

足利工業大学工学部 正員 篠 泉
 東京大学工学部 正員 藤野 陽三
 足利工業大学工学部 正員 末吉 達也

1. まえがき 風による振動対策などで多くの使用実績があるTMDは地震時に制振効果を十分期待できないとされている¹⁾が、実際に制震が必要となる長大橋梁などの長周期構造物（固有周期2～20秒程度）に対してのTMDの有効性はあまり検討されていない²⁾。そこで、本研究では実地震記録を入力としたTMD付き構造物の地震応答の計算機シミュレーションを数多く実施し、長周期構造物に対してTMDが地震時どの程度有効であるかに関して検討した。

2. 地震記録 篠・片山は気象庁1倍強震計記録260成分余りを数値化し、やや長周期地震動の数値化記録のデータベースを構築した³⁾。本研究ではこのデータベースに含まれる全水平地動記録178成分をTMD付き構造物の地震応答計算のための入力として用いることにした。表1に178水平地動記録が得られた6地震や記録地点数等を示す。

表1 178水平地動記録の得られた地震と記録地点数

地震名	発生年月日	M _J	記録地点数	水平成分数
北 美 濃	1961. 8. 19	7.0	1 2	2 4
新 潟	1964. 6. 16	7.5	2 2	4 4
十 勝 沖	1968. 5. 16	7.9	2 0	3 8
十勝沖余震	1968. 5. 16	7.5	1 2	2 3
日本海中部	1983. 5. 26	7.7	1 9	3 8
日本海中部余震	1983. 6. 21	7.1	6	1 1
合 計			9 1	1 7 8

3. TMD付き構造物の応答計算 長周期構造物の特定の振動モードを制震対象とすることとし、TMD付き構造物を図1に示すような線形1自由度系の構造物に線形1自由度系のTMDが付加された2自由度系でモデル化した。図中、 m_1, k_1, c_1 は構造物の対象振動モードのモード質量、モード剛性、モード減衰係数で、 m_2, k_2, c_2 はTMDの質量、剛性、減衰係数である。構造物の固有周期は2～20秒までの1秒おき19個を計算の対象とした。構造物の(モード)減衰定数 h_1 は長周期構造物の減衰が一般に小さいことを考慮して0を基本値とし、構造物の(モード)質量とTMDの質量の比 $\mu (=m_2/m_1)$ はこれまでのTMD適用例を参照し0.01を標準とした。また、構造物の固有振動数に対するTMDの固有振動数の比とTMDの減衰定数 h_2 は、調和地動が作用する構造物の相対変位応答に注目して決定した最適値を用いた。なお、TMD付き構造物等の地震応答は運動方程式を線形加速度法により数値積分して求めた。

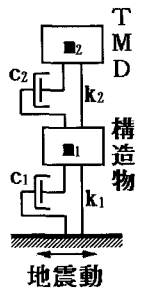


図1 TMD付き構造物のモデル

4. TMDの効果に関する検討 本研究ではTMDの効果を構造物の相対変位応答の最大値がTMD付加により低減される割合で評価することとし、その指標としてTMDなしの構造物の最大応答値に対するTMDなし構造物の最大応答値とTMD付き構造物の最大応答値の差の比(百分率で表してここでは応答低減率と呼ぶ)を用いた。

減衰定数 h_1 が0, 0.005, 0.01, 0.02の四通りの構造物にTMDを設置した場合と設置しない場合について地震応答を計算し、178水平地動記

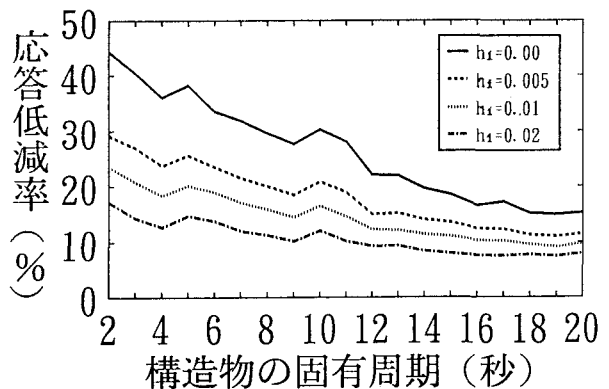


図2 異なった減衰を有する構造物の平均応答低減率

録を入力として計算して得た応答低減率の各固有周期(の構造物)ごとの平均を示したのが図2である。ただ

し、質量比 μ はどのTMD付き構造物に関しても0.01とした。長周期ほど応答低減率が小さくなる傾向が認められるが、構造物が非減衰の場合に比べて $h_1=0.005$ のとき約30%、 $h_1=0.01$ のとき約45%、 $h_1=0.02$ のとき約60% TMDの効果が小さくなることがわかる。

質量比の違いによるTMDの効果の相違を調べるために、質量比を標準的な値($\mu=0.01$)の半分($\mu=0.005$)、2倍($\mu=0.02$)とした場合についてTMD付き及びTMDなしの非減衰構造物の地震応答を計算した。図3は178水平地震動記録を用いた地震応答計算から求めた応答低減率の各固有周期ごとの平均を示したものである。応答低減率はこの固有周期の構造物に関しても質量比が0.01の半分であると約5%小さくなるが、質量比が0.01の2倍であると約5%大きくなっている。

TMDを設置する際に十分な収納スペースが確保できないとき、TMDの振幅を小さくするためにTMDの減衰を最適な値より大きくすることがある。そこで、構造物を非減衰、質量比 $\mu=0.01$ とした場合に関して、TMDの減衰定数を最適($h_2=0.0611$)としたときとその約2倍の0.150としたときの比較を行った。図4は178成分の地震応答計算から求めた構造物に対するTMDの相対変位応答の最大値の各固有周期ごとの最大と平均を示したものである。TMDの減衰定数 h_2 を最適値の約2倍とすると、どの固有周期の構造物においても平均的に40%程度TMDの応答は小さくなっている。 $h_2=0.0611$ 及び0.150のときの応答低減率の各固有周期ごとの平均を示したのが図5である。TMDの減衰定数を最適値の約2倍とすると応答低減率が2~6%小さくなることわかる。

5. あとがき 長周期構造物に対するTMDの制震効果をやや長周期地震動の実地震記録を用いた計算機シミュレーションにより調べ、構造物の減衰及び質量比の違いによるTMDの効果の相違やTMDの減衰を最適値の約2倍にしたときのTMDの振幅及びTMDの効果の低減の程度を定量的に把握した。ただし、これらの結果は178水平地震動記録を用いての数値計算より得られたものであり、今後さらに検討が必要である。なお、ここで報告した応答計算は足利工業大学土木工学科の卒業研究生であった伊藤博史、神谷尚登両君によって行われたことを付記する。

参考文献 1)例えば、Kaynia, A. M., et al.: Seismic Effectiveness of Tuned Mass Dampers, ASCE, 107, ST 8, 1981, 1465-1484. 2)篠 泉・藤野陽三: 動吸振器による長周期構造物の制震の有効性、第18回関東支部技術研究発表会講演概要集、土木学会、1991, 8-9. 3)篠 泉・片山恒雄: 気象庁1倍強震計記録の数値化データ、土木学会第40回年次学術講演会講演概要集、第1部、1985, 821-822.

参考文獻 1)例えば、Kaynia, A. M., et al.: Seismic Effectiveness of Tuned Mass Dampers, ASCE, 107, ST 8, 1981, 1465-1484. 2)篠 泉・藤野陽三: 動吸振器による長周期構造物の制震の有効性、第18回関東支部技術研究発表会講演概要集、土木学会、1991, 8-9. 3)篠 泉・片山恒雄: 気象庁1倍強震計記録の数値化データ、土木学会第40回年次学術講演会講演概要集、第1部、1985, 821-822.

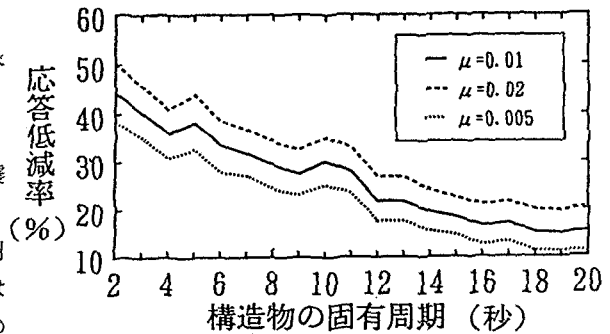


図3 質量比の違いによる平均応答低減率の相違

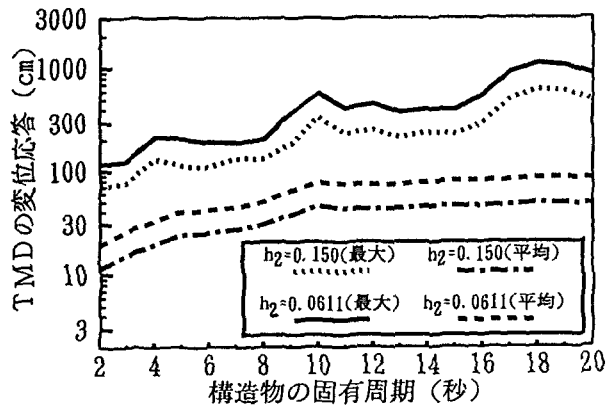


図4 TMDの最大変位応答の最大値と平均値

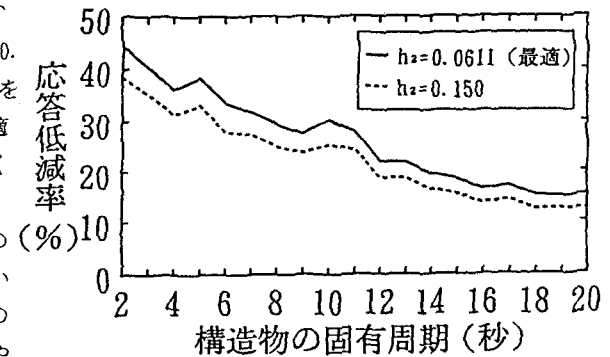


図5 TMDの減衰の違いによる平均応答低減率の相違