

審査の結果の要旨

氏名 南部 陽介

修士（工学）南部陽介 提出の論文は、「動吸振器による弦の受動的および適応的制振に関する研究」と題し、6章からなっている。

大規模な構造を軽量かつ低コストに実現できる張力安定化構造は、大型アンテナや太陽電池パドルをはじめ、宇宙インフラを構築する上で広く利用されている。昨今、世界的な問題に対し宇宙活動利用の発展が期待される中、張力安定化構造に対する需要は益々高まると考えられる。張力安定化構造の大部分は、弦や膜面で構成されており、曲げ剛性が小さく、張力による面外剛性が支配的である。こうした構造では、一般に振動を減衰させることが難しい。したがって、高精度の観測や形状維持を実現するためには、弦や膜面の振動を抑制することが不可欠である。そこで、本研究では、弦に対して高い制振効果が期待できる動吸振器に着目し、次のふたつの重要かつ未解決の課題を扱っている。第一に、弦に対し多重動吸振器を適用する場合、最適調整法がないこと、第二に、弦には無視できない非線形効果があり、振動の振幅が大きくなると弦の固有振動数が変化し動吸振器の性能が低下すること、である。これらの課題を解決するために、多自由度系に対する多重動吸振器の最適設計法の確立と、弦の非線形効果による動吸振器の制振性能低下を回避する方法の確立を本論文の目的としている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的について述べるとともに、動吸振器に関する従来研究について整理し、問題点を明らかにした。

第2章では、まず、大変形の生じる弦の運動方程式を導出した。次に、得られた非線形な運動方程式を有限要素近似し、複数個の動吸振器を付加した弦に関する有限次元の運動方程式を導いた。また、構成方程式を出発点として弦の非線形減衰を導出した。これまで、弦の非線形振動は調和振動に関する研究がほとんどであり、自由減衰振動を扱ったものはなかったが、動吸振器を付加した弦の自由減衰振動が極めて早く減衰することを示した。最後に、実験により、弦の非線形効果と動吸振器の制振効果を示した。

第3章では、多自由度系における多重動吸振器の最適調整法を扱った。本研究では、多モードという主系の特性を鑑み、固有振動数と減衰比のみならず、質量配分をも設計変数として最適化問題を定式化した。まず、不規則な励振を受ける弦について、固有振動数、減衰比に加えて質量配分、さらに設置位置を設計変数とする最適調整法を提案した。多重動吸振器が付加された弦の状態空間モデルを導き、伝達関数の H_2 ノルムを最小化する問題に帰着させることにより評価関数の計算を簡略化することができ、また最適化計算の収束性も向上させることができることを示した。これにより、従来の研究で

は扱われて来なかった連続体に対する多重動吸振器の最適化や、設置位置と質量配分を設計変数とした最適化が行えるようになった。次に、周期的な励振を受ける弦について、伝達関数の極大値の p 乗平均を評価関数として用いる最適調整法を提案した。これら 2 種類の最適調整法により得た特性を持つ多重動吸振器について、その制振効果とロバスト性の検証を行った。多重動吸振器とすることにより、動吸振器の設計に対する許容誤差を大きくとることができることを明らかにした。質量配分については、多数のモードが関わってくる状況や設置位置に制約がある状況においては、それを設計変数とする意義が大きいことを明らかにした。

第 4 章では、非線形性が顕著に現れる大振幅振動において、線形領域で最適化された動吸振器が如何に振舞うかを調べた。まず、単動吸振器が付加された弦が周期的な励振力を受けるとき、励振力が大きくなるにつれて等価的な固有振動数が変動することによって動吸振器の性能が十分に発揮されないことを示した。次に、多重動吸振器とすることにより伝達関数の最大値の上昇を緩和できることを示した。制振性能向上の割合は、非線形性が顕著であるほど大きく、弦の大振幅振動に対しては多重動吸振器とする意義が特に大きい。さらに、単一の周波数で励振されている場合においては弦の非線形効果が Duffing 方程式により近似できることを示した。最後に、実験により、周期的な励振力を受ける弦に対して動吸振器が非常に高い制振効果を発揮すること、ならびに非線形効果によりその制振効果が低下することを示した。

第 5 章では、動吸振器の剛性を適応的に制御することにより大振幅振動時における動吸振器の性能低下を防ぐ方法を提案した。圧電素子の開放時と短絡時において固有振動数が数パーセント変化する性質を利用し、スイッチに接続された圧電素子を剛性要素として利用した動吸振器 SAMD (Switching Adaptive Mass Damper) を提案した。SAMD は、スイッチの ON と OFF の時間のデューティ比を制御することにより開放時と短絡時の中間の固有振動数を持つ動吸振器を等価的に実現することができる適応的動吸振器である。励振力が周期的な場合と不規則な場合についてそれぞれ適した制御則を導き、数値シミュレーションによりその有効性を検討した。最後に、実験により、SAMD が実際に機能することを実証するとともに、受動的な動吸振器を付加した場合に比べても大きな性能向上を示すことを確認した。

第 6 章は結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

以上を要するに、本論文は、張力安定化構造の利用拡大において重要な課題である弦の振動制御において、わずかな質量増加で大幅な制振効果を見込める動吸振器の新たな設計手法を提案するとともに、数値シミュレーションと実験によりその有効性を示したものであり、宇宙構造物の制振技術、航空宇宙工学に貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。