

第Ⅷ章 ラスモルタル外壁の構造耐力に及ぼす接合部の耐久性評価方法（案）

湿式外壁評価 T G 委員

- 主 査 井上照郷 (NPO 法人湿式仕上技術センター、書記併任)
- 幹 事 山中豊茂 (NPO 法人湿式仕上技術センター)
- 委 員 輿石直幸 (早稲田大学)
- 中尾方人 (横浜国立大学)
- 古賀一八 (前東京理科大学)
- 小野 泰 (ものつくり大学)
- 梅田泰成 (一般社団法人日本木造住宅産業協会)
- 原田宗彦 (一般社団法人 日本左官業組合連合会)
- 遠藤 昇 (一般社団法人 日本左官業組合連合会)
- 荻野 満 (一般社団法人 日本左官業組合連合会)
- 藤井正彦 (一般社団法人 日本左官業組合連合会)
- 鈴木崇裕 (一般社団法人 日本防水材料連合会)
- 稲垣和宏 (NPO 法人 湿式仕上技術センター)
- 上村昌樹 (NPO 法人 湿式仕上技術センター)
- 伏木剛志 (NPO 法人 湿式仕上技術センター)
- 竹内好雄 (NPO 法人 湿式仕上技術センター)
- 神戸睦史 (NPO 法人 湿式仕上技術センター)
- 大場喜和 (NPO 法人 湿式仕上技術センター)
- 委員・事務局併任 宮村雅史 (国土技術政策総合研究所)

本文 目次

（ ）内：執筆者

1. はじめに（中尾・井上）	1
2. 木材の含水率変化を考慮したラス下地材等の強度性能評価試験方法（案）（梅田）	4
2.1 目的および背景	4
2.2 適用範囲	4
2.3 用語	4
2.4 試験体	5
2.5 試験方法	6
2.6 評価方法	8
2.7 解説	8
3. ラス・ステープルの劣化を考慮した耐久性評価方法（案）（中尾）	12
3.1 目的および背景	12
3.2 適用範囲	12
3.3 用語	12
3.4 試験体	13
3.5 促進腐食方法	13
3.6 試験方法	14
3.7 評価方法	14
3.8 試験実施例	14
4. ラスモルタル外壁の維持管理技術への展開（稲垣・井上）	20
4.1 概要	20
4.2 文献調査	22
4.3 調査結果	22
4.4 考察	23

1. はじめに

木造住宅等のモルタル外壁は、震災復興や戦時下の都市防火対策において、板張りに代わる経済的な防火壁として、延焼防止や住宅の不燃化のために推進された¹⁾。

当初、防火規制地域以外での普及率は高くなかったが、次第に全国の都市住宅全体に広まり、1977年には戸建て住宅の約3/4にラスモルタルが施工されている²⁾。

近年においては、窯業系サイディングのほうが多く普及しているが、モルタル外壁は継ぎ目の無い一体成形、曲面への施工性、塗装材料等の仕上げによる多彩な色や模様の特徴によって、特に都市部の戸建住宅を主体として根強い人気がある。また、前述の防火性のほか、適切に施工されたモルタル外壁は、著しく強度・剛性が向上するため、躯体の変形を抑制することが知られている。

ラスモルタル外壁では、防水紙の屋外側に設置するラス（鋼製金網）を、ステープルで屋内側の構造用面材や下地板に留め付け、その上にモルタル塗りおよび表層の塗装仕上げなど（以下、モルタル層という。）が行われる。したがって、モルタル層はラスとステープルによって構造用面材や下地板に留め付けられる。

その工事仕様については、日本建築学会の建築工事標準仕様書（JASS 15 左官工事）、国土交通省大臣官房官庁営繕部監修の公共建築木造工事標準仕様書、住宅金融支援機構の木造住宅工事仕様書等に標準化されている。また、建築基準法に基づく防火構造等の指定がある住宅等においては、国土交通大臣が定めた構造方法または国土交通大臣の認定を受けた構造方法によって施工されている。

ただし、ラスを留め付けるステープルの足の長さが短かかったり、線径が細かったり、あるいは留め付ける本数が少なかったり、前述の工事仕様書等に準拠せず施工された場合は、モルタル層の留め付け力が確保されず、地震の際にはモルタルが脱落して、防火構造等の機能が失われ広域火災に繋がるおそれがある。

また、一方ではモルタル層に雨水が浸入する程度のひび割れが生じると、木材の腐朽や金属類の腐食に至ることがあり、耐久性や耐震性が低下することも懸念されている。

例えば、ラスモルタル外壁を対象とした既往の調査³⁾においては、下見板張りよりも劣化発生率が高いことが示されている。調査対象の建物は、戦後すぐに建築されたもので、現在の構法や材料とは異なるが、ある程度の通気がある下見板張りと比べて、通気層のない直張り構法は、壁の内部に水分が存在すると乾燥しにくく、劣化が進みやすいと認識されている。

近年では、実在する建物からラスモルタル外壁を含む構面を抽出し、振動台実験なども行われているが、同じ構法で新しい材料を用いて製作された構面に比べて、せん断剛性や耐力が低下していることが確認され、モルタルのひび割れ、メタルラスやステープルの発せい（錆）による経年劣化の影響であるとされている⁴⁾。

しかし、新築からどの程度の時間が経つと、どのようなメカニズムで、どの部分がどの程度劣化するかについては、未だ知見がなく不明な点も多い。ラスモルタル外壁は、様々な材料で構成されており、それぞれの材料については耐久性の評価が行われているものの、ラスモルタル外壁としての耐久性の評価は、ほとんど行われていない。

現在では、ラスモルタル外壁にも通気構法が普及しつつあり、せん断加力実験も数多く行われるようになって、工事仕様書も整備されてきたため地震時に脱落する可能性は低くなっている。しかし、ラスモルタル外壁の耐久性を評価するための試験方法や、様々な材料の組み合わせを勘案した定量的な耐久性評価方法については標準化されておらず、かつ構造性能との関係を把握することが必要とされている。

このような背景にあつて、住宅づくりや住宅売買に関する様々な問題への実用上の対策として、2000年に「住宅の品質確保の促進等に関する法律」（品確法）が制定され、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（修補請求権等）が義務付けられた。また、2009年10月より住宅瑕疵担保履行法が全面施行され、同法の第19条第一号及び第二号に掲げる保険契約の申込みを行う住宅の設計施工に関する技術的な基準を定めた住宅瑕疵担保責任保険設計施工基準では、屋根、バルコニー、外壁の各々の防水に対しての仕様が規定され、最低限厳守すべき内容が定められている。

一方、技術研究に関しては、2004年度から2006年度の3か年にわたって国土技術政策総合研究所（以下、国総研という。）と関係業界4団体との共同研究「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」が実施された。この研究では、ステープル接合部試験やモルタル外壁の水平せん断加力試験によって、JASS 15 に準拠したモルタル外壁は、壁体の強度・剛性を向上させるとともに、躯体が著しい変形にも追従し剥離・剥落しにくいことが確認された。また、劣化実態調査によって、工事仕様書では標準化されていない梱包用のアスファルトフェルト8kg品を使用したモルタル直張り構法では、水みちが生じて雨水が流下し、ステープルの釘孔から壁内へ浸入するおそれのあることが確認されている。

さらに、2008年度から2011年度の4か年にわたって実施された国総研と大学および関係業界13団体との共同研究「モルタル外壁の長期性能と評価に関する研究」（委員長：石川廣三）においては、初期性能の確保に加え、雨水浸入を主要因とする壁体各部の劣化を防止し、構造耐力や防・耐火性能を長期にわたって確保することを主眼として、設計および施工時に配慮すべき内容が整理された。

このように、ラスモルタル外壁の耐久性を確保するためには、木材の腐朽に影響する雨水浸入、結露、通気など総合的な設計・施工への配慮が肝要であるが、モルタル層を固定しているラスやステープルの耐久性を検証した事例は少なく、試験方法や評価方法も標準化されていない。

そこで、2.「木材の含水率を考慮したラス下地材等の強度性能評価試験方法（案）」においては、含水率の異なる木材にステープルを留め付けた各種の試験体により、ステープルの面外引抜強度および面内せん断強度を測定する試験方法ならびに評価方法（案）を提案している。

また、3.「ラス・ステープルの劣化を考慮した耐久性評価方法（案）」においては、水分によってラスやステープルが腐食した場合のステープル接合部の一面せん断試験方法およびモルタル層の面内引張試験方法、ならびにこれらの試験結果に基づく耐久性を勘案した構造性能の解析例を提案している。

さらに、4.「ラスモルタル外壁の維持管理技術への展開」においては、ラスモルタル外壁の経年劣化に伴う点検、調査・診断、改修設計、改修工事の各段階における維持保全手法の体系化を図る上で

重要となる現状の維持保全技術を文献調査し、今後の課題を提案している。

引用文献

- 1) 飯塚五郎蔵：外壁構法チェックリスト（第1版 第1刷）、学芸出版社、p.67、1988
- 2) 飯塚五郎蔵：住宅デザインと木構造（第5刷）、丸善、p.252、1982
- 3) 肱黒弘三、小野泰：木造住宅構造部材の劣化状況の実態調査、日本建築学会技術報告集 第9号、pp.41-44、1999.12
- 4) 佐藤友彦、五十田博、槌本敬大、福本有希、腰原幹雄：モルタル仕上げ筋かい付き壁を対象にした木造住宅の経年変化に関する解析的検討、構造工学論文集 Vol. 55B、2009.3

2. 木材の含水率変化を考慮したステーブルの留め付け強度性能評価試験方法（案）

2.1 目的および背景

本試験は、ラスモルタル外壁の構成材料であるステーブルの留め付け強度を評価する方法であり、木材の乾湿特性を考慮した実用的な留め付け強度を本試験の結果により推定することを目的とする。

木造住宅のモルタル外壁構造は、ラスを“ステーブル”で木製の下地に固定し、モルタルをラスに絡め塗る構成、いわゆるラスモルタル仕様が長年にわたり主流となっている。そのことはステーブルがラスを留め付けることに適していると実現場で支持されてきた証とも言える。つまりステーブルは、モルタル外壁構造における非常に重要な構成材料のひとつである。

ステーブルは釘やビス等と同様に、木材との摩擦や弾性圧力により固定保持力を得るため、木材の特性によりその固定保持力は変化する。釘やビス等の固定保持力が木材の特性によりどのように変化するか、研究された事例は少なくない。例えば、地方独立行政法人北海道立総合研究機構刊行物（林産試験場月報 1976 年 4 月号）「木材の乾燥に伴う釘の引抜抵抗（金森勝義,河原田洋三,千野昭）」によれば、釘の種類によって木材の乾燥が進むことで引き抜き強度が低下する釘と引き抜き強度が向上するものがあると確認されている。しかしステーブルについては同様の研究事例が少なく、構造計算等に引用するための参考値を入手することは難しい。

またステーブルは、モルタル外壁構造の重要な構成材料であるにも関わらず、現場や市場において意外に着目されていない。例えば、国総研資料第 779 号「木造住宅モルタル外壁の設計・施工に関する技術資料」によれば、日本建築学会 JASS 15 左官工事に規定されている足長さ 19 mm 以上のステーブルを使用している割合は全国アンケートの調査結果において全国平均 2 割にも満たなかった。更には、屋根材や外装材を留め付ける釘やビス等はステンレス製が一般化しているのに対して、ステーブルは亜鉛メッキを施した鉄製が市場の大多数を占めている。

昨今は、国土交通省大臣官房官庁営繕部監修の公共建築木造工事標準仕様書にステンレス製ステーブルが標準化されるなど、産学関連各所が情報発信に努め、ステーブルの重要性はその認知を上げつつある。だがその一方で、ステンレス製ステーブルを使用すると抜けやすい気がする、クラックが増えた気がする、という意見が現場から聞かれるようになった。

設計者は、ステーブルの種類と使用する材の組み合わせによる特性を適切に把握する必要があり、そのためには本試験方法（案）が重要なものになると考えられる。

2.2 適用範囲

本試験方法（案）は、ラスモルタル外壁に使用するステーブルを対象にしたものであるが、木材の乾湿条件をはじめ、モルタル外壁構造における釘やビスの固定保持力を評価する際にも準用できる。

2.3 用語

チゼルポイント：ステーブルの先端を平形状に切断した加工形態（写真 2.3.1）

ダイバージェントポイント：ステーブルの先端を鋭角斜め形状に切断した加工形態（写真 2.3.2）

熱可塑性樹脂塗料：ステーブルの固定保持力向上を目的に塗布する接着剂的塗料（写真 2.3.3）



写真 2.3.1
チゼルポイント



写真 2.3.2
ダイバージェントポイント



写真 2.3.3
熱可塑性樹脂塗料塗装

2.4 試験体

2.4.1 供試材料の選定

ステーブルは、釘やビスと同様に、原材料の金属組成、メッキ等の表面処理、伸線工程による硬度・強度・表面肌、成形時の切断加工方法により、その性能値は異なる。特にダイバージェント形状は加工技術により差を生じやすい試験結果を得ている。故に、実際に使用するステーブルを入手して試験対象とする。

また試験体の基板とする木材等は樹種、産地、繊維方向により特性が異なるため、実際に使用する材および繊維方向を選定する。

2.4.2 製作方法

試験体は、使用される外壁構成に合わせて製作する。例として、二層下地通気構法として 12mm 厚の杉構造用合板をラス下地材とする仕様ならば、試験体は 12mm 厚の杉構造用合板を使用する。単層下地通気構法として 18mm 厚の杉製材を通気胴縁とする仕様ならば、試験体は 18mm 厚の杉製材を使用する。

試験体の基板とする木材寸法は、恒温恒湿装置に納められ、かつ、試験装置に固定できるサイズとする。例として、厚さ 18mm×巾 45mm×長さ 60mm とする。

基板とする木材は、予め 20℃・65%RH の恒温恒湿環境下で 1 週間養生を行い含水率調整したものを気乾状態とみなし使用する。

木材にステーブルを打ち込む際は、手打ちではなく、実際に使用する機械（エアータッカー等）を使用する。これは木材への貫入状態を実情に合わせ再現するためであるが、熱可塑性樹脂やダイバージェントなどの作用を適正に評価するためでもある。

木材の繊維方向とステーブルの留め付け方向は、実際に使用する条件に合致させる。例として、製材の通気縦胴縁にラスの横力骨をステーブル留めする場合は、木材の繊維方向とステーブルの肩を平行に基材の中央付近に留める。

ステーブルを木材に打ち込む際は、加力用の鉄線を挟み込む。鉄線は試験装置のジグに挟み引張力を加えるためであるから、容易に破断しないようステーブルの軸径よりも若干太いものを選ぶ。例として、力骨付きラスに使用される直径 1.6mm の垂鉛メッキ鋼線 120mm 長さの中央付近を写真 2.4.1 に示すように挟み留める。

試験体数は、基板となる木材の色味や木目を極力揃えることで、各5体以上とする。木目を揃えることが難しい場合は、試験体数を適宜増やす。

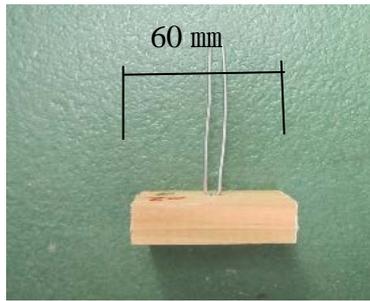


写真 2.4.1 試験体外観

2.4.3 養生方法

試験体製作後、養生をとらずそのままの状態を加力するものを「気乾」試験体とする。試験体製作後に 60°C で 15 時間乾燥養生したものを「乾燥」試験体とする。試験体製作後に 80°C・90% RH 恒湿恒温室にて 1 週間吸湿養生したものを「吸湿」試験体とする。

2.5 試験方法

2.5.1 試験装置

試験装置は、加力時に変形や傾倒せず滑らかに可動する剛性を有した適切な装置とし、試験装置各部は、以下のとおりとする。

油圧ジャッキ：1kN 程度の引張加力を生じさせることが可能なもの

ロードセル：1N 単位の荷重を的確に測定できるもの

つかみ具：鉄線を滑りずれないように拘束し油圧ジャッキの加力をステーブルに伝えるもの

固定具：木材の移動を押さえ油圧ジャッキの引張加力に拮抗するもの

変位計：ステーブルの詳細な変位量を測定する場合に使用する低負荷のもの

2.5.2 面外引抜強度試験

1) 試験体の設置

写真 2.5.1 に示すように鉄線を予め 7~8mm 巾に曲げて試験装置の固定具に基板を取り付け、鉄線の端をつかみ具で挟み拘束する。

2) 載荷加力

写真 2.5.2 に示すように基板面に対して垂直方向に速度 6mm/min 前後で、ステーブルが引き抜けるまで単調に引張加力する。

3) 変位の測定

荷重 0 値からの油圧ジャッキのストロークを測定する。試験体には変位計を取り付けない^{※1}。

4) 含水率の測定

ステーブルを引き抜いた試験体基板を 103±2°C で 3 日間乾燥させて含水率を測定する^{※2}。測定方法は JIS Z 2101：2009（木材の試験方法）4 含水率の測定 に準じる。



写真 2.5.1 鉄線曲げ

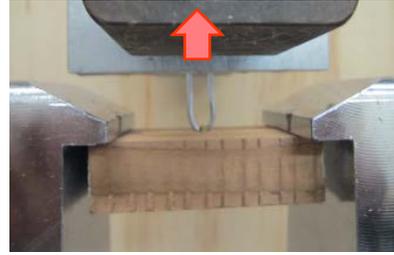


写真 2.5.2 基板面に垂直の引張

5) 記録項目

試験結果として次の項目を記録する。

- ①樹種やステーブルの種別など供試材料に関する情報
- ②基板の含水率
- ③载荷加力値（試験力データ）
- ④油圧ジャッキの変位（ストロークデータ）
- ⑤载荷加力前と载荷加力後の試験体ならびに供試材料の写真

2.5.3 面内剪断強度試験

1) 試験体の設置

写真 2.5.3 に示すように鉄線を予め 7～8mm 巾に曲げて試験装置の固定具に基板を取り付け、鉄線の端をつかみ具で挟み拘束する。基板の繊維方向は実使用を想定した方向に合わせる。例として、通気縦胴縁は鉛直荷重支持を想定して木材の繊維方向と引張加力の方向を平行にする。

2) 载荷加力

写真 2.5.4 に示すように基板面に対して平行方向に速度 6mm/min 前後で、ステーブルが引き抜けるまで単調に引張加力する。

3) 変位の測定

荷重 0 値からの油圧ジャッキのストロークを測定する。なお試験装置の固定具では基板の滑りを生じることが明らかな場合は、その滑り量を計算によりキャンセルできるように基板に対して変位計を取り付けて測定する^{※3}。

4) 含水率の測定

ステーブルを引き抜いた試験体基板を 103±2℃で 3 日間乾燥させて含水率を測定する^{※2}。

測定方法は JIS Z 2101 : 2009（木材の試験方法）「4 含水率の測定」に準じる。



写真 2.5.3 鉄線曲げ



写真 2.5.4 基板面に平行の引張

5) 記録項目

試験結果として次の項目を記録する。

- ①樹種やステーブルの種別など供試材料に関する情報
- ②基板の含水率
- ③載荷加力値（試験力データ）
- ④油圧ジャッキの変位（ストロークデータ）
- ⑤基板の変位（変位計データ、基板に滑りを生じることが明らかな場合）
- ⑥載荷加力前と載荷加力後の試験体ならびに供試材料の写真

2.6 結果の評価

2.6.1 面外引抜強度試験

1) 載荷加力

載荷加力の最大値をもって異なる外壁構成の試験体と比較する^{※4}。

2) 含水率

載荷加力の最大値と試験体基板の含水率を照らし合わせ、ステーブルの種別など異なる供試材料の試験体と比較する。

2.6.2 面内剪断強度試験

1) 載荷加力

載荷加力の最大値をもって異なる外壁構成の試験体と比較する。または、ストロークデータによる油圧ジャッキの変位に一定値を定め、その変位における載荷加力値をもって異なる外壁構成の試験体と比較する^{※5}。

2) 含水率

上記載荷加力値と試験体基板の含水率を照らし合わせ、ステーブルの種別など異なる供試材料の試験体と比較する。

2.7 解説

2.7.1 試験方法についての解説（2.5 および 2.6 の^{※1~※5}）

- ※1 加力用鉄線の伸びおよびステーブル頂部の変形によって生じる変位をキャンセルするためには、ステーブルの両肩に変位計を取り付けなければならないが、本評価において変位はさほど重要ではないこと、取り付け方法として難しいことから、変位計は取り付けないこととした。
- ※2 電気抵抗式や高周波式などの水分計による含水率測定は、基板の部分的な状態が示される。本試験の評価においては基板全体の状態を正確に把握することが重要であるため JIS Z 2101：2009（木材の試験方法）「4 含水率の測定方法」に準拠している。
- ※3 本評価試験方法を釘やビスに応用する場合は、釘ならびにビスの傾倒や基板からの抜け長さが油圧ジャッキのストロークに大きく影響すると予見されるため、釘ならびにビスの頂部ないし実施設計に即した位置に変位計を取り付け、その変位を測定し記録するとよい。

- ※4 実施設計に対して載荷加力値を評価する際は、ステープルの想定使用期間を考慮した十分な安全率を載荷加力の最大値に乗じて、その値が実施設計の外壁に及ぼす面外引抜方向の風荷重ならびに地震力を上回るかどうか判定するとよい。
- ※5 実施設計に対して載荷加力値を評価する際は、実施設計において許容できる外皮の変形量を定め、その許容変形量に相当するストロークデータの変位における載荷加力値が、ステープルの想定使用期間を考慮した十分な安全率に乗じて、外壁に及ぼす鉛直方向の地震力を上回るかどうか判定するとよい。

2.7.2 本評価試験方法の実施例

表 2.7.1 および表 2.7.2 に実施例を示す。

表 2.7.1 面外引抜強度試験結果例

ステープル仕様				面外引抜強度 (N)				
試験体記号	材質	形状、熱可塑性樹脂塗料		気乾	乾燥	気乾比	吸湿	気乾比
A社1	ステンレス	ダイバージェント	無	264	185	70.1%	112	42.4%
B社1	ステンレス	ダイバージェント	有	395	421	106.6%	171	43.3%
B社2	ステンレス	ダイバージェント	無	205	248	121.0%	135	65.9%
C社1	ステンレス	チゼルカット	無	275	143	52.0%	169	61.5%
D社1	ステンレス	チゼルカット	無	335	238	71.0%	115	34.3%
C社2	鉄	チゼルカット	無	188	81	43.1%	169	89.9%
E社1	鉄	ダイバージェント	無	200	104	52.0%	165	82.5%

表 2.7.2 面内剪断強度試験結果例

ステープル仕様				面内剪断強度 (N)				
試験体記号	材質	形状、熱可塑性樹脂塗料		気乾	乾燥	気乾比	吸湿	気乾比
A社1	ステンレス	ダイバージェント	無	486	537	110.5%	403	82.9%
B社1	ステンレス	ダイバージェント	有	569	761	133.7%	430	75.6%
B社2	ステンレス	ダイバージェント	無	436	454	104.1%	359	82.3%
C社1	ステンレス	チゼルカット	無	474	446	94.1%	376	79.3%
D社1	ステンレス	チゼルカット	無	495	530	107.1%	309	62.4%
C社2	鉄	チゼルカット	無	295	344	116.6%	429	145.4%
E社1	鉄	ダイバージェント	無	302	370	122.5%	412	136.4%

表 2.7.1 および表 2.7.2 の実施例において、基板には杉の製材 18mm 厚を用いた。その平均含水率を表 2.7.3 に示す。いずれも実使用環境において想定され得る値である。

表 2.7.3 基板木材の含水率

	乾燥	気乾	吸湿
含水率	8.92%	13.95%	20.48%

1) 面外引抜強度試験結果

「吸湿」では、いずれの製品も強度が低下した。

ステンレス製のなかには、「乾燥」で強度が低下しない製品があった。

なお実験において、いずれのステープルにも錆は生じていない。

2) 面内剪断強度試験結果

「乾燥」で強度が低下する製品はあったが、その低下率は小さかった。

ステンレス製は、いずれも「吸湿」で強度が低下している。

鉄製は「吸湿」で強度が上がっている。

なお実験において、いずれのステープルにも錆は生じていない。

3) 試験結果の考察

面外引抜強度試験の結果、基板の含水率が「吸湿」においては、「気乾」に示す値に対して鉄製は 82.5～89.9%、ステンレス製は 34.3～65.9%と、ステンレス製は鉄製に比べて強度が大きく低下する傾向がみられた。一方「乾燥」においては、「気乾」に示す値に対して鉄製は 43.1～52.0%に低下したものの、ステンレス製は 52.0～121.0%と、強度低下する製品と強度低下しない製品があることを確認した。また、「気乾」いわゆる初期強度は、概ねステンレス製が鉄製よりも優っていた。

住宅の外装材という使用環境において、木製下地が20%程度の含水率になることは希ではない。もし何らかの理由で雨水が浸入したり結露を生じたりすれば、更に顕著に含水率は上がることも起こり得る。よって本実施例の湿潤が示す含水率20.48%は評価範囲として適当である。また実施例の乾燥が示す8.92%についても、冬季において日射で暖められた通気層内は木材乾燥を促すため、評価範囲として適当である。

ステンレス製ステープルについて、木材の乾燥および湿潤による強度変化が小さい製品は、初期強度を活かして、留め付け強度向上に役立つ。その反対に、木材の乾燥および湿潤による強度変化が大きなステンレス製品の場合は、見かけ（初期）は強く、実使用（乾湿）では弱いという矛盾を招くため選定には注意が必要である。ステンレス製が供試材料によって試験結果を著しく異にする理由として、ステンレスにはフェライト系、オーステナイト系、マルテンサイト系、二相系などの分類に加え、異種金属の配合比率などにより数多くの種類が存在していることが挙げられる。またステープルを製造するにあたり、伸線、熱処理、加工といった複数の工程を経るため、その方法如何によって素材表面の摩擦係数が異なることも挙げられる。ステンレス製を使用する際の安全率は十分に検討すべきである。

ダイバージェントポイントは、先端がテーパー形状に加工されているため、木材へ打ち込まれた際に、らせん状ないし円錐状に刺さり絡み、材面に垂直な引抜力が加わっても抵抗できる様に工夫されたステープルである。なお、本実施例には挙げていないが、先端のテーパー形状は刃物製作に相当するようなノウハウが必要とされ、単純なテーパー状にカットされた製品においては、チゼルポイントよりも引抜強度が低下する場合もあることを確認している。そのため、ステープルを選ぶ際には、本評価試験に即した試験結果を確認することが望ましい。

3. ラス・ステーブルの劣化を考慮した耐久性評価方法（案）

3.1 目的および背景

ラスモルタル外壁には、火災の延焼防止という重要な役割があり、地震力や風圧力といった外力が作用しても脱落しないことが重要である。そのためには、モルタルの下地となるメタルラスやメタルラスを建物に留め付けるステーブルの構造性能の低下を最小限にとどめることが必要である。

これまで、木造の接合具では、釘や接合金物の耐久性を評価した例はある。しかし、ステーブルについては、建築構造分野における接合具として、構造性能が検討された例があまりなく、さらに、耐久性を評価された例はほとんどないと思われる。ステーブル単体では、劣化を生じさせた素線の引張試験によって、その耐久性を評価することは可能であるが、木造建築物のモルタル外壁の中に組み込まれた状態で劣化がどのように進行するのか、また、劣化が生じた場合に、どの程度構造性能が低下するのか、さらに、ステーブルの劣化がモルタル外壁の構造耐力にどのような影響を及ぼすのかを把握しておく必要がある。メタルラスについても、単体の耐久性を評価することは可能であるが、モルタル外壁のなかに組み込まれたときの劣化の状態や構造性能を把握しておく必要がある。

今回、メタルラスやステーブルに腐食が生じた場合のラスモルタル外壁の構造性能の評価を目的とする試験方法を検討した。これは、モルタル外壁の構造性能を評価するための最小単位である要素試験体を製作し、劣化を生じさせた後、各種の要素試験を実施するものである。その結果を木造建築物のモルタル外壁の FEM 解析モデルに適用し、増分解析などを行うと、メタルラスやステーブルに腐食が生じたときのモルタル外壁の構造性能を評価することも可能になる。この試験および評価を試行した結果も記載したが、これは一例であり、より簡便で精度の高い方法の開発が望まれる。このような評価法によれば、様々な仕様のラスモルタル外壁の耐久性の比較（相対評価）が可能である。さらに、データの蓄積が進むことにより、使用環境に応じた耐用年数の算定や、劣化度の評価、残余耐力の評価等も可能になるものと考えられる。

3.2 適用範囲

本試験方法（案）は、単層下地通気構法のモルタル外壁においては、通気胴縁から外側の部分に、二層下地通気構法のモルタル外壁においては、ラス下地板や下地面材から外側の部分に適用する。

3.3 用語

ラスモルタル外壁：メタルラスを下地材として用いたモルタル塗り外壁。

通気構法：外装材と躯体との間に通気層を設けた構法。

単層下地通気構法：通気構法のうち、通気層の外側に防水紙付きのメタルラス（リブラスなど）を直接留め付け、モルタルを施工するもの。

二層下地通気構法：通気構法のうち、通気層の外側にラス下地板や下地面材を施工してから防水紙、メタルラスを留め付け、モルタルを施工するもの。

ラス下地板：幅が 75mm～90mm、厚さが 13mm 程度の小幅板。

下地面材：メタルラスを留め付けるために施工される、構造用合板などの面材。

アスファルトフェルト：ラス下地板や下地面材の外側に施工する防水紙で、原紙にアスファルトを含浸させたもの。釘穴止水性の高い、改質アスファルトを用いた、改質アスファルトフェルトもある。

メタルラス：JIS A 5505 や JASS15 M-101 に記載されたモルタルの補強材として用いる鋼製金網で、形状の違いで、平ラス、力骨付き平ラス、波形ラス、こぶラス、リブラスなどの種類がある。メッシュ寸法（線径も異なる）、単位質量、メッキ処理量、山高さ、熔融亜鉛めっきラス、ステンレスラスなどの種類により、各種の性能が異なる。

ステーブル：メタルラス、アスファルトフェルトなどを留め付けるコの字型の接合具。足の長さ、線径、線幅、材質などにより、各種の性能が異なる。

軽量モルタル：人工軽量骨材を用い、軽量化された壁用のモルタル。

砂モルタル：セメントや砂などを現場で調合する在来のモルタル。

補強用ネット：耐アルカリ性のガラス繊維などでつくられた、ひび割れ防止のためにモルタルの表層に伏せ込まれるネット。

仕上塗材：モルタルの表面に施工する仕上げ材。

3.4 試験体

試験体は、実際に施工されるモルタル外壁と同じ材料、仕様、工法で製作する。単層通気構法の場合は、通気胴縁から外側の部分を、二層通気構法のモルタル外壁においては、ラス下地板や下地面材から外側の部分を、メタルラスのメッシュの寸法や、促進腐食させる環境の大きさなどを考慮し、ステーブルが試験体の中心となるように 150mm 角程度以上で製作する。図 3.4.1 および図 3.4.2 に試験体の例を示す。

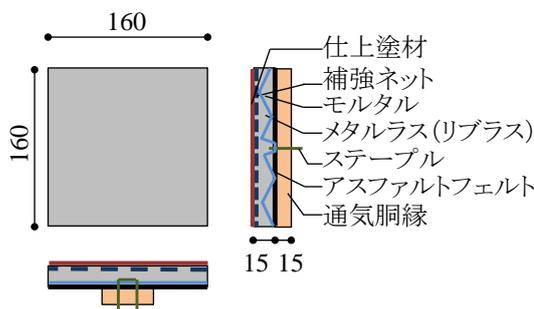


図 3.4.1 単層下地通気構法試験体の例

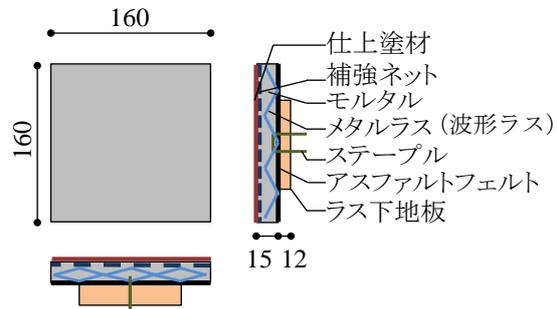


図 3.4.2 二層下地通気構法試験体の例

3.5 促進腐食方法

密閉された高温、高湿の環境下に試験体を静置し、メタルラスやステーブルの全面腐食を生じさせる方法を基本とする。

塩水を噴霧した場合の腐食は孔食であり、全面腐食とは腐食のメカニズムが異なる。この方法は、塩害を評価する場合に用いる。

所定の期間腐食を生じさせた後は、木部の含水率が高くなっているため、木材水分計などを用いて含水率が20%以下になるまで乾燥させる。

3.6 試験方法

3.6.1 ステープルの一面せん断試験

図3.6.1のように、モルタル部を固定し、ステープルにせん断力が作用するように、単層下地通気構法の場合は通気胴縁に、二層下地通気構法の場合はラス下地板や下地面材に強制変位を与える。地震時の荷重を想定した正負漸増繰返し载荷が望ましい。

3.6.2 面内引張試験

図3.6.2のように、試験体に面内引張力を载荷し、生じたひび割れの幅を計測する。

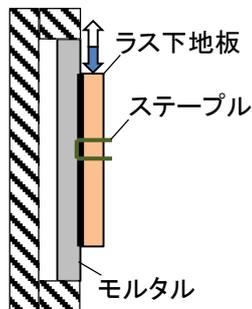


図 3.6.1 ステープルの一面せん断試験の例

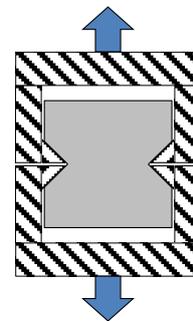


図 3.6.2 面内引張試験の例

3.7 評価方法

得られた荷重－変位関係から包絡線を作成して、初期剛性、最大耐力、終局変位などの特徴点を抽出し、腐食の程度や仕様の違いなどによる影響を把握する。

3.8 試験実施例

3.8.1 試験体の製作方法

試験体は、実際に施工されるモルタル外壁と同じ材料、仕様、工法で製作する必要がある。小さな試験体では、試験体ごとにこて圧や厚さ等にはばらつきが生じやすく、試験結果に影響を及ぼすことが考えられたため、メタルラス1枚の大きさ（およそ3尺×6尺）のモルタル外壁を製作し、ステープルが中心になるように、160mm角の大きさに切断した。切断には、窯業系サイディング切断用の刃を取り付けた丸のこを用いた。写真3.8.1～写真3.8.3に製作中の試験体を示す。



写真 3.8.1 二層下地通気構法のラス下地板



写真 3.8.2 アスファルトフェルトおよび波形ラスの施工



写真 3.8.3 モルタルの施工

3.8.2 促進腐食方法

ステンレス製の容器を用意し、底面から 1cm 程度の深さまで水（純水）を張って蓋をし、60℃ にセットした定温乾燥器内に設置することで、容器内に高温・高湿環境をつくり、その中で試験体の腐食を促進させた。容器の底にはステンレス製のスノコを敷き、その上に、モルタルの表面を下にして試験体を置いた。試験体と水とは接していない。

高湿の環境下に試験体を長期間静置すると、木材が吸水する。本試験は、メタルラスやステープルに腐食が生じた場合のラスモルタル外壁の構造性能の評価が目的であるため、所定の期間、腐食を促進させた後は試験体を十分乾燥させ、ラス下地板が最初の含水率まで戻っていることを確認してから以下の試験を行った。

容器内に静置する期間は、最長で 3 週間としたが、期間が長くなるにつれて、亜鉛メッキが施されたステープルでは、ラス下地板から突き出た部分に生じるさびの量が多くなった。メタルラスには腐食は認められなかった。メタルラスはアルカリ性のモルタルと裏面のアスファルトフェルトに保護されているため、腐食が生じなかったものと考えられる。

3.8.3 ステープルの一面せん断試験

図 3.8.1 のように、モルタル部を固定し、ステープルにせん断力が作用するように、ここでラス下地板に対して、1、2、4、6、12、24mm をピークとする正負 3 回ずつの漸増繰り返し载荷を行った。

ラス下地板に作用させたせん断力と変位を収録し、図 3.8.2 のような結果を得た。

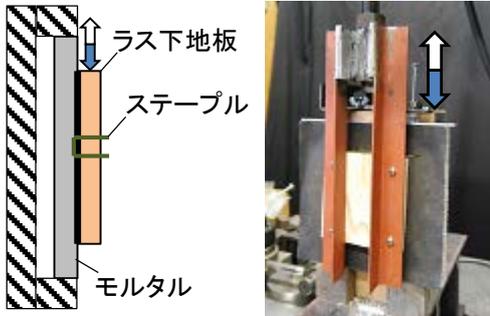


図 3.8.1 ステープルの一面せん断試験の例

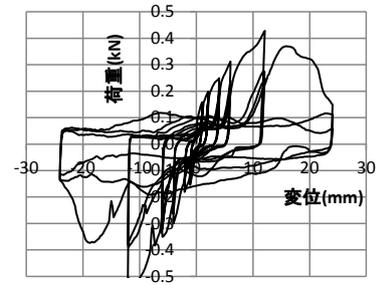


図 3.8.2 試験結果の例

3.8.4 面内引張試験

写真 3.8.4 のように、試験体に切欠きを設け、変位計を取り付けるための台形のアルミ板を切欠きの上下 4 か所に接着剤で貼付した。この切欠きに掛かるツメを有する治具に試験体を図 3.8.3 のように設置し、アルミ板上に変位計（ここではパイゲージ）を取り付けた。試験体の上下方向に面内引張力を载荷し、载荷した引張力と、試験体の両側の相対変位を測定した。ここでは、変位計で計測された変位がひび割れ幅であるとみなした。図 3.8.4 は得られた引張力と相対変位との関係、写真 3.8.5 は、加力によってひび割れが生じた試験体である。

引張力に対して、モルタル外壁の断面内には、抵抗要素であるメタルラスや補強用ネットが厚さ方向に偏心していることになるため、引張力を载荷したときに、試験体が面外に「く」の字に変形する。そのため、面外への変形を拘束して試験を行った。

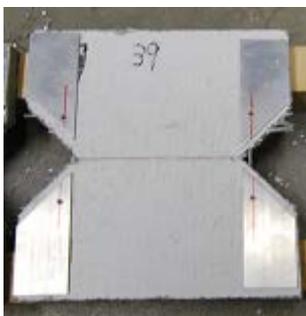


写真 3.8.4 引張試験用に加工した試験体

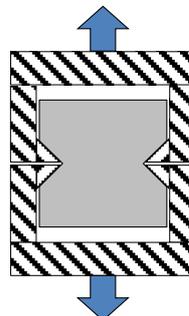
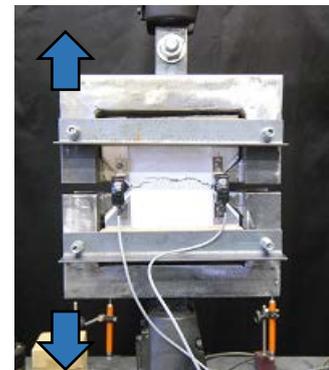


図 3.8.3 面内引張試験の例



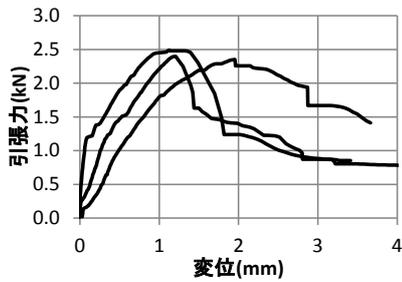


図 3.8.4 試験結果の例

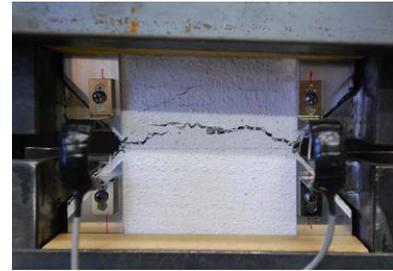


写真 3.8.5 ひび割れの生じた試験体

3.8.5 試験結果の評価例

図 3.8.5 は、ステーブルの一面せん断試験で得られた、荷重－変位関係の包絡線の一例である。黒線は腐食させていない状態、赤線は促進腐食させた状態の結果であり、荷重が低下する変位に違いがみられる。

図 3.8.6 は、ステーブルの種類毎に、促進腐食させた期間と最大荷重との関係を示した一例である。ステンレスのステーブル（L1019JS）は、腐食させた期間によらず最大荷重は一定であるが、亜鉛メッキの L1019J や L0719M では、腐食期間によって、最大荷重に変化がみられる。

図 3.8.7 は、面内引張試験の結果の一例である。波形ラスの質量の違いで、引張力に差があることが分かる。

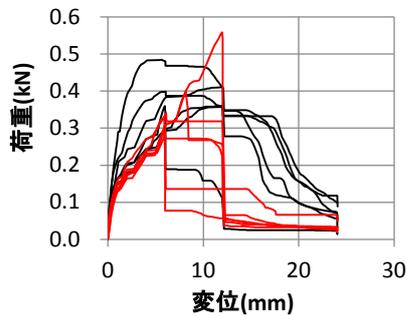


図 3.8.5 荷重－変位関係の例
（ステーブルの一面せん断試験）

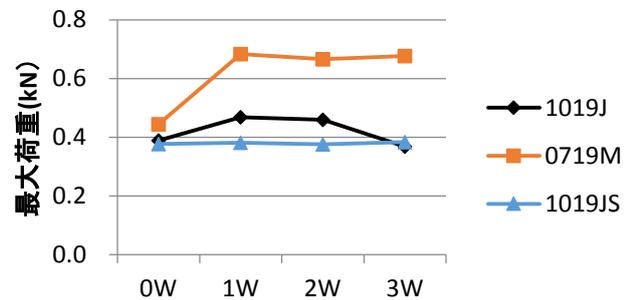


図 3.8.6 腐食させる期間と最大荷重との関係の例
（ステーブルの一面せん断試験）

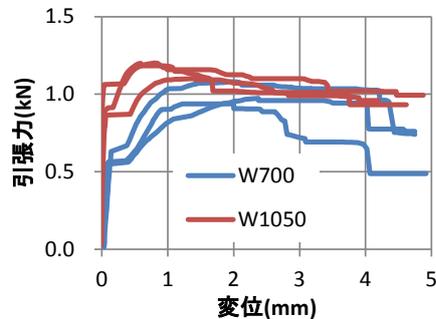


図 3.8.7 面内引張試験結果の例

3.8.6 試験結果を用いた解析例

ここで示したような試験の結果は、材料を選定する際の資料となるほか、モルタル外壁の構造性能を推定するための解析的なシミュレーションに用いることができる。以下に、二層通気構法のモルタル外壁を対象に行ったシミュレーションの概要を示す。

1) 解析モデル

図 3.8.8 のような鉛直構面を対象とし、解析モデルは、図 3.8.9 のように、軸組、ラス下地板およびモルタルの 3 層で構成し、軸組とラス下地板とは釘（2-N65）を表すスプリング要素、ラス下地板とモルタルとはステーブル（L1019J）を表すスプリング要素で繋いだ。モルタルの圧壊、引張破壊、せん断破壊はモルタル外壁の荷重－変形関係に大きな影響を及ぼすため、モルタル要素間にこのような破壊を表現するスプリング要素を図 3.8.10 のように配置した。実験においては、モルタルの破壊は開口のコーナー部から生じており、その他の部分での破壊は観察されなかった。従って、解析モデルでも、開口のコーナー部からモルタル端部に至る線上に上記の破壊を表現するスプリング要素を設定した。

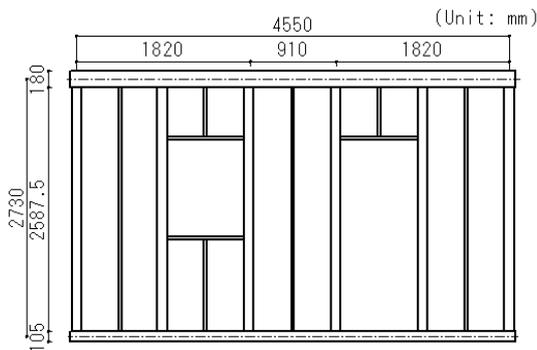


図 3.8.8 解析の対象とする鉛直構面

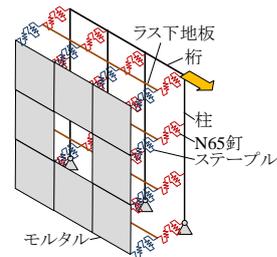


図 3.8.9 解析モデル

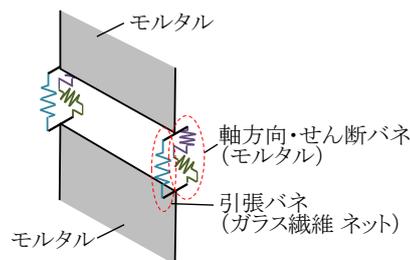


図 3.8.10 モルタルの破壊を表すスプリング要素

2) 解析結果

図 3.8.11 に、解析モデルの変形性状を示す。各開口のコーナーを起点としてモルタルにひび割れが発生し、ひび割れによって区切られた部分毎に回転が生じていることが分かる。図 3.8.12 は増分解析による荷重－変形角関係である。ステーブルの劣化を考慮していない場合の最大耐力は 50kN 程度である。平均すると、壁長 1P あたり 10kN の負担力である。また、促進腐食させたステーブルの一面せん断試験結果を用いた解析では、腐食させていない場合と顕著な違いはみられない。これは、モルタル外壁の耐力性状に影響を及ぼす因子が、ステーブルのほかにも存在するためと考えられる。

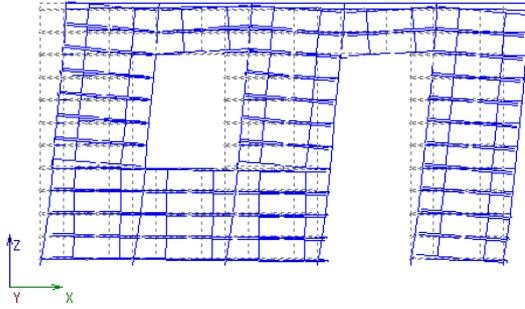


図 3.8.11 モルタル外壁の変形性状

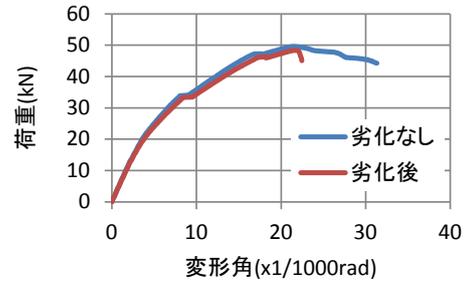


図 3.8.12 解析結果

4. ラスモルタル外壁の維持管理技術への展開

4.1 概要

近年においては住生活基本計画によるストック重視の施策をはじめ、木造住宅の振興や長期優良住宅の普及の促進などが図られてきており、建築物、部材、材料に関わる維持保全技術の整備や標準化が重要になってきている。木造住宅の外壁の仕様は、サイディング板を張り付ける乾式工法が多く、次いでモルタルを塗り付ける湿式工法がある。

モルタルを塗り付ける外壁の下地は、次の3つに大別される。

(1) 非通気構法直張り下地（通称：直張り構法）

図 4.1.1 に示すように、壁体内に通気層を設けず構造用合板等の木製下地の外側に防水紙を張り付けて、さらにその外側に鋼製のラスをステーブルで留め付けた下地。

(2) 通気構法二層下地

図 4.1.2 に示すように、木製下地の外側に胴縁を取り付け、その外側に木製のラス下地板または面材を張り付け、さらに非通気構法直張り下地と同様に防水紙、ラスを留め付けた下地。

(3) 通気構法単層下地

図 4.1.3 に示すように、木製下地の外側に胴縁を取り付け、胴縁の上に裏打ち材付きラスを張り付けた下地。

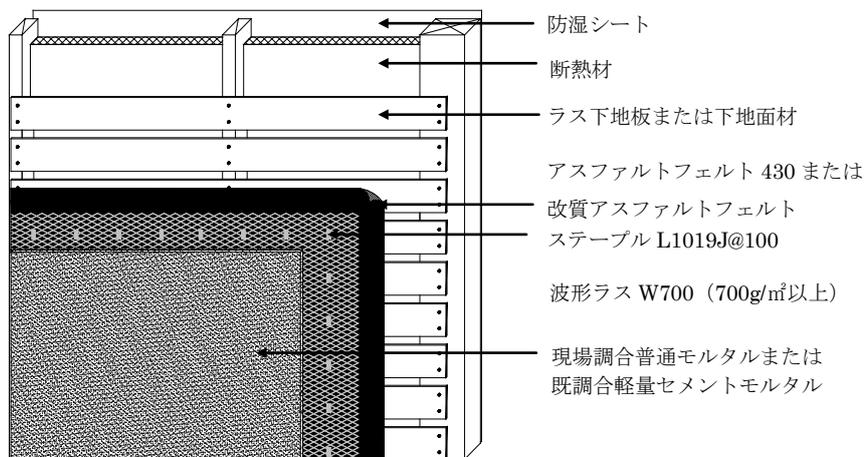


図 4.1.1 非通気構法直張り下地の例

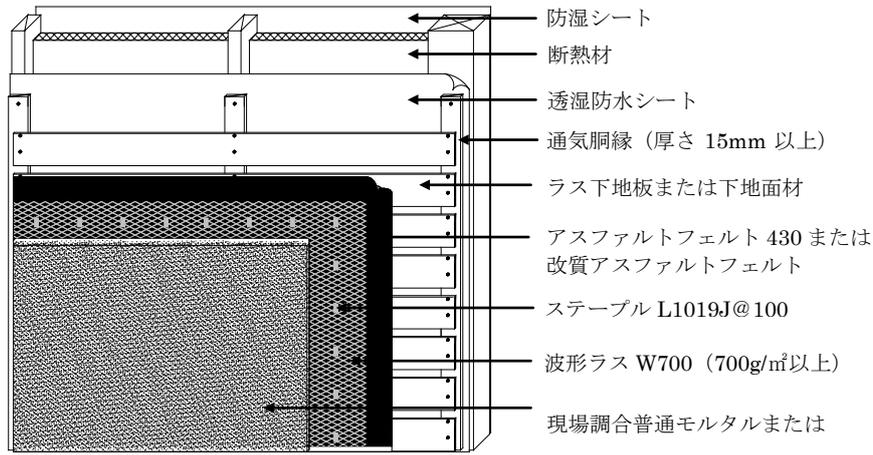


図 4.1.2 通気構法二層下地の例

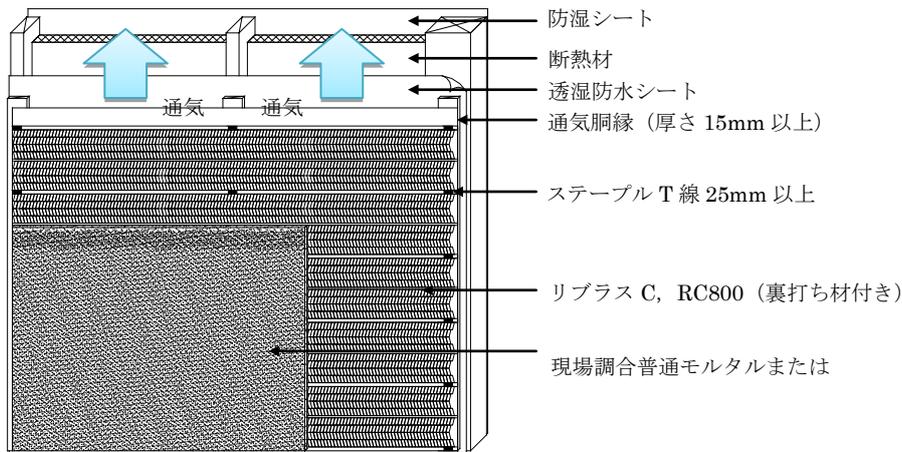


図 4.1.3 通気構法単層下地の例

これら3つの構法によって施工された外壁は、一般に「ラスモルタル外壁」などと総称され、構法・下地の違いがあっても、木製下地にラスをステープルで留め付ける原理は同じである。したがって、ラスモルタル外壁を構成するラス、ステープル、防水紙、下地材などが劣化すると、留め付け力が低下することがあり、大規模な地震が発生した際にラスモルタルが脱落して、外壁に要求される性能が確保できなくなるため、構成材料の周辺環境と長期的な強度性能の関係を明らかにする必要がある。

このような観点から、2.「木材の含水率変化を考慮した下地材等の強度性能評価試験方法（案）」および3.「ラス・ステープルの劣化を考慮した耐久性評価方法（案）」では、水分によるラス・ステープルの経年劣化を想定した耐久性に関わる試験方法および評価方法を提案した。

しかし、住宅の耐久性を維持するためには、住宅・部材・材料の耐久性能評価や耐用年数予測手法の研究に併せ、竣工後の点検、調査・診断、改修設計、改修工事など維持保全技術の標準化や体系化が重要である。

そこで、前述の評価方法（案）についても、木造住宅の維持保全に関わる今後の仕様書類や指針類の策定に寄与することを目的に、木造住宅外壁に使用されているモルタルの維持保全に関する技術の現状を文献調査し考察した。

4.2 調査方法

「木造」、「モルタル」、「外壁」、「耐久性」、「維持保全」、「点検」、「調査」、「診断」、「改修設計」などをキーワードとして、関連すると思われる木造モルタル外壁の維持保全に関する既往の文献や資料の調査を行った。

4.3 調査結果

モルタル外壁の維持保全に関する資料は、コンクリート造に関するものがほとんどで、また木造に関するものでも白蟻や水分による木材の腐朽を対象としたものが主体であった。その中でも、木造住宅外壁におけるモルタル部分の維持保全に関連する内容が記載されている 8 種類の資料について、その概要を表 4.3.1 に示す。

表 4.3.1 木造モルタル外壁の維持保全に関する資料の概要

	資料名	主な内容
1	建設省総合技術開発プロジェクト「建築物の耐久性向上技術の開発報告書」，昭和 60 年 3 月．	1) 点検（調査診断も同じ） 点検方法：目視、打音、破壊検査、点検レベル：1 次、2 次、3 次 点検内容：ひび割れ、剥落、欠損 点検周期：ひび割れ（1 年・2 年）、剥落（2 年・5 年・10 年） 2) 調査診断結果の判定：高次診断の要否判定、補修・交換の要否判定 3) 改修工法の選定：表面処理工法、交換工法、注入工法 4) 改修工事における施工検査の区分、検査項目、検査レベル
2	平成 12 年 7 月 19 日建設省告示第 1653 号「住宅紛争処理の参考となるべき技術的基準」	1) 不具合事象：ひび割れ、欠損 2) 下地材や構造材にまたがる不具合事象か否かで瑕疵の可能性を分類
3	住宅紛争処理技術関連資料集 平成 24 年度版，住宅リフォーム・紛争処理支援センター，2012 年	1) 不具合事象：ひび割れ、欠損、浮き 2) 調査方法：目視、簡易器具 3) 補修工法：モルタル塗替え工法、U カットシール材充填工法、シール工法
4	平成 21 年 2 月 24 日国土交通省告示第 209 号「長期使用構造等とするための措置及び維持保全の方法の基準」	1) 点検時期：建築の完了、直近の点検・修繕・改良から 10 年以下、地震時および台風時の臨時点検 2) 点検結果の措置：必要に応じて調査・修繕・改良を行うこと
5	「住まいの管理手帳 戸建編」第 11 版，住宅金融普及協会，2012 年	1) 点検：3 年毎に目視によるひび割れ、浮き、汚れ、仕上材の劣化調査 2) 保守：汚れの水洗、幅 0.3mm 深さ 10mm 以上のひび割れは専門家に相談、幅 0.3mm 深さ 10mm 未満のひび割れはシーリング材等で補修 3) 補修時期の目安：ひび割れ補修 3～5 年、仕上材の塗替 7～10、全体的な再塗装 15～20 年
6	「外壁モルタル仕上げの改修マニュアルー木造住宅編ー」，日本建築仕上材工業会，2006 年	1) 調査診断：書類調査、ヒアリング調査、現地調査（ひび割れ、浮き、欠損の目視および簡易器具による具体的な調査方法の詳細） 2) 調査診断結果の判定：劣化程度に応じた点検の継続または改修工法の選定 3) 改修工事：仕上塗材を含めた改修工事の材料および施工方法の詳細
7	「実務者のための住宅の腐朽・虫害の診断マニュアル」社団法人日本木材保存協会，2007 年	1) 点検：1 年に 1 度程度（外壁の外観、ひび割れ、汚損） 3 年に 1 度程度（1 年点検での要注意点を重点的に点検）
8	「木造住宅の耐久設計と維持管理・劣化診断-【漏水】【腐朽】【蟻害・虫害】対策のために-」財団法人 日本住宅・木材技術センター，2002 年	1) 点検：点検周期、点検方法、点検レベルの基本的な考え方 2) 調査診断：漏水、腐朽、蟻害・虫害（モルタルのひび割れの有無およびひび割れ幅の測定を含む） 3) 調査診断結果の判定：点検継続、精密調査の実施、補修

4.4 考察

調査の結果、木造モルタル外壁の点検、調査診断、改修設計および改修工事を踏まえた維持保全に関する指針類の整備にあたっては資料 1 が、またその技術的な根拠を解説するにあたっては資料 8 が最も参考になると考えられた。しかし、ラス・ステープルを含むモルタル層の劣化現象・劣化程度と防水性能ならびに木材の腐朽との関係が定量的に明確になっていない点もある。したがって、2.「木材の含水率変化を考慮したステープルの留め付け強度評価試験方法（案）」および 3.「ラス・ステープルの劣化を考慮した耐久性評価方法（案）」も勘案した総合的な研究や学術的な根拠に基づく、適切な改修工法の選定手法および具体的な改修工事仕様書の整備など、維持保全技術の構築と体系化が望まれる。