

令和元年6月21日現在

機関番号：17102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H06932

研究課題名(和文) 常時微動計測に基づく伝統木造住宅における振動特性の長期的変化

研究課題名(英文) Long-term Changes in Vibration Characteristic of the Traditional Wooden House Based on Microtremor Measurement

研究代表者

南部 恭広 (NAMBU, Yasuhiro)

九州大学・人間環境学研究院・助教

研究者番号：80802298

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)：本研究で分析対象とする住宅は茅葺屋根を有するが、その水平剛性等の水平構面の特性が十分に知られているとは言い難いため、まずは常時微動計測に基づき住宅の主屋や下屋の水平剛性の変化が振動特性に与える影響を検討するとともに、茅葺屋根の水平構面の剛性を推定することを目的とした研究を行った。常時微動計測と構築した解析モデルの固有値解析から得た1次振動モードを比較することで、茅葺屋根の水平構面の剛性が、桁行方向で4.94kN/m(床倍率2.5)程度、梁間方向で4.94-9.88kN/m(床倍率2.5-5.0)程度と推定された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般に建築物の耐震性能や振動特性を評価する上で、鉛直構面の耐力要素をつなぎ水平力を各鉛直構面に伝達する役割を有する水平構面の構造性能を把握することは重要である。一方、様々な構法がみられる伝統構法の建築物においては、屋根や床といった水平構面の構造性能に関する研究の蓄積は十分とは言えず、耐震診断や補強時にその性能を想定するのが難しい現状がある。そこで、本研究では、茅葺屋根を有する伝統木造住宅を対象として、茅葺屋根の構造性能を推定を簡単・低コストかつ非破壊で実施可能である常時微動計測を用いた。

研究成果の概要(英文)：This paper reports the influence of Geya and thatched roof on vibration characteristic based on the result of structural investigation and microtremor measurement of the traditional wooden house with thatched roof. We create the analysis model by replacing each plane of structure with multi-mass shear system and perform eigenvalue analysis with the value of kh (the rigidity of the horizontal structure) / k_v (the rigidity of the vertical structure) as a parameter. Our conclusion are as follows. 1) Primary natural frequency is 2.7 Hz in the inter-beam direction and 3.4 Hz in the longitudinal direction. 2) In the the inter-beam direction, it is inferred that Extended Geya does not vibrate coupled with Omoya and the value of kh / k_v is about 1.0. In the longitudinal direction, it is inferred that it is inferred that Conventional Geya vibrate coupled with Omoya and the value of kh / k_v is about 1.0 to 2.0.

研究分野：木質構造

キーワード：伝統木造住宅 茅葺 常時微動計測 固有振動数 振動モード 水平剛性

1. 研究開始当初の背景

常時微動計測は簡単・低コストかつ非破壊で実施可能であるため、伝統木造住宅の簡略的な耐震診断への活用が期待されている。一方で、微動レベルで振動特性に影響を与える要因を分析する基礎的な研究は十分とは言えず、常時微動計測の技能を有する技術者でも、振動特性や耐震性能の解釈が困難な実情がある。本研究では、本学と長く関わりのある福岡県うきは市浮羽町新川・田籠地区に実存する茅葺屋根を有する伝統木造住宅を対象とした研究を行った。

2. 研究の目的

本研究は、常時微動計測に基づく伝統木造住宅の簡略的な耐震性能評価法の構築を目指し、実存する伝統木造住宅に対して常時微動計測を長期的・定期的に実施することで、振動特性の長期的変化を把握するとともに、微動レベルで振動特性に影響を与える要因の分析と振動特性の変化量の評価を行う。

長期的な変化を確認する前段階として、調査対象住宅の構造を構造調査により把握するとともに、常時微動計測により住宅の基本的な振動特性を分析する。特に本研究で分析対象とする住宅は茅葺屋根を有するが、その水平剛性等の水平構面の特性が十分に知られているとは言い難いため、まずは常時微動計測に基づき住宅の主屋や下屋の水平剛性の変化が振動特性に与える影響を検討するとともに、茅葺屋根の水平構面の剛性を推定することを目的とした研究を行った。

3. 研究の方法

まず、構造調査を実施し住宅の構造を把握する。次に、調査結果を基に、住宅の各構面を簡単なせん断質点系に置き換えた解析モデルを作成する。各構面ごとに算定した質量と鉛直構面の剛性の比と常時微動計測により得た振動モードとの対応を示す。最後に、全面土壁の基準剛性 k_v に対する水平構面の基準剛性 k_h の比 k_h/k_v をパラメータとした固有値解析を行う。得られた固有モードの形状と、常時微動計測により得た振動モードの形状を比較して、下屋の有無や茅葺屋根の水平剛性が振動モードに与える影響を示す。

調査対象住宅は、重要伝統的建造物群保存地区に指定されている福岡県うきは市新川・田籠地区に現存する平屋建て・茅葺屋根の住宅である。建築年代は、江戸期とされる。構造調査と常時微動計測は2018年2月8日に実施した。

4. 研究成果

(1) 調査対象住宅の構造

構造調査によって得られた調査対象住宅の構造を示す。住宅の平面図を図1に示す。調査対象住宅は、主屋部分とそれを取り囲む下屋部分で構成されている。北側の下屋は住宅竣工時から存在する従来下屋、東、西及び南側の下屋は住宅竣工後に増築された増築下屋である。主屋の架構高さ（GL-桁下端）は3475mmで、柱径は約120mmである。下屋の架構高さ（GL-桁下端）は2570mmで、柱径は約100mmである。柱は、主屋、下屋ともに礎石の上に載せた石場建てで、北西部分に位置する水回りのみ、高さ980mmのコンクリートブロックの腰壁から立ち上がっている。コンクリートブロックの腰壁があることや土壁小舞・柱の痕跡が見られることから東、西及び南側の下屋が増築されたと考えられている。壁はすべて土壁である。土壁は図3のように全面土壁（全壁）、垂壁、垂壁・腰壁の3種類の壁によって構成されている。図1の平面図に各壁の配置と壁高さ（GL-桁下端）、垂壁高さ（まぐさ下端-桁下端）、腰壁高さ（GL-まぐさ上端）及び壁厚を示す。主屋の屋根は、寄棟造の茅葺屋根で、東面のみ杉皮葺である。茅葺屋根の小屋組

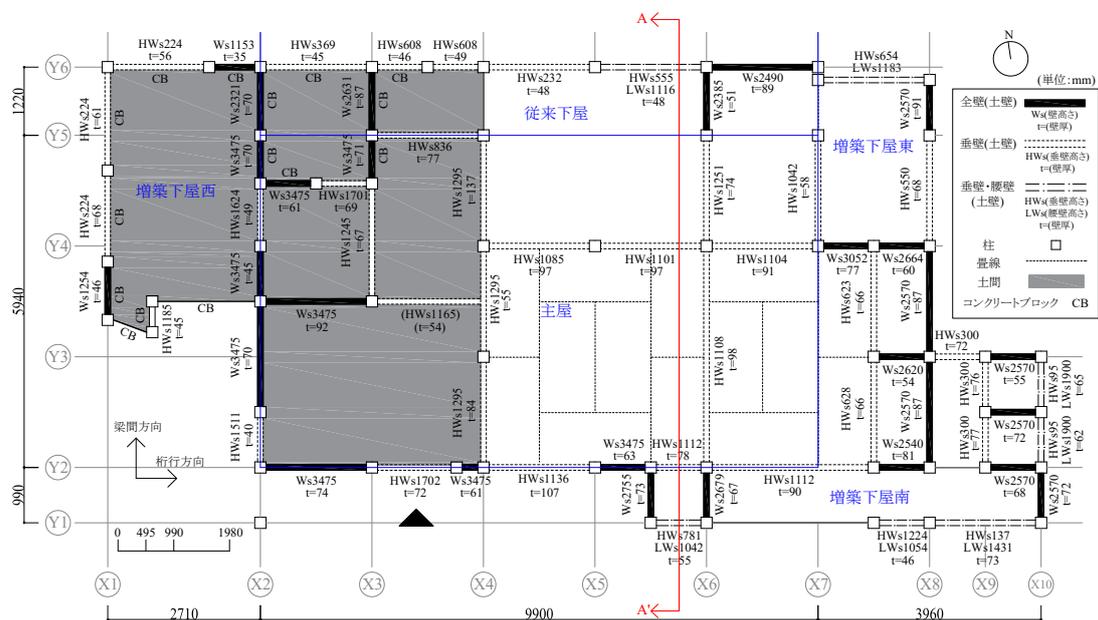


図1 平面図

は扱首のみで束を持たず、扱首は梁で受けている。扱首の径は約95mm～130mmである。茅葺屋根の下地は、屋中・垂木・木舞によって構成され、主に竹材を用い縄で結びつけられているが、垂木には竹材の他に木材が用いられている箇所もある。茅の厚さは約500mmである。下屋の屋根は、葺き土なしの棧瓦葺である。天井は図3のように竿縁天井と簀子天井がある。主屋の板張床部にある簀子天井の上には厚さ約80mmの土が載っている。床は土間と板張床で構成されており、主屋及び下屋の床面積（土間+板張床）はそれぞれ58.8m²、48.2m²である。

上記の構造調査結果をもとに、調査対象住宅の各構面をせん断質点系に置き換えた梁間8自由度、桁行6自由度の解析モデルを作成した。図2に解析モデルを示す。ここで、質点nの質量を m_n 、鉛直構面の剛性を k_n 、質点nと質点(n+1)間の水平構面の剛性を $k_{n(n+1)}$ とする。質点nの鉛直構面の剛性 k_n は、耐力要素として全壁、垂壁、垂壁・腰壁の剛性を単純加算して求める。耐力要素の剛性は復元力特性において層間変形角が1/120rad時の割線剛性とする。なお、質点を配置した構面上にない耐力要素の剛性は最も近い質点の鉛直構面の剛性に加える。質点nと質点(n+1)間の水平構面の剛性 $k_{n(n+1)}$ は、水平構面の基準剛性 k_h を、当該構面の長さ按比例させ、直交方向のスパンに反比例させる。 k_h は文献12)の壁厚60mmの全面土壁の復元力特性における1/120rad時の剛性 k_v (=593kN/rad/m)の k_h/k_v 倍であると仮定する。質量および剛性の算定方法は、主な発表論文等の論文を参照されたい。

(2) 振動特性

各計測地点でのフーリエスペクトル比を方向別に図2に示す。ここで、図2中の①-⑧は図3の計測地点でのフーリエスペクトルである。図2より梁間方向で振動数2.7Hzに、桁行方向で振動数3.4Hzにピーク振動数が見られる。以降より、1次固有振動数は梁間方向で2.7Hz、桁行方向で3.4Hzであるとする。

梁間・桁行の各方向の1次固有振動数における振動モードを図4に示す。なお、振動モードは、振動数2.7Hzでは梁間方向の最大振幅で基準化し、振動数3.4Hzでは桁行方向の最大振幅で基準化している。図4より梁間方向では主屋の西側よりも東側の方が振幅が大きく、桁行方向では概ね並進振動していることが分かる。

また、図4より、常時微動計測により得られた1次固有振動数における振動モードと、作成した解析モデルにおける各質点の鉛直構面の剛性 k_n と質量 m_n の比 k_n/m_n との対応を示す。梁間方向の振動モードにおいて、西側から東側にかけて振幅が大きくなり、主屋の k_n/m_n の値も質点2から質点7にかけて概ね小さくなる傾向が見られる。質点8の k_n/m_n の値は隣接する質点7よりも非常に大きい、振動モードの東側の振幅が大きいため、質点8は質点7と連成振動していないことが推察される。桁行方向の振動モードにおいて振幅が各計測地点で振幅が概ね等しく並進しているが、主屋の k_n/m_n の値は質点2から質点5にかけて小さくなっている。質点6の k_n/m_n の値は隣接する質点5よりも非常に大きいため、質点6が質点5と連成振動して質点5の振幅が抑えられ、並進振動のモードとなっていることが推察される。

(3) 固有値解析に基づく茅葺屋根の水平剛性の推定

増築・従来下屋があるX1、X8構面、Y1、Y6構面の有無と茅葺屋根の水平剛性が振動モードに与える影響を示す。解析モデルにおける全面土壁の基準剛性 k_v に対する水平構面の基準剛性 k_h の比 k_h/k_v をパラメータとした固有値解析による1次固有モードと常時微動計測による1次振動モード結果を比較する。

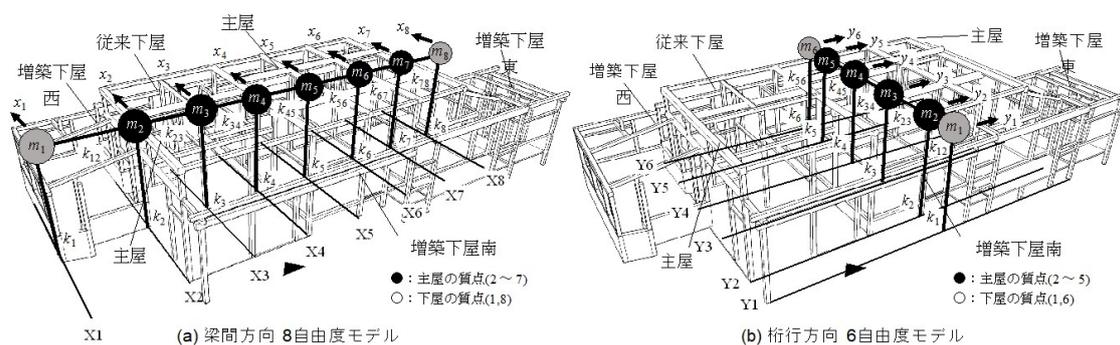


図2 解析モデル図

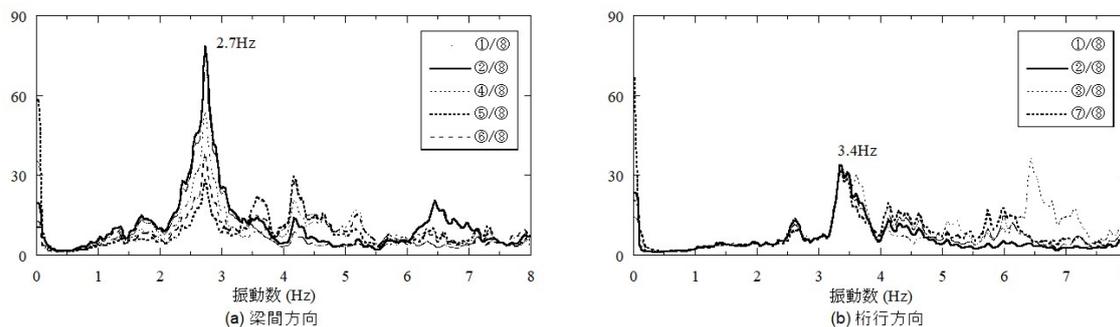


図3 フーリエスペクトル比

以下に固有値解析の条件を示す。主屋の構面の質点間の $k_{n(n+1)}$ (梁間： $k_{23}, k_{34}, k_{45}, k_{56}, k_{67}$ 、桁行： k_{23}, k_{34}, k_{45}) の算定に用いる k_h は屋根勾配による影響を無視し一様とする。下屋の構面と主屋の構面の質点間の $k_{n(n+1)}$ (梁間： k_{12}, k_{78} 、桁行： k_{12}, k_{56}) は、下屋がある構面の質点を含む場合は、主屋の k_h と同様と仮定して算定する。下屋がある構面の質点を含まない場合は、当該下屋の構面と主屋の構面の質点間の $k_{n(n+1)}=0$ とする。

k_h/k_v を0.5～10.0の範囲で変化させた固有値解析による1次固有モードと常時微動計測による1次振動モードを図5に示す。なお、固有モードと振動モードはそれぞれの最大振幅で基準化している。

梁間方向において、図5(a1)は、増築下屋がある質点1、質点8 (X1、X8構面)を含む解析結果、(a2)は、質点1、質点8を含まない解析結果である。図5(a1)では、 k_h/k_v の値にかかわらず質点5で振幅が大きく、東側と西側に行くほど振幅が小さくなる固有モードとなった。図5(a2)では、 k_h/k_v の値にかかわらず質点7で振幅が大きく、西側に行くほど振幅が小さくなる固有モードとなった。次に、固有モードと振動モードを比較する。図5(a1)では k_h/k_v の値を変化させても固有モードと振動モードの形状が一致しない。図5(a2)では $k_h/k_v=1.0$ で固有モードと振動モードの形状が概ね一致する。

桁行方向において、図5(b1)は、増築下屋がある質点1 (構面Y1)、従来下屋がある質点6 (Y6構面)を含む解析結果、(b2)は質点1を含まず質点6を含む解析結果、(b3)は、質点1、質点6を含まない解析結果である。図5(b1)では、質点4と質点5で振幅が大きく、北側と南側に行くほど振幅が小さくなる固有モードとなった。図5(b2)も(b1)と同様の傾向の固有モードとなったが、これは図4のように質点1の k_h 及び m_n の値が小さく、質点1の影響が小さいためであると考えられる。図5(b3)では、 k_h/k_v の値にかかわらず質点5で振幅が大きく、南側に行くほど振幅が小さくなる固有モードとなった。また、 k_h/k_v の値が0.5～1.0のとき、図5(b3)は(b1)、(b2)と比べて、比較的各質点の振幅の差が大きい固有モードとなった。次に、固有モードと振動モードを比較する。振動数3.4Hzの振動モードが概ね並進であり、 k_h/k_v を大きくするほど、図5(b1)、(b2)、(b3)のすべてで固有モードと振動モードの形状が近づいていくが、(b1)では $k_h/k_v=2.0$ 、(b2)では $k_h/k_v=1.0$ 、(b3)では $k_h/k_v=5.0$ で固有モードと振動モードの形状が概ね一致する。

上記の考察から、梁間方向では増築下屋があるX1、X8構面は主屋の構面と連成振動していないことが推察される。このとき、 k_h/k_v の値は1.0程度で固有モードと振動モードの形状が概ね一致する。桁行方向では従来下屋があるY6構面は主屋の構面と連成振動していることが推察される。このとき、 k_h/k_v の値は1.0～2.0程度で固有モードと振動モードの形状が概ね一致する。

(4) まとめ

本報では、福岡県うきは市新川・田竈地区に現存する茅葺屋根・平屋建ての伝統木造住宅に対して構造調査及び常時微動計測を実施し、常時微動計測に基づき下屋や茅葺屋根が振動特性に与える影響を検討した。まず、住宅の構造の詳細を示すとともに、構造調査結果を基に、住宅の各構面を簡単なせん断質点系に置き換えた解析モデルを作成した。次に、全面土壁の基準剛性 k_v に

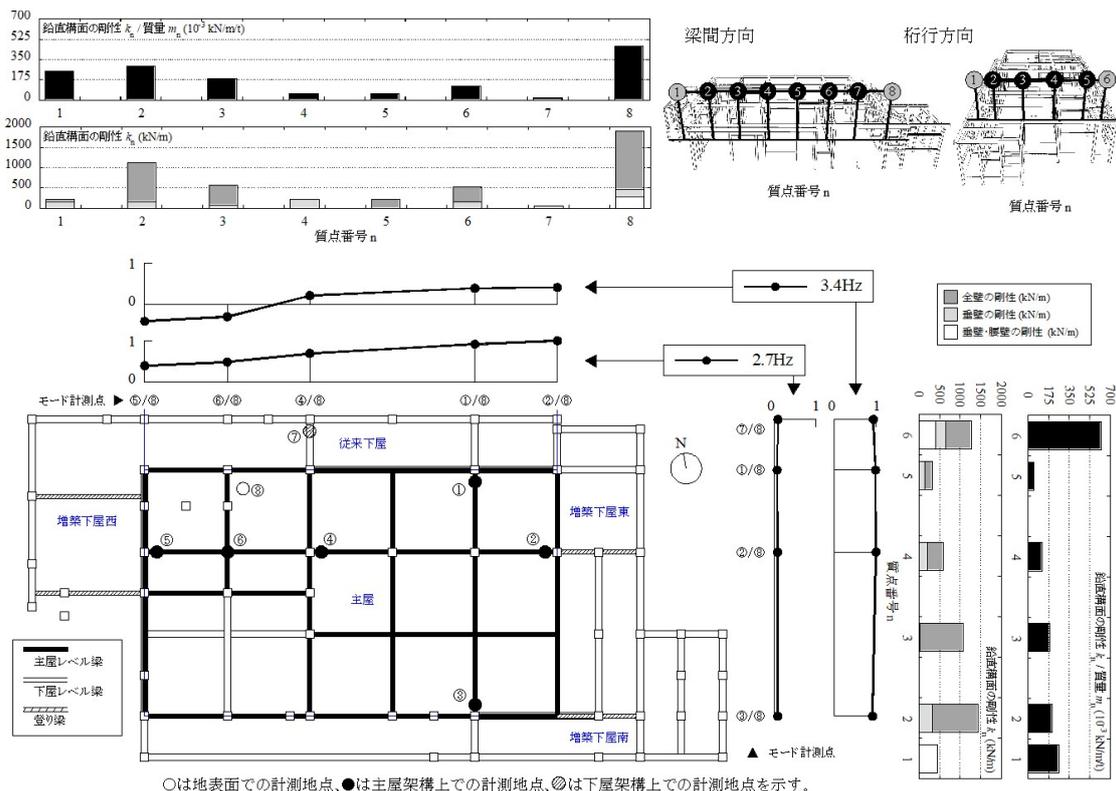


図4 架構図・各質点の鉛直構面の剛性(kN/m)および鉛直構面の剛性(kN/m)/質量(t)・振動モード (2.7Hz、3.4Hz)

対する水平構面の基準剛性 k_h の比 k_h/k_v をパラメータとした固有値解析を行い、得られた1次固有モードの形状と常時微動計測により得られた1次振動モードの形状を比較して、下屋の有無や茅葺屋根の水平剛性が振動モードに与える影響を示した。

得られた知見を以下に示す。

- 1) 調査対象住宅は、茅葺屋根の主屋とそれを取り囲むように桝瓦葺屋根の下屋が配される。北側の下屋は住宅竣工時から存在する従来下屋で、東、西及び南側の下屋は住宅竣工後に増築された増築下屋である。
- 2) 常時微動計測で得られた1次固有振動数は、梁間方向で2.7Hz、桁行方向で3.4Hzであった。1次振動モードは、梁間方向では主屋の西側よりも東側の方が振幅が大きく、桁行方向では概ね並進振動している。
- 3) 梁間方向では増築下屋がある構面は主屋の構面と連成振動していないことが推察される。このとき、 k_h/k_v の値は1.0程度で固有モードと振動モードの形状が概ね一致する。桁行方向では従来下屋がある構面は主屋の構面と連成振動していることが推察される。このとき、 k_h/k_v の値は1.0～2.0程度で固有モードと振動モードの形状が概ね一致する。
- 4) 梁間方向では、増築下屋を含めて耐震性能を評価すると、危険側に評価するおそれがある。

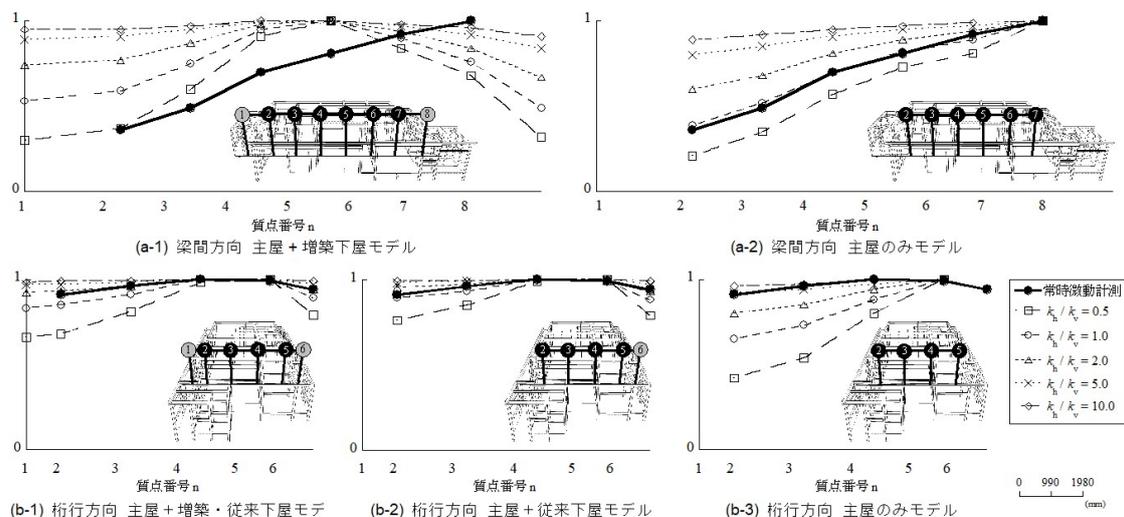


図5 常時微動計測による振動モードと固有値解析による固有モード(最大振幅で基準化)

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計5件)

- ①南部恭広, 田畑裕貴, 佐藤利昭, 蛭川利彦: 茅葺屋根を有する伝統木造住宅の振動特性と耐震性能評価(その3)振動解析モデルの構築, 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅲ, 2019.9. (掲載予定)
- ②田畑裕貴, 南部恭広, 佐藤利昭, 蛭川利彦: 茅葺屋根を有する伝統木造住宅の振動特性と耐震性能評価(その4)固有値解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅲ, 2019.9.(掲載予定)
- ③田畑裕貴, 南部恭広, 佐藤利昭, 蛭川利彦: 茅葺屋根を有する伝統木造住宅の常時微動計測と固有値解析, 日本建築学会研究報告 九州支部 1, 構造系, pp.613-616, 2019.3.
- ④南部恭広, 田畑裕貴, 佐藤利昭, 蛭川利彦: 茅葺屋根を有する伝統木造住宅の振動特性と耐震性能評価(その1)現地調査結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅲ, pp.207-208, 2018.9.
- ⑤田畑裕貴, 南部恭広, 佐藤利昭, 蛭川利彦: 茅葺屋根を有する伝統木造住宅の振動特性と耐震性能評価(その2)住宅の耐震性能評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅲ, pp.209-210, 2018.9.

6. 研究組織

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。