

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420596

研究課題名(和文) 動的縮約モデルを用いた柔床・多構面モデルの非線形システム同定法

研究課題名(英文) System identification method for structural model with soft floor and force resistance frame based on dynamic reduced model

研究代表者

吉富 信太 (Yoshitomi, Shinta)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：30432363

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、既存建物の耐震性能評価のために、建物の振動計測に基づいて構造特性を明らかにする手法の構築を目指すものである。特に、耐震性能評価の需要の高い、古い木造建物にも適用可能な手法とするために必要な理論を構築し、数値解析により妥当性を検証した。開発した技術は、木造建物の特徴である柔床を有するモデルに対し、複雑な非線形復元力特性を推定可能な手法や、木造多層塔に対して一部の計測データが得られない場合にも推定を可能にする手法等、実用性へ配慮した独創的なものである。

研究成果の概要(英文)：This research aims to establish a basic method which can clarify structural characteristics of existing building structures and estimate seismic performance based on recorded vibration data. Especially, necessary theories are proposed which are applicable to old timber structures which are required urgent estimation of seismic performance and the validity of those theories are examined by numerical examples. Newly developed techniques can be applied to timber structures with soft floor and complicated nonlinear structural performance which are one of the characteristics of timber structures or can be applied to timber multi storied structures even though responses are not recorded at some floors.

研究分野：建築構造

キーワード：システム同定 非線形 木造 柔床 多構面 立体 復元力特性

1. 研究開始当初の背景

近年頻発する大規模地震動を受け、既存不適格の古い木造建築などの耐震改修が急務であり、建物個別の性能評価法の確立が望まれている。このような背景を受け、木造建物の常時微動計測を利用したシステム同定を行い、保有性能や健全性を確認する提案がなされている。

耐震性の評価のためには、建設後の建物の実態を適切に反映した全体解析モデルの実現が望まれるが、現状の木造建物に適用されるシステム同定法では、建物全体を1質点あるいは、建物各層を1質点としたせん断モデルを採用することが一般的である。

しかしながら、伝統的構法による木造建物は、床の剛性が低く床の変形が生じるため、剛床仮定が妥当でない場合がある。また構面ごとの抵抗機構が大きく異なる場合比較的大きなねじれ応答が生じることもあり、各層を1質点としてモデル化することは精度の面から課題がある。

もう一点の木造建物のモデル化の困難点は、要素モデルの組合せで全体を構築しても、全体の時刻歴応答を精度よく表現するのが困難な点にある。即ち、要素モデル特性と全体モデル特性の間のギャップについて十分な知見が得られているとはいえない。

S造やRC造と比べて、木質構造物は抵抗機構が複雑な非線形挙動を示すが、木造建物の接合部や壁要素などの部分要素実験に基づいて高精度な要素モデルが数多く提案されている。一方、木造建物の全体の実大振動台実験もいくつか実施されており、この両者の成果を有効に関連付けることにより、適切な全体モデルの構築法の確立が望まれる。

そのためには、実際の木造建築の全体モデルが保有する性能の実態を明らかにできる木造建物に適した非線形システム同定法の開発が有用である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、古い木造建物など、剛床仮定が成立しない建物について、床のねじれ応答なども考慮して建物各部位の剛性等の物理パラメータを同定する手法を提案することにある。

近年頻発する大規模地震動を受け、既存不適格の古い木造建築などの耐震改修が急務であり、建物個別の性能評価法の確立が望まれている。既往の建築構造物の物理パラメータ同定法の多くは、層単位の力学特性を推定するものであり、木造建物の特徴の一つである剛性の低い柔床を有するモデルを直接扱ったシステム同定法はこれまでに提案されていない。本研究では、柔な床や複数の構面で構成される木造立体建物を対象として、各構面の振動計測データに基づいて、床剛性や各構面剛性等の詳細な建物各部位の物理特性を明らかにすることを目的とする。

また木造の多層構造である木造多層塔な

どでは層の概念があいまいでかつ、各層の振動が計測できない場合がある。このように建物の挙動が複雑になり、自由度が増すと、必ずしも全ての自由度の応答を計測することが出来ずに、一部の応答未観測位置が生じる恐れがある。このような場合についても各部位の物理パラメータ特性を推定可能な手法は実用上価値が高いといえる。

さらに、木造の場合、非線形の物理特性の推定が重要であるが、非線形の復元力特性の推定を直接扱った手法は確立していないため、本研究課題で非線形復元力特性の推定法を提案する。

本手法が確立されれば、伝統的構法に基づく既存の木造建築の耐震性能の評価のみならず、木造建築物の適切な解析モデルの構築まで統一的に実現できることが期待できる。

3. 研究の方法

上記の背景を受け本研究では、(1)『動的応答の等価性条件に基づく動的縮約モデルの提案』、(2)『応答非観測部位を含む建築構造物のシステム同定法』、(3)『柔床・多構面を有する木造建物の非線形物理パラメータの同定法』の3つの個別の目的を設定して、各目的に応じた手法を提案する。

(1)動的応答の等価性条件に基づく動的縮約モデルの提案

骨組構造物の減衰力や慣性力の効果まで考慮に入れた、動的縮約モデルを提案する。動的縮約モデルは、骨組構造物などの多自由度モデルの時刻歴応答を精度よく評価可能な、水平自由度のみを有するモデルである。これまでに静的応答が等価になる静的縮約モデルは提案されているが、動的応答を等価にする動的縮約モデルは確立していない。

(2)応答非観測部位を含む構造物のシステム同定法

動的縮約モデルを利用すると、例えば水平方向の応答などの一部の限定された応答のみを用いて、建物の詳細な挙動を精度よく評価することができる。この性質を逆に利用することにより、床の変形やねじれ応答を含む構造物の物理パラメータを推測するより一般的な手法を構築する。

(3)柔床・多構面を有する木造構造物の非線形物理パラメータの同定法

木造建物の荷重抵抗機構は複雑な非線形挙動を示すため、動的振動台実験を行っても得られた結果に基づいて木造建物の適切な解析モデルを推定することは非常に困難を伴う。この点を解決するために、動的縮約モデルの理論を拡張して、非線形物理パラメータの推定法を構築する。

4. 研究成果

(1)動的応答の等価性条件に基づく動的縮約

モデルの提案

既往の静的縮約モデルでは、静的荷重作用時の応答の等価性は保証されるが、慣性力やダンパーによる減衰力を適切に考慮することができないため、慣性力やダンパー減衰力を適切に考慮した上で、動的応答の等価性を理論的に保証する新たな縮約モデルを提案した。ここで提案された手法は、慣性力や減衰力も考慮に入れた振動数領域の運動方程式を、水平方向の自由度のみを残した運動方程式へ縮約する独創的な手法である。この方法では水平方向の自由度のみに縮約されているにも関わらず、理論上は水平方向応答の正解を厳密に評価できる。本研究課題では、特に偏心を有するような複雑な立体骨組モデルをあつかうため、このようなモデルについても本手法が適用できることを示した。また、縮約モデルの応答から、原モデルの応答を復元する手法についても提案した。

(2) 応答非観測部位を含む構造物のシステム同定法

建築構造物を対象とした既往のシステム同定法では、一般的にはせん断モデルが扱われているが、高層建物など曲げせん断モデルがよく適合する建物などもある。また、本研究で想定している木造建物などは柔床多構面モデルなど多くの自由度を有するモデル化がよく適合すると考えられる。このように、多くの自由度を有する構造物では必ずしも全ての自由度の応答が計測できるわけではない。このように一部の自由度の応答が計測されていなくてもシステム同定が可能な手法が構築されれば、実用面で様々なケースに展開が容易となる。

本研究課題では、そのための一例として、各層が水平自由度と回転自由度を有する曲げせん断モデルに対して、水平自由度のみの応答が計測されている場合を想定したシステム同定法を提案した。また、木造多層塔などで、一部の層の応答が計測されていない場合についても、全層の質量や剛性、減衰といった物理特性を推定可能な手法も提案した。いずれもシミュレーションを用いて妥当性を検討した。さらに、模型実験や実建物の応答観測データを上記の提案同定手法に適用して、実測データに混入するノイズが同定精度に及ぼす影響について検討する。必要に応じて時系列パラメトリックシステム同定法を援用してノイズの影響を除去し、同定精度の向上についても検討した。

これらの手法は線形モデルを想定しており、伝達特性をシステム同定の誤差評価に利用することにより、一部の応答が計測されていなくても物理パラメタ推定を可能にしているという観点で共通した手法といえる。

(3) 柔床・多構面を有する木造構造物の非線形物理パラメタの同定法

既往の木造建物のシステム同定は、各層 1

自由度のせん断モデルとして扱うことが多く、変形床や多構面で構成される伝統木造建物の各部位の剛性や減衰の同定法に関する研究はこれまで確立していない。本研究では柔床多構面モデルの各構面や床の剛性を推定する手法を提案した。まず変形する柔床・多構面で構成される構造物モデルの運動方程式を記述し、時刻歴応答解析によって評価した各構面の応答を実測データとしてみなした既知量とした際に、線形モデルであれば、各構面と柔床の剛性と減衰を推定できることを示した。

さらに、木造構造物の特徴の一つは、一般的にバイリニアスリップモデル等の非線形モデルで表現される、複雑な非線形の復元力特性である。このような非線形復元力特性の推定を直接扱った手法はこれまでに提案されていない。本研究課題では、柔床多構面モデルに対して、各構面が非線形復元力特性を有する際に、復元力特性の時刻歴を推定可能な手法を 2 つ提案した。1 つは、バイリニア特性のように、履歴モデルを指定してバイリニア特性を推定する手法である。この手法では運動方程式の誤差を最小化する非線形の最小化問題を利用する。もう 1 つは、履歴モデルの仮定を必要とせず、非線形の復元力の時刻歴の推定を線形問題に変換する手法を提案した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

清水 一史, 村田 晶, 吉富 信太, 向坊 恭介, 石場建てを考慮した岐阜県高山市伝統構法建物の 3 次元地震応答解析, 歴史都市防災論文集, 9, pp.123-126, 2015 (査読有)

吉富 信太, 木造多層塔の振動計測データを利用した質量と剛性の同定手法, 歴史都市防災論文集, 9, pp.89-92, 2015 (査読有)

吉富 信太, 栗田 駿平, 向坊 恭介, 鈴木 祥之, 東本願寺御影堂門の立体解析モデルによる地震応答解析, 歴史都市防災論文集 8, 17-24, 2014 (査読有)

吉富 信太, 辻 聖晃, 竹脇 出, 伝達特性の差の補償機能を有する自由度縮約モデルを用いた時刻歴応答評価法, 日本建築学会構造系論文集, 79(702), 1117-1126, 2014-08 (査読有)

〔学会発表〕(計 9 件)

新谷健一郎, 吉富信太, 木造建物を想定した柔床多層多構面モデルのシステム同定法, 日本建築学会(九州), 2016 年 8 月 26 日, 福岡大学(福岡県)

横山遼, 吉富信太, 地盤及び基礎構造の影響を考慮した高層建物のシステム同定法, 日本建築学会近畿支部研究発表会, 2016 年 6 月 26 日, 大阪保健医療大学(大阪府)
小倉 拓之, 吉富 信太, 曲げせん断型モデ

ルと部分空間法を用いた高層建物のシステム同定法, 日本建築学会大会(関東), 2015年9月4日, 東海大学(神奈川県)

明野 真大, 吉富 信太, 伝達特性の差の補償機能を有する自由度縮約法を拡張した偏心立体骨組の地震時応答評価法, 日本建築学会大会(関東), 2015年9月4日, 東海大学(神奈川県)

吉富 信太, 三重塔の振動計測データを利用した質量と剛性の同定手法, 日本建築学会大会(関東), 2015年9月4日, 東海大学(神奈川県)

吉富 信太, 高層建物を想定した損傷度評価法の縮小模型実験による検討, 日本建築学会大会(近畿), 2014年9月12日, 神戸大学(兵庫県)

小倉 拓之, 吉富 信太, 曲げせん断型モデルと部分空間法を用いた高層建物のシステム同定法, 日本建築学会大会(近畿), 2014年9月12日, 神戸大学(兵庫県)

田中 陽之, 吉富 信太, 木造建築物に適用可能なシステム同定に関する基礎的研究, 日本建築学会大会(近畿), 2014年9月12日, 神戸大学(兵庫県)

田中 陽之, 吉富 信太, 木造建築物に適用可能なシステム同定に関する基礎的研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 構造系(54), 157-160, 2014年6月21日, 大阪工業技術専門学校(大阪府)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉富 信太 (YOSHITOMI SHINTA)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号: 30432363