

氏 名	変 起 換
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 1862 号
学位授与の日付	平 成 11 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 建 築 学 専 攻
学位論文題目	建 築 構 造 物 の 動 特 性 同 定 お よ び 地 震 応 答 制 御 に 関 す る 研 究

論文調査委員 (主 査) 教 授 鈴 木 祥 之 教 授 國 枝 治 郎 教 授 渡 邊 史 夫

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、地震時にも対応可能な制震構造システム、すなわち、広範囲の地震動レベルに対しても有効に作動可能な機能を有する制震構造システムの開発を目指したものであって、6章からなっている。

第1章は序論であり、研究の背景、研究の目的および本論文の全体構成について述べている。

第2章では、非線形近似フィルタを利用し、観測雑音が含まれている、また、観測位置が限定されている構造物の加速度地震応答観測記録に基づいて、構造物各部の変位および速度応答を推定し、同時に、構造物のパラメータを同定する確率論的同定手法を提案している。本手法の妥当性を検討するため、模擬地震動を入力外乱とする線形3自由度質点系モデルの地震応答推定および剛性と減衰パラメータ同定のシミュレーション解析を行っている。限られた観測データを利用し、その観測データに入力地震動の振幅に対してRMS 30%の白色雑音を加えて、さらに、未知数であるパラメータの初期値を真値と比べ、20%程度、過大評価または過小評価して行った数値解析において、精度良い地震応答推定およびパラメータ同定結果が得られたことを示している。これらの結果から、本章で提案した非線形近似フィルタによる同定手法が建築構造物の地震応答推定およびパラメータ同定に極めて有効であることを明らかにしている。

第3章では、非線形近似フィルタによる同定手法の実用性を確認するため、本同定手法による実構造物の地震応答推定及びパラメータ同定を行っている。まず、京都大学防災研究所に設置されている振動台により、1995年兵庫県南部地震時の神戸海洋気象台記録波を入力とする鋼構造骨組試験体の地震波加振実験を施し、その入出力観測データから地震応答の推定および剛性と減衰係数の同定を行っている。試験体の変位応答の推定結果と観測結果が良く一致していることと、剛性係数と減衰係数の推定において、異なる初期値を入力してパラメータ同定を行っても、各パラメータが安定的にある一定値に収束していくことを示している。次に、1995年兵庫県南部地震時に観測された加速度地震応答データを用いて、大阪府村野浄水場建物の地震応答推定を行い、本手法により簡単に実在構造物の地震応答を推定し得ることを明らかにしている。

第4章では、従来、その重さと規模のため困難であった実大構造物の地震応答制御実験を可能にする地震波加振システムを構築し、京都大学防災研究所に建設されている鋼構造5層実大試験架構の制震実験を行っている。試験体に地盤から地震波を入力した場合の加速度応答解析結果と地震波加振システムにより再現した試験体の加速度応答観測値がほぼ一致していることから、本システムが実大試験体の制震実験に極めて有効であることを確認した。AMDを利用した最適フィードバック制御則(LQ)および状態推定制御則(LQG)による制震実験においては、制震時の地震応答が最大値では非制御時の約30%に、RMS値では約50%に低減される制御効果が得られた。これらの実験的結果は、実大構造物の地震応答制御が可能であることを示しており、本研究で用いた実大試験架構制震実験システムは制御則などの検証に有効であることを示している。

第5章では、高層建築物のように長周期を持つ鋼構造試験体を制御対象にし、振動台による制震実験を行っている。まず、システムの入出力データに基づいて簡単にシステムの状態空間を推定し得る部分空間法を採用して試験体の動特性同定を行っている。地震応答解析によるシミュレーション結果と地震波加振実験計測結果の比較により試験体モデルの妥当性を確認し

ている。低次複数モードの制御においては、内部平衡実現低次元化方法を利用して、試験体の2次モードまでを制御の対象とした制震実験を行っている。El Centro 70 gal および Taft 50 gal 入力時の制震実験結果を1次モードのみを制御対象とした場合の結果と比較し、2次モードの振動応答成分が約半分に減少したことを示すことにより、本論文の内部平衡実現による低次複数モード制御法の有効性を明らかにしている。制御装置のストローク限界を考慮した可変ゲインによる制震実験においては、制御力に関係する重み係数をパラメータとして、最適フィードバック制御則のゲイン要素を時々刻々近似する可変ゲイン制御手法を提案している。制震実験結果は、AMD ストロークが想定通り制限範囲にほぼおさまることを、また、ゲインが連続的に切り換えられるため、衝撃的な制御力が生じないことを示しており、本手法の有効性を示している。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果をまとめるとともに、今後の課題を述べている。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、地震応答観測データを利用して建築構造物系の地震応答と動特性を推定する確率論的同定および地震外乱による構造物の振動応答を積極的に抑制するアクティブ制震に関する理論的・実験的研究を行った結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 建物の地震応答観測において、観測データに雑音が含まれていることと観測点が限られていることを考え、確率過程論に基づいた非線形近似フィルタ同定手法を提案し、模擬地震入力を用いたシミュレーション解析により、本手法の妥当性を確認した。

2. 鋼構造骨組試験体と大阪府村野浄水場建物を対象とした非線形近似フィルタによる実構造物の地震応答推定および動特性推定を行い、地震応答の推定結果と観測結果が良く一致していること、また剛性係数と減衰係数の推定においてパラメータが安定的に収束することを確認し、本手法の実用性を確認した。

3. 鋼構造5層実大試験架構に、任意の地震に対する地震応答を再現する地震波加振システムを構築し、部分空間法など各種同定法による動特性同定実験とAMD（アクティブマスダンパー）を用いた制震実験を実施した。これらの実験結果から、実大構造物に対する地震応答制御の有効性を示すとともに、地震波加振システムによる実大試験架構制震実験システムは、同定法や制御則などの検証に有用であることを示した。

4. 高層建物のように長周期固有振動数を持つ構造物を制御対象として、内部平衡実現による低次複数モード制御法と制御力に関係する重み係数をパラメータとした可変ゲイン制御則を提案するとともに、長周期鋼構造試験体を用いた振動台実験により、その有効性を検証した。

以上要するに、本論文は、建物の地震応答を安定的かつ効率的に制御するために不可欠な同定手法を提案し、さらにAMD制御装置の性能限界を考慮した制御手法を開発し、実験的に検証したものであり、その成果は、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成11年6月17日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。