

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名	山崎 一生
学位	博士 (工学)
学位記番号	新大院博 (工) 第 520 号
学位授与の日付	令和 3 年 9 月 21 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
博士論文名	慣性質量要素を有する振動制御デバイスを取付けた構造系の動的最適設計に関する研究

論文審査委員	主査	教授・平元 和彦
	副査	教授・安部 隆
	副査	准教授・坂本 秀一
	副査	教授・松原 幸治
	副査	准教授・横山 誠

博士論文の要旨

「慣性質量」と呼ばれる、自身の両端間の相対加速度に比例した力を発生する比較的新しい力学モデル上の要素 (Inertia mass damper: IMD) がある。IMD の力学モデルは、慣性質量要素だけではなく、その荷重伝達部材の存在を考慮したばね要素と慣性質量要素との直列モデルとして取り扱った方がより現実的であり、この「より現実的なモデル」を用いることの重要性が示唆されていた。IMD の配管への適用における上記のより現実的なモデルを考慮した検討は、その黎明期の基礎研究では見られたが、実務的な地震時における配管解析では、配管系の IMD 設置点が単純なばね支持点とみなされることが多く、これは現在も踏襲されている。現在まで、その設計は人間の数多くの試行錯誤の手順を伴いながら行われているが、今後より精緻化すると予測される配管系に対する設計仕様に対し、人間による試行錯誤の回数を少なくするような設計手法の確立が求められる。

本論文では、慣性質量要素を有する振動制御装置に関する技術の高度化および将来的な配管解析・設計の高度化を目的として、配管系へのより現実的なモデルを前提とした IMD 適用に関する各種設計変数を最適化する設計手法を提案している。また、可変な慣性質量要素を持つより現実的なモデルとしての可変 IMD を適用した構造系についてのセミアクティブ制御設計手法を提案している。

本論文は、全 5 章から構成されている。

第 1 章「緒論」では、本研究を考察するために必要な慣性質量要素、IMD、配管系の動的設計およびセミアクティブ制御に関する基礎的な知識、背景、意義および目的を述べた。

第 2 章「IMD 付配管系の動的最適設計：1 台適用 1 型式選定の場合」では、配管系を模擬した単純なものとして単一断面のはり (連続体モデル) を対象に、1 台の IMD の適用についての最適設計手法を提案している。最適設計は、IMD の取付位置と慣性質量を設計変数とし、振動抑制性能を示す指標としての評価関数を遺伝的アルゴリズムにより最適化する手法を提案した。

第 3 章「IMD 付配管系の動的最適設計：多台適用多型式選定の場合」では、前章の拡張として、配管系への多数台かつ多型式の IMD の適用を考慮した最適設計手法を提示した。

IMD の装置数量、型式番号、取付位置および慣性質量の 4 項目を設計変数として、型式の概念を前提に振動抑制性能の他に経済性をも考慮できるように評価関数を新たに定義した。シミュレーションにより、最適な設計変数の探索が行えること、および、振動の応答低減という性能だけではなく IMD 適用についての経済性をも加味した最適化が行えることを確認した。さらに、IMD をより現実的なモデルで考慮した場合とばねとみなしたモデルで考慮した場合について時間領域と周波数領域の両面で応答結果を比較し、より現実的なモデルとして IMD を考慮して設計することの意義を確認した。

第 4 章「可変 IMD を適用した構造系のセミアクティブ制御」では、実現可能と想定される一つのボールねじ式可変 IMD の構造を提案し、指令信号に対して現実的な程度の時定数で表される遅延特性（1 次遅れ系）を仮定した IMD による構造系のセミアクティブ振動制御を検討した。セミアクティブ制御には、出力模倣アプローチに基づくセミアクティブ制御法を採用した。そして、既存ベンチマーク建屋モデルを構造系とした上記可変 IMD によるセミアクティブ制御のシミュレーションを行い、地震外乱の作用下に対して、Passive off（IMD なし）および Passive on（IMD の可変慣性質量をその上限値に固定）の場合と比較して、優れた制御性能を示すことを確認した。

第 5 章「結論」では、本研究で得られた結果を総括した。

審査結果の要旨

本論文は、両端間の相対加速度に比例した力を発生する IMD による配管系や構造系の振動制御について研究したものである。IMD のモデルとして、慣性質量要素に荷重伝達部材の存在を考慮したばね要素と慣性質量要素との直列モデルとして取り扱ったより現実的なモデルを用いることの有用性を主張している。

配管系に対する IMD の設置による振動制御系設計においては、従来人の手による試行錯誤による部分が大きかった。本論文では、前述のより現実的な IMD モデルの使用を前提として、IMD の配管系への設置台数、配置、設置型式および各々の IMD の慣性質量値を構造応答のみならず設置に伴うコストも考慮して進化的数値最適化手法の一種である遺伝的アルゴリズムによって最適設計する手法を提案している。

この設計手法の確立により、従来試行錯誤的に行われてきた配管系への IMD の最適配置問題において、より広い設計変数空間を効率的に探索することが可能になることから、配管系の健全性を保ちながら、より高度な振動抑制および経済性に関する仕様を満たす設計が行えることが可能になり、その工学的有用性は高い。また、本設計手法の 3 次元形状の配管への拡張や、IMD 以外の振動抑制デバイスの混合設置問題への拡張は比較的容易であり、設計手法の確立により、より安全かつ低コストな配管系の振動抑制が可能になると期待される。

さらに、本論文では、IMD の慣性質量値を指令信号によって調整可能な可変 IMD の機構を考案し、可変 IMD による構造系のセミアクティブ振動制御についても提案している。近年、IMD の構造系や車両の振動制御への応用に大きな関心が集まっている中、可変慣性質量によるセミアクティブ制御は新しい方法である。シミュレーションによって高い振動制御性能が得られていることと合わせて考えると、ここで得られた成果は、今後 IMD の適用領域をより拡大することにつながると期待できる。

以上より、本論文は、IMD の配管振動制御系の設計の高度化やその適用範囲の拡大に寄与し、成果の社会への還元、および機械工学、振動工学に係る学術の発展への貢献は大きい。

よって、本論文は博士（工学）の博士論文として十分であると認定した。