

氏 名	お ばら まさ き 小 原 雅 樹
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 59 年 3 月 27 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 建築学専攻
学 位 論 文 題 目	地震応答記録に基づく構造物系の動的特性推定に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 和泉 正哲
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 和泉 正哲 東北大学教授 志賀 敏男 東北大学教授 内山 和夫

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

地震動による構造物の応答を適確に予測することは、世界有数の地震国である我が国では、構造物を設計する際に必要不可欠な事項であるが、このためには、地震応答を規定する構造物系の動的特性を正確に評価・把握することが必要である。そのために、現在に到るまで種々の構造物のモデル化手法が提案されてきており、それと平行して、構造物の動的特性の推定も試みられてきた。構造物のモデル化手法の妥当性は、実現象である地震記録の充分なる再現性によって検証されるべきものであるが、必ずしも充分な検討が為されてきたわけではなく、一方、これまで慣用されてきた構造物の動的特性推定手法も精度・信頼性共に充分なものではなかった。

それに対して、構造物モデルを前提とし入出力として使用する実地震記録からシステムである構造物の動的特性を決定するシステム同定の概念に基づく構造物の動的特性推定法は、実地震記録に精度良く合致するような構造物パラメータの推定が可能であるので、未だに不明な点の残る構造物のモデル化手法に有益な情報を提供し得るばかりでなく、モデル化手法自体の検討にも役立つものであり、さらに地震観測システム・観測方法の進歩に伴い高精度化されつつある地震観測記録の活用法としても有用である。しかしながら、これまで開発されてきた構造物の同定手法は必ずしも実現象・実記録に充分に対応出来るものとはなっておらず、その適用性は限られている。

本研究は、この点を考慮して、新たに、構造物の立体振動及び多入力の効果を検討した同定手法

を第4章で、重要な事項でありながらもシステム同定の分野ではほとんど扱われた例のない地盤・構造物系の相互作用を考慮した同定手法を第5章で、履歴型非線形復元力を持つ構造物の同定手法を第6章で示し、これらの同定手法による実地震時の構造物系の動的挙動の評価を可能ならしめることを目的としている。

第2章 構造物の振動特性推定手法に関する既往の研究

現在に到るまで慣用されてきた構造物の振動特性推定手法について概説しており、これらの手法の持つ問題点について述べている。さらに、これらの手法の持つ難点を回避すべく開発されてきたシステム同定の概念に基づく構造物の振動特性推定手法について概説しており、構造物の振動特性推定法の現状について述べている。

第3章 一出力モデルによる構造物の同定

本章では、構造物のモーダルパラメータを1点の応答記録から推定する問題を扱っている。

3-2節では、これまで開発されてきたほとんどのシステム同定手法が仮定してきた単一入力を受けるモデルでは、必ずしも実構造物の応答を充分には再現出来ないこと、したがって、このようなモデルを用いた手法によって推定されたパラメータ値は精度・信頼性共に低いものとなることを17階建SRC造建物の同定例を示すことにより明らかにしている。

さらに、3-3節では、構造物の基礎部での水平二成分の加速度記録を入力として採用することにより、単一入力のみを受けると仮定されたモデルでは充分には再現出来なかった応答をより良く再現出来、パラメータ値もより妥当なものが得られることを示している。このことより、一般の構造物の応答は、平面フレームモデルを仮定したものはおろか、単一入力のみを仮定したものは立体フレームモデルによっても充分には再現出来ないことが明らかとなった。しかし、応答を独立に用いてパラメータを最適化する本節の手法により推定されたモーダルパラメータには、使用した応答の観測点毎にモーダルパラメータのバラツキが存在しており、パラメータの解釈に困難を残している。

第4章 多入出力線形モデルによる構造物の同定

本章では、第3章における応答を独立に用いてパラメータを最適化する手法の難点であるパラメータのバラツキを解消し、さらに構造物の立体挙動に関する情報をも抽出することを旨とした構造物の同定手法を提案している。

4-2節では、入力として基礎部での直交する水平二成分の加速度記録を、出力として任意点の任意数の応答を使用してパラメータを最適化することにより一意なモーダルパラメータを推定する手法を示している。当手法を17階建SRC造建物、9階建SRC造建物、7階建SRC造建物に適用して同定を行った結果、いずれの建物においても立体挙動及び多入力の効果は無視出来ないことが明らかとなっており、特に、同一階に多数の地震計が設置されている場合には、ねじれ等の平面モードも得られることが示されている。

4-3節では、4-2節で使用したモデルでは必ずしも充分にはねじれ応答成分が説明出来なかった例に着目して、基礎部での地震動の位相差成分をも入力として考慮した場合のねじれ応答成分の再現性について検討している。解析の結果、同定に使用した7階建SRC造建物においては、建物平面の中心での応答は水平二成分の入力でほぼ十分に説明出来、かつ、ねじれ応答成分は地震動の位相差成分を考慮することにより、より良く説明出来ることが明らかとなった。

以上の解析結果より、実構造物の地震時の挙動においては、立体振動及び複数入力の効果は重要であることが明らかとなっており、構造物の立体解析の必要性が指摘されるのである。

第5章 地盤・構造物系の同定

本章では、地盤との相互作用を考慮した構造物の同定問題を扱っている。

5-2節では、第4章での手法と同一の手法でありながらも、入力の位置を構造物の基礎面下の地中へと設定することにより、比例減衰を仮定した振動モデルによる初歩的な直結型の相互作用モデルを想定した同定手法として、地盤・構造物系のモーダルパラメータの推定を試みている。同定の結果、基礎面に近い地中での記録を入力として使用した場合には応答の再現性は良好であり、特に、基礎の移動(sway)が顕著なモードにおいては基礎固定の場合とは異なるパラメータ値が得られている。しかし、さらに深い地中での記録を入力として使用した場合は、もはや応答の再現性は充分なものではなく、地盤の挙動は初歩的な比例減衰を仮定した振動モデルでは十分に再現出来ない可能性があることが指摘される。

5-3節では、最も簡易であり、かつ、良く用いられてきた相互作用モデルであり、分離型モデルの一つに分類されるスウェイロッキングモデルを用いた同定手法により、5-2節で同定を試みた建物の同定を再び試みており、構造物のみのパラメータと地盤に関するパラメータを独立に推定することを目的としている。同定結果は、入力の設定により、大きな相違が生じる。すなわち、通常用いられる自由地表面での記録を入力として使用した場合には応答の再現性は充分なものではなく(特に、入力の特性を反映しやすい基礎部、低層部でモデル応答の誤差が大きく)、得られたパラメータ値も妥当なものではなかった。それに対して、本来のスウェイロッキングモデルの入力の考え方とは異なるが、基礎面に近い基礎面下の地中の記録を入力として用いて同定を試みた場合には、応答は良好に再現され、かつ、パラメータ値もある程度妥当と判断出来るものが得られた。以上の結果は、埋め込みのある構造物をスウェイロッキングモデルでモデル化するというモデル化の不完全さ以上に、入力の設定が応答に与える影響が大きいことを示すものであり、厳密な意味でのスウェイロッキングモデルの入力となりえない自由地表面での記録よりは基礎面に近い基礎面下の地中の記録のほうが実構造物の応答を再現しうる有効入力に近いものとなっている可能性があることを示すものである。埋め込みのない建物の場合についてさらに検討する必要があるが、いずれにせよ、適切な入力を設定出来れば実記録のみから地盤と建物に関するパラメータの抽出が可能であるので、地盤・構造物系の同定手法として有効であろう。

第 6 章 履歴型非線形振動システムの同定

本章では、前章までの線形構造物の同定とは異なり、復元力の履歴型非線形性を考慮した多層剪断型振動システムの同定問題を扱っている。

復元力の履歴型非線形性を扱うためには、本来、履歴型非線形性を表現出来る復元力モデルを用いた Parametric な同定手法が有利であり、これまでも Ramberg-Osgood モデル, Bi-linear モデルを用いた同定手法が開発されてきている。しかし、これらの復元力モデルは表現出来る復元力特性に限りがあり、かつ、復元力の記述が状態の相違によって変化するため、同定に使用しやすいモデルではない。そこで、本章では、履歴型復元力が状態変数の一価関数で表示されている上に、履歴法則自体がモデルの表現内に含まれているためいかなる状態においても復元力の記述が変化しないという利点を有し、さらに、パラメータ値の設定次第で前述した復元力モデルよりも幅広い復元力特性に対応出来るという同定に適した特性を有する復元力モデルを採用している。

6-3 節では、本章で採用した復元力モデルの特徴に着目して、最適フィルターの 1 つである Invariant Imbedding Filter を用いてパラメータを逐次推定する手法、並びに、当手法による 1 自由度システムの同定例を示している。しかし、初期推定値の設定によっては発散することがあるので、適切な初期値の設定が要求される。

6-4 節では、最適フィルター法よりも精度・安定性にすぐれていると考えられる勾配法をパラメータの最適化手法として採用した同定手法、並びに、1 自由度システム (softening type と hardening type のシステム)、3 自由度システム、1 自由度 Bi-linear システムの同定例を示しており、観測雑音の影響についても検討している。同定結果より、当手法は、基本的な物理量は工学的に十分な精度で推定可能であることが明らかとなっており、有効に履歴型非線形振動システムの同定に使用出来るものと考えられる。

第 7 章 結 論

本章は、結論であり、第 3 章から第 6 章までの主要な結果を総括して述べている。

審査結果の要旨

地震動に対する構造物の応答を適確に予測することは、地震国の我が国で構造物を設計する際に不可欠な事項である。このためには、構造物の主要な動的特性を正しく評価した解析用モデルを作成する必要があるが、このモデル化に関しては必ずしも十分な検討がなされているとは言えない。本論文は、同定手法により実地震応答記録の保有している構造物の動的特性を抽出し、それを基にモデル化手法ならびにモデルに付与すべき動的パラメータの検討を行ったもので、全編7章よりなる。

第1章は序論であり、応答解析用モデルが必ずしも実応答記録を説明し得ていない現状と、これに対する本論文の意義・目的を明らかにしている。

第2章は、地盤・構造物、すなわち構造物系の動的特性推定に関する既往の研究と、システム同定に基づく推定方法について概説したものである。

第3章において、通常の単入出力同定手法が対象とする一方向成分入力仮定のモデルでは、構造物の実応答を充分表わし得ず、立体的挙動の表現可能なモデルが必要であることを明らかにしている。

第4章では、前章を受けて、新たに多入出力系モデルに対する同定手法を開発し、これを多点アレイ観測の行われている構造物に適用して精度の高い推定結果の得られることを示している。さらに基礎部において地動の位相差成分を入力として考慮することにより、ねじれ応答がより良く説明し得ることを見い出している。

第5章においては、地中観測資料を用いて地盤、構造物連成系についての解析を行い、直結モデルに関してはそのモーダルパラメータを同定し、またスウェイ・ロッキングモデルに関しては、バネ剛性と減衰係数値を同定して、従来検証が充分行われていなかった地盤・構造物連成系のモデル化手法に対する一つの検討方法を確立している。

第6章では、履歴型非線形システムを対象として種々の形の復元力特性に適用し得る同定手法を開発し、地震時に破壊が進行する構造物の動的特性の変化を解析している。

第7章は結論である。

以上要するに、本論文は、新たに開発した構造物系の動的特性推定手法を用いて地震応答記録を解析し、応答解析用モデル作成における一つの拠り所を確立したもので、建築構造学ならびに耐震工学の進展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。