

令和 3 年 6 月 3 日現在

機関番号：16201

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13912

研究課題名（和文）南海地震による伝統構法木造建物の被害推定手法の構築

研究課題名（英文）Development of damage estimation methods for traditional wooden buildings by Nankai Earthquake

研究代表者

宮本 慎宏（Miyamoto, Mitsuhiro）

香川大学・創造工学部・准教授

研究者番号：80505694

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、四国地方の重要伝統的建造物群保存地区である香川県丸亀市、愛媛県内子町および高知県室戸市を対象として現地調査を行い、各地域の伝統構法の木造建物の構造特性を明らかにした。次に、愛媛県内子町における代表的な仕様の実大土塗壁試験体を作製して静的載荷実験を実施し、実験結果を基に代表建物の立体フレームモデルを構築して限界耐力計算による耐震性能評価を行い、効果的な耐震補強工法を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

伝統構法の木造建物は、地域の気候や風土に適した独特の構法で建てられ、地域によってその構造特性は異なる。南海地震などの巨大地震が高い確率で発生することが予測されている四国地方において、伝統構法の木造建物の構造安全性確保は、地域に残る伝統構法の木造建物の保存活用の面だけでなく、人命確保の面から見ても最重要課題の一つと言える。これらを踏まえ、本研究では、四国地方における伝統構法の木造建物の構造特性を明らかにしたうえで、効果的な耐震補強工法を検討した。

研究成果の概要（英文）：In this study, the site investigations for the traditional wooden houses at Marugame City in Kagawa Prefecture, Uchiko Town in Ehime Prefecture and Muroto City in Kochi Prefecture, which are Important Preservation Districts for Groups of Historic Buildings, were conducted to examine their structural characteristics. Secondly, the full-scale loading tests for the mud walls with the representative specification in Uchiko Town were carried out. Based on these results, the calculation of response and limit strength for the representative house in Uchiko Town using a 3D-frame model was executed to evaluate the seismic performance and to grasp the effectiveness of the seismic reinforcement.

研究分野：木質構造

キーワード：伝統構法木造建物 重要伝統的建造物群保存地区 構造特性 限界耐力計算 土塗壁

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 伝統構法の木造建物は、地域の気候や風土に適した独特の構法で建てられている。伝統構法の木造建物が多く現存する地域は、文化庁が重要伝統的建造物群保存地区(以下では重伝建地区と称す)に指定して保存が進められており、四国地方でも各県に存在する。しかし、少子高齢化や地方人口減少の影響を受け、重伝建地区における空き家の数は増加しており、今後は住宅以外の用途(宿泊施設や飲食店等)に変更して活用することが求められている。

建物の用途を変更する場合、地震に対する建物の安全性を確認したうえでの申請手続きが必要となる。建物の構造安全性を確保するための規定は建築基準法で定められているが、地域によって構法にあまり差がない在来工法の木造建物を主に対象としており、地域によって構法の異なる伝統構法の木造建物は、建築基準法のような全国一律の手法では構造性能を正確に評価できない。そのため建築基準法第3条では、「その他条例」を定めることにより建築基準法の適用を除外できる規定が定められており、京都市や川越市を始めとして伝統構法の木造建物を多く有する市町村で「その他条例」の策定が行われている。「その他条例」では、地震時における構造安全性の確保に配慮することが求められる。伝統構法の木造建物は、地域によって構法的特徴が異なるため、各地域において構造安全性に関する規定を独自に定める必要がある。

(2) 今後、南海地震・東南海地震・東海地震などの巨大地震が高い確率で発生することが予測されていることを踏まえれば、重伝建地区における伝統構法の木造建物の構造安全性確保は、地域に残る伝統構法の木造建物の保存活用の面だけでなく、人命確保の面から見ても最重要課題の一つと言える。しかし、南海地震の被害を受ける可能性の高い四国地方では、住宅の耐震化率が約70~72%(平成20年現在)と全国平均が約85%(平成25年現在)に比べて低く、耐震化への意識が低いことが伺える。このような状況下では、南海地震の発生時に広域かつ甚大な被害が生じることが予想される。一方、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では、震度が大きかったにも関わらず地震動による建物被害は軽微であった。この要因として地震被害は地震動の地域特性と建物の構造特性の関係が大きく影響していると指摘されている。伝統構法の木造建物は、地域によって構法が異なるため、その構造特性も異なる。また、南海地震では太平洋側と瀬戸内海側で地震動の特性が大きく異なることが予想されている。伝統構法の木造建物の構造特性と地震動の地域特性を考慮して南海地震による被害推定を行い、大きな被害が想定される地域から優先的に耐震化を進めることは、四国地方の防災・減災の観点からも非常に重要である。

2. 研究の目的

本研究では、四国地方の重伝建地区における伝統構法の木造建物の構造特性を明らかにし、地震動の地域特性を考慮した南海地震による被害推定手法の提案を目的とする。具体的には四国地方の重要伝統的建造物群保存地区である香川県丸亀市、愛媛県内子町、愛媛県西予市、高知県室戸市を対象とし、その地域における伝統構法の木造建物の構造特性、想定される建物の被害、被害推定結果の妥当性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 研究対象地域である香川県丸亀市、愛媛県内子町、愛媛県西予市の現地調査を実施する。現地調査として構造特性の分析に必要な構造図面の取得を行う。次に、これらの地域の代表的な建物数棟の常時微動計測を実施し、固有振動数や振動モードなどの基本的な振動特性を把握する。計測を行った建物のうち、代表的な建物については地震計を設置して地震観測を行う。

(2) (1)で明らかになった各地域における伝統構法の木造建物の構造特性を定量的に把握するため、実大試験体を作製して静的載荷実験を実施する。具体的な対象として内子町や西予市の建物に見られる大壁造の土塗壁が挙げられる。静的載荷実験結果から荷重変形関係や破壊性状を把握するとともに、既往の南海地震による想定地震動を用いて限界耐力計算を実施し、被害推定を行う。計算結果は(1)で実施している地震観測結果と比較し、手法の妥当性を検証する。

4. 研究成果

(1) 重伝建地区である香川県丸亀市(図1)、愛媛県内子町(図2)および高知県室戸市(図3)を対象として現地調査を行い、各地域の伝統構法の木造建物の構造特性を明らかにした。なお、構造特性の地域差を明らかにするため、研究対象地域の一つを高知県室戸市に変更した。現地調査として構造特性の分析に必要な構造図面の取得を行った。一例として愛媛県内子町における伝統構法の木造建物の典型的な平面図例を図4に示す。主な構造的特徴として、壁仕様は土塗大壁および土塗真壁、屋根仕様は切妻平入り、棧瓦葺きであった。耐震要素である土塗大壁は奥行方向の外壁、土塗真壁は奥行方向の内壁や間口方向に多い傾向にあった。平面寸法は間口方向に対し奥行方向が長く、街道に面し開口部が多い間口方向は壁量が少なく、隣家に接し開口部が少ない奥行方向は壁量が多い傾向にあった。また、各地域の代表建物の常時微動計測を実施し、固



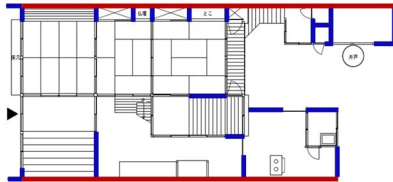
図 1 丸亀市塩飽本島町笠島



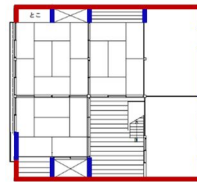
図 2 内子町八日市護国



図 3 室戸市吉良川町



(a) 1階平面図



(b) 2階平面図

図 4 内子町における伝統的木造住宅の平面図例



図 5 地震計設置例

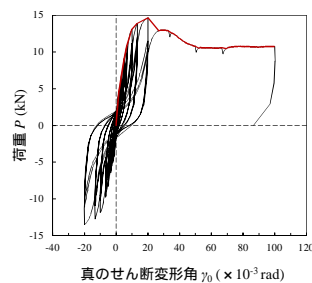
有振動数や振動モードなどの基本的な振動特性を把握した。さらに、愛媛県内子町の代表建物に地震計を設置して地震観測を開始した(図 5)。なお、愛媛県内子町の代表建物に設置した地震計では、これまでに十分な観測記録が得られていないため、地震観測は今後も継続して実施し、(2)に記載の立体フレームモデルの妥当性検証は今後の課題とする。

(2)愛媛県内子町における伝統構法の木造建物の構造特性を定量的に把握するため、代表的な仕様の実大土塗壁試験体を作製して静的荷重実験を実施した(図 6)。試験体の仕様は現地の左官技能者へのヒアリング調査を基に決定し、内子町の建物に用いられる土塗壁を想定した大壁および真壁の実大試験体を各 1 体ずつ作製した。静的荷重実験結果から荷重変形関係や破壊性状を把握した(図 7)。次に、愛媛県内子町の代表建物に対して上述の実験結果を反映した立体フレームモデルを構築して限界耐力計算による耐震性能評価を行った(図 8)。なお、愛媛県における南海地震による想定地震動が小さいため、入力地震動として告示スペクトルを用いた。さらに、耐震補強として変形の大きい構面への構造用合板の設置、屋根の葺き土除去による軽量化、水平構面の構造用合板への置換を行い、再度限界耐力計算を行った結果、地震時における建物全体の变形および柱部材の安全性が確認され、効果的な耐震補強工法を示すことができた(図 9)。

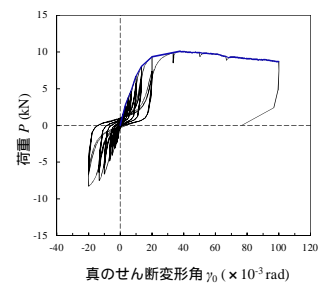
また、四国各地の伝統構法の木造建物を想定し、既往の南海地震による想定地震動を用いて限界耐力計算を実施し、南海地震に対する伝統構法の木造建物の応答特性を明らかにした(図 10)。一般的な 2 階建ての伝統的木造建物を 1 質点系に縮約したモデルを考え、降伏せん断力係数 C_y をパラメータとした性能等価応答スペクトルと加速度応答スペクトルの交点から求めた南海トラフ予測地震動に対する各地域における最大応答変形角 R_{max} を求めた。入力地震動は、内閣府が提供する四国 4 県の県庁所在地における工学的基盤面の南海トラフ予測地震動を用い、松山市および高松市は第 2 種地盤、高知市および徳島市は第 3 種地盤として地震動を増幅させた。



図 6 (a) 大壁試験体



(a) 大壁試験体



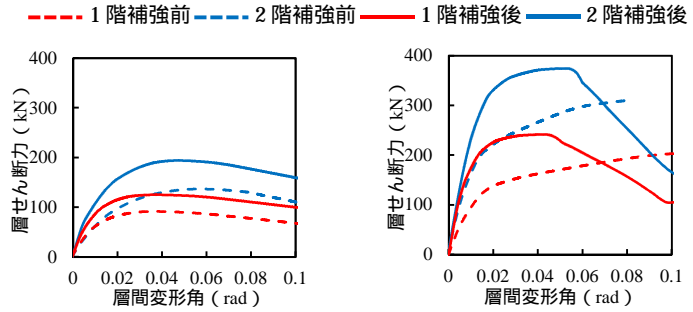
(b) 真壁試験体

図 7 試験体の荷重変形関係



(b) 真壁試験体

図6 土塗壁の静的載荷実験



(a) 間口方向

(b) 奥行方向

図9 静的増分解析結果

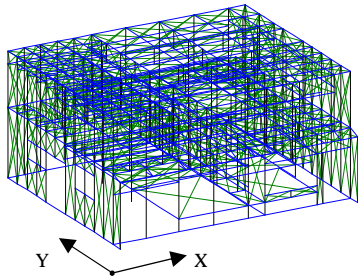
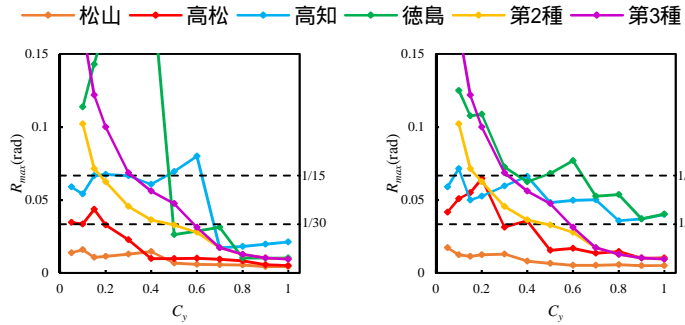


図8 立体フレームモデル



(a) NS方向

(b) EW方向

図10 降伏せん断力係数 C_y と南海トラフ予測地震動に対する最大応答変形角 R_{max} の関係

(3)各地の伝統構法の木造建物に多数見られる開口部を有する実大土塗壁の静的載荷実験(図11)および水平材と柱の接合部の引張性能を把握するための要素実験(図12)を行い、荷重変形関係や破壊性状を把握した。実大試験体は垂壁および腰壁の高さを内法高さに対し1/3とし、柱と水平材の接合方法および土塗壁の塗厚をパラメータとした。接合部試験体は実大試験体の柱と水平材の接合部を切り出した仕様とした。次に、柱と水平材の接合部の引張性能を考慮した平面解析モデルを構築した。柱と水平材の接合部には要素実験結果を反映させた軸バネを設け、土塗壁は圧縮力が作用する方向のみに水平バネを配置し、壁土の一軸圧縮試験結果を反映させた。その結果、水平材の引抜けが壁土のせん断破壊よりも先行する場合において、柱と水平材の接合部の引張性能を考慮した軸バネを設置することで、柱と水平材の接合部が破断するまでの開口部を有する土塗壁の荷重変形関係を概ね推定可能であること示した(図13)。



図11 開口部を有する実大土塗壁の静的載荷実験



図12 接合部の要素実験

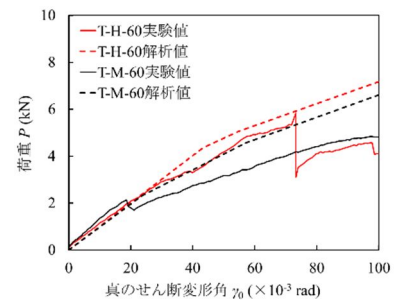


図13 荷重変形関係の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 駒松亮
2. 発表標題 立体フレームモデルを用いた愛媛県内子町における伝統的木造建物の耐震性能評価に関する研究
3. 学会等名 2021年度日本建築学会四国支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤宙
2. 発表標題 接合部の引張性能を考慮した開口部を有する土塗壁の荷重変形関係の推定
3. 学会等名 2021年度日本建築学会四国支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 駒松亮
2. 発表標題 愛媛県内子町における伝統的木造建物の耐震性能評価に関する研究 その2 簡易耐震性能評価法の提案
3. 学会等名 2021年度日本建築学会大会（東海）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀江優一
2. 発表標題 愛媛県内子町における伝統的木造建物の耐震性能評価に関する研究 その3 水平構面の剛性が地震応答特性に及ぼす影響
3. 学会等名 2021年度日本建築学会大会（東海）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宇都宮直樹
2. 発表標題 接合部の引張性能を考慮した開口部を有する土塗壁の荷重変形関係の推定 その1 実大実験
3. 学会等名 2021年度日本建築学会大会（東海）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤宙
2. 発表標題 接合部の引張性能を考慮した開口部を有する土塗壁の荷重変形関係の推定 その2 静的増分解析に基づく荷重変形関係の推定
3. 学会等名 2021年度日本建築学会大会（東海）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 植島隆介
2. 発表標題 愛媛県内子町における伝統的木造建物の耐震性能評価に関する研究
3. 学会等名 2020年度日本建築学会四国支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 植島隆介
2. 発表標題 愛媛県内子町における伝統的木造建物の耐震性能評価に関する研究
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会（関東）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古澤知也
2. 発表標題 四国地方における南海トラフ地震発生後の木造建物の被害推定に関する研究
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会（関東）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mitsuhiro Miyamoto
2. 発表標題 Study on Seismic Performance of Historic Wooden Buildings in a Japanese Preservation District
3. 学会等名 2nd Symposium on Seismic Rehabilitation of Heritage Structures（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 植島 隆介
2. 発表標題 南海トラフの予測地震動に対する伝統的木造建物の応答特性に関する研究
3. 学会等名 2019年度日本建築学会大会（北陸）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
---------	---------