

MTRMD による CCTV 施設に係る費用の大幅な低減の提案

○中央大学 学生員 佐藤 佳紀 中央大学 正会員 平野 廣和
中央大学 正会員 佐藤 尚次 八戸高専 正会員 丸岡 晃

1. はじめに

近年の IT 技術の進歩により、インターネットを経由して映像データが簡便且つリアルタイムに取得出来るようになり、遠隔地の状況を映像的に把握することができるようになった。一方、安全監視の面を始め、災害や事故が発生したとき、早急に現地の状況を映像的に把握することはまさに重要である。

このため CCTV (Closed-circuit Television) を用いた監視システムが構築され、それらシステム構造の多くは、独立鋼管柱上に CCTV を設置する形を取っている。しかし、現在用いられている CCTV 柱を含めた標識柱、照明柱等の橋梁付属構造物は、様々な動的外乱により振動を生ずる環境下にある。さらに阪神淡路大震災以後、耐震性を高める目的で高架橋構造物にゴム支承を採用することにより免振が促進されてきた。しかし、これにより橋梁上部構造物の減衰率が小さくなり、付属構造物はその影響を特に受け、揺れが止まりにくくなった。また、高架橋の桁自身の固有振動数と独立鋼管柱の固有振動数が 2~4Hz とたいへん近いことから、共振状態も生じている。その結果、安定的な映像取得が困難となり、さらに支柱の取り付け部等の応力集中部において疲労損傷を生ずる可能性が高まっている¹⁾。1999 年には非常電話の柱の基部に疲労亀裂が発生し、路上に落下したことが報告されている²⁾。

疲労破壊の対策として鋼管柱のサイズアップ(径間および板厚のアップ)が挙げられるが、その分のコスト増加が課題となっている。筆者ら研究グループ³⁾は高架橋上に設置されている CCTV 柱を対象として、制振対策の検討を行ってきた。そして、制振装置として図 1 に示す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。

そこで本研究では、MTRMD を用いて首都高速道路(株)での標準設計仕様である直径 139.8mm、板厚 6.6mm の鋼管柱に対し、表 1 に示す直径 114.3mm、板厚 3.5mm の鋼管柱を用いて振動実験を行う。その際、写真 1 に示す市販されている安価なウェブカメラ(キヤノン製、VB-C50iR)とそれを保護するハウジング装置を取り付け、自然条件下に設置する。その後、振動応答ならびに照査に必要な固有値や減衰率などの振動特性を算出する。さらにカメラより得られた映像からも比較し、径が細くかつ板厚の薄い支柱部材においても、MTRMD の制振効果があることを確認して、従来の CCTV 施設に係る費用の大幅な低減を提案するものである。

2. 実験概要

表 1 に示す諸元の試験柱を 2 本用いる。図 2 に示すように、両方の柱頭頂部に 3 軸加速度計と、振動を映像により把握するため、前述のカメラとハウジングを

表 1 鋼管柱諸元

	寸法		
	直径(mm)	長さ(mm)	板厚(mm)
支柱材	114.3	5000	3.5
上台座	150	縦(mm) 横(mm)	4.5
下台座	300		16
	密度(N/mm ³)	縦弾性(N/mm ²)	ポアソン比
支柱・台座	7.80E-09	2.10E+04	0.3

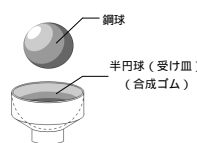


図 1 MTRMD



写真 1 ウェブカメラ(左)と保護ハウジング(右)

設置する。そして片方のみ MTRMD を支柱頭頂部に設置する。鋼管柱設置場所については、冬季の強風が期待でき、さらに寒冷地での機能確保が確認できる、青森県八戸市の八戸高等専門学校の屋上に設置する。

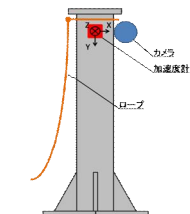


図 2 試験柱の概要

設置後、計算上最適とされるφ61 mm の転動子と、MTRMD の適用範囲の確認のためそれに近い転動子を 5 個、合計 6 個用いて引き綱法による自由振動実験を行う。得られた加速度データより、固有振動数と減衰率を求める。その結果から、最も減衰効果が得られた大きさの転動子を用いて実環境下での長期計測を行う。カメラから取得した映像より振動時の様子をとらえ、同時刻における映像から MTRMD の有無による制振効果を視認によって比較検討する。

3. 実験結果

(1) 自由振動実験

表 1 に示す鋼管柱を用いて引綱法による自由振動実験を行う。計測は、データ数 12000、サンプリング周波数 100Hz の 2.0 分間連続計測とし、MTRMD 有無の両方のケースで行う。転動子の径は、計算上 61 mm 付近が最適であることがわかっているが、減衰効果比較のためにφ50.8mm、φ55.6mm、φ57.2mm、φ60.0mm、φ69.4mm の鉄製の球を用意する。さらに MTRMD と鋼管柱の質量比も考慮し、鉄よりも約 1.5 倍の比重を持つ鉛製のφ61.0mm の転動子も用いて行う。

(2) 計測結果

MTRMD 無しでは 2 回、有りの時はそれぞれの転動子で 1~3 回ずつ、合計で 15 回行った。計測結果を表 2 に示す。計測された加速度データより、鋼管柱の固有振動数を求めたところ 2.95Hz となった。また加速度を二重積分し、頭頂部変位を算出した。図 3 には、

キーワード：独立柱状構造物，自然風，振動応答，制振装置，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

MTRMD 無しの時(実験ケース 1-1)の柱の変位減衰波形を、図 4 には、MTRMD に $\phi 61\text{mm}$ の鉛玉を用いた時(実験ケース 2-11)の柱の変位減衰波形を示す。また、MTRMD の有無による減衰の違いを比較するため、図 5 には実験ケース 1-1 と 2-11 の加速度減衰波形を示す。

MTRMD の特徴は、大振幅時にインパクトダンパー(以下 ID)、小振幅時には質量同調ダンパー(以下 TMD)として作用することである。よって減衰に関して、その 2 つの効果を別々に評価する必要がある。さらに自然風などによる小振幅の振動では、後者の効果が重要となる。これらより、減衰率が変化する点を分けて、図 4 に示すように ID としての作用範囲を、TMD をとし、それぞれの区間で求める。以上のことを踏まえ、それぞれのケースの変位減衰波形のデータからシンプレックス法を用いた非線形最適化より減衰率を算出した。

MTRMD 無しの場合、減衰率は 0.5% となった。これに対して MTRMD 有りに関しては、ID の効果領域では鉄製の転動子を用いた場合、1.5% ~ 2.0% 程度の減衰率が得られた。 $\phi 61.0\text{mm}$ の鉛の転動子は、重量が鉄製と比べて約 1.5 倍あるので減衰率が 3.3% ~ 3.5% と 2 倍程度、MTRMD 無しと比較すると 7 倍程度向上している。TMD としての効果は、鉄製の転動子では 1.9% ~ 4.2%、 $\phi 61.0\text{mm}$ の鉛では 3.9% ~ 4.5% の安定した減衰率を得ていて、MTRMD 無しより 8 倍 ~ 9 倍程度向上していることがわかる。

以上より、ID よりも TMD による効果領域の方が減衰を付加出来ているので、自然風などにより生じる小振幅時に十分な効果が期待できる。また、 $\phi 61\text{mm}$ が、どちらの効果領域においても最も減衰を付加できることが、求めた減衰率から確認できた。さらに転動子に鉛を採用して質量比を 2.2% とし、TMD で最適の質量比とされる約 2 ~ 3% により近づくように調整したことが妥当であったこともわかる。

4. おわりに

自由振動実験において、大小のどちらの振幅時でも、MTRMD によって期待した制振効果を得られることが確認できた。また、本研究で対象としている直径 114.3mm、板厚 3.5mm の鋼管柱でも十分な減衰効果を得られることが明らかとなった。

今後の展開としては、冬季を迎えている八戸では激しい風、気温は氷点下と厳しい自然条件となっている。そういった環境下でも MTRMD が制振装置として効果があるかどうか、最も効果を得られた $\phi 61\text{mm}$ の鉛の転動子を用いてカメラ映像からも比較検討していくつもりである。

謝 辞：本研究の一部は、(財)東北建設協会の技術開発研究助成給付を受けたことを付記す。

参考文献

- 1) 山田健太郎, 他: 鋼管柱基部の疲労強度, 構造工学論文集 vol. 38, 1992. 3.
- 2) 小塩達也: 交通荷重による標識柱の振動と疲労耐久性, 構造工学論文集, vol. 47A, 2001. 3.
- 3) 井田剛史, 他: 多方向転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確認現地試験, 応用力学論文集, Vol. 10, 2007. 9.

表 2 自由振動実験結果

実験ケース	転動子直径 (mm)	固有振動数 (Hz)	減衰率 (%)
1-1	無	2.96	0.5
1-2	無	2.95	0.55

実験ケース	転動子直径 (mm)	固有振動数 (Hz)	減衰率 (%)		質量比 (%)
			ID効果	TMD効果	
2-1	50.8(鉄)	2.94	1.7 (0 ~ 3.2秒)	3.6	0.9
2-2	50.8(鉄)	2.95	1.4 (0 ~ 5.2秒)	2.8	
2-3	55.6(鉄)	2.94	1.5 (0 ~ 3.8秒)	3.8	1.2
2-4	55.6(鉄)	2.86	1.3 (0 ~ 5.6秒)	2.2	
2-5	55.6(鉄)	2.91	1.4 (0 ~ 5.3秒)	3.9	1.3
2-6	57.2(鉄)	2.91	2.1 (0 ~ 2.8秒)	4.2	
2-7	57.2(鉄)	2.94	1.7 (0 ~ 4.2秒)	2.9	1.5
2-8	60.0(鉄)	2.89	2.0 (0 ~ 3.5秒)	2.4	
2-9	60.0(鉄)	2.95	1.1 (0 ~ 6.7秒)	1.9	2.2
2-10	61.0(鉛)	2.88	3.1 (0 ~ 1.9秒)	3.9	
2-11	61.0(鉛)	2.88	3.3 (0 ~ 2.6秒)	4.2	2.3
2-12	61.0(鉛)	2.88	3.5 (0 ~ 1.9秒)	4.5	
2-13	69.4(鉄)	2.99	2.9 (0 ~ 3.8秒)	0.4	

注: () 内の時間は、インパクトダンパーとしての効果が生じた時間を示す
赤字で示したケースを図-4で使用

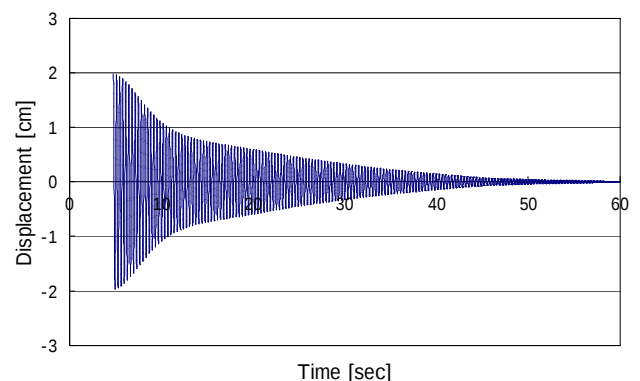


図 3 MTRMD 無し(実験ケース 1-1)

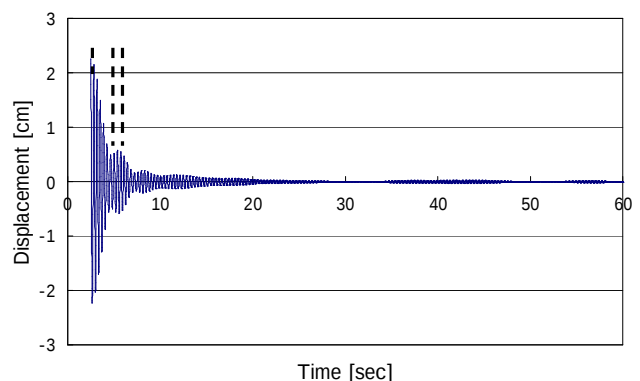


図 4 MTRMD 有り(鉛 61mm) (実験ケース 2-11)

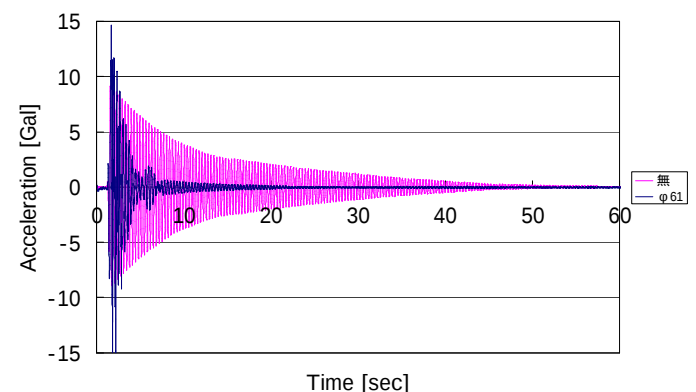


図 5 MTRMD の有無による加速度の比較