

多方向転道型同調質量ダンパーでの CCTV 柱の制振効果とカメラ視認性向上に関する実験

(株)十川ゴム ○井田 剛史 八戸工業高等専門学校 丸岡 晃
中央大学 平野廣和 協和コンサルタンツ(株) 富岡 昇 中井商工(株) 尾松 大道

1. はじめに

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おいて、基部の応力集中部において疲労破壊を起こすことが報告されている^{1),2)}。この対策として支柱部材のサイズアップ（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),4)}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、図-1 に示す制振装置として多方向転道型同調質量ダンパー（以下、MTRMD (Multi-direction Tuned Rolling Mass Damper)）を用いることが有効であることを提案している。

そこで本研究は、支柱部材が薄く細い鋼管柱 2 本にそれぞれ市販の Web カメラを設置し、1 本の柱には MTRMD を設置して、長期間に渡り自然風下での振動計測を行うものである。鋼管柱設置場所は、冬季の強風が期待でき、かつ寒冷地での機能確保が確認できる青森県八戸市の八戸工業高等専門学校の屋上（6 階建て校舎）とする。ここで、振動応答ならびに照査に必要な振動特性を算出し、さらにカメラより得られた映像も比較し、薄く細い支柱部材の鋼管柱においても MTRMD の制振効果の有無を確認する。これにより、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。

さらに、長期計測において 2009 年 2 月 14 日の強風(春一番)を始めとするいくつかの特徴ある観測データを取得することができ、自然風下での制振効果を確認することができたので、これも報告するものである。

2. 実験概要

本研究では、都市部高速道路の CCTV 用柱標準設計仕様である鋼管柱（直径 139.8mm、板厚 6.6mm）よりサイズが小さい表-1 に示す直径 114.3mm、板厚 3.5mm の諸元の試験柱を用いる。図-2 に示すように、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、写真-1 に示す市販されている安価な Web カメラ(Canon 製、VB-C50iR)とそれを保護するハウジングを取り付ける。

長期計測を行うに際し、まず柱の特性を把握する。本研究では、まず無制振での引き綱法による自由振動実験を行い、鋼管柱の固有振動数、減衰率といった振動特性を把握する。その後、柱頭頂部に図-1 に示す MTRMD を設置する。無制振の自由振動実験の結果より算出した最適転動子と、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 個用いて再度引き綱法による自由振動実験を行い、同様に減衰率等の振動特性を求める。その結果から、最も減衰効果が得られた転動子を用いて実環境下での長期計測を行う。

長期計測では、同時刻における MTRMD の有無によ

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

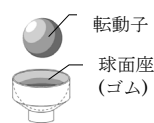


図-1 MTRMD

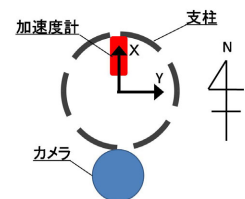
写真-1 ウェブカメラ(左)
保護ハウジング(右)写真-2 長期計測鋼管柱
設置状況

図-2 支柱断面図

る振動の違いを把握するため、表-1 に示す鋼管柱を写真-2 に示すように 2 本用いる。そして片方だけに MTRMD を設置し、加速度計やカメラから得られた同時刻における応答波形や映像により、MTRMD の有無による制振効果を比較検討していくものとする。

3. 自由振動実験結果

(1) 無制振

無制振時の実験結果より、減衰率などの振動特性を算出し、まとめたものを表-2 中のケース 1-1 と 1-2 に示す。鋼管柱固有振動数は約 2.96Hz となった。これより、φ61mm 付近が計算上最適であることが分かった。

(2) MTRMD

MTRMD 設置時の実験結果より算出した振動特性をまとめたものを表-2 のケース 2-1 から 2-13 に示す。MTRMD と鋼管柱の質量比による制振効果の違いも把握するため、φ50.8mm、φ55.6mm、φ57.2mm、φ60.0mm、φ69.4mm の鋼製転動子と、φ61.0mm の鉛製転動子の二種類を用いて行った。

ここで、MTRMD の特徴として大振幅時にインパク

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	0.6

実験ケース	転動子直径(mm)	固有振動数(Hz)	減衰率(%)		質量比(%)
			①ID効果	②TMD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	
2-4	55.6(鉄)	2.86	1.3 (0~5.6秒)	2.2	1.2
2-5	55.6(鉄)	2.91	1.4 (0~5.3秒)	3.9	
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	1.3
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	
2-10	61.0(鉛)	2.88	3.1 (0~1.9秒)	3.9	2.2
2-11	61.0(鉛)	2.88	3.3 (0~2.6秒)	4.2	
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	2.3

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

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。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。IDの効果領域では、鋼製転動子を用いた場合1.5%から2.0%程度の減衰率が得られたのに対し、 $\phi 61.0\text{mm}$ の鉛製転動子では3.3%から3.5%と、鋼製よりも2倍程度向上している。TMDとしての効果は、鋼製転動子では1.9%から4.2%、 $\phi 61.0\text{mm}$ の鉛製では3.9%から4.5%と鋼製よりも安定した減衰率が得られた。

以上の結果より、八戸での長期計測は、最も減衰効果の高い $\phi 61\text{mm}$ の鉛製転動子を用いて行う。

4. 長期計測結果

2009年2月14日に春一番の嵐が吹き荒れた。八戸のアメダスポイントにおいては13時10分に西風を主とした平均風速21.6m/sec、最大瞬間風速は28.5m/sec、気温8℃を記録し、長期計測において、この貴重なデータを取得することができた。

図-3と図-4に、その時得られた加速度データより算出した頭頂部の応答変位波形を示す。南北方向(X方向)と東西方向(Y方向)に分け、両鋼管柱の波形を並べて示すことにより、MTRMDの有無による違いを比較した。振幅の大きい南北方向に大きな差が生じていることがわかる。これは不安定な励振振動(ギャロッピング振動)により、柱には風向方向と垂直方向へ大きい揺れが生じ、MTRMDを設置している方はこれを制振できていることがわかる。

一方、風向方向(Y方向)に関しては、制振の効果が低い。春一番の強風によるガスト応答(風の息継ぎ)による振動で、振動周期が長くなったため、MTRMDの制振効果があまり得られなかったと考えられる。図-5には、各方向成分を基に変位のリサージュ図を示す。無制振の方は風軸に対し垂直に大きく励振しているが、MTRMD設置の方は制振効果が得られている。RMSに関しては、無制振の鋼管柱は0.73cm、MTRMD設置の方は0.28cmと、約60%低減されている。さらに1月9日、2月3日にも強風を観測することができたので、表-3にRMSと気温、最大瞬間風速、平均風速を示す。RMSの値が大きいほど、低減率が大きくなることが分かる。これより、振幅が大きい振動ほどMTRMDにより大きな制振効果が得られることが分かった。また、頭頂部の応答変位を低減出来れば、支柱基部における発生応力を大幅に抑えられることが分かっている⁴⁾。こ

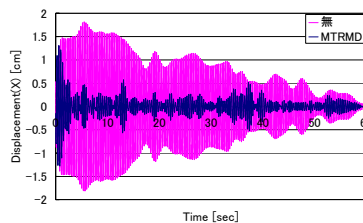


図-3 2月14日X(南北)方向変位

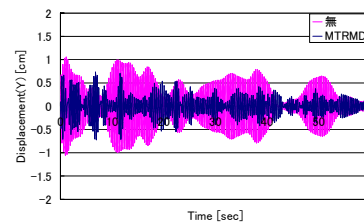


図-4 2月14日Y(東西)方向変位

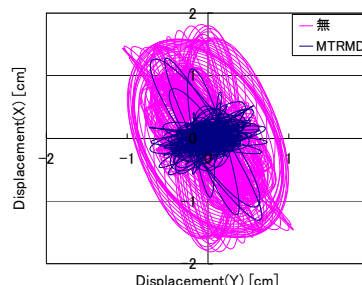


図-5 変位リサージュ

表-3 長期計測データ

	RMS[cm]		低減率[%]	最大瞬間風速[m/sec]	平均風速[m/sec]	風向
	MTRMD	無				
1月9日	0.05	0.06	11.84	11.9	7.3	南東
2月3日	0.11	0.17	34.22	7.8	5.1	南西
2月14日	0.28	0.73	61.64	28.5	21.6	西

れより、応力集中部における疲労破壊の防止に関しても十分な効果が得られているということが分かる。

5. 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の制振効果を確認できた。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が得られることが明らかとなった。

また、冬季の長期計測から、強風による振動に対しても十分な制振効果を得ることが出来た。

さらに、頭頂部応答変位が低減されたことにより、映像取得の快適性の向上が大いに期待でき、同時に鋼管柱の疲労耐久性の向上もはかれることが分かった。

今後の展開としては、地盤振動や交通振動に対しても、同様に制振効果が得られるかどうかを検証していく。さらに、実験対象とした鋼管柱、市販のカメラ、MTRMDを用いることにより、安定した映像を取得するという面で、従来のCCTV柱と同等、もしくはそれ以上の効果が得られるかどうかを検証する。そして、CCTV施設に係る大幅な費用の低減を提案できるかどうか検討していく。

謝辞：本研究を行うに際し、佐藤佳紀氏(JR 東海、研究当時中央大学)の協力を得た。また本研究の一部は、(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性能確認現地試験、応用力学論文集, Vol.10, 2007.9.
- 4) 嶋澤隆介：独立柱状構造物の制振対策、2007年度中央大学大学院修士論文