

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	分数微分構成則を用いた粘弾性ダンパーの3次元有限要素解析
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, , pp. 913-914
Citation(English)	, Vol. B-2, , pp. 913-914
発行日 / Pub. date	2005, 9
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: http://ci.nii.ac.jp/naid/110007065150

分数微分構成則を用いた粘弾性ダンパーの3次元有限要素解析

粘弾性ダンパー 分数微分構成則 継続時間
熱伝導 熱伝達 3次元有限要素解析

正会員○佐藤 大樹* 同 笠井 和彦**
同 田村 哲郎***

1. はじめに

粘弾性ダンパーは風応答のような微小な振動に対しても有効な制振装置である。粘弾性体は仕事を熱エネルギーへと変換するが、粘弾性体内部の温度が上昇にともない、剛性およびエネルギー吸収能力は低下する。粘弾性ダンパーのモデル化する場合、内部温度の上昇を精度良く再現する必要がある。

風外乱のように継続時間が長い場合、熱伝導および熱伝達の効果により中心部の温度は高く、逆に鋼板近くや表面の温度は低くなる。粘弾性内部が温度分布をもつことに伴い、歪分布も一様でなくなる。一方、地震のように継続時間が短い場合、熱伝導や熱伝達の影響を無視できるほど小さいことから、粘弾性体内部の温度および歪を一様と考えてきた。これは、継続時間が短い場合は、十分に妥当な仮定¹⁾である。

継続時間が長い場合の粘弾性ダンパー内部の温度分布を精度良く再現できる分数微分構成則が、Kasaiらにより提案されている²⁾。そこでは、熱伝導係数の大きい鋼板に粘弾性体が挟まれていることから、熱の移動は粘弾性体の厚さ方向の1次的に表現できると仮定している。

本報では、分数微分構成則^{1,2)}を用いた3次元有限要素解析手法を提案し、振動時における粘弾性体ダンパーの内部温度の把握、および文献2で仮定した、内部温度の1次元性の妥当性を確認することを目的とする。

2. 実験概要

ダンパーは、2層の粘弾性体(3M, ISD111)を鋼板に挟んだ両面せん断型の形状となっている。試験は、振動数 0.33Hz, 歪 50%の正弦波加振を3000秒間(1000cycle)行う。その後2000秒間は加振を止め、温度低下を計測する。温度は4箇所(図1)で熱電対により計測する(図1)。ダンパー周辺温度は常に24°Cである。詳細は文献2を参照されたい。

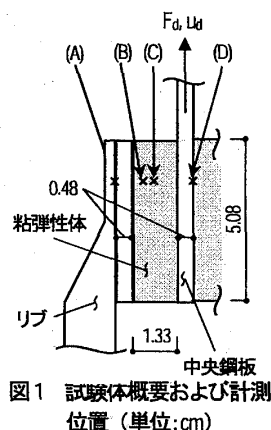


図1 試験体概要および計測位置(単位:cm)

3. 有限要素モデル

図2に3次元有限要素解析モデルを示す。解析にはABAQUSの変形-温度連成8節点立体アイソパラメトリック要素を用いた。粘弾性部分の分割数はそれぞれ、 $B_d=18$, $D_d=20$, $H_d=12$ であり、この分割数で解が十分に収斂していることを確認している。また、幾何学非線形性が解に与える影響は小さかったことから、本解析では考慮していない。解析パラメータを表1に示す。振動数が0.33Hzと低いことから、振動していることによる

熱伝達の促進は小さいと考えられ、ダンパーの空気に触れている全ての面の熱伝達係数を等しくし、試行錯誤的に $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{°C}$ と決定した。粘弾性体のポアソン比は、ロッキングを発生せず、かつ非圧縮性に近い $\nu=0.47$ とした。

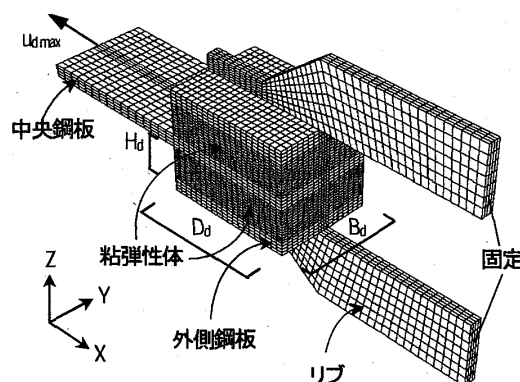


図2 3次元有限要素モデル

表1 3次元有限要素解析用パラメータ

粘弾性体		鋼板	
$s \rho \text{ (N/m}^2\text{°C)}$	193.97×10^4	$s \rho \text{ (N/m}^2\text{°C)}$	363.79×10^4
$\kappa \text{ (W/m}^2\text{°C)}$	0.188	$\kappa \text{ (W/m}^2\text{°C)}$	43.128
ν	0.47	ν	0.3
$\alpha_c \text{ (W/m}^2\text{°C)}$	25	$E \text{ (N/m}^2)$	2.05×10^{11}
		$\alpha_c \text{ (W/m}^2\text{°C)}$	25

分数微分パラメータ						
$G \text{ (N/m}^2)$	α	a_{ref}	b_{ref}	$\theta_{ref} \text{ (°C)}$	p_1	p_2
6.52×10^4	0.609	0.0115	21.157	0.2	19.5	80.2

4. 有限要素解析手法

はじめに、ダンパー全体の初期温度を実験時のダンパー周辺温度(24°C)とし、粘弾性体の要素 j でのヤング係数 E'_j を次式より算出する。

$$E'_j = 2G'_j(1 + \nu) \quad (1)$$

G'_j は分数微分構成則における、円振動数 ω での定常状態の式³⁾に要素位置を考慮した式(2)より得られる。

$$G'_j = G \frac{1 + a_j b_j \omega^{2\alpha} + (a_j + b_j) \omega^\alpha \cos(\alpha\pi/2)}{1 + a_j^2 \omega^{2\alpha} + 2a_j \omega^\alpha \cos(\alpha\pi/2)} \quad (2)$$

ここで、 a_j, b_j は要素中心の温度を用いてシフトファクター³⁾より求める。

次に、内側鋼板に実験時のダンパー最大変位 u_{dmax} だけ強制変

位を与え静的解析を行い、各要素での歪エネルギー W_{sj} を式(3)より得る。

$$W_{sj} = \frac{1}{2} \left\{ \sum_{k=1}^3 E' \varepsilon_{sk}^2 + G' (\gamma_{12}^2 + \gamma_{13}^2 + \gamma_{23}^2) \right\} \cdot V_j \quad (3)$$

ここで、 V_j は要素 j の体積であり、歪 ε, γ は要素中心位置での値である。

一方、定常振動している際の、要素 j が1サイクルに成す仕事 W_{dj} は次式より求められる。

$$W_{dj} = 2\pi\eta_j W_{sj} \quad (4)$$

ここで、式(4)中の η_j は要素 j での損失係数¹⁾であり、要素中心での温度を用いて式(5)より得られる。

$$\eta_j = \frac{(-a_j + b_j)\omega^\alpha \sin(\alpha\pi/2)}{1 + a_j b_j \omega^{2\alpha} + (a_j + b_j)\omega^\alpha \cos(\alpha\pi/2)} \quad (5)$$

要素 j での単位体積および単位時間当たりの発熱量 $\dot{Q}_j$ は、 T を加振試験での周期とすると式(6)より得られる。

$$\dot{Q}_j = W_{dj} / (T \cdot V_j) \quad (6)$$

式(6)の発熱量を用いて3次元非定常熱伝導解析を T 秒間行い、得られた粘弾性体部分の各要素での温度より、式(1), (2)を用いて粘弾性部分のヤング係数 E_j を変更する。再度 u_{dmax} の強制変形を内側鋼板に与え静的解析を行う。

以上を繰り返すことで、正弦波加振試験時の粘弾性ダンパーの内部温度および剛性の変化をシミュレートする。

また、より簡便な方法として、式(6)の発熱量を用いて3次元定常熱伝導解析を行い、得られた温度より E_j を変更し、静的解析を再度行う。この作業を収斂するまで数回繰り返すことで、定常時の温度分布が得られる。定常解析による方法は、上述した非定常解析での方法に比べ演算時間を大幅に短縮できる利点がある。

5. 有限要素解析結果

実験および非定常解析から得られた温度時刻歴を図3に、ダンパーの貯蔵剛性 K_d ¹⁾を図4に示す。加振直後は、粘弾性体の発熱によって温度は急激に上昇し、貯蔵剛性も低下するが、1000秒以降は熱伝導および熱伝達の効果により、温度上昇が鈍り温度が定常となるため貯蔵剛性の低下もなくなることが分かる。解析結果は温度、剛性ともに精度良く再現できている。

また、図3, 4には定常解析より得られた結果も併記しているが、2回目の定常解析で収斂しており、かつ非定常解析と良く一致していることが確認できる。

以上より、温度および K_d ともに、解析結果は実験結果と良く一致しており、提案した2手法が精度良く実験をシミュレートできることが確認できた。

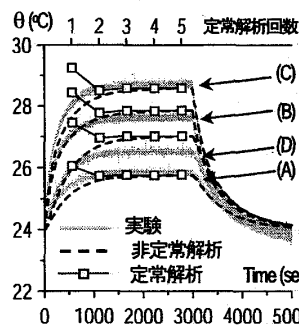


図3 温度時刻歴の比較

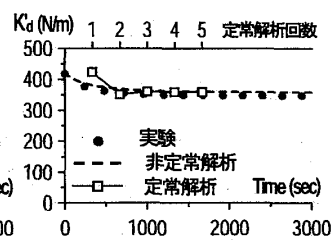


図4 貯蔵剛性の比較

図5(a)-(c)に非定常解析より得られた3000秒での温度分布を示す。図5(b)より、Z方向の温度は位置によって異なり、分布を持つことが確認できる。一方、XおよびY方向の温度は、空気に接している粘弾性体の表面を除いてほぼ一様であることが図5(c)より確認できる。定常解析による結果も、図5と同じ温度分布が得られた。

以上より、文献2で仮定した、温度分布が粘弾性体の厚さ方向の1次元性で表されることの妥当性が示された。

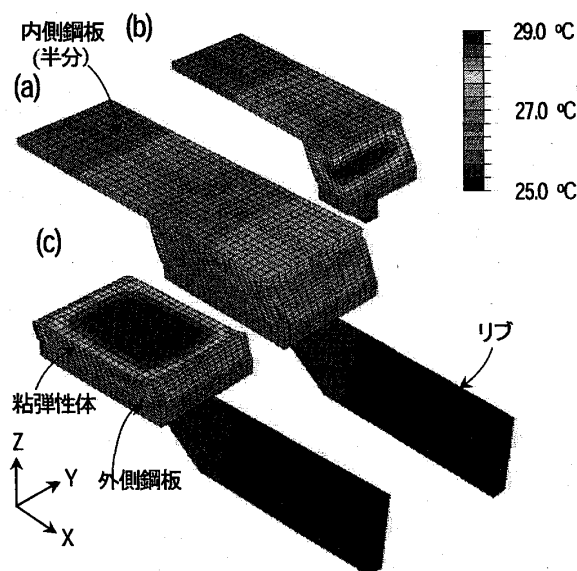


図5 3次元有限要素解析より得られた3000秒での温度分布

5. まとめ

分数微分構成則を用いた粘弾性ダンパーの3次元有限要素解析手法を提案した。非定常、定常解析ともに実験結果と精度良く一致していることが確認できた。また、温度分布は厚さ方向に1次元的となることが分かった。

参考文献

- 笠井ほか: 粘弾性体の温度・振動数・振幅依存を考慮した構成則, 日本建築学会構造系論文報告集, 第561号, pp.55-63, 2002.11
- Kasai, K. et al: Hysteretic Model of Visco-Elastic Damper for Long Duration, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.929-830, 1997.9

* 東京工業大学 大学院生

** 東京工業大学建築物理研究センター 教授・Ph.D. Prof., Struct'l Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Ph.D.

***東京工業大学環境理工学創造専攻 教授・工博 Prof., Dept. of Env. Science and Technology, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Graduate Student, Tokyo Institute of Technology