

柔軟構造物に生じる係数励振現象の安定化制御に関する研究

(研究課題番号 09650454)

平成9年度～平成11年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))研究成果報告書

平成12年3月

研究代表者 青島伸治
筑波大学機能工学系

1 はしがき

本冊子は、科学研究費により行われた、係数励振振動の安定化制御法の構築に関する研究をまとめたものである。

1. 研究組織

研究代表者：青島伸治（筑波大学機能工学系）

研究分担者：藪野浩司（筑波大学機能工学系）

2. 研究経費

平成9年度：1200千円

平成10年度：900千円

平成11年度：500千円

3. 研究発表

(a) 学会誌等

(1)Yabuno, H. Ide, Y. and Aoshima, N., Nonlinear Analysis of a Parametrically Excited Cantilever Beam, JSME International Journal Series C, 41, pp555-562.

(2) 藪野, 酒井, 井手, 磁気浮上物体に生じる係数励振の安定化, 日本機械学会論文集 C 編, 65, 916-922.

(b) 口頭発表

(1) 井手, 藪野, 青島, "鉛直加振を受ける先端質量を持つ梁の非線形応答解析", 日本機械学会 D&D Conference, 札幌, 1998年8月.

(2) 川添, 藪野, 青島, "柔軟構造物に生じる係数励振の分岐制御による安定化", 日本機械学会 D&D Conference, 札幌, 1998年8月.

(3) 酒井, 藪野, 青島, "磁気浮上物体に生じる係数励振の安定化", 日本機械学会 D&D Conference, 札幌, 1998年8月.

(4)Kawazoe, J., Yabuno, H., and Aoshima, N., "Experimental Study on Stabilization of a Parametrically Excited Cantilever Beam by an Active Pendulum Type Vibration Absorber", International Congress on Dynamics and Control of Systems, Ottawa, Canada, August, 1999.

(5)Saigusa, S., Yabuno, H., and Aoshima, N., "Stabilization of the Parametric Resonance of a Cantilever Beam by Bifurcation Control with a Piezo Actuator", ASME Mechanics & Materials Conference, Blacksburg, USA, June, 1999

(6)Yabuno, H., Kawazoe, J., and Aoshima, N., "Suppression of Parametric Resonance of a Cantilever Beam by a Pendulum-Type Vibration Absorber", ASME Design Engineering Technical Conferences, Las Vegas, USA, September, 1999.

2 研究の背景と概要

地震時における構造物の横揺れに関する研究は古くから行われている。しかしながらこれらの多くは、地盤の水平方向の振動やロッキングに起因して発生する横揺れ（水平加振に起因した横揺れ）に関する研究であり、阪神大震災で問題となった地盤の鉛直方向の振動に起因して発生する構造物の横揺れ（鉛直加振に起因した横揺れ）に関する研究はあまり行われていない。前者の励振メカニズムは強制加振であるのに対し、後者の励振現象は、係数励振に起因していると考えられる。係数励振現象の周波数応答は、そのシステムに存在する復元力の非線形性に本質的に依存することが知られているが、本研究の目的はこのような特徴をもった係数励振振動の安定化制御法を理論的ならびに実験的に確立することである。

3 梁に生じる係数励振振動の非線形応答解析

梁に生じる係数励振振動の安定化制御法の構築に先立ち、周波数応答解析を行った。前述したように、それには非線形復元力を正確に考慮して支配方程式を導出し、非線形解析する必要がある。本研究では、梁の曲率の非線形成分を考慮した運動方程式を解析した。その結果、梁の先端質量の大きさによって、分岐点の数や種類が変化する（先端質量が比較的小さい場合、2つの自明な安定性交代分岐が存在し、この場合周波数応答曲線はいたるところ安定である。一方先端質量が比較的大きい場合、2つの自明な安定性交代分岐と2つの非自明なサドルノード分岐が存在し、この場合周波数応答曲線の一部は不安定である）ものの、係数励振振動の発生に直接関係する自明な分岐点の位置は変化しないことが理論的に指摘され、模型実験によって確認された。この結果から係数励振の安定化には、何らかの制御方法によって自明な分岐点を移動すればよいことがわかった。そこで、以下具体的に2、3の方法によって、自明な分岐点を移動することにより係数励振の安定化をおこなった。

4 梁に生じる係数励振振動の安定化制御（受動制御）

まず振り子状の制振器を梁の先端に取り付け係数励振の安定化制御を試みた。本手法は振り子の支持点に存在する微小な静止摩擦を利用したものである。この場合、（1）振り子がクーロン摩擦により固定されている場合と、（2）振り子が固定されていない場合ではシステムの固有振動数が異なることに注目する必要がある。はじめに（1）の場合の固有振動数の2倍近傍の励振振動数で梁が加振される場合を考える。この場合、まず加振条件が励振条件を満足するので梁が振動する。しかしながら梁の振動発生と同時に、振り子が静止摩擦力による拘束からとかれて、運動をはじめめる。このときシステムの固有振動数は変化し、加振条件は励振条件を満たさなくなり係数励振は発生しないことになる。（2）の場合の固有振動数の2倍近傍の励振振動数で梁が加振される場合は、梁および振り子に対する外乱が小さく、梁の変位、振り子の変位ともに小さい場合、実際の系の固有振動数は（1）の場合の固有振動数であるため励振条件が満足されずこの場合も係数励振は発生しないことになる。さらに支配方程式を解析することにより、提案した方法を理論的に検討し、また実験によりその有用性を

議論した。この結果、本手法は外乱が比較的大きな場合については、制振器の効果が期待できず、他の制御方法を提案する必要があることがわかった。

5 非対称非線形復元力を受ける物体に生じる係数励振振動の能動的安定化制御

外乱に対してもロバストな安定化法を能動制御をもちいて構築した。この方法は等価的にシステムの粘性減衰を増やす方法であり、振り子状の制振器をアクチュエータにより能動的に制御する（基本的には速度フィードバックする）ことによって実行される。なお、振り子運動によりその支点到働く反力が、制御対象に加わる制御力となるため、制御系全体の自由度は非制御系に比べて振り子の自由度分だけ増加することになる。

本手法を非対称非線形復元力を受ける物体（たとえば磁気浮上物体）に生じる係数励振振動の安定化に適用するため、まず制御系の支配方程式を導出し、解析的近似解法を用いて分岐集合をもとめ必要なフィードバックゲインを得た。この結果をもちいて模型実験を行い、本手法の妥当性を実験的に確認した。

6 梁に生じる係数励振振動の安定化制御（能動制御）

上記のアクティブ制御法を下端を軸方向に加振される片持ち梁に生じる係数励振振動の安定化に応用した。自由端にモーターを取り付けその軸に振り子を装着し、振り子運動によって生じる梁の自由端に加わる反力を制御力としてもちい、安定化を行った。まずシステムの支配方程式を導き、摂動法を用いて解析的近似解をもとめた。得られた振幅と位相の時間変化を表す振幅方程式から、分岐集合を導きその移動を制御力によりおこなうことにより（適切なフィードバックゲインを決定し）、系の安定化を図った。さらに模型実験によって、理論的に提案された安定化制御法の妥当性を実験的に議論した。本手法は、前記の”非対称非線形復元力を受ける物体に生じる係数励振振動の能動的安定化制御”の場合と同様、制御系全体の自由度は非制御系に比べて振り子の自由度分だけ増加することになる。この自由度の増加を防ぐ方法として、次にピエゾアクチュエータをもちいた安定化制御法を提案する。

7 ピエゾアクチュエータを用いた係数励振の能動安定化制御

圧電セラミクスに電圧を印加するとそれに比例した曲げモーメントが発生する。そこで、圧電セラミクスを係数励振される片持ち梁に装着し、圧電セラミクスの印加電圧を操作することにより、係数励振振動の安定化制御をこころみた。この場合振り子状のアクチュエータをもちいる場合とはことなり、直接梁に加えるモーメントを操作できるため、制御系と非制御系の自由度の数は一致する。したがって、振り子を用いた場合よりも制御系が簡単になり、制御則の構築も容易になる。支配方程式を導出し理

論解析を行うことにより、このことを理論的に確かめた。また本手法は外乱に対してロバストであり、また、係数励振が安定化された後はシステムに対する制御入力も理論的に0になるという点の特徴である。本研究で提案した係数励振の安定化手法は、梁のみならず、剛体系は勿論のこと、複雑な形状の柔軟構造物に発生する係数励振振動の安定化に広く応用可能であると考えられる。

8 収録論文

- (1) Yabuno, H., Ide, Y. and Aoshima, N., Nonlinear Analysis of a Parametrically Excited Cantilever Beam, JSME International Journal Series C, 41, pp555-562.
- (2) 藪野, 酒井, 井手, 磁気浮上物体に生じる係数励振の安定化, 日本機械学会論文集 C 編, 65, 916-922.
- (3) 井手, 藪野, 青島, "鉛直加振を受ける先端質量を持つ梁の非線形応答解析", 日本機械学会講演会論文集, 98-8, 1998, 241-244.
- (4) 川添, 藪野, 青島, "柔軟構造物に生じる係数励振の分岐制御による安定化", 日本機械学会講演会論文集, 98-8, 1998, 321-324.
- (5) 酒井, 藪野, 青島, "磁気浮上物体に生じる係数励振の安定化", 日本機械学会講演会論文集, 98-8, 1998, 325-328.
- (6) Kawazoe, J., Yabuno, H., and Aoshima, N., "Experimental Study on Stabilization of a Parametrically Excited Cantilever Beam by an Active Pendulum Type Vibration Absorber", Proc. of International Congress on Dynamics and Control of Systems, 1999.
- (7) Yabuno, H., Kawazoe, J., and Aoshima, N., "Suppression of Parametric Resonance of a Cantilever Beam by a Pendulum-Type Vibration Absorber", Proc. of ASME Design Engineering Technical Conferences, 1999, DETC99/VIB-8072 CDROM.

以下の頁は著作権者の許諾を得ていないため、公表できません。

p. ~p.

p. ~p.

p. ~p.

p. ~p.

p. ~p.