

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |  |
|-------------------|--|
| 論題(和文)            | 下層部分配置した履歴型・粘性型ダンパーの実効変形比・等価繰返し数に着目したエネルギー吸収能力の検討  |
| Title             |  |
| 著者(和文)            | 加藤翼, 佐藤大樹, 佐藤利昭, 北村春幸, 長江拓也, 石井正人, 吉江慶祐  |
| Authors           | Daiki Sato, Toshiaki Sato, Haruyuki Kitamura, Takuya Nagae, Masato Ishii, Keisuke Yoshie               |
| 出典 / Citation     | 日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 781-782   |
| Citation(English) | , vol. B-2, , pp. 781-782  |
| 発行日 / Pub. date   | 2015, 9  |
| rights            | 日本建築学会   |
| rights            | 本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである   |
| relation          | isVersionOf: <a href="http://ci.nii.ac.jp/naid/110010005239">http://ci.nii.ac.jp/naid/110010005239</a> |

## 下層部分配置した履歴型・粘性型ダンパーの実効変形比・等価繰返し数に着目したエネルギー吸収能力の検討

高層建物 制振補強 部分配置  
履歴ダンパー 粘性ダンパー 長周期地震動

正会員○加藤 翼\*1 佐藤 大樹\*2 佐藤 利昭\*3  
北村 春幸\*3 長江 拓也\*4 石井 正人\*5  
吉江 慶祐\*5

## 1. はじめに

既存超高層建物の長周期地震動に対する耐震補強方法として、制振ダンパーを用いた制振補強の有用性が認められている。ただし、超高層建物に対して制振補強を施す場合、建築計画上のダンパー設置箇所の制約条件や主架構の全体曲げ変形による上層部のダンパーの移動効率の低下など課題が多い。そこで筆者らは、損傷の集中する傾向にある超高層建物の下層部(このみ履歴減衰型ダンパー(以後、履歴ダンパー)もしくは粘性減衰型ダンパー(以後、粘性ダンパー)を部分配置する下層部分制振補強を提案し、その応答低減効果や主架構への影響を検討してきた<sup>1)</sup>。

本報は、時刻歴応答解析を通して、下層部に部分配置した履歴・粘性ダンパーのエネルギー吸収能力をその評価指標に主眼を置いて検討した結果を報告するものである。

## 2. 解析条件概要

## 2.1 検討対象建物概要

検討用解析モデルは、1980年代以前に建設された初期の純ラーメン構造の超高層建物を想定した地上21階の鋼構造建物である<sup>1)</sup>。使用部材断面を表1に、検討モデルの軸組図、伏図および制振ダンパーの配置箇所を図1にそれぞれ示す。建物重量は、115346.5 kNである。解析には、剛床を仮定した3次元立体架構モデルを用い、X方向への1方向入力とした。構造減衰は、減衰定数 $h=2\%$ の初期剛性比例型とし、主架構のみに与える。なお、主架構は弾性とした。

表1 使用部材断面表

|    |                                     |
|----|-------------------------------------|
| 柱  | □-450x450x16x16 ~ □-600x600x40x40   |
| 大梁 | BH-600x250x12x19 ~ BH-600x300x12x32 |

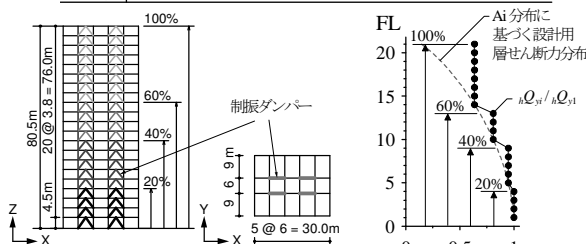


図1 対象建物の軸組図・伏図

図2 降伏層せん断力の分布

## 2.2 制振ダンパー概要

本報では、制振ダンパーを下層20%、40%、60%および全層100%に配置した場合を対象に検討を行う。履歴ダンパーを配置したモデルをH20、H40、H60、H100、粘性ダンパーを配置したモデルをV20、V40、V60、V100とダンパー配置層数によってそれぞれ呼び分ける。

以降、左添え字 $h$ 、 $v$ はそれぞれ履歴ダンパー、粘性ダンパーの値を意味する。

履歴ダンパーには、座屈拘束ブレースを採用し、塑性化部には、LY225材(降伏応力度225 N/mm<sup>2</sup>)を用いる。ダンパーの塑性化部長さは、部材長さの1/4とし、完全弾塑性型の復元力特性を用いる。議論を明確にするため、本研究では両ダンパーの支持部材を含む塑性化部以外を剛と仮定した。第1層のダンパーの降伏層せん断力 ${}_h Q_{y1}$ は、下式より算出する。

$${}_h Q_{y1} = {}_h \alpha_{y1} \sum_{i=1}^N m_i g \quad (1)$$

ここで、 ${}_h \alpha_{y1}$ :第1層のダンパーの降伏層せん断力係数、 $N$ :全層数、 $m_i$ :各層の質量、 $g$ :重力加速度であり、本報では、 ${}_h \alpha_{y1}$ を履歴ダンパーの投入量として用いる。各層のダンパーの降伏層せん断力 ${}_h Q_{yi}$ は、 ${}_h Q_{y1}$ を基準とし、 $A_i$ 分布に基づく設計用層せん断力分布をもとに図2に示すように4段階に分布した。

粘性ダンパーは、線形粘性ダッシュポットと弾性バネを直列結合したMaxwellモデルで構成する。内部剛性 ${}_v K_i$ は、粘性係数 $C_i$ を用いて算出した( ${}_v K_i = 9C_i$ )。非定常振動において最大層間変形 $\delta_{maxi}$ が発生した1ループにおけるダンパーの最大減衰力 ${}_v Q_{maxi}$ が、 $\delta_{maxi}$ を最大振幅とした定常振動における ${}_v Q_{maxi}$ と等しいと仮定すると、 ${}_v Q_{maxi}$ は固有円振動数 $\omega_0$ を用いて下式で表せる。

$${}_v Q_{maxi} = C_i \cdot \omega_0 \cdot \delta_{maxi} \quad (2)$$

本報では、最大層間変形角0.01 rad時の $\delta_{maxi}$ における1ループあたりのエネルギー吸収量 $W_{li}$ が履歴ダンパーと等しくなるように、粘性ダンパーを設定する。 $W_{li}$ はそれぞれ下式より算出される。なお、 ${}_h \delta_{yi}$ はダンパーの降伏変位である。

$${}_h W_{li} = 4 {}_h Q_{yi} (\delta_{maxi} - \delta_{yi}), \quad {}_v W_{li} = \pi {}_v Q_{maxi} \cdot \delta_{maxi} \quad (3a,b)$$

つまり、 $C_i$ は ${}_h Q_{yi}$ を用いて下式で表される。

$$C_i = \frac{4 {}_h Q_{yi} (\delta_{maxi} - \delta_{yi})}{\pi \cdot \omega_0 \cdot \delta_{maxi}^2} \quad (4)$$

## 2.3 解析用入力地震動概要

入力地震動には、速度応答スペクトルを0.8 m/sに基準化した告示波ART HACHI(位相特性:Hachinohe 1968 EW)およびART KOBE(位相特性:JMA KOBE 1995 NS)に加えて、長周期地震動として東海・南海地震の予測波C-SAN-EWを採用する。図3に速度応答スペクトル $S_v$ ( $h=5\%$ )およびエネルギースペクトル $V_E$ ( $h=10\%$ )をそれぞれ示す。

Investigation on Energy Absorbing Capacity of Hysteresis Damper and Viscous Damper Installed Partially Considering Effective Damper Deformation Ration and Number of Equivalent Repetitions.

KATO Tsubasa, SATO Daiki, SATO Toshiaki  
KITAMURA Haruyuki, NAGAE Takuya  
ISHII Masato, YOSHIE Keisuke

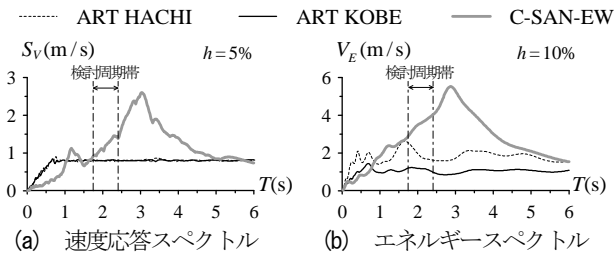


図3 入力地震動のスペクトル

3. 時刻歴応答解析に基づく応答評価

3.1 エネルギー吸収率と評価指標に関する考察

本節の検討では、 $h\alpha_{y1}=0.06$  を採用する。図4にC-SAN-EW入力時における入力エネルギー  $E$  に対するダンパーのエネルギー吸収率  $W_i/E$ 、層間変形角  $R$ 、実効変形比  $\alpha_e$ 、ダンパーの等価繰返し数  $n_i$  の高さ方向分布を示す。 $\alpha_e$  は最大層間変形に対するダンパーの最大変形の水平方向成分  $\delta_{dmaxi}$  の割合であり、 $n_i$  は下式で算出する。

$$h n_i = \frac{h W_i}{4 h Q_{yi} (\delta_{dmaxi} - h \delta_{yi})}, \quad v n_i = \frac{v W_i}{\pi_v Q_{maxi} \cdot \delta_{dmaxi}} \quad (5a,b)$$

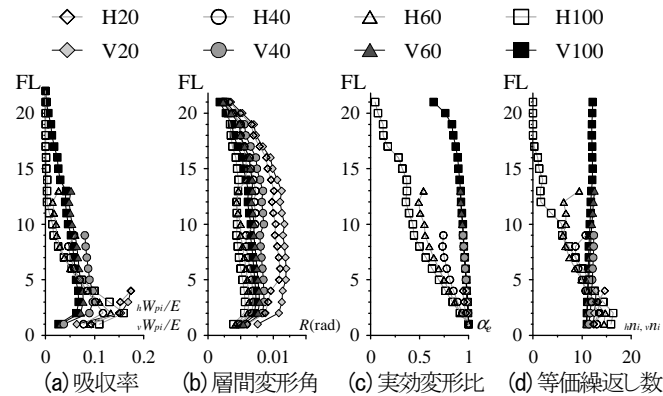


図4 応答性状の高さ方向分布 (C-SAN-EW 入力時)

図4(a)より、粘性ダンパーのエネルギー吸収率は、同図(b)の層間変形の大小に従っている。一方、履歴ダンパーは、下層部では粘性ダンパーを上回っているのに対して、上層部ではほとんどエネルギーを吸収していない。これは、同図(c)の実効変形比の低下が要因であると考えられる。履歴ダンパーの連層配置は、柱の軸伸縮を誘発し、主架構の全体曲げ変形を招きやすいが、部分配置を採用することで  $\alpha_e$  の改善が見られる。同図(d)より、履歴ダンパーの等価繰返し数は、下層部では粘性ダンパーを上回る一方で、上層部では大きく劣り、 $W_i/E$  と同様の傾向を示している。また、両ダンパーとも配置層数による  $n_i$  の大きな差異は認められなかったが、履歴ダンパーは部分配置した場合、切り替わり層における  $n_i$  の増大が確認された。

3.2 ダンパーの最大変形と等価繰返し数に関する考察

図5に各地震動入力時における各層の  $\delta_{dmaxi}$  と  $n_i$  を単位地震動の反復数  $f$  値<sup>2)</sup>で除した値  $n_i/f$  の関係を示す。本節では、 $h\alpha_{y1}=0.01, 0.03, 0.06$  の検討結果を示し、プロットは  $W_i/E$  の範囲で大別する。また、図中には、 $n_i/f=2.0$ <sup>3)</sup>の値を併記している。

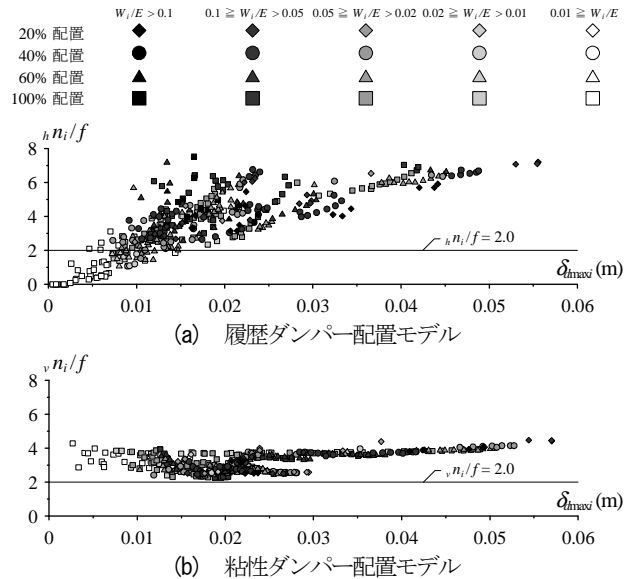


図5 ダンパーの最大変形と等価繰返し数の関係

図5(a)より、 $h n_i/f$  は、 $\delta_{dmaxi}$  の増加に伴い増大傾向を示しており、 $\delta_{dmaxi}$  が大きい範囲では  $v n_i/f$  より高い値となる。一方、入力レベルに対して  $h\alpha_{y1}$  が過大な場合や  $\alpha_e$  の低下により  $\delta_{dmaxi}$  が小さい上層部のダンパーにおいては  $h n_i/f=2.0$  を下回る結果を示した。 $n_i/f=2.0$  以下のダンパーは概ね  $h W_i/E \leq 0.02$  に属し、ほとんどエネルギーを吸収していないが、部分配置を採用することで  $h W_i/E=0.02$  を下回るプロットの数は大きく減少し、設置しているダンパーの効率的な稼働が認められた。同図(b)の  $v n_i/f$  は、ダンパーの配置層数や投入量、入力地震動によらず全層で安定して  $v n_i/f=2.0$  以上の値を示しており、 $\delta_{dmaxi}$  による増減は見られない。 $v W_i/E$  は、上層部のダンパーのみ  $0.02$  を下回る場合が確認されたが、履歴ダンパーと比べてその数は少なく、多くのダンパーが有効に機能している。

4. まとめ

履歴ダンパーは、大変形時において高い  $n_i/f$ 、 $W_i/E$  を示すが、 $\alpha_e$  の低下により  $\delta_{dmaxi}$  を稼げない上層部では  $W_i/E$  が著しく低減した。また、部分配置を採用することで  $\alpha_e$  が改善し、 $W_i/E$  の向上が確認された。一方、粘性ダンパーは、上層部における  $\alpha_e$  の低減量が小さく、ダンパー設定や入力地震動によらず全層で安定した  $n_i/f$ 、 $W_i/E$  を示した。

謝辞

本研究成果は、防災科学技術研究所と東京理科大学の共同研究の一部です。検討を進めるにあたり、日建設計、オイレス工業、東京理科大学による制振研究会では、貴重な助言を頂きました。また、本研究の一部は、社団法人日本鉄鋼連盟「鋼構造研究・教育助成事業」による「一般テーマ研究助成」によって実施されたものです。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 加藤翼, 佐藤大樹, 佐藤利昭, 長江拓也, 北村春幸, 石井正人, 吉江慶祐: オイル・鋼製ダンパーを用いた下層部分制振補強の効果と影響に関する検討, 日本建築学会技術報告集, 第21巻, 第48号, pp.533-538, 2015. 6
- 2) 秋山宏, 北村春幸: エネルギースペクトルと速度応答スペクトルの対応, 日本建築学会構造系論文集, 第608号, pp.37-43, 2006. 10
- 3) 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, 1999. 11

\*1 前田建設工業株式会社 (元東京理科大学)

\*2 東京工業大学

\*4 名古屋大学

\*3 東京理科大学

\*5 株式会社 日建設計

\*1 MAEDA Corporation

\*2 Tokyo Inst. of Technology

\*4 Nagoya Univ.

\*3 Tokyo Univ. of Science

\*5 NIKKEN SEKKEI Ltd.