

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動的特性変化の簡易予測
Title(English)	Simplified Prediction of changes in dynamic characteristics of Full-scale multi-layer viscoelastic damper under long-duration oscillation
著者(和文)	奥田翔平, 佐藤大樹, Osabel Dave
Authors(English)	Shohei Okuda, Daiki Sato, Osabel Dave
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , pp. 701-702
Citation(English)	, , , pp. 701-702
発行日 / Pub. date	2021, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

長時間加振時における実大複層粘弾性ダンパーの動的特性変化の簡易予測

正会員 ○奥田翔平*1 同 佐藤大樹*1

同 Osabel Dave*1

制振構造 粘弾性ダンパー
熱伝達 定常状態
簡易手法 温度・振動数依存

1. はじめに

粘弾性ダンパーは、粘弾性体の温度依存性により熱伝導・伝達の影響を大きく受け、振動時に剛性や粘性などの動的特性が変化することが特徴として挙げられる¹⁾。そのため、粘弾性ダンパーを有する建物では、熱伝導・伝達の影響による動的特性変化を考慮して設計する必要がある、考慮するための評価手法に関する研究が進められている^{2)~4)}。しかし、それらは、2層せん断型粘弾性ダンパーを対象としており、複層せん断型粘弾性ダンパー（以後、複層ダンパー）への評価手法の適応方法について明らかではない。そこで本論では、3次元FEM解析手法²⁾による検討を手掛かりに既往の動的特性変化の簡易予測手法⁴⁾を拡張させた手法を提案し、実験値⁵⁾との比較によりその精度を確認する。

2. 実験概要

文献5)の複層ダンパーの長時間正弦波加振実験の概説を行う。詳細は文献5)を参照されたい。Fig.1に、長時間加振実験で使用した複層ダンパーの詳細図および温度計測点を示す。また、Table 1に実験の入力正弦波の諸元、実験時の周辺温度、複層ダンパーの諸元をまとめたものを示す。ただし表中にて、 t_a : 加振時間, A_r : 振幅, f_r : 振動数, l : ダンパー長さ, A_s : せん断面積, d_v : 粘弾性体厚, n : 層数, V : 粘弾性体体積を表す。実験では、Table 1で示した正弦波でFig.1の複層ダンパーを26000秒間加振し、各時間における反力およびFig.1に示す4箇所の計測点での温度を計測した。

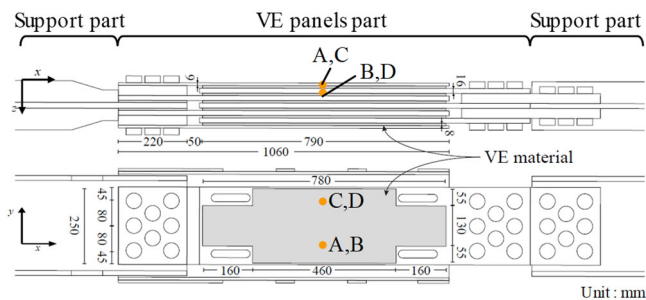


Fig. 1 Full-scale viscoelastic damper specimen with the temperature measurement locations

3. 3次元FEM解析(定常時応答解析)による検討

定常応答解析²⁾による複層ダンパーの検討を行う。定常応答解析とは、3次元FEMプログラムによる静的弾性解析と定常熱伝導解析を繰り返し行い、定常状態における正弦波変形を受けるダンパーの温度分布、各要素の歪、ダンパー全体の貯蔵・損失剛性を求める解析手法である。なお定常状態とは、粘弾性ダンパーの長時間振動時に、エネルギー吸収による発熱量と放熱量が釣り合い、温度および動的特性値が一定になる状態のことを指す。解析手法の詳細は文献2)を参照されたい。Fig.2に本解析で使用した解析モデルを示す。本モデルは、Fig.1のダンパーを基にABAQUS ver. 2017⁶⁾上で作成した。ただし、実際の解析では、XY平面およびXZ平面においてモデルが対称であることを注目し、計算時間の短縮を図るため実大のモデル(Whole)の1/4のモデル(Quarter)を使用している。本解析では、実験⁵⁾に倣い、支持部(Support part)にX方向強制変位 $u_d, max = 5.66$ mmを一定の振動数 $f_r = 0.277$ Hzで与え、その反力を F_d とした。また、鋼板の接着面、および対称面以外に熱伝達を設定し、周辺温度は実験に従い設定した。Table 2に本解析で使用した材料パラメータをまとめて示す。ただし、 κ : 熱伝導率[N/s/°C], s : 比熱[Ncm/kg/°C], ρ : 密度[kg/cm³], α_c : 熱伝達係数[N/s/cm/°C]であり、添え字は粘弾性体(VE)、鉄(steel)に対応する。Fig.2に定常状態における温度状態図を示す。Fig.2より、粘弾性体において、厚み方向(z軸)における温度変化は大きいものの、それに直交する方向(x, y軸)では温度が一定であることが確認できる。

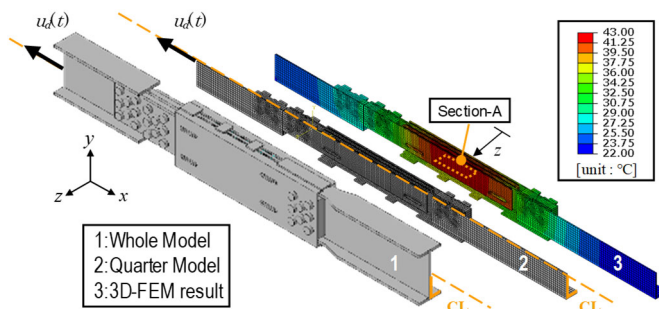


Fig. 2 3D-FEM model of the VE damper and temperature distribution

Table 1 Test information

Input wave				Ambient temperature [°C]		
Case	t_a [s]	A_r [mm]	f_r [Hz]	Support part	VE panels part	
A-3L	26000	5.66	0.277	22	30	
VE damper test specimen						
Specimen	l [mm]	A_s [mm ²]	d_v [mm]	n [層]	A_s/n [mm ²]	V [mm ³]
D2-3F	4024.5	9.12×10^5	8	6	1.52×10^5	7.29×10^6

Table 2 Analysis information

Heat transfer analysis parameter							
κ_{VE}	κ_{steel}	s_{VE}	s_{steel}	ρ_{VE}	ρ_{steel}	α_c	
0.188	43.128	18.70×10^4	46.63×10^3	1.0×10^{-3}	7.8×10^{-3}	$0.026^{7)}$	
Viscoelastic material parameter (type : ISD-111)							
α	G [N/mm ²]	a_{ref}	b_{ref}	p_1	p_2	θ_{ref} [°C]	v_{VE}
0.588	0.0392	5.6×10^{-3}	2.10	14.06	97.32	20	0.47

Fig.3(a)に、Fig.2で示した Section-A における z 軸方向の温度状態図を示す。ただし、Section-A は Fig.1 で示した計測点を通るような断面である。Fig.3(a)より、粘弾性ダンパーの中心側 (Center Line: CL) に向かうにつれ、温度が上昇する傾向があることがわかる。Fig.3(b)に、Fig.3(a)の z 軸における内部温度分布図と文献 5)の実験値を合わせて示す。ただし、示す実験値は、文献 5)における加振時間 $t_d=26000$ s のときの各点それぞれの計測値である。Fig.3(b)より、粘弾性体のみでの内部温度分布に注目すると、VE-3にてピークを持つ2次関数的な温度分布であることが確認できる。熱は温度が高い所から低い所へ流れていくことを考えると、VE-3を中心に内側と外側に熱が流れていると考えられる。Fig.3(c)に各粘弾性体における内部発熱量 \dot{Q} および各鋼板 (PI) からの熱伝達による放熱量 Q を合わせて示す。ただし、各鋼板の放熱量 Q は、Fig.3(b)中に示す範囲における側面からの放熱量の合計である。Fig.3(c)より、内部発熱量 \dot{Q} は、粘弾性体に依らず、おおむね一定であることが確認できる。また、Fig.3(c)より、各鋼板の放熱量 Q は、PI-1からの放熱量が支配的であることがわかる。

4. 複層ダンパーの動的特性簡易予測法

文献 4)にて、2層せん断型粘弾性ダンパーを粘弾性体の一次元体と捉えることで、粘弾性ダンパーの動的特性を簡易的に予測できる手法—SPDC手法—が示された。本章では、複層ダンパーの一次元体化の手法を示し、文献 4)の簡易予測法を適応することで、複層ダンパーの動的特性を簡易的に予測する。ただし、SPDC手法の詳細は文献 4)を参照されたい。Fig. 4に、複層ダンパーの一次元体へのモデル化の概要を示す。

鉄板は熱伝導率が粘弾性体に比べ極めて大きく (約 230 倍)、定常状態において温度が一定であるとし、熱がダンパーの中心側と外側 2 方向に流れるとする。また、 x 、 y 軸方向では温

度分布が一定であり、各粘弾性体の発熱量もおよそ一定あることから、粘弾性体のみを厚み方向に合成した一次元体を考え、その両端から熱が放熱され、定常状態になるとする。ただし、 θ_1 、 θ_2 はそれぞれ定常状態時の粘弾性体の最も外側、最も内側の温度である。また一次元体化時の熱伝達係数 α_{c1} 、 α_{c2} は、3D-FEM における PI-1~PI-3の放熱量の合計および PI-4~PI-6の放熱量の合計がそれぞれ両端からの放熱量と等しくなるような値として、 $\alpha_{c1} = 0.023$ N/s/cm²/°C、 $\alpha_{c2} = 0.007$ N/s/cm²/°Cとした。以上より、SPDCにより予測値を算出し実験値と比較する。ただし、予測値の算出において使用した各パラメータは、Table 2で示した値と同じである。収束回数 N は収束するのに十分な回数として $N = 30$ とした。Fig. 3(b)に定常状態における SPDC による内部温度分布の予測値と実験値および解析値を合わせて示す。両端で誤差が確認されるものの、その他の部分では精度よく温度分布が予測できていることがわかる。Fig. 5に、B点における温度時刻歴の実験結果と解析結果、および SPDC の予測値を、Fig.6に貯蔵剛性 K'_d 、粘性係数 C_d の時間変化の実験結果と解析結果、および SPDC による予測値を重ねて示す。SPDCによって精度よく、複層ダンパーの温度と動的特性値が予測できていることがわかる。

5. まとめ

本論では、3次元 FEM 解析結果をもとに、複層ダンパーの一次元体化の手法を検討し、複層ダンパーの動的特性の簡易予測手法を提案し、その有用性を確認した。

【参考文献】

- 1) 日本建築構造協会：パッシブ制振構造 設計・施工マニュアル 第3版、2013.1
- 2) 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399号、pp.61-69、2006.1
- 3) 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工学論文集、第80巻、第710号、p571-581、2015年4月
- 4) 奥田翔平ら：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、日本建築学会構造工学論文集、第80巻、第710号、p571-581、2021年4月
- 5) 杉山暢方：長時間の風外力と長周期地震動における実大粘弾性ダンパーの特性評価実験及び解析手法の提案、東工大卒業論文、2015年
- 6) ABAQUS Manual, Hibbit, Karlsson and Sorensen, Inc,1997.
- 7) Osabel Dave : Study of Full-Scale Multi-Layered Viscoelastic Dampers under Long Duration Harmonic Loading (Part 2: Analytical Investigation using Three-Dimensional Finite Element Model) 日本建築学会関東支部、2018.3

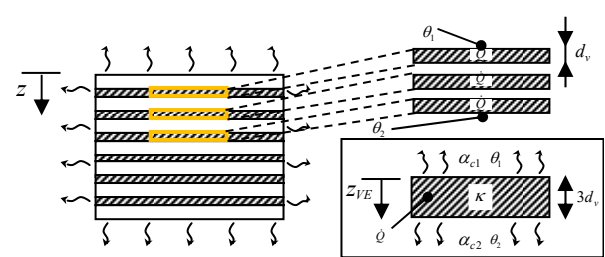
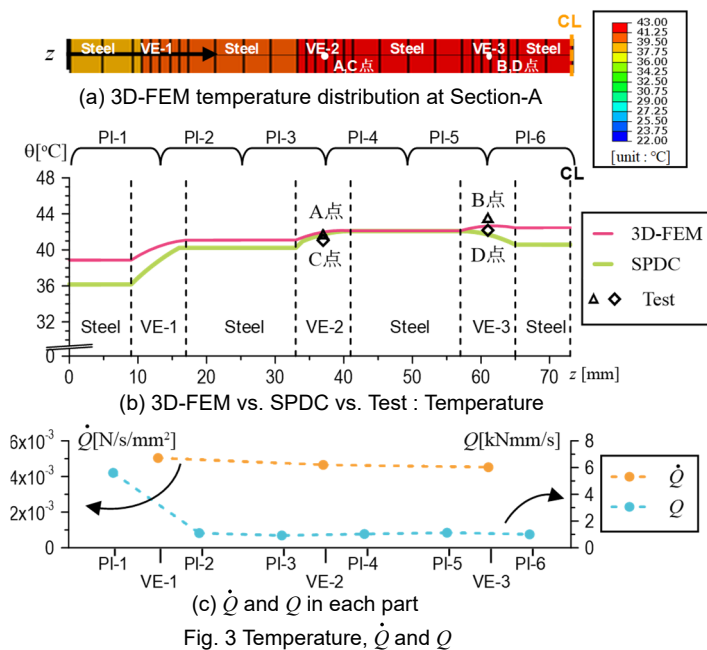


Fig. 4 1D model of VE damper

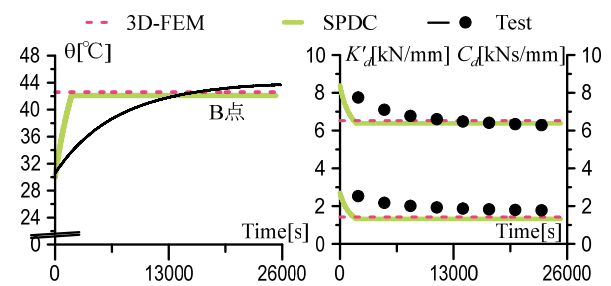


Fig. 5 3D-FEM vs. SPDC vs. Tests : Temperature

Fig. 6 3D-FEM vs. SPDC vs. Tests: K'_d & C_d

*1 東京工業大学

*1 Tokyo Institute of Technology