

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 中野龍児

本論文は、「振動モードの切替えによる斜張橋斜材ケーブルの制振方法に関する研究」と題し、斜張橋の斜材ケーブルに発生する風による自励振動の制振を目的として新たに考案した「振動モード切替え制振法」について、その制振原理、有効性及び設計変数の設定法を理論的に検討し、風洞実験及び実橋実験により理論の妥当性を検証するとともに、実大斜材ケーブルの振動に対する有効性を確認した結果について述べたものである。

斜張橋の斜材ケーブルは細長く、減衰が非常に小さいために、風によって振動しやすいという特徴を有する。風による振動の中でも、特に、レインバイブレーションやウェイクギャロッピングという自励振動では、1次や2次といった低次モードで大振幅の振動が発生する。

このような振動は、橋の利用者に不安感を与えるばかりでなく、ケーブルの疲労破壊を招く危険性があるため、従来から様々な制振対策が施されてきた。しかしながら、これらの対策は、温度特性、メンテナンス性及び経済性などにおいて課題を持っており、より優れた制振対策が期待されていた。

本論文では、これらの課題を解決するために、「振動モード切替え制振法」とよばれる新たな制振対策が考案されている。本制振法は、ケーブルの空力振動現象が低次の振動モードに発生する現象である点に着目し、ケーブルに敢えて空力的に安定な高次モードを発生させることで振動エネルギーの散逸を促進し低次モードの空力振動を制振するという新しい考え方の制振方法である。

本制振法では、永久磁石をケーブルの桁側の定着点付近と橋桁の間に、ケーブルから少しの間隙（以下、この間隙をギャップと呼ぶ）を空けて設置し、ケーブルが振動して磁石に達したときに拘束され、振動が成長して復元力が磁石の吸着力を上回ったときに解放されるという拘束・解放の切替え動作をパッシ

ブに実現することで、ケーブルの振動モードを切り替え、高次モードを発生させている。

本論文では、考案した振動モード切替え制振法について、ケーブルの拘束・解放動作発生時の高次モードの発現、自励振動に対する有効性、設計法及び実大ケーブルの自励振動に対する有効性を明らかにすることを目的として、理論的及び実験的に検討が行われ、その結果、以下のことが明らかにされている。

ギャップがゼロの場合については、拘束状態から解放状態に切り替わる瞬間及び解放状態から拘束状態に切り替わる瞬間のモード間のエネルギー変化を解析した結果から、拘束状態から解放状態に切り替わる瞬間及び解放状態から拘束状態に切り替わる瞬間のいずれにおいても高次モードが発生することが確認された。特に拘束状態から解放状態に切り替わる時のポテンシャルエネルギーが高次モードの発生に寄与することが明らかにされた。

次に、ギャップを考慮した場合については、振動モードごとに分解した解析モデルによる時刻歴解析による自励振動に対する本制振法の有効性を検討した結果、解放される瞬間により多くの高次モードが発現し、これによって振動が低減されることが確認された。また、ギャップが広がるほど振動の低減に必要な吸着力も大きくなることが明らかにされた。加えて、制振時のケーブルの挙動を解析した結果、ギャップや吸着力の大きさに応じて、拘束状態が支配的な振動と解放状態が支配的な振動があることが確認された。

さらに、並列ケーブルに発生するウェイクギャロッピングを風洞内で再現し、様々なギャップや吸着力に対して制振実験を実施した結果より、解析法の妥当性と風洞内で発生するウェイクギャロッピングに対する制振法の有効性が確認された。

特に、ギャップを考慮した場合については、「等価空力減衰比」という概念を導入し、計算負荷の大きい時刻歴解析を行うことなく、許容変位以内にケーブルを制振するための設計法を提案している。また、この方法によって得られる設計変数の設定値は、風洞実験において制振可能となったギャップと吸着力の組合せとよく一致することが確認されている。

また、実機での有効性に関しては、実大ケーブルにおいて実際に発生したレ

インバイブレーションに対する制振実験を実施し、この制振装置によって高次モードが発生し、これによりレインバイブレーションを効果的に低減できることを確認している。

以上のように、本論文の中で展開されている研究は、機械工学特に振動制御工学の発展に大きく貢献するものである。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。