

K4-57

搭載物の動特性を考慮したアクティブ除振台の制御システム設計

Control System Design for Active Isolator taking Dynamical Property of Elastic Load into Account

山崎 椋介¹, 白石 孟¹, 塩原和弥², 渡辺 亨³, 背戸 一登⁴, 田中 宏幸⁵

Ryosuke YAMAZAKI¹, Hazime SHIRAIISHI¹, Kazuya SHIOBARA²

Toru WATANABE³, Kazuto SETO⁴, Hiroyuki TANAKA⁵

This paper deals with the control system for active isolation table. It aims at controlling vibration of the installed object and isolation table. An experimental isolation table with flexible loaded object is built. Control simulations and experiments are carried out by using feedback controller designed by using sub-optimal&D control theory.

1. 緒言

高精度の精密機器は微小な振動で、性能・制度が低下する。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。

そのモード形を Fig.2 に示す。3つのモード形はすべて x 軸方向のものであり左から順に、1次モードのピッチングモード、2次モードのテーブル部のスライディングモード、3次モードの弾性曲げモードである。これら3つを制御対象とする。

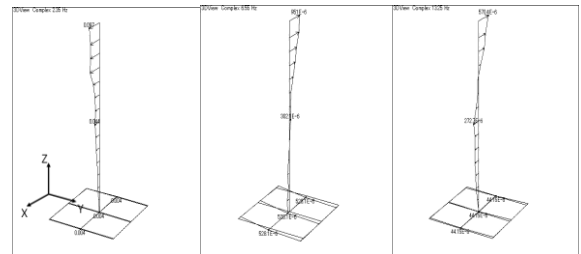


Fig.2 Vibration mode shapes of isolation table

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。

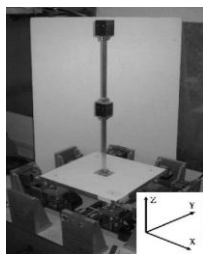


Fig.1 Overview of the Isolation System

3. 実験装置の振動特性

実験で得られる周波数応答を基に、実験モード解析ソフト Me'Scope から実験装置のモード形を調べた。

4. モデリング手法

制御対象とする振動を低次元化物理モデル作成法^{2,3}に基づきモデリングした。

- ① 3次モードまでの、制御対象構造物の振動特性を調べる。
- ② 低次元化する自由度(次数)を決定する。今回は質点の数が3つのため、3自由度である。
- ③ 質点の配置ポイントを決める。各振動モード形を良く表せる点をモデリングポイントとして選択する。1次モードでは頭頂部・2次モードではテーブル部・3次モードでは中間部をモデリングポイントとする。

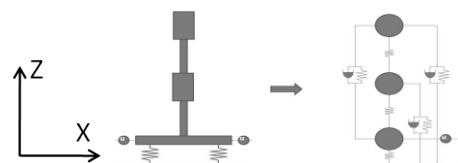


Fig.3 Concept of modeling

- ④ モード行列 Φ と各質点の等価質量 μ を求める。
- ⑤ (1),(2)式から質量行列 M ・剛性行列 K を求める。

$$M = \Phi^{-T} \Phi^{-1} \tag{1}$$

$$K = \Phi^{-T} \kappa \Phi^{-1} = \Phi^{-T} \omega^2 \Phi^{-1} \tag{2}$$

減衰行列 C は比例減衰的に求めた。

⑥ 運動方程式を立てて、制御系設計を行う。

5. モデリングの妥当性

作成したモデルと実機の周波数応答の比較図を示す。この図により、モデルの妥当性を確認出来る。

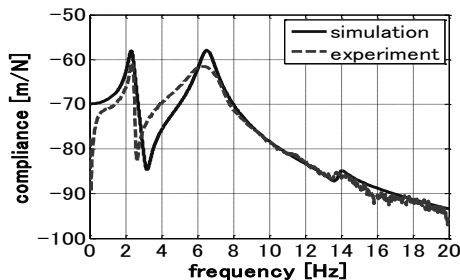


Fig.4 Transfer functions by model and experiment

6. 準最適制御(sub optimal control)

従来、状態フィードバック制御を行うには最適制御理論を用いることが多い。しかし最適制御を行うには全ての状態を観測する必要がある。しかしながら、多自由度モードの全質点に全てのセンサを取り付ける事はコストの面から見ても一般的ではなく、質点の多い場合は全ての状態量を観測するのは困難である。そこで構造制約のある場合の解決方法として知られている準最適制御理論を用いる。今回は、中央部のセンサを無視し、センサ数を2つに減らしつつ3次モードまでを考慮する事が可能である。

7. 速度フィードバック包含準最適制御

現在の準最適制御系に対して、テーブルに関する速度フィードバックを内包し除振性能の向上を図る。まず、搭載物を除き、テーブルのみで速度フィードバック制御をおこなう。その結果を Fig.5 に示す。なお、図中“D”は速度フィードバックを示す。

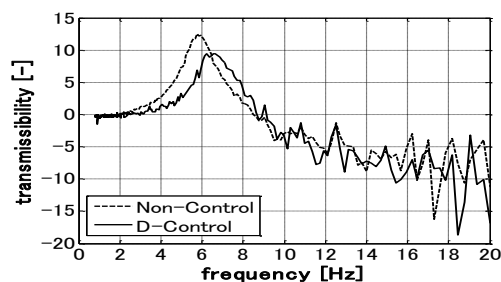


Fig.5 Frequency response ground disturbance only table

8. 制御方法

制御ブロック線図を下記に示す。モデリングの際に無視している高次モードから引き起こるスプルーオーバー対策として、ローパスフィルタを挿入している。

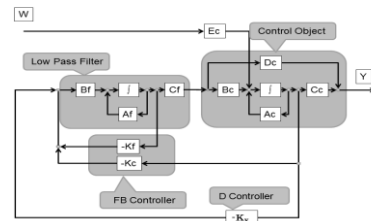


Fig.6 Block Diagram of control method

9. 実機による制御実験

Fig.7 に加振機による地面スイープ加振, テーブル部観測の周波数応答を示す。これにより、良好に制御されていることが確認できる。ただし、速度フィードバック付加した制御は、ほとんど性能向上していない。

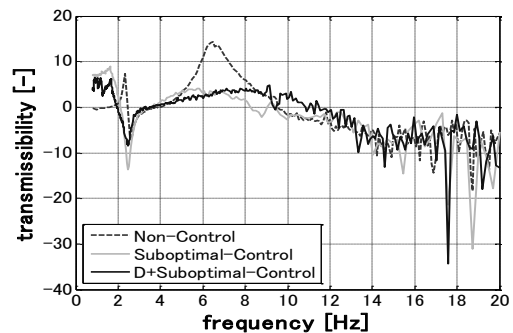


Fig.7 Frequency response to ground disturbance

10. 結論

準最適制御の実験から、センサの数を減らしつつ制御の効果を得られることを確認できた。また、速度フィードバック制御では、テーブル部のみでは制御効果を得られることができたが、準最適制御と併合した場合は、大きな効果を得ることができなかった。

11. 今後の展望

今後は有限要素法解析ソフト ANSYS を用いてより正確なモデリングを出来るようにする。その後、そのモデルを用いてさらなる除振性能の向上を図る。

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