

1. はじめに

フレキシブルな構造物に対する制震機構として、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震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層フレーム供試体に各制震装置を取り付けて行った。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層供試体の1次振動に同調するように設計されている。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、

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt \quad \text{但し } Q = \begin{pmatrix} M & 0 \\ 0 & K \end{pmatrix} \quad \text{の } J \text{ を最小化するという最適レギュレータ理論を用いて制御力を計算する。}$$

その際用いるフィードバック・フィードフォワード係数等は、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。

Mode Number	with fixed AMD		
	1st	2nd	3rd
Natural Period: T(sec)	0.798 (0.7990)	0.290 (0.2898)	0.183 (0.1827)
Damping Ratio : ζ (%)	0.504	2.12	6.05
Participation Factor	(0.2758)	(-0.081)	(0.0314)

Table1 Dimensions of 3-d.o.f Model ()は理論値

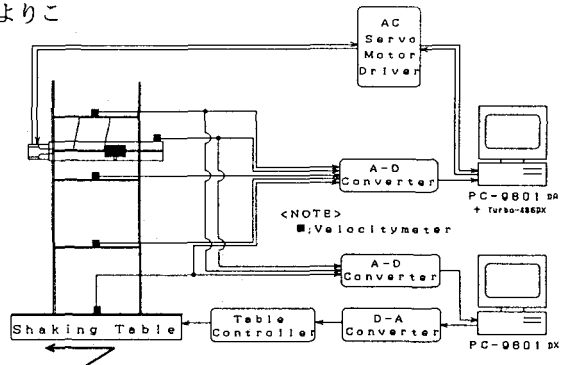


Fig.1 Block Diagram of Experimental System

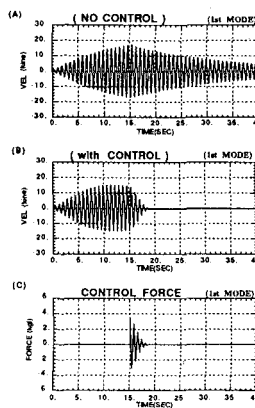


Fig.2 Result of Vibration Test (for 1st Mode)

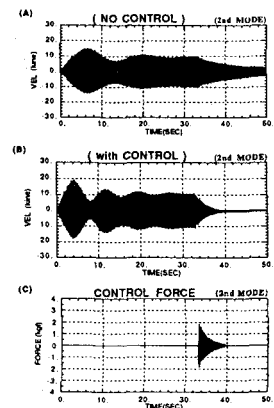


Fig.3 Result of Vibration Test (for 2nd Mode)

3. AMDを用いた起振実験

3層供試体に対して、AMDを利用した起振実験を試みた。つまり、アクティブマスで3層目を加振して共振させた後、それを制振するという実験を試みた。1次モードおよび2次モードに対してその結果を示したのがFig. 2とFig. 3である。

4. 3層供試体を用いた制震実験

エルセントロ地震波(NS)を入力した時の3層目の応答速度の時刻歴をFig. 4に、そのフーリエスペクトルをFig. 5に示す。それぞれTMD、AMD、ATMD制御を行った場合である。いずれの制震手法でも良く制震されている。次に、AMD制御とATMD制御についてFig. 6のシミュレーションによるトレードオフ曲線に示す比較(1)および比較(2)を行ったときのそれぞれの応答速度と制御力をFig. 7とFig. 8に示す。これよりAMDとATMDで同程度の制震効果を得るような場合、制震に要する制御力は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。

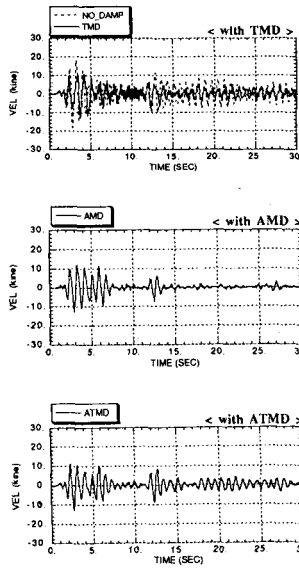


Fig. 4 Time History of 3rd Story Response

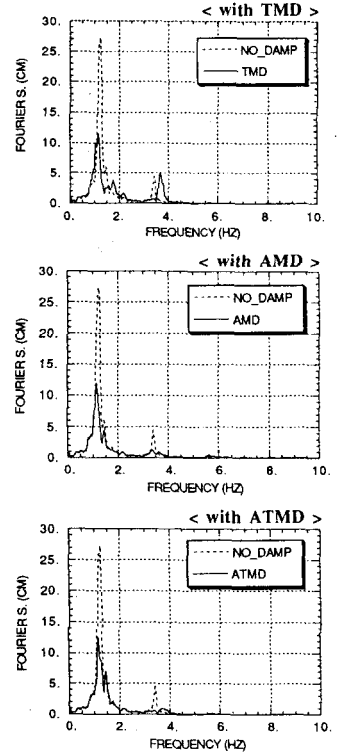


Fig. 5 Fourier Spectrum of 3rd Story Response

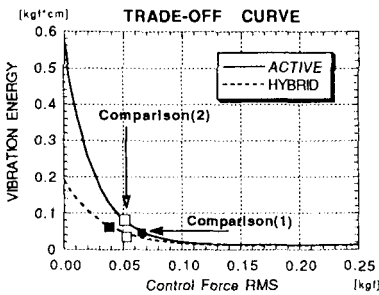


Fig. 6 Selected Points for Comparison

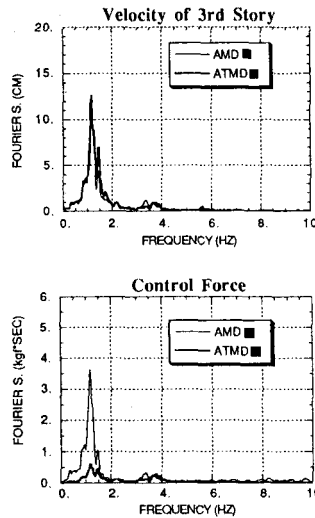


Fig. 7 Comparison of Case(1)

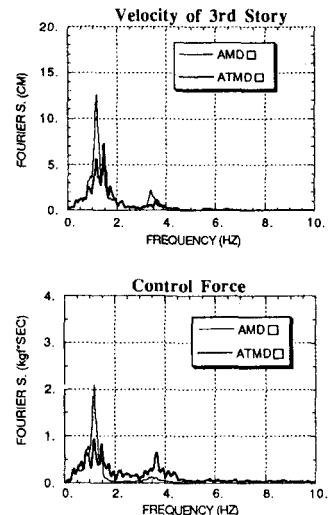


Fig. 8 Comparison of Case(2)

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。今後は加力装置の動作遅延時間を考慮した制御にも取り組んでいく必要がある。