

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

1. まえがき 近年、橋梁の長大化、建物の高層化が進み、従来の構造物に比べ固有周期が長くフレキシブルで揺れ易い長周期構造物が増えつつある。このような構造物は風や地震によって有害な振動を生じることが多々あるため、それらの振動を抑える目的で各種の制振装置が使用されている。風による振動対策などで多くの使用実績のある同調質量ダンパー(Tuned Mass Damper(TMD)またはDynamic Damper(動吸振器))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⁾。これは、従来の加速度強震計でとらえられる地震動が一般の構造物にとって非定常的で衝撃的な入力であると見なされるためである。ところが、長周期構造物の固有周期に対応するやや長周期帯域の地震動は、実際の地震記録によるとその包絡線もよりなだらかではば単一の周期の震動が長時間続くことも多い。したがって、TMDにより長周期構造物を制震できる可能性があるものと考えられる。そこで、本研究では、長周期構造物に対してTMDが地震時の程度有効であるかを実地震記録を用いた計算機シミュレーションにより定量的に検討した。

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²⁾。本研究ではTMDの制震効果に及ぼす継続時間の影響を考慮し、上記データベースから継続時間が長い傾向のある東京・新潟と短い傾向のある留萌³⁾での記録(水平18成分)及び波形がインパルス的で継続時間も短い金沢での記録(水平2成分)を構造物の応答計算のための入力として用いることにした(表1)。図1は、1983年日本海中部地震の際に東京で得られたNS成分(表1のNO.5)の加速度波形を示したものである。

3. 構造物-TMD系の応答計算 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、線形1自由度系の構造物に線形1自由度系のTMDが付加された振動系を考える(図2)。構造物の固有周期 T は5, 10, 15秒の3種類とし、減衰係数 c_1 は長周期構造物の減衰が一般に小さいことを考慮し0とした。TMDの質量 m_2 と構造物の質量 m_1 の比 $\mu (=m_2/m_1)$ はこれまでのTMD適用例を参照し、0.01とした。また、構造物の固有円振動数 $\omega_1 (= \sqrt{k_1/m_1})$ に対するTMDの固有円振動数 $\omega_2 (= \sqrt{k_2/m_2})$ の比 $\nu (= \omega_2/\omega_1)$ とTMDの減衰定数 $h_2 (= c_2/(2\sqrt{m_2 k_2}))$ は、調和地動が作用する構造物の絶対加速度応答に注目して求めた最適値： $\nu = 1/(1+\mu)$ 、 $h_2 = \sqrt{3\mu/(8(1+\mu))}$ を用いた。なお、構造物-TMD系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。

表1 解析に使用した地震記録

地震名	地震規模	地点	成分	* Amax	** NO
1964年 新潟	7.5	東京	NS	10.6	1
			EW	10.1	2
1968年 十勝沖余震	7.5	東京	NS	2.2	3
			EW	1.6	4
1983年 日本海中部	7.7	東京	NS	1.8	5
			EW	2.2	6
1968年 十勝沖	7.9	東京	NS	3.4	7
			EW	2.7	8
1983年日本 海中部余震	7.1	新潟	NS	3.2	9
			EW	2.0	10
1968年 十勝沖余震	7.5	新潟	NS	3.0	11
			EW	3.7	12
1968年 十勝沖	7.9	新潟	NS	11.1	13
			EW	8.7	14
1961年 北美濃	7.0	金沢	NS	28.4	15
			EW	22.5	16
1983年 日本海中部	7.7	留萌	NS	2.1	17
			EW	1.9	18
1968年 十勝沖	7.9	留萌	NS	16.2	19
			EW	9.7	20

* 最大加速度(GAL), ** 地震動の番号

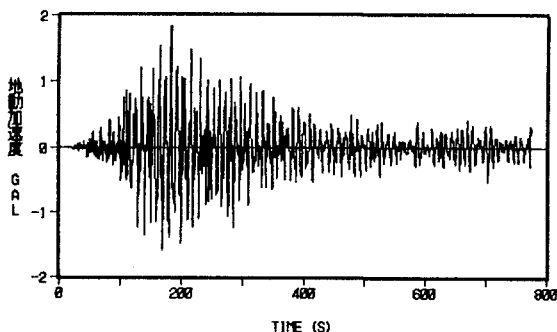


図1 入力地震波(加速度、表1のNO.5)

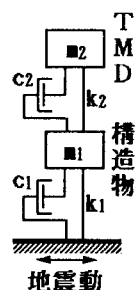


図2 構造物-TMD系

4. 計算結果

本研究では構造物の絶対加速度応答と相対変位応答に注目してTMD付加の効果を検討したが、どちらの応答でもほとんど同じ効果が認められたため、ここでは絶対加速度応答に関する結果を示す。図3は、表1のN0.5の記録を入力地動とした場合の構造物-TMD系の構造物及びTMDなし構造物の応答波形を示したものである。ただし、構造物の固有周期は10秒である。構造物-TMD系の振動は地震動が作用し始めたころはTMDなしのものと変わらないがしばらくするとTMDが効きはじめ振動が抑えられていることがわかる。TMDなし構造物の最大応答値に対する構造物-TMD系の構造物の最大応答値の比（ここではTMDによる最大応答低減度とよぶ）を各地震記録ごとに示したのが図4である。同一地点の記録でも地震や構造物の固有周期等の違いにより制震効果が異なっている。表2はTMDによる最大応答低減度の各地点ごとの平均値と標準偏差を示したものである。同表には地動の継続時間の長い東京・新潟と短い留明・金沢をまとめた結果も示した。全般的にみるとTMDにより構造物の応答は継続時間の長い地点では6割程度に小さくなるのに対し、短い地点では8割程度にしかならないことがわかる。また、構造物の固有周期が短い（5, 10秒）方がTMDによる制震効果は大きく、継続時間の長い地点では構造物の応答が5割弱小さくなっている。なお、地点別では、新潟での地動に対してTMDはより効果的であることが多い。

5. あとがき

長周期構造物の地震応答をTMDによりどの程度抑え得るか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た。その結果、1) 地動の継続時間が長い傾向のある地点での構造物にTMDを付加すると、絶対加速度応答の最大振幅が4割程度小さくなり得る、2) 構造物の固有周期が短いほどTMDによる制震効果は大きい、等が明らかとなった。ただし、本研究では、4地点の限られた数の地震記録（水平20成分）を入力とし非減衰構造物（固有周期 $T=5, 10, 15$ 秒）に対するTMDの制震効果を調べたにすぎず、今後さらに検討が必要なことは言うまでもない。おわりに、ここで報告した構造物-TMD系の応答計算は、足利工業大学土木工学科の卒業研究生である宮尾浩、和田市雄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, J. of Struct. Div., 107, ST8, 1981, 1465-1484. 2) 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回年講概要集, 第1部, 1985, 821-822. 3) Shino, I.: Evaluation of Engineering Properties of Long-period Strong Ground Motion from Displacement Seismograph Records, 東京大学博士論文, 1989.

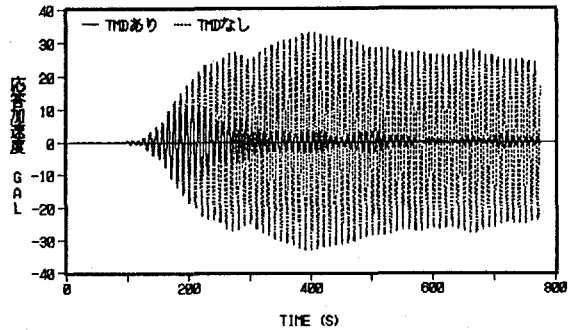


図3 構造物($T=10$ 秒)の絶対加速度応答(表1のN0.5が入力)

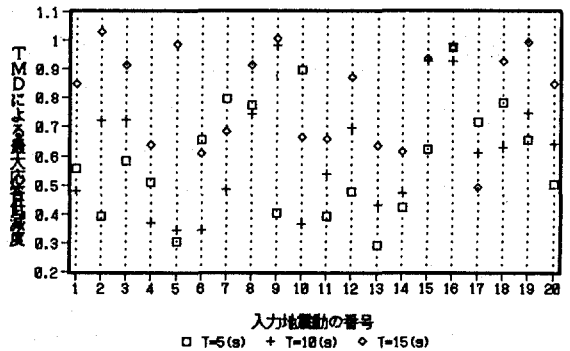


図4 TMDによる最大応答低減度(絶対加速度応答)
(入力地震動の番号は表1を参照)

表2 TMDによる最大応答低減度の地点ごとの平均(μ)と標準偏差(σ)
(絶対加速度応答)

地点	構造物の固有周期 T							
	$T=5$ 秒		$T=10$ 秒		$T=15$ 秒		全周期	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
1. 東京	0.5706	0.1610	0.5260	0.1663	0.8286	0.1526	0.6418	0.2084
2. 新潟	0.4805	0.1936	0.5827	0.2074	0.7423	0.1457	0.6018	0.2154
3. 金沢	0.7995	0.1765	0.9270	0.0010	0.9560	0.0180	0.8942	0.1229
4. 留明	0.6650	0.1039	0.6588	0.0530	0.8148	0.1936	0.7128	0.1491
1. & 2.	0.5320	0.1813	0.5503	0.1871	0.7916	0.1557	0.6246	0.2114
3. & 4.	0.7098	0.1470	0.7482	0.1337	0.8618	0.1718	0.7733	0.1648