

I-437

柔構造物の多モードアクティブ制振手法の基礎的研究

日本大学理工学部 背戸 一登
三井造船株式会社 正員 大森 龍一郎, 正員 井上 浩男, 南 真和

1. まえがき 長大橋主塔等の柔構造物においては、何らかの制振手法を施さないと、施工の安全基準を満たすことが不可能となっている場合が大半となってきた。最近では、アクティブ振動制御技術が、建設工事においても導入されるようになってきているが、Fail Safeの面から、TMDの特性を残さざるを得ない状況にあり、よりコンパクトで近接モードがある、多モード同時アクティブ制振の本格的な実用化は為されていないのが現状である。また、工事の進捗に従って状態が日々変化する塔工事等の制振問題に対して、ハードを変更することなく、制御ソフトの変更によって、制振条件を満足することのできるフルアクティブの制振装置の重要性が高まってきている。本研究では、これらの問題に対応する一段階として、低次元化モデル作成法とフィルタ包含準最適制御法を組み合わせた方法を提案し、検証を行った結果を示すものである。

2. 使用模型 ここでは、タワークレーンと塔が並行して立っている状態を模型化することで、実際に起こり得る複雑な連成状態を再現した。図1に模型形状図を示す。また、図2にモード図を示す。実験ではこの模型に、ハイブリッド型の制振装置を取り付けて、制振検証を行った。

3. 低次元化モデル作成法 低次元化モデル作成法とは、まず固有振動解析等によって対象構造物の振動モード形状を求め、低次元化をするために無視したいモードの内、最低次モードの振動の節を集中定数系モデルの質点に指定する。次に、この点で制御対象モードのモード成分を読みとって、仮のモード行列を作成し、感度解析法を応用したモード行列の修正を行った結果を用いて集中定数系の物理モデルを求めるものである。この方法を適用し、5質点モデルとした結果を図3に、このモデルの周波数応答と連続体である模型のFFT解析周波数応答結果を図4に示す。これらの結果から、質点1～4間でのモデルと連続体の周波数応答は、よく一致していることがわかる。質点5で周波数応答が異なっているのは、2次と3次の同じねじれモードの振動形態を、質点5の挙動を使って違いを持たせているためである。この違いについては、以下に示す制御法と組み合わせることにより、質点5をダミーとすることが許されるため結果として効果的な制振が可能となり、両者の手法の組合せがよく適合していることがわかる。

4. フィルタ包含準最適制御法 一般に準最適制御では、対象モード数に対するセンサ数を省略したい場合には適用されるが、無視した高次モードのスピルオーバを防止することはかなり困難である。また、現実には使用できるセンサの数や場所の限定、制振装置の設置場所の限定など、多くの制約を受けながら制振条件を満たさなければならない状況がほとんどである。このような要求に対しては、各種の方法が提案されているが、本研究では、高次モードのスピルオーバ問題に対して、これを抑制するフィルタの状態量をフィードバックする制御系を設計する方法について提案する。この手法を使い、6次モードの節でモデルを作成したときのシミュレーション結果を図5に示す。

5. 検証実験 実験は、上記のモデルを用いて実施した(図6)。ハイブリッド制振装置の相対変位は、ひずみゲージで求め、模型の振幅は4つの変位センサで計測を行った。図7に周波数応答を示す。この比較から、1次から5次の共振ピークは、シミュレーションの結果とよく一致している。また、図8のインパルス応答からは、非制御時に比べての制振効果が読みとれる。

6. 結論 柔構造物の1次から5次モードまでの振動制御を目的として、集中定数系モデルの作成法、この構造物にマッチした制御手法を提案し、模型実験によってこれらの有効性を検証した。また、ここに提案した方法の有用性をシミュレーションと実験によって示した。この方法によれば、無視した高次モードのスピルオーバ不安定を起こすことなく、目的の制御モードが十分に抑制できることがわかった。

今後は、この模型を風洞に持ち込み、乱流境界層中での空気力で振動する状態を再現し、これらの制御理論の検証を行う予定である。

7. 謝辞 本研究を進めるにあたり、協和合金(株)振動制御研究所の土井主任研究員・瀧手研究員には、多大なるご協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表す。

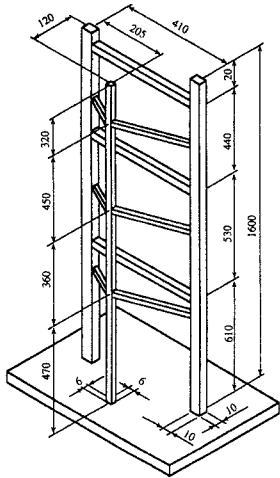


図1 模型構造物の形状

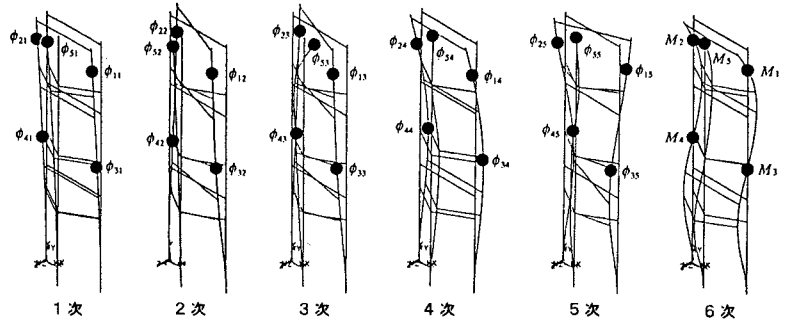


図2 1次から6次までの振動モードと5質点モデル作成のための質点位置

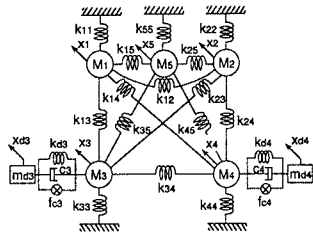
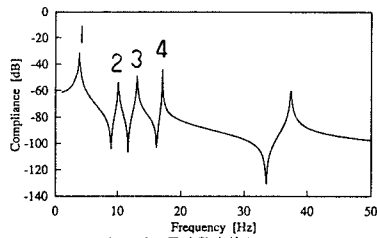
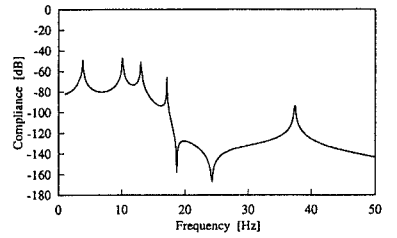


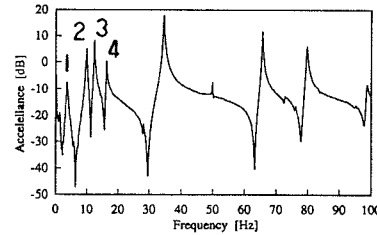
図3 5質点集中定数系モデル



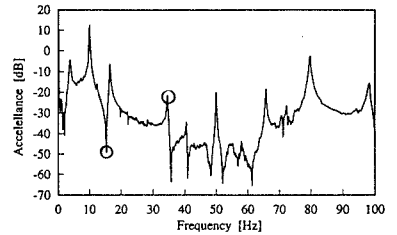
a) 5質点モデル周波数応答シミュレーション



a) 5質点モデル周波数応答シミュレーション



b) F F Tによる測定された周波数応答
質点1を加振したことによる質点1の周波数応答



b) F F Tによる測定された周波数応答
質点1を加振したことによる質点5の周波数応答

図4 低次元化モデル作成法の適用

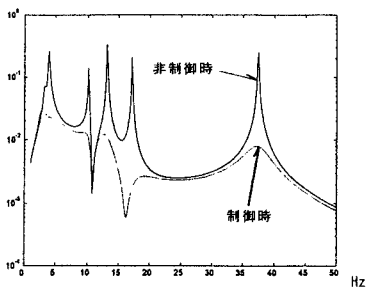


図5 フィルタ包含準最通シミュレーション結果

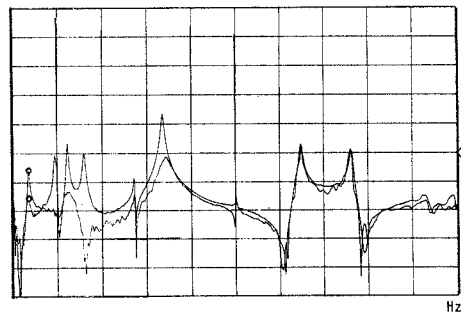


図7 周波数応答結果

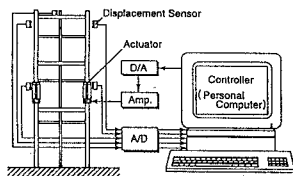


図6 検証実験装置の概要

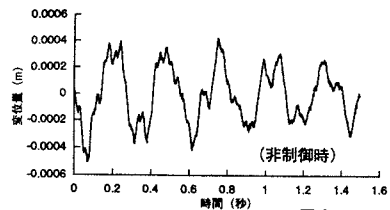


図8 インパルス応答結果

