

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	継続時間の長いランダム振動時における粘弾性ダンパーの特性および正弦波による評価手法
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. B-2, No. , pp. 725-726
Citation(English)	, Vol. B-2, No. , pp. 725-726
発行日 / Pub. date	2007, 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/110006742234">http://ci.nii.ac.jp/naid/110006742234</a>

継続時間の長いランダム振動時における粘弾性ダンパーの特性および正弦波による評価手法

粘弾性ダンパー 分数微分構成則 継続時間  
熱伝導 熱伝達 評価手法

正会員○佐藤 大樹 同 笠井 和彦\*\* 同 田村 哲郎\*\*\*

1. はじめに

粘弾性ダンパーは温度依存性を有し、振動時に吸収した振動エネルギーを熱へと変換するため温度が上昇する<sup>1)</sup>。そのため継続時間が地震に比べて遥かに長い風応答の制振に粘弾性ダンパーを用いる場合には、長時間の振動によるダンパー特性の変化を把握する必要がある。笠井ら<sup>1)</sup>などにより長時間の正弦波加振実験が行われているが、実際の風応答時のようなランダム波を入力とした際のダンパー特性については殆ど検討されていない。また、粘弾性体のエネルギー吸収による発熱量は、入力の振動数特性によって変化する。そのため、様々な振動数成分を有する長時間ランダム振動時のダンパー特性を、正弦波で評価することの妥当性は明らかでない。

継続時間が長い振動時の粘弾性ダンパーの特性の変化を精度良く再現できる、分数微分構成則 (以下、長時応答解析法) が笠井らにより提案されている<sup>1)</sup>。本報では、長時応答解析法を用いてランダム振動時のダンパー特性を把握し、さらに、正弦波によってランダム振動時のダンパー特性を評価する手法 (以下、正弦波置換法) を提案することを目的とする。本報で提案する正弦波置換法は、長時間のランダム波を作成する必要がなく、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でき、これまで行われてきた正弦波による実験の妥当性を示すものである。

2. ダンパー変形波形の作成方法

長時応答解析法に用いるダンパー変形のランダム時刻歴波形には、一質点モデルで風方向および風直角方向の風力時刻歴による歴応答解析を行い、得られた変形波形を文献1の正弦波と同じ標準偏差 (RMS)  $\sigma_D = 0.467\text{cm}$  となるようにそれぞれを

基準化したものを用いる。一質点モデルの固有周期は、 $T_0 = 3, 6$  秒の2種類、減衰定数は $\zeta_0 = 2\%$ である。ダンパー変形時刻歴波形の継続時間  $T_d = 3,000$  秒、時間刻み  $\Delta t = 0.01$  秒である。詳細は文献2を参照されたい。得られたダンパー変形の時刻歴波形を図1、ダンパー変形の統計値を表1に示す。ここで、PF = ピークファクター (最大値/標準偏差)、 $N_0^+$  = 3,000 秒間で変形波形がゼロ軸を正の傾きで超える数である。

表1 入力用ダンパー変形の統計値

入力名	最大値 (cm)	最小値 (cm)	RMS (cm)	PF	$N_0^+$
A-3	1.958	-1.919	0.467	4.157	863
A-6	1.668	-1.552		3.550	432
C-3	1.673	-1.629	0.467	3.574	865
C-6	1.369	-1.495		3.209	445

3. ランダム波時刻歴解析結果

解析の対象となる粘弾性ダンパーは、文献1と同じ  $50.8 \times 30.7 \times 13.3$  mmのアクリル系粘弾性体2枚をそれぞれ中板の両面に接着した2面せん断型で、中板・外板の厚さは4.8mmである (図2)。

長時応答解析法は、粘弾性ダンパーを厚さ方向に要素分割した、任意の位置  $j$  での温度  $\theta_j$ 、歪  $\gamma_j$  を求めることができ (応力  $\tau$  は厚さ方向に一定)、長時応答解析法の構成則は次式で表される<sup>1)</sup>。

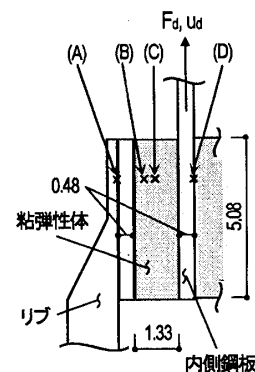


図2 粘弾性ダンパー (unit: cm)

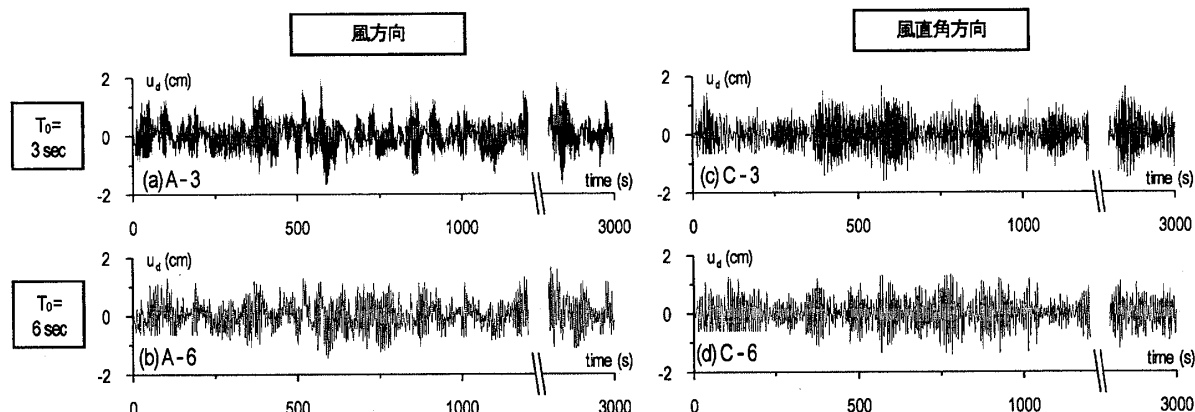


図1 ダンパー変形時刻歴波形

Characteristic of Visco-Elastic Damper under Long Duration Random Loading and Evaluation Method using Sinusoidal-Wave  
SATO Daiki, KASAI Kazuhiko, TAMURA Tetsuro

$$\tau + a_j D^\alpha \tau = G [\gamma_j + b_j D^\alpha \gamma_j] \quad (1)$$

ここで、 $D^\alpha (=d^\alpha/dt^\alpha)$ は分数微分演算子を表す。 $\alpha$ は分数微分の次数、 $a_j, b_j, G$ は構成則のパラメータである。式(1)の計算手法およびパラメータについては文献1を参照されたい。ダンパー初期温度と周辺温度は24°Cとする。ダンパーの分割数も文献1と同様に、中板の半分までをモデル化し、粘弾性体、外板、中板の順に12, 4, 2分割して計18要素を用いた。また、温度の表示位置は図1に示す4ヶ所とする。

一般に、熱伝達係数は物体周りの対流の有無や材料の表面状態など様々な要因によって変化する<sup>1)</sup>。そのため、長時応答解析法に用いる中板・外板側の熱伝達係数 $\alpha_{c,in}, \alpha_{c,out}$ <sup>1)</sup>も、厳密には文献1での正弦波振動時と、本報でのランダム振動時では異なる値となると思われるが、ランダム振動時の熱伝達係数を厳密に決定することは大変困難である。そこで本報では、熱伝達係数の違いによりダンパーの局所的な温度分布は異なるものの、そのことがダンパー全体の特性に与える影響は小さいこと<sup>1)</sup>などの理由から、本報での中板・外板側の熱伝達係数は文献1と同じ値を用いる。

図3に温度時刻歴を示す。図3より、文献1の正弦波での場合と同様に、ランダム振動においても、解析直後はエネルギー吸収による発熱によって温度が急激に上昇するが、ある時刻から熱伝導・伝達の効果により温度がほぼ定常となることが確認できる。時温度上昇量は、 $N_0^+$ (表1)が多いほど大きくなる。

次に、振動時のダンパー特性について検討する。ダンパー変形-ダンパー力の履歴から式(2a)の最小二乗法を用いて求めた風応答時のダンパーの等価な貯蔵剛性 $K'_{d,LS}$ およびダンパー変形を微分して算出したダンパー速度 $\dot{u}_d$ -ダンパー力 $F_d$ の履歴より、式(2b)の最小二乗法を用いて求めた風応答時のダンパーの等価な粘性係数 $C'_{d,LS}$ を求める。表2には、0~1,000秒までの履歴と、2,000~3,000秒での履歴より求めた $K'_{d,LS}, C'_{d,LS}$ の比を示している。

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

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

ここに、 $\Sigma$ は総和記号で、履歴の $n$ 個の $u_{d,i}, F_{d,i}$ および $\dot{u}_{d,i}$ を対象とする。

長時間ランダム振動時の粘弾性ダンパーは、熱伝導・伝達の効果により温度が定常となるため(図3)、ダンパー特性の変化は小さいことが確認された。

#### 4. 簡易評価手法

以下に、正弦波による簡易応答評価法について述べる。はじ

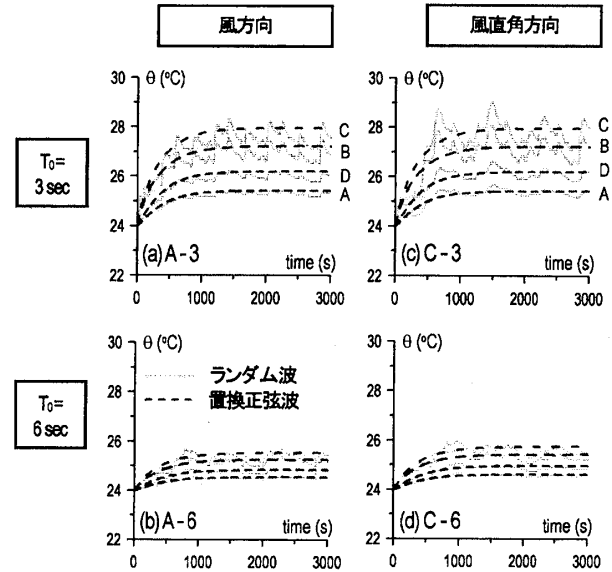


図3 温度時刻歴

めに、風応答の標準偏差 $\sigma_D$ およびゼロクロッシング数 $N_0^+$ (単位時間内に変形波形がゼロ軸を正の傾きで超える回数)が得られているとし、継続時間 $T_a$ を設定する。

ダンパー変形に用いる正弦波(以下、置換正弦波)置換振幅 $A_r$ 、置換振動数 $f_r$ は、ランダム波と置換正弦波で分散および繰返し数が等価となるようにする(式(3))。

$$A_r = \sqrt{2} \sigma_D, \quad f_r = N_0^+ / T_a \equiv V_0^+ \quad (3a,b)$$

図3に置換正弦波入力による解析より得られた温度時刻歴を、ランダム波入力での結果に重ねて示す。図3より、置換正弦波入力での温度時刻歴は、いずれの場合においても、ランダム波入力での結果と良い対応を示していることが確認できる。また、置換正弦波により得られたダンパー履歴から求めた、貯蔵剛性および粘性係数も、ランダム振動時と良い対応を示していることを追記しておく。

#### 5. まとめ

長時応答解析法を用いて長時間のランダム振動時のダンパー特性を明らかにし、さらに正弦波による評価手法を提案した。

#### 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報告集, 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, 2007.3

表2 ダンパー特性の変化 (2,000~3,000s)/(0~1,000)

入力名	$K'_{d,LS}$	$C'_{d,LS}$
A-3	0.955	0.920
A-6	0.980	0.954
C-3	0.982	0.985
C-6	0.983	0.983

\* 東京工業大学都市地震工学センター 研究員・博士(工学)  
 \*\* 東京工業大学建築物理研究センター 教授・Ph.D.  
 \*\*\* 東京工業大学環境理工学創造専攻 教授・工博

Researcher, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.  
 Professor, Tokyo Institute of Technology, Ph.D.  
 Professor, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.