

I-B6

サーボモータと多段積層ゴムを用いたアクティブ制振装置の開発

ブリヂストン ○正員 川真田 智
ブリヂストン 正員 正木 信男

1. はじめに： 構造物の制振を行う手法としてアクティブマスダンパ（AMD）が多く実用化されている。⁽¹⁾制振性能的にはチューンドマスダンパ（TMD）に比べ優れるものの、構造が複雑になることは避け得ない。さらに、構造物によっては低次元化及びロバスト制御の導入が考えられるが、コントローラの演算負荷が高くなるためDSPを使用するなど制御装置も複雑になる。本研究では、可能な限り簡単な機器構成となるよう、アクチュエータにサーボモータを使用し、コントローラも一般的なCPUで間に合うようなアルゴリズムを検討し、5自由度の構造物モデルにて実験検証を行ったので以下に報告する。

2. アクティブマスダンパ概要： AMDの諸元をTable 1に、概要をFig. 1に示す。マスは多段積層ゴムで支持され、サーボモータの回転運動をボールねじにより並進運動に変換しマスを動かす。アクチュエータはACサーボモータ、ボールねじ、エンコーダを一体に組み合わせたものを使用したため、簡単な構成となっている。

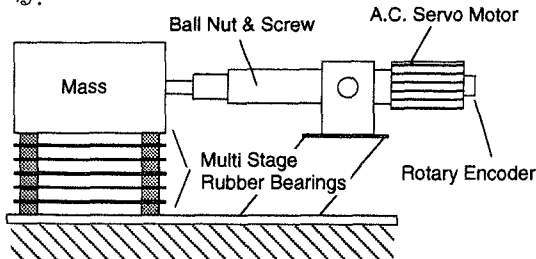


Fig. 1 Active Mass Damper

Mass	200 kg
Spring Coefficient of Multi Stage Rubber Bearing	45900 N/m
Max. Thrust Force of Actuator	4000 N
Max. Stroke of Actuator	200 mm

3. 構造物モデル： 構造物モデルとして、Fig. 2に示すような5質点系を製作した。各階（マス）は、4本のばね鋼により連結されており、最上階にAMDを設置した。Table 2に諸元を示す。

4. 制御系設計： AMDを含まない構造物モデルの運動方程式を、1次モードのみ考慮し、観測点を最上階として低次元化すると式（1）のようになる。AMDの指令電圧から制御力Fまでは式（2）のような1次遅れ系で近似される。したがって、これを含めた拡大系は式（3）のようになる。よって、コントローラは式（3）を用いて設計すれば良い。つぎに制御入力にローパスフィルタを入れた拡大系を考えると式（4）のようになり、本式に対して最適レギュレータを設計しフィードバック系を

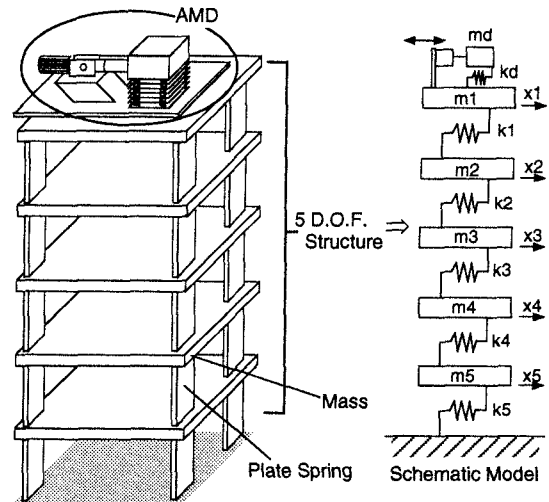


Fig. 2 5 D.O.F. Model

Table 2 Specification of 5 D.O.F Model

Height	3580 mm
Mass m_i	1200 kg
Spring Coefficient k_i	$3.5e6 + 1.5e5 \cdot i$ (N/m)
Natural Frequency	
1st Mode	2.47 Hz
2nd Mode	7.29 Hz
3rd Mode	11.4 Hz
4th Mode	14.9 Hz
5th Mode	17.4 Hz

構成することで高域でのゲインを下げる事が可能となる。Fig.3にローパスフィルタを含んだ制御系のブロック線図を示す。実験では、最上階の加速度を計測し積分することで状態変数を得ている。

$$\dot{X} = d/dt (X_1 \dot{X}_1)^T = A X + b F \quad (1) \quad X_1: \text{最上階変位} \quad F: \text{制御力}$$

$$\begin{cases} \dot{X}_a = \alpha X_a + \beta V \\ F = -md \ddot{X}_a = -md \alpha X_a - md \beta V \end{cases} \quad (2) \quad X_a: \text{アクチュエータ速度}$$

$$\dot{X}_e = d/dt (X \ X_a)^T = A_e X_e + b_e V \quad (3) \quad A_e = \begin{bmatrix} A & -md \alpha b \\ 0_{1 \times 2} & \alpha \end{bmatrix} \quad b_e = \begin{bmatrix} -md \beta b \\ \beta \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} \dot{q} = A_f q + b_f u \\ Y = C_f q + D_f u \end{cases} \quad (4) \quad q: \text{フィルタ状態変数} \quad Y: \text{フィルタ出力}$$

$$\dot{X}_f = d/dt (X_e \ q)^T = \tilde{A} X_f + \tilde{b} V \quad (5) \quad \tilde{A} = \begin{bmatrix} A_e & b_e C_f \\ 0 & A_f \end{bmatrix} \quad \tilde{b} = \begin{bmatrix} b_e D_f \\ b_f \end{bmatrix}$$

5. 実験結果： ローパスフィルタは2次のバターワースとし、1次モード以上のゲインを落とすためカットオフ周波数を4Hzとした。また、最適レギュレータは状態変数に対する重み $Q = \text{diag} (1.4 \times 10^9 \ 1 \ 1)$ ，入力に対する重み $R=1$ としたを求めた。なお、コントローラはPC98RAを用い、サンプリング周波数を500Hzとした。また、制御効果の確認方法として最上階に水平加振機を設置しスイープサインにて加振した場合の加振力から最上階加速度までのアクセランスを求めた。シミュレーション及び実験結果（ゲイン）をFig.4,5に示す。実験結果を見るとシミュレーション結果とはほぼ同様となり、モデルの妥当性及び制振性能が確認された。比較のためフィルタ無しの最適レギュレータを試したところ高周波ノイズによる動作音（ごろごろ音）が問題となり、また、ゲインによっては高次モードで発振したが、フィルタ有りの場合では高周波動作音もなく、高次モードでの発振、ゲイン悪化も見られなかった。

6. まとめ： 制振装置のアクチュエータにサーボモータを用い、荷重支持に多段積層ゴムを用いることで、構成を簡単にできた。制御系設計において観測点を減らし低次元化したモデルを用い、入力にフィルタを入れた系とすることで高周波の作動音問題、高次モードの影響を避けることができた。さらに、制御系の次数、演算量が少ないためパソコンレベルのコントローラで十分なサンプリング周波数を確保できた。本方式を用いることで実際の構造物への適用でも、ハードウェア的に簡単な構成とできることが示された。

参考文献 1) 北村 他,「日本長期信用銀行本店ビルのアクティブ制振装置」,日本建築学会大会学術講演梗概集, 94年9月

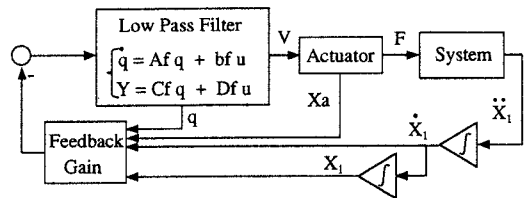


Fig.3 Block Diagram

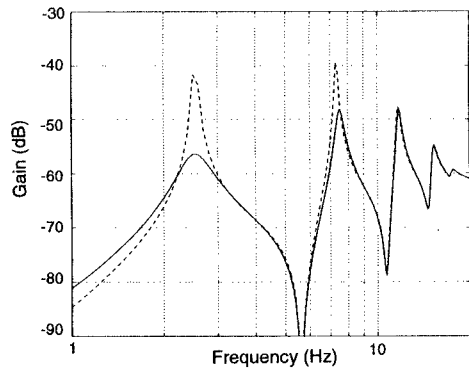


Fig.4 Transfer Function (Simulation)

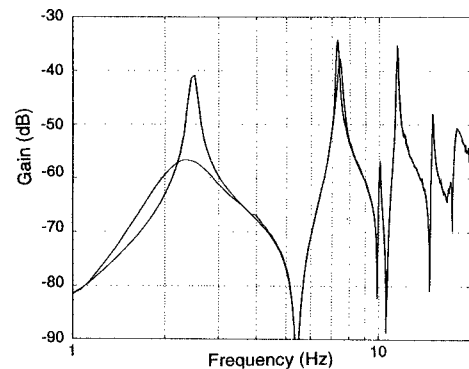


Fig.5 Transfer Function (Experiment)