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)	長時間加振時における実大複層粘弾性ダンパーの熱伝導・伝達を考慮した数値モデル その 2 簡易予測手法と実験との比較
Title(English)	Mathematical model for full-scale multi-layered viscoelastic dampers subjected to longduration loading considering the effect of heat transfer, part2
著者(和文)	奥田翔平, 佐藤大樹, Osabel Dave
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, II, , pp. 473-474
Citation(English)	, II, , pp. 473-474
発行日 / Pub. date	2022, 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
（北海道） 2022 年 9 月

長時間加振時における実大複層粘弾性ダンパーの熱伝導・伝達を考慮した数値モデル
その 2　簡易予測手法と実験との比較

正会員　○奥田翔平[*1]　同　佐藤大樹[*2]
同　Osabel Dave[*3]　同

複層粘弾性ダンパー　熱伝導・伝達　一次元モデル
時刻歴解析手法　簡易予測手法

1. はじめに

その 1 では，吸熱量を導入することにより，文献 2)の解析手法を拡張し．複層ダンパーに適応した．また、文献 3)の予測手法の拡張の前段階として、用いる諸式について示した．本報その 2 では、文献 3)の予測手法を拡張した複層ダンパー予測手法を示す．また、提案した解析手法により詳細な分析を行い、新たな簡易予測手法を提案する．そして各提案手法と実験値を比較しその精度を確認する．

2. 動的特性値の簡易定常予測手法（MSSP 手法）

内部吸熱量 $\dot{Q}_N$ を用いて文献 3)の予測手法を拡張し，定常状態における複層ダンパーの動的特性値の簡易予測手法—MSSP 手法—を提案する．図 1 に本手法の手順を示す．なお､本手法で用いるモデルはその 1 の図 4(c)を参照されたい．はじめに各要素の中心温度 $\theta_{mid,m}$ に初期温度 θ_{ini} を与える．Step-1 にて粘弾性体各層の中心温度の平均値 θ_c（$=\sum\theta_{mid,m_V}/M_V$）を求め，Step-2 にて温度 θ_c のときのダンパーの動的特性値を求める（その 1 の式(23)，(24)）．そして Step-3 にて粘弾性体の内部発熱量 $\dot{Q}_{PV}$ を算出し（その 1 の式(26)），$\dot{Q}_{p,2m_V}=\dot{Q}_{PV}$ として各要素に割り当て，Step-4 にて節点温度 θ_m を求める（その 1 の式(20)~(22)）．最後に Step-5 にて各層の中心温度 $\theta_{mid,m}$ を求め（その 1 の式 (3)，(4)），これを次ステップの温度とする．以上を収斂するまで K 回繰り返すことで，定常状態における複層ダンパーの動的特性値を予測できる．

3. 動的特性値の簡易非定常予測手法（STP 手法）

粘弾性ダンパーにおいて，粘弾性体から遠い鋼板ほどその温度が低くなること [2]，粘弾性体の温度分布が動的特性値に与える影響は小さいこと（4 章，後述）に注目し，本節では粘弾性体とその近傍の鋼板のみが一様に温度上昇すると仮定して動的特性値を予測する手法—STP 手法—を提案する．

図 2 に本手法で用いる諸式とその手順を示す．以下に手順を述べる．はじめに $\theta^{(0)}=\theta_{ini}$ を与える．Step-1 にて温度 $\theta^{(J)}$ のときのダンパーの動的特性値を算出し（その 1 の式(23), (24)），Step-2 にて粘弾性体の吸収エネルギー量 $W_d^{(J)}$を求める（その 1 の式(25)）．また Step-3 にて鋼板の吸熱量を式(1)より求める．なお，$\alpha_{ceq,all}$ はダンパー全体の鋼板の α_{ceq} の合計である．Step-4 にて式(2)より温度上昇幅 $\Delta\theta^{(J)}$ を求める．なお，式(2)は本手法の仮定下での正弦波加振 1 サイクルの T_r 秒間における熱エネルギーの釣り合いから導出される．Step-5 にて式(3)より次サイクル温度 $\theta^{(J+1)}$ を求める．以上を繰り返し，ダンパーの動的特性値を時系列で予測することができる．

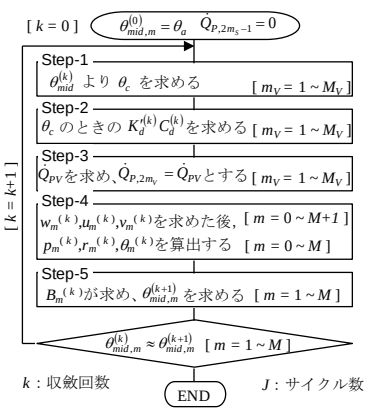


図 1　MSSP 手法の手順

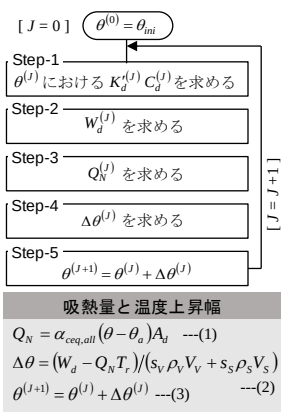


図 2　STP 手法の手順と諸式

4. 解析手法・MSSP 手法・STP 手法と実験の比較

文献 4)の実験結果と比較し，それぞれの提案手法の精度検証を行う．解析・予測値の算出に用いたパラメータは，α = 0.588, G_{ref} = 0.0392 N/mm, a_{ref} = 5.6×10-5, b_{ref} = 2.10, p_1 = 14.06, p_2 = 97.32，θ_{ref} = 20℃，Δt = 0.01s，T_w = 15 s，θ_{ini} = 22℃，K = 20 回，V_V = 7.3×106 mm^3，V_S = 1.49×107 mm^3 である．その他の材料パラメータ，各鋼板の α_{ceq}，解析における各層の要素数は表 1 に示す．図 3 に A-3L-30 ケースの正弦波加振実験の点 2，3 における各時刻の計測値と，各時刻の温度・歪分布の解析値を示す．なお，歪分布は各時刻付近で最大変位 $u_{d,max}$ がダンパーに入力されたときの歪から作成した．図 3 の温度分布図より加振直後ではダンパー温度は一定であるが，加振時間の経過に伴い熱の逃げにくい内板側を頂点とした山型の分布が生じ，大きくなることが分かる．また解析により各時刻の各計測点の温度を再現できることが分かる．図 3 の歪分布図より，加振直後は一様に 70.75%(=$u_{d,max}/d_V$）であるものの，加振時間の経過に伴い歪分布が生じ，複雑に変化することが分かる．これは，粘弾性体は温度が高い所で硬く，低い所で柔らかいためであり，その複雑な変化は熱移動の影響である．図 4 に図 3 中に示す節点 12~96 の各時刻における τ-γの履歴の傾きから求めた G_j' と F_d-u_d の履歴の傾きから求めた K_d' をその 1 の式(23a)より剪断貯蔵剛性に変換した値 G_K' の比を示す．図 4 よりいずれの節点でも G_j'/G_K' が±5%内に収まっていることが分かる．これより，歪分布が，ひいては温度分布が，ダンパー全体の動的特性値に与える影響は小さいと言え，STP 手法の仮定は妥当と言える．図 5 に各ケースの各時刻の F_d-u_d の履歴の実験値と解析値を示す．いずれのケースにおいても加振時間の経過に伴い，履歴が傾き，細くなることが分かる．また，解析により入力波の種類・周辺温度に依らず，精度よく F_d-u_d の履歴を再現できることが確認できる．図 6(a)に各ケースの計測点 1～3 における実験値と解析値，加えて正弦波加振ケースでは点 1~6 の計測値の平均（Ave）と STP 手法による予測値を示す．なお，MSSP 手法による温度の予測値は図

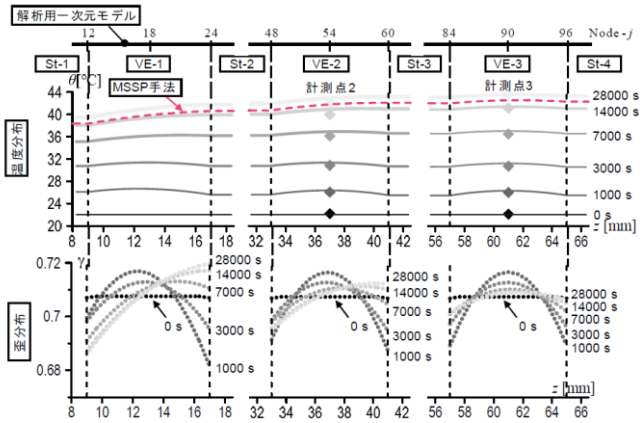


図 3　温度分布と歪分布

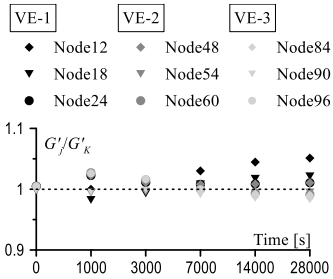


図 4　各要素の剪断剛性とダンパー全体の剪断剛性の関係

表 1　解析・予測手法のパラメータ

Layer	d [mm]	Number of elements	α_{ceq} [N/s/m/℃] A-3L-30	A-3H-28
St-1	9	12	10.79	10.60
VE-1	8	12		
St-2	16	24	4.86	5.13
VE-2	8	12		
St-3	16	24	4.04	4.35
VE-3	8	12		
St-4	8	12	2.43	2.67

Material	κ [N/s/℃]	s [Nmm/kg/℃]	ρ [kg/mm^3]
Steel (S)	43.128	46.63×10^4	7.8×10^{-6}
VE (V)	0.188	18.70×10^5	1.0×10^{-6}

3 の温度分布図に示している．また，図 14(b)，(c)に各ケースの貯蔵剛性 K'_d と粘性係数 C_d の実験値と解析値，正弦波加振ケースでは MSSP 手法と STP 手法による予測値を示す．図 14 より提案した解析手法により，入力波の種類・周辺温度に依らず，ダンパーの温度・動的特性値の変化を精度よく再現できることが確認できる．また，正弦波加振ケースでは MSSP 手法・STP 手法により定常状態，または非定常状態の温度・動的特性値を精度よく予測できることが分かる．

5.　おわりに

本報その２では、文献 3)の予測手法を拡張し．複層ダンパーに適応した．また、提案した解析手法により詳細な分析を行い、STP 手法を提案した．そして文献 4)の実験値とそれぞれの解析・予測値の比較を行い，解析によって動的特性値だけでなく詳細な温度分布や履歴を含め高精度に再現できることが確認され，また MSSP 手法・STP 手法によって簡便に精度よく動的特性値を予測できることが確認された．

【参考文献】
1) 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 第３版， 2013.11
2) 笠井，佐藤ら　他１名：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
3) 奥田，佐藤ら　他１名：長時間風応答時の粘弾性ダンパーの動的特性変化の簡易予測，構造工学論文集， 2021.3
4) 杉山，笠井ら　他２名：長時間の風外力における実大粘弾性ダンパーの特性評価実験，その 1，その 2，日本建築学会関東支部研究報告集，第 85 号，pp.261-268，2015.3
5) 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，第 53B 号，pp.67-74，2007.3
6) 笠井，寺本　他２名：粘弾性体の温度・振動数・振幅依存性を考慮した構成則　その 1，日本建築学会構造系論文集，第 543 号，pp.77-86，2001.5
7) 笠井和彦，所健：粘弾性体の温度・振動数・振幅依存性を考慮した構成則　その 2，日本建築学会構造系論文集，第 561 号，pp.55-63，2002.11
8) ：奥田，佐藤ら　：長時間加振時における熱伝導・伝達による動的特性変化を考慮した実大複層粘弾性ダンパーの解析手法・予測手法の構築，日本建築学会構造系論文集，(投稿中)
9) ：奥田，佐藤ら：熱伝導・伝達の影響を考慮した粘弾性ダンパーの動的特性値の非定常簡易予測手法，日本建築学会技術報告集，(掲載決定)

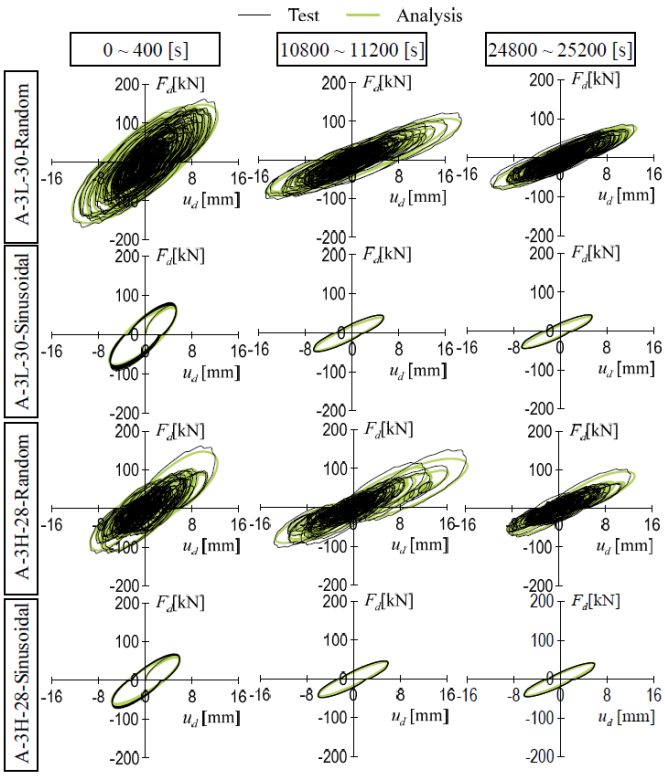
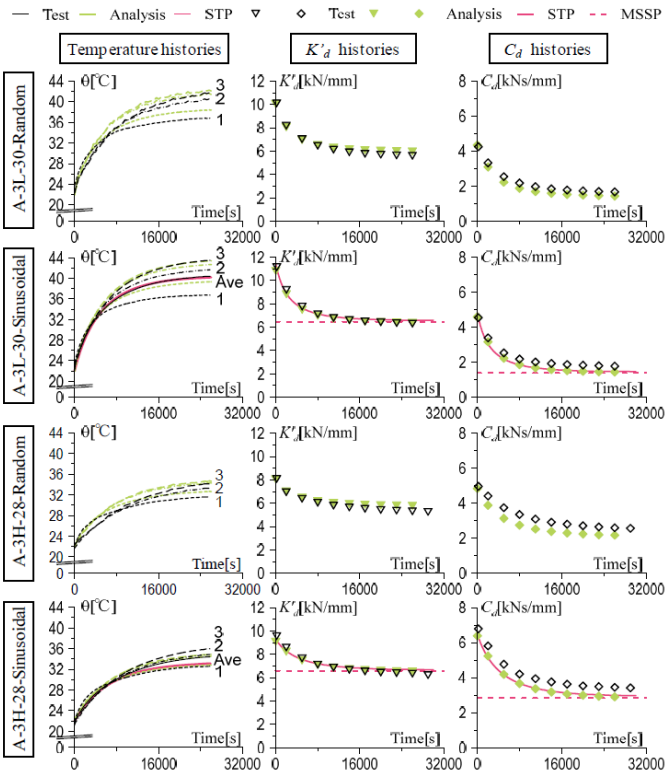


図 5　F_d, u_d の履歴



(a) 温度　(b) 貯蔵剛性　(c) 粘性係数

図 6 温度・貯蔵剛性・粘性係数の時間変化

*1 元東京工業大学大学院生　修士（工学）
*2 東京工業大学　未来産業技術研究所　准教授・博士（工学）
*3 東京工業大学

*1 Former Graduate Student, Tokyo Institute of Technology
*2 Assoc. Prof., FIRST, , Tokyo Institute of Technology
*3 Tokyo Institute of Technology