

自励振動に対する動吸振器の動作原理の解明と最適設計法の開発

谷口, 智之

<https://doi.org/10.15017/1654874>

出版情報：九州大学, 2015, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済



氏 名 : 谷口 智之

論 文 名 : 自励振動に対する動吸振器の動作原理の解明と最適設計法の開発

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

自励振動とは、系に内在する何らかのエネルギー変換機構が非振動的なエネルギーを振動的なエネルギーに持続的に変換することによって発生・成長する振動の総称である。いったん自励振動が発生すると非常に大きな振動に成長することが多く、機械システムにとっては極めて有害である。現在のところ、線形系の自励振動の発生原因は、係数励振、負性抵抗、時間遅れ、非対称行列の 4 種類に大別される。これまでに、これら 4 種類の自励振動に対する防止対策の一つとして動吸振器に関する研究が行われてきた。動吸振器とは小さな質量をばねと減衰を介して本体に取り付け、本体の制振を図る装置のことであり、主に強制振動に対して用いられるが、先行研究から自励振動に対しても有効であることが確認されている。しかしながら、強制振動とは異なり自励振動に対する動作原理についてはほとんど考察されておらず、動吸振器によって自励振動が抑制されるメカニズムの解明には至っていない。また、動吸振器の最適設計法に関する検討も十分とは言えない。このような背景から、本研究では自励振動に対する動吸振器の動作原理の解明と最適設計法の開発を目的とした。動作原理を解明できればその学術的な意義は大きく、最適設計法が確立できればその実用的な価値も高い。

本論文では、動作原理の解明のため、動吸振器が散逸エネルギーおよび励振エネルギーに及ぼす影響を検討した。それには、本体に動吸振器を付加した多自由度系を対象とするため、モード別の検討が重要となる。しかしながら、従来の実モード解析では減衰行列は対角化されないため、モード別の減衰の影響を正確に評価することができない。また、複素モード解析ではモード方程式が 1 階の複素常微分方程式となるため、エネルギー的な検討に向かない。そこで、従来の複素モード解析の課題点を解決した新型複素モード解析法を開発した。これに基づく近似安定判別法を定式化し、係数励振系、負性抵抗系、非対称行列系の 3 種類の自励振動系に対する動吸振器の動作原理を明らかにした。また、動作原理に関する検討結果に基づき、動吸振器の効率的な最適設計手順を示した。

本論文は以下の 7 つの章から構成される。

第 1 章では、自励振動と動吸振器に関する基礎的事項を整理するとともに、自励振動に対する動吸振器を取り扱った先行研究についてまとめた。また、動吸振器の動作原理を解明する上での課題点および本研究の目的を示した。

第 2 章では、線形自励振動系の一般的な運動方程式を対象に、エネルギー的な検討に適した新型複素モード解析法を提案した。従来の実モード解析および複素モード解析の概略と課題点を述べ、質量、減衰および剛性行列を同時に対角化しつつ、モード方程式を 2 階の実常微分方程式として導出する具体的な手順を示した。

第 3 章では、係数励振系に対する動吸振器の動作原理について検討した。タイプの異なる 2 つの解析モデルを構築し、第 2 章で提案した新型複素モード解析法に基づく近似安定判別法を定式化する

るとともに、具体的な数値計算結果からその精度を確認した。散逸および励振エネルギーを解析的に導出した結果、励振エネルギーは主にモード形状を調整することで変更され、散逸エネルギーは動吸振器の減衰によって増加し、結果として散逸エネルギーが励振エネルギーを上回ることで系全体を安定化させるといった動吸振器の動作原理を明らかにした。また、系全体の安定化とロバスト性の観点から特性指数の最小化が動吸振器の設計目標であることを述べ、動吸振器の最適な振動数比と減衰比をそれぞれ探索する最適設計手順をモデル別に示した。

第4章では、負性抵抗系に対する動吸振器の動作原理について検討した。ギャロッピングが発生する解析モデルに対して新型複素モード解析を適用し、高精度な近似安定判別法を定式化した。第3章と同様の検討により、負性抵抗系と係数励振系に対する動作原理は共通であることを明らかにした。また、動吸振器の最適設計手順を示した。

第5章では、非対称行列系に対する動吸振器の動作原理について検討した。摩擦により剛性行列が非対称となる解析モデルを構築し、新型複素モード解析を適用した。発生する不安定振動を2つのモード間の連成振動で仮定した近似安定判別法を定式化し、その妥当性を数値的に確認した。解析的にエネルギーを導出した結果、励振エネルギーは2つのモード間の位相差が原因で発生し、動吸振器によってその位相差が変化することを示した。また、第3章および第4章と同様の動作原理を明らかにした。さらに、動吸振器の最適設計手順についても示した。

第6章では、第3章から第5章までの検討結果を整理し、3種類の自励振動系に共通する動吸振器の動作原理および相違点をまとめた。その結果、動吸振器が励振エネルギーに及ぼす影響は励振形態ごとに異なるものの、散逸エネルギーが励振エネルギーを上回るように安定系の振動特性を変化させ、系全体を安定化させるといった3つの自励振動系に共通する動吸振器の動作原理を明らかにした。

第7章では、第6章までの内容を踏まえ、本論文を総括した。

〔作成要領〕

1. 用紙はA4判上質紙を使用すること。
2. 原則として、文字サイズ10.5ポイントとする。
3. 左右2センチ，上下2.5センチ程度をあげ，ページ数は記入しないこと。
4. 要旨は2,000字程度にまとめること。
(英文の場合は，2ページ以内にまとめること。)
5. 図表・図式等は随意に使用のこと。
6. ワードプロ浄書すること（手書きする場合は楷書体）。
この様式で提出された書類は，「九州大学博士学位論文内容の要旨及び審査結果の要旨」
の原稿として写真印刷するので，鮮明な原稿をクリップ止めで提出すること。