

| | |
|----------|--|
| 氏名 | 山本雅史 |
| 学位(専攻分野) | 博士(工学) |
| 学位記番号 | 工博第1876号 |
| 学位授与の日付 | 平成11年11月24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 | 大地震時における建築構造物のアクティブ・マス・ダンパーによる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 桂 順治 教授 上谷宏二

論文内容の要旨

建築構造物の大地震時における応答制御は、わが国では切望される技術であり、特に制御効果の高いアクティブ制震は早期の実現が期待されている。本論文は、アクティブ・マス・ダンパー（以下、AMD）を用い、装置制約のもとで安定して制御可能な制御アルゴリズムの開発を目的とした理論的・実験的研究を行った結果をまとめたものであり、6章からなっている。

第1章は序論であり、建築構造物における耐震設計の歴史および制震構造の歴史について述べ、制震の分類を行っている。また、制震装置のうち特に本研究の対象とするAMDについてその研究・開発の流れについて述べている。

第2章では、本論文で提案する制御アルゴリズムについて述べている。この制御アルゴリズムは、カルマンフィルタによりモード応答の推定をし、推定された各モード応答に対して、極配置制御により制御を行うものである。これらの定式化を行うと共に、極配置制御におけるフィードバック係数が構造物に与える減衰をパラメータとして陽に解けることを示している。AMDの性能限界を考慮して制御を行うために可変ゲインを適用するが、ゲイン切換えの規範としてAMDの活動度という概念を提案し、この活動度に基づいて、構造物に与える減衰を決定するゲインを変更すれば滑らかにゲインが切替わること、AMDのストロークが制約値に抑えられることを解析により示している。

第3章では、実大構造物において制震装置の性能および制御アルゴリズムを検証するために地震応答再現システムを提案し、その内容について述べている。先ず、地震応答を再現する加振アルゴリズムを定式化し、解析により再現システムによる地震応答の再現性は極めて高いこと、また、架構の振動数が5%増しても加振機への入力を変更することなく再現できることを示している。次に、実際の鋼構造実大架構にアクティブマス型加振機を取り付けて地震応答再現システムを実現し、実際に加振機により地震応答を再現し、その再現性が極めて高いことを実験的にも確認している。

第4章では、第2章で述べた制御アルゴリズムで想定通りの制御が可能であることを実験的に検証した結果について述べている。第1番目に、実大架構におけるAMDおよび制御アルゴリズムの妥当性を検証するために、第3章で述べた地震応答再現システムを用いて行った制御実験について述べている。固定ゲイン制御実験および可変ゲイン制御実験等複数の実験結果に基づき、本制御アルゴリズムを用いれば、設定したAMDストロークの制約値を越えない範囲で制御可能であることを示している。また、架構の固有振動数が想定値と±1割の範囲で異なる場合の解析および制御実験を行い、±1割程度の差では問題なく制御できることを検証している。

第4章の第2番目として、設計周期約2秒の振動モデルを用いて行った振動台試験による制御アルゴリズムの検証結果について述べている。可変ゲイン制御実験を行い、各種地震波に対してAMDストロークがほぼ設定した制約値におさめることが可能であることを確認している。このときのモード応答の推定値と、全観測量を用いて算出したモード応答量を比較し、カルマンフィルタによる推定方法の妥当性を示している。また、モード毎の吸収エネルギーの算出や2方向制御に対する検討も行っている。

第5章では、大地震に対応するAMDが実建物に対して適用可能であるかどうかを解析的に検討した結果について述べている。第1番目として、地震に対する制震装置のベンチマーク問題を紹介し、このベンチマーク問題に対して、本論文で述べた制御アルゴリズムによるAMDを検討している。その結果、設計可能なAMDにより、建物の周期が±1割変動した場合でも制震効果が期待できることを示している。また、アクティブ層間ダンパーの結果と比較し、本AMDの方が必要とするパワーが少ないこと、設置台数が少なくて済むこと等を述べている。

第5章の第2番目として、20階建ての鋼構造建物を想定して設定した非線形建物モデルに対する検討を行っている。260tの重錘と200tfの動的アクチュエータを有するAMDにより制震した場合の解析結果を示し、通常、耐震設計で考慮する地震の2倍の地震入力に対してもストロークは制約値におさまるよう制御可能であると述べている。また、地震波によって制御効果に差が見られ、Taft波に対しては最大値の低減効果はあまり見られないが、この場合でもAMDの制御により架構の累積塑性エネルギー量は減少していることを示している。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果についてまとめている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、建築構造物の大地震時の応答制御を目的として、アクティブ・マス・ダンパー（以下、AMD）を用いた制震システムの制御アルゴリズムの開発を主として行った理論的・実験的研究についてまとめたものであり、得られた主な成果は以下のとおりである。

1) 制御アルゴリズムとして、カルマンフィルタによりモード応答を推定し、各モード毎に極配置を行う手法を提案し、定式化を行った。可変ゲインを行うためにAMDの活動度という指標を導入し、この指標を用いれば、衝撃の少ない安定した制御でAMDのストロークを制約値に抑えることができることを解析により示した。

2) 実大構造物において制震装置および制御アルゴリズムを検証するために、地震応答再現システムを提案し、その加振アルゴリズムの定式化を行った。解析により、再現システムによる地震応答の再現性が極めて高いことを示すとともに、実際の鋼構造実大架構に本システムを実装し、本システムが実現可能であることを示した。

3) 制御アルゴリズムの妥当性について、上記の地震応答再現システムを用いて検証した。設定したストローク制約値を越えない範囲でAMDが制御可能であること、構造物の振動数が±1割変動しても問題なく制御できること等、必要とされる性能を満足することを実大規模の試験により実証した。

4) 同様に、建築構造物模型を用いた振動台実験による検証も行い、地動入力を受ける場合にも同様に制御可能であることを示した。また、モード応答について実験中の推定値と実験後の精算値との比較を行い、カルマンフィルタによるモード応答の推定が有効であることを示した。

5) 制震のベンチマーク問題を実施し、実建物に対する適用可能性を示した。また、アクティブ層間ダンパーのベンチマーク結果と比較し、本AMDの方が必要とするパワーが少ないこと、設置台数が少なくて済むことを明らかにした。

6) 非線形特性を持つ建物に対して、制震効果を解析的に検討し、非線形特性を持つ建物に対しても本制御アルゴリズムが有効に適用でき、不安定な現象を生じないことを解析的に示した。

以上要するに、大地震時に有効なアクティブ制震の制御アルゴリズムの提案とその有効性の理論的・実験的検証を行ったものであり、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のあるものと認める。また、平成11年9月24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。