

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	風応答時の粘弾性ダンパーの特性および正弦波置換法の実験的検討
Title(English)	
著者(和文)	田上高行, 佐藤大樹, 所 健, 北村春幸, 笠井和彦
Authors(English)	Daiki Sato, Haruyuki Kitamura, KAZUHIKO KASAI
出典(和文)	日本風工学会誌, , No. 119, pp. 203-204
Citation(English)	, , No. 119, pp. 203-204
発行日 / Pub. date	2009, 5

風応答時の粘弾性ダンパーの特性および正弦波置換法の実験的検討

Experimental study for Characteristic of Viscoelastic Damper under Wind Response and Sinusoidal-wave Substitution Method

○田上高行¹⁾ 佐藤大樹²⁾ 所 健³⁾
Takayuki TANOUE¹⁾ Daiki SATO²⁾ Ken TOKORO³⁾
北村春幸⁴⁾ 笠井和彦⁵⁾
Haruyuki KITAMURA⁴⁾ Kazuhiko KASAI⁵⁾

1. はじめに

粘弾性ダンパーは振動時に温度が上昇する性質を持ち、長時間の振動に対して周囲への熱伝導・熱伝達などにより、熱が外に発散する。また、温度・振動数依存性を有し、長時間の加振によりダンパーの特性が変わるため、風応答の制振に用いる場合には継続時間を考慮する必要がある。しかし、粘弾性ダンパーの長時間の正弦波振動時に検討はいくつか行われているが¹⁾、長時間ランダム振動時の粘弾性ダンパーの特性については不明な点も多い。本報では、実験により長時間のランダム振動に対する粘弾性ダンパーの特性を確認し、正弦波で長時間のランダム振動時の温度上昇やダンパーの剛性低下などのダンパー特性の変化を簡便に評価する正弦波置換法の精度を検証する。

2 正弦波置換法

正弦波置換法²⁾は、ランダム波加振と等価なダンパー特性が得られる正弦波(以下、置換正弦波)を決める方法である。置換正弦波 $u_d(t)$ は、置換振幅 A_r 、置換振動数 $\omega_r (=2\pi f_r)$ を変形の標準偏差 σ_D 、繰り返し数 N_0^+ (変形波形がゼロ軸を正の傾きで超える回数) および継続時間 T_a を用いて、次式よりそれぞれ求めることができる。

$$A_r = \sqrt{2}\sigma_D, \quad f_r = N_0^+ / T_a \quad (1a,b)$$

3. 粘弾性ダンパーおよび計測概要

本実験に用いるダンパーの粘弾性体材料はアクリル系(住友3M製ISD111)とし、せん断面積 $A_s = 256 \text{ cm}^2$ 、厚さ $d = 1.6 \text{ cm}$ である。図1に示すように、粘弾性体の温度は、外板の外気側(A点)、粘弾性体上側の厚さ方向1/4(B、F点)と1/2(C、E点)の位置、そして中板厚さの中心(D点)の計測を行う。また、治具(G点)、外気(H点)も

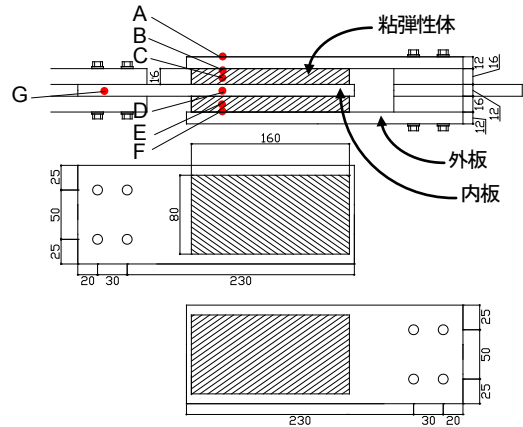


Figure1 Test specimen (unit mm)

測定する。

温度の測定には熱電対を用いた。ダンパーの荷重と変位を測定する。時間刻みは温度を $\Delta t = 1.0 \text{ sec}$ で加振開始から終了まで測定し、変位、荷重を $\Delta t = 0.01 \text{ sec}$ で200秒ごとに20秒間測定する。外気温による影響を極力避けるため、外気温は加振終了までの間、常に一定の温度となるよう維持する。

4. ランダム波加振と置換正弦波加振実験

4.1 加振計画

ランダム波加振時のダンパー温度や剛性の変化を考察する。ランダム波加振と置換正弦波加振における温度時刻歴変化とダンパー特性の実験値を比較し、正弦波置換法の精度を検証する。ダンパー初期温度は 24°C とした。

表1に入力用ランダム波の実験名とパラメータを示す。 $A =$ 風方向、 $C =$ 風直角方向を意味する。ランダム波の作成には高さ200m、幅・奥行きが等しく50mの建物を想定し、再現期間500年、粗度区分をIIIとしてパワースペ

1) 東京理科大学建築学専攻 大学院生
Graduate student, Department of Architecture, Tokyo University of Science.
2) 東京理科大学理工学部建築学科 助教・博士(工学)
Assistant Prof., Department of Architecture, Tokyo University of Science, Dr. Eng.
3) 住友スリーエム(株) コンストラクションマーケット技術部
Construction Markets Technical Dept, SUMITOMO 3M Limited.
4) 東京理科大学理工学部建築学科 教授・博士(工学)
Prof., Department of Architecture, Tokyo University of Science, Dr. Eng.
5) 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.

クトル密度 (PSD) をもとに、風方向および風直角方向の定常ランダム時刻歴波形を AR 法により作成した。継続時間 T_a は風方向、風直角方向ともに 12,000 秒、解析時間刻みは $\Delta t = 0.01$ 秒とした。

固有周期 $T_0 = 3$ 秒 ($f_0 = 0.33\text{Hz}$) について、それぞれ減衰定数を 2% の 1 質点モデルを用いて風方向および風直角方向の風力時刻歴波形で時刻歴応答解析を行い、得られた変形波形を、 $\sigma_D = 0.5\text{cm}$ となるようにそれぞれを規準化した。図 2 に風方向および風直角方向でのダンパー変形 u_d の時刻歴波形を示す。

Table 1 Property of damper deformation under random vibration

Case	最大値 (cm)	最小値 (cm)	標準偏差 (cm)	N_0^*
A-3L	2.096	-2.055	0.5	3452
C-3L	1.791	-1.744	0.5	3460

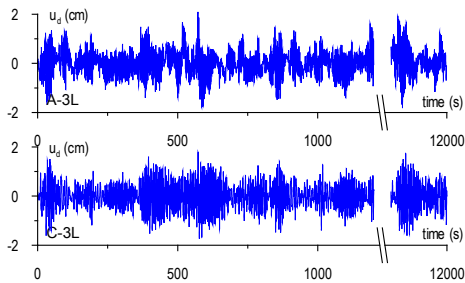


Figure2 Time history of the damper deformation

正弦波置換法により作成した置換正弦波による加振を行う。表 2 は正弦波置換法により、表 1 から式(1a,b)を用いて置換した置換正弦波の統計値である。

Table 2 Parameter of substituted sinusoidal-wave

Case	T_a (s)	A_r (cm)	f_r (Hz)	最大速度 (cm/s)
A-3L	12000	0.707	0.288	1.278
C-3L	12000	0.707	0.288	1.281

4. 2 実験結果

図 3 にランダム波と置換正弦波による実験の A~D, H 点における温度時刻歴を示す。図中には、次節で述べる置換正弦波実験の結果も合わせて示している。ランダム波による加振では 10,000 秒程度で温度が一定となる。

ランダム波と置換正弦波による実験における、貯蔵剛性 K'_d と粘性係数 C'_d の時間変化を図 4 に示す。 K'_d は履歴ループの傾きを式(2)の最小 2 乗法によって求める。また、風応答時のダンパーの等価な粘性係数 C'_d はダンパー速度 \dot{u}_d - ダンパー力 $F_{d,i}$ の履歴より、式(3)の最小 2 乗法を用いて求める²⁾。 Σ は総和記号で、履歴の n 個の $u_{d,i}$, $\dot{u}_{d,i}$, $F_{d,i}$ を対象とする。

$$K'_d = \frac{n \sum u_{d,i} F_{d,i} - \sum u_{d,i} \sum F_{d,i}}{n \sum u_{d,i}^2 - (\sum u_{d,i})^2} \quad (2)$$

$$C'_d = \frac{n \sum \dot{u}_{d,i} F_{d,i} - \sum \dot{u}_{d,i} \sum F_{d,i}}{n \sum \dot{u}_{d,i}^2 - (\sum \dot{u}_{d,i})^2} \quad (3)$$

ランダム波による加振でもダンパー剛性が定常状態になっている。これより、本研究の粘弾性ダンパーは長時間のランダム波加振で温度、ダンパー剛性共にほぼ定常状態になることが分かる。

4. 3 ランダム波と置換正弦波の比較

図 3 にランダム波と置換正弦波による実験の A~D, H 点における温度時刻歴を示す。A-3L は B 点以外はほぼ等価な結果が得られたが、C-3L は置換正弦波のものに比べて温度が若干高くなっている。これは、ランダム波の実験時の外気温 (H 点) が置換正弦波実験時に比べて高いことが原因と思われる。

ランダム波と置換正弦波による実験の、貯蔵剛性と粘性係数の時間変化を図 4 に示す。温度、ダンパー特性共に、置換正弦波とランダム波を比較して良い対応を示していることから、置換振幅と置換振動数を正弦波置換法により算出することで、長時間のランダム振動時におけるダンパー特性を、置換正弦波によって簡便に評価できることがわかる。

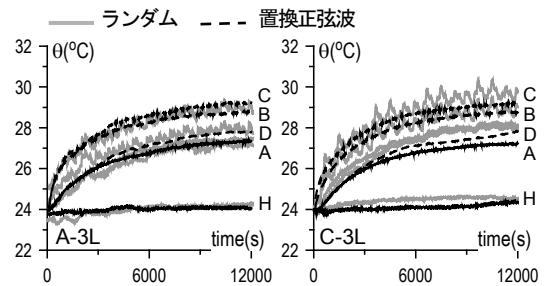


Figure3 Comparison of Temperature time history

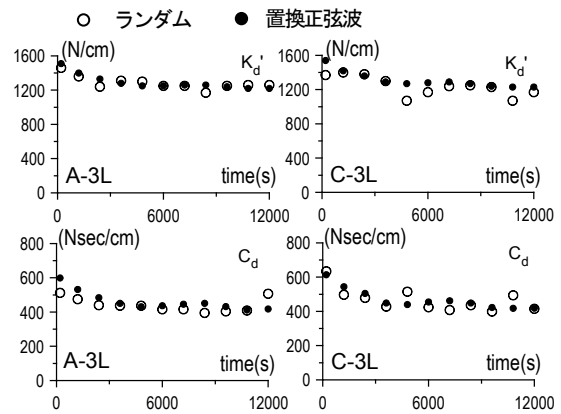


Figure4 Comparison of K'_d and C'_d

5. まとめ

実験により長時間のランダム振動時のダンパー特性を明らかにした。また、正弦波による簡易評価手法の精度を実験から証明し、その有用性を示した。

参考文献

- 笠井和彦, 佐藤大樹, 黄一華: 継続時間が長い外乱での温度上昇と熱伝導・伝達を考慮した粘弾性ダンパーの解析手法, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 599 号, pp.61-69, 2006.1
- 佐藤大樹, 笠井和彦: 長時間ランダム振動時の粘弾性ダンパーの特性および正弦波による評価手法, 構造工学論文集, Vol.53B, pp.67-74, 2007.3