

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |  |
|-------------------|--|
| 論題(和文)            | ダンパーを下層に部分配置した超高層鋼構造建物のエネルギーの釣合式に基づく応答評価   |
| Title             |  |
| 著者(和文)            | 橋本奨吾, 佐藤大樹, 北村春幸, 長江拓也, 石井正人, 吉江慶祐   |
| Authors           | daiki sato, Haruyuki Kitamura  |
| 出典 / Citation     | 日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 1043-1044   |
| Citation(English) | , vol. B-2, , pp. 1043-1044  |
| 発行日 / Pub. date   | 2013, 8  |
| 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/110009682888">http://ci.nii.ac.jp/naid/110009682888</a> |

ダンパーを下層に部分配置した超高層鋼構造建物のエネルギーの釣合式に基づく応答評価

超高層鋼構造建物のエネルギー法  
鋼製ダンパー部分配置  
時刻歴応答解析

正会員 橋本 奨吾\*1 佐藤 大樹\*1 北村 春幸\*1  
長江 拓也\*2 石井 正人\*3 吉江 慶祐\*3

1. はじめに

建物の耐震性能は、終局耐力と塑性変形能力（塑性エネルギー吸収量）の積により判定される。現在、このことを重点においた耐震計算法である、エネルギーの釣合に基づく応答予測法<sup>1)</sup>（以降、エネルギー法）が確立されている。秋山によって、全層にダンパーを設置した場合についてのエネルギー法は確立されているが、近年増加しているダンパーを部分的に配置した場合<sup>2)</sup>のエネルギー法は確立されていない。

したがって、本論文ではダンパー非設置層を柔剛混合構造にすることで、全層を柔剛混合構造とし、ダンパーを下層に部分配置した制振構造へエネルギー法を提案する。さらに、ダンパー非設置層における損傷評価を行うと同時に、ダンパー非設置層が塑性化しないためのダンパー耐力について検討する。

2. ダンパーの設計およびエネルギー法への適応

2.1 鋼製ダンパーの設計

エネルギースペクトルから得られる入力エネルギーの速度換算値  $V_E$  より、損傷に寄与するエネルギーの速度換算値  $V_D$  を算出し、ダンパー本数  $N$ 、等価繰り返し数  $n$  および、最大層間変形  $\delta_{max}$  を設定することでダンパー1本の降伏軸力  ${}_dF_y$  を次式で算出する<sup>3)</sup>。

$${}_dF_y = \frac{MV_D^2}{8n \cdot N \{ \delta_{max} \cos \theta - {}_d u_y \}} \quad (1)$$

ここで、 $M$ :全質量、 $\theta$ :ダンパーの取り付け角度、 ${}_d u_y$ :ダンパーの軸方向降伏変形とする。 $V_D$  は秋山によって、経験式が得られており、以下のように求めることができる<sup>1)</sup>。

$$V_D = \frac{V_E}{1 + 3h + 1.2\sqrt{h}} \quad (2)$$

ここで、 $h$ :構造減衰定数である。

2.2 復元力特性の置換<sup>3)</sup>

下層部のみにダンパーを部分配置した制振構造を秋山によって提案されているエネルギー法に適応するために、上層のダンパー非設置層を柔剛混合構造へ置換する必要がある。図1に、柔剛混合構造への置換方法を示す。図1(a)は、下層部にダンパーを部分配置したモデルを模式的に示したものであり、図1(b)は、全層を柔剛混合構造に置換した場合を示している。下層のダンパー設置層は、ダンパーを剛要素とし、主架構を柔要素とする（図1(b)）。一方、上層のダンパー非設置層は、図1(a)に示すように、弾塑性の主架構のみであるため、図1(b)のように柔剛混合構

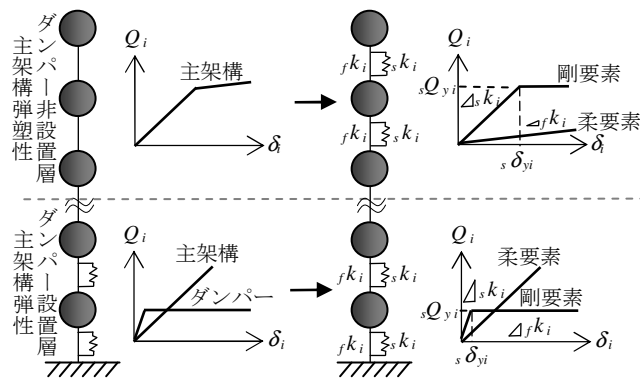


図1 柔剛混合構造への置換方法

造へ置換する。ここで、 $Q_i$ :各層の層せん断力、 ${}_s Q_{yi}$ :剛要素の降伏層せん断力、 ${}_s k_i$ :剛要素の1次剛性、 ${}_f k_i$ :柔要素の1次剛性、 $\delta_i$ :各層の変形、 ${}_s \delta_{yi}$ :剛要素の降伏変形を表す。

2.3 エネルギー配分

剛要素と柔要素の剛性比( ${}_s k_i / {}_f k_i$ )が全層で不均一な場合の柔剛混合構造における各層剛要素のエネルギー配分式を以下に示す。

$$\frac{1}{{}_s \gamma_i} = \frac{{}_s W_{pi}}{\sum_{i=1}^N {}_s W_{pi}} = \frac{{}_s s_i \cdot {}_s p_i^{-s, n}}{\sum_{i=1}^N ({}_s s_i \cdot {}_s p_i^{-s, n})} \quad (3)$$

$${}_s s_i = \left( \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{M} \right)^2 \cdot \bar{\alpha}_i^2 \cdot \frac{{}_s k_i + {}_f k_i}{{}_s k_i + {}_f k_i} \quad (4)$$

$${}_s p_i = \frac{{}_s \alpha_{yi} / {}_s \alpha_{y1}}{\bar{\alpha}_i} \quad , \quad {}_s \alpha_{yi} = \frac{{}_s Q_{yi} + ({}_f k_i \cdot {}_s \delta_{yi})}{\sum_{j=1}^N m_j \cdot g} \quad (5a, b)$$

ここで、 ${}_s \gamma_i$ :剛要素の損傷分散係数、 ${}_s W_{pi}$ :剛要素の累積塑性歪エネルギー、 ${}_s n$ :損傷集中指数、 $m_i$ : $i$ 層の質量、 $\bar{\alpha}_i$ :最適降伏層せん断力分布<sup>1)</sup>、 $g$ :重力加速度を表す。

3. 建物および検討用地震動概要

本論文では、 $C_0=0.3$  を用いて設計した 21 層鋼構造建物を使用する<sup>2)</sup>。図2に、建物概要を示す。弾性1次固有周期  $T_1$  は 2.41 秒である。解析は、剛床仮定とし、3次元立体部材モデルで行う。構造減衰は、主架構の  $T_1$  に対して 2% となる剛性比例型とする。下層 40% に鋼製ダンパーを設置したモデルを DS40 モデルとし、下層 20% に設置したモデルを DS20 モデルと呼ぶ。なお、式(1)のダンパー設計に用いる  $n$  は 5、 $\delta_{max}$  は層間変形角が 1/100 とし、 $L$  は材長の 1/4 とした。また、式(3)の  ${}_s n$  は 8<sup>1)</sup>を使用した。

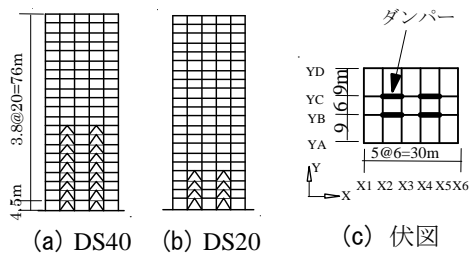


図2 建物概要

本論文で使用する地震波のうち ART 波については、速度応答スペクトル  $S_V=100\text{cm/s}$  と  $S_V=200\text{cm/s}$  に基準化した 2 種類を使用する。JMA KOBE を除く観測波については、最大速度を  $50\text{cm/s}$  と  $100\text{cm/s}$  に基準化した 2 種類を使用する。JMA KOBE については、原波と原波の加速度時刻歴を 2 倍した波を使用する。図 3 に、速度応答スペクトルとエネルギースペクトルを示す。

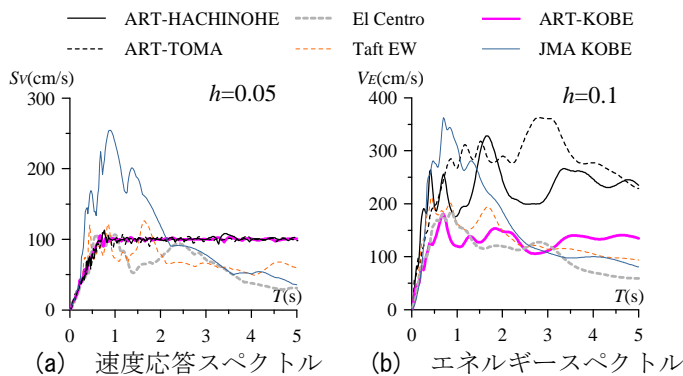


図3 スペクトル図

#### 4. エネルギー法と時刻歴応答解析結果の比較

##### 4.1 損傷分散係数の比較

図 4(a),(b)に、DS20 モデルにおける ART-TOMA の  $S_V=100\text{cm/s}$  および  $S_V=200\text{cm/s}$  を使用した場合の  $s_{\mathcal{H}}$  を示す。図 4(a)に着目すると、時刻歴応答解析およびエネルギー法ともに下層のダンパー（剛要素）のみにエネルギーが配分されていることが確認できる。一方、図 4(b)に着目すると、時刻歴応答解析およびエネルギー法ともに上層にエネルギーが大きく配分されていることが確認できる。これ

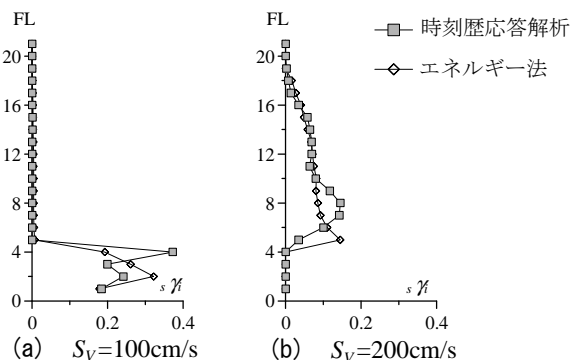


図4 損傷分散係数  $s_{\mathcal{H}}$  (ART-TOMA)

は、 $S_V=100\text{cm/s}$  の時における  $s_{F_y}$  が  $1522\text{KN}$  に対して、 $S_V=200\text{cm/s}$  の時における  $s_{F_y}$  が  $5970\text{KN}$  となっており、 $S_V=200\text{cm/s}$  の時の方が、上層に対して下層の耐力および剛性が相対的に大きくなったことが原因と考えられる。そこで、次節においてエネルギー法に用いる  $s_{p_i}$  (式(5a)) と時刻歴応答解析結果より得られる梁の累積塑性変形倍率  ${}_c\eta$  の関係に着目することで、ダンパー（剛要素）の耐力と上層の塑性化の関係性を導く。

##### 4.2 切り替え層における耐力比

図 5 に、切り替え層における  $s_{p_i}$  の比  $s_{p_i}/s_{p_{i-1}}$  (以降、 $s_{p_i}$  比 (DS40 モデルの場合  $s_{p_{10}}/s_{p_9}$ )) を横軸、ダンパー非設置層における梁の最大累積塑性変形倍率  ${}_c\eta$  を縦軸とした図を示す。図 5 より、 $s_{p_i}$  比が 5 を下回ると上層の梁が塑性化しているケースが多いことが確認できる。これは、ダンパーの耐力と切り替え層における主架構の耐力の比が 5 以下であると概ね捉えられる。したがって、上層の梁が塑性化しないためには、上層の主架構の耐力に対して、ダンパーの耐力を  $1/5$  以下にする必要があり、満たさない場合にはダンパー設置階数を増やす必要がある。

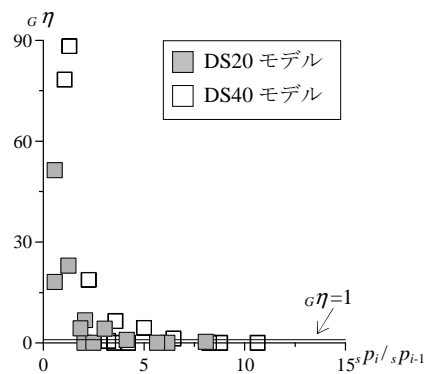


図5  $s_{p_i}/s_{p_{i-1}}$  と累積塑性変形倍率の関係

#### 5. まとめ

ダンパーを下層に部分配置した建物へエネルギー法を適用し、損傷評価を行うことで以下の知見を得た。

- ・ エネルギー法より算出した損傷分散係数  $s_{\mathcal{H}}$  を時刻歴応答解析と比較すると、概ね同等の結果を示すことを確認した。
- ・  $s_{p_i}$  と時刻歴応答解析より得られる梁の塑性率  ${}_c\eta$  に着目すると、 $s_{p_i}$  比が 5 を下回ると上層の梁が塑性化する傾向にあることを確認した。

#### 謝辞

本研究は、社団法人日本鉄鋼連盟 2011 年度「鋼構造研究・教育助成事業」による「一般テーマ研究助成」(研究代表者：佐藤大樹)によって実施いたしました。ここに記して謝意を表します。

#### 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，1999.11
- 2) 島田侑 他：超高層建物の下層階に部分配置する履歴型ダンパーの効果と影響に関する検討—長周期地震動を想定した耐震改修—，日本建築学会構造系論文集，第 649 号，2010.3
- 3) 橋本奨吾 他：ダンパーを下層に部分配置した超高層鋼構造建物のエネルギーに釣合に基づく応答予測法，日本建築学会関東支部研究報告集

\*1 東京理科大学

\*2 (独) 防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター

\*3 ㈱日建設計

\*1 Tokyo Univ. of Science

\*2 EERC, NIED

\*3 NIKKEN SEKKEI Ltd.