

K4-59

アクティブ除振台に塔状弾性体を搭載したシステムの上下方向制振制御

Vertical Vibration Control of an Active Vibration Isolation table loading Elastic Tower-like Object

○磯野優也, 小林悠也, 渡辺亨

Yuya ISONO¹, Yuya KOBAYASHI², Toru WATANABE³

This paper deals with the control system design for active isolation table that loads a dynamical object. When elastic loads are put on the isolation table, vibration modes of the table are changed. Therefore, the controllers for the active isolation table should be designed taking account of elastic loads.

In this research, an experimental active isolation table with an elastic load is built. Its dynamical model is identified by using experimental modal analysis or FEM analysis. A controller is designed by using the model according to sub-optimal control theory, absolute velocity feed-back control theory and feed-forward control theory. In this study, the experiment system is designed to suppress vertical vibration. Property of the improved control system is qualified through computer simulations and control experiments.

1. 緒言

高精度の精密機器は微小な振動で、性能・精度が低下する。この微小な振動対策として、除振装置の研究が様々に行われている。その多くは地面からの振動絶縁のみを考慮したものであるが、除振台に大型の精密機器や縦長の形状をしているものを搭載したときには、搭載物による連成振動がおき、除振台と搭載物が一体となって揺れるような振動が生じ、問題となっている。本研究では除振台のみの制御で振動絶縁と制振効果を与えることを目指す。そのために、塔状弾性搭載物の振動特性も考慮したモデリング、制御系の設計を行う。

前年度までの実験では、制振性能と除振性能を両立した制御を行うことにより、良好な制御性能が発揮されることを確認できたが、本年度はよりシミュレーションに近い性能を得るために、水平方向に振動を与えた際に発生する上下方向の連成振動を制御するために、システムの改良を行った。

2. 実験装置概要

本研究では、鉛直方向に高い電子顕微鏡を搭載することを想定している。テーブルは 320×320×15 mm のアルミ製である。搭載物は高さ 710 mm で、2 本の角柱と 2 つのブロックより構成される。テーブル部は鉛直方向に 4 つの円弧ばね、水平方向に 8 つのリニアガイドにより支えられており、各々ピアノ線で接続している。また鉛直方向に 4 つ、水平方向に 4 つのボイスコイルモータによって制御力を伝えている。

Fig.1 に実験装置の外観を示す。

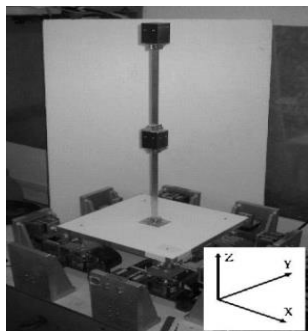


Fig.1 Overview of the Isolation System

3. 先行研究の結果

制振性能を得るための準最適制御と除振性能を得るための速度 FB・FF 制御理論の 2 つを組み合わせた準最適 FF 併合制御の結果をグラフ Fig.2, Fig.3 に示す。

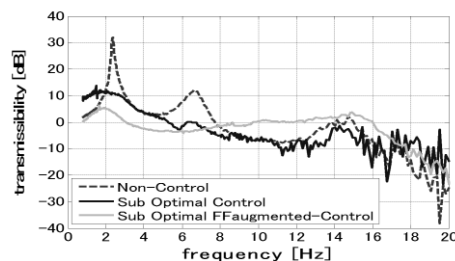


Fig.2 Frequency response ground disturbance at top point of install object

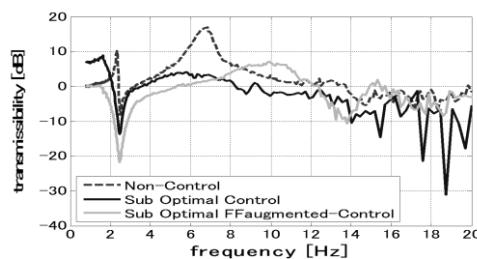


Fig.3 Frequency response ground disturbance at table (X direction)

4. 上下方向の振動制御

昨年度の準最適フィードフォワード併合制御の結果、特に低周波の領域で良好な制御性能を得られることが確認できた。しかし高周波では他の制御法と比べ性能の低下が見られた。その原因として現状では水平方向の制御しか行っていないが実際には縦方向にも連成振動が生じていることと考え、本年度は上下方向の振動制御を行った。上下方向の振動制御は新たにテーブル部の真下に設置したセンサーで変位を検出し、制御を行う。

5. モデリング手法

上下方向の振動に対しては搭載物とテーブル部を 1 質点とみなして 1 質点系モデルを作成した。

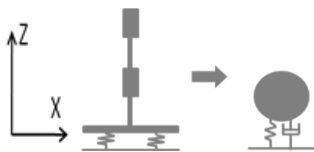


Fig.4 Concept of modeling

6. 最適制御理論

評価関数を最小化することによって妥当な制御則を決定する理論である。特に 2 次形式評価関数 J を最小化する最適制御理論がよく用いられる。2 次形式評価関数 J は

$$J = \int_0^{\infty} [X^T Q X + U^T R U] dt \quad (1)$$

と表される。評価関数 J はリカッチ方程式

$$PA + A^T P - PBR^{-1}B^T P + Q = 0 \quad (2)$$

の正定な解 P が求めれば制御量ベクトルを

$$U = -R^{-1}B^T P X = -KX \quad (3)$$

と定めることで最小にすることができる。

7. シミュレーション

MATLAB 上で上下方向の制振に最適制御を用いた場合におけるシミュレーションを行った。このとき入力エネルギーにかかる重み関数 R は制御力とエネルギー消費量のバランスを考え、 $R = 10^{-7}$ に決定した。Figure.5 に示すように上下方向に良好な制振効果が得られている。

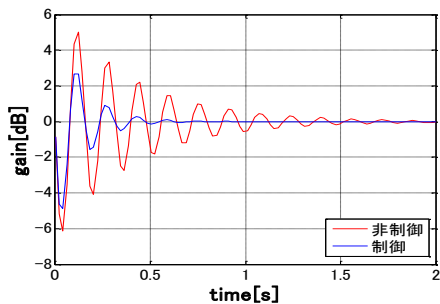


Fig.5 Simulation of time history

8. インパルス実験

前章と同じ制御器を用いてインパルスハンマーによる実験を行った。その結果を Fig.6 に示す。シミュレーションと同様に良好な制振効果が得られている。

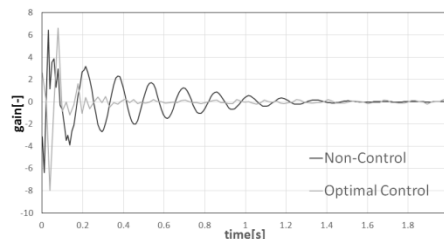


Fig.6 Time history

9. 水平・上下連成振動の抑制効果

水平方向に対する制振効果は確認出来たので水平・上下連成に対する効果について検証した。Figure.7 に水平方向加振に対する上下振動の周波数応答を示す。水平方向の 2 次モードである 6Hz 付近で特に高い制振効果が達成されている。

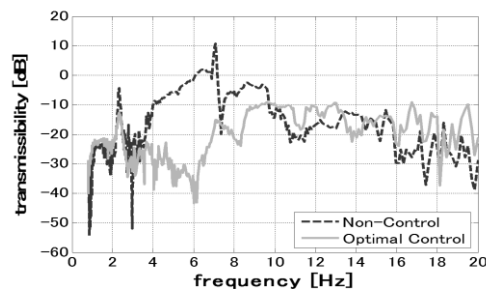


Fig.7 Frequency response ground disturbance at table (Z direction)

10. 結論

塔状弾性体を搭載した除振台の上下方向制御に関する検討を行った。上下振動を 1 自由度でモデル化し最適制御理論を用いて制御器を設計しシミュレーションと実験によりその効果を確認した。

11. 今後の展望

上下・水平方向の連成を考慮した力学的モデルを構築して上下・水平方向の同時制御を目指す。

12. 参考文献

- [1]長松昭男 著 「モード解析入門」 コロナ社
- [2]背戸 一登・丸山 晃市 著 「振動工学 解析から設計まで」 森北出版株式会社
- [3]背戸 一登 著 「構造物の振動制御」 コロナ社