

(218) 柔構造物のTMD、AMD、ATMDによる制振効果に関する振動台実験

京都大学工学部 家村浩和 中部大学工学部 山田善一
建設省 見坂茂範 立命館大学理工学部 伊津野和行
J R西日本 馬場賢治

1. はじめに

フレキシブルな構造物の振動を低減する目的でパッシブあるいはアクティブな制御手法が採用され始めている。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)、および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

今回の実験は各層の重さが24.31kgの鋼製3層フレーム供試体および各層15.91kgの鋼製5層フレーム供試体に各制振装置を取り付けて行った。各モードの固有振動数はTable 1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利用する。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層供試体の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Table 2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。TMDおよび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 Table 1

	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

Natural Frequency
of the Models

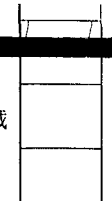
	f (Hz) 3-d.o.f	f (Hz) 5-d.o.f
1st	1.25	0.97
2nd	3.45	2.79
3rd	5.46	4.67

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

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

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。また、地震波入力時の振動台の動特性を  Fig. 2に示す。これより、概ね1Hz以上の周波数領域においては地震波を再現性できているといえる。

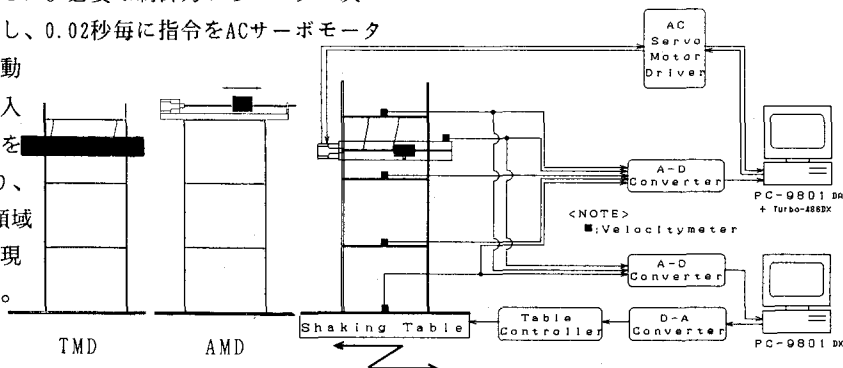
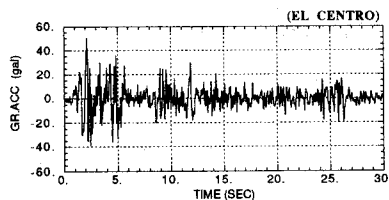
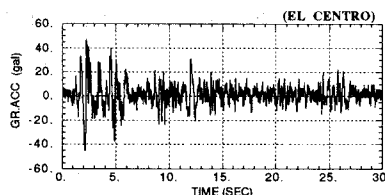


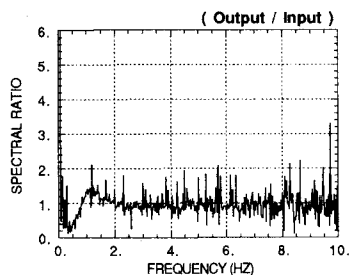
Fig.1 Block Diagram of Experimental System with ATMD Control



(a) Input Ground Motion



(b) Output Ground Motion



(c) Ratio of Fourier Spectra

Fig.2 Characteristic of Shaking-Table

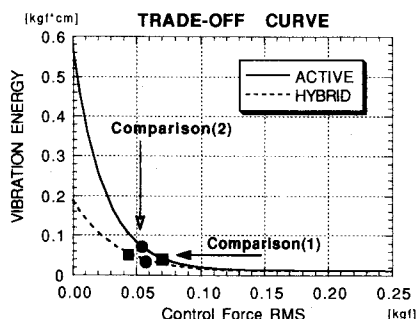


Fig.3 Selected Points for Comparison

3. 3層供試体を用いた制振実験

今回の実験では入力地震波としてエルセントロ地震波(NS)を用いた。まず、AMD制御とATMD制御についてシミュレーションにより制御力と振動エネルギーのトレードオフ曲線を作成した(Fig. 3)。Fig. 3において、振動エネルギーはほぼ同一であるが制御力の異なる場合の比較(比較(1))、ならびに制御力はほぼ同一であるが振動エネルギーの異なる場合の比較(比較(2))の注目点を示した。これらの注目点に対応する制振実験の結果として、Fig. 4には3層目の速度応答の時刻歴を、Fig. 5にはAMD制御とATMD制御において加えたアクティブ制御力の時刻歴を示す。また、Fig. 6とFig. 7には速度応答と制御力のフーリエスペクトルをそれぞれ示す。これよりAMDとATMDで同程度の制振効果を得るような場合、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、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。このようなATMDの工学的優位性はシミュレーションによっても確認されている。⁽¹⁾

4. 5層供試体を用いた制振実験

TMDは3層供試体で用いたものをそのまま適用した。したがって、5層供試体の1次固有周期とは約0.15秒のずれがある。なお、AMD制御とATMD制御については制振効果がほぼ等しくなるように制御力を加えた(前章の比較(1)に相当)。この時の5層目の速度応答の時刻歴をFig. 8に、そのフーリエスペクトルをFig. 9に、加えた制御力のフーリエスペクトルをFig. 10にそれぞれ示す。これらの結果より、同調周期が高次振動数側にずれたTMDを制振装置として用いた場合、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。しかしながら、このような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。

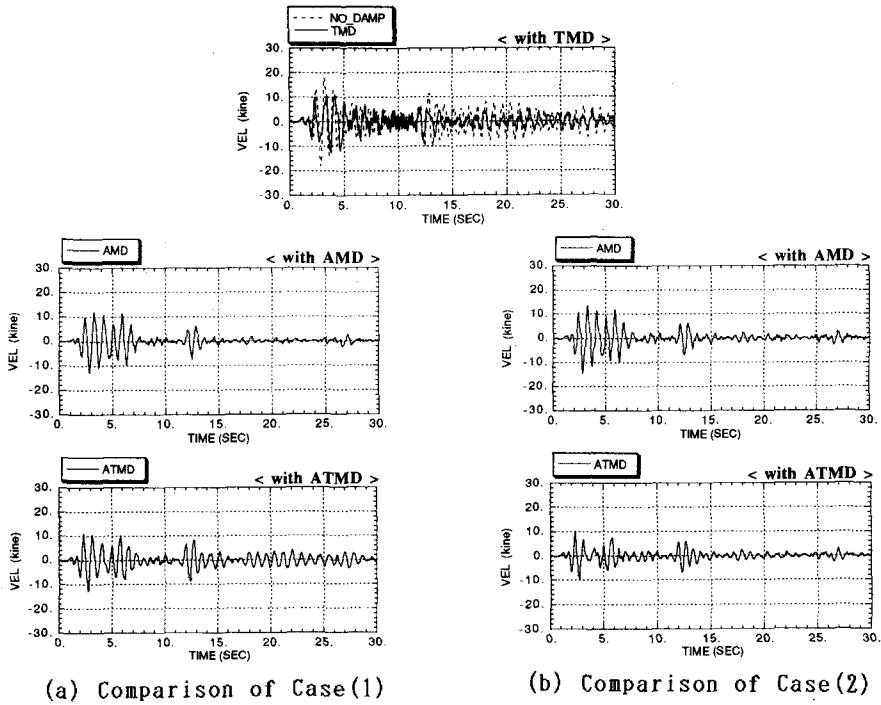


Fig.4 Time History of 3rd Story Velocity Response

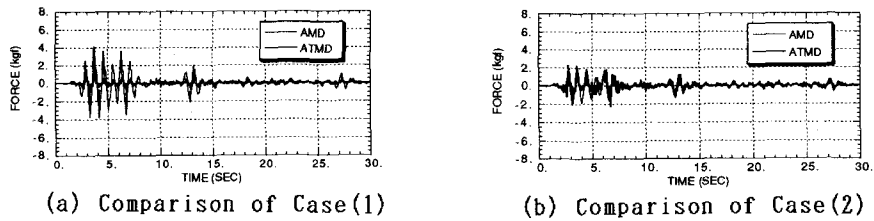


Fig.5 Time History of Control Force

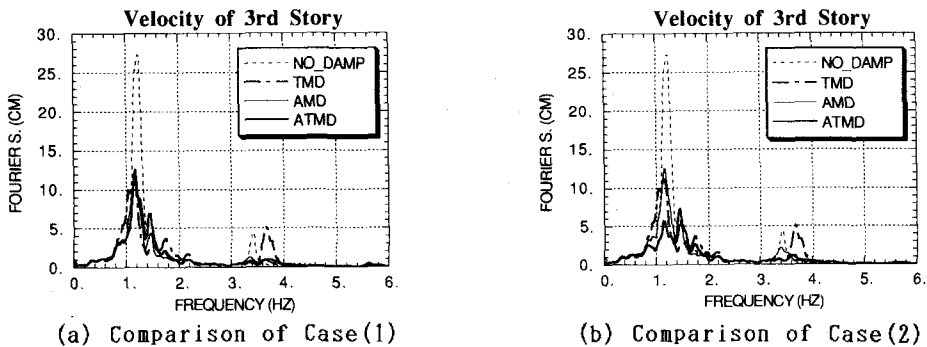
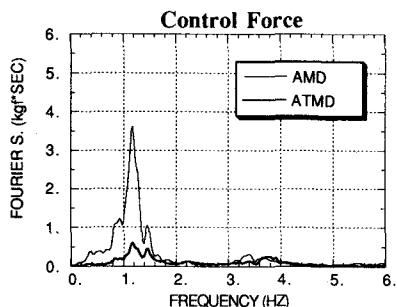
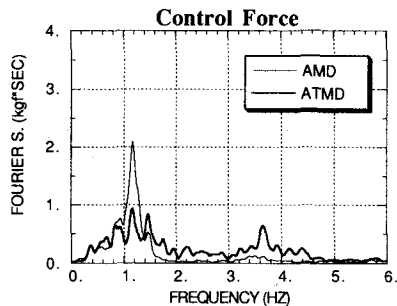


Fig.6 Fourier Spectra of 3rd Story Response



(a) Comparison of Case(1)



(b) Comparison of Case(2)

Fig.7 Fourier Spectra of Control Force

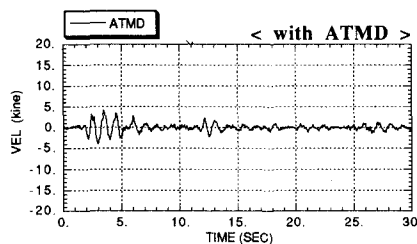
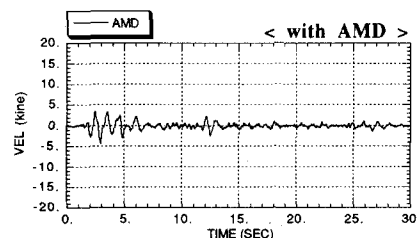
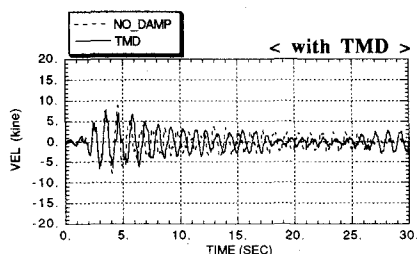


Fig.8 Time History of 5th Story Response

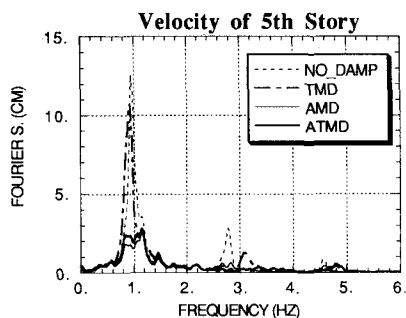


Fig.9 Fourier Spectra of 5th Story Response

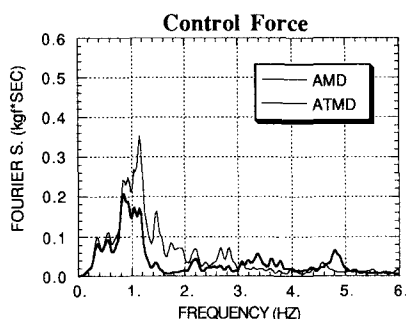


Fig.10 Fourier Spectra of Control Force

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確認することができた。今後は時間遅れ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取り組んでいく必要がある。

参考文献 (1)家村浩和他：曲げ梁の振動制御におけるハイブリッド手法の有効性，振動制御コロキウム PART B 講演概要集，1991. 7, pp. 233～238