

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
Title(English)	Energy response prediction of seismic control structure with nonlinear viscoelastic damper
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, , , pp. 697-698
Citation(English)	, , , pp. 697-698
発行日 / Pub. date	2021, 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

正会員 〇戸張 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

現在、時刻歴応答解析による制振構造においては、長時間の地震による性能変化を考慮した設計が行われている。通常、ダンパーが負担するエネルギーを解析的に求め、性能を低下させた時刻歴応答解析が再度行われる。ダンパーのエネルギー応答を直接求めることができれば、地震動のエネルギーを考慮した設計の簡略化や、ダンパー配置計画への活用が期待できる。制振構造のエネルギー応答の予測手法に関して、履歴型ダンパーの場合は、エネルギー法告示¹⁾としてまとめられた耐震設計法の一部に示されている。線形粘性型ダンパーおよび非線形の粘性ダンパーについても、既往の文献^{2,3)}で予測手法が提案されている。本報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す。

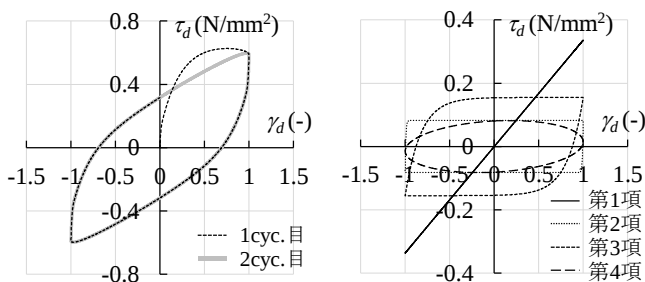
2. 粘弾性ダンパーの1ループのエネルギーの算定

2.1 本報で扱う粘弾性ダンパー

本報で扱う粘弾性ダンパーは文献⁴⁾のものとする。本ダンパーの力学モデルは非線形ばね、2つの塑性要素、および粘弾性要素の4要素から成る。このうち1~3要素は、経験最大せん断ひずみによる剛性または減衰の低減効果を表す係数が乗じられている。

2.2 1ループのエネルギーの算定

図1に、せん断ひずみ $\gamma_d = 1$ 、周期 $T = 3s$ の2サイクルの荷重変形履歴をループごと、要素ごとに分けて示す。1サイクル目、第一象限の最大せん断ひずみ到達前は、剛性と減衰の低減効果の影響で2サイクル目と比べると荷重変形履歴に膨らみが生じる。本報での1ループのエネルギーの算定においては、定常状態を想定したエネルギーを求めるものとし、図1(a)の2サイクル目以降のエネルギーを算定する。文献⁴⁾の $\tau_d - \gamma_d$ の関係式より、1ループのエ



(a) サイクルごと (b) 要素ごと (2cyc.目)

図1 粘弾性ダンパーの荷重変形履歴

ネルギーを式(1)のように4要素のエネルギーの和とする。

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 \quad (1)$$

E_1 は弾性要素なので0である。 $E_2 \sim E_4$ は下式で表される。

$$E_i = 2 \cdot G_{pi} \cdot l_i \left\{ 2 \cdot \gamma_d - l_i \left(2 - e^{-\frac{\gamma_d}{l_i}} \right) \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot \gamma_d}{l_i}} \right) \right\} \quad (i=2,3) \quad (2)$$

$$E_4 = \frac{\pi \cdot \omega \cdot \nu}{1 + (\omega \cdot \nu)^2} \cdot g_v \cdot \gamma_d^2 \quad (3)$$

G_{pi} : 最大せん断ひずみに応じて減衰量の低下を表す係数,
 l_i, ν, g_v : 材料定数, γ_d : せん断ひずみ, ω : 角振動数である。式(1)~(3)の妥当性は別途数値解析で確認している。

3. ダンパーのエネルギー応答の予測手法

岡田・佐藤³⁾は減衰力が速度の指数乗に比例する非線形の粘性ダンパーについて、エネルギーを等価にする減衰係数 c_{deqi} を定義し、これを用いたエネルギーの分配式の提案を行っている。本報でもこれに倣うが、対象の粘弾性ダンパーはせん断ひずみに依存した非線形性を有し、 c_{deqi} の算定に層間変形 δ が必要となる。したがって c_{deqi} を直接求めることができないため、収束計算を行った手法を示す。このフローは過程を煩雑にする一方、ダンパーのエネルギー w_{di} を陽に扱うため、後述の前提条件を満たせば w_{di} の関数形によらず適用できるという利点がある。

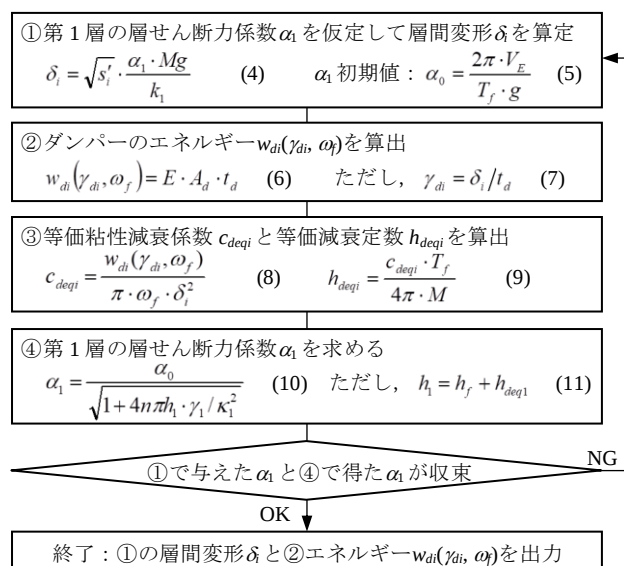


図2 エネルギー応答の予測フロー

図2にエネルギー応答の予測フローを示す。本手法の前提条件は次の通りである。①各層の等価繰返し数 n_i が等しい。②粘弾性ダンパーを付加することによる建物の水平剛性と固有周期の変化が無視できるほど小さい。③ダンパーの取付部剛性の影響が小さく、ダンパー変形 $\delta_{di} \equiv$ 層間変形 δ とみなせる。

4. 解析による予測精度の検証

解析モデルは等価せん断型の10質点モデルとし、質量は全層一律、剛性は最上階で最下階の半分となる台形分布とする。解析パラメータを表1に示す。粘弾性ダンパーのせん断面積 A_{di} は第1層のダンパーの層せん断力係数 α_{d1} をパラメータに、せん断ひずみ $\gamma_d=2$ 、振動数 $f=1/T_f$ の条件で定めた。 A_{di} の高さ方向分布は A_i 分布形とし、取付部は十分剛とする。

図3~5に各応答値およびパラメータの予測値と解析値の比較を示す。収束計算は5回行い、いずれのケースも α_1 は十分収束しており、4回目と5回目の比は0.99~1.01である。なお、予測値算定過程の式(10)における等価繰返し数 n には、時刻歴応答解析結果の全層平均値を用いた。

図3、4より、地震波や T_f 、 α_{d1} により精度は変わり、特に図4(a)、 $T_f=1s$ 、 $\alpha_{d1}=0.01$ の層間変形で一部ずれの大きい結果がある。しかし、 w_{di} においてはいずれも予測値と解析値で概ね近い値となることが確認できる。図5より、 w_{di} の予測/解析の下限は約0.6であり、予測値の活用方法に応じて安全率等を考慮するべきと考えられる。また、 α_1 、 h_1 が小さい範囲では予測はこれらを過小評価し、 w_{di} を解析値よりも大きく評価する傾向がある。

5. まとめ

- ・文献⁴⁾の粘弾性ダンパーの1ループのエネルギーの算定式を示した。
- ・非線形の粘弾性ダンパーを配置した建物における、収束計算を含むエネルギー応答の予測手法を示した。

表1 解析パラメータ

主架構の1次固有周期	T_f (s)	1, 2
主架構の減衰定数	h_f (-)	0.01
1層のダンパーの層せん断力係数	α_{d1} (-)	0.01, 0.05, 0.10

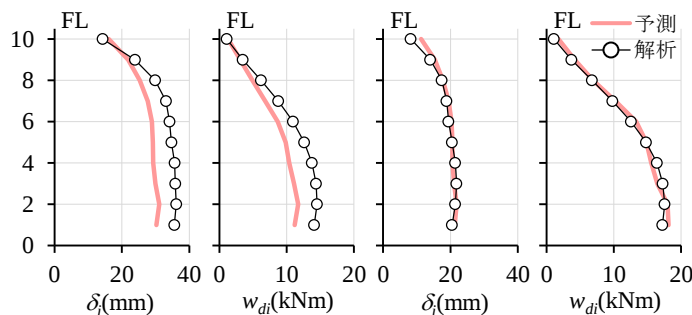


図3 高さ方向応答の予測と解析の比較 ($T_f=1s$, $\alpha_{d1}=0.05$)

- ・予測手法におけるエネルギーの予測/解析の下限は、本報の検証ケースの範囲では約0.6であった。

予測手法における等価繰返し数の算定や質量、剛性分布の適用範囲に関しては今後の課題とする。

参考文献

- 1) 日本建築センター：エネルギーの釣合いに基づく耐震計算法の技術基準解説及び計算例とその解説，2005.10
- 2) 原田幸博，秋山宏：エネルギー集中型柔剛混合骨組の耐震設計，日本建築学会構造系論文集，第60巻，第472号，pp.57-66，1995.6
- 3) 岡田亮佑，佐藤大樹：制振建物に配する粘性ダンパーの高さ方向におけるエネルギー分配の予測 その2，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.799-802，2019.9
- 4) 森隆浩，他：高減衰ゴムを用いた間柱型粘弾性ダンパー その2 時刻歴応答解析用履歴モデル，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.597-598，2017.8

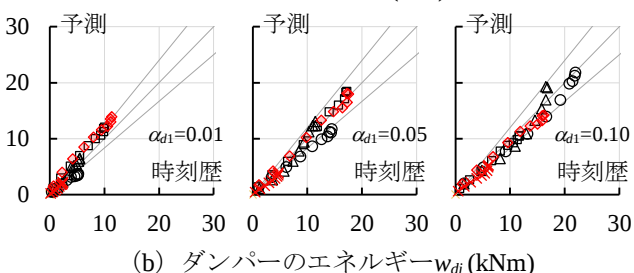
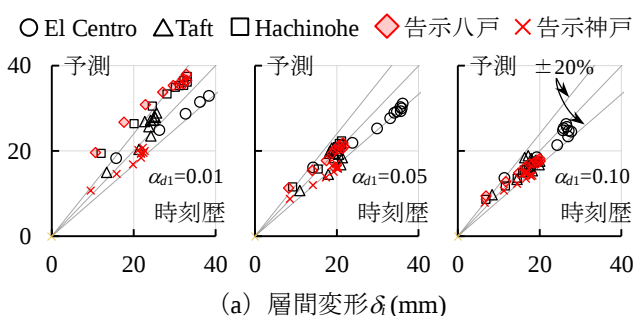


図4 予測値と解析値の比較 ($T_f=1s$)

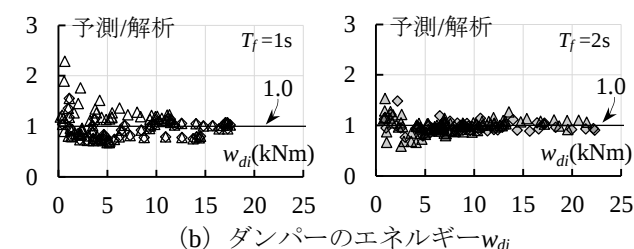
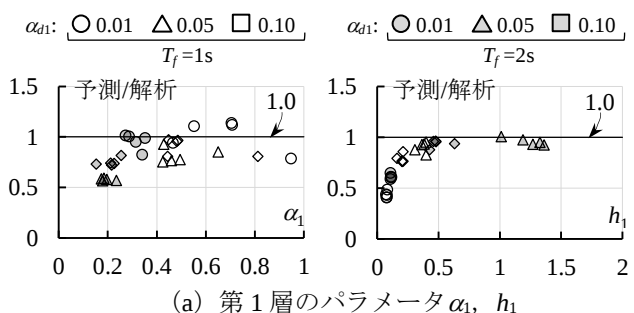


図5 予測値の精度検証

*1 JFE シビル

*2 東京工業大学

*1 JFE Civil Engineering & Construction Corporation

*2 Tokyo Institute of Technology