

フレキシブル構造物の能動的制御に関する基礎的実験

京都大学工学部 正員 山田善一 家村浩和 伊津野和行
J R 西日本 正員 ○馬場賢治

1. はじめに

近年、フレキシブルな構造物の制振に関する研究が進み、一部実用化され始めている。補助質量を用いた制振機構として、TMDによるパッシブ、AMDによるアクティブと、両者を併合したハイブリッドコントロールなどが挙げられる。本研究では3層構造物モデルに対して、Fig.1に示すような各制御手法を用いた制振実験を行い、これら制振手法の有効性を示した。

2. 実験システム

今回用いた供試体は各層の重さが24.31kgの鋼製フレーム構造物である。各モードの固有周期や刺激係数はTable1のとおりである。模型は振動台の上に設置し、各層および振動台上には周波数範囲0.1~70Hzの速度計を取り付けた。速度計から得られるアナログ信号はAD変換器を介してパソコンに送られ、振動挙動の把握を可能にするとともに、アクティブ（AMD）及びハイブリッドコントロール（ATMD）の際には制御力の算出にも利用した。

パッシブコントロール（TMD）の実験は、供試体の最上階下面に動吸振器を板バネを用いて吊り下げた。TMDは古典制御理論を用いて、1次振動を抑えるように設計している。振子はACサーボモータとそれによって駆動されるボールネジと可動質量からなり、モータを動かすことによってATMDとしても機能するようになっていいる。TMDおよびATMDの実験システムをFig.2に示し、また振子の特性をTable2に示す。AMDの実験では前述の板バネを取り外し、モータおよび可動質量を最上階の床上に設置して用いた。

AMDおよびATMDの実験では、得られた速度データとそれを積分して得られる変位（但し、可動質量の変位は直接モータから得られる）を基に、

$$J = \int_0^\infty (\mathbf{x}^T \mathbf{Q} \mathbf{x} + \mathbf{u}^T \mathbf{R} \mathbf{u}) dt \quad \text{但し} \quad \mathbf{Q} = \begin{pmatrix} K & 0 \\ 0 & M \end{pmatrix}$$

のJを最小化するという最適レギュレータ理論を用いて制御力を計算する。その際用いるフィードバック・フィードフォワード係数は、予め京都大学の大型計算機内でシミュレーションした結果を

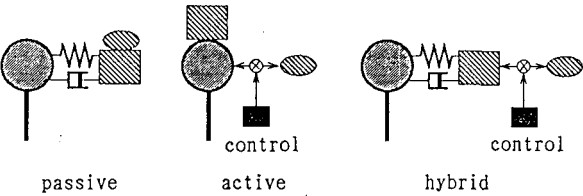


Fig.1 Control Systems Used in This Study

Mode	T (sec)	Participation Factor
1	0.6578	1.2204
2	0.2580	0.3493
3	0.1568	-0.1341

Table 1 Natural Frequency of the Model

Table 2 Constants for TMD & ATMD

Parameter		Value
Mass (kg)	Moving Mass	3.5
	Others	5.5
Spring Constant (kgf/cm)		0.581
Damping Ratio (%)		25.06

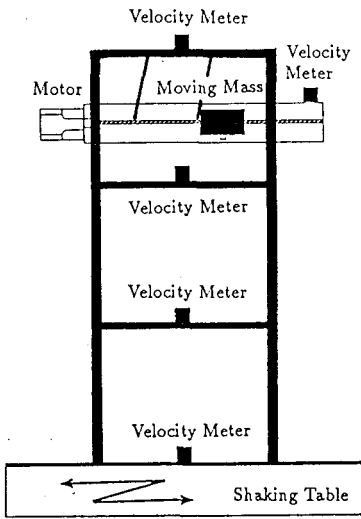


Fig.2 Set Up for 3DOF Model with TMD or ATMD

使用した。必要な制御力からモータの次の時点での回転数を計算し、0.05秒毎に指令をACサーボモータに送って可動質量を移動させた。

3. 自由振動試験

Fig. 3～Fig. 7に自由振動に対する制振結果を示す。Fig. 3は制振装置を取り付けない場合、Fig. 4はTMDを取り付けその動きを固定した場合、Fig. 5はTMDを取り付け作動させた場合、Fig. 6はATMDとした場合、Fig. 7はAMDとした場合のそれぞれ最上階の速度時刻歴を規準化したものである。AMDさらにATMDの有効性が見て取れる。

4. 強制振動試験

Fig. 8に示すような構造物の1次振動に対応した模擬地震波($\omega_s=9.67$ [rad/sec], $\zeta_s=0.2$)を作成し、これを入力したときの最上階の速度フーリエスペクトルをFig. 9からFig. 11に示す。いずれもParzenのスペクトルウィンドウを用いて平滑化している。ATMDではTMDに比べて制振効果の制振効果の改善は余り見られない結果になったが、それでも振動をよく抑えている。またAMDではAMDを固定した場合と比較して、制振効果がよく現れており、これら制振手法の有効性が実際面からも示せた。

5. あとがき

実験によって各種制振手法の有効性を示せた。今後は、さらに多自由度の構造物についてハイブリッドコントロール等の様々な実験を進めていく予定である。

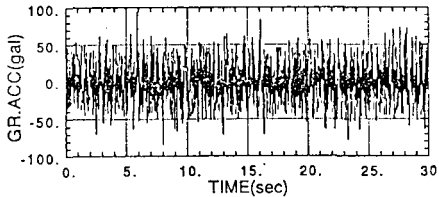


Fig. 8 Generated Ground Motion

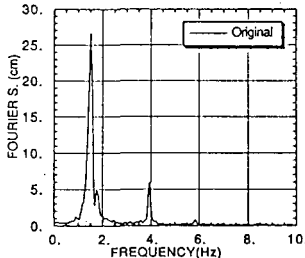


Fig. 9 Fourier Spectrum of Velocity Response (Original)

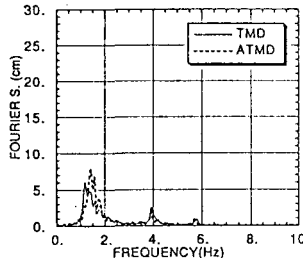


Fig. 10 Fourier Spectrum of Velocity Response (with TMD or ATMD)

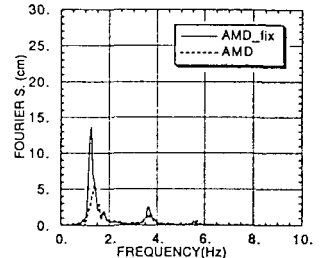


Fig. 11 Fourier Spectrum of Velocity Response (with Fixed AMD or AMD)

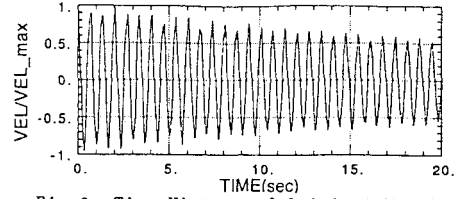


Fig. 3 Time History of Original Model

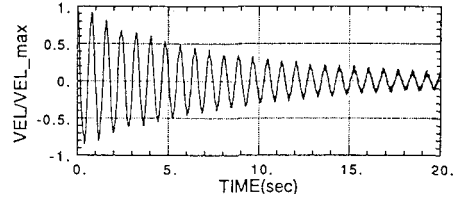


Fig. 4 Time History of Model with Fixed Additional Mass

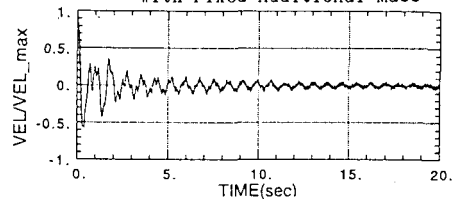


Fig. 5 Time History of Model with TMD

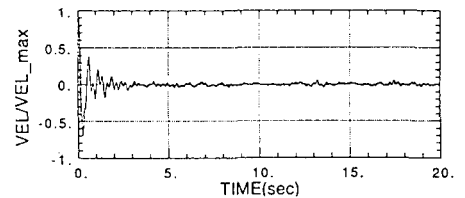


Fig. 6 Time History of Model with ATMD

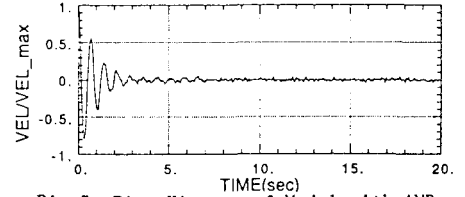


Fig. 7 Time History of Model with AMD