

氏 名	おか だ とおる 岡 田 徹
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3687 号
学位授与の日付	平 成 14 年 9 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	受動型制振装置による橋梁の連成フラッタの制御に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教授 松 久 寛 教授 吉 村 允 孝 教授 樫 木 哲 夫

論 文 内 容 の 要 旨

世界最大の明石海峡大橋を上回る規模となる超長大吊橋の計画では、連成フラッタに対する耐風安定性の確保が最重要課題の一つとなっている。連成フラッタは強風時に発生する非常に強い不安定化力を有する自励振動で、ひとたび振動が発生すると橋梁に壊滅的なダメージを与える。本研究はこの連成フラッタに対し、振子型動吸振器やジャイロダンパといった受動型制振装置による制御方法を提案し、理論解析と実験による効果の検証、および連成フラッタ振動に対する各制振装置の設計手法の開発を実施した成果についてまとめたものである。

第1章の緒論では、超長大橋の連成フラッタ問題の説明と連成フラッタ制御に関する従来の研究を整理し、本研究の目的と概要について示している。

第2章では、極めて低い固有振動数をもつ超長大吊橋に対し、振子型動吸振器が軽量でも高い制振効果を発揮することを、等価極慣性モーメント比の概念を導入することにより明らかにした、そして、連成フラッタに対する有効性を、吊橋の鉛直たわみと捩れの2自由度振動系からなる橋桁断面モデルを用いて数値計算および風洞実験により検証し、吊橋の桁とケーブルの5%程度の質量の最適同調された動吸振器により、フラッタ発現風速は対策前に比べて20~30%上昇することを示している。また、フラッタ現象をフィードバック理論を用いて表現する方法を提案し、この方法を応用してフラッタ振動に対する動吸振器の制振メカニズムを明らかにした。

第3章では、連成フラッタに対する動吸振器の固有振動数や減衰比といったパラメータの設計方法を提案している。提案手法は、前章に提案したフィードバック理論を応用し、閉ループの安定条件を利用して動吸振器の安定化パラメータ範囲を求める手法である。橋梁の振動系と動吸振器を分離して取り扱うことを可能としたことにより、計算式が非常に簡便であるとともに、空気力の周波数依存性も考慮できるといった特徴がある。また、動吸振器の同調誤差に対するロバスト性を改善する方法として、固有振動数を分散させた多重型動吸振器について検討した。これによって、ロバスト性が改善されることを明らかにするとともに、具体的なパラメータ設計の手法を提案している。

第4章では、吊橋の全振動モードを考慮できる3次元全橋FEMモデルを利用したフラッタ解析により、振子型動吸振器の制御効果の検証を行っている。この3次元解析により、振子型動吸振器の配置によっては、振子型動吸振器と吊橋の水平振動モードとの連成の影響により制振効果が低下することを明らかにした。対策として、動吸振器と連成する水平モードの形状に着目し、水平連成力を打消し合わせるための動吸振器の配置や質量の配分方法を明らかにした。適切に設計された動吸振器によりフラッタ発現風速が大幅に改善されることを示している。

第5章では、連成フラッタ制御にジャイロダンパを適用し、数値計算および風洞実験により連成フラッタに対する効果を検証した。一様流中では優れたフラッタ制御効果を有することを示すと同時に、乱流中においては、ジャイロダンパの制御効果により橋桁自体の振動は小さく抑えられるが、ジャイロダンパ自体の応答が大きくなり、ジンバルの回転角度が±90度以内であるという可動範囲の制限によって、フラッタに対して十分な制御効果が発揮できないことを示している。

第6章では、ジャイロダンパの制御性能の非線形性を考慮した一連の設計方法を提案した。まず、ジャイロダンパの固有

振動数および減衰比といったパラメータの設計方法を線形系の運動方程式において導出し、次にジャイロダンパの非線形特性を、線形化して表現する手法を明らかにした。これらの手法の組み合わせにより、非線形性の影響を考慮した簡便な設計手法を提案している。また、橋梁のガスト応答解析手法を応用し、ジャイロダンパのジンバル回転角の応答量を推定する方法を示し、上記パラメータ設計手法と組み合わせて2500 m級の超長大吊橋の連成フラッタに適用するジャイロダンパの構造諸元を明らかにした。

第7章は結論で、本研究で得られた成果を総括している。

論文審査の結果の要旨

本研究は、超長大吊橋の連成フラッタ対策として、振子型動吸振器およびジャイロダンパによる制御効果の検証および設計技術についての研究成果をまとめたもので、得られた主な成果は以下のとおりである。

- (1) 超長大吊橋の連成フラッタ対策として、振子型動吸振器は、従来構造の動吸振器に比べて軽量でも高い効果を発揮することを理論および風洞実験により明らかにした。また、フラッタ現象をフィードバック理論で表現する手法を提案し、連成フラッタに対する動吸振器の制振メカニズムも明らかにした。
- (2) 風速に応じて振動特性が大きく変化する連成フラッタ振動系に対して、振子型動吸振器のチューニング手法を明らかにした。さらに、動吸振器のチューニング誤差に対するロバスト性向上の方法として、固有振動数が異なる複数の動吸振器に分割する方法が有効であることを示し、その具体的な設計方法を提案した。
- (3) 多数の振動モードを考慮できる吊橋の3次元フラッタ解析により、橋梁の連成フラッタ対策としての振子型動吸振器の問題点を明らかにするとともに、その解決策として、橋梁長手方向における複数の振子型動吸振器の適切な配置および重量配分法を提案した。
- (4) 連成フラッタに対するジャイロダンパの制御性能を、解析および風洞実験により検証し、ロータ回転数を上げることで、高いフラッタ抑制効果を発揮することを確認した。しかし、自然界の乱れた風を模擬した乱流実験においては、ジンバルの回転角が大きく応答し、その可動範囲の制限や制御性能の非線形性により、連成フラッタ抑制効果が著しく低下することを明らかにした。これを考慮したジャイロダンパの設計手法を明らかにした。

以上要するに、本論文は超長大橋の連成フラッタを抑制することを目的に、振子型動吸振器やジャイロダンパといった制振装置の有効性を明らかにするとともに、具体的な設計手法を明らかにしたもので、学術上、實際上寄与するところが少ない。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14年7月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。