

機関番号：22604

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760170

研究課題名 (和文) 直交異方性平板における波動制御理論の構築

研究課題名 (英文) Development of active wave control theory for an orthotropic panel

研究代表者

岩本 宏之 (IWAMOTO HIROYUKI)

首都大学東京・システムデザイン研究科・助教

研究者番号：90404938

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、これまでに提案されている平板構造物の波動制御法を、直交異方性平板の場合にまで拡張することを目的としている。まず、伝達マトリクス法によって直交異方性矩形平板の動特性を記述することから始め、平板が直交異方性を有する場合は cut-on 周波数が 2 つ存在することを明らかにした。さらに、当該構造物に対して、フィードフォワード制御とフィードバック制御の両面から、波動制御理論を体系的に構築した。

研究成果の概要 (英文)：

The objective of this study is to expand the conventional active wave control for a flexible panel to the case of an orthotropic panel. First, this study began with describing the dynamics of an orthotropic rectangular panel using a transfer matrix method. It was found that when a rectangular panel has orthotropy, the structure has two cut-on frequencies. Then, active wave control for such a structure was systematically established from a viewpoint of feedforward and feedback techniques.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 機械力学・制御

キーワード：振動制御

1. 研究開始当初の背景

近年、分布定数系構造物の振動抑制問題に対するブレイクスルーとして、波動制御法が注目されている。当該手法は、モード励振の元凶となる反射波を除去することで、振動モードの不活性化を可能とする。さらに、構造物中のある領域に流入する波動を除去することにより、無振動状態の生成を実現する。

しかし、上記の研究は一次元構造物に特化

したものであり、対象とする構造物は非常に限定されたものであった。この状況を打破すべく、申請者らは波動制御理論の二次元問題への展開を志向し、薄肉平板構造物を対象とした波動制御法を提案してきた。

一方、最近の構造物は比剛性に優れる FRP 等の直交異方性複合材料によって構成される場合が多く、航空宇宙分野では特にそれが顕著である。そのような構造においては、二

次元波動の波面は真円ではなくゆがんだ形で伝播する。したがって、申請者らが提案する平板構造物の波動制御法をそのまま適用することは不可能であった。

2. 研究の目的

上記の背景を元に、本研究は、従来の波動制御法をさらに発展させ、これまで等方性平板を対象に展開されてきた波動制御法を直交異方性平板の場合にまで拡張することを目的とする。これが達成されれば、波及効果として以下の2つが考えられる。

①航空機・宇宙機の嫌振領域における無振動状態生成

極限環境下において使用される航空機あるいは宇宙機の構造健全性は、人の安全に直結するため非常に重要である。したがって、それを構成する直交異方性材料の非破壊検査に関する研究は多く行われている。しかし、クラック発生時の対策に関する研究は少ない。これに対し、提案手法はクラックのある嫌振領域に流入する波動を遮断・迂回させ、無振動状態を生成することが可能であるので、緊急時の構造延命措置として有効であると考えられる。

②紙鳴り音の抑制

印刷機の中で高速に搬送される紙は、それ自体がスピーカのように振る舞い、印刷機の騒音を増大させる。これは「紙鳴り音」と呼ばれ、その抑制はオフィス環境の静粛化につながり、非常に重要である。しかし、紙自体にアクチュエータを設置することは不可能である。したがって、ローラー部をアクチュエータとする反射波吸収制御（境界制御型）が有効であると考えられる。紙自体は直交異方性を有するので、提案手法が実現すれば、その騒音抑制が期待できる。

3. 研究の方法

まず、従来の伝達マトリクス法を直交異方性平板の場合にまで拡張し、平板振動を波動の観点から記述することから始める。次に、一列に並んだ制御用アクチュエータ・アレイを導入し、当該線上を通過する波動を除去する制御則を導出する。この時、外乱点との位置関係によって、制御則は反射波吸収制御と透過波除去制御に分類される。制御方式としては、フィードフォワード制御およびフィードバック制御の両面から、制御系の設計を行い、当該制御系の特性を明らかにし、その有用性を立証する。

4. 研究成果

本研究において得られた成果をまとめると、以下ようになる。

1. 等方性平板の場合、cut-on 周波数(波動の種類)が変化する周波数。具体的には、

波動項の指数関数の肩が実数から虚数に転じる、あるいは実数から複素数に転じる周波数)は1種類のみであったが、直交異方性平板の場合は2種類のcut-on 周波数が存在することが明らかになった。したがって、直交異方性平板における波動は、2つのcut-on 周波数によって分割された3つの帯域において、異なる特性を持つことが明らかになった。さらに、波動解の基本的な構成は等方性平板の場合と変わらないことから、従来の波動フィルタリング法を比較的容易に転用できることが明らかになった。

2. 直交異方性平板を対象にフィードフォワード型波動制御法を提案し、当該手法の有用性を数値解析の観点から立証した。当該制御系を構築する際には、常に振動を抑制するために、cut-on 周波数によって分割される帯域ごとに、適切な波動項を抑制対象に選択する必要があることを明らかにした。

3. 直交異方性平板を対象にフィードバック型波動制御法を提案し、当該手法の有用性を数値解析の観点から立証した。当該制御系を構築する際には、フィードフォワード型波動制御法の場合と同様に、cut-on 周波数によって分割される帯域ごとに、適切な波動項を抑制対象に選択する必要があることを明らかにした。特に、無振動状態の生成については、ゲイン特性の漸近線レベルを抑制することが重要であるため、制御則の切り替えは重要である。

4. 一般に波動制御則は、ラプラス演算子の有理関数によって記述されることはなく、非因果的な制御則となる場合が多い。また、フィードバック制御の場合、系の安定性を担保する必要がある。そこで、本研究では、根軌跡およびナイキスト線図によって手法そのものの安定性を議論した後、コロケーション条件の下に無条件安定が保証されているDVDFB制御(Direct Velocity and Displacement Feedback)をクラスタ制御にまで展開し、指定された周波数を対象に波動吸収が達成できる手法を提案した。

次に、提案手法の制御効果について、いくつかの数値解析例を以下に示す。図1は反射波吸収制御時・非制御時の平板の駆動点コンプライアンスのゲイン特性を示している。非制御時の場合、100Hz 間での周波数帯域において7個の共振ピークと7個のノッチが存在しているのがわかる。これに対し、反射波吸収制御を適用した場合、全てのピークとノッチが漸近線に収束しているのがわかる。これは、振動モードが不活性化された場合の典型的な制御効果である。

図 2 は(1,2)モード周波数における透過波除去制御時・非制御時の絶対変位分布を示している図より明らかなように、透過波除去制御時の場合、平板の広い領域において無振動状態が生成されているのがわかる。これは、制御領域において制御力以外の加振源が存在しないため、透過波の除去が反射波の除去に帰結し、ニアフィールドが支配的な振動場になるためである。

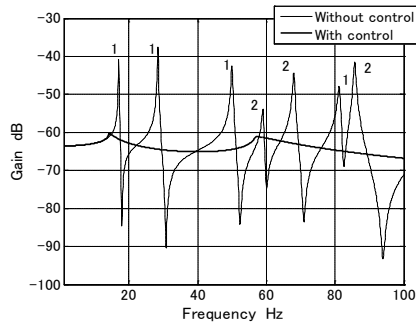


Figure 1 Gain plot of driving point compliance with and without control

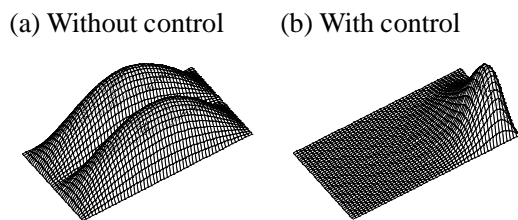


Figure 2 Absolute envelope of a panel with and without control

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

1. H. Iwamoto, N. Tanaka and S. G. Hill, Adaptive feedforward control of a rectangular panel using a wave filter constructed with point sensors, Journal of Sound and Vibration, Vol. 330, Issue 11, (2011), pp. 2401-2418.
2. H. Iwamoto, N. Tanaka and A. Sanada, Noise reduction in a rectangular enclosure using active wave control, Journal of Environment and Engineering, Vol. 6. No. 6, (2011), pp. 107-118.
3. 西郷宗玄, 岩本宏之, はりの差分近似解を用いた境界近傍での制振制御, 日本機械学会論文集C編, 76-770 (2010), pp. 2536-2544.

4. H. Iwamoto, N. Tanaka and S. G. Hill, Smart wave filtering method for a rectangular panel using Hilbert transformers and its application to an adaptive control system, Smart Materials and Structures, Vol. 19, Issue 8, (2010), art. no. 085023.
5. H. Iwamoto and N. Tanaka, Adaptive Control of Wave Propagation in a Rectangular Panel Using a Smart Wave Filter, Proceeding of The 10th International Conference on Motion and Vibration Control, 2010, CD-ROM.
6. H. Iwamoto and N. Tanaka, Experiment on the active wave control of a rectangular panel using a wave filter constructed with smart mode sensors, Proceeding of The 17th International Congress on Sound and Vibration, 2010, CD-ROM.
7. H. Iwamoto, N. Tanaka and S. G. Hill, Hybrid control of an Euler-Bernoulli beam using direct velocity feedback and wave-filter-based active wave control, Journal of System Design and Dynamics, Vol. 4, No. 3, (2010), pp. 440-456.
8. 岩本宏之, 田中信雄, スマート波動フィルタを用いた薄肉矩形平板のフィールドフォワード型波動制御, 日本機械学会論文集C編, 76-765 (2010), pp. 1083-1092.
9. H. Iwamoto and N. Tanaka, Active Wave Control of a Rectangular Panel Using a Wave Filter Constructed with Smart Mode Sensors, Proceeding of the 13th Asia-Pacific Vibration Conference, 2009, CD-ROM.
10. H. Iwamoto and N. Tanaka, Active control of progressive waves in a rectangular cavity, Proceeding of the Euronoise 2009, 2009, CD-ROM.
11. H. Iwamoto and N. Tanaka, Active wave control of a rectangular panel using smart sensors, Proceeding of the 16th International Conference on Sound and Vibration, 2009, CD-ROM.
12. H. Iwamoto and N. Tanaka, Feedforward control of flexural waves propagating in a rectangular panel, Journal of Sound and Vibration, Vol. 324, Issue 1-2, (2009), pp. 1-25.

[学会発表] (計 6 件)

1. 多嘉良佑介, 田中信雄, 岩本宏之, 薄肉平板上の静粛領域生成時における音響放射パワーの評価, 日本機械学会年次大会, 名古屋工業大学, 2010年9月

2. 岩本宏之, 田中信雄, 眞田明, Active boundary controlを基調とした閉空間場における静粛場生成, 日本機械学会年次大会, 名古屋工業大学, 2010年9月
3. 岩本宏之, 田中信雄, 直交異方性矩形平板における波動制御に関する研究, Dynamics and Design Conference 2010, 同志社大学, 2010年9月
4. 岩本宏之, 田中信雄, 眞田明, 直方閉空間を対象とした波動制御に関する研究, 日本機械学会年次大会, 岩手大学, 2009年9月
5. 西郷宗玄, 岩本宏之, 差分近似はりの波動特性に関する一考察, Dynamics and Design Conference 2009, 北海道大学, 2009年8月
6. 岩本宏之, 田中信雄, スマートセンサによる薄肉矩形平板の波動制御, Dynamics and Design Conference 2009, 北海道大学, 2009年8月

[その他]

研究室ウェブサイト

<http://mctnt5.tmit.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩本 宏之 (IWAMOTO HIROYUKI)

首都大学東京・システムデザイン研究科・助教

研究者番号：90404938