

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	長周期地震動を想定した実大粘弾性ダンパー実験と動的特性の変化を再現した解析- その2 (E-ディフェンス鋼構造建物実験研究 その 105)
Title	
著者(和文)	境原直紀, 佐藤大樹, 笠井和彦
Authors	Naoki Sakaibara, Daiki Sato
出典 / Citation	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 1013-1014
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 1013-1014
発行日 / Pub. date	2014, 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/110009852122

長周期地震動を想定した実大粘弾性ダンパー実験と動的特性の変化を再現した解析- その2
(E-ディフェンス鋼構造建物実験研究) その105正会員 ○境原直紀*1
同 笠井和彦*2
同 佐藤大樹*3実大粘弾性ダンパー 長周期地震動 解析モデル
温度分布 熱の伝導・伝達 動的特性の変化

1. はじめに

その1では、長周期地震動を想定した超継続荷実験の概要と結果を示した。その結果から、長い時間の大きな揺れに対して、粘弾性体の繰り返し荷による軟化現象と熱の伝導・伝達による粘弾性体の温度低下を再現する必要性を示した。その2では、それらの現象を再現する解析モデルの拡張を提案し、実験結果と文献2)で提案されている解析モデル(既往モデル)との比較からその妥当性を示すことを目的とする。

なお、本研究による長周期地震動を想定した長継続時間荷パラメーターから、本研究で提案する解析モデルの適用範囲は最大せん断歪300%、累積歪60000%(4.8m)までとする。既往モデルも適用範囲300%までで、大歪での非線形特性を再現出来ており、熱の伝導・伝達の影響の小さい正弦波10サイクルまでは、実験による解析モデルの妥当性が示されており、²⁾この既往モデルを拡張することで本実験の再現を行う。

2. 繰り返し荷による軟化現象の再現

本解析モデルに用いる分数微分構成則により、貯蔵剛性 G' 、損失係数 η は式(1,2)の様に表される。係数 b を大きくすると G', η が大きくなる。また、係数 G は G' を比例的に増減させる。また、係数 a, b, G は、式(3)~(5)より算出するものとする。

$$G'(\omega) = G \frac{1 + ab\omega^{2\alpha} + (a+b)\omega^\alpha \cos(\alpha\pi/2)}{1 + a2\omega^{2\alpha} + 2a\omega^\alpha \cos(\alpha\pi/2)} \quad (1)$$

$$\eta(\omega) = \frac{(-a+b)\omega^\alpha \sin(\alpha\pi/2)}{1 + ab\omega^{2\alpha} + (a+b)\omega^\alpha \cos(\alpha\pi/2)} \quad (2)$$

$$a = a_{ref} \lambda^\alpha, \quad b = b_{ref} \lambda^\alpha \lambda_3, \quad G = G_{ref} \lambda_2 \lambda_4 \quad (3,4,5)$$

λ_3, λ_4 が本研究で提案する変数であり、式(6)、(7)に示す。その1で示した繰り返し荷による軟化現象の傾向から経験した最大歪 γ_{max} と吸収エネルギー密度 E_d に依存した λ_3, λ_4 を係数 b, G に乗じることで繰り返し荷による軟化現象の再現を提案する。

$$\lambda_3 = 1 + c_5 \times \ln(E_d) \quad (\lambda_3 \leq 1) \quad (6)$$

$$\lambda_4 = 1 + c_6 \times \ln(E_d) \quad (\lambda_{4,limit} \leq \lambda_4 \leq 1) \quad (7)$$

式(6),(7)の変数 c_5, c_6 は、実験と既往モデル²⁾の誤差の大きさを表現している。 $\lambda_{4,limit}$ は、 G' の誤差が一定となる $E_d = 20 \text{ N/mm}^2$ の時点の値とした。これらの係数を荷毎に実験と解析が一致する様に式を決定した。ここで、計測した粘弾性体温度平均値を解析モデルの粘弾性体温度として各ステップで読み込み、解析を行った。そして、 $E_d = 20 \text{ N/mm}^2$ 時点での経験した最大歪 γ_{max} の関係(図1)から算出式(8)~(10)を決定した。ただし、式(10)によって算出される $\lambda_{4,limit}$ は $E_d > 20 \text{ N/mm}^2$ では $E_d = 20 \text{ N/mm}^2$ の時の値とする。

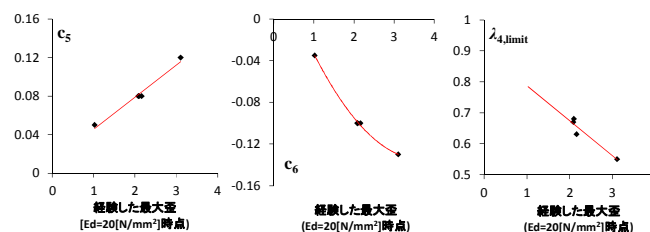


図1 実験値と式(8~10)との比較

$$c_5 = 0.033 \times \gamma_{max} + 0.012 \quad (8)$$

$$c_6 = 0.014 \times \gamma_{max}^2 - 0.104 \times \gamma_{max} + 0.057 \quad (9)$$

$$\lambda_{4,limit} = -0.11 \times \gamma_{max} + 0.90 \quad (10)$$

3. 熱の伝導・伝達の再現

風揺れを対象とした解析モデル³⁾は、熱の伝導・伝達を精度よく再現出来ているが、粘弾性ダンパーを要素に分割し、熱伝導解析を行う必要があった。その1で示した様に本ダンパーでは内部温度分布が小さいため、熱伝導解析は必要ないと判断し、より簡易的な解析を目指した。

j ステップ時の粘弾性体の温度は、吸収エネルギー密度に比例した温度上昇量と熱の伝導・伝達による温度の低下量 T_c の関係から式(11)の様に算出される。ここで、 T_{VEM} は粘弾性体温度、 dE_d は単位ステップ当りの吸収エネルギー密度、 sp は比熱と密度の積である。本研究では、 T_c を式(12)の様に表すこととする。ここで、 $\alpha_{h,eq}$ は熱の伝導・伝達をまとめて簡易的に熱伝達のみ置き換えて評価するための無次元の係数、 $T_{ambient}$ は周辺温度であり、本実験では室温を用いる。単位ステップあたりに流れる熱流量は周辺との温度差に比例することから伝熱工学的にも妥当な評価式であると言える。なお、 $\alpha_{h,eq}$ を定数とすると、温度低下量を上手く再現できなかったため、 $\alpha_{h,eq}$ の値を変数にする必要がある。そこで、簡易的に熱の伝導・

伝達を再現するために、長継続時間正弦波载荷に対して、前節で示した繰り返し载荷による軟化現象の再現を組み込んだ解析モデルを用いて、試行錯誤から式(13)~(14)の様に E_d に比例する $\alpha_{h,eq}$ の算出式を決定した。ここで、 $\alpha_{h,eq0}$ はダンパー形状に対する依存性を表す係数であり、 A_s は総せん断面積[mm²]、 n は粘弾性体の層数である(式15)。各ステップで、過去 7 秒間での吸収エネルギー密度が 0.4 N/mm² 以上の場合は式(13)を、それ以下の場合は式(14)を用いて係数 $\alpha_{h,eq}$ を評価する。

$$T_{VEM}^{(j+1)} = T_{VEM}^{(j)} + dE_d^{(j)} / s\rho - T_c^{(j)} \quad (11)$$

$$T_c^{(j)} = \alpha_{h,eq}^{(j)} \times (T_{VEM}^{(j)} - T_{ambient}^{(j)}) \quad (12)$$

$$\alpha_{h,eq}^{(j)} = \frac{\alpha_{h,eq0} + 0.56 \times dE_d^{(j)}}{T_{VEM}^{(j)}} \quad (13)$$

$$\alpha_{h,eq}^{(j)} = \frac{\alpha_{h,eq0} / 15 + 0.56 \times dE_d^{(j)}}{T_{VEM}^{(j)}} \quad (14)$$

$$\alpha_{h,eq0} = 0.0003 + A_s / n \times 10^{-9} \quad (15)$$

4. 拡張モデルの精度検証

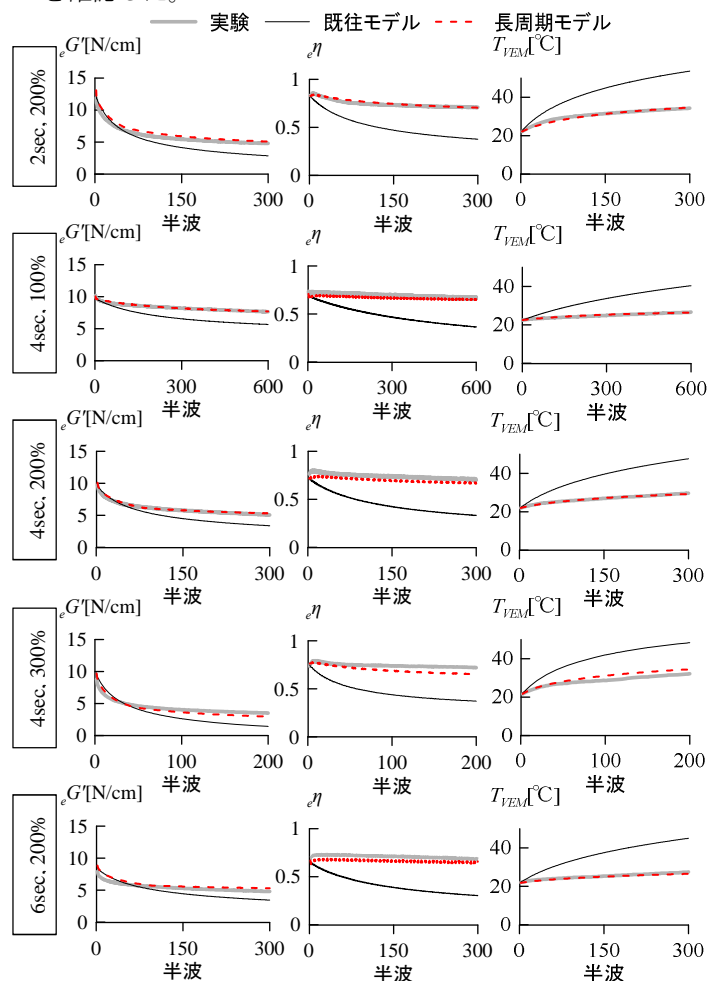
最後に、本研究で拡張した解析モデル(以下、長周期モデル)の精度検証を行う。図 2(a)~(c)に D1,2-2F ダンパーの正弦波载荷の半波毎の材料値と粘弾性体温度の比較を示す。正弦波载荷において、既往モデルは熱の伝導・伝達と繰り返しによる軟化現象を再現していないことで、最大で粘弾性体の温度上昇量は 350%、材料値は 50%程度と誤差が大きくなっていることが分かる。長周期モデルの粘弾性体温度の最大誤差は 2℃程度であり、最大荷重の最大誤差は 10%程度であり、正弦波载荷の熱の伝導・伝達を精度よく再現できている。

図 3(a)~(c)にランダム波载荷の履歴と吸収エネルギー密度および粘弾性体温度の時刻歴で比較を示している。最大せん断歪 200%のランダム波载荷では、実験に対して既往モデルの最大荷重の誤差は 5%程度で、粘弾性体温度の変化量の誤差は最大で 2℃程度となり、正弦波载荷に比べ誤差が小さかった。しかし、既往モデルの E_d は実験に対して 20%低くなり、誤差は大きい。それに対して、長周期モデルの最大荷重・吸収エネルギー密度の誤差は 8%以内となり、粘弾性体温度の変化量の最大誤差 1℃未満であった。また、D3-3F ダンパーにおいても同精度の結果を得られたことから、長周期地震動でも良好な精度で粘弾性体の挙動を再現できることを示した。

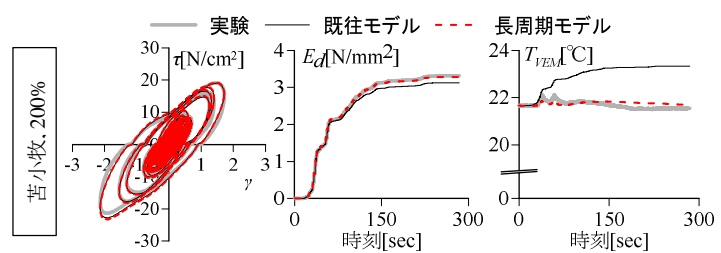
5. まとめ

その 1 で示した長継続時間・長周期载荷実験から、実験を再現する解析モデルを構築した。本ダンパーでは粘弾性体温度が概ね一様と見なせることから、粘弾性ダンパ

一の熱の伝導・伝達を簡易的に予測する手法を示した。さらに、繰り返し载荷による軟化現象を再現する式を提案し、長周期地震動を対象に拡張した本解析モデルの精度を確認した。



(a) G' の比較 (b) η の比較 (c) T_{VEM} の比較
図 2 実験・既往モデル・長周期モデルの比較(正弦波)



(a) 履歴の比較 (b) E_d の比較 (c) T_{VEM} の比較
図 3 実験・既往モデル・長周期モデルの比較(ランダム波)

【参考文献】

- 笠井和彦, 寺本道彦, 大熊潔, 所健: 粘弾性体の温度・振動数・振幅依存を考慮した構成則(その 1: 線形領域における温度・振動数依存のモデル化), 日本建築学会構造系論文集, 第 543 号, pp.77-86, 2001.5
- 笠井和彦, 所健: 粘弾性体の温度・振動数・振幅依存を考慮した構成則 (その 2 温度上昇および歪・歪速度がもたらす非線形性のモデル化), 日本建築学会構造系論文集, 第 561 号, pp55-63, 2002.11
- 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集, 第 599 号, pp61-69, 2006

*1 (株)織本構造設計(元東京工業大学大学院生)

*1 ORIMOTO Str. Eng. (Enviroment,Tokyo Institute of Technology)

*2 東京工業大学 建築物理研究センター 教授・Ph.D.

*2 Professor,Str. Eng.Research Center,Tokyo of Technology,Ph.D.

*3 東京工業大学 建築物理研究センター 准教授 博士(工学)

*3 Ascc. Professr, Str. Eng.Research Center,Tokyo Instituteof Technology, Dr. Eng.