

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	粘性・粘弾性ダンパーを有する高層建築に関する風洞実験
Title	
著者(和文)	佐藤大樹, 笠井和彦, 田村哲郎
Authors	Daiki Sato, KAZUHIKO KASAI, TETSURO TAMURA
出典 / Citation	日本建築学会大会学術講演梗概集, Vol. B1, No. , pp. 199-200
Citation(English)	, Vol. B1, No. , pp. 199-200
発行日 / Pub. date	2003, 9
rights	日本建築学会
rights	本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
relation	isVersionOf: http://ci.nii.ac.jp/naid/110006600378

粘性・粘弾性ダンパーを有する高層建築に関する風洞実験

制振構造 粘性ダンパー 粘弾性ダンパー
履歴ループ 自由振動試験 風洞実験

正会員○佐藤 大樹^{*1} 同 笠井 和彦^{*2}
同 田村 哲郎^{*3}

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す。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

図1に粘弾性ダンパーを設置したシステムを示す。モデルは一辺 50mm、アスペクト比 6 の正方形角柱である。モデルは風直角方向にのみロッキング振動をする。

粘弾性体(住友スリーエム: ISD112)は 3mm 厚さのアルミ板 2 枚の間に 5mm×5mm×8mm のサイズで挟まれている。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し、2 つのロードセルの和として

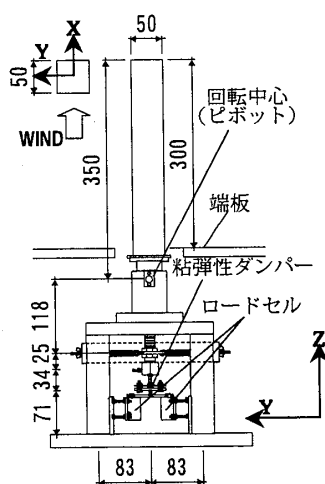


図1 試験体 (unit : mm)

得られる。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、ダンパーが与える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。サンプリング周波数は 2500Hz とし、フィルター等の操作は行っていない。なお、後述する風洞実験においても同条件で行っている。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は粘性ダンパーと比べて顕著な傾き(剛性)を持つ。つまり、粘弾性ダンパーを設置することで、減衰だけでなく、システムの固有振動数を増加させる働きをもつ。

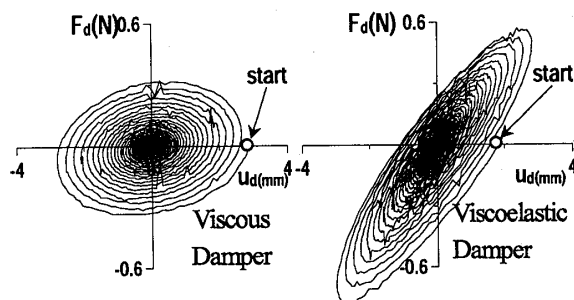


図2 自由振動試験結果

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、 η_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¹⁾。

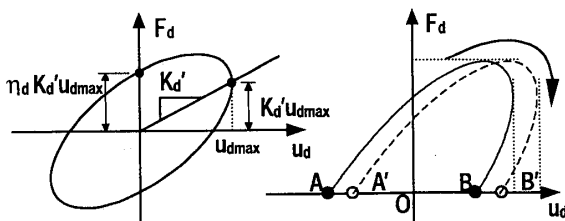


図3 定常状態での履歴 図4 半サイクルでの履歴

これら K_d' 、 η_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²⁾。

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

ここに、 Σ 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、履歴は閉ループとならず、図4実線のように $OA > OB$ となる。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 $OA' = OB'$ 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, η_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 η_{eq} が式(2)より得られる。

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

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。また、システムの固有振動数 f_{eq} 、減衰率 h_{eq} は次式より得られる。

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

ここに、 M_{eff} =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、粘性ダンパーの特性値として良く用いられる粘性係数 C_d は、式(4)より求める²⁾。

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

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。図5(a)に模型高さでの平均風速 (U_m) で無次元化した模型位置での平均風速鉛直プロファイル (U/U_m)を、図5(b)に乱れ強さ (I) の鉛直プロファイルを示す。乱れ強さ 0.3%以下の一様流である。

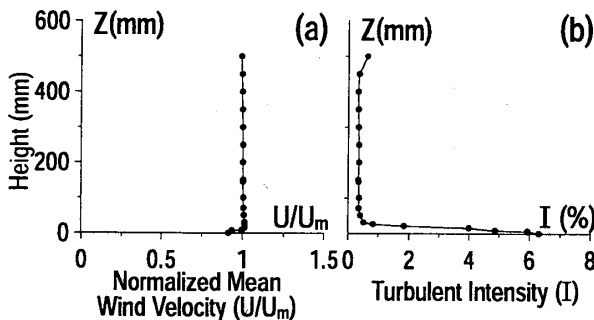


図5 鉛直プロファイル: (a) 無次元化平均風速 (b) 乱れ強さ

図6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 δ 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、質量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。 ρ =空気密度、 L_1 =ピボットから模型頂部までの距離(350mm)である。本実験において、 δ の設定は減衰率のみを変更して行った。 δ と h_{eq} の対応関係を表1に示す。図6より、 δ が1.12以上の場合、渦励振が発生しないことが確認された。本実験結果は、アスペクト比6の正方形角柱を用い

た既往研究³⁾と良い一致を示した。

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、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)。一方、 C_{dw} は風洞実験時の各 δ 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} は良い一致を示したことから、風洞実験において渦励振時のダンパー特性が自由振動から得られた値により、十分な精度で把握できることが確認された。

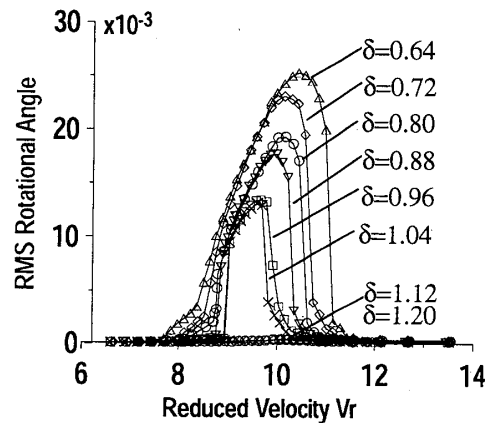


図6 振動応答曲線

表1 自由振動・風洞実験結果

δ	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、作成した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、渦励振時におけるダンパー特性が、自由振動試験から得られたものと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, 高橋台: 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
- 3) 田村哲郎, 岡田玲, 和田章: 弾塑性ダンパーを有する高層建築物の共振風速近傍での応答挙動に関する風洞実験, 日本建築学会構造系論文報告集第537号, pp.35-41, 2000.11

*1 東京工業大学 大学院生 工修

*2 東京工業大学 建築物理研究センター 教授・Ph.D.

*3 東京工業大学 環境理工学創設専攻 教授・工博

Graduate Student, Tokyo Institute of Technology, M.Eng.

Prof., Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Ph.D.

Prof. Dept. of Environmental Science and Technology, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.