

# 独立柱状構造物の制振対策

中央大学 学生員 嶋澤隆介 中央大学 正会員 平野廣和  
中央大学 正会員 佐藤尚次

## 1. はじめに

道路監視用 CCTV 支柱に代表される独立柱状構造物は、路面振動や自然風の厳しい場所等、設置されている環境により過度な振動を発生する場合がある。それにより支柱の基部や接続部等の応力集中部において疲労損傷を起こす問題や、監視に必要な映像を得ることが困難等使用性の問題が起きている。そこで近年、道路付属構造物に対して、振動性状を考慮した対策を検討する必要性が挙げられている。筆者ら<sup>1)</sup>は高架橋上に設置されている CCTV 支柱を対象として、制振対策の検討を行った。そして、制振装置として多方向転動型同調質量ダンパー（以下、MTRMD (Multi-direction Tuned Rolling Mass Damper)）を用いることが有用であることを提案している。本報では CCTV 支柱模型を用いた振動実験を行い、制振対策として多方向転動型同調質量ダンパーを用いることでの制振効果を報告する。

## 2. 実験概要

試験柱として、表-1 に示す諸元の模型柱を製作する。固有振動数を把握するため汎用構造解析ソフト COSMOS/M を使用し、有限要素法により固有値を求める。試験柱モデル（節点数要素数共に 200 程度）の固有振動数とモード形状を図-1 に示す。試験柱の固有振動数が 3.33Hz であることを考慮し、MTRMD の固有振動数を調整する。MTRMD の構造を図-2 に示す。MTRMD の固有振動数は、転動子である鋼球と半円球状受け皿の半径差  $l$  を用いて、式(1)より算出し、設定する。本実験では MTRMD の適用範囲を確認するため、表-2 に示す 5 種の転動子径を有する鋼球を用いて MTRMD を評価する。また、試験柱総質量と MTRMD 質量の比  $\gamma$ 、試験柱固有振動数  $\omega_s$  を用いて、式(2)より算出される MTRMD の最適振動数  $\omega_a$  を表-2 に示す。試験柱は振動台にボルト接合により設置する。計測には 1 軸加速度計、ひずみゲージ、監視カメラを図-1 に示すように設置する。ひずみゲージは図-2 に示すように支柱円周上 2 箇所に添付し、添付高さを下台座溶接部上端から 30mm の位置とする。また、1 軸加速度計は支柱上部 2 箇所に設置し、X、Z 方向を計測方向とする。試験柱座標と起振方向の関係も図-2 に示す。計測はサンプリング周波数 100Hz、データ数 12000 とする。なお、MTRMD の設置位置は図-1 に示す様に、支柱頂部に固定する。振動実験は各 MTRMD パターンにおける自由振動時の制振効果を比較するための自由振動実験と、入力加速度の大きさによる制振効果を比較する振動台実験の 2CASE を行う。

表-1 試験柱の諸元

	寸法(mm)		単位質量	長さ	質量
	直径	肉厚	(kg/m)	(m)	(kg)
支柱材	48.6	1.8	1.98	2.01	3.98
下台座	縦	横	(kg/mm)	厚さ(mm)	(kg)
	280	280	5	5	1.59

	質量密度(N/mm <sup>3</sup> )	縦弾性(N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
材料特性	7.80E-09	205900	0.3

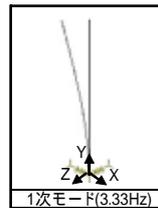


図-1 固有値解析

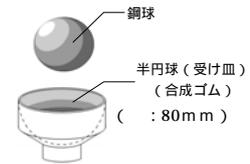


図-2 MTRMD

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2g}{3l}} \quad (1)$$

$$\omega_a = \left\{ \frac{1}{1+\gamma} \right\} \omega_s \quad (2)$$

表-2 MTRMD 設定条件

鋼球(転動子)		MTRMD振動数	質量比	最適振動数
直径(mm)	重量(Kg)	(Hz)	(%)	(Hz)
41.275	0.29	2.92	2.12	3.27
44.45	0.36	3.05	2.65	3.25
47.625	0.44	3.20	3.26	3.23
50.8	0.53	3.37	3.96	3.21
57.15	0.76	3.81	5.63	3.16

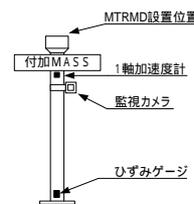


図-1 試験柱の概要

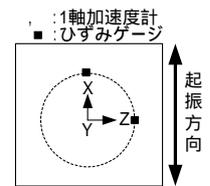


図-2 支柱断面

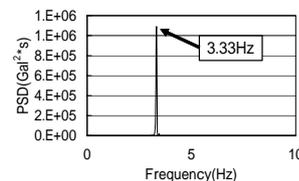


図-3 PSD

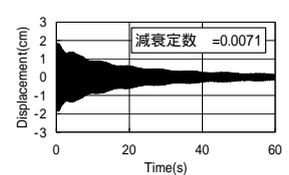


図-4 変位波形

## 3. 自由振動実験

試験柱の固有振動数、MTRMD 設置時の卓越振動数、減衰定数等振動特性を把握、制振効果を比較するためロープを用いた引綱法による自由振動実験を行う。引張力はデジタルフォース

キーワード：柱状構造物、振動応答、多方向転動型同調質量ダンパー

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 tel.03-3817-1816 fax.03-3817-1803

ゲージを使用し 100N で各パターンを行う。計測した応答加速度データをもとにパワースペクトル密度(以下 PSD)、応答変位を求める。また、応答変位より減衰定数を算出する。一例として、無制振時の結果を図-3、4 に示す。無制振時の柱の固有振動数は 3.33Hz、減衰定数は 0.71% である。同様に MTRMD 設置時を行う。結果を表-3 に示す。この結果より、転動子の径が大きくなる(質量大)ことで卓越振動数が若干低くなることがわかる。また、制振効果として、最大 PSD が低く、減衰定数が高いことが要求されるが、この結果から転動子径が 47.625 の時に最も制振効果の高いことがわかる。これは、表-2 に示す MTRMD 設定時に算出した設定振動数と最適振動数の値が、転動子径 47.625 の際最も近いことから、試験柱と MTRMD が同調し、高い制振効果を現していると考えられる。一方、最適転動子径と考えられる 47.625 以上の径での制振効果は、47.625 以下の径での制振効果より若干低いことがわかる。これは、MTRMD 振動数が支柱の固有振動数を上回っていることから発現する揺れ戻しの影響と考えられる。また、各パターンでの最大応答加速度は 600Gal 程度であるため、MTRMD の特徴の一つである衝撃ダンパーとしての効果が考えられる。この効果が転動子径 41.275 の際顕著にみられ、減衰定数が高い値となる。しかし、振動初期の減衰は比較的速いが、TMD としての効果が低いいため微震動の制振は他パターンと比べ遅くなることわかる。

4. 異なる入力加速度における制振効果比較

MTRMD の特徴である TMD としての制振効果は MTRMD の応答変位により異なる。そこで、対象となる試験柱の応答変位を変化させることで各 MTRMD パターンでの制振効果を把握、比較する。起振には振動台(島津サーボパルスフォースシミュレータ)を使用し、振動実験を行う。振動台への入力条件は表-3 の結果を考慮し、入力加速度 10Gal、20Gal、30Gal の計 3CASE、入力振動数 2.5Hz、3.0-3.5Hz を 0.1Hz 刻み、4.0Hz の計 8CASE の合計 24CASE を 1 セットとする。これを、無制振時、最適転動子径 47.625、その上下寸法である 44.45、57.15 での MTRMD 設置時の 4 パターンで行った。計測した加速度データは自由振動時と同様に解析を行う。図-5 に各パターンにおける入力振動数毎の最大応答変位を示す。MTRMD による制振効果が起振開始早期より発現し、最大応答変位を低減していることがわかる。低減効果としては 10Gal 時に 5 割程度、20Gal 時に 3 割程度、30Gal 時に 4 割程度の低減効果が確認された。また、試験柱固有振動数を上回る MTRMD 振動数を設定することで低減効果が 2 割程度低くなることが確認された。一例として、入力加速度 30Gal における無制振時、MTRMD 設置時(転動子 47.625)での応答変位リサージュを図-6 に、PSD 比較を図-7 に、支柱基部でのひずみ範囲頻度分布を図-8 に示す。図-6、7、8 より支柱基部での最大応答変位の低減と共に起振終了後に減衰効果が発現することで支柱基部でのひずみ発生を低減していることがわかる。表-4 に各パターンで最大応答変位

表-3 自由振動実験結果

	卓越振動数(Hz)	最大PSD(Gal <sup>2</sup> *s)	減衰定数
無制振時	3.33	1.09E+06	0.0071
41.275	3.28	6.15E+04	0.0182
44.45	3.30	6.10E+04	0.0112
47.625	3.28	2.75E+04	0.0230
50.8	3.27	9.13E+04	0.0151
57.15	3.22	2.22E+05	0.0105

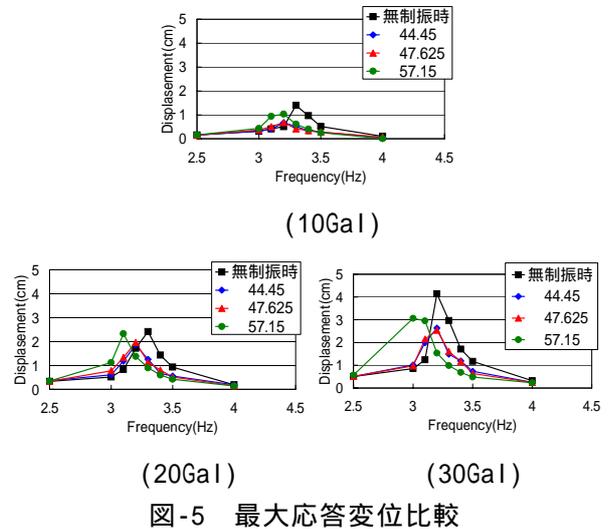


図-5 最大応答変位比較

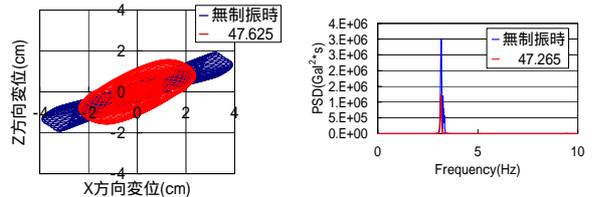


図-6 変位リサージュ (30Gal)

図-7 PSD 比較 (30Gal)

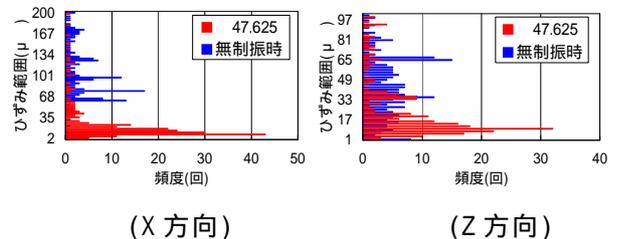


図-8 ひずみ範囲頻度分布 (30Gal)

表-4 制振効果比較

	最大PSD(Gal <sup>2</sup> *s)			減衰定数		
	10Gal	20Gal	30Gal	10Gal	20Gal	30Gal
無制振時	9.22E+05	1.46E+06	3.02E+06	0.0030	0.0036	0.0040
44.45	6.03E+04	7.74E+05	1.22E+06	0.0065	0.0075	0.0097
47.625	4.60E+04	5.09E+05	6.20E+05	0.0129	0.0151	0.0190
57.15	2.40E+05	9.57E+05	1.25E+06	0.0038	0.0052	0.0081

を発現した波形より算出した最大 PSD、減衰定数を示す。表-4 より入力加速度が 10Gal 毎増えることで減衰定数は数%程度向上することがわかる。

5. おわりに

異なる入力加速度による振動実験により、減衰振動時と共に加振中に最大応答変位を低減する制振効果が確認された。今後は MTRMD におけるエネルギー逸散の定量的比較を行う。

<参考文献>

1) 井田剛史他: 多方向轉動型同調質量ダンパーを用いた都市高架橋上 ITV 柱の制振対策と耐久性性能確認現場試験、応力力学論文集、2007