

鋼管柱に取付けられた粘弾性ダンパの減衰効果に関する研究

Study on Damping Effects of Visco-Elastic Damper Installed on Steel Piping Column

○松岡太一*, 砂子田勝昭*

○Taichi Matsuoka*, Katsuaki Sunakoda*

*秋田大学

*Akita University

キーワード：ダンピング(Damping), 粘弾性材(Visco-elastic material), 鋼管柱(Steel piping column), 架線(Wire), 周波数応答(Frequency response)

連絡先：〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1 秋田大学工学資源学部機械工学科,
松岡太一, Tel.: (018)889-2397, Fax.: (018)837-0405, E-mail: matsuoka@ipc.akita-u.ac.jp

1. まえがき

これまでの塔状構造物の防振は、重要性から発電所や工場の煙突・鉄塔等の限られた所に適用されてきた¹⁾。それらの多くは防振効果や取付け事由により、動吸振器が多用されている。また、それ以外の電柱や信号、電灯などの柱状構造物には、費用対効果の問題からあまり施工されていないのが現状である。

しかし近年、鉄道における車両高速化に伴い、架空電車線（以降、架線）の振動は深刻で、地震時に限らず通常運転時においても車体振動や風などにより架線が大きく振動し、集電装置（パンタグラフ）と架線が離線するといった問題が発生する。これは、架線から車両への電力供給が途切れるだけでなく、アーク放電により架線を損傷させてしまう断線や、騒音、電波障害等が誘発される。車体振

動低減の研究に並んで、架線振動および集電装置に関して、これまで様々な研究がなされている^{2),3)}。しかし、電柱自体の防振に関する研究はあまりなされていない。

そこで本研究では、電柱等のポール状構造物の防振を目的として、安価で振動吸収能力が高いといった特長をもつ粘弾性材を用いた振動抑制手法を提案する。粘弾性ダンパを柱に取付けて、そのせん断変形によって防振効果を持たせた場合の周波数応答解析を行い、最適なダンパの仕様を求めるとともに、柱を模した実験モデルを試作し、実験および解析から防振効果を検討した。ただし、電車架線用電柱は、通常 50 m おきに設置されており全国に無数に存在すること、さらに材質（鋼管・コンクリート）、全高、外径、肉厚が各種異なるため、それぞれ調整することは物理的にも、コスト面からも非現実的である。その

ため、本研究では一つの粘弾性ダンパを提案し、各種の電柱でも防振効果が得られることを目標とした。

2. 有限要素解析

2.1 電柱の種類と構造

現在、電車架線用電柱に使われている鋼管柱の仕様を表1に示す⁴⁾。電車架線用電柱では、柱と地面を固定する方法には、鉄製の座板にボルトで固定する座板付き基礎、および砂を敷き詰める砂詰め基礎の二通りある。しかし本報では、基礎部を固定して片持ち梁として扱った。梁の一次固有周波数 f は一般的に次式で与えられる。

$$f = \frac{1.875^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad (1)$$

ここで、 E ($= 206$ GPa)、 I 、 A 、 ρ および L はそれぞれ弾性係数、断面二次モーメント、柱の断面積、密度、および全高である。

2.2 モード解析結果

有限要素解析では、図1に示すような250個(1000節点)のシェル要素に分割した半円管状の面対称三次元モデルを作成した。また、実際の柱には梁、バランス、電子機器、治具等が付いているが、ここでは考慮しないこととする。モデルの同定をするために、ダンパが取り付けられていない時のモード解析を行った。柱のタイプは代表的な柱① $L = 10$ m、 $R = 133.7$ mm、 $w = 8$ mm、および② $L = 13$ m、 $R = 203.2$ mm、 $w = 12.7$ mmの二種類について行った。一次共振モードの結果を式(1)から得られる理論値と併せて表2に示す。このことか

ら、解析モデルが妥当であるといえる。

2.3 周波数応答解析結果

図1に示される地面からダンパ下端までの取付距離 L_1 、ダンパ長さ L_d 、ばね定数 k 、減衰係数 c を変化させた場合について周波数応答解析を行った。柱表面に粘弾性ダンパが取り付けられていると仮定し、柱が曲げ変形した時の垂直方向の極微小な変位に対し、抵抗力が働くようにモデリングした。

Table 1 Specification of steel piping columns

L [m]	R [mm]	w [mm]	ρA [kg/m]
8~12.5	133.7	8	50.9
		11	69.1
		13	81.0
		15	92.8
		17	104.3
10~14	203.2	6.4	62.7
		9.5	92.4
		12.7	122.5

Table 2 Natural frequency

Type	Theory	FEM
$L=10, R=133.7, w=8$	2.64	2.68
$L=13, R=203.2, w=12.7$	2.37	2.41

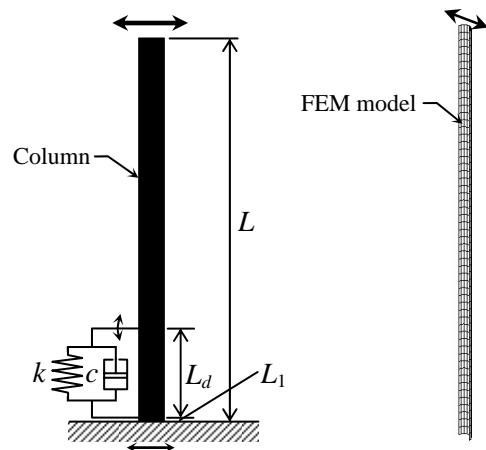


Fig. 1 Analytical model of a pole structure

粘弾性材は一般的に、断面積と板厚によってその弾性率（ばね定数）と粘性率（減衰係数）が決まるが、ここでは簡略化のため線形ばねとダッシュポッドを組み合わせたものとして取扱い、実用の範囲からダンパ長さを 2 m とした。

前節で用いた二種類の柱①および②の地際に、水平方向に正弦波状変位を入力し、そのときの柱先端部における水平方向の振幅と入力変位との振幅比を求めた。鋼管柱の内部構造減衰は資料⁴⁾より β 減衰として 0.004（損失係数 $\eta = 0.03$ ）を用いた。

まず、ダンパ取付距離 L_1 を変化させた場合の解析結果を図 2 に示す。片持ち梁の基礎部は曲げモーメントが最大になることから、変形を吸収するための取付距離はできるだけ地面に近い方が良いことがわかる。従ってこれ以降は $L_1 = 0$ m とした。

次に、ばね定数 k を試行錯誤により適正な値を求めた。その結果を図 3 に示す。図 3 より、ばね定数が増加するにつれて、共振周波数とともにピーク値が増加することがわかる。これは柱の減衰はそのまま剛性のみが増えて固有周波数が上がり、系全体の減衰比が低下すると考えられることから、 $k = 1 \times 10^8$ N/m 程度以下が好ましいことがわかる。

最後に、減衰係数 c を試行錯誤により最適に近い値を算出した。その結果を図 4 に示す。図 4 より、 $c = 2 \sim 3 \times 10^7$ Ns/m の場合ピーク値が 1/4 程度になり、防振効果が高いことがわかる。また減衰係数はそれ以上になると硬くなるため、振動モード等に悪影響を及ぼすことが考えられる。

3. 振動実験

3.1 実験モデルの構造

本研究で提案する粘弾性ダンパの防振効果を確認するために、図 5 に示すような高さ 2 m、幅 50 mm、板厚 12 mm の鉄板に 300 mm の粘弾性ダンパを取付けて、自由振動時における先端部の加速度を測定した。なお、粘弾性材はスチレン系樹脂で $2 \times 30 \times 30$ mm を厚さ 1 mm の鋼板で挟み、柱の曲げに対し撓ることによってせん断変形が可能である。

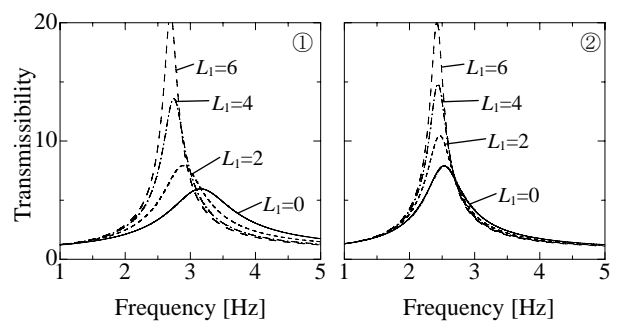


Fig.2 Frequency responses ($k = 0$ N/m, $c = 2 \times 10^7$ Ns/m, $L_d = 2$ m)

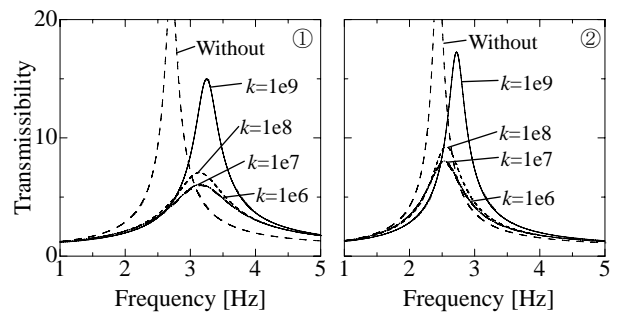


Fig.3 Frequency responses ($c = 2 \times 10^7$ Ns/m, $L_d = 2$ m, $L_1 = 0$ m)

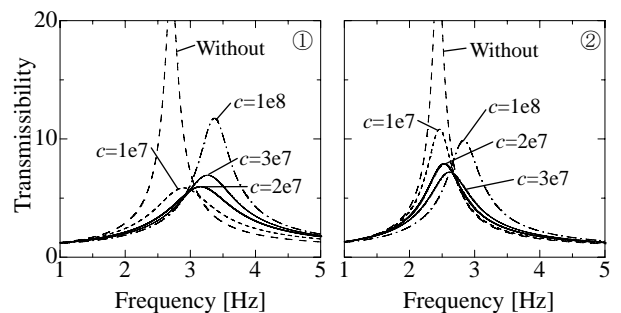


Fig.4 Frequency responses ($k = 0$ N/m, $L_d = 2$ m, $L_1 = 0$ m)

3.2 実験結果

粘弾性ダンパのない場合および取付時の時刻歴応答波形を、有限要素法によって得られた解析結果と併せて図6に示す。理論および解析により得られた固有周波数は 2.50 Hz であり、実験値は 2.62 Hz であった。ダンパ取付位置における垂直方向の変形量は極微であったが、ダンパを取付けたことによって顕著には見られないが対数減衰率から求めた減衰係数は 2 倍程度増加しており、柱に対する防振効果が確かめられた。

4. まとめ

本研究では、ポール状構造物の防振を目的として、粘弾性ダンパを取付けた場合の周波数応答解析、および実験モデルによる振動実験を行った。主な結果は以下の通りである。

- (1) ダンパ取付位置は地面に近い所に取付けるのが最適である。
- (2) ダンパ長さは実用性を考え 2 m 程度でもある程度の減衰効果が得られることがわかる。
- (3) 粘弾性ダンパの仕様は、ばね定数が 1×10^8 N/m 以下、および減衰係数が $2 \sim 3 \times 10^7$ Ns/m 程度であれば、ほとんどの柱に防振効果が得られることがわかる。また、それ以上であると、振動モードが変わり、悪影響を及ぼすことが考えられる。
- (4) 試作した粘弾性ダンパを板状の柱に取付けて振動実験した結果、ある程度の防振効果が認められた。

今後、コンクリート柱の解析および実用化に向けての取付治具等の弾性変形による損失を考慮する必要がある。

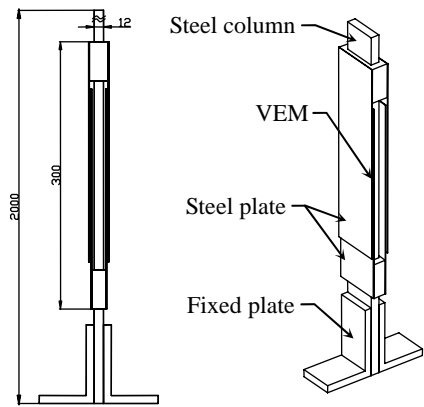
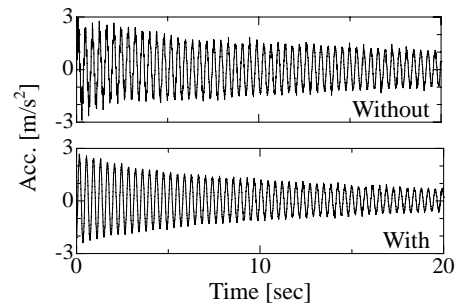
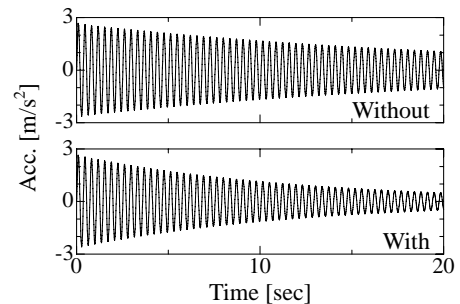


Fig.5 Construction of the experimental model



(a) Experimental results



(b) Calculated results

Fig.6 Time histories of free vibration

参考文献

- 1) 瀬戸一登, 江連勝彦, 猿渡克巳, 二次元ハイブリッド動吸振器による塔状構造物の振動制御, 機論, **59-559**, 721/726 (1993).
- 2) 網干光雄, パンタグラフの接触力変動に与えるトロリ線波動の影響に関する研究, 機論, **63-614**, 3410/3416 (1997).
- 3) 網干光雄, 中井一成, 牧野茂樹, 架線振動減衰による離線低減手法の研究, Trans. IEE Japan, Vol. 117-D, No. 9, 1154/1161 (1997).
- 4) 株式会社 JR 総研電気システム資料