

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簡易評価手法
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)	日本風工学会年次研究発表会概要集, Vol. 32, No. 2, pp. 235-236
Citation(English)	, Vol. 32, No. 2, pp. 235-236
発行日 / Pub. date	2007, 4

風応答時の粘弾性ダンパーの特性および簡易評価手法

Characteristic of Viscoelastic Damper under Wind Response and Simplified Evaluation Method

○佐藤大樹¹⁾ 笠井和彦²⁾ 田村哲郎³⁾
Daiki SATO¹⁾ Kazuhiko KASAI²⁾ Tetsuro TAMURA³⁾

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¹⁾。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¹⁾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¹⁾。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 $T_a = 3,000$ 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に示す。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。

Table 1 Property of damper deformation

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

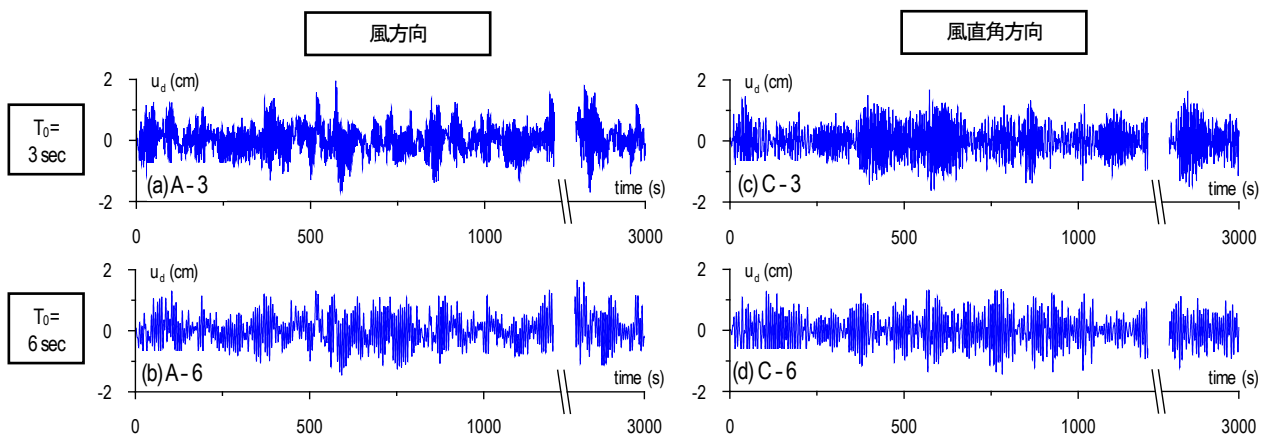


Figure 1. Time history of the damper deformation.

- 1) 東京工業大学都市地震工学センター 研究員・博士(工学)
Researcher, Center of Urban Earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology, Dr.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., Department of Environmental Science and Technology, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

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50.8×30.7×13.3 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4.8 mmである(図2)。

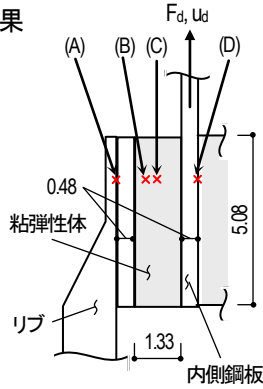


Figure 2 VE damper (unit: cm)

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 θ_j , 歪 γ_j を求めることができ(応力 τ 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¹⁾。

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

ここで、 $D^\alpha (=d^\alpha/dt^\alpha)$ は分数微分演算子を表す。 α 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)の計算手法については文献1を参照されたい。長時応答解析法に用いるパラメータは、 $\alpha = 0.609, G = 6.516 \text{ N/cm}^2, a_{ref} = 0.0115, b_{ref} = 21.157, p_1 = 19.5, p_2 = 80.2, \theta_{ref} = 0.2^\circ\text{C}, s\rho(\text{粘弾性体}) = 194 \text{ N/cm}^2/^\circ\text{C}, s\rho(\text{鋼板}) = 364 \text{ N/cm}^2/^\circ\text{C}, \kappa(\text{粘弾性体}) = 0.188 \text{ N/sec}/^\circ\text{C}, \kappa(\text{鋼板}) = 43.13 \text{ N/sec}/^\circ\text{C}$ とし、ダンパー初期温度と周辺温度は 24°C とする。ここで、 a_{ref}, b_{ref} = 基準温度 θ_{ref} での a, b の値、 s = 比熱、 ρ = 密度、 κ = 熱伝導係数である。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、温度の表示位置として、図1に示す、外板の外気側(A点)、粘弾性体の厚さ方向1/4(B点)と1/2(C点)の位置、そして中板厚さの中心(D点)の計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¹⁾。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 $\alpha_{c,in}, \alpha_{c,out}$ ¹⁾ 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¹⁾、さらには、ランダム波の卓越振動数が文献1で行った正弦波振動時(0.33Hz)と大きな違いはないことなどの理由から、本報での中板・外板側の熱伝達係数は文献1と同じ $\alpha_{c,in} = 0.524 \text{ N/s/cm}^2/^\circ\text{C}, \alpha_{c,out} = 0.956 \text{ N/s/cm}^2/^\circ\text{C}$ を用いる。

図3に風方向および風直角方向での解析結果を示す。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、ある時刻から多少の

変動はあるものの、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。このことは、長時間のランダム振動においても、剛性やエネルギー吸収能力がある値以下には下がらないことを意味する。

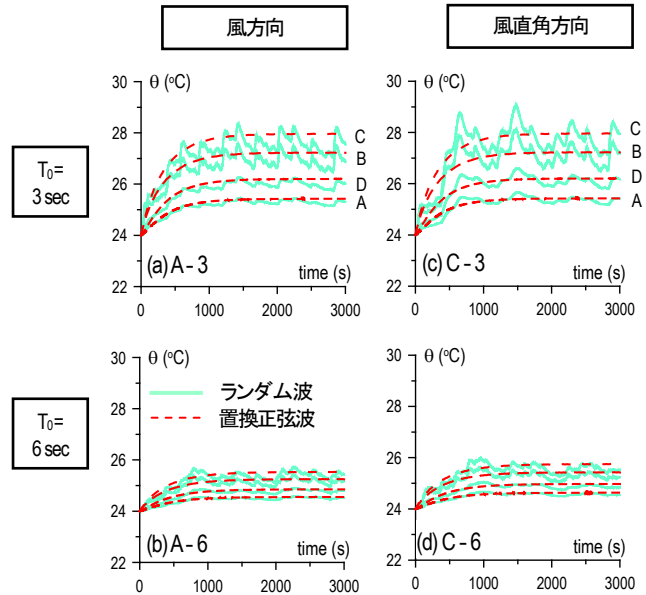


Figure 3. Temperature time history

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。はじめに、風応答の標準偏差 σ_D およびゼロクロッシング数 v_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) $u_d(t)$ の置換振幅 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(2))。

$$A_r = \sqrt{2} \sigma_D, \quad f_r = N_0^+ / T_a \cong v_0^+ \quad (2a,b)$$

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。

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た。また、正弦波による簡易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