

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	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：非線形粘性型までを対象としたエネルギー分配式 –
Title(English)	Energy distribution ' s Prediction by Energy – based Design Method in Vibration Control Building with Viscous Dampers
著者(和文)	岡田亮佑, 佐藤大樹
Authors(English)	Ryousuke Okada, Daiki Sato
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 801-802
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, , , pp. 801-802
発行日 / Pub. date	2019, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

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：非線形粘性型までを対象としたエネルギー分配式—

超高層制振建物	粘性ダンパー	非線形性
エネルギー法	エネルギー分配	応答予測式

正会員 〇岡田亮佑*
同 佐藤大樹**

1. はじめに

本報その1では、線形および強い非線形性をもつ粘性ダンパーにおいて、線形粘性型ダッシュポットをもつ粘性ダンパーを対象としたエネルギー分配式⁴⁾の、高さ方向におけるエネルギー分配の予測精度を検証した。結果より、強い非線形性をもつダンパーかつダンパー量が多い場合、線形粘性要素をもつ粘性ダンパーを対象としたエネルギー分配式⁴⁾では、エネルギー吸収が大きい箇所においても、大きく予測精度が低下し、危険側の評価となった。

そこで本報その2では、非線形粘性型ダッシュポットをもつ粘性ダンパーまでを対象としたエネルギー分配式の提案および高さ方向におけるエネルギー分配の予測精度を検証する。

2. 粘性ダンパーのエネルギー分配の予測

2.1 諸条件

本章で対象とする入力地震動はCH1（その1, 2.1節）とする。建物モデルおよび粘性ダンパーの解析モデル・ダンパー配置は、本報その1で示したものと同様とする。なお、構造減衰は0、主架構は弾性として解析を行う。

2.2 非線形粘性型を対象としたエネルギー分配式の概要

本報その1で示した、線形粘性式（その1, 式(2)）は、線形粘性型のダッシュポットをもつ粘性ダンパーのみを対象としたものであり、強い非線形性をもつダンパーかつダンパー量が多い場合、エネルギー吸収が大きい箇所においても、大きく予測精度が低下し、危険側の評価となった。

そこで本節では、非線形粘性型のエネルギー吸収要素をもつ粘性ダンパーまでを対象とした、エネルギー分散係数の逆数 $1/\gamma_{di}$ （以後、非線形粘性式）を提案する。

非線形粘性式は式(1)～(3a,b)で表される。なお、右添え字に「max」がつくものは最大値を表す。次節では、この非線形粘性式による予測値を示すが、 $\hat{u}_{di\max}$ は解析で得られたものを用いて算出している。

$$\frac{1}{\gamma_{di}} = \frac{W_{di}}{\sum_{i=1}^N W_{di}} = \frac{s_i'' h_{eqi}}{\sum_{i=1}^N s_i'' h_{eqi}} \quad (1)$$

ここで、

$$s_i'' = \left(\frac{\sum_{j=1}^N m_j}{M} \right)^2 \times \bar{\alpha}_{rdi}^2 \times \left(\frac{K_{d1}}{K_{di}} \right)^2, \quad h_{eqi} = \frac{\hat{C}_{eqi} T_{f1}}{4\pi M} \quad (2a,b)$$

$$\hat{C}_{eqi} = \frac{4e^{-0.24\alpha} \hat{K}_{di}''}{\pi \omega}, \quad \hat{K}_{di}'' = \frac{\hat{C}_{di} \omega^\alpha}{\hat{u}_{di\max}^{1-\alpha}} \quad (3a,b)$$

各層の粘性ダンパーの最大応答せん断力係数分布 $\bar{\alpha}_{rdi}$ 、最大応答せん断力係数 α_{di} を以下に表す。

$$\bar{\alpha}_{rdi} = \frac{\alpha_{di}}{\alpha_{d1}}, \quad \alpha_{di} = \frac{\hat{F}_{di\max}}{\sum_{j=1}^N m_j g}, \quad \hat{F}_{di\max} = \hat{K}_{di}'' \hat{u}_{di\max} \quad (4a,b,c)$$

以上で示した非線形粘性式では、非線形粘性型ダンパーの粘性係数の等価線形化を行うことで、等価粘性係数 $\hat{C}_{eq}$ を算出している。以下に、等価粘性係数 $\hat{C}_{eq}$ の算出方法を示す。非線形粘性型ダンパーの粘性係数 $\hat{C}_d$ は荷重速度関係（図1(a)）に示すように、一定の値を取らず、本報その1の式(3.b)で示したような、総質量 M と主架構の1次固有周期 T_{f1} を用いた無次元化ができない。そこで、この無次元化が行なえるよう、図1(b)に示す、等価線形化した場合のダンパーのエネルギー吸収量 W_{eq} （式(5)）と非線形粘性型ダンパーのエネルギー吸収量 W_d （式(6)）が一致（式(7)）するような、等価粘性係数 $\hat{C}_{eq}$ を定める。なお、等価線形化した場合のダンパーの最大変形 $\hat{u}_{eq\max}$ と非線形粘性型ダンパーの最大変形 $\hat{u}_{d\max}$ が一致する（式(8)）ことを仮定する。

$$W_{eqi} = \pi n' \hat{C}_{eqi} \omega \hat{u}_{eq\max}^2 \quad (n': \text{等価繰り返し数}) \quad (5)$$

$$W_{di} = 4e^{-0.24\alpha} n' \hat{K}_{di}'' \hat{u}_{di\max}^2 \quad (0 \leq \alpha \leq 1.00) \quad (6)$$

$$W_{eqi} = W_{di} \quad (7), \quad \hat{u}_{eq\max} = \hat{u}_{di\max} \quad (8)$$

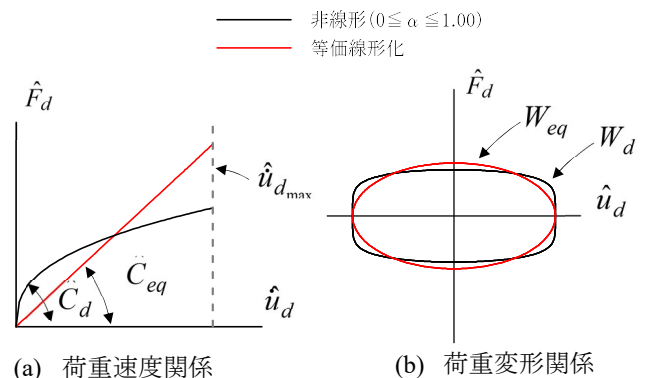


図1 等価線形化の概念図

2.3 エネルギー分配式の予測精度

本節では、ダッシュポット速度に関する指数乗 α (= 1.00, 0.60, 0.20) を持つ線形および非線形粘性ダンパーにおける線形粘性式 (その 1, 式(2)) および非線形粘性式 (式(1)) のエネルギー分配の予測精度を検証する。

図 2 (a) ~ (c) に高さ方向におけるエネルギー分散係数の逆数 $1/\gamma_{di}$ を解析値と予測値で比較したものを示す。なお、「(i) ~ (iii)」はそれぞれのダンパー量 α_{v1} の結果を示している。ここで、本報その 1 にて地震動によるダンパーのエネルギー分配への影響は少ないことが確認されたため、解析値は代表として CH1 入力時における結果を示す。

図 2 (a), (b) をみると、非線形粘性式による予測値は線形粘性式に比べ、解析値を精度良く捉えている傾向となった。しかし図 2(c) より、強い非線形性となる指数乗 $\alpha = 0.20$ かつダンパー量 α_{v1} が大きい場合の解析では下層付近でのエネルギー集中が生じており、精度の良い非線形粘性式においても捉えきれないことが分かる。

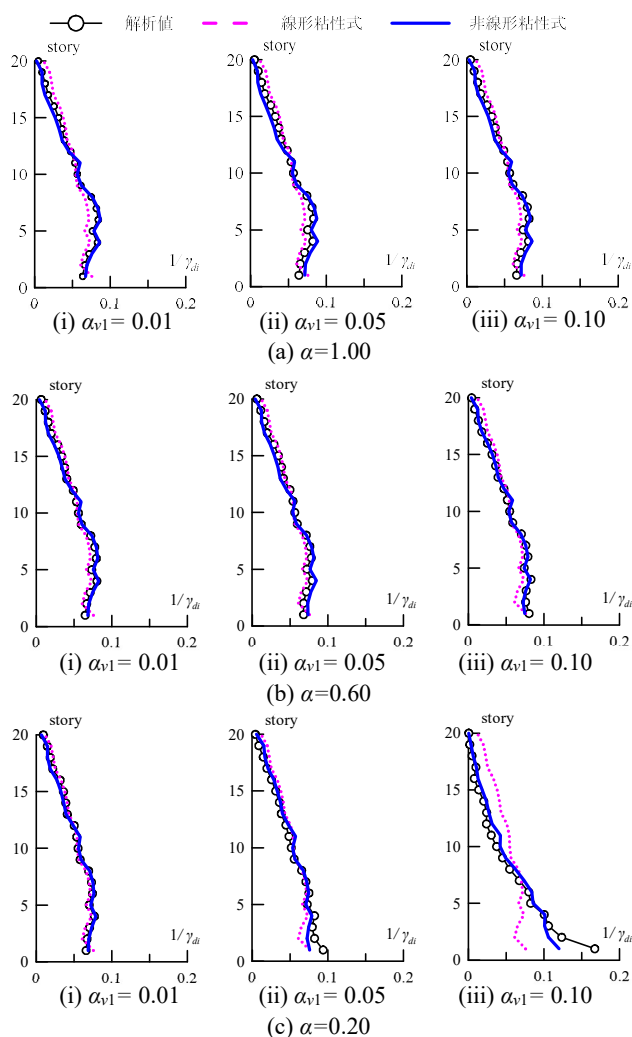


図 2 粘性ダンパーのエネルギー分散係数 (CH1 入力時)

図 3 (a) ~ (c) に縦軸に予測値 (図中, Pre.) を解析値 (図中, Ana.) で除したものとし、横軸に解析より得られたエネルギー吸収量 $W_{di}(Ana.)$ としたものを示す。図 3 (a), (b) より、非線形粘性式では指数乗 $\alpha = 1.00, 0.60$ においてダンパー量に関わらず、 $W_{di}(Ana.)$ が大きくなるに従い予測値/解析値は 0.8 程度で収束していく傾向となった。一方、図 3 (c) より、指数乗 $\alpha = 0.20$, $\alpha_{v1} = 0.05$ と 0.10 では応答の大きい層においても、危険側の評価 (予測値/解析値が 0.8 程度) となる場合が確認されており、非線形粘性式を用いたとしても強い非線形を持つ粘性ダンパーには未だ適用しきれない事が分かった。また本報では、非線形粘性式による予測値を算出する際、ダッシュポット部の最大変形 $\hat{u}_{di,max}$ を解析で得られたものを用いており、今後は $\hat{u}_{di,max}$ の予測手法の提案が望まれる。

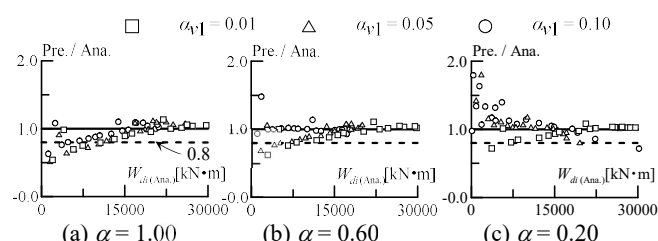


図 3 非線形粘性式による予測の精度 (CH1 入力時)

3. まとめ

本報では、線形および強い非線形性をもつ粘性ダンパーにおいて、提案されているエネルギー分配式⁴⁾の、高さ方向におけるエネルギー分配の予測精度を検証した。さらに、非線形粘性型ダッシュポットをもつ粘性ダンパーまでを対象としたエネルギー分配式の提案および高さ方向におけるエネルギー分配の予測精度を検証した。

参考文献

- 1) 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，1991.1
- 2) 脇田直弥，松蔭知明，樋口公平，中村秀司：エネルギー法による建物の構造設計～優れた耐震性と経済性を両立した設計手法の確立～，新日鉄エンジニアリング技報，vol.3, 2012
- 3) 有井季萌，佐藤大樹，松田頼征，北村春幸，山口路夫，脇田直弥，山口慎吾，綿貫雄太：粘性ダンパーを使用した制振構造におけるダンパーのエネルギー分散係数の精度評価，日本建築学会関東支部研究報告集，88(I)，pp.281-284, 2018.3
- 4) 原田幸博，桑村仁，秋山宏：複数のエネルギー吸収要素を持つ柔剛混合エネルギー集中型多層骨組の地震応答予測，日本建築学会大会学術講演梗概集，1993
- 5) 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
- 6) 建築研究所：長周期地震動対策に関わる技術資料・データ公開特設ページ，<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/lpe/index.html> (2017.6.30)
- 7) 愛知県建築住宅センター：名古屋三の丸地区における地域特性を考慮した耐震改修のための基盤地震動の作成 (概要版)，(財) 愛知県建築住宅センター耐震構造委員会設計用入力地震動検討部会，pp.1-48, 2004.6
- 8) 日本建築学会：鋼構造制振設計指針，第 1 版，2014.11
- 9) 岡田亮佑，佐藤大樹：粘性ダンパーを有する制振建物のエネルギーに関する分析 (その 2：粘性ダンパーのエネルギー分配の予測精度) 2018 年度第 89 回日本建築学会関東支部研究発表会，日本建築学会関東支部研究報告集，一般社団法人日本建築学会，2019.3

*1 元 東京工業大学 大学院生

**2 東京工業大学 科学技術創成研究院 未来産業技術研究所 准教授 博士(工学)

*1 Former Graduate Student, Tokyo Institute of Technology

**2 Assoc. Prof., FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.