

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04686

研究課題名（和文）木造住宅における多様な内外装材に対応した層間変位追従性能の検証法の開発

研究課題名（英文）Development of Verification Method of Accommodating Performance to Seismic Displacement for Various Interior and Exterior Wall Panel of Wooden Houses

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） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：ラスモルタル外壁を対象として、釘やステーブルのせん断力-変位関係から、ラスモルタル外壁のせん断力-変形角関係を推定する解析モデルを示し、実大試験体によるせん断加力実験結果との比較によって解析モデルの妥当性を確認した。これに基づき、ラスモルタルの層間変位追従性能の検証方法を提案し、地震時にラスモルタルと柱との相対変位を吸収するラスモルタル支持金物を開発した。また、二重張りした石こうボード内壁については、せん断加力実験を実施し、全てのビスを柱まで到達させることで、1/15radまで石こうボードが脱落しないことを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ラスモルタルが脱落しない仕様は、小規模木造建築物を想定した実験によって明らかになっていたが、本研究によって、接合具のデータが整備され、解析モデルが構築されたことで、建築物の規模や仕様に縛られず、大地震時にラスモルタルが脱落しないように設計することが可能になる。また、全てのビスを柱に到達させることで、二重張り石こうボードが1/15radまで脱落しないことが明らかになり、耐火構造の木造建築物の増加が期待される。

研究成果の概要（英文）：An analysis model of the lath-mortar exterior wall which can predict a shear force-displacement relationship was constructed and the validity of the analysis model was examined by the result of shear loading tests of the lath-mortar exterior wall specimens. From these considerations, an evaluation method of the deformation performance of lath-mortar exterior walls was proposed, and a new support connector for lath-mortar was developed. For interior walls, a shear loading test of a specimen that was applied double gypsum board was conducted. From the test, it was found that driving all screws to columns enables the gypsum boards not to fall off up to 1/15 radian.

研究分野：建築構造

キーワード：木造 外装材 内装材 ラスモルタル 石こうボード 層間変位追従性能

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

建築物の内外装材には、居住者やその財産を日射や雨水、風、火災、飛来物などから守り、柱や梁といった構造躯体を保全する重要な役割がある。大地震時においては、木造建築物の躯体は最大  $1/30\text{rad}$  程度の変形が想定されるため、内外装材はその程度の層間変位に追従し、脱落しないことが求められる。外装材が脱落した場合は、通行人などに人的な被害が生じ、また、地震後の火災が短時間で延焼する可能性が高くなる。内装材についても、脱落した場合には、人的な被害や避難経路を閉ざしてしまう懸念もある。

木造建築物における内外装材は種類が多く、その躯体への留め付け方法は多種多様であり、分類や整理はなされていない。また、内外装材は構造躯体に緊結されるため、緊結に使われる釘や木ねじ、ステーブルといった接合具には非常に高い変形能力が要求されていることになるが、そのことは、一般には認識されておらず、実験的な検証もあまり行われていない。木造は今後、大規模化、高層化していくと考えられる。しかし、内外装材の留め付け方法についての知見は非常に少なく、せん断加力実験を行わずに、内外装材の留め付け方法の妥当性を検討することは難しい状況にある。

以上のように、木造建築物の内外装材は、釘や木ねじ、ステーブルを用いて構造躯体に緊結されており、 $1/30\text{rad}$  程度までの構造躯体に追従し、脱落しないことが必要であるが、そのことを検証した例は少なく、検証方法も確立されていない。

### 2. 研究の目的

木造建築物の内外装材の留付けに用いられる材料や接合具は種類が多く、これらの組み合わせは無数に存在し、全ての仕様について、地震時における層間変位追従性能を検証するために静的せん断加力実験を行うのは現実的ではない。

この問題を解決するため、まず、各種の接合具について、荷重 - 変位関係を整理し、任意の接合具を用いたときの、内外装材の水平力 - 変形角関係を推定するための増分解析モデルを作成する。

そして、内装材や外装材を軸組の取り付けた試験体を製作して静的せん断加力実験を行い、増分解析の結果と比較する。この結果をもとに、設計で利用できる、内外装材を対象とした接合具の耐震設計法を提案する。

また、以上のような検討をもとに、カーテンウォールのようにスウェイやロッキングが可能な外装材支持金物を開発し、その性能をせん断加力実験により確認する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 外装材に関する検討

外装材の一つであるラスモルタルは、基本的には、メタルラスをステーブルで躯体に留付け、モルタル塗りを行うものであるが、メタルラスの種類に応じてステーブルの種類や留付け方法が異なるうえ、ラスモルタルの下地となるラス下地板や構造用合板、さらには、これらを留付ける通気胴縁などの部材で多層構造となっており、ありとあらゆる部材の組み合わせ、また、それぞれの部材の留付け方法が存在する。

ここでは、ラスモルタル外壁に用いられる接合具(釘やステーブル)の要素実験を実施し、荷重 - 変位関係を把握する。そして、ラスモルタル外壁試験体を製作してせん断加力実験を実施し、その結果と増分解析結果とを比較することで、ラスモルタル外壁の耐震設計法を提案する。

#### (2) 内装材に関する検討

内装材としての石こうボードを二重張りすることで、木造建築物でも耐火構造とすることができる。しかし、石こうボードの留付けに用いる接合具の種類や留付け方法は規定されていない。そこで、厚さ  $21\text{mm}$  の石こうボードを二重張りにした試験体を製作し、せん断加力実験によって、層間変位追従性能を把握する。

#### (3) 外装材支持金物の開発

木造建築物においては、内外装材は様々な接合具を用いて躯体に緊結されているため、躯体に層間変位が生じた場合に接合具の損傷は避けられない。そこで、ラスモルタルについて、カーテンウォールのようにスウェイやロッキングが可能になる支持金物を開発し、せん断加力実験によって、その支持金物の性能を確認する。

### 4. 研究成果

#### (1) 外装材に関する検討

##### 接合具のせん断力 - 変位関係

写真 1 のようにラスモルタル外壁に用いられる釘の一面せん断実験を実施し、図 1 のようなせん断力 - 変位関係が得られた。また、釘接合部の解析モデルを作成して増分解析を実施し、実験結果に近い結果が得られることを確認した。



写真1 接合具の一面せん断試験

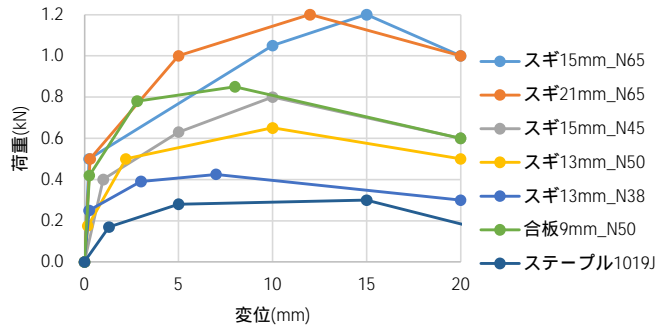


図1 各接合具のせん断力-変位関係

### ラスモルタル外壁試験体のせん断加力実験

図2および表1のようなラスモルタル外壁試験体を製作し、せん断加力実験を実施した。試験体の仕様は、実際に施工される可能性があるものとした。写真2にせん断加力実験の状況を、図3にせん断力 - 変形角関係の包絡線を示す。

日本建築学会建築工事標準仕様書 左官工事 (JASS15) に示されている釘よりも小さい釘を用いたNo.1では、胴縁を留める釘やラス下地板を留める釘が引抜け、荷重が低下した。No.2、No.3およびNo.5では、ラスモルタルのステープルが引抜けた。柱や間柱に耐力壁としての構造用合板を張ったNo.4では、構造用合板、胴縁、ラス下地板およびラスモルタルが一体となって挙動し、構造用合板が柱や間柱から浮上った。

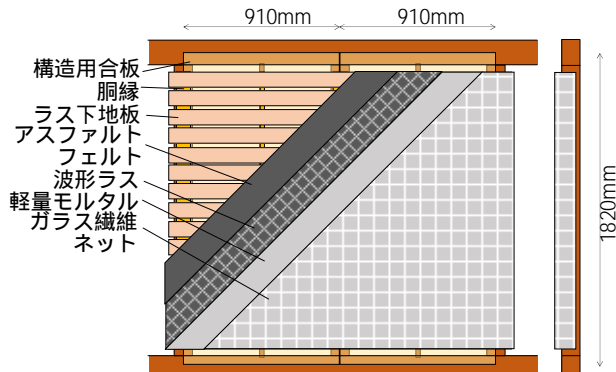


図2 ラスモルタル外壁試験体 (No.4)



写真2 せん断加力実験の状況

表1 ラスモルタル外壁試験体一覧

	合板 (厚さ, 接合具)	胴縁 (厚さ, 接合具)	ラス下地板 (厚さ, 接合具)
No.1	-	スギ 15mm, N45@303	スギ 13mm, 2-N38
No.2	-	スギ 15mm, -	スギ 13mm, 2-N65
No.3	-	スギ 15mm, N65@303	スギ 13mm, 2-N50
No.4	9mm, N50@150	スギ 15mm, N65@303	スギ 13mm, 2-N50
No.5	-	スギ 21mm, N65@303	スギ 13mm, 2-N50

ラス下地板の接合具数は、ラス下地板と柱または間柱との交点1ヶ所あたり

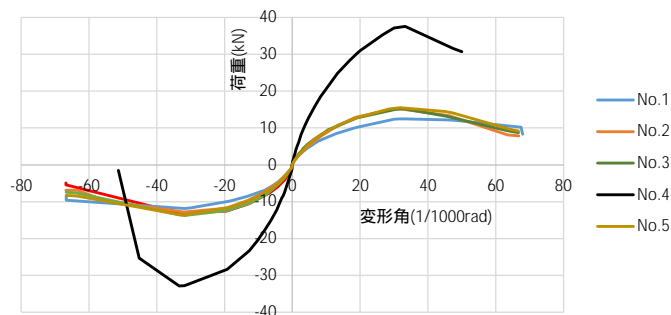


図3 ラスモルタル外壁試験体のせん断力-変形角関係

ラスモルタル外壁試験体を対象とした静的増分解析

ラスモルタル外壁では、ラス下地板を留める釘が胴縁を貫通し、柱や間柱に達している。No.4では、構造用合板を胴縁やラス下地板を留める釘が貫通している。前述の一面せん断実験の結果だけからは、このような場合のせん断力 - 変位関係を推定することは難しいため、柱～ラス下地板の単位接合部の解析モデルを図4のように作成し、せん断力 - 変位関係を求めた。ここで単位接合部とは、ラス下地板1段と柱とが公差する接合部で、No.3の場合は胴縁の釘N65が0.4本、ラス下地板のN50釘2本が単位接合部に含まれる。図5にラス下地板の釘1本あたりの解析結果を示す。

図5に示した柱～ラス下地板の単位接合部のせん断力 - 変位関係およびステーブルのせん断力 - 変位関係を用い、ラスモルタル外壁試験体の柱1本あたりの解析モデルを図6に示す。

増分解析結果と実験結果の対応を図7に示す。解析結果は実験結果に比べて変形がやや小さい。これは、実験で見られたラスモルタルなどの回転を解析で考慮していないためと考えられる。このことを考慮すると、解析結果は概ね妥当であると考えられる。

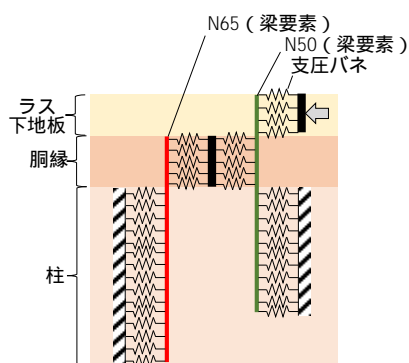


図4 柱～ラス下地板接合部モデル(No.3試験体の場合)

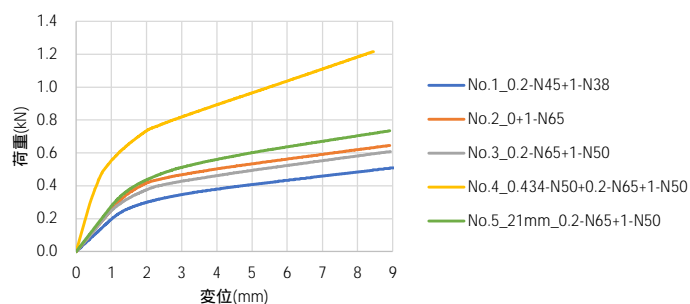


図5 柱～ラス下地板接合部解析結果

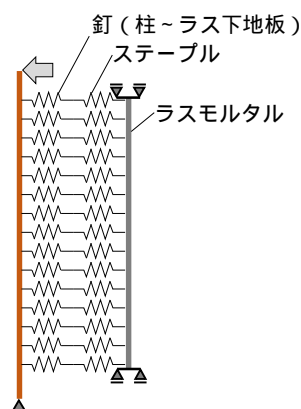


図6 ラスモルタルの解析モデル

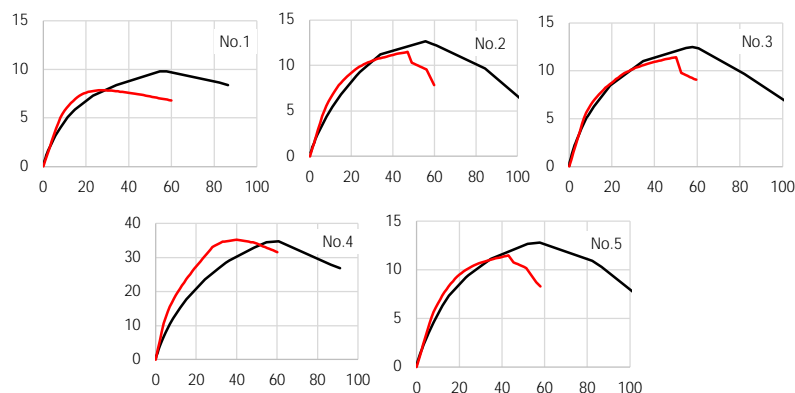


図7 解析結果と実験結果の対応 (縦軸：荷重(kN)、横軸：変位(mm)、黒線：実験、赤線：解析)

#### ラスモルタル外壁の耐震設計法の考え方

ラスモルタル外壁においては、ラスモルタルの回転が生じないものと仮定することで、変形は小さめに評価される。このことは、特定の変形角に対して接合具の変位は大きめに評価されていることになり、ラスモルタルの脱落を評価するうえでは安全側となる。

大地震時における構造躯体の最大の変形角を  $1/30\text{rad}$  とし、ラス下地板の各段における柱とラスモルタルの相対変位を求め、釘とステーブルそれぞれの変位を求める。そして、各接合具が終局変位(最大荷重の80%)を超えていれば保持力を喪失しているとし、残っている接合具の強度の合計がラスモルタルの重量を上回っていれば、ラスモルタルは脱落しないと考えることができる。

#### (2) 内装材に関する検討

図8に示す試験体を製作し、せん断加力実験を実施した。石こうボード1枚は  $606\text{mm} \times 1820\text{mm} \times 21\text{mm}$  であり、下張りとしての石こうボードは  $41\text{mm}$  の石こうボード用ビスで、上張りとしての石こうボードは下張り石こうボードの上に  $65\text{mm}$  のコーススレッドで留め付けた。写真3にせん断加力実験の状況を示す。

図9にせん断力 - 変形角関係を示す。  $1/15\text{rad}$  まで加力を行ったが、石こうボードが脱落することはなかった。図10は、下張り石こうボードと上張り石こうボードの回転角の平均値の推移であり、下張り石こうボードはほとんど回転せず、水平移動していたことが分かる。

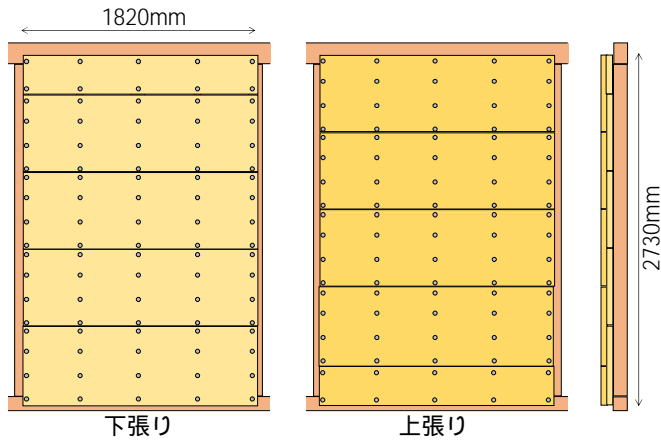


図8 石こうボード二重張り試験体



写真3 せん断加力実験の状況

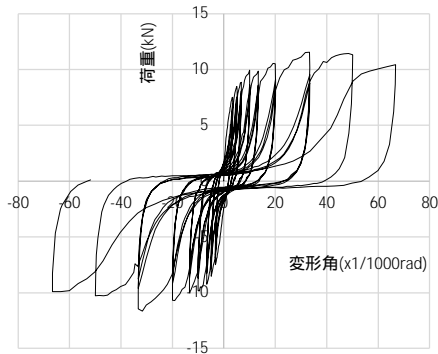


図9 石こうボード試験体のせん断力-変形角関係

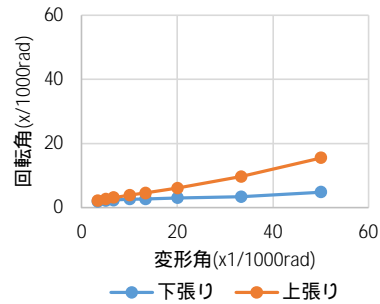


図10 石こうボードの回転角

### (3) 外装材支持金物の開発

ラスモルタルのスウェーを可能にする支持金物を開発し、施工性を確認するとともに、せん断加力実験によって、性能を確認した。開発した支持金物は、上端を金物用のビスで柱に固定し、面外に突出した下端をラスに引っ掛かるようにしてモルタルを施工する。軸組とラスモルタルに水平方向の変位差が生じると、図11のようにビスを中心に金物が回転し、その変位差を吸収する。金物の下端の突出部には専用のワッシャーを取り付けることで、面外方向に力が作用してもラスモルタルが軸組から浮き上がらないようにしている。写真4は柱に取り付けた支持金物である。

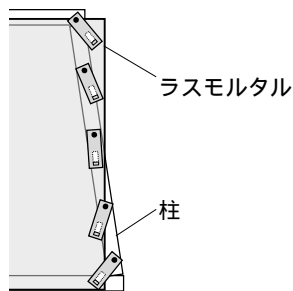


図11 地震時の支持金物のイメージ

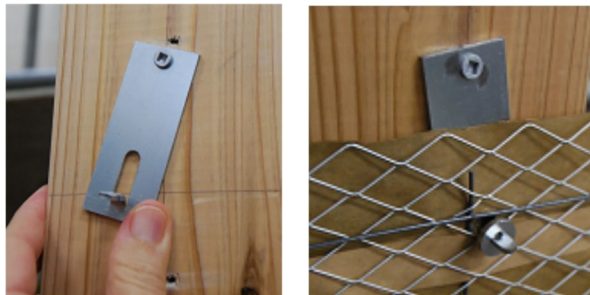


写真4 開発した支持金物

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ラスモルタル構造体、支持金具	発明者 中尾方人	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、057603	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------