下地の種類、通気胴縁の種類やラス張りの方向などを評価軸として、耐力性能および変形性能の差異を確認した。これらの試験結果から得られる数値は、許容応力度計算に用いる「許容耐力(単位長さあたりの許容せん断耐力)」、日本建築防災協会発行の「木造住宅の耐震診断と補強方法」に用いる「壁強さ倍率」や、2 階建て以下の木造住宅の壁量計算に用いる「壁倍率」などである。これらの数値が公的機関により評価されれば、新築の 2 階建て、3 階建て住宅の構造計算はもとより、既存住宅の耐震診断にも採用することが可能となる。例えば、標準仕様のモルタル層のみの許容耐力は 2.6(kN/m)となり、これは耐震診断における壁強さ倍率としても見なすことができる。

また、倍率に換算すれば 1.59 倍であり、3×9 cm の木製筋かい(1.5)と同等の倍率を有する。さらに、直交壁の効果を考慮すると許容耐力や倍率はより高くなる。建築基準法において、外装材として倍率が与えられているのは土塗壁のみであるが、同じ外装材であるモルタル外壁も、使用するラス、ステープル、くぎ、通気胴縁など材料および施工方法を定めることで、建築基準法上の耐力壁となりうる可能性は高いものと考えられる。

(8) 今後の課題

2009 年度の考察で示された課題について、2011 年度に実施した構造試験で確認できなかった事項として、「1/120rad 以降の効果のある開口部隅部の補強方法」が挙げられる。これについては、共同研究「モルタル外壁の長期性能と評価に関する研究(2008～2012)」(委員長 東海大学名誉教授 石川廣三)に設置された「モルタル外壁の評価検討 WG」(主査 日左連理事 鈴木光)にて検討された「モルタル外壁の評価方法」で確認することが可能である。

また、本実験は、新築時の柱・横架材等の構造躯体や軽量モルタル外壁の構造性能であり、本実験により得られた耐力・変形性能を実際の住宅に適用するためには、耐久性に関する影響を検討しなければならない。通気構法を採用し、耐久性のあるラスやステープルを用いることが前提であっても、既存住宅の実態調査や屋外暴露試験または促進劣化試験等により、通気構法における構造躯体やモルタル外壁の経年による劣化状況を把握し、それを基に低減係数を算定し、モルタル外壁の耐力・変形性能の評価に組み込むことが必要である。

4. 背景と今後の課題

モルタル外壁に関する背景を以下に示す。

4.1 モルタル外壁に関する基規準例

現在、以下のような基規準が定められているが、準拠していない事例が存在し、耐剥落性や耐久性など、本来の性能を保持していないことがある。

4.1.1 防耐火基準

準耐火構造は建設省告示第 1358 号、防火構造は建設省告示第 1359 号に規定されており、一般的な木造住宅では砂モルタルの塗り厚さを 20mm 以上確保する必要がある。また、既調合軽量セメントモルタルの場合は、国土交通大臣の認定を受けた仕様（塗り厚さや構成材料など）で施工する必要がある。

4.1.2 品確法

2000 年に品確法が制定され、新築住宅の取得契約には、基本構造部分（柱や梁など住宅の構造耐力上主要な部分、雨水の浸入を防止する部分）について 10 年間の瑕疵担保責任を義務付けられている。

4.1.3 設計施工基準

2009 年 10 月より住宅瑕疵担保履行法が全面施行されており、新築住宅を供給する事業者に対して、瑕疵担保責任の履行を確保するため、「保証金の供託」または「保険加入」のいずれかの資力確保措置を義務付けている。保険の適用を受けるには、国土交通省指定の責任保険法人が定める住宅瑕疵担保責任保険設計施工基準に対応する必要がある。本基準では、第 2 章「木造住宅」の第 2 節により、屋根、バルコニー、外壁の各々の防水に対しての最低限厳守すべき内容が規定されており、モルタル外壁の防水紙にはアスファルトフェルト 430 またはこれと同等以上の防水性能を有するもの（透湿防水シートを除く）を使用することや、平ラスの使用の禁止などが規定されている。従って、アスファルトフェルト 17kg 品や 8kg 品、平ラスなどの不適合品を使用した場合、保険金支払いの適用を受けることが出来ない。

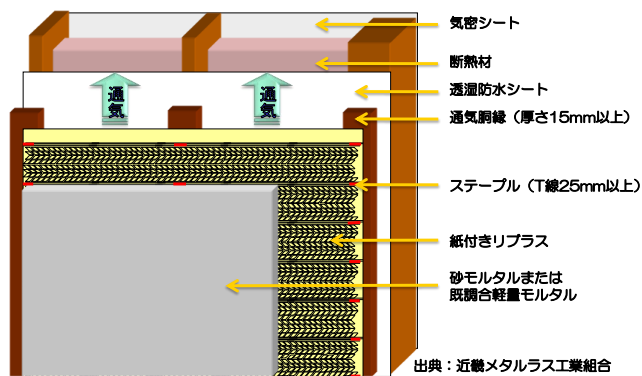


図 4.1.1 JASS15 に準じた単層下地通気構法の例

4.1.4 JASS 15

2007 年に日本建築学会の建築工事標準仕様書 JASS15「左官工事」が改訂され、図 4.1.1 の単層下地通気構法と図 4.1.2 の二層下地通気構法の仕様が示された。さらに、巻末にある品質規準の見直しがされ、JASS 15 M-105「ラス系下地用ステープルの品質規準」が新設された。

4.1.5 木造住宅工事仕様書

2008 年より、住宅金融支援機構の仕様書が改訂され、左官工事に通気構法が採

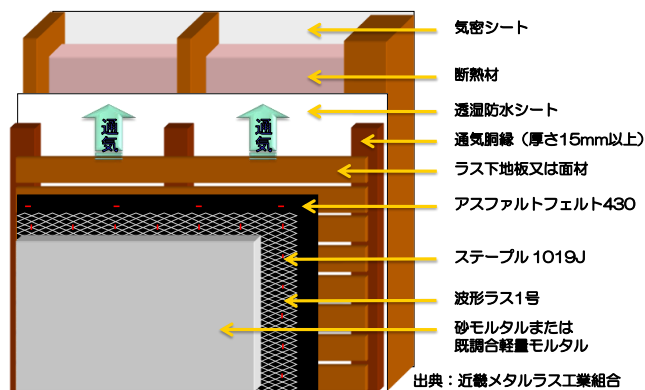


図 4.1.2 JASS15 に準じた二層下地通気構法の例

用されるとともに、外壁、屋根、バルコニーなどに対しての具体的な防水仕様が示された。また、直張り構法の外壁に対しては、次の何れかを採用する必要があることが規定されている。

① 軒の出及びけらばの出を 60cm 以上とする。

② 軒の出及びけらばの出を 30cm 以上とし、かつ、外壁には雨水の浸入を防止する有効な仕上げを施す。

4.2 モルタル外壁の本来の性能と施工実態（共同研究）

モルタル外壁の強度性能や耐久性に関して、国土技術政策総合研究所による産学官連携の共同研究「ラス下地モルタル塗り工法外壁の各種構成材料及び施工法による剥離・剥落性への影響に関する研究」（2004～2006 年度）が実施され、主にモルタル外壁の材料および施工法と強度性能の関係について研究された。その後、「モルタル外壁の長期性能と評価に関する研究」（委員長：東海大学 名誉教授 石川廣三、2008～2011 年度）が実施され、主に雨水防止対策や設計・施工管理などについて研究が重ねられた。何れの共同研究においても、湿式外壁関係では NPO 法人湿式仕上技術センター、(一社)日本左官業組合連合会などが参画している。

計 7 年間の共同研究により明確となった事例を以下に示す。

4.2.1 変形抑制効果

建築工事標準仕様書 JASS 15「左官工事」に準拠した単層下地通気構法のモルタル試験壁体を作製し、水平せん断試験（図 4.2.1、図 4.2.2 参照）を実施した結果、ラスモルタルを合板耐力壁上に構築することにより、初期剛性および強度が著しく向上し、安全限界変形角とされる $1/30\text{rad}$ を越えて $1/10\text{rad}$ に至るまでモルタルが剥落しないことが明らかとなった。モルタル外壁は、地震の際、初期変形域では合板耐力壁などと一体となって抵抗して躯体の変形を抑制し、ひび割れや剥離を生じながらエネルギーを吸収していた。

このように、本来、モルタル外壁は躯体の変形を抑制する効果と変形追従性を有するが、一方で大規模な地震の際、剥落する現実もある。何故、このような差が生じるのであろうか。

4.2.2 推奨材料と施工実態

地震時におけるモルタル外壁の脱落を防ぐためには、ラスモルタルと下地材間による接合部を適切に構築する必要があり、そのためには、最低限、設計施工基準や JASS15「左官工事」に規定されている仕様を参考にする必要がある。

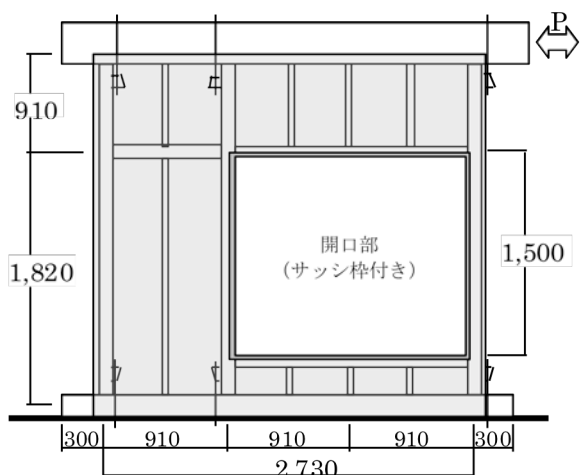


図 4.2.1 モルタル外壁の水平せん断試験体

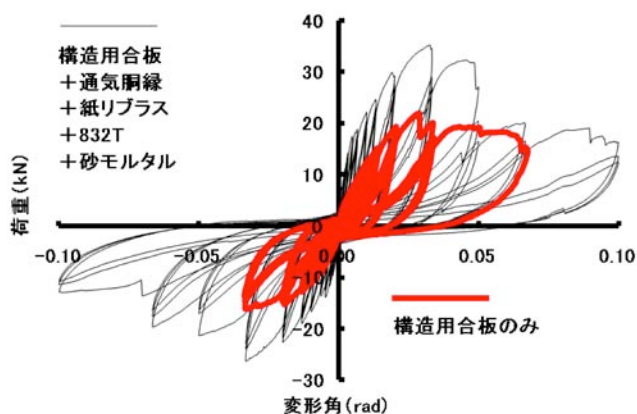


図 4.2.2 モルタル外壁の効果

(1) 防水紙

直張り構法や二層下地通気構法の場合、下地材の外側には、防水性を確保するため、アスファルトフェルト 430 または同等以上の防水紙を使用することが設計施工基準に規定されており、430 の代用品として、アスファルトフェルト 17kg 品や 8kg 品を使用した場合、寸法安定性や耐久性上で問題が生じる。建設現場では、防水紙やラスを留め付けてからモルタルを施工するまでの間、降雨や日射により膨潤や乾燥収縮を繰り返すことがあるが、17kg 品や 8kg 品は 430 よりも寸法安定性が低いため、ステープルの留め付け部周辺の穴が大きく広がる（写真 4.2.1、写真 4.2.2 参照）。実態調査では、写真 4.2.3 に示すように北側にある脱衣所の外壁に留め付けられた 8kg 品の劣化による防水紙の剥落が観察された。なお、430 以下の防水紙の膨張および乾燥収縮は 40 分程度で生じるため、理解度の高い施工業者は、430 よりも寸法安定性や耐久性の高い改質アスファルトフェルトを使用している。なお、保険加入している住宅は、先に述べた通り設計施工基準にて最低限 430 を使用することが規定されている。

(2) メタルラス

ラスは、アルカリ性のモルタル内に被覆させて酸化による錆を防ぐと共に、モルタルと一体化することにより強度性能を確保する必要があるため、JASS15 および木造住宅工事仕様書では、直張り構法や二層下地通気構法の場合、波形ラス 1 号（質量 700g/m^2 以上）を使用することが規定されており、設計施工基準では平ラスを使用することを禁止（補強を除く）している。しかし、施工者の認識が著しく低い場合は、一般部に平ラスを使用することがある。特に線径が細い平ラスを使用した場合、写真 4.2.4 に示すように早期に腐食することがあり、地震が発生した際、ラスが破断してモルタル外壁が脱落する恐れがある。なお、波形ラスの線径は、 1m^2 当たりの質量とメッシュ寸法（関東目：短径 $13\times$ 長径 26mm 、関西目：短径 $16\text{mm}\times$ 長径 32mm ）により異なり、同じ単位質量においても関東目よりもメッシュ

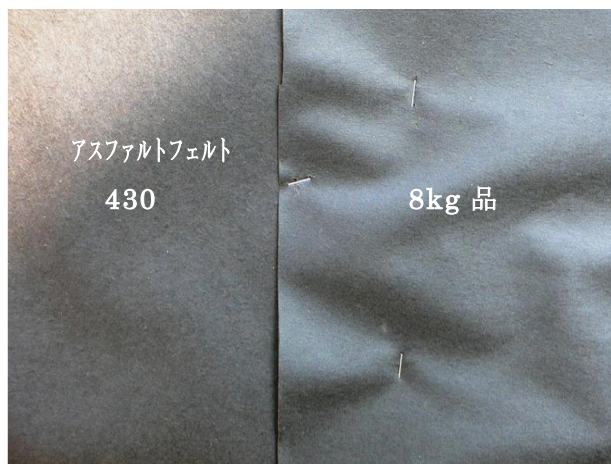


写真 4.2.1 降雨直後の防水紙の撓み



写真 4.2.2 防水紙の寸法変化による孔

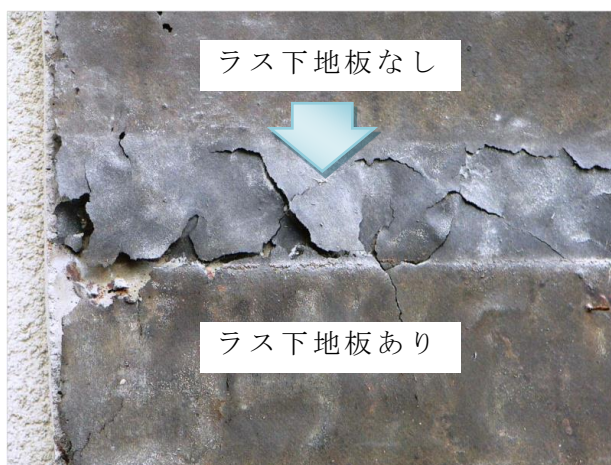


写真 4.2.3 アスファルトフェルト 8kg 品の劣化

寸法が大きい関西目の線径が太い。

(3) ステープル

① 防水紙の留め付け

防水紙の留め付けは、仮留めとなるため、防水紙の弛みが無いよう、ガンタッカーや電動タッカーを使用して、数少なく留め付けることが防水上において望まれる。ハンマータッカーによる留め付けは、留め付け場所が不安定となりやすく、ラス下地板相互間の隙間へ打ち込んだり、ハンマーヘッドにより防水紙を損傷したりすることがあり、防水上の弱点となり得る。

② ラスの留め付け

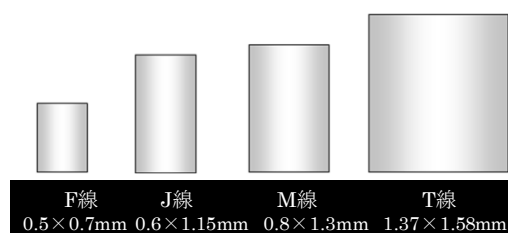
直張りや二層下地通気構法のラスの留め付けは、1019J以上のステープル(図 4.2.3 参照)を使用することが JASS15 および住宅金融支援機構の木造住宅工事仕様書で規定されている。1019J とは、肩幅が 10mm、足の長さが 19mm、線の種類が J 線(線厚 0.6mm、線幅 1.15mm)を示すものである。このステープルを 12mm のラス下地板に留め付けた場合、ラス下地板を貫通して、先端が壁内へ 6~7mm 程度突き出ることになるが、モルタル外壁が地震により回転移動した場合においてもすぐに脱落しないよう、変形追従性を確保するためのものであり、必要な長さとなる。

単層下地通気構法の紙付きリブラスの留め付けは、足の長さ 25mm 以上、T 線以上のステープルを使用し、リブと通気胴縁を貫通して柱や間柱へ留め付ける必要がある。

なお、JIS A 5556 (工業用ステープル)は、2012 年に 17 年ぶりに見直され、ラス下地用の種類の追加、耐久性や強度による性能規定化、規格簡素化の観点から大幅な改定を実施した。F 線のステープルは、ラス留め付けへの誤用を防ぐため、規格から除外されている。

4.3 高気密住宅と直張り構法による危険性 (共同研究)

従来の住宅は、北側の水回り (浴室、脱衣室、厨房など)にある土台および柱脚などの劣化や、天井材に雨染みなどが観察されたが、限定的であり住宅全体の耐震性を著しく損なうような劣化に至らないことが多かった。その要因として、これまで断熱材が薄く壁内に空間があり、気流止めが無い場合、床下の空気が根太相互間の隙間から壁内へ導入され、さらに壁内の湿った空気が 2 階の床下および小屋



種類	足の長さ		軸		足の接触面積	
	寸法	倍率	断面積	倍率	表面積	倍率
1210F	10mm	0.53	0.35mm ²	0.51	24 mm ²	0.36
1019J	19mm	1.0	0.69mm ²	1.0	66.5 mm ²	1.0
1019M	19mm	1.0	1.04mm ²	1.51	79.8mm ²	1.2
832T	32mm	3.2	2.16mm ²	3.13	188.8mm ²	2.84

各種ステープルの断面の比較

図 4.2.3 ステープルの種類と線径

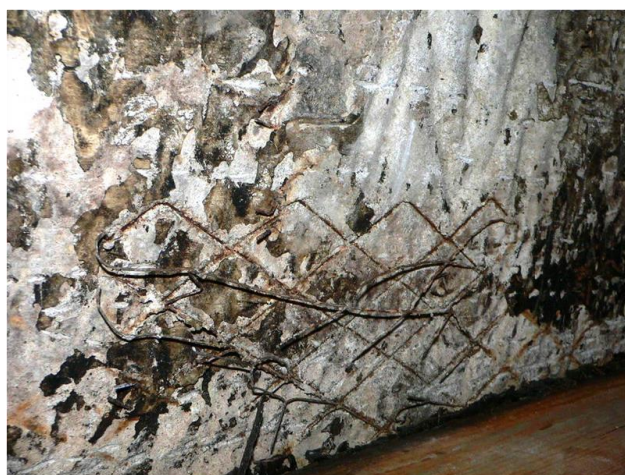


写真 4.2.4 築 6 年未満で腐食した平ラス

組へ排出される納まりとなっていたため、通気構法的な役割を担ったものと思われる。

しかし、次世代省エネルギー基準以降、住宅の断熱性を向上させるため、寒冷地以外でも気密性の高い住宅が求められており、防水および結露対策が不十分なまま高気密の外壁にモルタル直張り構法を採用し、短期間に著しく劣化した事故事例もある。写真 4.3.1 および写真 4.4.2 は、関東地方に建設された枠組壁工法住宅のルーフバルコニーの手すり壁であり、築 6 年であるため、外観上は綺麗な状態であったが、外装材を剥がすと写真 4.3.2 のように下地材や躯体材などの構造部材が著しく劣化し、耐震安全性上も危惧される状態になっていた。この住宅は、バルコニーだけではなく、南側外壁の広範囲わたって著しく劣化しており、外壁の構成は、外側からタイル、モルタル直張り(平ラス)、アスファルトフェルト 8kg、合板、グラスウール 100mm、防湿シート、せっこうボード、ビニルクロスで構成され、壁内は透湿抵抗の高い材料で密閉されていた。何故、このように短期間で著しい劣化が生じたのであろうか。

4.3.1 直張り構法と雨水浸入のリスク

直張り構法は、図 4.3.1 に示すように、ひび割れや開口部周囲などから雨水が浸入したり、塗膜の劣化によりモルタルへ雨水が浸透したりした場合、通気層が無い場合、雨水は防水紙の釘穴や、開口部や貫通孔のテープ周り、取り付け部などの不具合部分から直接的に下地材や躯体材へ雨水が浸入するリスクが通気構法よりも高い。さらに、一度、浸入した雨水は透湿抵抗の高い防湿シートとアスファルトフェルトに阻まれ、外部へ放出されにくい仕様となっている。直張りによるサイディングも、このような要因から、雨水浸入事故が発生していたが、通気構法の導入以降、サイディングの雨水浸入事故が減り、モルタル直張りがサイディング外壁と比較して雨水浸入事故が著しく多いことが住宅の検査関係者より指摘されている。

4.3.2 直張り構法と結露のリスク

直張り構法は、室内の水蒸気が防湿欠損部から外壁内部へ浸入した場合、図 4.3.1 のように水蒸気が透湿抵抗の高いアスファルトフェルトや塗膜に阻まれ内

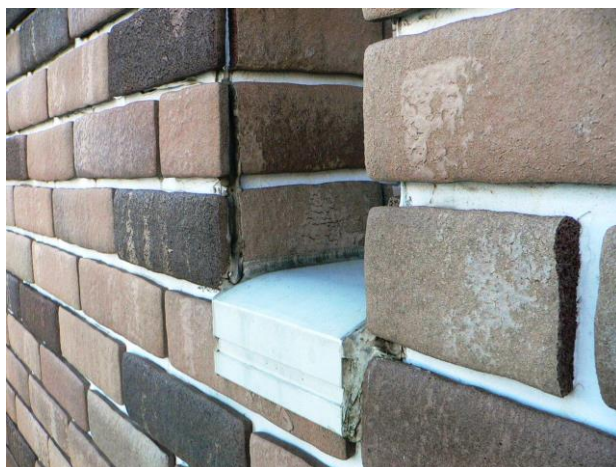


写真 4.3.1 解体前のバルコニー外壁(築 5 年)



写真 4.3.2 外装除去後のバルコニー外壁(築 5 年)

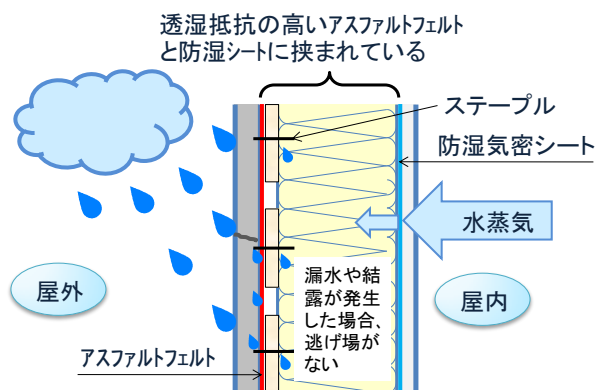


図 4.3.1 高気密と直張り構法による雨水浸入及び結露の危険性

部結露が発生し、下地材や躯体材の含水率が上昇するリスクがある。一方、直張りの下地に透湿性の高い透湿防水シートを使用した場合、日射によってモルタル内の水分の蒸発が促進され、水蒸気が透湿防水シートを貫通し躯体内へ移動・流入する為、壁内が高湿化して短期間に躯体材や下地材が著しく劣化した事例が数多く報告されており、釘孔シール性も低いため、設計施工基準では直張り構法の防水紙として除外されている。

4.4 通気構法の効果

モルタル直張り構法を二層下地通気構法にするには、透湿防水シートと通気胴縁を設ける必要があり、若干イニシャルコストが増えるが、数多くの効果が期待される。

4.4.1 雨水浸入について

通気構法は、図 4.4.1 に示すように外装材から雨水が浸入した場合でも、通常、雨水は通気層から流下し屋外へ排出される可能性が高く、さらに、雨水が通気胴縁を伝わった場合でも、通気層の室内側に透湿防水シートを使用しているため、下地面材や躯体へ雨水が浸入しにくい。仮に何らかの原因で下地面材や躯体へ雨水が浸入して、高含水率状態となった場合でも、透湿防水シートの透湿抵抗は低く、外側に通気層があるため、乾燥しやすい仕様となっている。

4.4.2 結露について

水蒸気は、水蒸気量が多い方から少ない方へ流れる性質があり、室内側に防湿シートを施した場合においても、図 4.4.2 のように室内の水蒸気が防湿欠損部から外壁内部へ浸入することがある。しかし、通気構法は透湿防水シートと通気層の組み合わせにより水蒸気が屋外へ排出されやすいため、直張り構法に比べ水分が壁内に滞留しにくい仕様となっている。

4.4.3 通気構法に対する評価

サイディング外壁は、10 年以上前より通気構法が普及している。通気構法を採用するメリットとして、前述の雨水浸入防止や防露対策の他、遮熱・排熱効果もある。直張りよりもイニシャルコストは高いが、耐久性が向上する為、躯体などの劣化リスクが低下し、LCC（ライフサイクルコスト）も抑制することが可能となる。

長期優良住宅に対応した外壁にするには、通気層を設けるなど、劣化対策等級 3 および省エネルギー対策等級 4 の対策などが必要となるが、「長期優良住宅」の認定を受けると、耐久性向上は勿論、施主に対して「所得税」などの税制上の優遇措置、住宅ローンの金利優遇、住宅エコポイント、地域型住宅ブランド化事業（120 万円を限度に補

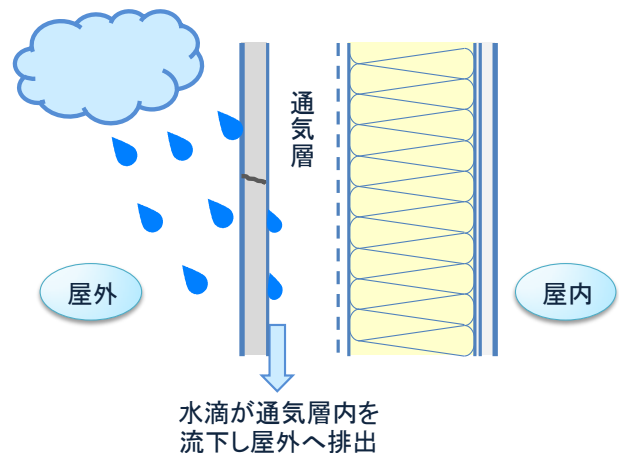


図 4.4.1 通気構法の雨水浸入防止効果

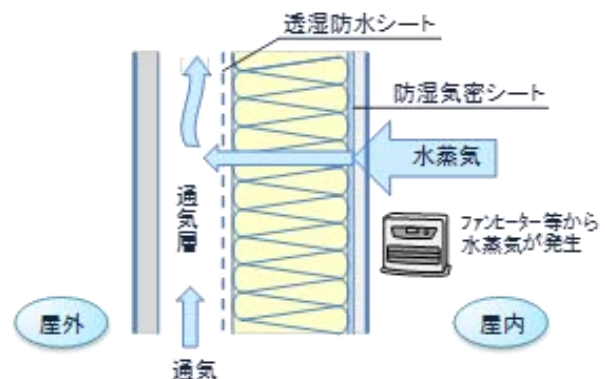


図 4.4.2 通気構法の防露・水蒸気放出効果

助) など、数多くのメリットがある。

4.5 今後の課題

本研究会においては、水平せん断加力試験により、モルタル外壁の耐震安全性や損傷状況に関する貴重なデータを収集することが出来た。さらに、2011 年度より産学官連携の共同研究「木造住宅の耐久性向上に関わる建物外皮の構造・仕様とその評価に関する研究」(委員長：同 石川廣三名誉教授、2011～2015 年度) が 28 団体により実施されており、湿式外壁関係では NPO 法人湿式仕上技術センター、(一社)日本左官業組合連合会などが参画している。

前述の研究会により、数多くのヒアリング、実態調査、アンケート調査、検証実験などを実施し、共同で実態を把握してきた。その結果、JASS 15 などで規定されているモルタル外壁を構築した場合、躯体の変形を抑制するとともに、モルタル外装材は変形性能を保有しており、脱落しにくいことが判明した。しかし、その一方で作り手が設計・施工に関する技術情報を得ようとしていない場合や、材工共で施工を請け負い、イニシャルコスト優先で品質の低い材料を使用している事例が存在することが明らかとなった。不適切な仕様にてモルタル外壁を構築した場合、雨水浸入や結露などにより、下地材や躯体材が劣化するとともに、軽量のラスや線径が細く足が短いステープルにより、地震時にモルタル外壁が脱落する恐れがある。モルタル外壁は、モルタルを塗ってしまうと、どのような材料を使用して、どのように施工したのかが不明となり、また、施主や元請けからも施工方法について評価されないことが多い。

4.5.1 情報の提供・共有

モルタル外壁の技術情報に関しては、住宅瑕疵担保履行法による設計施工基準、大臣官房官庁営繕部の木造建築工事標準仕様書、日本建築学会の建築工事標準仕様書 JASS 15 左官工事、住宅金融支援機構の木造住宅工事仕様書などに記載され、該当する工事の場合は準拠する必要がある。しかし、このような情報を参考にせず、不適切な設計・施工をしている事例が存在している。今後は、図、写真、動画等を駆使しながら、作り手だけではなく、出資者となる施主に対しても興味を持って理解して頂けるよう、適切な材料および施工方法を判りやすく、かつ丁寧に解説した技術資料の整備と横並びの評価が可能となるシステムの構築が必要となる。

ドイツでは、従来より設計施工に関する説明資料が整備され、高度な教育を受けたマイスターが直接、施主に説明することが一般的とされている。我が国においても、高度な知識と経験を有した職人や関係者が施主に判りやすく説明した上で、グレード分けされたメニューから、施主が構法や使用材料を選択できるシステム作りが必要となる。その準備段階として、モルタル外壁に関する設計、施工、管理方法や、施工管理体制が整備された施工店などの情報を提供するとともに、住まい手からの質問に回答し、より一層の改善策を打ち出す体制を構築すること等が考えられる。因みに、乾式構法の団体では、既に「材料・構法の特徴」、「法令との関係」、「業界資格制度」、「施工士名簿・成績優秀者」、「技術資料(維持管理、標準施工、不具合原因、リフォームマニュアル等多数)」、「開発報告書」、「地震被害調査報告」、「純正品・推奨品」、「防水材料の業界規格」、「一般ユーザー向けの質問と回答」など、数多くの情報を Web サイト上に公表し、充実した対策が施されている。

4.5.2 まとめ

現在、適切な設計・施工と不適切な設計・施工を明確に見分けるには困難が伴う。従って、関係機関はモルタル外壁の「特徴」、「使用材料」、「設計・施工要領」、「施工管理」、「性能評価」、「教育・研修状況」、「資格」などについて、住まい手へ情報提供するとともに、住まい手の要望や質問などを受けるための情報交換の窓口やシステムが必要になると思われる。

5. 既調合軽量セメントモルタル仕上げ外壁による耐震補強効果の試算

本報告書で検討の対象とした既調合軽量セメントモルタル仕上げ外壁を耐震補強が必要な既存木造住宅に適用した場合の耐震補強効果の試算を行った。対象としたのは、図 5.1.1 に示す平屋で床面積が 175m^2 の木造住宅で、築 40 年以上が経過している。耐震要素として考慮できるのは、外壁の既存モルタル壁（仕様は不明）、内壁のせっこうボードおよび $90\text{mm}\times 30\text{mm}$ の筋かいである。基礎は無筋コンクリートであり、柱頭柱脚接合部には補強金物はなく、筋かい端部も釘打ち程度の留め付けである。

「木造住宅の耐震診断と補強方法」¹⁾における精密診断法 1 を適用した結果、表 5.1.1 のように、必要耐力 84kN に対し、x 軸方向の耐力は 58kN 、y 軸方向の耐力は 45kN であり、評点は 0.69 と 0.54 になり、いずれの方向も 0.7 未満であるので、「大地震で倒壊する可能性が高い」という判定になる。このとき、各耐震要素の基準耐力は、既存モルタル壁は仕様が不明であるため 1.6kN/m 、せっこうボード壁は非耐力壁仕様として 1.2kN/m 、筋かいは端部の留め付けが不十分なため、 1.92kN/m として算定した。表 5.1.2 には、その他の主な耐震要素の基準耐力も示した。開口部を含む壁の耐力は、開口の大きさによって、無開口耐力壁の耐力の 10%～30%として評価した。さらに、基礎が健全ではなく、また、柱頭柱脚接合部の接合耐力が不十分であるため、壁の耐力は 25%～85%に低減した。この柱頭柱脚接合部の耐力の低減により、x 方向、y 方向の耐力はおおよそ 50%に低減されている。

そこで、建物内部の工事は行わず、既存モルタル壁からラス下地板までを撤去して、外周部にある筋かいの端部および柱頭柱脚接合部への補強金物の取り付け、そして、新規のラス下地板の取り付けから既調合軽量セメントモルタル塗り外壁の施工までを行った場合を想定して、当該建物の耐力を試算した。図 5.1.2 に改修後の平面図を、表 5.1.3 に耐力の計算結果を示す。筋かい端部および柱頭柱脚接合部への補強金物の設置により、耐力は x 方向 82kN 、y 方向 64kN となり、評点については、x 方向 0.97、y 方向 0.76 となる。さらに、モルタル壁の施工により、耐力は x 方向 109kN 、y 方向 82kN となり、評点については、x 方向 1.30、y 方向 0.98 となる。y 方向は若干 1.0 に満たないが、筋かいを 1 箇所追加することによって、評点は 1.0 を上回る。評点 1.0～1.5 では、大地震時においても「一応倒壊しない」という評価が得られる。なお、このモルタル壁の基準耐力は、無開口試験体の実験結果より、 4.0kN/m としているが、実験の試験体と全く同じ仕様で施工する必要がある。

このように、外周壁の改修のみであっても、接合部への補強金物の設置に加え、仕様が明確で所定の耐力が確実に発揮されるモルタル壁を採用することで、居住者は仮住まいに移ることなく、十分な耐震補強を施すことが可能である。この例では、無筋コンクリート基礎の補強は行っていないが、鉄筋コンクリートで補強することで、新設モルタル壁による補強効果がより顕著になり、評点も高くなる。また、モルタルで補強した外壁に水平せん断力が伝わるよう、小屋組や床構面（2 階建の場合）の面内せん断剛性を確保することも重要である。特に、2 階建で下屋部分の外壁を補強する場合には、下屋部分の面内せん断剛性に注意が必要である。

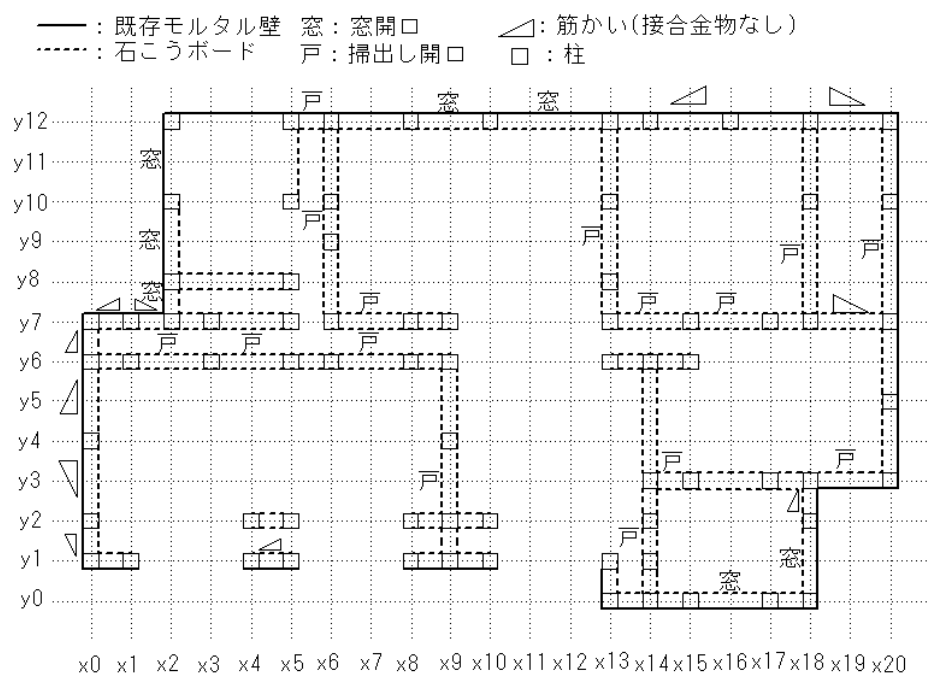


図 5.1.1 改修前の平面図

表 5.1.1 必要耐力と保有する耐力

床面積	174.73m ²
屋根重量	1.5 kN/m ² ×174.73m ² = 262.10kN
壁重量	1.8 kN/m ² ×1/2×174.73m ² = 157.26kN
必要耐力(Qr)	(262.10 kN+157.26 kN)×0.2 = 83.87kN
保有する耐力(Qd)	x方向 57.89 kN (0.69)
(評点:Qd/Qr)	y方向 44.98 kN (0.54)

表 5.1.2 精密診断法¹⁾における主な要素基準耐力

要素基準耐力 (kN/m)	
筋かい	金物あり 2.4
(木材30mm×90mm以上)	金物なし 1.92
筋かい	金物あり 3.2
(木材45mm×90mm以上)	金物なし 2.56
構造用合板	6.0
ラスシート	2.7
モルタル塗り	1.6
窯業系サイディング張り	1.7
石こうボード張り (非耐力壁)	1.2

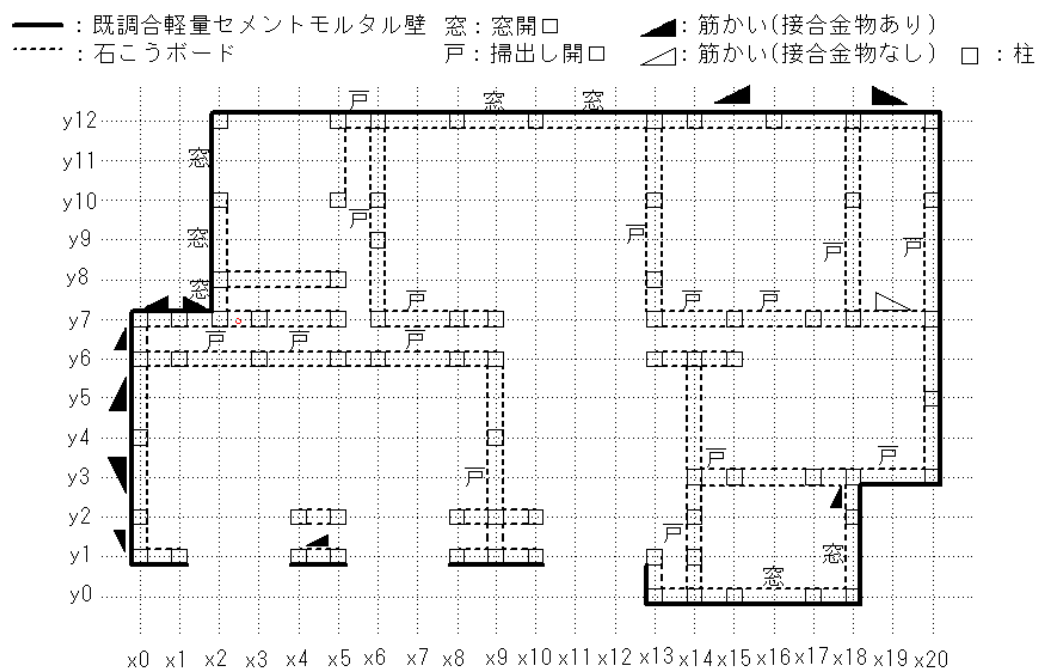


図 5.1.2 改修後の平面図

表 5.1.3 耐震補強前後の保有する耐力(カッコ内は評点)

	補強前	補強後	
		筋かい端部 +柱頭柱脚 接合部補強	左記 +本モルタル施工
x方向	57.89 kN (0.69)	81.52kN (0.97)	109.04 kN (1.30)
y方向	44.98 kN (0.54)	63.81kN (0.76)	82.05 kN (0.98)

参考文献

- 1) 木造住宅の耐震診断と補強方法：国土交通省住宅局建築指導課監修、(財)日本建築防災協会発行、2004.7

6. 総括

- ①ラスモルタル外壁は木造戸建住宅の外壁として古くから普及している。日本サッシ協会のデータによれば、モルタル仕上げの構成割合は約 15%であると推定されており、都市部においてはモルタル外壁の比率はさらに高い。このような状況の中、公共建築物木材利用促進法の制定などもあり、モルタル仕上げへの関心が高まっている。
- ②一方、阪神淡路大震災・新潟県中越地震・新潟県中越沖地震・東日本大震災に関する資料調査を行ったところ、正しく施工されたラスモルタル外壁の被害は少ないが、ステープルの足の長さの不足や線径が細い平ラスの使用など、不適切な設計・施工に起因するモルタル外壁の被害が一部の建物に発生していることが分かった。また、結露や漏水などによる木材の劣化が原因でラスモルタル外壁が剥落している建物も確認された。その結果、モルタル仕上げそのものが剥落安全性に劣るとの誤解が生じている。
- ③モルタル外壁に関する既往の研究を調査したところ、モルタル壁の構造性能に関する報告は少なくないが、下地やステープル・ラスなどの、耐久性や耐震性に影響を与える材料に関する仕様が記述されていない報告が多いことが分かった。また、サイディングでは通気構法による施工が標準となっているが、モルタル壁の場合はほとんどの研究が直張り構法を対象としており、耐久性が高い通気構法を対象にした研究成果は少ない。加えて、実際の建築物では開口部や直交壁が存在し、壁体に応力が加わったときにモルタルの回転や移動を拘束し、構造性能に大きな影響を与えると考えられる。しかし、これらの影響を検討した研究はほとんど行われていないのが実状である。
- ④本研究では、このような状況を踏まえ、通気構法の軽量モルタル仕上げ外壁の耐震性能を確認する目的で、JASS15 に準拠して作製した実大試験体に対して水平加力試験を行い、試験体の破壊状況の調査、強度・変位測定、画像解析を行った。
- ⑤2009 年度の研究において、開口部の有無・形状、防水紙付きリブラスを使用した単層下地、補強用耐アルカリガラス繊維ネット、ラス・ステープルの種類や留め付け間隔および高耐力仕様として開口部の補強方法を変更した各試験体について水平加力試験を行った。その結果、
 - 1)見かけのせん断変形角が $1/8 \sim 1/7 \text{rad.}$ まで加力を行ったが、すべての試験体においてモルタル壁の脱落は発生しなかった。
 - 2)試験体の見かけのせん断変形角が $1/120 \text{rad.}$ 付近までは、補強用繊維ネットの効果によりモルタル表層にはひび割れが生じないことが確認された。木造の変形能力限界付近である $1/75 \text{rad.}$ 以降より、モルタル表層にひび割れが発生し、変形が進むにつれてひび割れがモルタル内部まで進行した。また、最大耐力以降の耐力低下について、通気胴縁の割裂が大きな影響を与えることが確認された。
 - 3)開口部の有無および形状を検討した結果（No.3～6 試験体）、無開口および窓型開口試験体においては、ラス下地板とモルタルは一体となって挙動し、ラス下地板や通気胴縁を固定している釘の抜け出しや通気胴縁の割裂により耐力が大きく低下した。一方、掃出し開口試験体では、開口部の全壁部分が個別に回転変形し、ステープルの破断により耐力が低下した。また、開口部が大きくなるとモルタルの全壁部分の回転変形が大きくなる傾向が確認された。
 - 4)壁体の中心部分と比べて相対変形量が大きい壁体の外周部においてはステープルの抜

け出しや破断、モルタル壁の面外へのせり出しが確認された。

- 5) ネットの種類とその補強効果を検討するためアラミド繊維 4 軸ネットを伏せこんだ No.3-a 試験体では、変形初期のひび割れ発生を防止する効果があり、初期剛性の向上に寄与することが確認された。しかし、変形角が大きくなると開口部隅角部から剥離が進行し、耐力が急速に低下した。
 - 6) 現在市販されている最大値の部材を組合せた試験体 (No.4-h) を高耐力仕様として、標準仕様と比較し、どの程度耐力が高くなるかを把握した結果、標準仕様と比較して最大耐力が約 15% 高くなった。また、垂壁部の胴縁のずれ、割裂が目立って確認された。
 - 7) 以上の試験で得られた結果を用い、短期基準せん断耐力 (P_o) を算出したところ、その値は無開口試験体 (No.0) で 4.07(kN/m)、最も低い掃出し開口試験体 (No.3-s) では 1.23kN/m) となった。また、ラス下地を含まない軽量モルタル塗り通気構法外壁の壁倍率を無開口試験体の試験結果を用いて試算したところ 1.5 となり、木製筋かい (断面寸法 30×90mm) と同等の値となった。
 - 8) 開口部付近のモルタル層の挙動を詳細に把握するため、開口部のコーナー部を想定した小試験体を作製して水平加力試験を行った。その結果、正側に加力した場合、引張り応力に起因するひび割れよりも先に圧縮応力に起因する圧壊が発生することが確認された。
- ⑥ 2011 年度の研究において、直交壁を有するモルタル外壁について水平加力試験を行った。その結果、
- 1) 破壊状況はモルタル壁体の回転に伴うステーブルの抜け出し・破断またはラスの破断が主体であり、試験終了時 (1/10rad.) においてもモルタル壁は脱落しなかった。
 - 2) 直交壁の効果について検討した結果、直交壁仕様 (Law) 試験体と標準仕様 (L) 試験体の耐力および見かけのせん断変形角の平均値を比較すると、直交壁仕様は標準仕様と比べて剛性 1.3 倍、耐力 1.5 倍、変形能力 1.3 倍の性能を持つことが確認された。
 - 3) 構造用合板を下地材に使用した場合 (P_w)、ラス下地板を使用した場合 (L) と比較して最大耐力に大きな差は無かったが、最大耐力以降の耐力低下が緩やかであることが確認された。
 - 4) 胴縁に構造用合板を用いた場合 (L-pw) は、すぎを用いた場合 (L) と比較して最大荷重時の耐力が上昇し、変形角は低下した。終局変形時の破壊状況を確認したところ、すぎ胴縁には割裂が確認されたが、構造用合板胴縁には割裂が発生しなかった。このことから、構造用合板を使用した胴縁は高い変形性能を有することが確認された。
 - 5) ラスの施工方向について検討した結果、ラス横張り (Law) は縦張り (Law-v) に比べて最大耐力時における見かけのせん断変形角が小さく、変形性能に優れることが確認された。
 - 6) 回転挙動を解析した結果、直交壁を有する試験体においてはモルタル層の回転が抑えられ、水平方向への剛性が高くなっていることが確認された。また、構造用合板を胴縁に使用した場合は、すぎを使用した場合に比べて水平剛性が高くなる傾向が確認された。
 - 7) 前述の結果をもとに、本報告書で検討の対象とした既調合軽量セメントモルタル塗り外壁を、耐震補強が必要な既存木造住宅に適用した場合の耐震補強効果を試算した。既存モルタル壁からラス下地板までを撤去して、無開口の試験体 (No.0) と同一の仕様にて、新規のラス下地板の取り付けから既調合軽量セメントモルタル塗り外壁の施工までを行

った場合、その評点は x 方向 1.30、y 方向 0.98 と試算された。大地震時において一応倒壊しない範囲である 1.0~1.5 には y 方向がわずかに満たないものの、y 方向に筋かいを一箇所追加することで評点が 1.0 を上回る水準であることが確認された。

⑦ 以上のように、2009 年・2011 年に行った水平加力試験の結果から、JASS15 に基づいて施工した通気構法モルタル外壁に外力が加わった時の各部材の挙動を把握した。その結果、すべての試験体において試験終了時までモルタル壁の脱落が発生しないことを確認するとともに、モルタル壁の脱落を防止するために重要な要素を改めて確認することができた。さらに、無開口壁の仕様で改修を行った場合を想定した耐震補強効果の試算を行い、モルタル壁の耐震補強効果が確認された。

⑧ 本研究において、出隅部分の直行壁が水平方向の剛性向上に寄与することが確認された。この直交壁による剛性への寄与については、出隅部だけでなく入隅部についても同様の効果があることが推測される。今後、このような剛性に対する立体的な効果を確認し、ラスモルタルの面としての立体挙動が把握できれば、建物全体の耐震性向上に応用できる可能性がある。

⑨ 本研究の結果から、地震時にステープルの抜けや破断、ラスの破断などによりモルタル壁が脱落することを防止する上では、適切な部材を選定し、それらを正しい方法で施工することが非常に重要であると考えられるが、現状では JASS15 や瑕疵担保履行法の設計施工基準を満たしていないモルタル外壁の設計・施工が見受けられる。そのため、本研究で得られた結果や、国土技術政策総合研究所との共同研究でまとめられたモルタル壁を施工する際の設計・施工に関する技術資料などを活用し、適切な設計や施工が行われるような仕組みを構築することが重要と考えられる。

さらに、今回得られた結果を踏まえて、軽量セメントモルタル仕上げによる耐震改修の方法について、具体的な施工方法を確立していくことが望まれる。モルタル仕上げによる耐震改修方法が確立すれば、建物に住んだまま、外部からだけの改修で高い耐震性能が得られる可能性があり、住宅の耐震改修の促進にも大きく寄与するのではないかと考えられる。

7. 参考資料

7.1 参考データ

- 1) 日本建築仕上材工業会編：外壁モルタル仕上げの改修マニュアルー木造住宅編ー，2008
- 2) 住宅保証機構株式会社：まもりすまい保険 設計施工基準・同解説(2012年版)，2012
- 3) (独)住宅金融支援機構：木造住宅工事仕様書 平成 24 年版
- 4) 宮村雅史：防水・雨仕舞の基本 木造・壁 湿式外壁，建築技術，No.722，pp.148-151，2010.3
- 5) 日本建築仕上材工業会編：建築仕上材ガイドブック 2006 年版，2006
- 6) JASS15 建築工事標準仕様書・同解説(左官工事)，2007

7.2 構造関連文献

- 7) 古賀一八ほか：既調合軽量モルタル塗り通気工法外壁の構造性能(その 1～6)，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1，pp.309-320，2010.7
- 8) 山中豊茂ほか：既調合軽量モルタル塗り通気工法外壁の構造性能(その 7～11)，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1，pp.1-10，2012.7
- 9) 中尾方人ほか：軸組の剛性がラスモルタル外壁の耐震性能に与える影響，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1，pp.477-478，2004.7
- 10) 井上照郷：軽量モルタル塗り通気工法外壁の構造性能，建築仕上技術，No.424，pp.35-53，2010.11
- 11) 岡田成幸ほか：地震被害調査のための建物分類と破壊パターン，日本建築学会構造系論文集，No.524，pp.65-72，1999.10
- 12) (財)日本住宅・木材技術センター：木造軸組工法住宅の限界耐力計算による設計の手引き，2005.3
- 13) (一財)日本建築防災協会：木造住宅の耐震診断と補強方法，pp.55-57，2004.7
- 14) 永田智彦ほか：木造住宅におけるラスモルタル外壁の耐震診断性能評価に関する研究，日本建築学会関東支部研究報告集，pp.143-146，2003
- 15) (一財)日本建築防災協会：木造住宅の耐震補強のポイントと実務講習会 配布テキスト
- 16) (公財)住宅リフォーム・紛争処理支援センター：住宅リフォームステップアップセミナー 事業者編

7.3 地震被害調査報告

- 17) 国土技術政策総合研究所ほか：平成 16 年新潟県中越地震建築物被害調査報告（速報），2004
- 18) 国土技術政策総合研究所ほか：平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震被害調査報告，2008
- 19) 国土技術政策総合研究所ほか：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震調査研究（速報）（東日本大震災），2011

7.4 関連規格等

20) JIS 関連

- A6111 透湿防水シート
- A5556 工業用ステーブル
- A6005 アスファルトルーフィングフェルト
- A5505 メタルラス
- A5508 くぎ

21) 日本建築学会規格関連

- JASS15 M-101 (ラス系下地用鋼製金網の品質規準)
- JASS15 M-102 (ラス系下地用既調合軽量セメントモルタルの品質規準)
- JASS15 M-105 (ラス系下地用ステーブルの品質規準)

付 録

日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）2010 年 9 月

- 22155 既調合軽量モルタル塗り通気工法外壁の構造性能（その 1）全体概要
- 22156 既調合軽量モルタル塗り通気工法外壁の構造性能（その 2）試験体仕様
- 22157 既調合軽量モルタル塗り通気工法外壁の構造性能（その 3）試験体作製
- 22158 既調合軽量モルタル塗り通気工法外壁の構造性能（その 4）面内せん断試験
- 22159 既調合軽量モルタル塗り通気工法外壁の構造性能（その 5）開口部の変形挙動と耐力の評価
- 22160 既調合軽量モルタル塗り通気工法外壁の構造性能（その 6）耐震性能評価

日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）2012 年 9 月

- 22001 既調合軽量モルタル塗り通気工法外壁の構造性能（その 7）第 2 回水平加力試験の概要
- 22002 既調合軽量モルタル塗り通気工法外壁の構造性能（その 8）直交壁の効果
- 22003 既調合軽量モルタル塗り通気工法外壁の構造性能（その 9）ラスの下地材の違いが構造性能に及ぼす影響
- 22004 既調合軽量モルタル塗り通気工法外壁の構造性能（その 10）通気胴縁の材料・ラス張り方向の違いによる耐力性能
- 22005 既調合軽量モルタル塗り通気工法外壁の構造性能（その 11）耐震性能評価