

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1: 線形粘性型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)	美濃地正樹, 佐藤大樹, 岡田亮佑
Authors(English)	Masaki Minoji, Daiki Sato, Ryouyuke Okada
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , pp. 799-800
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, , pp. 799-800
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1：線形粘性型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 ○美濃地正樹\*  
同 佐藤大樹\*\*  
同 岡田亮佑\*\*\*

## 1. はじめに

近年、建物に制振構造を採用する例が増加している。制振構造の設計には、時間経過ごとの応答を分析できる「時刻歴応答解析」や簡易に応答を予測する「エネルギーの釣合いに基づく耐震計算法（以後、エネルギー法）」<sup>1)</sup>等が用いられる。

「エネルギー法」は大臣認定取得が不必要であり、建物の申請期間を低減できる設計手法<sup>2)</sup>であるため有用であるが、現行のエネルギー法告示で対象とされるダンパーは、完全弾塑性型かつ材料強度が規定されているもののみとされている。そこで今後は、告示で対象とされるダンパーの適用範囲の拡張に向けた、エネルギーに関する分析および研究を行なうことが、エネルギー法の発展に望ましいと考えられる。

有井ら<sup>3)</sup>は「エネルギー法」の適用範囲の拡張に向けて、原田ら<sup>4)</sup>が提案した線形ダッシュポットを有する粘性ダンパーを取付けた建物のエネルギー法による応答評価法を、Maxwellモデルでモデル化した非線形ダッシュポットを有する粘性ダンパーに展開し、時刻歴応答解析結果との比較により、エネルギー法での予測精度及び適用範囲を検証している。しかし、ここで検証対象としている非線形ダッシュポットは、ダッシュポット速度の指数乗 $\alpha$ が0.60のものであり、パッシブマニュアル<sup>5)</sup>に示される指数乗 $\alpha$ が0.10となるような、より強い非線形性を有する粘性ダンパーまでは対象とされていない。

そこで本報その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、提案されているエネルギー分配式<sup>4)</sup>の、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. 入力地震動および対象建物モデル概要

### 2.1 入力地震動概要

入力地震動として、コーナー周期 $T_c = 0.64$  s以降の領域で速度応答スペクトル $S_v = 100$  cm/s ( $h = 5\%$ )となるレベル2相当の模擬地震動波形 ART HACHI(位相特性：HACHINOHE 1968 EW)を採用する。さらに基盤促波<sup>6)</sup>であるCH1、東海・東南海地震動を想定した長周期地震動である三の丸波(SAN)<sup>7)</sup>を採用する。図1(a), (b)に、各地震動の擬似速度応答スペクトル $\rho S_v$  ( $h = 5\%$ )、エネルギースペクトル $V_E$  ( $h = 10\%$ )を示す。

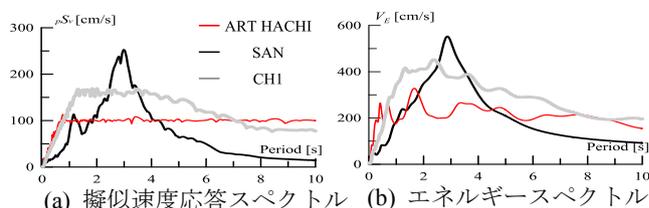


図1 地震動スペクトル

### 2.2 対象建物モデル概要

対象とする建物モデルは、建物高さ82.0 mの20層の鋼構造建物モデル<sup>8)</sup>（以後、部材モデル）である。図2(a), (b)に、部材モデルの軸組図と基準階伏図を示す。長辺方向をX方向、短辺方向をY方向とする。本報ではX方向を検討対象とする。主架構(X方向)の1次固有周期 $T_1$ は2.29sである。なお本報では、ダンパーによるエネルギー分配を検討するため、構造減衰は0とし、主架構は弾性として解析を行う。

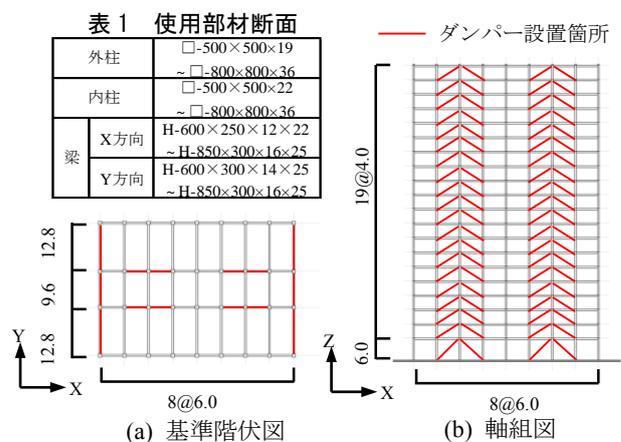


図2 基準階伏図および軸組図

### 2.3 粘性ダンパー

図3に粘性ダンパーの解析モデルを示す。ここで、 $\hat{C}_d$ は粘性係数を表す。なお、「^」は軸方向を表す。またダンパーと支持部材を直列にモデル化し、内部剛性 $\hat{K}_d$ と支持部材剛性 $\hat{K}_b$ をまとめて等価支持材剛性 $\hat{K}_b^*$ で表す。ダンパーの等価支持材剛性 $\hat{K}_b^*$ は式(1)の関係を用いて算出している。なお、 $\hat{K}_b^*$ の変化による、高さ方向における粘性ダンパーのエネルギー分配への影響は殆ど見られない事を既往研究<sup>3)</sup>にて確認されているため、ここでは等価支持材剛性 $\hat{K}_b^*$ を剛とみなせる値（内部剛性係数 $\beta = 30000$  [m<sup>α-1</sup>/s<sup>α</sup>])とする。

$$\hat{K}_{bi}^* = \beta \times \hat{C}_{di} \quad (1)$$

本報では、5 ケースのダッシュポット速度の指数乗  $\alpha$  ( $= 1.00, 0.80, 0.60, 0.38, 0.20$ ) を持つ粘性ダンパーを対象とする。

ダンパー配置は、5 ケースの指数乗  $\alpha$  に対し、3 ケースのダンパー量  $\alpha_{v1}$  ( $= 0.01, 0.05, 0.10$ ) を設定した。本報では、紙面の都合上、5 ケースの指数乗  $\alpha$  のうち、 $\alpha=1.00, 0.60, 0.20$  の結果のみを示すこととする。

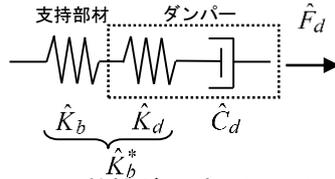


図3 粘性ダンパーと取付け部材からなる付加系

### 3. 線形粘性型のエネルギー分散式を用いた予測

本章では、粘性ダンパーを使用した制振構造のエネルギー分散係数の逆数  $1/\gamma_{di}$  (以後、線形粘性式) を示す。さらに、時刻歴応答解析より得られた高さ方向における粘性ダンパーのエネルギー分散 (以後、解析値) と線形粘性式による予測値を比較し、その予測精度を検証する。

#### 3.1 線形粘性型のエネルギー分散係数式の概要

線形粘性式は式(2)~(3a,b)で表される<sup>4)</sup>。

$$\frac{1}{\gamma_{di}} = \frac{W_{di}}{\sum_{i=1}^N W_{di}} = \frac{s'_i h_i}{\sum_{i=1}^N s'_i h_i} \quad (2)$$

ここで、

$$s'_i = \left( \frac{\sum_{j=i}^N m_j}{M} \right)^2 \times \frac{1}{\alpha_{ni}^2} \times \left( \frac{k_{f1}}{k_{fi}} \right)^2, \quad h_i = \frac{\hat{C}_{di} T_{f1}}{4\pi M} \quad (3a,b)$$

ここに、 $M$  は主架構の総質量、 $m_i$  は第  $i$  層の主架構の質量、 $k_{fi}$  は第  $i$  層の主架構の剛性

最大応答せん断力係数分布  $\overline{\alpha_{ni}}$  とは、多層骨組において各層の累積塑性変形倍率がほぼ等しくなるような強度分布である<sup>1)</sup>。本報では、最大応答せん断力係数分布として参考文献<sup>1)</sup>で提案されているものを用いる。

線形粘性式の仮定条件を以下に示す<sup>9)</sup>。①線形粘性ダンパーのみを対象とし、エネルギー吸収量の算出および粘性係数の無次元化を行っている。②等価繰り返し数は各層で共通としている。③全体架構の最大せん断力は主架構の剛性とダッシュポットの最大変形から近似的に算出している。

#### 3.2 速度に関する指数乗 $\alpha$ を変化させた場合

本節では、ダッシュポット速度に関する指数乗  $\alpha$  ( $= 1.00, 0.60, 0.20$ ) を持つ線形・非線形粘性ダンパーにおける線形粘性式 (式(2)) の予測精度を検証する。なお、高さ方向での解析値と予測値の比較については、本報その2にて示すこととする。

図4(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。なお、CH1 入力時の結果を示す。

図4(a)より、線形粘性ダンパーである指数乗  $\alpha = 1.00$ 、ダンパー量  $\alpha_{v1} = 0.01$  の場合をみると、線形粘性式による予測は危険側の評価となるものの、 $W_{di(Ana.)}$  が大きくなるに従い予測値/解析値は0.8程度で収束する傾向となった。この傾向は、ダンパー量  $\alpha_{v1} = 0.05, 0.10$  においても同様にみられ、ダンパー量に関わらず確認された。図4(c)より、指数乗  $\alpha = 0.20$ 、ダンパー量  $\alpha_{v1} = 0.01$  の場合では、線形粘性ダンパーでみられた傾向と同様に応答が大きくなるに従い、予測値/解析値は0.8程度となった。これに対して、指数乗  $\alpha = 0.20$ 、ダンパー量  $\alpha_{v1} = 0.05$  と  $0.10$  の場合では、応答が大きい場合でも予測値が大きく過小評価している。

次に線形粘性式の予測精度を入力地震動で比較する。図5(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分散係数の逆数 (図中、 $1/\gamma_{di(Ana.)}$ ) としたものを示す。なお、ダンパー量  $\alpha_{v1} = 0.05$  の結果を示す。図5(a)と(b)より、各地震波入力時における解析値が最大となる結果に着目すると、予測値/解析値が全て0.85程度となり、地震波による予測精度の影響は少ない。同様に、図5(c)より  $\alpha = 0.20$  においては多少、予測値/解析値にばらつきはあるものの、地震波による予測精度の影響は少ない。

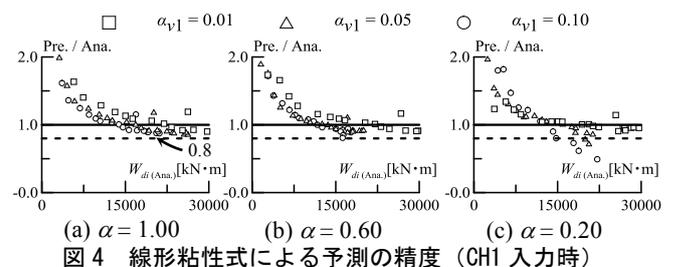


図4 線形粘性式による予測の精度 (CH1 入力時)

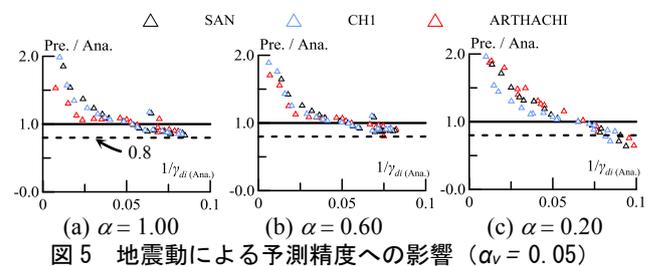


図5 地震動による予測精度への影響 ( $\alpha_v = 0.05$ )

## 5. まとめ

本報その1では、提案されているエネルギー分散式<sup>4)</sup>の、高さ方向におけるエネルギー分散の予測精度を検証した。

参考文献はその2にまとめて示す。

\*1 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)

\*\*\*3 元 東京工業大学 大学院生

\*1 Graduate Student, Tokyo Institute of Technology

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

\*\*\*3 Former Graduate Student, Tokyo Institute of Technology