

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	粘性ダンパーを使用した制振構造のエネルギーの釣合に基づく応答予測式の精度評価
Title(English)	Accuracy evaluation of Energy Balanced-Based Seismic Response Prediction Method for Response Control Structures with Viscous Dampers
著者(和文)	有井季萌, 北村春幸, 佐藤大樹, 松田頼征, 山口路夫, 脇田直弥, 綿貫雄太, 山口慎吾
Authors(English)	Kiho Arie, Haruyuki Kitamura, Daiki Sato, Yoriyuki Matsuda, Michio Yamaguchi, Naoya Wakita, Yuta Watanuki, Shingo Yamaguchi
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 375-376
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, , , pp. 375-376
発行日 / Pub. date	2018, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

# 粘性ダンパーを使用した制振構造のエネルギーの釣合に基づく応答予測式の精度評価

制振構造 鋼構造建物 粘性ダンパー  
時刻歴応答解析 エネルギーの釣合

正会員○ 有井 季萌\*1 同 北村 春幸\*2 同 佐藤 大樹\*3  
同 松田 頼征\*2 同 山口 路夫\*4 同 脇田 直弥\*4  
同 綿貫 雄太\*4 同 山口 慎吾\*4

## 1 はじめに

現行のエネルギー法告示<sup>1)</sup>で評価できるダンパーは性能が規定されている必要があり、粘性ダンパーは対象外である<sup>3)</sup>。

本報は、原田<sup>2)</sup>が提案したダンパーのエネルギー分散係数を、非線形ダッシュポットを有する Maxwell モデルとした粘性ダンパーモデルによる、時刻歴応答解析との比較により予測精度及び適用範囲を検証する。

## 2 検討モデル諸元及び入力地震動概要

### 2.1 検討対象建物及びダンパー概要

検討対象建物は 10 階建ての鋼構造建物とする<sup>3)</sup>。建物の軸組図と基準階伏図を図 1, 2 に示す。制振部材は伏図と軸組図の太線箇所に設置し、使用する制振部材は粘性ダンパーとする。図 3 にダンパーモデルを示す。本報では、X 方向を検討対象とする。本報では、「層間変形角  $R$  が 1/100 の時のダッシュポットの最大荷重の水平成分を建物総重量で除した値」を以降ダンパー量  $\nu\alpha$  とする。本報では、ダンパー量  $\nu\alpha=0.02, 0.05, 0.10$  の 3 パターンを用い各検討項目の結果に示す。また、上下層より粘性係数の小さい層を設けた場合の検討も行う。

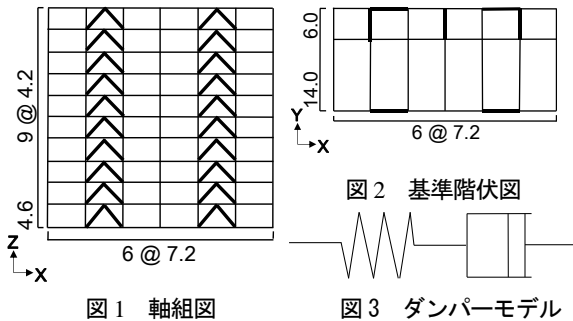


図 1 軸組図

図 2 基準階伏図

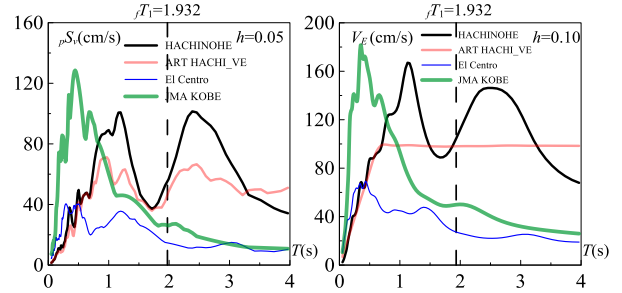
図 3 ダンパーモデル

ダンパー量の高さ方向分布設定は、第 1 層のダンパー量  $\nu\alpha$  によって決定された粘性係数を基準として  $A_i$  分布に基づいた設計用層せん断力比を乗じ、1, 5, 8 層の粘性係数を決定する。1~4 層, 5~7 層, 8~10 層はそれぞれ同じ粘性係数を持つダンパーを用いる。

### 2.2 入力地震動

解析に用いる入力地震動は、観測波 HACHINOHE 1968 EW, エネルギースペクトル  $V_E = 100\text{cm/s}$  ( $h=10\%$ )一定とした位相特性 HACHINOHE 1968 EW (以後, ART HACHI), 観測波 El Centro 1940 NS (以後, El Centro), 観測波 JMAKOBE 1995 NS (以後, JMAKOBE) を使用した。図 4 に擬似速度応答スペクトル, エネルギースペクトルを示す。ART HACHI は入力地震動のパラメータとして  $V_E =$

60, 120, 180, 240(cm/s)一定とした 4 パターンを用いた。



(a) 擬似速度応答スペクトル (b) エネルギースペクトル  
図 4 入力地震動

## 3. エネルギー分散係数 $h\gamma_k$ の高さ方向分布における比較

### 3.1 エネルギー分散係数の算出方法

原田<sup>2)</sup>は線形粘性ダンパーを用いた制振構造におけるダンパーのエネルギー分散係数  $h\gamma_k$  の予測式を示した。 $1/h\gamma_k$  の予測式は式 (1)~(4) で表される。

$$\frac{1}{h\gamma_k} = \frac{hW_{dk}}{\sum_{i=1}^N hW_{di}} = \frac{s'_k \cdot h_k}{\sum_{i=1}^N s'_i \cdot h_i} \quad (1)$$

$$s'_i = \sum_{j=1}^N \left( \frac{m_j}{M} \right)^2 \cdot r \cdot \bar{\alpha}_i^2 \cdot \left( \frac{f k_1}{f k_i} \right)^2, \quad h_i = \frac{C_{di} \cdot T}{4\pi M} \quad (2), (3)$$

$$r \cdot \bar{\alpha}_i = \begin{cases} 1 + 0.5x & (0 \leq x \leq 0.2) \\ 1 + 1.5927x - 11.8519x^2 + 42.5833x^3 \\ - 59.4827x^4 + 30.1586x^5 & (0.2 < x < 1) \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 $x = \sum_{j=1}^{i-1} \frac{m_j}{M}$  (5)

本報では式(1)によって導かれる  $1/h\gamma_k$  の予測値と、時刻歴応答解析による結果を比較することにより応答予測式における精度の検証を行う。

### 3.2 ダンパーの直列ばね成分 $K_d$ を変化させた場合

ダンパーの直列ばね成分として設置されている  $K_d$  と粘性係数  $C_d$  の間には以下の関係式がある<sup>4)</sup>。

$$K_d = \beta \cdot C_d \quad (6)$$

ここで、 $\beta$ :粘性係数と直列ばね成分の剛性に関する係数であり、本検討では  $\beta = 2.7, 5.4, 7.2$  とし算出された  $K_d$  と  $K_d = \infty$  とした場合の 4 パターンを用いる。

本節では  $\beta$  の値を変えることで任意の粘性係数に対する直列ばね剛性  $K_d$  を変化させ、直列ばねが  $1/h\gamma_k$  に与える影響を検討する。図 5 に HACHINOHE を入力した場合の  $1/h\gamma_k$  の予測値と解析値の比較を示す。

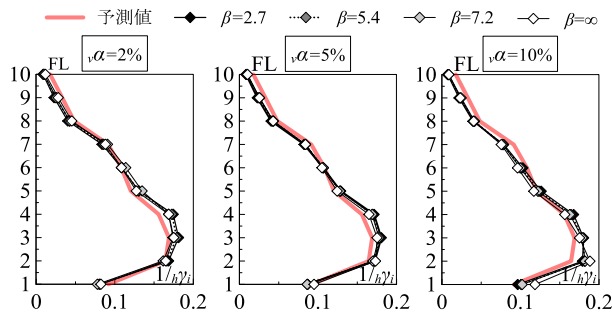
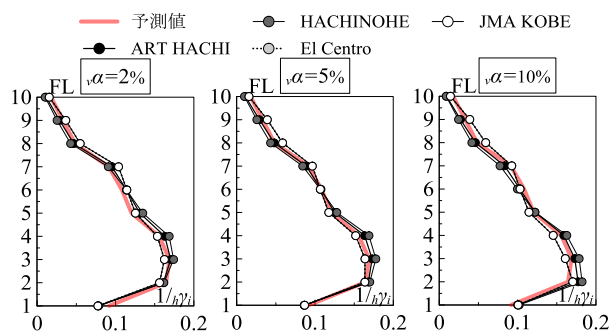


図5 エネルギー分散係数(HACHINOHE)

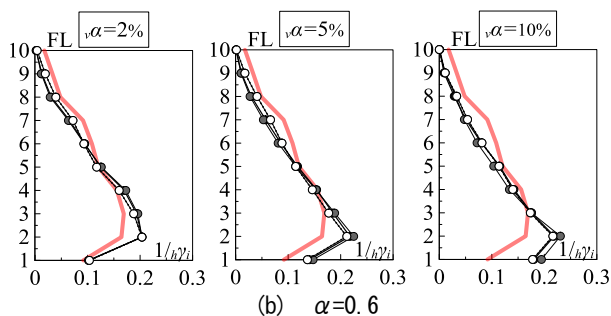
図5より、解析結果は $\nu\alpha$ が大きくなるに従いより下層にエネルギー吸収が集中する傾向がある。予測式は解析結果の傾向を概ね表現できている。予測値と応答解析による結果との対応に、直列ばねによる影響はほとんどないことが分かる。

### 3.3 速度に関する指数 $\alpha$ を変化した場合

本節では速度に関する指数 $\alpha$ の値を変化させ、非線形の粘性係数をもつ粘性ダンパーを用いた場合の予測精度を検証する。検討パラメータは $\alpha=1, 0.6$ とする。図6に結果を示す。式(1)による予測値を太線で示し、各地震動の解析結果をそれぞれ汎例に示す様にプロットする。なお、 $\beta=7.2$ とし、ART HACHI は  $V_E=120$  (cm/s) 一定としたものを代表として示す。



(a)  $\alpha=1$



(b)  $\alpha=0.6$

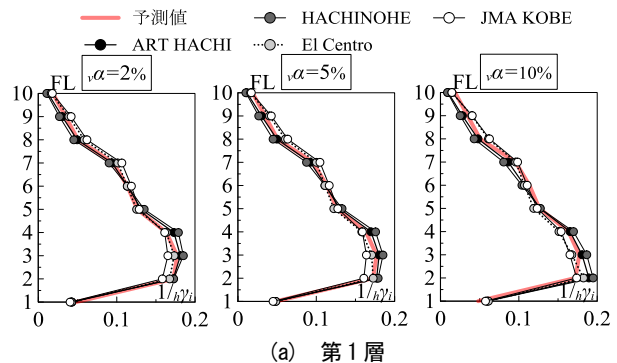
図6 エネルギー分散係数

図6より、 $\alpha=0.6$ の粘性ダンパーを使用した場合、最大エネルギー吸収層における予測式との誤差は40%程度であり、全検討地震動において $\alpha=1$ の場合に比べ解析値から外れる。また、解析結果において非線形の場合( $\alpha \neq 1$ )ではダンパー量が多い場合下層にエネルギー吸収が集中する傾向がより顕著に表れた。

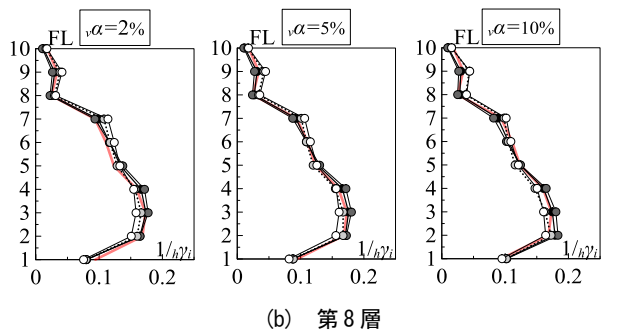
### 3.4 速度に関する指数 $\alpha$ を変化した場合

本節では、高さ方向のダンパー設定が理想的な配置<sup>3)</sup>から外れ

た特定層(以後、最弱層)が存在する場合の予測精度について検討する。最弱層に設置するダンパーの粘性係数は、理想的配置における粘性係数を0.5倍した値とし、 $\alpha=1$ を対象とする。最弱層は第1層、第8層を設置箇所とする。なお、 $\beta=7.2$ とし、ART HACHI は  $V_E=120$  (cm/s) 一定としたものを代表として示す。



(a) 第1層



(b) 第8層

図7 エネルギー分散係数

図7より、最弱層を設けた場合でも予測式は $1/h\gamma$ を十分評価できることがわかる。

## 4. まとめ

本報は、原田らが提案したダンパーのエネルギー分散係数を、非線形ダッシュポットを有する Maxwell モデルとした粘性ダンパーモデルによる、時刻歴応答解析との比較により予測精度及び適用範囲を検証した。また、上下層より粘性係数の小さい層を設けた場合の検討も行った。以下に得られた知見を示す。

- 直列ばねによる影響はほとんどない。
- ダンパー量が多いほど予測精度が下がる傾向がある。
- 非線形のダッシュポットをもつ粘性ダンパーを使用した場合、線形のダッシュポットの場合より予測精度が下がる。
- 上下層より粘性係数が小さい層を設けることによる予測精度への影響はほとんどない

## 謝辞

本研究は、新日鉄エンジニアリング株式会社、東京理科大学北村研究室、東京工業大学佐藤研究室によるエネルギー法研究会の成果の一部を用いたものです。ここに記して、謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 独立行政法人 建築研究所：鋼構造建築物へのエネルギー活用マニュアル—平成17年度国土交通省告示第631号「エネルギーの釣合に基づく耐震算法」に準拠して—、技報堂出版、2008.9
- 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472号 pp.57-66、1995.6
- 3) 有井季萌、佐藤大樹、北村春幸、松田頼征、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、2018.3
- 4) 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 2005.9

\*1 首都大学東京 (元東京理科大学) \*2 東京理科大学

\*3 東京工業大学 \*4 新日鉄住金エンジニアリング

\*1 Tokyo Metropolitan University (Ex-TUS) \*2 Tokyo University of Science

\*3 Tokyo Institute of Technology \*4 Nippon Steel & Sumikin Engineering Co, Ltd