

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	粘性および粘弾性ダンパーを有する3次元角柱の振動応答特性
Title(English)	
著者(和文)	佐藤大樹, 笠井和彦, 田村哲郎
Authors(English)	daiki sato, KAZUHIKO KASAI, TETSURO TAMURA
出典(和文)	日本風工学会誌, Vol. , No. 95, pp. 139-140
Citation(English)	, Vol. , No. 95, pp. 139-140
発行日 / Pub. date	2003, 4

## 粘性および粘弾性ダンパーを有する3次元角柱の振動応答特性

### Vibration Response of a 3D Rectangular Cylinder with Viscous and Viscoelastic Dampers

○佐藤大樹<sup>1)</sup> 笠井和彦<sup>2)</sup> 田村哲郎<sup>3)</sup>  
Daiki SATO<sup>1)</sup> Kazuhiko KASAI<sup>2)</sup> Tetsuro TAMURA<sup>3)</sup>

#### 1. はじめに

近年、高層建築において地震時の安全性だけでなく、風揺れなどに対する居住性も求められるようになった。その要求に答えるものとして粘弾性ダンパーを用いた制振構造が挙げられる。既往の風洞実験においてシリコンオイル、粘弾性体、電磁石等を用いた減衰機構は、実建物との構造減衰の相似則を満足させる目的にのみ使用され、ダンパーの特性およびシステム応答への具体的な影響については、ほとんど議論されていない。

本研究において風洞実験用の粘性および粘弾性ダンパーを作成し、そのダンパー力を計測できるシステムを構築した。本報は、自由振動試験よりダンパー特性を求める方法を示し、また、粘性ダンパーを例にとり一様流での風洞実験の結果について述べる。

#### 2. 試験体概要

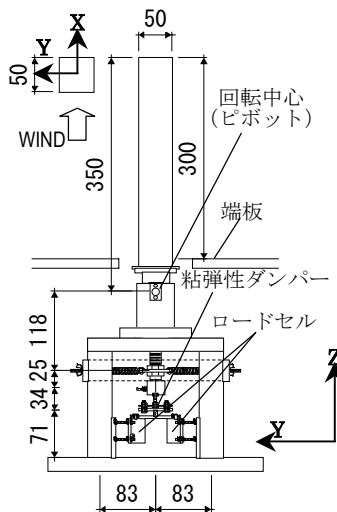


Fig.1 Test Model (unit: mm)

図1に粘弾性ダンパーを設置したシステムを示す。

模型は一辺50mm、アスペクト比6の正方形角柱である。模型は風直角方向にのみロッキング振動をする。

粘弾性体は厚さ3mmのアルミ板に5mm×5mm×8mmのサイズ(住友スリーエム:ISD112)で挟まれている。発生するダンパー力はダン

パーに締結したロードセルによって計測する。

同様にシリコンオイルを用いた粘性ダンパーシステムにおいてもロードセルでダンパー力を計測する。

#### 3. 自由振動試験

自由振動試験の変位時刻歴波形より、ダンパー無しでの固有振動数 $f_0$ (=17.77Hz)、減衰率 $h_0$ (=0.25%)、ダンパー付での固有振動数 $f_{eq}$ 、減衰率 $h_{eq}$ を得た。

また、ダンパーのシステムへの影響を具体的に検討するため(1章)、ダンパーの履歴ループと理論式を組み合わせ得たシステム固有振動数 $f_{eq}$ および減衰率 $h_{eq}$ を得る方法を開発した。以下にこれを述べる。

図2は自由振動試験より得られた粘性、粘弾性ダンパー力 $F_d$ 、変形 $u_d$ の履歴ループの一例である。粘弾性システムの減衰の調節はダンパー周囲温度を変化させて行った。粘弾性ダンパーの履歴ループが粘性ダンパーと比べて顕著な傾き(剛性)を持ち、システムの固有振動数を増加させる働きをもつ。

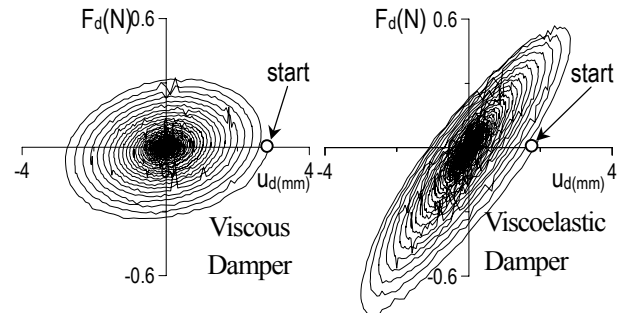


Fig.2 Result of Free Vibration Test

図3は定常状態での粘性・粘弾性ダンパーの変形 $u_d$ とダンパー力 $F_d$ の関係である。 $K_d'$ は貯蔵剛性、 $\eta_d$ は損失係数であり、それぞれ楕円の傾きと太さの程度を表す<sup>1)</sup>。

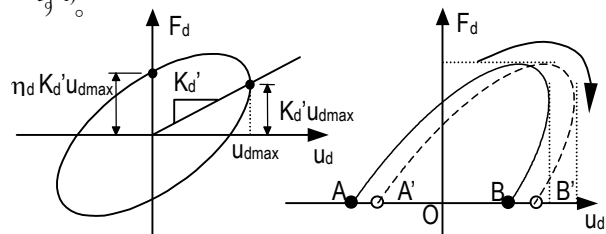


Fig.3 Force-Deformation Curve Fig.4 Half Cycle

1) 東京工業大学 大学院生 工修  
Graduate Student, Tokyo Institute of Technology, M.Eng.  
2) 東京工業大学建築物理研究センター 教授・Ph.D  
Prof., Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Ph.D.  
3) 東京工業大学環境理工学創造専攻 教授・工博  
Prof., Dept. of Environmental Science and Technology, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

これら $k_d'$ ,  $\eta_d$ は、各ステップ $j$ での実験値 $F_d^{(j)}$ と $u_d^{(j)}$ を用いて、それぞれ式(1)より求められる<sup>2)</sup>。

$$K_d' = \frac{n \sum F_d^{(j)} u_d^{(j)} - \sum F_d^{(j)} \sum u_d^{(j)}}{n \sum (u_d^{(j)})^2 - (\sum u_d^{(j)})^2}, \eta_d = \frac{2E_D'}{\pi K_d' (u_{d \max})^2} \quad (1a,b)$$

ここに、 $\Sigma$ は総和記号で1サイクル中の $n$ 個の $F_d^{(j)}$ ,  $u_d^{(j)}$ を対象とする。 $E_D'$ は半サイクル当たりのダンパーの吸収エネルギーを表し、履歴の面積より得られる。

一方、自由振動試験においては、履歴は閉ループとならず、図4実線のように $\overline{OA} > \overline{OB}$ である。よって式(1)をそのまま用いては大きな誤差が生じる。そこで、破線の如く $\overline{OA}' = \overline{OB}'$ となるように右に移動し、さらに原点 $O$ で点対称に回転させることにより閉ループを得ることができる。

$K_d'$ ,  $\eta_d$ を求めた後、ダンパー設置時のシステムの貯蔵剛性 $K_{eq}'$ , 損失係数 $\eta_{eq}$ が式(2a,b)より得られる。

$$K_{eq}' = K_s + K_d' \alpha_L^2, \eta_{eq} = \frac{\eta_d}{1 + K_s / (K_d' \alpha_L^2)} \quad (2a,b)$$

ここに、 $K_s$ =コイルバネ剛性(9.42N/mm)、 $\alpha_L=L_2/L_1$  ( $L_1$ =ピボットからバネ位置までの距離(118mm),  $L_2$ =ピボットからダンパー位置までの距離(177mm))である。システムの固有振動数 $f_{eq}'$ , 減衰率 $h_{eq}'$ が次式より得られる。

$$f_{eq}' = \sqrt{K_{eq}' / M_{eff}} / (2\pi), h_{eq}' = h_0 + \eta_{eq} / 2 \quad (3a,b)$$

ここに、 $M_{eff}$ はバネ位置での等価質量( $=K_s / (2\pi f_0)^2$ )であり、ダンパー無しの実験(前述)より求められる。

なお、以上の粘性、粘弾性ダンパーに共通の手法であるが、例えば、粘性ダンパーの粘性係数 $C_d$ は以下のように求まる<sup>2)</sup>。

$$C_d = (\eta_d K_d') / 2\pi f_{eq}' \quad (4)$$

#### 4. 風洞実験

本研究の初期段階として、粘性ダンパーを用いた風洞実験を行った。流入は乱れ強さ0.3%以下の一様流である。図5に振動応答曲線を示す。横軸は無次元風速 $Vr(=U/f_0 B, U=平均風速, B=見付け幅(50mm))$ 、縦軸は回転角の標準偏差である。図中の $\delta$ は質量減衰パラメータである(式(5))。

$$\delta = \frac{\tilde{M}}{\rho B^2 L_0} h_{eq} = \frac{K_s L_1^2}{\rho (2\pi f_0)^2 B^2 L_0^3} h_{eq} \quad (5)$$

ここに、 $\tilde{M}$ は一般化質量で、 $M_{eff}$ が角柱に均一に分布していると仮定した場合の値である。 $\rho$ は空気密度、 $L_0$ はピボットから模型頂部までの距離(350mm)である。

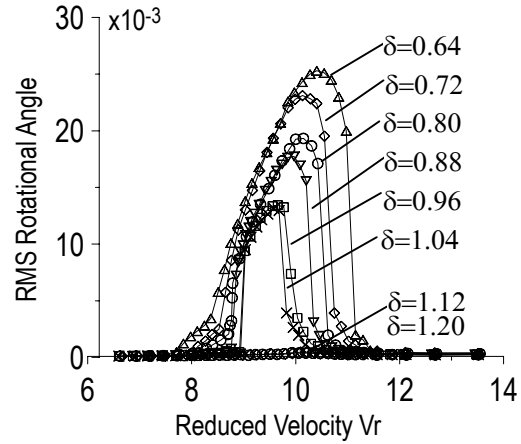


Fig.5 Effect of  $\delta$  on RMS Response

風洞実験前に行った自由振動試験の変位時刻歴波形より対数減衰率を用いて算出した $h_{eq}$ (3章)と、履歴ループを用いて算出した $h_{eq}'$ (3章, 式(3b))との比率を表1に示す。 $h_{eq}'$ は $h_{eq}$ と良い一致を示した。このことから、本計測システムおよび理論の妥当性が示された。

また、 $C_{df}$ は自由振動試験のダンパー履歴より求めた粘性係数である(3章)。また、 $C_{dw}$ は風洞実験時の各 $\delta$ で、最大応答値を示した風速における履歴に対し、図4のような修正を用いずに3章の方法により求めたダンパーの粘性係数である。 $C_{df}$ と $C_{dw}$ は多いところで2割の誤差を生じている。今後更なる検討が必要である。

Table1 Result of Free Vibration Tests and Wind Tunnel Tests

$\delta$	0.64	0.72	0.80	0.88	0.96	1.04
$h_{eq}(\%)$	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
$h_{eq}/h_{eq}'$	1.01	0.98	0.94	0.96	0.90	0.90
$C_{dw}/C_{df}$	0.96	0.99	0.98	0.95	1.02	0.99

#### 5. まとめ

自由振動実験において、粘性および粘弾性ダンパーのダンパー力を計測し、両ダンパーの履歴特性の違いを示した。また、粘性ダンパーシステムで風洞実験を行い自由振動試験から得られた特性と概ね一致することを示した。

#### 参考文献

- 1) 笠井和彦,大熊潔:Kelvin 体による線形粘性ダンパーに関する考察(その1 弾性・弾塑性フレームをもつ一質点制振構造の場合),日本建築学会構造系論文報告集,第555号, pp.71-78,2001,12
- 2) 大木洋司,笠井和彦,高橋治:微小振幅下における速度依存ダンパー性能確認実験,パッシブ制振シンポジウム2002資料, pp.171-179,2002,12