

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：12701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25820263

研究課題名(和文)高耐久高耐力外装材による耐震補強効果の検証

研究課題名(英文)Examination of Seismic Performance of Mortar Finishing External Wall with Ventilation Space for Retrofitting

研究代表者

中尾 方人(Nakao, Masato)

横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・特別研究教員

研究者番号：60323937

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：耐久性の高い通気構法のモルタル外壁を対象とし、まず実験によって、モルタル外壁要素の基礎データ、開口部コーナーにおける変形性能と破壊性状、および、モルタル周辺の拘束状態の違いによる耐力および変形性能への影響を把握した。さらに、木造住宅の一構面をモデル化した増分解析により、モルタル外壁による水平耐力の増加分、すなわち、耐震補強効果を検証した。その結果、この構法のモルタル外壁の最大耐力は、壁長1Pあたりおよそ10kNであり、また、モルタルを躯体に接合するステーブルの腐食が進行しても、顕著な耐力低下は生じないという結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：Focusing on the mortar finishing external wall with ventilation space, basic mechanical characteristics of the element of the mortar finishing external wall, deformation characteristics and failure mode around the corner of the wall and effects of boundary conditions on shear strength and deformation characteristics of the wall were examined through several element experiments. Moreover, incremental FEM analysis of the mortar finishing external wall with two openings, namely window type opening and door type opening, was conducted using the element experimental data. From the analysis, it was found the maximum shear strength of the mortar finishing external wall is approximately 10kN/m, the wall is applicable to seismic retrofitting. It was also found that decrease in the shear strength is small when the staples which connect mortar to structural members are rusted.

研究分野：建築構造

キーワード：モルタル外壁 ステーブル 腐食 木造 在来軸組構法 耐震補強 耐力壁 耐久性

### 1. 研究開始当初の背景

ここ数十年以内にも東海地震や南海地震が高い確率で発生すると予測されており、耐震性の低い建築物の耐震補強は急務である。これまで各自治体では、1981年以前に建築された建物を中心に、耐震診断および耐震補強を促進させるため、補助金の交付などを積極的に行ってきた。また、様々な耐震補強の方法も提案されてきているが、補強工事そのものの費用のほか、工事期間の仮住まいの費用も含めた費用は依然として高く、補助金が交付されても十分とはいえないため、既存の木造戸建て住宅の耐震化はまだ十分ではない。

筆者らはこれまで、木造住宅の各耐震要素の構造性能評価を行ってきており、モルタル外壁についても、ステーブルの脚長や留め付け間隔、モルタルの種類などをパラメータとした静的せん断加力実験を行い、モルタル外壁の耐震性能評価を行った。これより、JASS15 (日本建築学会建築工事標準仕様書左官工事)などに示された仕様で適切に施工されたモルタル外壁は、構造用合板と同等の耐震性能を有することを確認した。通気構法とは、図1のように、ラス下地板(木ずり)を直接柱に留めつけるのではなく、15mm程度の厚さの胴縁を柱に留め、その上からラス下地板を留める構法で、ラス下地板と軸組との間に空間ができて通気を確保することができ、また、万一、モルタルや防水紙のひび割れで雨水が浸入した場合でも、この通気層から雨水を排出させることができる。

これまで、モルタル外壁は施工の確実性や耐久性などに問題があったため、耐力要素として考慮されてこなかったが、高い耐久性を有する通気構法のモルタル外壁を、仕様どおりに確実に施工することで、既存木造戸建て住宅の耐震性を向上させることができると考えた。この高耐久・高耐力のモルタル外壁を既存の木造戸建て住宅に新設することである程度の耐震性が確保することができれば、居住者は仮住まいに移ることなく、短期間に、これまでより少ない費用での耐震補強が可能となり、耐震性が不足している既存の木造戸建て住宅の耐震補強促進に寄与することができる。さらに、既存の外壁を撤去して、耐久性の高い通気構法のモルタル外壁を施工することにより、軸組の腐朽等を防止し、建物を長期間使用することができるようになる。また、火災の場合には確実に延焼を防ぐことができる利点もある。

### 2. 研究の目的

本研究では、耐久性の高い通気構法のモルタル外壁を対象とし、まず実験によって、モルタル外壁要素の基礎データ、開口部コーナーにおける変形性能と破壊性状、および、モルタル周辺の拘束状態の違いによる耐力および変形性能への影響を把握し、さらに、木造住宅の一構面をモデル化した増分解析に

より、モルタル外壁による水平耐力の増加分、すなわち、補強効果を検証することを目的とする。

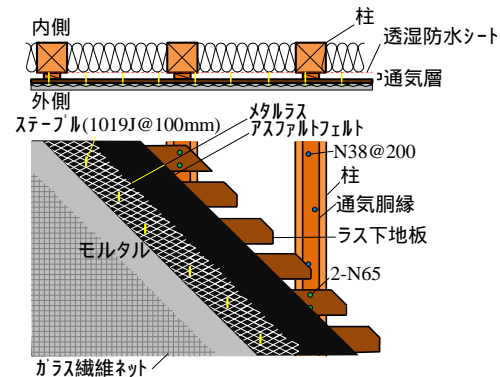


図1 通気構法のモルタル外壁

### 3. 研究の方法

本研究は、高耐久、高耐力の通気構法のモルタル外壁について、要素の構造特性の把握、構造性能に大きく影響する現象の把握、そして、これらを総合する実建物を想定した増分解析を通じて、外周壁に施工した場合の耐震補強効果を定量的に把握する。

(1) モルタル、ステープル、ラス、ひび割れ防止用のネット等の構成材料が全て施工されて一体となった160mm角程度の大きさのモルタル外壁要素試験体を用いて、ステーブルの一面せん断試験と面内引張試験を実施し、構造特性を把握する。耐久性については、要素試験体を促進腐食させた後で試験を行うことで、劣化度と耐力性状との関係を把握する。

(2) 次に、実物のおよそ1/2の開口部コーナー試験体を製作し、せん断加力実験を実施する。開口のコーナー部における挙動は、開口を含むモルタル外壁の構造性能に大きな影響を及ぼすため、開口のコーナー部を抽出した要素実験を行って、その変形、破壊性状を重点的に検証する。この結果は、後に行う増分解析におけるモデル化の参考にする。

(3) また、壁長が1P(910mm)の無開口実大モルタル外壁試験体のせん断加力実験により、モルタル周辺の拘束の違いによる耐力および変形性能への影響を把握する。これは、実際のモルタル外壁では、軒や水切り、サッシなどによる様々な拘束が考えられるためである。近年、モルタル外壁の下に耐力壁として構造用合板を施工することが多くなっているため、構造用合板を用いた仕様についても試験体を製作し、実験を行う。

(4) 最後に、これらの実験データから、建物の一構面全体を対象とした増分解析によって、モルタル外壁による耐震補強効果を把握する。また、モルタル外壁の耐力発現に大きく関係するステープルについては、劣化による影響も把握するために、促進劣化後の一面

せん断性状を適用した増分解析も行い、その影響を把握することで、通気構法のモルタル外壁を耐震補強法の一つとして位置づけることができるようにする。

#### 4. 研究成果

##### (1) モルタル外壁要素試験体によるステープルの一面せん断試験と面内引張試験

###### モルタル外壁要素試験体の製作

図2のようなモルタル外壁要素試験体を製作した。これは、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、ステープルが試験体の中心になるように、160mm角程度の大きさに切断したものである。今回対象とした構法は、ラス下地板を用いた2層通気構法であり、表1に3つの仕様を示す。「仕様1」は波形ラス W700-06 とステープル 1019J を用いたものであり、「仕様2」は波形ラス W1050-06 とステープル 0719M、「仕様3」はステンレス製の波形ラス W700-06 とステンレス製の 1019JS の組み合わせである。モルタルは、JASS15 M-102 に適合する既調合軽量モルタルであり、その表層には、ひび割れ防止用の耐アルカリガラス繊維ネットを伏せ込み、さらに、仕上塗材(外装薄塗材 E(JIS A 6909))を塗布した。表2にメタルラスの仕様を、表3にステープル各部の寸法の実測値を示す。

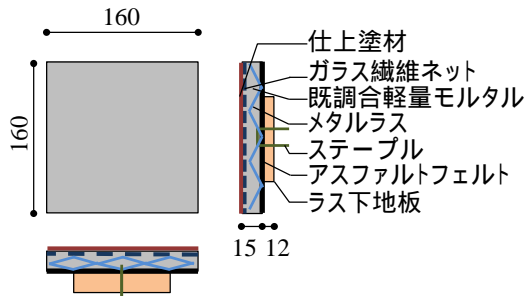


図2 モルタル外壁要素試験体(単位: mm)

表1 試験体の仕様一覧

	メタルラス	ステープル
仕様1	W700-06 (亜鉛メッキ)	1019J (亜鉛メッキ)
仕様2	W1050-06 (亜鉛メッキ)	0719M (亜鉛メッキ)
仕様3	W700-06 (ステンレス)	1019JS (ステンレス)

共通仕様: 2層通気構法、ラス下地板(スギ) 90mm×12mm、アスファルトフェルト 430、既調合軽量モルタル(JASS15 M-102 に適合)15mm厚(2回塗)、ガラス繊維ネット 5mm×5mm ヌツシ 150g/m<sup>2</sup>、仕上塗材:外装薄塗材 E

表2 メタルラスの仕様

	質量(g/m <sup>2</sup> )	ヌツシ寸法(mm)	山高さ(mm)	材質
W700-06	700	32×16	6mm	亜鉛メッキ鋼板(Z12)
W1050-06	1050	32×15	6mm	亜鉛メッキ鋼板(Z12)
W700-06 (ステンレス)	700	27×14	6mm	フェラト系ステンレス鋼板

表3 ステープルの寸法(実測による平均値)

	外幅(mm)	内幅(mm)	足長さ(mm)	線径(mm)
1019J	11.22	9.97	19.08	0.62×1.15
0719M	8.55	6.76	18.90	0.92×1.27
1019JS	11.22	10.02	19.07	0.58×1.15

##### 促進腐食の方法

モルタル外壁要素試験体の促進腐食の方法は、底面から1cm程度の深さまで水(純水)を張ったステンレス製の容器に蓋をして、60℃にセットした定温乾燥器内に設置することとした。容器内は、高温・高湿環境となるため試験体のメタルラスやステープルの腐食が促進される。容器内に静置する期間は、1週間、2週間および3週間とした。

##### ステープルの一面せん断試験

モルタル外壁要素試験体のモルタル部分を治具で万能試験機に固定し、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。試験体数は、各仕様6体ずつであり、加力の方向は、ラス下地板の繊維方向である。前述の方法で腐食を生じさせた試験体についても、同様の試験を行った。

図3に荷重-変位関係の正側の包絡線を示す。各図の黒線は、腐食させていない状態での結果であり、赤線は促進腐食後の結果である。仕様1と仕様3における主な破壊性状はステープル足部の破断であり、仕様2ではステープルの引抜けであった。メタルラスに損傷は生じなかった。仕様1、仕様2および仕様3における最大耐力の6体の平均値は、0.39kN、0.45kN、0.38kNであり、ステープルの線径の違いの影響が表れた。最大耐力後、荷重が50%に低下するときの変位は、それぞれ、15.9mm、17.8mm、21.3mmであった。促進

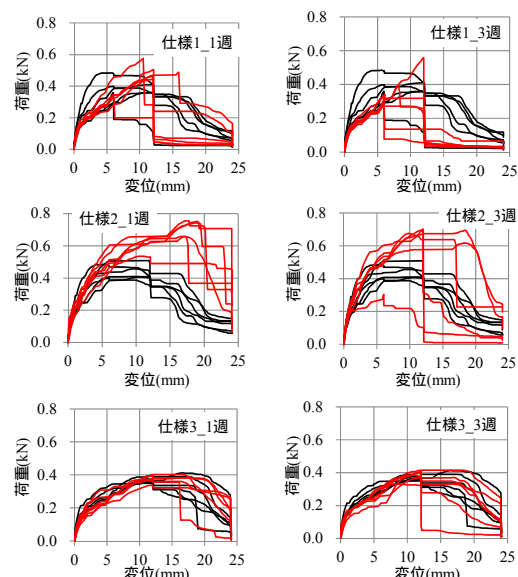


図3 ステープルの一面せん断試験結果

赤線: 所定の期間腐食させた試験体の結果

黒線: 腐食させていない試験体の結果

腐食させることで、仕様1では、荷重低下時の変位が小さくなる傾向がみられる。仕様2では、最大荷重の増加が顕著である。仕様3では、高温・高湿環境下に静置した期間によらず、荷重 - 変位関係に変化はみられなかった。ステンレス製のステーブルは高温・高湿環境下でも腐食が生じないこと、また、一度吸水したラス下地板でも、含水率が低下すると、もとの強度特性にもどることが確認された。

#### モルタルの面内引張試験

モルタル壁要素試験体に図4のような切欠きを設け、この切欠きに掛かるツメを有する治具で、試験体に面内引張力を載荷した。載荷した引張力と、試験体の両側の相対変位を測定した。

図5に引張力を載荷した結果を示す。載荷の方向は、図6のように、横張りしたラスの縦方向と横方向であり、試験体表面に伏せ込んだガラス繊維ネットを加力方向と直交方向にカッターで切断したのものについても実験を行った。ガラス繊維ネットを切断した場合、モルタルとラスのみの抵抗力と考えることができる。なお、くびれ部の試験体の実長は90~100mmであった。

縦引張の場合、仕様1(波形ラス W700-06)の最大引張力は2.5kN程度であり、ガラス繊維ネットを切断した場合は1kN程度に低下する。従って、メタルラスの負担力は1kN、ガラス繊維ネットの負担力は1.5kN程度であることが分かる。ガラス繊維ネットを切断した場合は、仕様1、仕様2(波形ラス W1050-06)および仕様3(ステンレスの W700-06)のラスの違いによる差はあまりみられない。横引張の場合も、ラスの違いによる差は顕著ではなく、引張耐力は縦引張時に比べておよそ3倍である。

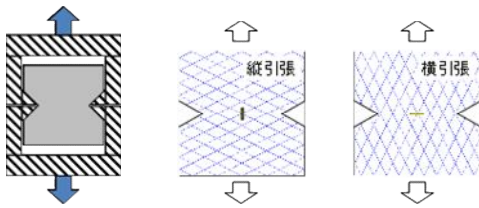


図4 面内引張試験 図6 ラスと載荷方向

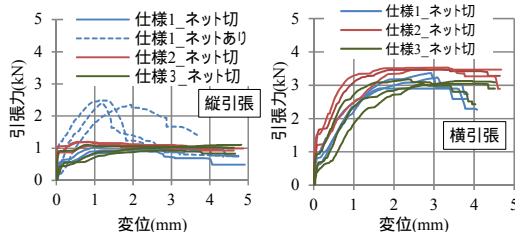


図5 面内引張試験結果

#### (2) 水平力を受ける開口部コーナーの挙動 実験概要

モルタル外壁の開口部のコーナー部分に

ついて、補強の方法をパラメータにした試験体を製作し、静的せん断加力実験を行った。試験体の軸組を図7に示す。表4に試験体一覧を示す。3仕様×2(正側加力、負側加力)で計6体とした。

試験体の桁に一方方向の水平力を変形角が1/10radを超えるまで載荷し、各載荷ステップでひび割れの発生状況の確認、モルタルのずれ量の測定、写真撮影等を行った。

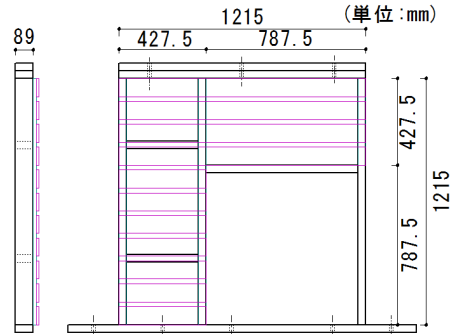


図7 開口部コーナー試験体

表4 開口部コーナー試験体一覧

試験体 No.	加力方向	メタルラス	ステーブル	開口部コーナー補強	ガラス繊維ネット
1-1	正側	W700-06	1019J	F450	有り
1-2	負側	W700-06	1019J	100mm×200mm	
2-1	正側	W700-06	1019J	F450	有り
2-2	負側	W700-06	1019J	200mm×400mm	
3-1	正側	W1050-06	0719M	F450	無し
3-2	負側	W1050-06	0719M	100mm×200mm	

#### 実験結果

図8に各試験体の水平荷重 - 変形角関係を示す。最大荷重は3kN~4kN程度であり、そのときの变形角は1/30rad~1/20rad程度であった。正側加力試験体と負側加力試験体の耐力性状に顕著な違いはないが、波形ラス W1050-06 をステーブル 0719M で留め付けた No.3-1 試験体や No.3-2 試験体の耐力は他の試験体より高い傾向があった。これは、0719M の1面せん断剛性や耐力が1019Jより高いためと考えられる。これより、開口部補強やラスの違いが耐力性状に及ぼす影響は小さいと考えられる。写真1~4は、試験体 No.2-1 と No.2-2 の1/15rad付近の写真である。開口部のコーナーから水平線上に、引張ひび割れと圧壊による破壊線が見られる。

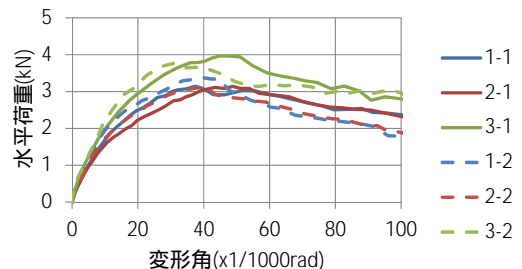


図8 開口部コーナー試験体実験結果



写真1 No.2-1



写真2 No.2-2のコーナー付近



写真3 No.2-2

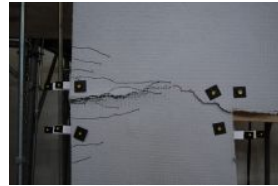


写真4 No.2-2のコーナー付近

### (3) モルタル周囲の拘束の影響

#### 実験概要

表5のように、モルタル層の回転拘束の有無、拘束方法、耐力面材（構造用合板）の有無をパラメータとし、壁長が1P(910mm)、高さ2730mmの実大モルタル外壁試験体を製作し、せん断加力実験を行った。

図9に直交壁付きの試験体を示す。軸組構造で、通気胴縁（すぎ）の厚さは15mm、柱および間柱への留め付けはN38@200である。ラス下地板（すぎ）は90mm×13mmで、柱および間柱に2-N65で留め付けられている。モルタル外壁の下に、耐力壁として構造用合板を張る場合には、N50@150とした。表1に試験体の一覧を示す。各仕様1体ずつである。写真5に実験の状況を示す。桁に水平に作用させる水平力は、1/300、1/200、1/150、1/120、1/100、1/75、1/50、1/30radにて正負3回交番繰返し、1/20、1/15、1/10radにて正負1回ずつ載荷した。

#### 実験結果

図10に各試験体の荷重-変形角関係の包絡線を示す。基準となるNo.1試験体の最大耐力は約5kNであり、壁倍率はおよそ1倍であった。No.1に比べて、No.2の直交壁付き試験体では、最大荷重が2.2倍となった。直交壁によってモルタルの回転が抑えられたため、剛性、耐力ともに増加した。直交壁は、正面の加力方向の壁によって面外（加力方向）に押し出され、出隅の上下端部にひび割れが生じ、浮上様子が観察された。No.3試験体では、モルタル回転拘束治具をモルタルの4隅に設置したが、完全にモルタルの回転を拘束することは難しく、No.1と同様の耐力性状となった。治具に貼付したひずみゲージから推定したモルタルの回転の拘束力は、試験体に作用させた水平力のおよそ3倍であり、モルタルの縦横比とほぼ同じ数値であった。No.4試験体では、耐力面材が胴縁やラス下地板の釘によって打ち増しされたようになり、耐力が顕著に増加した。最大耐力は、No.1の4.4倍であり、壁倍率はおよそ6倍であった。柱には過大な軸力が作用し、圧縮側の柱脚は土台に大きくめり込む様子が観察された。

表5 1Pモルタル外壁試験体一覧

試験体No.	モルタル回転拘束	構造用合板
No.1	なし	なし
No.2	直交壁	なし
No.3	拘束治具	なし
No.4	なし	あり

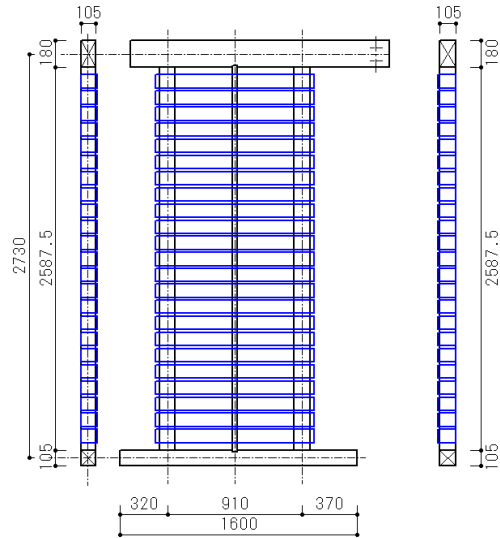


図9 直交壁付のNo.2試験体



写真5 1Pモルタル外壁実験の状況

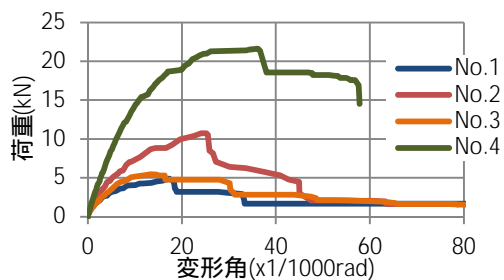


図10 1Pモルタル外壁試験体の荷重-変形角関係

### (4) モルタル外壁の増分解析モデルの検討とモルタル外壁による耐震補強効果の検証

#### 解析モデル

増分解析は、図11に示す窓開口と掃出し開口を有する軸組のモルタル外壁を対象に行うこととした。解析モデルは、図12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(1019J)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 13 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。

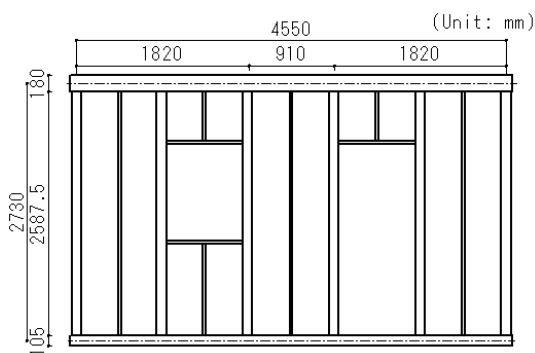


図 11 解析の対象とする鉛直構面

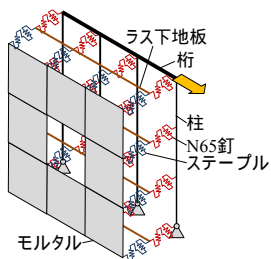


図 12 解析モデル

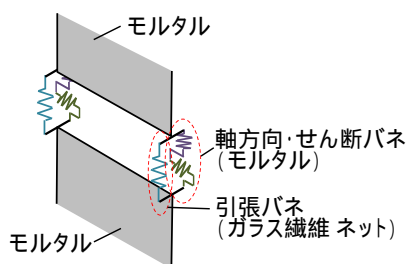


図 13 内外の破壊を表すスプリング要素

#### 解析結果

図 14 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 15 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 の負担力であり、

この外壁を既存木造住宅に施工した場合は、顕著な補強効果があることが分かる。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はステーブルのほかにも数多く存在するためと考えられる。今後は、ステーブル以外の要素の劣化の影響も検討していく必要がある。

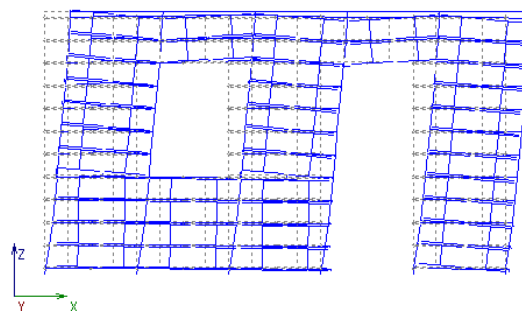


図 14 モルタル外壁の変形性状

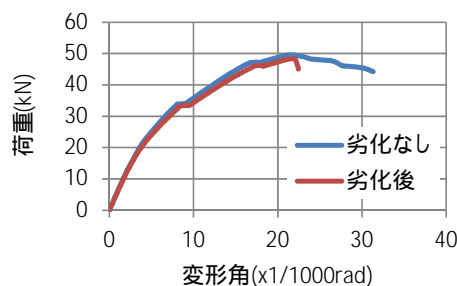


図 15 解析結果

#### 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 2 件)

中尾 方人、井上 照郷、稲垣 和宏、宮村 雅史、石川 廣三、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 腐食したステーブルの一面せん断性状、日本建築学会大会、2015 年 9 月 5 日、東海大学

中尾方人、耐久性の高いモルタル外壁の水平耐力評価に関する研究 その 1 増分解析モデルの検討、日本建築学会大会、2014 年 9 月 12 日、神戸大学

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

中尾 方人 (NAKAO, Masato)

横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・特別研究教員

研究者番号：60323937

##### (2) 研究分担者

なし