

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3: ダンパー最大変形の分布による非線形エネルギー分配式 -
Title(English)	Prediction of Energy Distribution in Vibration Control Building with Viscous Dampers (Part3: Energy Distribution by The Distribution of Maximum Deformation of Dampers)
著者(和文)	陳正楽, 劉錫媛, 佐藤大樹
Authors(English)	Chen Zhengle, Xiyuan Liu, Daiki Sato
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 897-898
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, , , pp. 897-898
発行日 / Pub. date	2020, 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3：ダンパー最大変形の分布による非線形エネルギー分配式—

正会員 ○陳正樂 1\* 同 劉錫媛 1\*  
同 佐藤大樹 2\*\*

超高層制振建物 非線形粘性ダンパー ダンパー最大変形分布  
非線形エネルギー分配式

1. はじめ

近年、長周期地震動を受けた場合における1本あたりのダンパーのエネルギー吸収量に着目したダンパーの性能変化が建物応答の増大に与える影響についての研究を行っている<sup>[1-2]</sup>。しかし、1本あたりダンパーのエネルギー吸収量をどのように評価するかが困難である。佐藤らは、高さ方向におけるエネルギー分配式に基づき、1本あたりのダンパーのエネルギー吸収量で評価すると考えている。

本報その2<sup>[3]</sup>では、非線形粘性ダンパーにおいて、高さ方向におけるエネルギー分配式の予測精度を検証した。強い非線形を持つ粘性ダンパー ( $\alpha=0.20$ ) において、ダンパー量が大きい場合 ( $\alpha_{v1}=0.05$  と  $0.10$ ) では非線形エネルギー分配式(以下、非線形分配式と呼ぶ)がどの程度精度低下するか、粘性指数が大きい場合では非線形分配式による予測値が解析値を精度よく捉えていることを確認している。しかし、非線形分配式のダンパー最大変形は時刻歴解析の各層のダンパー最大変形を用いて算出している。よって、非線形分配式は設計に有用であるかが煩雑である。本報その3では、ダンパー最大変形の分布を用いて、非線形分配式を提案する。

2. 解析諸条件

2.1 建物概要

検討に用いる建物は高さ 81.7m、総質量 29517kN・s<sup>2</sup>/m、20層の部材構成モデルである。長辺方向を X 方向、短辺方向を Y 方向とする。本論文では X 方向を対象とする。建物の軸組図と基準階伏図を Fig.1(a), (b)に示す。主架構 (X 方向) の1次固有周期  $T_f$  は 2.29s である。なお、ダンパーによるエネルギー分配式を検討するため、構造減衰は 0 とし、主架構は弾性として解析を行う。

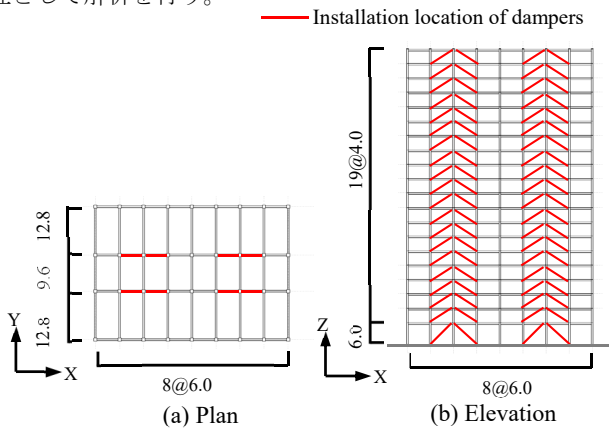


Fig.1 Elevation and plan (unit[m])

2.2 入力地震動概要

入力地震動として、コーナー周期  $T_c=0.64s$  以降の領域で、速度応答スペクトル  $S_v=100cm/s$  ( $h=5\%$ )となるレベル2相当の模擬地震波 Art-Hachi (位相特性: HACHINOHE 1968 EW)および長周期地震動 SAN<sup>[4]</sup>と CH1<sup>[4]</sup>を採用する。Fig.2(a), (b)に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。

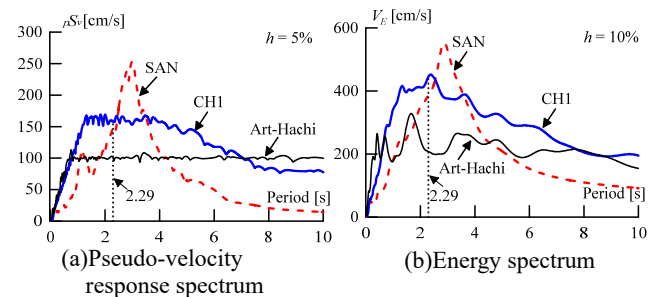


Fig.2 Response spectrum

2.3 粘性ダンパー概要

Fig.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。ダンパーの内部剛性  $\hat{K}_d$  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。 $\hat{K}_b^*$  は Eq.(1)で算出する。なお、 $\hat{K}_b^*$  の変化による、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文献[5]で確認されているため、ここで  $\hat{K}_b^*$  を剛とみなせる値 (内部剛性係数  $\beta=30000[m^{-2}/s^2]$ ) とする。なお、「^」は軸方向を表す。

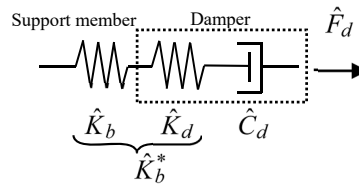


Fig.3 Connection of support member and damper

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

本報では、5 ケースの指数乗  $\alpha$  ( $= 1.00, 0.80, 0.60, 0.38, 0.20$ ) に対して第1層のダンパー量  $\alpha_{v1}$  を3 ケース

( $\alpha_{v1} = 0.01, 0.05, 0.10$ ) 設定した。ダンパー量の高さ方向分布は、第1層のダンパー量  $\alpha_{v1}$  を基準として地震層せん断力分布係数  $A_i$  の分布に基づいた設計用層せん断力比  $Q_i/Q_1$  を乗じ、1, 5, 9, 13, 17 層のダンパー量を決定する。毎4層は同様のダンパーを用いる。Fig.4 に高さ方向におけるダンパーの粘性係数比  $\hat{C}_{di}/\hat{C}_{d1}$  を示す。

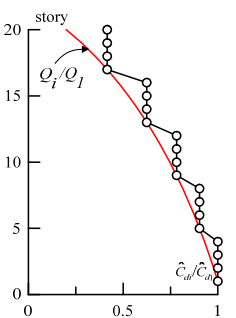


Fig.4 Ratio of viscosity coefficient of damper

### 3. ダンパー最大変形の分布による非線形分配式の検討

文献[3]で提案された非線形分配式を式(2)に示す。

$$\frac{1}{\gamma_{di}} = \frac{W_{di}}{\sum_{i=1}^N W_{di}} = \frac{s_i'' h_{eqi}}{\sum_{i=1}^N s_i'' h_{eqi}} \quad (2)$$

ここで、

$$h_{eqi} = \frac{\hat{C}_{eqi} f T_1}{4\pi M} \quad (3) \quad \hat{C}_{eqi} = \left( \frac{4e^{-0.24\alpha}}{\pi} \right) \hat{C}_{di} \omega^{\alpha-1} \hat{u}_{di,max}^{\alpha-1} \quad (4)$$

$$s_i'' = (\bar{\alpha}_{di})^2 \cdot \left( \frac{\sum_{j=1}^N m_j}{M} \right)^2 \cdot \left( \frac{\hat{K}_{di}''}{\hat{K}_{di}} \right)^2 \quad (5) \quad \hat{K}_{di}'' = \frac{\hat{F}_{di,max}}{\hat{u}_{di,max}} \quad (6)$$

$$\alpha_{di} = \frac{\hat{F}_{di,max}}{\sum_{j=1}^N m_j} \quad (7) \quad \bar{\alpha}_{di} = \frac{\alpha_{di}}{\alpha_1} \quad (8)$$

ここに、 $1/\gamma_{di}$  はエネルギー分散係数の逆数、 $f T_1$  は主架構の1次固有周期、 $M$  は主架構の総質量、 $m$  は第  $i$  層の主架構の質量、 $\omega$  は主架構の1次固有円振動数、 $\hat{K}_{di}''$  は第  $i$  層でのダンパー1本のダッシュボード軸方向損失剛性、 $\hat{F}_{di,max}$  は第  $i$  層でのダンパー1本のダッシュボード軸方向荷重、 $\hat{C}_{di}$  は第  $i$  層でのダンパー1本のダッシュボード軸方向粘性係数、 $\hat{u}_{di,max}$  はダンパー1本のダッシュボード軸方向の最大変形である。

文献[3]では、時刻歴解析より得られたダンパー最大変形  $\hat{u}_{di,max}$  を用いて、非線形分配式を算出している。これは設計に対して煩雑である。よって、解析より得られたダンパー最大変形の最大値 ( $\hat{u}_{d,max}$ ) で第  $i$  層ダンパーの最大変形 ( $\hat{u}_{di,max}$ ) を基準化した値  $\hat{u}_{di,max}/\hat{u}_{d,max}$  (以下、ダンパー最大変形の分布と呼ぶ) を用いて、非線形分配式を検討する。

式(5)に式(6), (7), (8)を代入すると、式(9)が得られる。

$$s_i'' = \left( \frac{\hat{u}_{di,max}}{\hat{u}_{d,max}} \right)^2 \quad (9)$$

式(2)に式(3), (4), (9)を代入すると、式(10)が得られる。

$$\frac{1}{\gamma_{di}} = \frac{\left( \frac{\hat{u}_{di,max}}{\hat{u}_{d,max}} \right)^{\alpha+1} \hat{C}_{di}}{\sum_{i=1}^N \left( \frac{\hat{u}_{di,max}}{\hat{u}_{d,max}} \right)^{\alpha+1} \hat{C}_{di}} \quad (10)$$

文献[6]に、地震波による  $1/\gamma_{di}$  の影響が少ないことを確認されているため、式(10)より、 $\hat{u}_{di,max}/\hat{u}_{d,max}$  が地震波に依存しないと考える。本節では、地震波が  $\hat{u}_{di,max}/\hat{u}_{d,max}$  に影響を与えるかは確認する。紙面の都合で、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。Fig.5 にダンパー最大変形の分布  $\hat{u}_{di,max}/\hat{u}_{d,max}$  を比較したものを示す。Fig.5 より、 $\hat{u}_{di,max}/\hat{u}_{d,max}$  は地震波に依存しないことが確認された。そのため、地震波による  $1/\gamma_{di}$  の影響は少ないことがわかった。

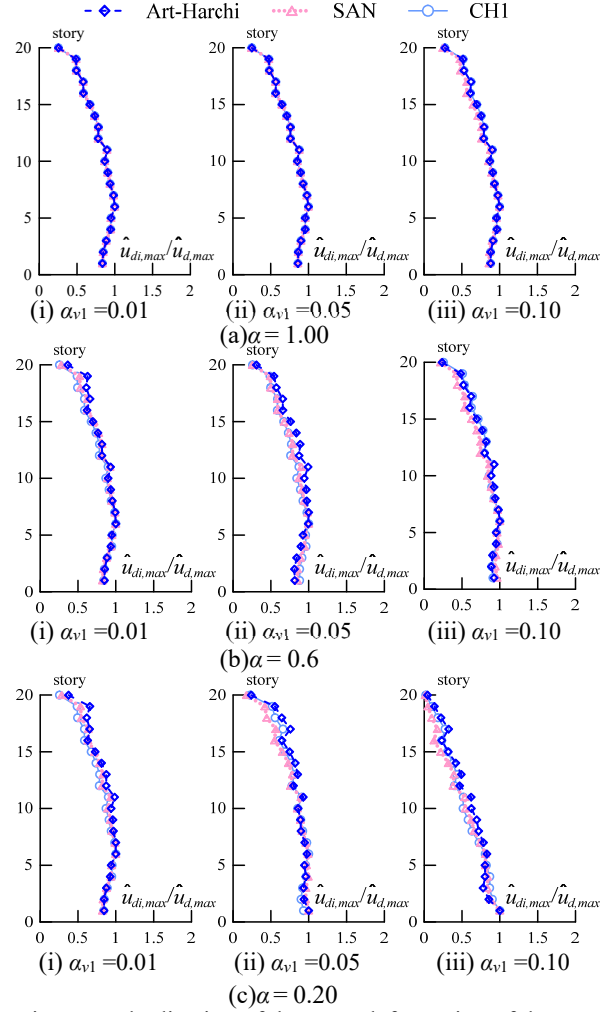


Fig.5 Standardization of the max. deformation of dampers

### 4. まとめ

本報では、ダンパー最大変形の分布によるエネルギー分配式を提案した。ダンパー最大変形の分布が地震波に依存しないことを確認した。

#### 謝辞

本研究の一部は、JST 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラムによるものです。

#### 参考文献

- [1] 佐藤大樹, 長山祥, 笠井和彦, 松田和浩: 長周期地震動時における粘性ダンパーの性能低下を考慮した制振構造建物の応答評価, 日本建築学会大会技術報告集, 24(56), 59-62, 2018.2
- [2] 劉錫媛, 佐藤大樹: 粘性ダンパーの性能低下が超高層建物の地震応答増大に与える影響分析, 構造工学論文集, Vol.66B, 331-338, 2020.3
- [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: 非線形粘性型までを対象としたエネルギー分配式, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 801-802, 2019.9
- [4] 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)
- [5] 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
- [6] 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), 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.409-412, 2019.3

\*東京工業大学 大学院生

\*\*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 Graduate Student, Tokyo Institute of Technology

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