

## 多方向転動型同調質量ダンパーによる長柱の制振対策

中央大学 学生員 三木孝則

十川ゴム 正会員 井田剛史

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

近年橋梁の振動により、標識柱・照明柱等の基部が破損や折損を起こすといった現象が問題視され始めている。その原因としては、阪神淡路大震災以後の橋梁において、支承に積層ゴムを用いたため、橋自体が揺れやすくなったという背景がある。高架道路を走行する大型車両による起振作用や風等により、長柱の取り付け部等の応力集中部で疲労破壊<sup>1)</sup>を起こすことも報告されている。また、既往の研究<sup>2)</sup>によると、高架橋の桁自身の固有振動数と、橋梁付属物である標識柱の固有振動数が両者とも2~4Hz程度であり、桁の振動により標識柱が共振を起こす可能性も指摘されている。

そこで、本研究ではコスト面の事も視野に入れたうえで、現存の標識柱・照明柱の揺れを抑えて延命することのできる、簡単かつ低コストの制振装置を開発することを目的としてきた。この過程で転動型同調質量ダンパーには大きな加速度が生じた場合、初期の段階で衝撃ダンパーの役割を果たしていることが確認されたので、本報ではその影響を解析で明らかにすることを目的とする。

### 2. 転動型同調質量ダンパーの概要

転動型同調質量ダンパーとは、図-1に示す様に、転動する球とそれを受ける減衰効果を高めるために粘弾性体である合成ゴムで構成された半球状の容器で構成されている。その減衰の原理は、同調質量ダンパー（TMD）と同様に、構造物の固有振動数とほぼ等しい固有振動数を有したダンパーを、構造物の振動に対して逆位相で振動させて制振をはかる。また、本研究の転動型同調質量ダンパーは、以下のような特徴を有している。

長柱の卓越する振動を効率よく抑制する。

転動する球とそれを受ける半球状の容器で構成されているため多方向の振動に対応できる。

比較的小振幅の振動も抑えられる。

制振作動時の騒音がほとんどない。

既存の長柱に対して比較的容易に設置可能で、簡単な構造、かつ、メンテナンスが容易。

小型である。

既製品を用いて低コストで製作できる。

衝撃ダンパー（大振幅時）とTMD（小振幅時）の機能を併せ持つ。

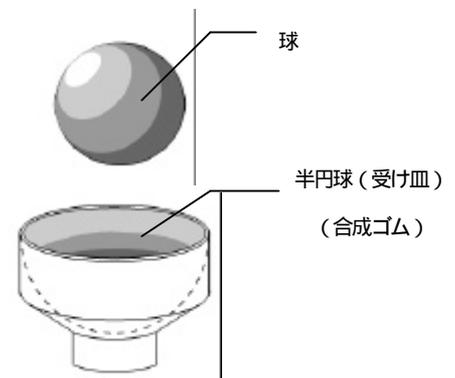


図-1 転動型同調質量ダンパー

### 3. 簡易実験と数値解析

転動型同調質量ダンパーの制振効果を確認する目的で、長柱のモデルとして鋼管柱を用いて簡易実験を行った。簡易実験の諸元は、球の直径が41.3mm、受け皿の直径が60mmである。鋼管柱、ダンパーの固有振動数はそれぞれ5.85Hz、4.21Hzである。実験では外力として約5Gの衝撃を鋼管柱に与え、鋼管柱に取り付けた加速度計で加速度を測定した。結果は原波形に含まれる不規則成分を取り除くため自己相関係数を用いた。非制振時と制振時の結果をそれぞれ図-2に示す。次に簡易実験から得られた減衰率を用いて、実験と同一の緒言で4次のルンゲ・クッタ法を用いて数値解析を行った。実験と同様に結果を図-3に示す。

図-2、図-3から、実験結果と数値解析結果を比較すると、転動型同調質量ダンパーを作用させない非制振時においては、双

Key Words : 制振装置, 同調質量ダンパー, 衝撃ダンパー, 標識柱

〒122-8551 東京都文京区春日 1-13-27 tel.03-3817-1816 fax.03-3817-1803

方の結果が良い一致を示していることがわかる。一方、転動型同調質量ダンパーを作用させた制振時では、数値解析ではきれいな減衰波形が現われているのに対し、実験では初期の段階に急激な減衰が生じその後なだらかに減衰する波形となっている。この相違の原因は、転動型同調質量ダンパーに衝撃力が作用した初期の段階で、球が受け皿の粘弾性体である合成ゴムに衝突することにより一種の衝撃ダンパーの役割をしているためであると考えられる。

4. 衝撃ダンパーから転動型同調質量ダンパーへの切り替わりの検討

簡易実験で明らかになった、転動型同調質量ダンパーの衝撃ダンパーとしての制振効果及び転動型同調質量ダンパーへの切り替わりのタイミングを解析により確認する。衝撃ダンパーの際に用いる理論は、球が受け皿の合成ゴムと衝突する際に、両者の動きは運動量の保存則と反発係数の関係式<sup>3)</sup>に従うものとした。それぞれの関係式は以下のものである、ここでMは鋼管柱の質量、mは球の質量、V'は衝突後の鋼管柱の速度、Vは衝突前の鋼管柱の速度、v'は衝突後の球の速度、vは衝突前の球の速度である。eは反発係数でここでは合成ゴムの一般的な値である0.2とした。

$$M V' + m v' = M V + m v \quad (\text{運動量の保存則})$$

$$V' - v' = -e(V - v) \quad (\text{反発係数の関係式})$$

$\mu = m/M$ とすると衝突後の鋼管柱と球の速度は以下ようになる。

$$V' = \frac{(V + \mu v) - e\mu(V - v)}{1 + \mu} \quad v' = \frac{(V + \mu V) + e(V - v)}{1 + \mu}$$

これらの関係式を用いて時間等を設定することで衝撃ダンパーから転動型同調質量ダンパーへの切り替えを行う解析を行った。衝撃ダンパーから転動型同調質量ダンパーへの切り替えが約0.7秒で起こるケースで解析結果の波形が実験結果の波形と最も一致したので、その際の解析結果と実験結果の比較を図-4に示す。なお図-4は振動初期における衝突による衝撃ダンパーとしての効果と転動型同調質量ダンパーへの切り替えを確認するため、自己相関係数のグラフの初期段階を拡大して示したものである。また、その際の実験結果と解析結果それぞれの衝撃ダンパー時及び転動型同調質量ダンパー時の対数減衰率の比較を表-1に示す。

図-4及び表-1より、実験結果と解析結果は時間経過と共に多少の位相のずれが生じるものの良い一致を示した。この結果から、転動型同調質量ダンパーは、0.7秒付近までは球と受け皿の合成ゴムが衝突を繰り返す衝撃ダンパーとして作用し、この0.7秒付近で衝撃ダンパーの特性から同調質量ダンパー（TMD）の特性へ切り替えが生じたと考えられる。

5. まとめ

本研究で提案した転動型同調質量ダンパーは、高加速度が生じる様な初期段階の状況下では衝撃ダンパーの特性を、一定の加速度以下では同調質量ダンパーの特性を有することがわかった。このようなことから、本ダンパーが長柱の制振に有効であることが、実験の面からも、数値解析の面からも確認できた。今後は、実構造物への設置や実験等によりさらなる制振効果の検討が必要である。本研究を行うに際し、那覇市役所（元中央大学）高橋多佳子氏から協力を得た。ここに謝意を表す。

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.38A、pp.1045-1054、1992.3.  
 2) 高橋他：転動型同調質量ダンパーを用いた標識柱の制振対策、土木学会第58回年次学術講演会、2003  
 3) 小川他：衝撃質量ダンパの制振性能に関する再評価、土木学会第58回年次学術講演会、2003

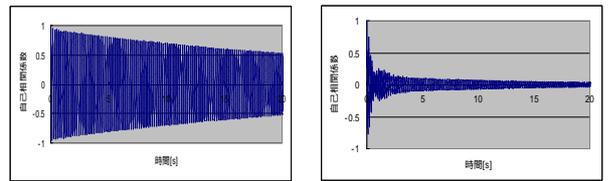


図-2 実験結果

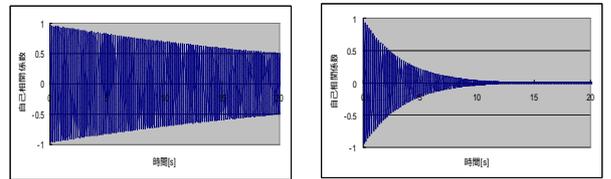


図-3 数値解析結果

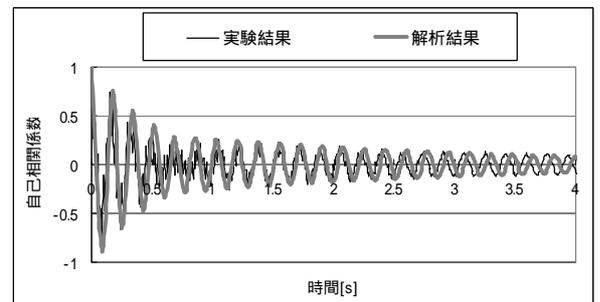


図-4 制振効果の比較

表-1 対数減衰率の比較

	衝撃ダンパー	転動型同調質量ダンパー
実験結果	0.35	0.058
解析結果	0.32	0.072