

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	長時間の風外力における実大粘弾性ダンパーの解析手法の提案，その2 E-ディフェンス鋼構造建物実験研究 その116
Title	
著者(和文)	杉山暢方, 笠井和彦, 佐藤大樹, 松田和浩
Authors	Nobumasa Sugiyama, KAZUHIKO KASAI, Daiki Sato, Kazuhiro Matsuda
出典 / Citation	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 797-798
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 797-798
発行日 / Pub. date	2015, 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/110010005247

長時間の風外力における実大粘弾性ダンパーの解析手法の提案- その 2
(E-ディフェンス鋼構造物実験研究 その 116)

実大粘弾性ダンパー 風外力 長時間繰り返し载荷
解析モデル 熱の伝導・伝達 動的特性の変化

正会員 ○杉山暢方*1 同 笠井和彦*2
同 佐藤大樹*3 同 松田和浩*4

1. はじめに

その 1 では、長時間の繰り返し载荷による損失係数の変化をモデル化した。その 2 では、熱の伝導・伝達による放熱をモデル化する。さらに、上記のモデルを追加して、解析モデルと実験結果の比較から、提案する解析モデルの精度を検証する。

2. 熱の伝導・伝達の再現

$n+1$ ステップ時の粘弾性体の温度 $\theta_d^{(n+1)}$ は、 n ステップ時の発熱量 $\theta_E^{(n)}$ と熱の伝導・伝達による放熱量 $\theta_V^{(n)}$ の関係から式(1)の様に出される。

$$\theta_d^{(n+1)} = \theta_d^{(n)} + \theta_E^{(n)} - \theta_V^{(n)} \quad (1)$$

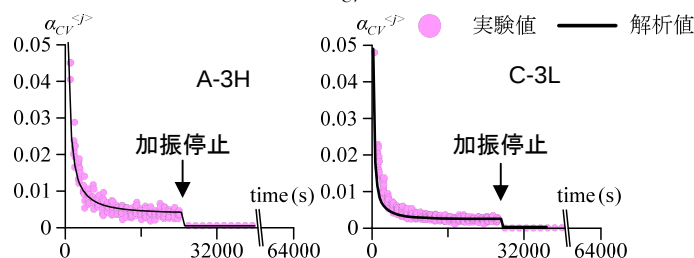
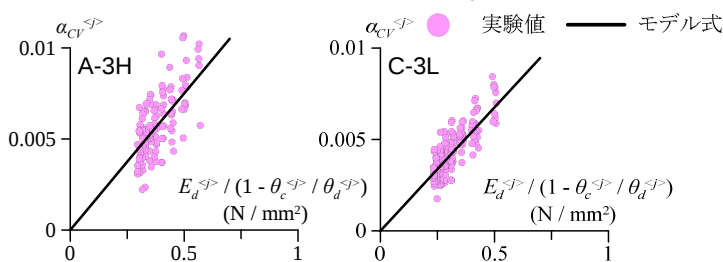
ここで、 $\theta_E^{(n)}$ は吸収エネルギー密度 $E_d^{(n)}$ に比例した温度上昇量で表され、式(2)で算出される。また、 $\theta_V^{(n)}$ は、粘弾性体温度 $\theta_d^{(n)}$ と周辺温度 $\theta_c^{(n)}$ の温度差に比例するものと仮定する (式(3))。その比例係数を α_{CV} とし、本報では放熱係数と呼ぶことにする。

$$\theta_E^{(n)} = E_d^{(n)} / sp, \quad \theta_V^{(n)} = \alpha_{CV}^{(n)} (\theta_d^{(n)} - \theta_c^{(n)}) \quad (2), (3)$$

ここで、 sp は比熱と密度の積である。図 1 に A-3H, C-3L の置換正弦波実験より、式(1)を用いて 1 サイクル毎に算出した $\alpha_{CV}^{<j>}$ の時刻歴を示す。

ここで、 j はサイクル数を表し、 $\alpha_{CV}^{<j>}$ の実験値は式(1)より 1 サイクル毎に算出した。図 1 より、 $\alpha_{CV}^{<j>}$ は時間の経過とともに小さくなり、载荷停止後はほぼ一定の値となることが分かる。図 2 に $\alpha_{CV}^{<j>}$ の実験値とモデル式の比較を示す。

図 2 のように横軸で $\alpha_{CV}^{<j>}$ を整理すると、両実験ともにある一定の傾きに沿って $\alpha_{CV}^{<j>}$ は分布していることが

図 1 置換正弦波载荷における α_{CV} の時刻歴図 2 置換正弦波载荷における α_{CV} の設定

確認できる。この傾向を考慮し、図 2 より設定した傾きから n ステップにおける $\alpha_{CV}^{(n)}$ を式(4)のように設定した。

$$\alpha_{CV}^{(n)} = C_7^{(n)} E_d^{(n)} / (1 - \theta_c^{(n)} / \theta_d^{(n)}) \quad (4)$$

ここで、 C_7 は放熱量を決める係数であり、 C_7 の値は置換振動数 $f_r^{(n)}$ と周辺温度 $\theta_c^{(n)}$ が高いほど小さくなる傾向があることから、 C_7 を式(5)で表すこととする。

$$C_7^{(n)} = C_{71} (f_r^{(n)} (\theta_c^{(n)})^2)^{C_{72}} \quad (5)$$

C_{71} , C_{72} の値はそれぞれ 4.954×10^{-2} , -2.485×10^{-1} とした。図 1 の実線は以上により作成した解析モデルの値であり、実験値を精度良く再現できていることが分かる。

式(4)は f_r を代入する形としたが、本来ランダム波では予め振動数が分からないため、変位時刻歴から j サイクル時の置換振動数を算出する方法を式(6)に示す。

$$f_r^{<j>} = \frac{j}{\sum_{i=1}^j t_a^{<i>}} \quad (6)$$

ここで、 $t_a^{<j>}$ は j 回目に変位がゼロ軸を正の傾きで交差 (ゼロクロス) するまでの時間である。

3. 解析モデルのアルゴリズム

ランダムな変形 $u_d^{(n)}$ における非線形モデルの力 $F_d^{(n)}$ の計算アルゴリズムを以下に示す。 $n=0$ は初期条件を表す。また、 $\theta_d^{(1)}$ を $\theta_d^{(0)}$ (初期温度) と同値に設定する。まず、粘弾性体の歪 $\gamma^{(n)}$ と歪速度 $\dot{\gamma}^{(n)}$ を変形 $u_d^{(n)}$ から求め、温度 $\theta_d^{(n)}$ と最大歪 $\gamma_{\max}^{(n)}$ からシフトファクター $\lambda^{(n)}$, $\lambda_1^{(n)}$, $\lambda_2^{(n)}$ を求める⁴⁾。次に、分数微分モデルの応力 $\tau^{(n)}$ を粘弾性体の歪 $\gamma^{(n)}$ などから式(7)のように求める⁴⁾。

$$\tau^{(n)} = \frac{-a^{(n)} \sum_{i=1}^N w^{(i)} \tau^{(n-i)} + G^{(n)} b^{(n)} \sum_{i=0}^N w^{(i)} \tau^{(n-i)} + (\Delta t)^\alpha G^{(n)} \gamma^{(n)}}{(\Delta t)^\alpha + a^{(n)} w^{(0)}} \quad (7)$$

ここで、 $w^{(i)}$ は解析前に予め計算された重み係数である⁴⁾。 N の定義や式(7)の詳細についても同様に文献 4 を参照されたい。歪速度に依存する硬化現象を考慮する非線形バネの応力 $\tau_s^{(n)}$ を、バネ定数 $G_h^{(n)}$ を用いて求める⁴⁾。硬化現象を考慮する場合、最終的な応力の和 $\tau_{tot}^{(n)}$ およびダンパー力 $F^{(n)}$ を得る。式(4)~(6)より熱伝達係数 $\alpha_{CV}^{(n)}$ を求める。また、 $n+1$ ステップ時の粘弾性体の温度 $\theta_d^{(n+1)}$ を式(1)~(3)より求め、次ステップに備える。最後に、シフトファクター $\lambda^{(n)}$, $\lambda_1^{(n)}$, $\lambda_2^{(n)}$ および本報その 1 で示した長時間の繰り返し载荷による損失係数の変化を再現するための $\lambda_3^{(n)}$, $\lambda_4^{(n)}$ を本報その 1 の式(7), (8)より求め、次ステップで用いる $b^{(n+1)}$, $G^{(n+1)}$ を計算する。

4. 解析モデルの精度検証

本研究で拡張した解析モデルの精度検証を行う。図 3(a)~(c)に置換正弦波载荷の粘弾性体温度の時刻歴、貯蔵剛性と粘性係数の時刻歴および载荷停止直前の計測区間における最大振幅付近の 20 秒間の履歴の比較を示す。ここで、図 3(b)は 3,000 秒毎に 400 秒間の計測を 3 回行い、その平均値をプロットしている（文献 3 参照）。図 3(a)~(c)より、解析モデルは置換正弦波の実験値を精度よく再現できているといえる。

次に、図 4(a)~(c)に風応答波载荷の粘弾性体温度の時刻歴、貯蔵剛性と粘性係数の時刻歴および载荷停止直前の計測区間における最大振幅付近の 20 秒間の履歴の比較を示す。図 4(a)から、解析モデルの粘弾性体温度の最大誤差は 2°C 程度であり、実験値を概ね再現できているといえる。また、図 4(b)より A-3H では粘性係数、C-3L では貯蔵剛性の解析値が実験値の約 0.8 倍低いが、図 4(c)より解析値と実験値の履歴はほぼ一致していることから、動的特性においても実験値を概ね再現できているといえる。紙幅の都合により、本報では 2 ケースの結果のみを示しているが、他のケースについても同様以上の精度が得ら

れている事を確認している。以上より、風応答波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 2 では、熱の伝導・伝達による放熱をモデル化した。さらに、本論その 1 で提案した繰り返しによる動的特性の変化のモデル化も考慮した解析モデルにより文献 1 の実験で得られた温度・動的特性を概ね再現できることが分かった。

＜参考文献＞

- 1) 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, pp.61-69, 2006.1
- 2) 笠井和彦, 馬場勇輝, 伊藤浩資, 所健, 引野剛, 大木洋司, 村井亮平: 粘弾性ダンパーをもつ実大 5 層鉄骨建物の 3 次元震動台実験, 日本建築学会構造系論文集, 第 676 号, pp.985-994, 2012.6
- 3) 杉山暢方, 笠井和彦, 佐藤大樹, 松田和浩: 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, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.261-268, 2015.3
- 4) 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, pp.55-63, 2002.11
- 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, Vol.53B, pp.67-74, 2007.3
- 6) 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

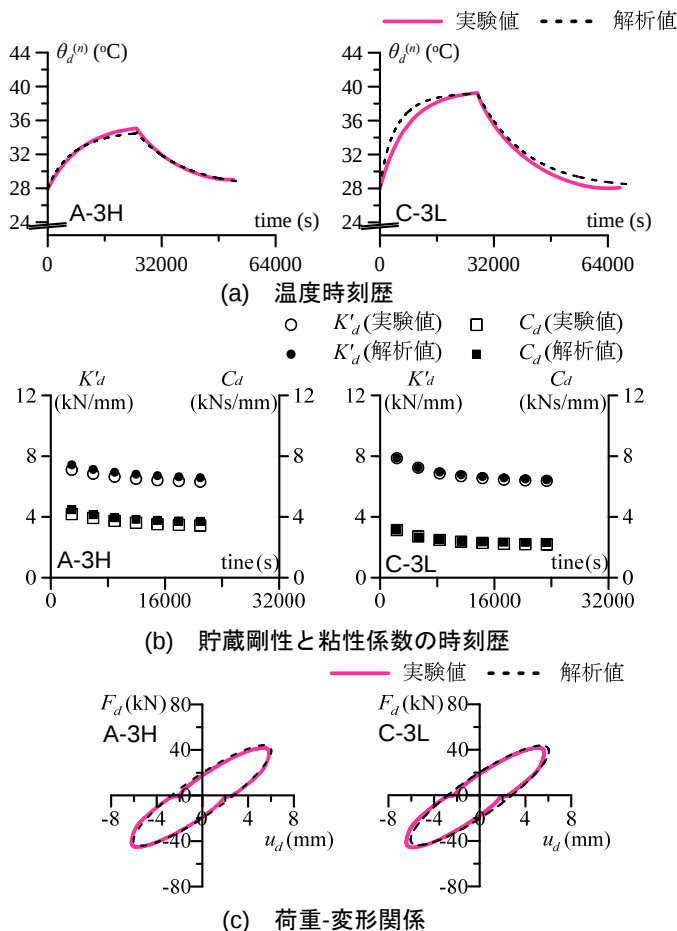


図 3 置換正弦波での実験値と解析値の比較

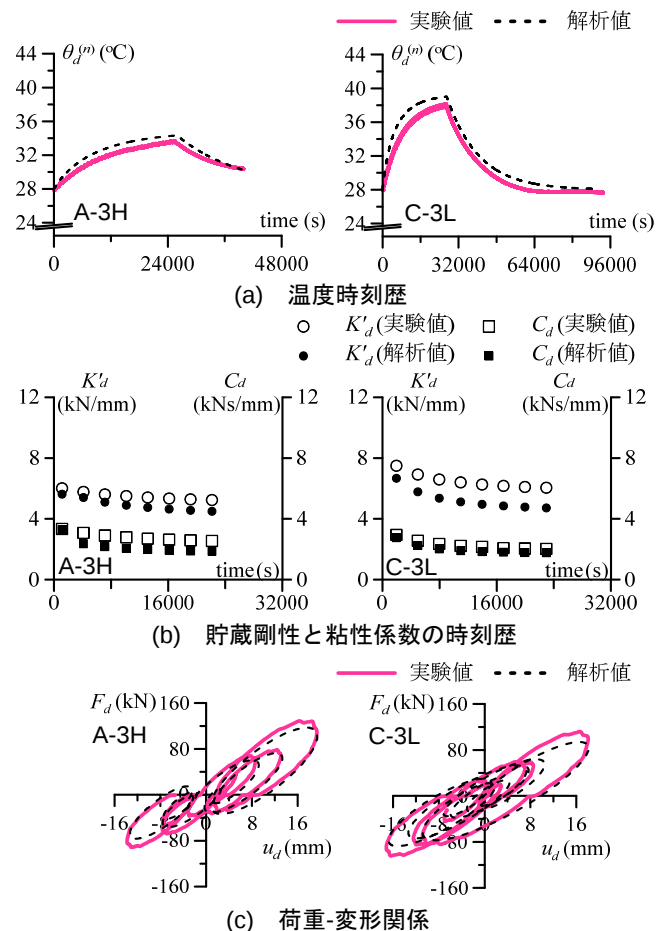


図 4 風応答波での実験値と解析値の比較

*1 (株) フジタ (元東京工業大学大学院生) 修士(工学)
 *2 東京工業大学 建築物理研究センター 教授 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)
 *4 東京工業大学 建築物理研究センター 助教 博士(工学)

*1 FUJITA. (Former Graduate Student, Tokyo Institute of Technology), M. Eng.
 *2 Professor, SERC, Tokyo Institute of Technology, Ph.D.
 *3 Associate Professor, SERC, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.
 *4 Assistant. Professor, SERC, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.