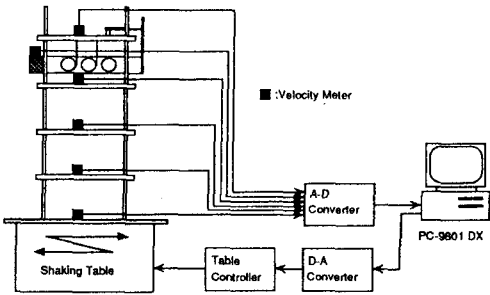


京都大学工学部 正員 家村浩和
鹿島建設 正員 高村尚
京都大学工学部 学生員○中野泰也

1. はじめに 近年、能動的制震手法であるATMD(Active Tuned Mass Damper)の研究が盛んに行われているが、ATMDでは受動的制震手法であるTMDの性能が基本的に重要となる。本研究では、TMDの設計上重要なパラメーターである固有周期、減衰、質量を変化させ、それぞれのケースについてその制震効果を振動台実験システムを用いた制震実験と数値解析により検証した。

2. 実験システム 実験システムは水平加振振動台、TMD、実験供試体、記録装置からなっている。まず、TMDを装着した各層35kgの鋼製4層フレームモデルを振動台の上に構築した。次に、振動台制御用のコンピュータから読み込んだ地震波データをDA変換器でアナログ信号に変換し0.02秒間隔で振動台に送り、振動台を加振した。フレームモデル各層とTMDには



速度計が設置してあり、そこから得られたアナログデータは 図1 実験システムのブロックダイアグラム AD変換器でデジタル信号に変換され制御用コンピュータのフロッピーディスクに記録した。また、TMDはフレームモデル4層部下面から板バネにより吊り下げた。TMDの固有周期はその吊り長さを調節することで、0.69~0.80秒まで変えることができ、TMDの減衰定数はエアダンパーを調整することにより、0.9~23%の範囲で変えられるようにした。この実験システムのブロックダイアグラムを図1に、TMDの諸元を表1に示した。なお、Den Hartogの定点理論により1次振動に対するTMDの最適固有周期及び最適減衰は以下のように設定される。

表1 TMDの諸元

Parameter		
Mass (kg)	Moving mass	3.5
	Beside	5.5
Spring Constant (kg/cm)		0.58
Spring Length (cm)		17.9 ~ 22.7
Damping Ratio (%)		0.9 ~ 23
Optimum Damping Ratio		19.35
Optimum Natural Period (sec)		0.7499

表2 フレームモデルの固有周期と減衰定数

Mode	Natural Period T (sec)	Damping ratio ξ (%)
1 th	0.675 [0.66154]	0.39
2 nd	0.225 [0.22975]	3.58
3 rd	0.138 [0.14996]	4.41
4 th	- [0.12225]	-

[] 内は理論値

$$\mu = \frac{m}{M}$$

$$T_{opt} = (1 + \mu) T_1$$

$$\xi_{opt} = \sqrt{\frac{3\mu}{8(1 + \mu)}}$$

μ : TMDの質量mと構造物の1次等価質量Mの比
 T_1 : 構造物の1次固有周期

この実験システムのTMDでは、 $\mu = 11\%$ 、 $T_{opt} = 0.7499\text{sec}$ 、 $\xi_{opt} = 19.35\%$ となる。

また、制震実験にさきだち供試体の固有周期及び減衰定数を測定した。(表2)

3. 制震実験 固有周期を0.69~0.80秒の範囲で5種類、減衰定数を0.9~23%の範囲で4種類に調整したTMDをモデルに装着し、最大入力加速度20, 30, 40galのEl Centro波を振動台に入力した。合計60ケースの制震実験を行った。その中の1ケースのモデル4層部の速度応答時刻歴とフーリエスペクトルを図2に示す。

各実験で、得られたモデルの変位及び速度応答データより振動エネルギーを計算し、TMD無装着時の振動エネルギーとの比を求め制震効果の指標とした。

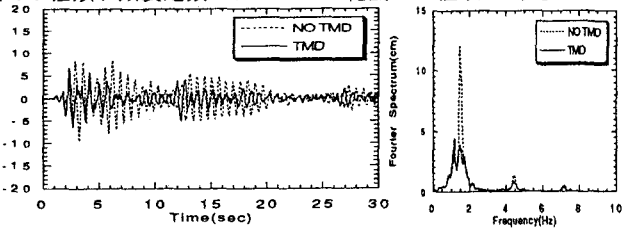


図2 供試体4層部の速度応答時刻歴とフーリエスペクトル

次に、一定減衰におけるTMDの固有周期と制震効果の関係を表したグラフを図3に示す。減衰が最適値に近く程安定した良好な制震効果を示しているのが分かる。

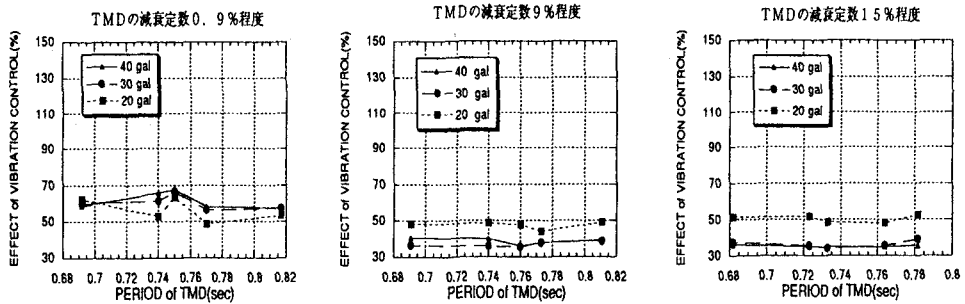


図3 一定減衰におけるTMDの固有周期と制震効果の関係

また、一定固有周期におけるTMDの減衰定数と制震効果の関係を表したグラフを図3に示す。どのグラフも類似した形を呈しているのはTMDの固有周期は制震効果に大きな影響を及ぼさないからであろう。一方、減衰が大きくなるにつれて制震効果は良好になっていくのが分かる。減衰定数が8~20%前後にかけて安定して良好な制震効果を示している。

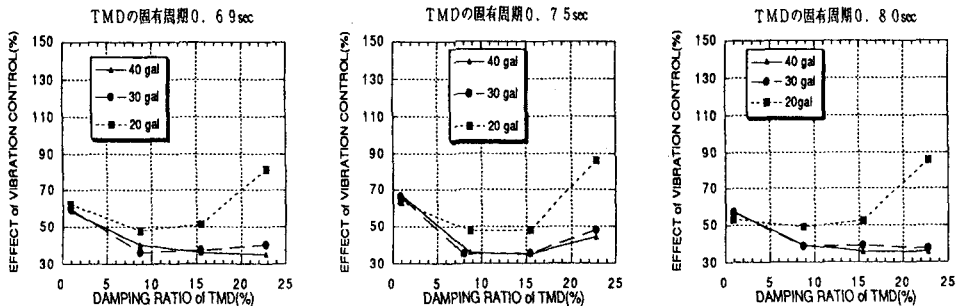


図4 一定固有周期におけるTMDの減衰定数と制震効果の関係

なお、図3, 4に関して、最大加速度20galの地震波入力時に制震効果がよくないのは、地震波が弱くダッシュポットを付けたTMDがうまく作動しなかったためと思われる。

4. 数値解析 実験システムではTMDの質量が9.0kgと制約されたため、シミュレーションによりTMDの質量を変化させたときの、それぞれのケースにおける制震効果を調べた。TMDの質量は0.09~9.0kgの範囲で8種類に設定し解析を行った。解析方法は、モデルにEl Centro波(最大入力加速度20gal)を入力した際の応答をWilsonの θ 法を用いて計算した。実験同様、振動エネルギー比を制震効果の指標として、TMDの質量と制震効果の関係を図5に示した。TMDの質量が増加していくにつれて制震効果は良好になっていく。また、その変化をみるとTMDの質量が0.9kg(質量比 μ = 約1%)付近まで急激に変化し、それ以上になると緩やかになっていくのが分かる。

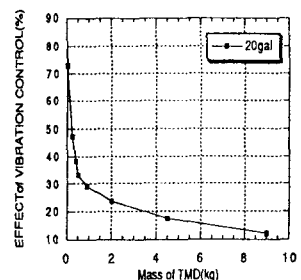


図5 TMDの質量と制震効果の関係

5. まとめ 本研究の実験及び解析結果から、TMDの固有周期は最適値の $\pm 10\%$ の範囲内では制震効果に大きな影響を及ぼさず、TMDの減衰定数、質量に関しては、それらが大きくなるにつれて安定した良好な制震効果を示すことが確認された。