

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	粘弾性ダンパーの長時間風応答時の特性および簡易評価手法の検討
Title	
著者(和文)	田上高行, 佐藤大樹, 北村春幸, 笠井和彦
Authors	Takayuki Tagami, Daiki Satou, Haruyuki Kitamura, KAZUHIKO KASAI
出典 / Citation	日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, , pp. 435-436
Citation(English)	, B-2, , pp. 435-436
発行日 / Pub. date	2009, 8
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: <a href="http://ci.nii.ac.jp/naid/110007978661">http://ci.nii.ac.jp/naid/110007978661</a>

## 粘弾性ダンパーの長時間風応答時の特性および簡易評価手法の検討

正会員      ○田上高行\*<sup>1</sup>      同      佐藤大樹\*<sup>1</sup>  
同              所 健\*<sup>2</sup>              同      北村春幸\*<sup>1</sup>  
同              笠井和彦\*<sup>3</sup>

粘弾性ダンパー      風応答      継続時間  
熱伝導                  熱伝達      簡易評価手法

## 1. はじめに

温度・振動数依存性を有する粘弾性ダンパーは、エネルギーを吸収して温度が上昇するため、長時間加振時には、ダンパー特性の変化が顕著となる。そのため、粘弾性ダンパーを継続時間の長い風応答の制振に用いる場合には注意が必要である。長時間振動時のダンパー特性を把握するために、粘弾性ダンパーの長時間正弦波加振による検討はいくつか行われており、熱伝導・熱伝達などにより熱が外に発散することで内部温度が定常となることが確認されている<sup>1)</sup>。しかし、実際の風応答のように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、長時間のランダム加振による粘弾性ダンパーの特性を確認する。さらにランダム振動時のダンパーの温度上昇による特性の変化を、簡便に評価する正弦波による実験法の精度を検証する。

## 2. 正弦波置換法

正弦波置換法<sup>2)</sup>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。置換正弦波の振幅  $A_r$  および振動数  $\omega_r (=2\pi f_r)$  は、ランダム振動時のダンパー変形の標準偏差  $\sigma_D$ 、繰返し数  $N_0^+$ （変形波形がゼロ軸を正の傾きで超える回数）およびランダム波の継続時間  $T_a$  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の測定も行う。計測の時間刻みは、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。

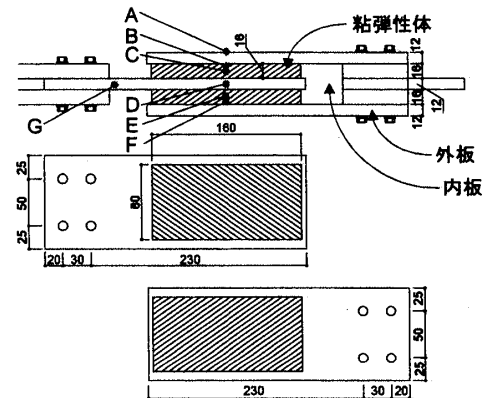


図1 試験体詳細 (単位: mm)

## 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。また、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。いずれの実験においてもダンパー初期温度は  $24^\circ\text{C}$  とした。

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秒とした。固有周期  $T_0 = 3 \text{ 秒}$  ( $f_0 = 0.33 \text{ Hz}$ ) で減衰定数を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、その波形をダンパーに強制変位  $u_d$  として与える。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。また、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。

表1 入力用ランダムダンパー変形の統計値

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

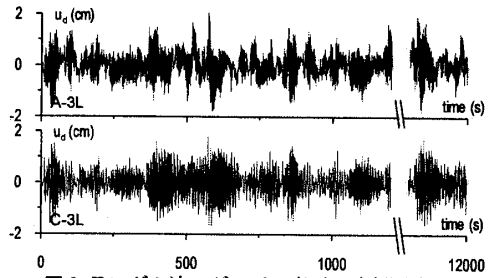


図2 ランダム波のダンパー変形の時刻歴波形

表2は表1の値から式(1)を用いて置換した置換正弦波のパラメータである。

表2 置換正弦波のパラメータ

Case	T <sub>a</sub> (s)	A <sub>r</sub> (cm)	f <sub>r</sub> (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。ランダム波、置換正弦波加振共に長時間加振で温度が一定となる。また、置換正弦波加振での温度は、ランダム波での温度を精度よく表現していることが確認できる。

図4に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'<sub>d</sub> と粘性係数 C'<sub>d</sub> の時間変化を示す。K'<sub>d</sub> は履歴ループの傾きを式(2a)の最小二乗法によって求めた。また、風応答時のダンパーの等価な粘性係数 C'<sub>d</sub> はダンパー速度  $\dot{u}_d$  - ダンパー力 F<sub>d</sub> の履歴より、式(2b)の最小二乗法を用いて算出した<sup>2)</sup>。Σは総和記号で、履歴の n 個の u<sub>d,i</sub>,  $\dot{u}_{d,i}$ , F<sub>d,i</sub> を対象とする。

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

図4より、ランダム波による長時間の加振においても K'<sub>d</sub>, C'<sub>d</sub> が定常状態になっていることが確認できる。また、K'<sub>d</sub>, C'<sub>d</sub> においても置換正弦波は、ランダム波と良い対応を示していることから、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確認できた。

4.3 定常到達時間の検討

定常状態に到達するまでの時間は、式(3)で表わされる β(t) の値が 0.99 以上となる時、この材料、条件では K'<sub>d</sub>, C'<sub>d</sub> の 1,200 秒間の変化が 5% 以下であるので、その時間を定常到達時間 t<sub>st</sub> と定義した。ここで、 $\bar{\theta}(t)$ : 時間 t を中心とした t<sub>ave</sub> 間の平均温度、t<sub>ev</sub>: 評価時間である。

$$\beta(t) = \frac{\bar{\theta}(t - t_{ev})}{\bar{\theta}(t)} \quad (3)$$

図5は t<sub>ave</sub> = 600sec, t<sub>ev</sub> = 1,000sec での β(t) の時刻歴を示しており、ランダム波と置換正弦波での β(t) は近い値となることが分かる。図3~5には前述の条件での置換正弦波の t<sub>st</sub> を示している。t<sub>st</sub> は定常状態を判定する指標として有効であると思われる。

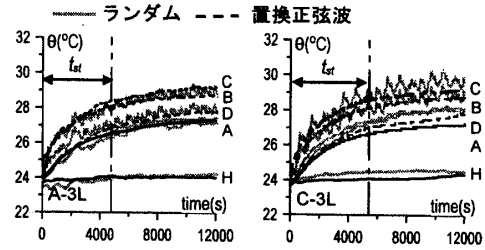


図3 ランダム波と置換正弦波での温度時刻歴

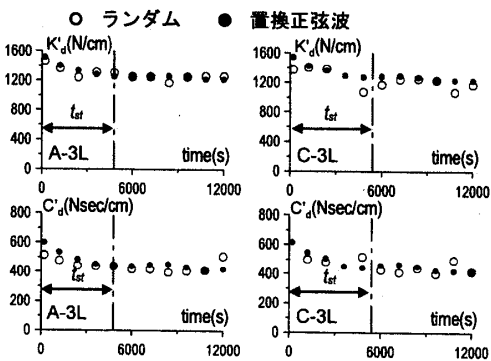


図4 ランダム波と置換正弦波での K'<sub>d</sub>, C'<sub>d</sub> の変化

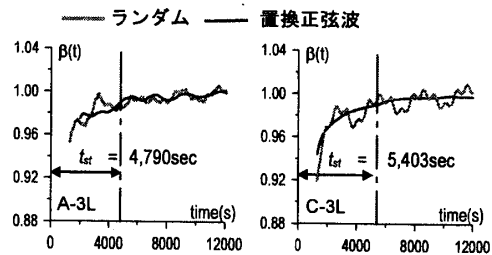


図5 ランダム波と置換正弦波での β(t) の変化(C地点)

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。

謝辞

本研究は文部科学省科学研究費補助金・若手研究(B) (19760383, 代表研究者: 佐藤大樹) の援助の下、実施いたしました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 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集, 第599号, pp.61-69, 2006.1
- 2) 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

\*東京理科大学理工学部建築学科

\*\*住友スリーエム(株)

\*\*\*東京工業大学建築物理研究センター

\* Department of Architecture, Tokyo University of Science.

\*\* SUMITOMO 3M Limited.

\*\*\* Structural Eng. Research Center, Tokyo Inst. of Tech.