T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	長時間加振時の粘弾性ダンパーの動的特性変化簡易予測
Title(English)	Simplified Prediction of changes in dynamic characteristics of viscoelastic damper under long-duration oscillation
著者(和文)	奥田翔平, 佐藤大樹, Dave OSABEL
Authors(English)	Shohei Okuda, Daiki Sato, Dave M Osabel
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 913-914
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, , , pp. 913-914
発行日 / Pub. date	2020, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

日本建築学会大会学術講演梗概集
（関東） 2020 年 9 月

長時間加振時の粘弾性ダンパーの動的特性変化簡易予測

正会員 ○奥田翔平[*1] 同 佐藤大樹[*1]
同 Dave[*1]

制振構造 熱伝達 簡易手法
粘弾性ダンパー 定常状態 温度・振動数依存

1. はじめに

近年、剛性や粘性といった動的特性において温度・振動数依存性を持つ粘弾性ダンパーの評価手法の提案[1),2)]されているが，解析を行うこと自体に高度な知識を必要とし，また実施できる環境を有することが必要となる。評価手法を簡便にすることは粘弾性ダンパーを有する制振構造を普及させるのに有用である。そこで本報では長時間加振時の粘弾性ダンパーの動的特性変化の簡易予測法を提案する。

2. 実験概要

文献 2)の粘弾性ダンパーの正弦波加振実験と予測値を比較する。これは高さ 200m，幅・奥行きが共に 50m の超高層建物の風応答を対象とした実験である。実験で使用した正弦波振動の諸元を Table 1 に示す。また Fig.1 に定常振動時のダンパー履歴を示す。ここで K'_d は貯蔵剛性，C_d は粘性係数，η_d は損失係数，E はエネルギー吸収量，$u_{d,\max}$ は最大変位，ωは円振動数である。また実験で使用した粘弾性ダンパーの詳細を Fig.2 に示す。実験は Table 1 で示した振幅・振動数で 12000 秒間加振し，Fig.2 に示した計 7 点での各時間の温度，ダンパー変位，および荷重を計測した。

3. SDP 手法（Short Duration Prediction Method）

文献 1)より粘弾性ダンパーが長時間加振されると，ダンパーの振動エネルギー吸収による発熱量と熱伝達による空気への熱放出量が釣合うことで定常温度になり，それに伴い動的特性も一定値になることが確認されている。そこで本章では定常状態になるまでの過渡状態の予測法を提案する。熱伝達による熱放出を考慮せず，吸収エネルギーがすべて温度上昇に使われるとして材料特性変化を予測する。このとき j サイクル目での温度上昇$\Delta\theta^{(j)}$，次サイクルの温度$\theta^{(j+1)}$は以下の式で求める。

$$\Delta\theta^{(j)} = \frac{E^{(j)}}{c\rho V} \quad (1) \qquad \theta^{(j+1)} = \theta^{(j)} + \Delta\theta^{(j)} \quad (2)$$

なお 1 サイクル当たりのダンパーの吸収エネルギー量 $E^{(j)}$ は， Table 2 に示す評価式により求まる温度$\theta^{(j)}$のときの貯蔵剛性 $K'^{(j)}_d$，損失係数$\eta_d^{(j)}$を式(3)に代入して算出している。この手法を SDP 手法（Short Duration Prediction-Method）と呼ぶこととする。

$$E = \pi\eta_d K'_d u^2_{d,\max} \quad (3)$$

Table1 入力波諸元[2)]

Case	t_a (s)	A_r (mm)	f_r (Hz)
A-3L	12,000	7.07	0.288
A-3H			0.168
A-6L			0.144
A-6H			0.108

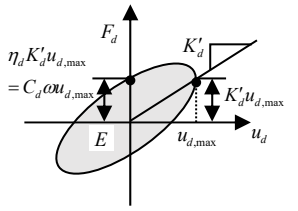

Fig.1 定常振動時のダンパー履歴

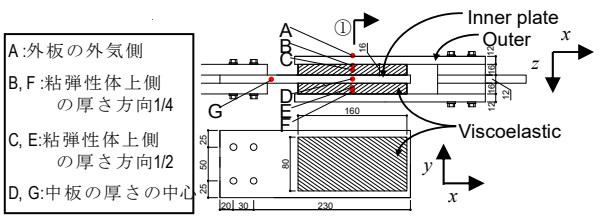

Fig.2 粘弾性ダンパー詳細[2)]

4. SSP 手法（Steady State Prediction Method）

定常状態となったダンパー特性を簡易的に予測する手法を提案する。鉄板は熱伝導率が粘弾性体に比べ大きい（約 230 倍）ため無視し，粘弾性体を厚み方向の一次元体とし，定常状態になるとする。Fig.3 にモデル化の概要を示す。定常状態となった時のそれぞれの面の温度を θ_1，θ_2 とする。空気温度 θ_a，熱伝導率 κ，熱伝達率 α_1，α_2，内部発熱量 w，比熱 c，密度ρ，モデルの長さを d_v とする。このとき一次元体の内部温度分布は式(4)で表される[4)]。ここで A は式(5)で表される。

$$\theta(x) = -\frac{1}{2}\frac{w}{\kappa}z^2 + \frac{\alpha_1}{\kappa}Az + A + \theta_a \quad (4)$$

$$A = \frac{(\alpha_2 l + 2\kappa)wl}{2\kappa(\alpha_1\alpha_2 l + \alpha_1\kappa + \alpha_2\kappa)} \quad (5)$$

また内部発熱量 w は，以下の式(6)より求める。

$$w = \frac{E}{VT} \quad (6)$$

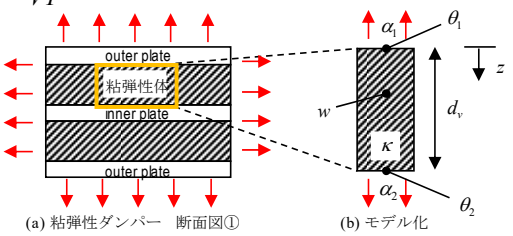

Fig.3 一次元体モデル化の概要

Table2 文献 1)の評価式

$$K'_d = G\frac{1+ab\omega^{2\alpha}+(a+b)\omega^{\alpha}\cos(\alpha\pi/2)}{1+a^2\omega^{2\alpha}+2a\omega^{\alpha}\cos(\alpha\pi/2)}\frac{A_s}{d_v} \quad (7) \qquad a = a_{ref}\lambda^{\alpha} \quad (9) \qquad b = b_{ref}\lambda^{\alpha} \quad (10)$$

$$\eta_d = \frac{(-a+b)\omega^{\alpha}\sin(\alpha\pi/2)}{1+ab\omega^{2\alpha}+(a+b)\omega^{\alpha}\cos(\alpha\pi/2)} \quad (8) \qquad \lambda = \exp\left[-p_1(\theta-\theta_{ref})/p_2,\theta-\theta_{ref}\right] \quad (11)$$

A_s：せん断面積 d_v：粘弾性体厚さ
G：せん断剛性 α：分数微分の次数 λ：温度を考慮するシフトファクター
θ_{ref}：基準温度（20℃） a_{ref}：基準温度における a b_{ref}：基準温度における b

Simplified Prediction of changes in dynamic characteristics of viscoelastic damper under long-duration oscillation

Okuda Shohei, Sato Daiki, Osabel Dave

吸収エネルギー量 E を求めるための貯蔵剛性 K'_d，損失係数 η_d は，評価式を適用している。以下に予測手法を詳しく述べる。はじめに周辺温度 θ_a より評価式からダンパーの特性値を定め，発熱量 w を求める。次に式(4)より内部温度分布 $\theta(z)$ を求め，最大温度 θ_{max} を用いて，再度ダンパーの特性値を計算しなおし，発熱量 w，最大温度 θ_{max} を求めなおす。以上の操作を繰り返し、温度がある一定値に収束する。この値をダンパーの定常温度とし，この温度から定まる特性値を定常状態の特性値とする。この手法を SSP 手法（Steady State Prediction Method）と呼ぶこととする。

Fig.4 に SSP 手法と SDP 手法のフローをまとめたものを示す。SDP 手法の予測温度が SSP 手法の予測温度を超えるまで，前者で動的特性を評価することで，長時外乱後に加え，過渡状態もダンパーの特性を評価できる。

5. 予測値と実験値の比較

SSP 手法と SDP 手法を用いて，実験と比較する。なお両側の熱伝達係数 α_c は Table 3 に示す文献 1)の値を用いる。各パラメーターは，$\alpha = 0.558$，$G = 0.0392$ N/mm^2，$a_{ref} = 5.6 \times 10^{-3}$，$b_{ref} = 2.10$，$p_1 = 14.06$，$p_2 = 97.32$，$\theta_{ref} = 20$ ºC，$\kappa = 0.188$ N/s/ºC である。SSP 手法の収斂回数 n は全てのケースで $0.99 < \theta^{(n)} / \theta^{(n+1)} < 1.01$ を満たすのに十分な 10 回としている。Fig.5 に SSP 手法で得られた温度分布を加振終了時のダンパー各点温度の実験値と重ねて示す。Fig.6 に C 点の温度時刻歴に、2 つの手法によって求まる予測値を重ねて示す。また Fig.7 に実験で得られた貯蔵剛性 K'_d と粘性係数 C_d の時間変化に，2 つの手法で得られる予測値を重ねて示す。2 つのグラフより，長時間加振時の実験値と予測値を比較すると SSP 手法によって精度よく対応して予測できていることが確認できる。また過渡状態の 2 つの値を比較すると，SDP 手法の予測値は実験値より常に安全側に評価できていることが確認できる。

6. まとめ

1) 熱伝導方程式に基づき熱伝達・内部発熱がある一次元体の定常状態の内部温度分布式を導出した。
2) 粘弾性ダンパーの定常時の予測手法、SSP 手法と過渡状態における予測手法，SDP 手法を提案した。
3) 2 つの予測手法を正弦波加振実験の結果と比較し、各ケースの特性を対応良く評価できることを確認した。

[参考文献]

1) 笠井和彦ら：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) 佐藤大樹ら：風応答振動時における粘弾性ダンパーの特性及び正弦波による簡易評価手法，日本建築学会構造論文集，第 80 巻，第 710 号，p571-581，2015 年 4 月
3) 日本免震構造協会：パッシブ制振構造設計・施工マニュアル，明文社 2003. 10. 1
4) 奥田翔平ら：定常熱伝導式による長時間加振時の粘弾性ダンパーの動的特性変化簡易予測，
5) 日本建築学会関東支部，2020. 3

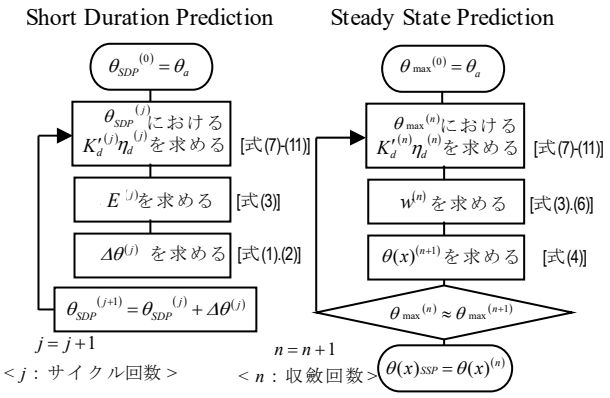

Fig.4　2 つの予測手法のフロー

Table3 熱伝達係数のまとめ [2)]

Case	$\alpha_{c,out}$ (N/s/mm/ºC)	$\alpha_{c,in}$ (N/s/mm/ºC)
A-3L	0.021	0.018
A-3H	0.027	0.024
A-6L	0.050	0.047
A-6H	0.040	0.037

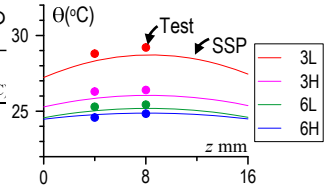

Fig.5　定常時の内部温度分布

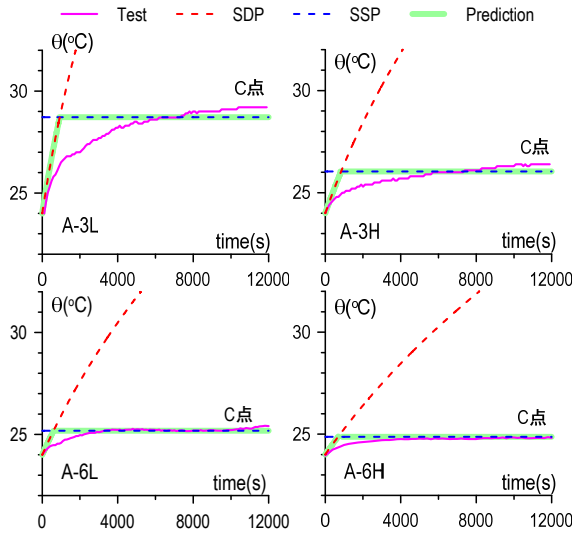

Fig.6　予測温度と実験値の比較

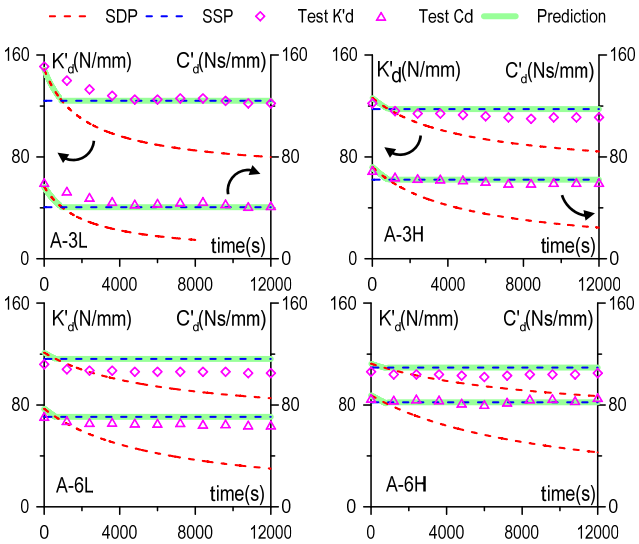

Fig.7　予測動的特性と実験値の比較

*1 東京工業大学
*1 Tokyo Institute of Technology