

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	非線形粘弾性ダンパーを有する制振構造のエネルギー応答予測 その2 等価繰返し数とダンパーの性能低下を考慮した応答の評価
Title(English)	Energy response prediction of seismic control structure with nonlinear viscoelastic damper Part 2
著者(和文)	戸張涼太, 佐藤大樹
Authors(English)	Ryota Tobari, Daiki Sato
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, II, , pp. 485-486
Citation(English)	, II, , pp. 485-486
発行日 / Pub. date	2022, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

非線形粘弾性ダンパーを有する制振構造のエネルギー応答予測
その 2 等価繰返し数とダンパーの性能低下を考慮した応答の評価

正会員 ○戸張 涼太*1
同 佐藤 大樹*2

制振構造 粘弾性ダンパー 非線形性
エネルギー法 応答予測 エネルギー分配

1. はじめに

著者らは、エネルギーの釣合に基づく応答評価法や長時間地震動に対する制振構造の設計への展開を見据えて、制振ダンパーのエネルギー応答の評価方法に関する研究を行っている。前報¹⁾では、非線形の粘弾性ダンパーを配置した制振構造を対象に、エネルギー応答の予測手法を示したが、その中で等価繰返し数の算出を課題として残した。本報ではまず、非線形の粘弾性ダンパーにおける等価繰返し数の評価を行う。さらに、これを前報のエネルギー応答の予測手法に当てはめたダンパーの性能低下率の評価と、ダンパーの性能低下を考慮して建物応答を評価した結果について示す。

2. 本ダンパーにおける等価繰返し数の評価

2.1 検討の概要

既往研究^{2,3,4)}では、弾塑性ダンパーや線形粘性ダンパーの場合で等価繰返し数を評価した検討がある。等価繰返し数はダンパーの種類や履歴形状によって傾向が異なってくると考えられる。本章では、非線形粘弾性ダンパーを主架構と並列に配置した 1 質点モデルを用いた時刻歴応答解析により等価繰返し数の分布を評価する。検討パラメータを表 1 に示す。文献⁴⁾では単位地震動の反復数 f 値⁵⁾を用いた等価繰返し数の整理を行っており、本報でも同様の整理を考えて f 値に差異のある地震動計 8 波を用いる。

表 1 層間変形角の比較

主架構 1 次固有周期 T_1 (s)	1, 2, 3, 4
主架構の減衰定数 h_f (-)	0, 0.01, 0.02
ダンパー量 h_d (-)	0.01, 0.03, 0.05, 0.10, 0.20
入力地震動	El Centro, Taft, Hachinohe, 告示八戸, 告示神戸, 上町, CH1, CH2

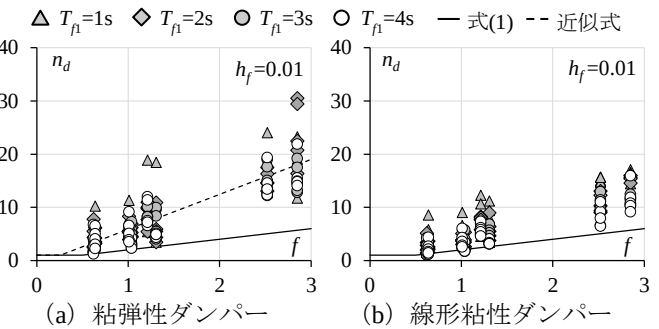


図 1 f と n_d の関係

2.2 等価繰返し数の解析結果

時刻歴応答解析による粘弾性ダンパーの等価繰返し数 n_d は、ダンパーのエネルギー w_d の解析値と、前報¹⁾でのダンパーの 1 ループのエネルギー w_{d1} の比とする。 w_{d1} 算定の際、時刻歴応答解析によるせん断ひずみと、主架構のみの 1 次固有振動数を用いる。

図 1 に地震動の f 値と等価繰返し数 n_d の関係を線形粘性ダンパーの場合と比較して示す。 f 値算定の周期帯は 0-10s としている。図中の黒実線は文献⁴⁾の、線形粘性ダンパーと弾塑性ダンパーを並列に配置した場合の線形粘性ダンパーの等価繰返し数の評価式であり、参考に示す。

$$\begin{cases} n_d = 1.0 & (f < 0.5) \\ n_d = 2.0 \cdot f & (0.5 \leq f) \end{cases} \quad (1)$$

図 1 より線形粘性ダンパーに比べて粘弾性ダンパーのほうがややばらつきが大きく、特に f が 2.5 以上の範囲で n_d の値が大きい。式(1)は線形粘性ダンパーの場合の下限をよく捉えており、同式を粘弾性ダンパーの場合に当てはめると、 f が 2.5 以上の範囲で n_d の値と乖離する。本報では、 $h_f = 0.01$ の時の粘弾性ダンパーの等価繰返し数 n_d の評価式として、以下の近似式を作成する。

$$\begin{cases} n_d = 6.5824 \cdot f - 0.7053 & (f < 0.2591) \\ n_d = 1.0 & (0.2591 \leq f) \end{cases} \quad (2)$$

上式は、 n_d のデータ群を用いて、最小二乗法によって切片ありの一次式に近似したものである。ただし、 n_d が負値または小さくなりすぎないように、式(1)と同様に下限を 1 とした。秋山ら²⁾は、 n_d が小さくなると応答変位が大きくなり、変位の面では安全側の評価となるため、エネルギーの釣合に基づく応答評価の中では通常 n_d の下限をとることとしている。一方で、 n_d が小さくなると通常エネルギー吸収量は小さくなるため、この観点では危険側の評価となることから本報では n_d の下限を取らずに近似式とした。

3. 非線形粘弾性ダンパーの性能低下を考慮した応答評価

3.1 G_{eq} と H_{eq} の低下率

前章で定めた等価繰返し数の評価式が、粘弾性ダンパーの G_{eq} と H_{eq} の低下率の予測に及ぼす影響を確認する。 G_{eq} と H_{eq} の低下率 $G\lambda_{\Omega\theta}$ 、 $H\lambda_{\Omega}$ は下式で算定する⁶⁾。

$$G\lambda_{\Omega\theta} = \frac{0.074}{\Omega_0^{0.595} + 0.070} - 0.056 \quad (3)$$

$$_H \lambda_{\Omega} = \frac{11.258}{\Omega^{0.585} + 4.194} - 1.684 \quad (4)$$

Ω : エネルギー密度, Ω_{θ} : 温度基準化エネルギー密度で, Ω_{θ} の算定には, $\theta=20^{\circ}\text{C}$ を用いる. ここでは, 前報のエネルギー応答の予測法または時刻歴応答解析を用いた方法により, G_{eq} と H_{eq} の低下率を算定し, これらの対応関係を確認する. それぞれ予測値および解析値と称し, 具体的には図2のステップA2とB2までの計算手順を踏む. 解析モデルは等価せん断型の10質点モデルとし, 諸条件は前報表1と同じである. 図3にダンパーのエネルギー w_{di} と層間変形 δ_i , 図4に G_{eq} と H_{eq} の低下率の予測値と解析値の対応を示す. 凡例は地震動で, f 値が大きいほどプロットの色が濃くなっている. 図3より, エネルギーの予測値は解析値よりも20%以上小さく見積るケースもあるが, 図4の $G_{\lambda\Omega\theta}$ は概ね20%以内, $H_{\lambda\Omega}$ は概ね10%以内に分布する結果となっている. 次節でこの誤差が時刻歴応答に与える影響を確認する.

3.2 性能低下を考慮した建物応答

図5(a)に, 図2のフローにおけるステップA3とB3で得た層間変形角 R の比較を示す. 図5(b)には, 性能低下を考慮しない場合($G_{\lambda\Omega\theta}=H_{\lambda\Omega}=1$)の R をステップB3との比で示す. 横軸はいずれもステップB3の R である.

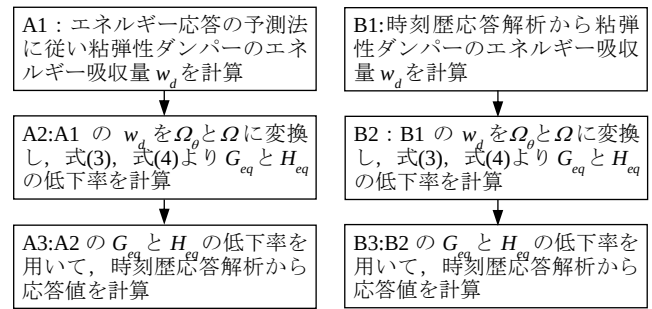
図5(a)より, 予測値は解析値と一部対応しないケースがあるものの, 概ね精度良くかつ安全側に評価しており, 前章で示したような $\pm 20\%$ 程度の G_{eq} と H_{eq} の低下率の誤差は応答に大きな影響を与えていない. また図5(b)より, 性能低下を考慮しない場合は縦軸が1を大きく下回り, 危険側の応答になることがわかる.

4. まとめ

非線形粘弾性ダンパーの場合の等価繰返し数 n_d の評価式を示した. また, これを用いた粘弾性ダンパーの性能低下率と建物応答を計算した. 本報の検討ケースでは, 概ね精解に近い応答を得られることを確認した.

参考文献

- 戸張涼太, 佐藤大樹: 非線形粘弾性ダンパーを有する制振構造のエネルギー応答予測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.697-698, 2021.9
- 秋山宏: エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計, 技報堂出版, 1999.11
- 東野さやか, 北村春幸: 粘性ダンパーを付与した免震構造のエネルギーの釣合に基づく応答評価法, 日本建築学会構造系論文集, 第588号, pp.79-86, 2005年2月
- 佐藤大輔, 他: 履歴ダンパーと粘性ダンパーを併用した制振構造のエネルギーの釣合に基づく応答予測法, 日本建築学会構造系論文集, 第79巻, 第699号, pp.631-640, 2014.5
- 秋山宏, 北村春幸: エネルギースペクトルと速度応答スペクトルの対応, 日本建築学会構造系論文集, 第608号, pp.37-43, 2006.10
- 樹下亮佑, 他: 間柱型粘弾性ダンパーの初期温度と性能低下を考慮した超高層建物の応答評価 その2 超高層建物の応答評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.705-706, 2021.9



(a) 予測値 (b) 解析値
図2 $G_{\lambda\Omega\theta}$ と $H_{\lambda\Omega}$ の解析値と予測値の計算手順

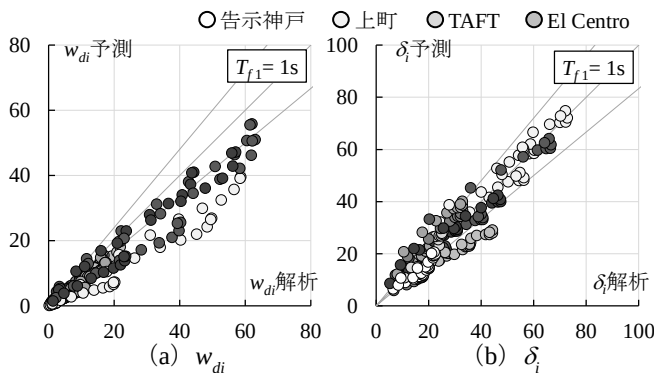


図3 w_{di} と δ_i の解析値と予測値

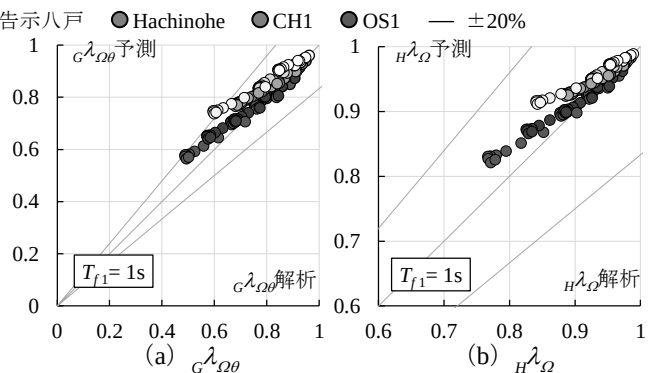


図4 $G_{\lambda\Omega\theta}$ と $H_{\lambda\Omega}$ の解析値と予測値

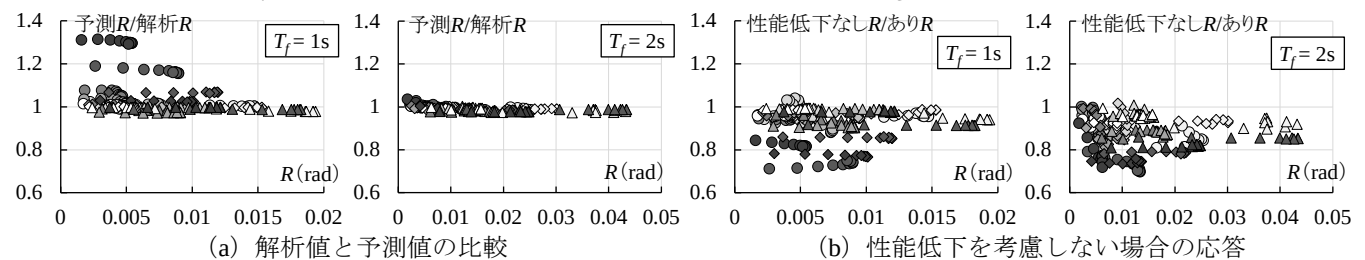


図5 層間変形角の比較

*1 JFE シビル株式会社
*2 東京工業大学

*1 JFE Civil Engineering & Construction Corporation
*2 Tokyo Institute of Technology