

建設省 正員 見坂茂範 中部大学工学部 正員 山田善一
京都大学工学部 正員 家村浩和

1. はじめに

補助質量を用いた制振機構として、パッシブ制御ではTuned Mass Damper (TMD)、アクティブ制御ではActive Mass Damper(AMD)、両者を組み合わせたハイブリッド制御ではActive Tuned Mass Damper(ATMD)が挙げられる。ATMDはTMDをアクティブ化したものであり、エネルギー効率やシステムの機能停止などによるフェイルセーフの面でAMDよりも有利であると考えられている。本研究では振動台を用いた模型実験を行うことによりこれら各手法の制振効果について検討した。

2. 実験システム

実験供試体として各層の重さが24.31kgの鋼製3層フレームモデルおよび各層15.91kgの5層モデルを用いた。各モードの固有振動数はTable1のとおりである。模型は振動台の上に設置し、各層に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、3層モデルの1次振動に同調するように設計されている。振り子の特性をTable2に示す。振り子は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る。ATMDの実験システムをFig.1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を基に、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、0.02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. 3層モデルを用いた制振実験

まず、シミュレーションによりエルセントロ地震波(NS)入力時の制御力と振動エネルギーのトレードオフ曲線を作成し、AMD制御とATMD制御に対し実験で加えるべき制御力を決めた(Fig.2)。トレードオフ曲線で示す比較(1)および比較(2)を行ったときの3層目応答速度と制御力をFig.3とFig.4に示す。なお、フーリエス

	f (Hz) 3-d.o.f	f (Hz) 5-d.o.f
1st	1.25	0.97
2nd	3.45	2.79
3rd	5.46	4.67

Table 1 Natural Frequency of the Models

Parameters		Values
Mass(kg)	Moving Mass	3.5
	Others	5.3
Spring Constant (kgf/cm)		0.581
Damping Ratio (%)		26.2

Table 2 Constants for TMD

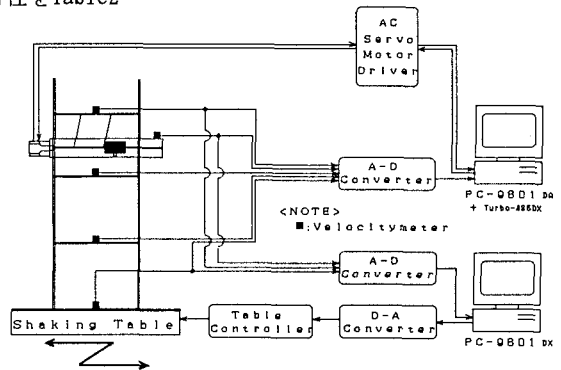


Fig.1 Block Diagram of Experimental System with ATMD Control

ベクトルはいずれもParzenのスペクトルウインドウを用いて平滑化している。これを見るとTMD、AMD、ATMDともに良く制振されている。ただし、TMDでは高次モードの制御効果はない。また、AMDとATMDで同程度の制振効果を得るような場合(Fig. 3)、制振に要する制御力はATMDの方が圧倒的に少ないことがわかる。また、AMDとATMDで同程度の制御力を作用させた場合(Fig. 4)、AMDでは制御力のほとんどを1次振動の制御に費やすがATMDではTMDのパッシブな効果により1次振動に対する制御力が少なくて済み高次振動に対しても制御力を配分していることがわかる。

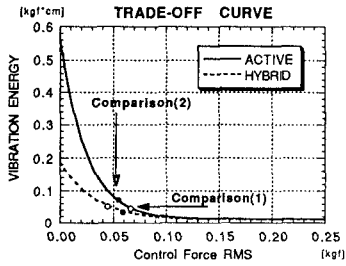


Fig.2 Selected Points for Comparison

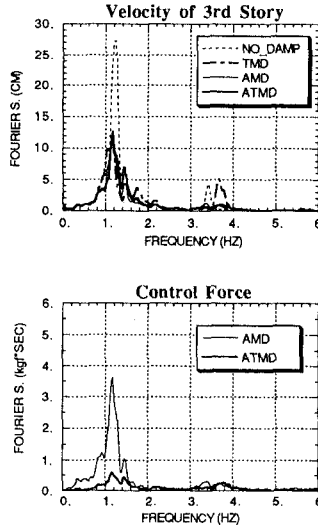


Fig.3 Comparison of Case(1)

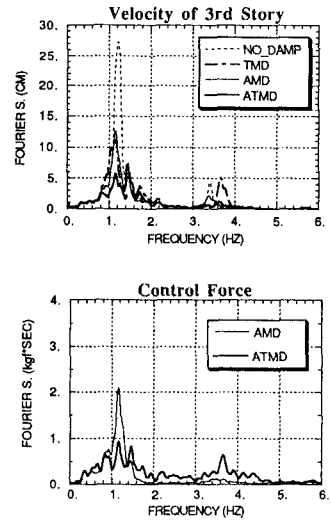


Fig.4 Comparison of Case(2)

4. 5層モデルを用いた制振実験

TMDは3層モデルで用いたものをそのまま適用した。したがって、5層モデルの1次固有周期に対してやや高次振動数側にずれたものとなっている。このときの各手法による制振結果はFig. 5のようになった。これより、TMDとしてはほとんど制振効果がないが、これをハイブリッド方式にしてATMDとして用いるとアクティブコントロールと同等の制振効果が得られ高次振動まで制御できている。またATMD制御では、Fig. 6の応答速度の時刻歴を見ても無制振の場合に比べて最大応答が50%まで低減されている。この時の制御力(Fig. 7)を見ると、ATMDの場合TMDとしてのパッシブな効果があまり期待できないために1次振動数付近に対する制御力はAMDと比べてそれほど低減できていないが、振り子の固有振動数付近で制御力が大きく低減している。このことよりTMDの同調周期がずれている場合、そのずれた振動数付近で制御力が低減されるということがわかる。

5. おわりに

本研究で提案した振り子形式のATMDの有効性を実験的に検証することができた。今後は加力装置の動作遅延時間を考慮したアクティブ制御や別形式のハイブリッドコントロールにも取り組んでいく必要がある。

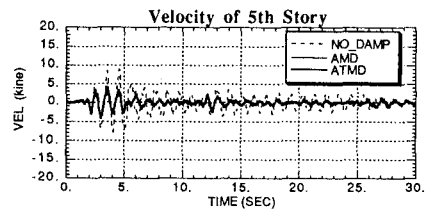


Fig.6 Time History of 5th Story Response

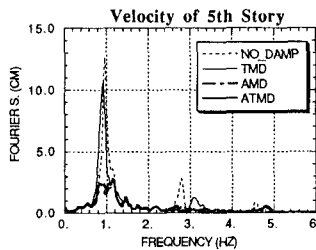


Fig.5 Fourier Spectrum of 5th Story Response

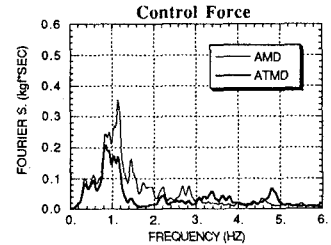


Fig.7 Fourier Spectrum of Control Force