

平成 30 年 6 月 29 日現在

機関番号：14303

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18153

研究課題名(和文) 伝統木造建物の土壁の健全度診断法の構築とそれを反映した崩壊挙動解析法の開発

研究課題名(英文) Development of the non-destructive test of mud wall and the analysis method of collapse behavior of traditional wooden buildings

研究代表者

村本 真 (MURAMOTO, MAKOTO)

京都工芸繊維大学・デザイン・建築学系・講師

研究者番号：70510296

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、伝統木造建物の土壁の評価を取り入れたシミュレーション技術を構築し、伝統木造建物の保存・再生に活用することを目的とした。既存の伝統木造建物の土壁の性能を把握するために、壁土の圧縮実験と押込試験を用いる柔さ計測システムを組み合わせる方法を開発した。これを既存建物に適用することで、その耐震性能を実情に合わせて評価する仕組みを提案している。さらに、伝統木造建物の解析法の構築のために、増分摂動法を採用した高精度な木造解析法を提案した。土壁の荷重-変形関係の予測法、土壁の繰り返し履歴則のモデル化手法、増分摂動法による動的解析法における計算時間短縮方法についても提案している。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed the simulation technique which can evaluate the structural performance of the mud wall of traditional wooden buildings. This is intended to be used for conservation and revitalization of traditional wooden buildings. In order to grasp the performance of mud walls of existing traditional wooden buildings, we developed a method to evaluate the strength of the clay by using a non-destructive method. Furthermore, we developed the Beam-Column FEM method using increment perturbation method for the traditional wooden buildings. And the analysis results predicted the experimental results at high accuracy. We also proposed the estimation method of the envelope curve of mud walls, modeling method of the cyclic hysteresis of mud walls and shortening the computation time in the dynamic analysis method by the incremental perturbation method. By applying these techniques to an existing building, we proposed a system to evaluate structural performance.

研究分野：建築構造

キーワード：伝統木造 土壁 壁土 健全度診断 押込試験 圧縮強度 めり込み 数値解析法

1. 研究開始当初の背景

木構造のシミュレーション技術については、2013年の日本建築学会北海道大会の構造部門(応用力学)のパネルディスカッション「建物の強非線形挙動の再現における可能性と課題」で、個別要素法を用いた解析技術が示され、建物の大変形領域や倒壊までを対象にできることが報告された。その全体討論では、木構造ではまだまだ表現できないものがあるのではないかという質疑もあり、木構造解析技術の今後の展開に期待が込められていた。

申請者は、これまでに伝統木造のための立体骨組解析法を開発してきた^{1),2)}。この解析法では、接合部の履歴特性を実験的に把握してモデル化し、梁要素の両端で考慮する手法を採用している。例えば、柱脚ばねの導入により柱傾斜復元力を表現でき、実験結果に似た履歴を得ることができた¹⁾。しかしながら、種々の接合部の復元力モデルは実験に依り限られていたこと、壁要素を扱っていないことから、建物全体を精度良く解析するまでに至っていなかった。

また、既存の土壁を有する伝統木造建物の構造性能が十分に明らかになっておらず、現地で「非破壊に近い方法」で土壁性能を評価する手法がないため、既存建物全体の性能を示すことも難しい。

土壁を現地で非破壊的に評価する方法が提供され、それを反映した土壁要素、接合部や柱脚等の構造特性を総合して木造建築物の部材応答を含む崩壊挙動を精度良く予測できる解析法を提供することは、文化財を含め伝統木造を保存・再生するためにも必要である。

参考文献

- 1) 三好奈津子, 村本 真, 森迫清貴: 伝統木造解析法のための柱傾斜復元力を考慮した柱脚回転ばねモデルの検討, 日本建築学会近畿支部研究報告集・構造系, 第50号, pp. 365-368, 2010
- 2) 松永昌之, 村本 真, 森迫清貴: 接合部履歴特性を考慮した伝統木造の大変位立体骨組解析法, 日本建築学会近畿支部研究報告集・構造系, 第47号, pp. 381-384, 2007

2. 研究の目的

本研究は、伝統木造建物の土壁の評価を取り入れたシミュレーション技術を構築し、伝統木造建物(文化財建物へも展開)の保存・再生に活用することを目的とする。既存の伝統木造建物の土壁の性能を把握することは、鉄筋コンクリート構造物のようにテストピースを抜き取るのも容易ではなく、非破壊検査を念頭においた新しい手法を開発する必要がある。本研究では、壁土の圧縮実験と柔さ計測システムを組み合わせ、伝統木造建物の健全度を壁土の堅さから評価する手法の構築に取り組む。これを既存建物に適用することで、その耐震性能を実情に合わせて評価できる仕組みを提案する。さらに、伝統木造建物の解析法へ組み込むことで、既存建物の現状を反映したシミュレーション技術を確立する。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するため大きく分けて2段階で計画を実行した。壁土の健全度診断法の構築を目的に、壁土の押し込み試験と圧縮試験を実施して強度、堅さに関する結果の関連性を調べる。これを基にして、現地調査により、既存伝統木造建物の壁土の評価を可能にする。これらの結果から既存伝統木造の健全度を評価する手法が構築される。次に、伝統木造の崩壊挙動解析法を開発を、適切な応力-ひずみ関係のモデル化、土壁実験を再現し、先の健全度評価も反映した壁要素モデルの提案を行って、解析プログラムを構築する。

4. 研究成果

研究成果は、以下の2つにまとめられる。

([]は5.の〔雑誌論文〕番号を示す。)

(i) 伝統木造建物の健全度診断手法の構築

土壁の健全度評価を行うため、押込試験装置を用いて、微小損傷検査法を土壁の健全度評価手法として構築した。

はじめに、実験室で繰り返し載荷実験のた

めに製作した実大土壁試験体の表面を実験前と実験後に計測し、損傷の有無により計測値が変化することを確認した^[9]。計測時における圧子形状は球圧子よりも平圧子を用いることが良く、平圧子によればデータ処理上のエラー数が低下し、壁(土)面上の平均的な性質を評価しやすい。なお、本研究の押込試験には、YAWASA(MSES-5012-1-SL)を用いている。加えて、既往文献上の壁土の強度特性についてデータベースを構築した^[11]。

次に、15種類の壁土試験体の表面を押込試験で計測し、その後、同試験体で圧縮試験を行った。この2つの計測結果を比較することにより、押込試験の荷重-変位関係(図1)上の特定荷重時における割線勾配が圧縮試験の応力-ひずみ関係(図2)上の圧縮強度に相関が高いことを示すことができた(図3)。これにより、図4に示すように、押込試験結果から壁土の圧縮強度を推定することができた^[3]。また、先の相関関係から、壁土の応力ひずみ関係モデルの概形のおおまかな推定を行うこともできた^[3]。

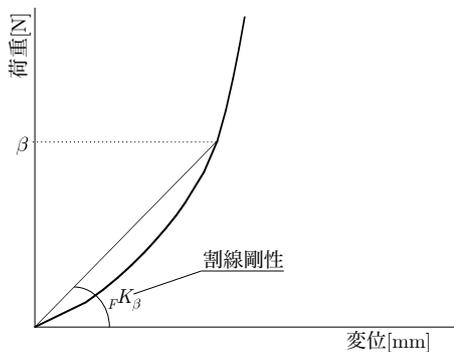


図1 押込試験の荷重-変位関係

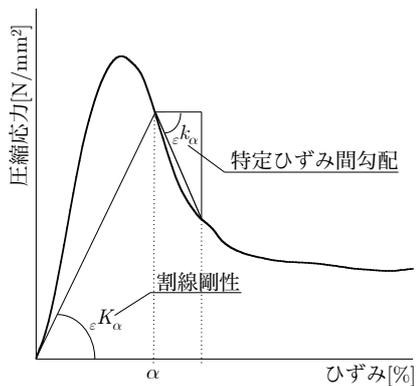


図2 圧縮試験の応力-ひずみ関係

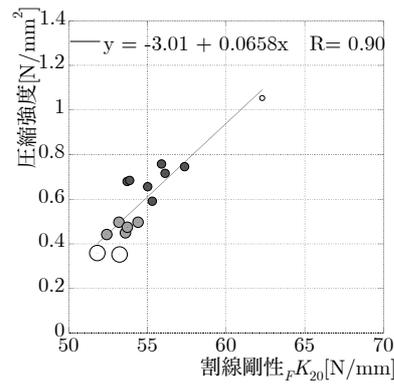


図3 押込試験と圧縮試験の相関

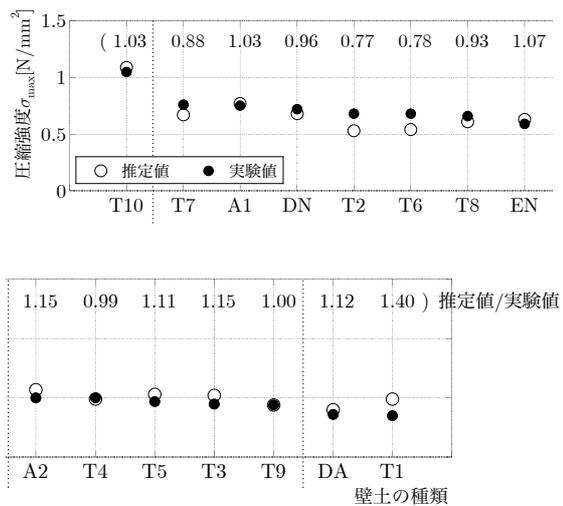


図4 推定結果の比較

最後に、既存建物4棟における評価を試み、京町家、地方民家等でその強度推定を試みた^[1]。その結果、図5に示すように、押込試験結果の計測値のばらつきは、実験室における壁土試験体や土壁試験体におけるばらつきとそれほど変わらないことがわかった。そこで、上記の相関関係から既存建物土壁の壁土の強度推定を行った。実験室上の計測値よりも若干小さな強度推定となることがわかった。しかしながら、この原因は経年劣化によるものか、建設時に強度が小さい壁土を用いていたためかは、未確定である。

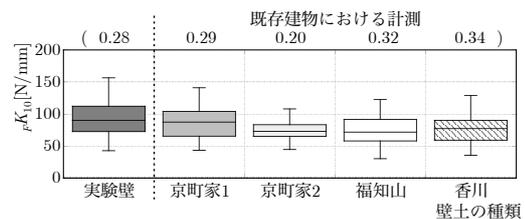


図5 既存建物における計測結果

壁土強度推定を、圧縮試験体を製作することなく、押込試験による表面検査により把握できることから、新築の現場監理等において本手法を活用することができるものと思われる。

(ii) 伝統木造建物の崩壊挙動解析法の開発

崩壊挙動解析法の開発は、増分摂動法を用いた解析基礎理論¹⁾とコードをベースとすることとして、土壁モデルの作成^{[4],[6]}、木造接合部の解析モデルの作成、動的解析法における解析時間の短縮^{[5],[10]}を行った。

土壁の解析モデルは、これまでに申請者が実施してきた土壁実験の結果^{[8],[12]}を統計的に分析することで作成した。このモデルでは最大耐力のみを必要とする。なお、土壁の最大耐力等は、実験に依らず文献^[7]等により決めることも考えられる。

木造軸組の高精度な解析を実現するため、鋼構造を対象とした文献 1) のファイバーの応力ひずみ関係モデルを 2 軸が連成しないモデルとすることができることを応用し、これを木材の異方性の取り扱いとみなして、接合部のモデルを構築した。これらに、木材の材料特性から繊維方向とめり込み方向の強度特性をそれぞれに与え、接合部実験および骨組実験の解析をかなりの精度で実現することができた。図 6 に解析結果の一例として、鉛直荷重の有無が異なる長柄込み栓打ち接合部を有する T 字試験体の繰り返し载荷実験²⁾を単調载荷で解析した例を示す。▼印は柄の破壊点であるが、最大耐力点まではかなりの精度で予測できている。

上記の解析法では、動的解析法への展開を考えると計算時間の短縮が必要であった。そこで、時間刻み幅を自動決定する利点を残しながら、加速度法系の定時間刻みを併用する方法で解析精度の維持と解析時間の短縮を図る方法を提案^{[5],[10]}した。木造解析法への適用は未実施であるが、解析法のベースは同じであることから本手法の適用は比較的容易であ

ると思われる。

参考文献

- 1) 王丹, 林慶樹, 村本真, 森迫清貴: ファイバー要素でせん断変形を考慮した弾塑性平面梁-柱有限要素モデル, 日本建築学会構造系論文集, 第 82 巻, 第 737 号, pp. 1035-1045, 2017. 7
- 2) 西村 督, 後藤正美, 鈴木祥之: 木造軸組構法における長ほぞ込栓打ち接合部の応力伝達に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 75 巻, 第 658 号, pp. 2197-2204, 2011. 3

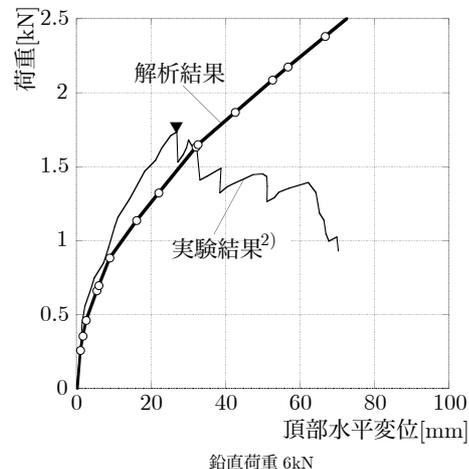
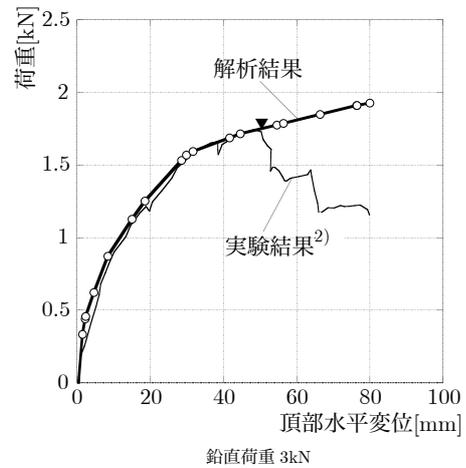
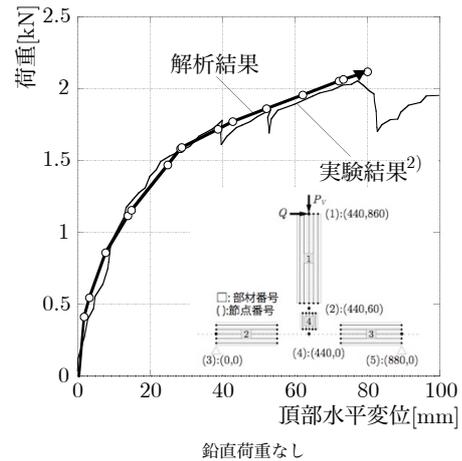


図 6 木造接合部の解析結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計12件)

- [1] 牛谷和弥, 村本 真: 実大土壁における押込試験機を用いた壁土の強度推定, 日本建築学会近畿支部研究報告集・構造系, 第58号, pp. 509-512, 2018. 6, 査読無
- [2] 井上祥子, 村本 真: ファイバー要素でめり込みを考慮した梁-柱有限要素による木造接合部及び軸組の数値解析, 日本建築学会近畿支部研究報告集・構造系, 第58号, pp. 257-260, 2018. 6, 査読無
- [3] 牛谷和弥, 村本 真: 壁土の圧縮試験から得た材料特性と押込試験結果の関係性, 構造工学論文集, Vol. 64B, pp. 463-471, 2018. 3, 査読有
- [4] 午來嵩顕, 村本 真: 京土壁の載荷実験に基づく繰り返し履歴曲線のモデル化, 日本建築学会近畿支部研究報告集・構造系, 第57号, pp. 389-392, 2017. 6, 査読無
- [5] 神原真帆, 村本 真: 弾塑性骨組の動的解析のための高次摂動係数を用いた増分摂動法-動的増分摂動法の計算時間の短縮-, 日本建築学会近畿支部研究報告集・構造系, 第57号, pp. 465-468, 2017. 6, 査読無
- [6] 田邊雄太, 午來嵩顕, 村本 真: 実験曲線の統計的検討による京土壁の復元力特性の推定, 日本建築学会近畿支部研究報告集・構造系, 第56号, pp. 601-604, 2016. 6, 査読無
- [7] 村本 真, 田邊雄太: 京土壁の静的繰り返し載荷実験に基づく壁倍率の統計的検討, 日本建築学会近畿支部研究報告集・構造系, 第56号, pp. 597-600, 2016. 6, 査読無
- [8] 藤本ゆかり, 牛谷和弥, 村本 真, 森迫清貴: 京土壁の性能における左官技能の経験差, 日本建築学会近畿支部研究報告集・構造系, 第56号, pp. 585-588, 2016. 6, 査読無
- [9] 牛谷和弥, 村本 真, 佐久間淳: 押込試験

を用いた土壁の健全度評価の試み, 日本建築学会近畿支部研究報告集・構造系, 第56号, pp. 573-576, 2016. 6, 査読無

- [10] 神原真帆, 村本 真: 増分摂動法とNewmark- β 法の動的解析で生じる誤差-動的増分摂動法の計算時間の短縮-, 日本建築学会近畿支部研究報告集・構造系, 第56号, pp. 137-140, 2016. 6, 査読無
- [11] 午來嵩顕, 平田 良, 村本 真, 森迫清貴: 壁土の圧縮強度・せん断強度・弾性係数について, 日本建築学会近畿支部研究報告集・構造系, 第55号, pp. 301-304, 2015. 6, 査読無
- [12] 平田 良, 午來嵩顕, 村本 真, 森迫清貴: 製作した左官が異なる京土壁の繰り返し載荷実験, 日本建築学会近畿支部研究報告集・構造系, 第55号, pp. 305-308, 2015. 6, 査読無

〔学会発表〕(計9件)

- [1] 午來嵩顕, 村本 真: 京土壁の載荷実験に基づく繰り返し履歴曲線のモデル化, 日本建築学会大会, 広島工業大学, 2017. 9
- [2] 神原真帆, 村本 真: 弾塑性骨組の動的解析のための高次摂動係数を用いた増分摂動法-動的増分摂動法の計算時間の短縮-日本建築学会大会, 広島工業大学, 2017. 9
- [3] 田邊雄太, 午來嵩顕, 村本 真: 実験曲線の統計的検討による京土壁の復元力特性の推定, 日本建築学会大会, 福岡大学, 2016. 9
- [4] 神原真帆, 村本 真: 増分摂動法とNewmark- β 法の動的解析で生じる誤差-動的増分摂動法の計算時間の短縮-, 日本建築学会大会, 福岡大学, 2016. 9
- [5] 藤本ゆかり, 牛谷和弥, 村本 真, 森迫清貴: 京土壁の性能における左官技能の経験差, 日本建築学会大会, 福岡大学, 2016. 9
- [6] 森迫清貴, 田邊雄太, 村本 真, 平田 良:

土壁の静的繰り返し载荷実験に基づく壁倍率の統計的検討(その1), 日本建築学会大会, 福岡大学, 2016. 9

[7] 村本 真, 田邊雄太, 森迫清貴: 土壁の静的繰り返し载荷実験に基づく壁倍率の統計的検討(その2 京土壁), 日本建築学会大会, 福岡大学, 2016. 9

[8] 平田 良, 午來嵩顕, 村本 真, 森迫清貴: 製作した左官が異なる京土壁の繰り返し载荷実験, 日本建築学会大会, 東海大学湘南キャンパス, 2015. 9

[9] 午來嵩顕, 平田 良, 村本 真, 森迫清貴: 壁土の圧縮強度・せん断強度・弾性係数について, 日本建築学会大会, 東海大学湘南キャンパス, 2015. 9

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村本 真 (MURAMOTO, Makoto)

京都工芸繊維大学・デザイン・建築学系・講師

研究者番号: 70510296

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

森迫清貴 (MORISAKO Kiyotaka) 京都工芸繊維大学・学長

井上祥子 (INOUE Sakiko)

牛谷和弥 (USHITANI Kazuya)

神原真帆 (KAMBARA Maho)

午來嵩顕 (GORAI Takaaki)

藤本ゆかり (FUJIMOTO Yukari)

田邊雄太 (TNABE Yuta)

平田 良 (HIRATA Ryo)

以上, 京都工芸繊維大学学部生・大学院生(当時)