

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：14301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06322

研究課題名(和文)吹抜と大垂壁付き架構を有する伝統木造住宅の合理的な耐震補強法の提案

研究課題名(英文) Seismic Reinforcement of Traditional Wooden Houses with Voids and Large Hanging Walls

研究代表者

杉野 未奈 (Sugino, Mina)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：80758368

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、吹抜と大垂壁付き架構を有する伝統木造住宅に対する合理的な耐震補強法を提案することを目標として研究を行った。まず、宮崎県日向市美々津町の吹抜およびスキップフロアを有する伝統木造住宅の耐震性能評価を行った。次に、伝統木造住宅の地震時挙動を分析するために、住宅の固有振動数に基づく簡易最大応答変形評価法を提案するとともに、内陸地殻内地震の震源近傍で生じるパルス性地震動の特性化法を提案した。最後に、耐震補強前と補強後の2体の大垂壁付き架構の静的加力実験および平面骨組解析モデルを用いたシミュレーション解析を行った。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study is to propose a seismic reinforcement of traditional wooden houses with voids and large hanging walls. First, we evaluate aseismic performance of traditional wooden houses in Mimitsu, Miyazaki prefecture which have voids and skip floors based on the structural investigation. Next, we propose a maximum response deformation evaluation method of traditional wooden houses based on microtremor measurements. We also propose a simplified characterization method of pulse-like ground motions. Finally, we conduct static loading tests and simulation analyses of two traditional timber frame structures with large hanging walls; one is applied seismic reinforcement and the other is not, respectively.

研究分野：耐震工学

キーワード：伝統木造建物 大垂壁 吹抜 構造調査 静的加力実験 耐震補強

1. 研究開始当初の背景

全国各地に存在する伝統木造住宅は、地域の気候や風土に適した構造的特徴を有する。例えば、宮崎県日向市美々津町に立地する伝統木造住宅には居間である「ナカノマ」に吹抜空間が存在することが確認されている。吹抜空間は重要な生活空間であり、採光や風の通り道となる。更に、吹抜空間に面するようにせいの高い垂壁を有する架構(以下、大垂壁付き架構)が存在する場合もある。大垂壁付き架構は複数の地域で確認されているが、架構の配置は気候や空間の使われ方に応じて地域毎に特徴がある。しかし、地震時には大垂壁付き架構の柱が折損する場合があります、柱が折損すると周辺の柱も連鎖的に折損し、鉛直荷重を支持できずに住宅の倒壊につながる危険がある。よって、柱の折損による住宅の倒壊を防ぐための効果的な耐震補強法が求められる。しかし、大垂壁付き架構の配置は地域によって様々であり、吹抜空間では水平面内での剛性が不足しているため、住宅が複雑な振動性状を示す可能性がある。よって、そのような住宅の地震時挙動を正確に分析し、脆弱な箇所を把握して耐震補強を行う必要がある。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、本研究では、吹抜と大垂壁付き架構を有する伝統木造住宅に対する合理的な耐震補強法の提案するため、伝統木造住宅について下記を目標とした研究を行う。

(1) 構造的特徴の解明

吹抜を有する伝統木造住宅の実例(本研究では、宮崎県日向市美々津町の住宅)について、構造調査結果を分析することにより、吹抜を有する住宅の架構の配置や寸法、振動特性および耐震性能を明らかにする。

(2) 地震時挙動の解明

想定される地震動に対する伝統木造住宅の地震時挙動を解明するため、住宅の固有振動数と最大応答変形角の関係を分析し、最大応答評価法を構築する。更に、想定される地震動として、内陸地殻内地震の震源近傍で生じるパルス性地震動を単純な波に特性化する手法を構築する。

(3) 耐震補強法の提案

耐震補強を施した大垂壁付き架構の静的加力実験を実施し、柱の折損を防ぐ合理的な耐震補強法の提案を目指す。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、下記の4つの研究を行う。

(1) 吹抜を有する住宅の耐震性能評価

図1に示すような吹抜およびスキップフロアを有する伝統木造住宅が建ち並ぶ宮崎県日向市美々津町(以下、美々津)に立地する住宅の耐震性能評価を行う。架構の配置や寸法といった構造的特徴を分析するとともに、1/30radでの1階の層せん断力を建物重量で除した降伏ベースシア係数を耐震性能評価の指標とした分析を行う。更に、スキップフロアを有する伝統木造住宅の簡便な耐震性能評価法の構築を念頭に、振動特性を評価可能な、2質点モデルの提案を行う。

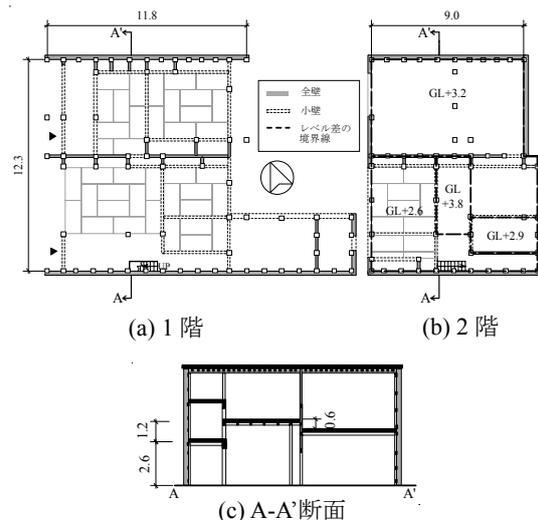


図1 スキップフロアを有する住宅の例(宮崎県日向市美々津町)

(2) 住宅の固有振動数に基づく最大応答評価

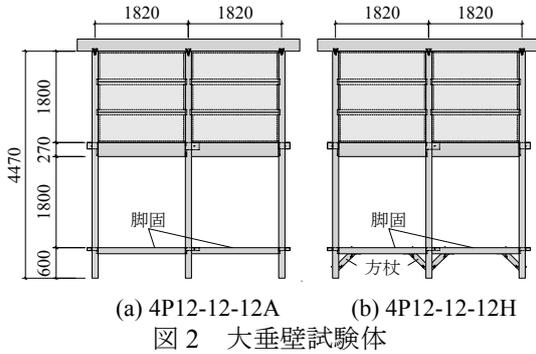
短時間かつ簡便に建物の固有振動数を容易に得ることができる常時微動計測に着目し、常時微動計測から得られる住宅の固有振動数から、地震動に対する最大応答変形を求めることを考える。本研究では、固有振動数の振幅依存性を表す動的変形特性の評価式を既往の静的加力実験結果、振動台実験結果、地震観測記録に基づいて構築する。そして、常時微動計測結果から得られる固有振動数と動的変形特性評価式に基づいた簡便な最大応答変形評価法を提案する。

(3) パルス性地震動の特性化

入力地震動が住宅の応答に与える影響を分析するためには、地震動を特性化した単純な波を用いることが有効であると考えられる。内陸地殻内地震の震源近傍で生じるパルス性地震動が住宅の応答に与える影響を分析するための足がかりとして、全世界で得られたパルス性地震動を分析する。また、パルス性地震動をフーリエ変換や波形の微積分を行うことなく簡便に特性化する方法を提案する。

(4) 耐震補強法の実験的検討

せいの高い垂壁と通し柱、差鴨居からなる大垂壁付き架構を有する伝統木造住宅の効果的な耐震補強法を提案するための足がかりとして、図2に示す耐震補強前と補強後の2体の試験体の静的加力実験を実施する。補強は、実建物に行われている耐震補強法の1つである柱脚拘束とする。更に、試験体2体の実験結果について、平面骨組解析モデルを用いたシミュレーション解析を行う。



(a) 4P12-12-12A (b) 4P12-12-12H
図2 大垂壁試験体

4. 研究成果

(1) 吹抜を有する住宅の耐震性能評価

算定した美々津の住宅の降伏ベースシア係数と固有振動数の関係を図3に示す。対象住宅の中には、降伏ベースシア係数が0.1を下回る住宅も存在した。また、美々津の伝統木造住宅の内部空間は、1階のナカノマ周りのせいの高い大きな垂壁に採光や通風を目的とした開口が設けられ、天井が高くなっていった。そのため、2階の床レベルが他の部屋の2階より高く、スキップフロアとなっていた。2階の床レベルは1-3段階変化し、高低差は最大約1.62mであった。スキップフロアを有する住宅の高さ方向では、1次固有振動数での振動モードで、レベルの異なる床の振幅が複雑に変化していることが分かった。

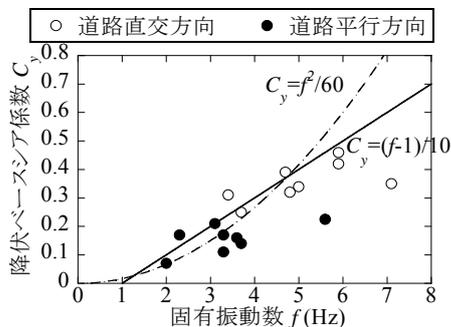


図3 降伏ベースシア係数-固有振動数
(宮崎県日向市美々津町)

更に、そのようなスキップフロアを有する伝統木造住宅の簡便な耐震性能評価を念頭に、本論文では振動特性を評価可能な、2質点モデルの提案を行った。本研究により、スキップ

フロアを有する伝統木造住宅についても、質量を2階床や屋根レベルに集中させ、層間剛性を適切に設定した2質点モデルによって振動特性を把握可能であることを明らかにした。

(2) 住宅の固有振動数に基づく最大応答評価

図4には、既往の研究で得られた京町家3棟の地震観測および2階建軸組架構4棟の振動台実験より求めた動的変形特性 f_e/f_0 を示す。ただし、 f_0 は常時微動計測から得た固有振動数、 f_e は、地動に対する頂部観測点の加速度フーリエスペクトル比のピーク振動数である。同図には、単位軸組架構の静的加力実験結果および京町家の地震観測記録、2階建軸組架構の振動台実験結果に基づいて構築した伝統木造住宅の動的変形特性の評価式(式(1))を併せて示している。

$$f_e/f_0 = b\{a \log_{10}(R \cdot 10^3) + 1\} \quad (1)$$

本評価式は、変形角 $R=1/1000 \sim 1/10 \text{ rad}$ を対象としており、 $a=-0.4$ 、 $b=0.6$ とする。 b については動的変形特性のばらつきを考慮するために、 $b=0.5, 0.7$ も用いる。

更に、構築した動的変形特性評価式と常時微動計測結果から得られる固有振動数に基づく簡易最大応答変形評価法を提案した。また、既往の実大伝統木造住宅の震動台実験結果を用いて評価法の精度検証を行った。

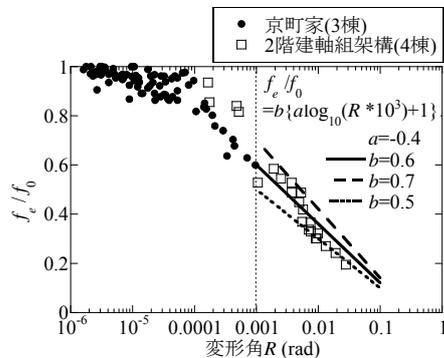


図4 動的変形特性の評価式および地震観測値、振動台実験値

(3) パルス性地震動の特性化

各地で観測されたパルス性地震動の特性値(卓越周期、最大地動速度、継続時間)を算定し、特性値の分布について分析した。更に、2016年熊本地震で観測された複数の卓越周期を有するパルス性地震動をフーリエ変換や波形の微積分を行うことなく簡便に特性化する方法を提案した。

2016年熊本地震 本震(4月16日1時25分発生)で観測された地震動に対して、本研究で提案した特性化法を適用した結果、熊本地震の地震動は1秒と3秒程度の卓越周期の2つの波に特性化され、観測地点によって2つの波の振幅や継続時間が異なることが確認された。図5には、KMMH16で観測された地

震動に適用した結果を例示する。なお、本研究では、住宅への影響が大きいと考えられる周期 1 秒程度以上の 2 つの波に特性化した。

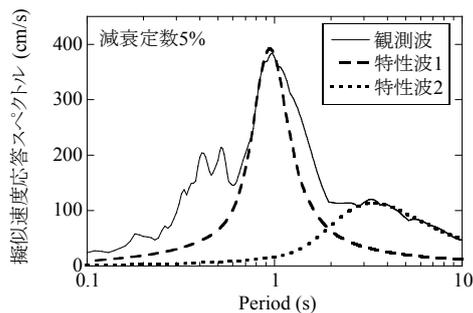


図 5 擬似速度応答スペクトル (KMMH16, EW 方向)

(4) 耐震補強法の実験的検討

大垂壁付き架構 2 体(図 2)の復元力特性の比較を図 6 に、全体の変形角 $R=1/30\text{rad}$ での軸組の曲げモーメント分布を図 7 に示す。まず復元力特性を見ると、柱脚拘束により試験体の水平剛性と耐力が上昇しているのが分かる。また、曲げモーメント分布を見ると、柱脚拘束により脚固上端での柱の曲げモーメントが増加し、各柱の反曲点位置が上昇しているのが分かる。次に、柱の折損時の全体の変形角 R と折損発生箇所について比較する。柱脚拘束前の 4P12-12-12A では $R=1/20\text{rad}$ で中柱が折損したが、4P12-12-12H では $R=1/30\text{rad}$ で中柱が折損した。以上より、柱脚拘束によって柱の反曲点が上昇し、試験体の耐力は上昇したが、柱の折損が補強前よりも小さい変形角で発生したと考えられる。

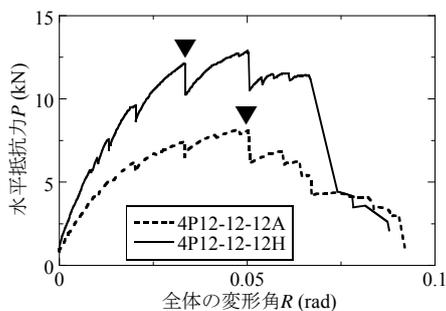


図 6 大垂壁試験体の復元力特性 (▼: 中柱の折損)

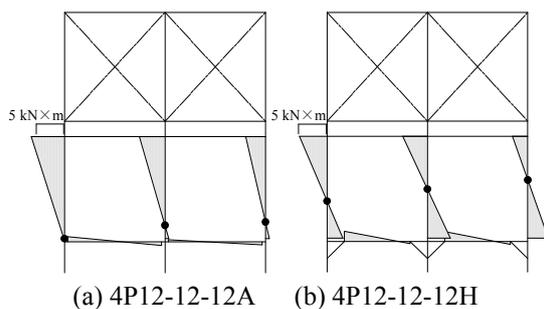


図 7 曲げモーメント分布

更に、試験体 2 体の平面骨組解析モデルを用いたシミュレーション解析により、実験で確認された柱脚拘束による柱の反曲点の上昇、試験体の耐力上昇、柱の折損の早期化を再現できることを示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 菖蒲 真生人、南部 恭広、杉野 未奈、渡辺 千明、林 康裕：宮崎県の重要伝統的建造物群保存地区（日向市美々津）の伝統木造住宅構造調査、日本建築学会技術報告集、査読有、第 23 巻、第 53 号、pp.123-128、2017 年 2 月
<http://doi.org/10.3130/aijt.23.123>
- ② 杉野 未奈、山室 涼平、小林 素直、村瀬 詩織、大村 早紀、林 康裕：2016 年熊本地震における益城町の建物被害の分析、日本地震工学会論文集、査読有、Vol.16、No.10、pp.69-85、2016 年 11 月
http://doi.org/10.5610/jaee.16.10_69
- ③ 杉野 未奈、大村 早紀、徳岡 怜美、林 康裕：常時微動計測を用いた伝統木造住宅の簡易最大応答変形評価法の提案、日本建築学会構造系論文集、査読有、第 81 巻、第 729 号、pp.1869-1879、2016 年 11 月
<http://doi.org/10.3130/aijs.81.1869>

[学会発表] (計 11 件)

- ① 杉野 未奈、村瀬 詩織、大村 早紀、林 康裕：2016 年熊本地震で観測されたパルス性地震動の簡易特性化、日本建築学会大会、2017 年 8 月、広島工業大学（広島県・広島市）
- ② 菖蒲 真生人、杉野 未奈、林 康裕：スキップフロアを有する伝統木造軸組架構の振動特性評価、日本建築学会大会、2017 年 8 月、広島工業大学（広島県・広島市）
- ③ 間平 一輝、加藤 奨、大村 早紀、杉野 未奈、林 康裕：柱脚拘束による大垂壁付き伝統木造軸組架構の耐震補強効果（その 1）静的加力実験、日本建築学会大会、2017 年 8 月、広島工業大学（広島県・広島市）
- ④ 加藤 奨、間平 一輝、大村 早紀、杉野 未奈、林 康裕：柱脚拘束による大垂壁付き伝統木造軸組架構の耐震補強効果（その 2）シミュレーション解析、日本建築学会大会、2017 年 8 月、広島工業大学（広島県・広島市）
- ⑤ 間平 一輝、大村 早紀、加藤 奨、杉野 未奈、林 康裕：柱脚拘束による大垂壁付き伝統木造軸組架構の耐震補強効果、日本建築学会近畿支部研究発表会、2017 年 6 月、大阪工業技術専門学校（大阪府、大阪市）
- ⑥ M. Sugino, S. Ohmura, S. Tokuoka and Y. Hayashi : Maximum Response Evaluation of

Traditional Wooden Houses Based on
Microtremor Measurements, World
Conference on Timber Engineering, 2016.8.,
University of Vienna (Vienna, Austria)

- ⑦ 澁谷 悦敬、杉野 未奈、林 康裕：パルス
性地震動に対する線形 1 自由度系の最大
応答変位簡易評価法の提案、日本建築学会
大会、2016 年 8 月、福岡大学（福岡県・
福岡市）
- ⑧ 菖蒲 真生人、南部 恭広、杉野 未奈、渡
辺 千明、林 康裕：宮崎県の重要伝統的建
造物群保存地区(日向市美々津)の木造住
宅構造調査 その 3 耐震性能評価 2016
年 8 月、福岡大学（福岡県・福岡市）
- ⑨ 澁谷 悦敬、杉野 未奈、林 康裕：パルス
性地震動に対する線形 1 自由度系の最大
応答変位の簡易評価、日本建築学会近畿支
部研究発表会、2016 年 6 月、大阪工業技
術専門学校（大阪府、大阪市）
- ⑩ 澁谷 悦敬、杉野 未奈、林 康裕：パルス
性地震動に対する線形 1 自由度系の最大
応答変位評価、日本地震工学会第 11 回
年次大会、2015 年 11 月、東京大学生産技術
研究所（東京都）
- ⑪ 杉野 未奈、横山 亮、林 康裕：大阪市域
の超高層建物群の最大応答変形評価、日
本建築学会近畿支部耐震構造研究部会シ
ンポジウム「大阪市域の大振幅予測地震
動と今後の耐震設計」2015 年 10 月、建設
交流会館（大阪府・大阪市）

6. 研究組織

(1)研究代表者

杉野 未奈 (SUGINO, Mina)

京都大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号： 8 0 7 5 8 3 6 8