

氏 名	ながしま いちろう 長 島 一 郎
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 1769 号
学位授与の日付	平 成 10 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 第 二 専 攻
学 位 論 文 題 目	装置能力の制約及び建物との連成効果を考慮した能動式同調質量ダンパーによる建物の動的応答制御法 (主査)
論文調査委員	教 授 上 谷 宏 二 教 授 辻 文 三 教 授 家 村 浩 和

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、強風や中小地震等により励起される建物の動的応答低減を目的とした能動式同調質量ダンパー (ATMD ; Active Tuned Mass Damper) において、建物の低次複数モードの振動応答を効率良く低減する方法、及び、装置能力の制約下で外乱レベルの変動に応じて最大限の応答低減効果を発揮させる方法を提案し、更にこれらの制御法の有効性を模型実験、及び、実際の超高層建物への適用を通して実証したものであり、7章から構成されている。

第1章では、本研究の目的、意義、及び、本論文の概要について述べている。

第2章では、ダンパーと建物から成る全体系を単純化して得られる2自由度振動モデルに対し、最適制御時のフィードバックゲイン及び制御系の複素固有値の解析解を新たに誘導している。これらの解析解に基づいて、同調質量ダンパーの固有振動数が或る特別な値に同調させられた時、建物速度に関するフィードバックゲインが0になり、建物変位及びダンパーの建物に対する相対速度のみを用いた制御に単純化できることを見出すとともに、その同調条件を明らかにした。

第3章では、建物の低次複数モードの振動応答を効率良く低減する方法を提示している。ダンパーと建物から成る全体系は非比例減衰特性を持つため、従来は連成前の建物部分の変形だけを実数モードに分解する低次元化近似により制御設計が行われていた。本論文では、全体系の状態方程式と評価関数を複素数モードに分解して低次元化し、最適制御理論に基づいて観測応答に対する定数制御ゲインを評価する方法を提示している。これによって少ない数の観測応答を用いたフィードバック制御でも、連成効果を考慮した効率の高い制御が実現できることを実証している。

第4章では、風や地震外乱のレベル変動に追従し、ダンパーの制御力或いはストローク振幅を装置能力の制約内に保ちながら制振効果を最大限に発揮させる可変ゲイン制御法を提案している。まず、ダンパーの制御力或いはストローク振幅と建物の応答低減効果相互のトレードオフ関係に基づいて制御性能を調整できるように、トレードオフパラメータと呼ぶ単一のパラメータを導入し、その連続関数として制御ゲインを設定する方法を提示している。次に、時々刻々のダンパーの制御力或いはストローク振幅に基づいてトレードオフパラメータを増減することにより、制御ゲインを調整できるアルゴリズムを考案し、これによって外乱レベルの変動に応じてダンパーの制御力或いはストローク振幅が制約内で一定値に自動調整されるメカニズムを明らかにした。本制御法により、制御ゲイン切り換え時のチャタリングを効果的に抑制するとともに、装置の適用可能な外乱範囲を大幅に拡大できることを実証している。

第5章では、ねじれと並進振動が連成して生じる1軸偏心建物模型の応答を2台のATMDで制御する振動台実験を実施

している。まず、第3章で提示した複数モードの応答制御法を適用し、ねじれと並進振動が連成した低次複数モードの減衰定数を30~40%程度まで増加して、効果的に応答低減できることを実証している。更に、第4章で提案した可変ゲイン制御法を複数台の装置を協調制御する場合に拡張し、2台のダンパーの制御力或いはストローク振幅を制約内に保ちながら、入力加速度レベルの変動に応じて安定した応答低減効果が得られることを実証している。また、実験結果と解析結果も良く一致することから、これらの制御法の有効性と解析手法の妥当性を検証している。

第6章では、複雑な形状を有する36階建て超高層建物の、ねじれと並進振動が連成した低次複数モードの振動応答を、頂部に設置した2台のATMDで制御する場合に、3、4章で提案した制御法を適用し、その有効性を実証している。まず、制振装置により建物を加振し、その自由振動を制御する実験を実施し、建物低次複数モードの減衰定数を10%程度まで増加する効果とともに、可変ゲイン制御法により2台のダンパーのストローク振幅を制約内で一定値に保ちながら自由振動を速やかに低減できる効果を実証した。更に、実験で同定した建物モデルを用いて、強風時のシミュレーション解析を実施し、従来式の一定ゲイン制御やアクティブ・パッシブ切り換え式制御では装置を停止させる必要がある風速レベルまで、装置の適用範囲を大幅に拡大し最大限の応答低減効果が得られることを示した。また、中小地震時の後揺れが速やかに抑制される効果も示した。

第7章では、本研究で得られた主要な成果の総括を行っている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、強風や中小地震等により励起される建物の動的応答低減を目的としたATMD (Active Tuned Mass Damper) において、建物低次複数モードの振動応答を効率良く低減する方法、及び、装置能力の制約下で外乱の強度レベルの変動に応じて最大限の制振効果を発揮させる方法を提案し、更にこれらの制御法の有効性を、模型実験及び実際の超高層ビルへの適用を通して実証したものであり、得られた主な成果は以下の通りである。

- 1) ダンパーと建物から成る全体系を単純化して得られる2自由度振動モデルに対し、最適制御時のフィードバックゲイン及び制御系の複素固有値の解析解を新たに誘導している。これによって、同調質量ダンパーの固有振動数がある特別な値に同調させられたとき、建物速度に関するフィードバックゲインが0になり、建物変位及びダンパーの建物に対する相対速度のみを用いた制御に単純化できることを見出すとともに、その同調条件を明らかにした。
- 2) ダンパーと建物から成る全体系は非比例減衰特性を持つため、従来は建物部分の変形だけを実数モードに分解する低次元化近似により制御設計が行われていた。本論文では、連成した全体系の状態方程式と評価関数を、複素数モードに分解して低次元化し、最適制御理論に基づいて観測応答に対する定数制御ゲインを評価する方法を提示している。これによって少ない数の観測応答を用いたフィードバック制御でも、連成効果を考慮した効率の高い制御が実現できることを実証している。
- 3) ダンパーの装置能力と建物の応答低減効果相互のトレードオフ関係を考慮して制御ゲインを調整できるアルゴリズムを考案し、これによって外乱レベルの変動に応じて制御力やストローク振幅が制約内で一定値に自動調整されるメカニズムを明らかにした。この方法により、制御ゲイン切り換え時のチャタリングを効果的に抑制するとともに、装置が適用可能な外乱の範囲を大幅に拡大することに成功している。

以上要するに、本論文はATMDを用いた建物の動的応答制御において、低次複数モード応答の効率的低減法を提案し、実建物への適用を通してその有効性を実証したものであり、学術上、實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10年7月24日、論文内容とそれに関連した事項についての試問を行った結果、合格と認めた。