

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	粘性制震壁の配置位置及び設置タイプを考慮した超高層建物の性能評価
Title(English)	PERFORMANCE EVALUATION OF HIGH-RISE BUILDING CONSIDERING PLACEMENT AND ATTACH-TYPE OF VISCOUS WALL DAMPERS
著者(和文)	渡辺 重仁, 添田幸平, 佐藤大樹, 北村春幸, 石井正人, 吉江慶祐, 宮崎充, 佐々木和彦, 岩崎雄一
Authors(English)	Kohei Soeta, Daiki Sato, Haruyuki Kitamura, Masato Ishii, Keisuke Yoshie, Mitsuru MIYAZAKI, Kazuhiko Sasaki, IWASAKI Yuichi
出典(和文)	日本建築学会技術報告集, Vol. 19, No. 42, pp. 425-430
Citation(English)	AIJ Journal of Technology and Design, Vol. 19, No. 42, pp. 425-430
発行日 / Pub. date	2013, 6
権利情報	日本建築学会
Relation	<a href="https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/19/42/19_425/_article/-char/ja/">https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/19/42/19_425/_article/-char/ja/</a>
Note	本文データは学協会の許諾に基づきJ-STAGEから複製したものである

# 粘性制震壁の配置位置及び設置タイプを考慮した超高層建物の性能評価

# PERFORMANCE EVALUATION OF HIGH-RISE BUILDING CONSIDERING PLACEMENT AND ATTACH-TYPE OF VISCOUS WALL DAMPERS

渡辺重仁 — \* 1 添田幸平 — \* 2  
佐藤大樹 — \* 3 北村春幸 — \* 4  
石井正人 — \* 5 吉江慶祐 — \* 5  
宮崎 充 — \* 6 佐々木和彦 — \* 6  
岩崎雄一 — \* 6

Shigehito WATANABE — \* 1 Kohei SOETA — \* 2  
Daiki SATO — \* 3 Haruyuki KITAMURA — \* 4  
Masato ISHII — \* 5 Keisuke YOSHIE — \* 5  
Mitsuru MIYAZAKI — \* 6 Kazuhiko SASAKI — \* 6  
Yuichi IWASAKI — \* 6

キーワード：  
超高層建物, 制震構造, 粘性制震壁, 配置位置, 設置タイプ,  
時刻歴応答解析, 性能評価

Keywords:  
High-rise building, Passive control structure, Viscous wall damper,  
Placement, Attach-type, Dynamic response analysis, Performance  
evaluation

This paper describes the passive control design performance evaluation method which is considering the influence of the wall viscous damper placement in the high-rise building. The passive control design performance can be evaluated from only two-types of static analysis results without using time history response analysis results. These static analyses can estimate the upper and lower limit of the ratio of the effective deformation as evaluation index of performance. Validity of this evaluation method is demonstrated by comparing with the time history analysis results.

## 1. はじめに

制震(振)構造は地震動による主架構の応答低減に有効であり、近年広く普及している。制震建物の制震性能はダンパーの設置状況により変化することが知られている(例えば<sup>1,2</sup>)。ダンパーの種別、構造形式は様々であるが、本報では、速度に依存して減衰力を発揮する粘性制震壁を対象とする。制震壁の特徴は、大梁の回転が実効変形(骨組に生じる変形のうち制震部材に有効に働く変形)に影響を及ぼすことであり<sup>3</sup>、ブレースダンパーと大きく異なる点である。また、制震壁をスパンの中央や片側に偏在させて設置するといった、制震壁の設置タイプに関する研究は、部材実験を中心に報告されており、設置タイプが部分架構に影響を及ぼすことが確認されている(例えば<sup>3,4</sup>)。しかし、制震壁の設置タイプが全体架構の制震性能に及ぼす影響に関する研究は僅かである(例えば<sup>5</sup>)。

一方、筆者らの一部は、制震建物の制震性能を向上させるために、実効変形比(層間変形に対する実効変形の割合)を多く確保することが重要であることを確認し、静的解析結果から得られる骨組特性値<sup>6</sup>を用いた制震性能評価方法を提案している<sup>1</sup>。この方法は静的解析から得られる実効変形比の上限値および下限値を制震性能評価指標として、効率的なダンパーの配置を判断するものである。しかし、文献1)では履歴型ブレースダンパーを設置した超高層建物を対象としているため粘性制震壁についての検討は行われていない。

本報では、粘性制震壁の配置位置および設置タイプが超高層建物の制震性能に及ぼす影響を、部材モデルの静的解析結果を用いた制震性能評価方法により評価することを目的とする。さらに、時刻歴

応答解析結果と静的解析より得られた評価指標と比較することで、本評価手法の有用性を示す。

## 2. 解析概要および制震壁の性能設計

### 2.1 検討対象建物の概要

検討対象建物<sup>1)</sup>は地上30階、高さ121.5mの超高層鋼構造建物とする。図1に示すように階高は1階のみが5.5m、他の階は4mである。平面形状は基本スパンが長辺方向(X方向)では6.4m、短辺方向(Y方向)では中央部で6m、その他で12.8mから構成された32m x 38.4mの矩形であり各階同一とする。部材断面は標準せん断力係数 $C_0 = 0.2$ の設計用地震力に対して許容応力度設計を行い決定した。検討対象建物の柱および梁の部材断面を表1に示す。架構のX方向の弾性1次固有周期 $T_{f1}$ は4.48sである。解析はX方向を対象とし、剛床を仮定した立体部材モデルで行う。スラブの合成効果は梁の曲げ剛性のみ考慮し、その剛性増大率は両側スラブ付の梁で1.8倍、片側スラブ付の梁で1.4倍とする。基礎部には地盤の上下方向の剛性を表現するバネを挿入する。また、構造減衰は主架構の $T_{f1}$ に対して2%となる剛性比例型とする。本報では、各制震モデルにおけるダンパーの制震効果を確認するため、主架構は弾性とする。

表1 部材断面一覧

部材	断面
内柱	□-600 x 600 x 22 ~ □-600 x 600 x 50
外柱	□-550 x 550 x 22 ~ □-550 x 550 x 50
大梁	WH-600 x 200 x 12 x 19 ~ WH600 x 250 x 12 x 25

### 2.2 制震壁の概要

図1に示すように、制震壁はY2およびY3通りに各層4基ずつ設

<sup>1</sup> 東京工業大学大学院総理工学研究所 大学院生 (元 東京理科大学) (〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259)

<sup>2</sup> 久米設計構造設計部 修士(工学) (元 東京理科大学)

<sup>3</sup> 東京理科大学理工学部建築学科 助教・博士(工学)

<sup>4</sup> 東京理科大学理工学部建築学科 教授・博士(工学)

<sup>5</sup> 日建設計構造設計部 博士(工学)

<sup>6</sup> オイレス工業

<sup>1</sup> Graduate Student, Dept. of Environmental Science and Technology, Tokyo Institute of Technology

<sup>2</sup> Kume Sekkei, M. Eng.

<sup>3</sup> Assistant Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Eng., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

<sup>4</sup> Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Eng., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

<sup>5</sup> Structural Engineering Dept., Nikken Sekkei, Dr. Eng.

<sup>6</sup> Oiles Corporation

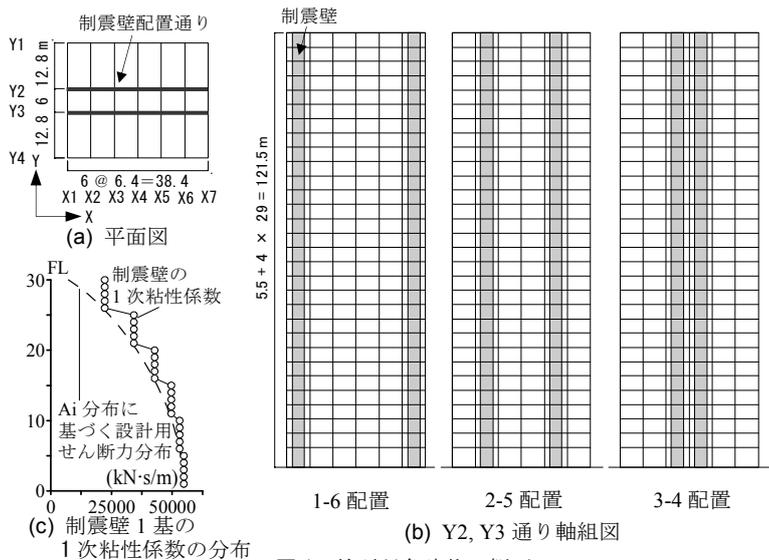


図1 検討対象建物の概要

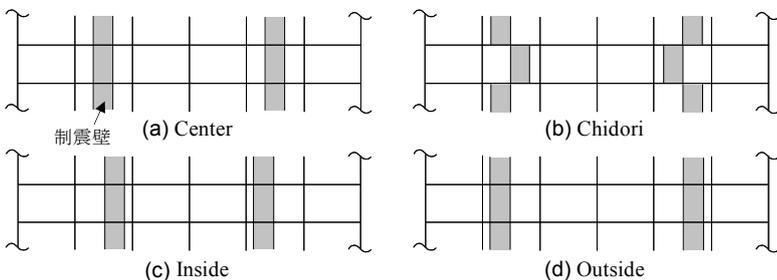


図2 設置タイプ

置する。また、制震壁の配置位置として、3種を用いる。内側のスパンに制震壁を配置するものから3-4配置、2-5配置、1-6配置と呼ぶ。さらに、それぞれの配置位置に対して、図2(a)～(d)に示す4種の設置タイプを用いる。制震壁をスパン中央に設置するものをCenter、スパンに千鳥配置するものをChidori、スパンの内側に設置するものをInside、スパンの外側に設置するものをOutsideと呼び、本報では合計12ケースの制震モデルを用いて検討する。なお、ChidoriおよびInside(Outside)は制震壁を中央からそれぞれ、1.08m、1.62m移動させている。制震壁の付帯梁の影響を表現するため、制震壁が設置されている範囲の大梁の有効断面を増大させる<sup>3)</sup>。そのため、Chidoriの範囲は他の設置タイプの2倍となる。増大率は全層の平均値を用いて、主架構の大梁の断面2次モーメントを14.8倍、断面積を3.4倍とする。

本報では、制震壁を図3に示すように、付帯梁から各階中央まで伸ばした剛域の先端に非線形ダッシュポット(図4)を設置してモデル化する<sup>2),3)</sup>。図4に非線形ダッシュポットの粘性抵抗力と速度の関係を示す。制震壁1基当たりの粘性抵抗力 $F_{d1}$ (kN)、 $F_{d2}$ (kN)は、1次粘性係数 $C_{d1}$ 、2次粘性係数 $C_{d2}$ およびダッシュポットの速度 $V_d$ (m/s)を用いて、式(1a,b)でそれぞれ表される。

$$F_{d1} = C_{d1}V_d \quad |V_d|/D < 1(1/s) \quad (1a)$$

$$F_{d2} = C_{d2}V_d^{0.59} \quad |V_d|/D \geq 1(1/s) \quad (1b)$$

ここで、 $D$ :せん断隙間(=0.004m)である。さらに、粘性係数 $C_{d1}$ 、 $C_{d2}$ は、せん断面積 $S$ ( $m^2$ )および粘性体温度 $t$ (=20°C)を用いて式(2a,b)によりそれぞれ表される。

$$C_{d1} = 41.16e^{-0.043t}(S/D) \quad (2a)$$

$$C_{d2} = 41.16e^{-0.043t}(S/D)^{0.59} \quad (2b)$$

図1(c)に示すように、制震壁の1次粘性係数の高さ方向分布を、

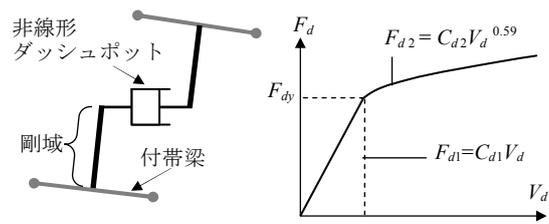


図3 制震壁のモデル化

図4 制震壁の粘性抵抗力

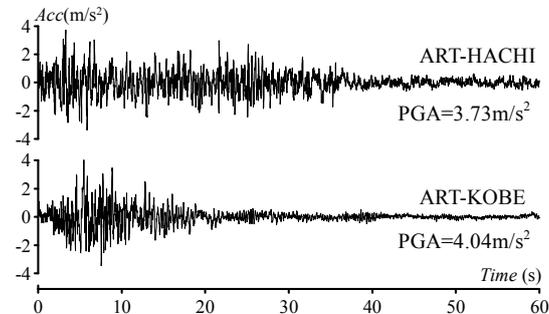


図5 入力地震動の加速度時刻歴波

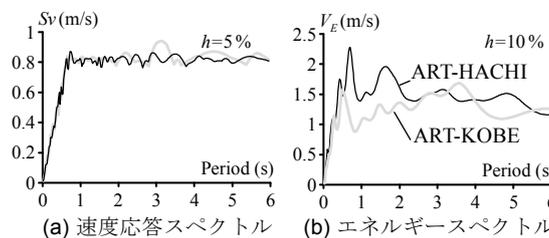


図6 入力地震動のスペクトル

$A_i$ 分布に基づくせん断力分布に対して5層毎の6段階とする。本報では、第1~5層の制震壁のせん断面積 $S$ を $12.58m^2$ ( $2.2m \times 2.86m$ , 2面せん断;付図A参照)と想定する。このとき $C_{d1}=54800kN \cdot s/m$ ( $4 \cdot C_{d1} \cdot \omega_n / K_{f1} = 0.38$ ;  $\omega_n$ :制震壁非設置時の弾性1次固有円振動数 $K_{f1}$ :主架構第1層の層剛性)である。本報では、上記の $C_{d1}$ および $C_{d2}$ に係数 $\beta_c$ を乗じることで制震壁の設置量を変化させ、 $\beta_c = 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5, 1.75, 2.0$ 倍の8ケースを設定する。以後、 $\beta_c$ を粘性係数倍率と呼ぶ。

### 2.3 入力地震動概要

本報では、建物周期のばらつきに対する影響の少ない解放工学的基盤における告示波を用いることにし、その位相特性として、設計で用いられていることが多いHACHINOHE 1968 EWおよびJMA KOBE 1995 EWを採用する(以後、ART-HACHIおよびART-KOBE)。図5に入力地震動の加速度時刻歴波形、図6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 $V_E$ ( $h=10\%$ )を示す。

## 3. 骨組特性値に基づく制震性能評価

### 3.1 骨組特性値 $\alpha_N$ および擬似ブレース剛性 $K_{bs}$ の算出

本報では、文献6)の手法を用いて、図7に示すように部材モデルからせん断モデルへの変換過程で算出される骨組特性値 $\alpha_N$ 、 $K_{bs}$ を制震性能評価に用いる。以下に、骨組特性値の算出手順を示す。

図7に示すせん断モデルの、擬似ダンパーの1次粘性係数 $C_{ds}$ および擬似ブレース剛性 $K_{bs}$ は、それぞれ次式で算出される。なお、添字 $s$ はせん断モデルの要素であること示す。

$$C_{ds} = \alpha_N^2 \cdot C_d, \quad K_{bs} = \alpha_N^2 \cdot K_{AT} \quad (3a,b)$$

式(3a,b)中の $\alpha_N$ および $K_{AT}$ は、非線形ダッシュポットを設置していない部材モデル(非制震モデル)に対する静的解析(状態 $N$ 解

析：図 8 (a) と、各節点の水平変位を固定して非線形ダッシュポット設置位置に外力を作用させた解析 (状態  $T$  解析：図 8 (b)) の結果を用いて、式 (4a,b) により算出される。

$$\alpha_N = \frac{i \delta_{dN}}{i \delta_N}, K_{aT} = \frac{i F_{dT}}{i \delta_{dT}} \quad (4a,b)$$

ここで、 $\delta_i$ ：非線形ダッシュポット設置位置の相対変形の水平成分、 $\delta$ ：層間変形、 $F_d$ ：非線形ダッシュポットが負担する水平力、右下の添字  $N$  および  $T$  は、状態  $N$  および状態  $T$  の計算値であることを示す。また、状態  $N$  解析での外力分布は  $A_i$  分布に基づくせん断力分布、状態  $T$  解析での非線形ダッシュポット設置位置に作用させる外力分布は全層一律分布とする。骨組特性値  $\alpha_N$  は非線形ダッシュポット設置位置における相対変形の水平成分の層間変形に対する比であり、擬似ブレース剛性  $K_{bs}$  は非線形ダッシュポット設置位置の架構の曲げ剛性を表現する。

### 3.2 せん断モデルの実効変形比 $\alpha_{es}$

3.1節で述べた手法により作成した、せん断モデル (図7 (b)) における定常振動時の実効変形比  $\alpha_{es}$  は、式 (5) のように表される。

$$\alpha_{es} = \frac{\delta_{d,max}}{\delta_{s,max}} = \alpha_N \cdot \left( \frac{\delta_{ds,max}}{\delta_{s,max}} \right) \quad (5)$$

ここで、右下の添字  $max$  は各値の最大値であることを示す。さらに、式 (5) の右辺括弧内は、図 7 (b) における Maxwell モデルの変形

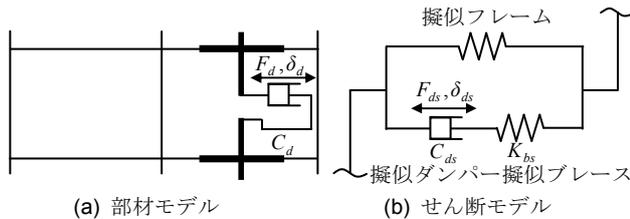


図 7 部材モデルとせん断モデルの対応

$\delta_{s,max}$  と非線形ダッシュポットの変形  $\delta_{ds,max}$  の比であり、定常振動時においては、式 (6a,b) で表される<sup>7)</sup> (文献 7) では、 $u_{d0}/u_{a0}$  と表記)。

$$\frac{\delta_{ds,max}}{\delta_{s,max}} = \frac{1}{\sqrt{1+\lambda^2}}, \lambda = \frac{C_{ds1} \cdot \omega_1}{K_{bs}} \quad (6a,b)$$

したがって、式 (5) は式 (6a,b) を用いて次式のようになる<sup>8)</sup>。

$$\alpha_{es} = \frac{\alpha_N}{\sqrt{1+(C_{ds1} \cdot \omega_1 / K_{bs})^2}} \quad (7)$$

式 (7) より、 $C_{ds1}$  の増加により  $\alpha_{es}$  が低下することが分かる。特に  $K_{bs}$  が小さい場合には  $C_{ds1}$  の増加に伴う  $\alpha_{es}$  の減少が顕著となる。

### 3.3 $\alpha_N$ , $K_{bs}$ および $\alpha_{es}$ の高さ方向分布

図 9 に  $\alpha_N$ ,  $K_{bs}$  および  $\alpha_{es}$  の高さ方向分布を示す。図 9 (a) に Center における制震壁の配置位置別、図 9 (b) に 2-5 配置における制震壁の設置タイプ別の高さ方向分布を示す。なお、 $\alpha_{es}$  は粘性係数倍率  $\beta_C$  が 0.25, 0.75, 1.25, 1.75 の 4 ケースを示す。図 9 (a) より、 $\alpha_N$  は 1-6, 2-5, 3-4 配置の順に大きくなっていることが確認できる。また、いずれの配置位置においても、 $\alpha_N$  は上層ほど減少し、その傾向は制震壁を外側のスパンに配置するほど顕著である。 $K_{bs}$  は、 $\alpha_N$  と同様に

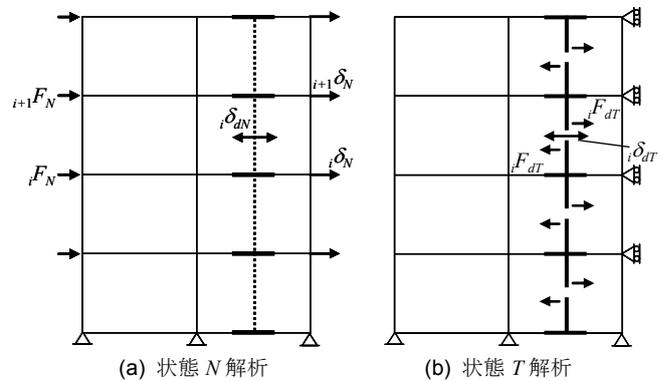


図 8 状態  $N$ ,  $T$  解析の概要

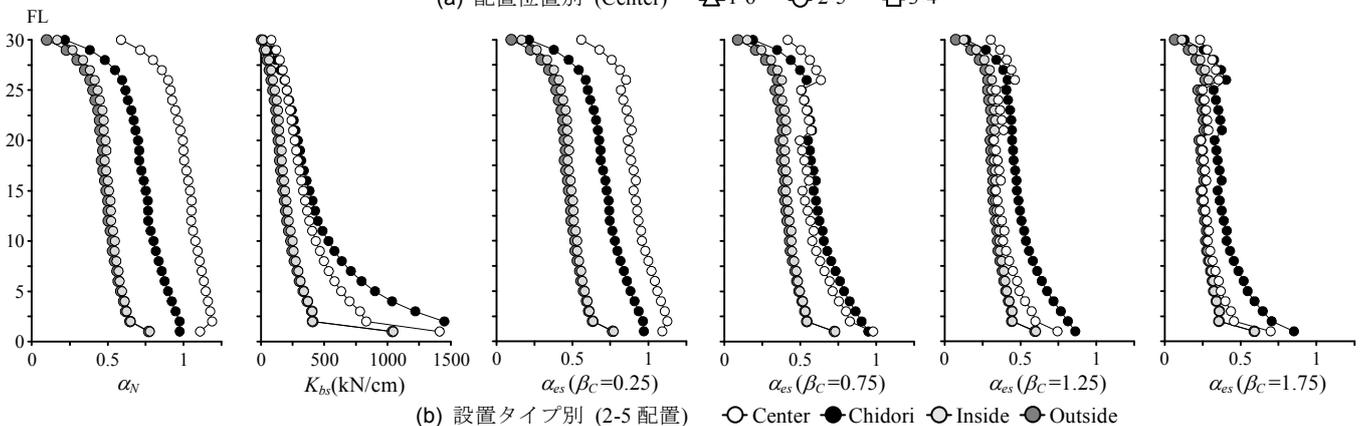
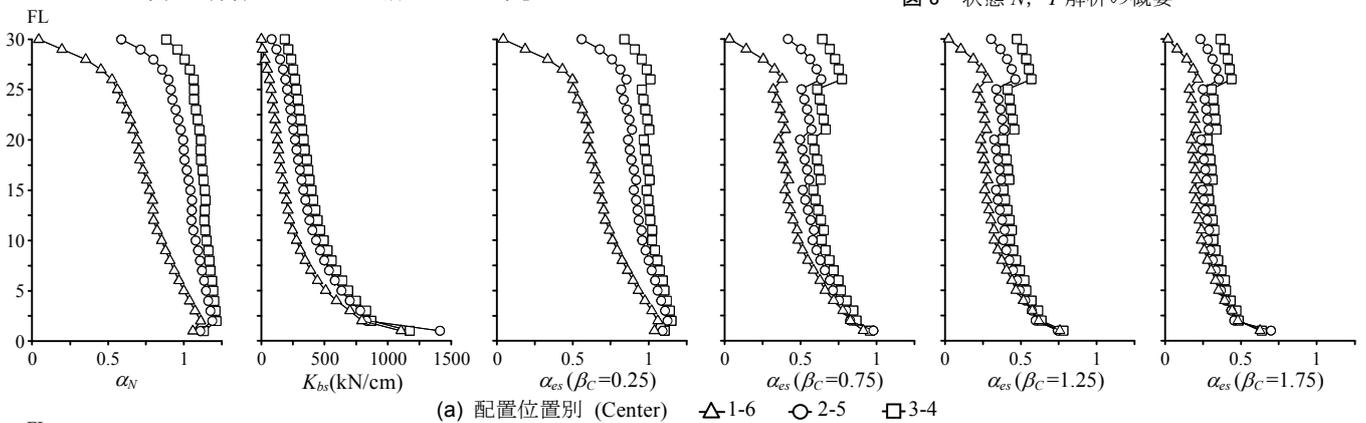


図 9  $\alpha_N$ ,  $K_{bs}$  および  $\alpha_{es}$  の高さ方向分布

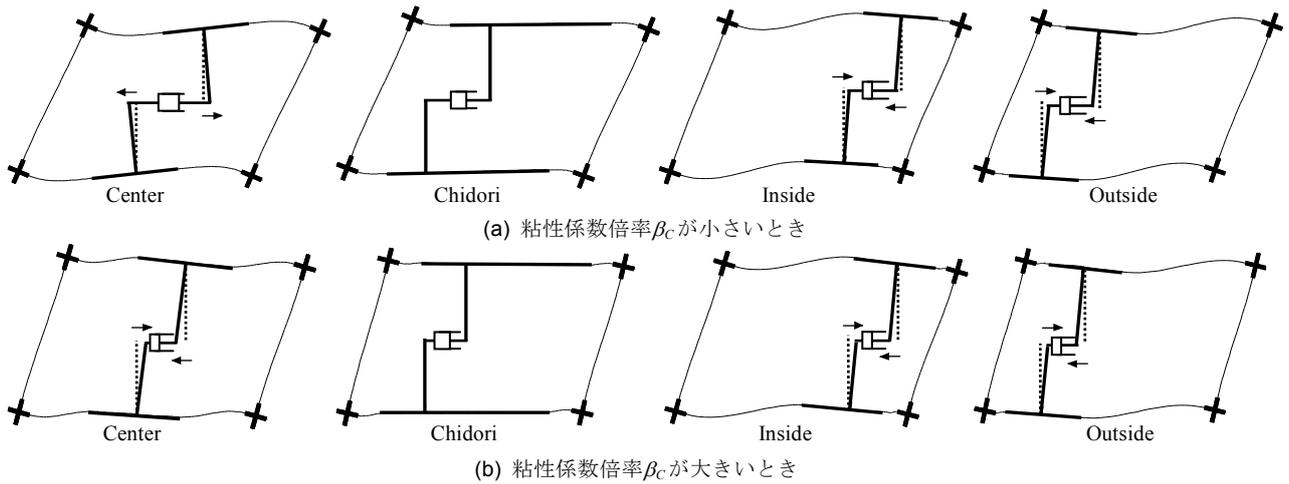


図 10 架構変形概念図

1-6, 2-5, 3-4 配置の順に大きくなっていることが分かる。 $\alpha_{es}$  は  $\alpha_N$  および  $K_{bs}$  と同様に  $\beta_C$  にかかわらず 1-6, 2-5, 3-4 配置の順に大きな値を示す。この原因は制震壁を内側のスパンに配置するほど、全体曲げの影響が小さくなるためと考えられる。これは架構の曲げ剛性を表す  $K_{bs}$  が大きな値を示すことにより表現される<sup>1)</sup>。この傾向は、Center 以外の設置タイプにおいても、同様であることを確認している。以上より、配置位置別において、制震壁を内側のスパンに配置するほど、制震性能が高いことが確認できる。

図 9 (b) より、 $\alpha_N$  は Outside, Inside, Chidori, Center の順に大きくなり、Center においては  $\alpha_N$  が 1 を越えることが確認できる。 $K_{bs}$  は  $\alpha_N$  とは異なり Outside, Inside, Center, Chidori の順に大きくなっている。 $\alpha_{es}$  に着目すると、 $\beta_C$  の小さいときは  $\alpha_N$  と同様に Outside, Inside, Chidori, Center の順に  $\alpha_{es}$  は大きな値を示している。 $\beta_C$  を増加させると  $K_{bs}$  と同様に Outside, Inside, Center, Chidori の順に  $\alpha_{es}$  は大きな値を示すことが分かる。したがって、設置タイプ別において、 $\beta_C$  の小さいときは Center で、 $\beta_C$  の大きいときは Chidori の制震性能が最も高いことが分かる。なお、2-5 配置以外の配置位置においても同様の傾向が得られている。以上より、配置位置別の検討とは異なり、設置タイプ別においては、制震性能の優劣は粘性係数倍率  $\beta_C$  によって変化することが確認される。

### 3.4 変形図を用いた考察

3.3 節で示したように、制震壁の設置タイプにより制震性能に優劣が生じる原因は、架構のせん断変形に伴う、制震壁設置箇所における大梁の回転の大きさおよび方向が異なるためである。図 10 に各設置タイプの架構変形概念図を示す。 $\beta_C$  が及ぼす影響を確認するため、 $\beta_C$  が小さいときおよび  $\beta_C$  が大きいときの 2 ケースを示す。

Center では、 $\beta_C$  の小さいとき、大梁は実効変形を増加させる方向に回転しており (図 10 (a))、実効変形がせん断変形を越えることが確認できる。これは Center のみの特徴であり、 $\alpha_N$  が 1 を越えることにより表現されている (図 9 (b))。このため、 $\beta_C$  の小さいとき、Center において、最も高い制震性能が得られる。しかし、 $\beta_C$  の増加に伴い、曲げ戻しモーメントが増加し、大梁の回転は実効変形を減少させる方向に変化することが分かる (図 10 (b))。一方、Chidori は、他の設置タイプに比べて付帯梁の範囲が広い (2.2 節)、 $\beta_C$  の大きいときでも大梁の回転が小さく実効変形が低下しにくい。この特徴は、Chidori において、 $\alpha_N$  が比較的大きく  $K_{bs}$  が大きな値を示すことにより表現されている (図 9 (b))。したがって、Chidori は  $\beta_C$  の大きいとき、最も制震性能が高くなる。Inside および Outside において、大梁は  $\beta_C$  にかかわらず、実効変形を損なう方向に回転し

ていることが分かる。この特徴は、 $\alpha_N$  および  $K_{bs}$  が最も低い値を示すことにより表現されている (図 9 (b))。このため、Inside および Outside において制震性能は他の設置タイプに比べて低くなる。

## 4. 時刻歴応答解析による制震性能評価

本章では、部材モデルを用いた時刻歴応答解析により、粘性制震壁を設置した超高層建物の制震性能を評価し、前章で述べた骨組特性値に基づく評価との関係を示す。

### 4.1 応答値の高さ方向分布

図 11 に ART-HACHI を入力し、設置タイプを Center とした、配置位置別の応答値の高さ方向分布を示す。ここでは、粘性係数倍率  $\beta_C$  は 0.25, 1.75 の 2 ケースを示す。図には非制震モデルの応答値も併せて示す。検討する応答は、層間変形角  $R$ 、各層の制震壁のエネルギー吸収量  $w_d$ 、実効変形比  $\alpha_e$  (非線形ダッシュポットの最大変形を最大層間変形で除した値) とする。また、制震性能として層間変形角および制震壁のエネルギー吸収量に着目する。

図 11 より  $R$  に着目すると、いずれの  $\beta_C$  においても 1-6, 2-5, 3-4 配置の順に、応答低減効果が高いことが分かる。 $w_d$  に着目しても、 $\beta_C$  にかかわらず、下層を除き 1-6, 2-5, 3-4 配置の順に、 $w_d$  が高くなっていることが確認できる。以上より、骨組特性値に基づく制震性能評価と同様に、配置位置別において、制震壁を内側のスパンに配置するほど、制震性能が高いことが分かる。 $\alpha_e$  に着目しても図 9 (a) の  $\alpha_{es}$  と同様に、 $\beta_C$  にかかわらず、制震壁を内側のスパンに配置するほど  $\alpha_e$  は大きな値を示している。

図 12 に ART-HACHI を入力し、配置位置を 2-5 配置とした、設置タイプ別の応答値の高さ方向分布を示す。 $\beta_C$  は 0.25, 1.75 の 2 ケースを示す。図 12 より、 $R$  に着目すると、 $\beta_C$  の小さいとき ( $\beta_C=0.25$ ) は Outside, Inside, Chidori, Center の順に、 $\beta_C$  の大きいとき ( $\beta_C=1.75$ ) は Outside, Inside, Center, Chidori の順に、 $\beta_C$  の大きいとき  $\beta_C=1.75$ ) は Outside, Inside, Center, Chidori の順に  $w_d$  が高いことが確認できる。したがって、設置タイプ別においても、骨組特性値に基づく制震性能評価と同様に、 $\beta_C$  の小さいとき Center で、 $\beta_C$  の大きいときは Chidori で最も制震性能が高いことが分かる。 $\alpha_e$  に着目しても、図 9 (b) の  $\alpha_{es}$  と同様に、 $\beta_C$  の小さいときは Center で、 $\beta_C$  の大きいときは Chidori で  $\alpha_e$  は大きな値を示していることが確認できる。さらに図 9 (b)  $\alpha_{es}$  と同様に、 $\beta_C$  の小さいときの Center において、 $\alpha_e$  は 1 を越えることが分かる。

図 13 に ART-KOBE を入力し、配置位置を 2-5 配置とした、設置

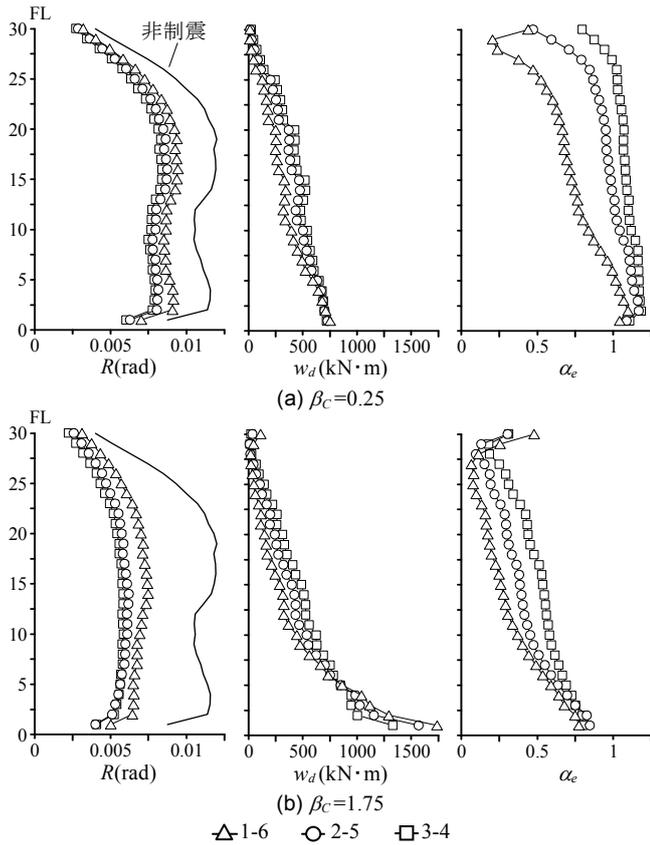


図 11 配置位置別の高さ方向分布 (Center, ART-HACHI)

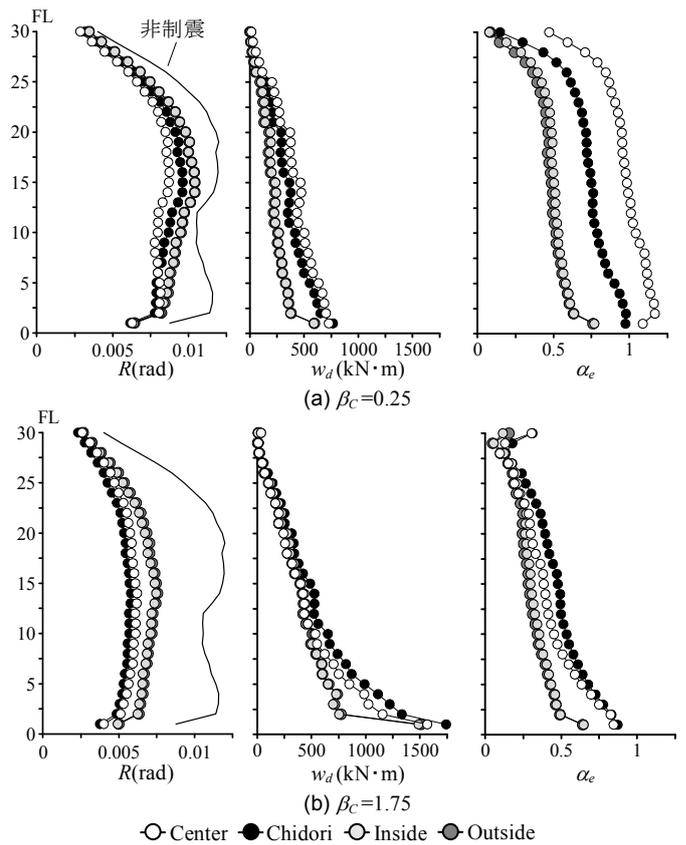


図 12 設置タイプ別の高さ方向分布 (2-5 配置, ART-HACHI)

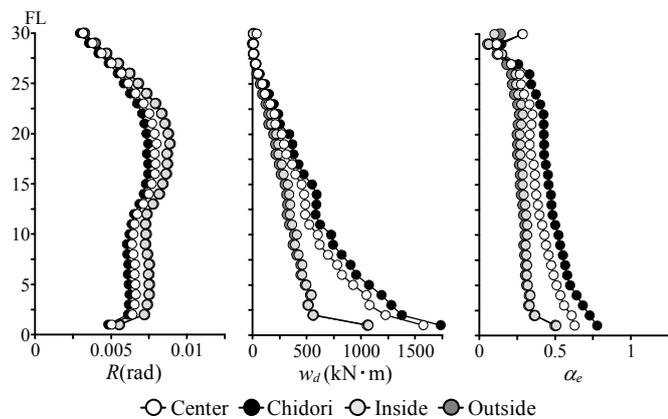


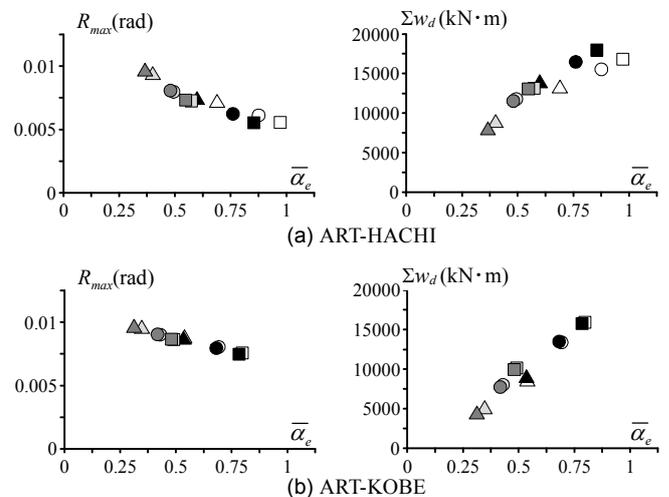
図 13 設置タイプ別の高さ方向分布 (2-5 配置,  $\beta_c=1.75$ , ART-KOBE)

タイプ別の応答値の高さ方向分布を示す。 $\beta_c=1.75$ のみ示す。図 13 より、 $R$  および  $w_d$  に着目すると、Outside, Inside, Center, Chidori の順に制震性能が高いことが分かる。 $\alpha_e$  に着目すると、ART-KOBE を入力した場合においても、ART-HACHI を入力した結果と同様に Outside, Inside, Center, Chidori の順に  $\alpha_e$  が大きな値を示している。

#### 4.2 実効変形比と応答値との関係

図 14 に粘性係数倍率  $\beta_c=1.0$  における実効変形比と応答値との関係を示す。図 14 (a) に ART-HACHI, 図 14 (b) に ART-KOBE を入力した結果を示す。横軸に示す  $\bar{\alpha}_e$  は、制震壁のエネルギー吸収量の総和が概ね90%を占める、1~20層の実効変形比の平均値である。検討する応答は、層間変形角  $R$  の全層における最大値  $R_{max}$  および各層の制震壁のエネルギー吸収量の総和  $\Sigma w_d$  とする。

図 14 (a) より、 $R_{max}$  に着目すると、 $\bar{\alpha}_e$  が大きな値を示す制震壁の設置状況ほど  $R_{max}$  が低減している。 $\Sigma w_d$  に着目しても、 $\bar{\alpha}_e$  が大き



タイプ 配置	Center	Chidori	Inside	Outside
1-6	△	▲	△	▲
2-5	○	●	○	●
3-4	□	■	□	■

図 14  $\alpha_e$  と応答との関係 ( $\beta_c=1.0$ )

な値を示す制震壁の設置状況ほど  $\Sigma w_d$  が大きな値を示している。図 14 (b) より、ART-KOBE を入力した結果においても、ART-HACHI を入力した結果と同様の傾向が得られている。以上より、 $\bar{\alpha}_e$  の大きな値を示す制震壁の設置状況ほど制震性能は高くなっており、さらに、 $\bar{\alpha}_e$  の大小関係より制震壁の設置状況による制震性能の優劣を評価できるといえる。ここでは、 $\beta_c=1.0$  の結果を示しているが、いずれの  $\beta_c$  においても同様の傾向を示すことを確認している。

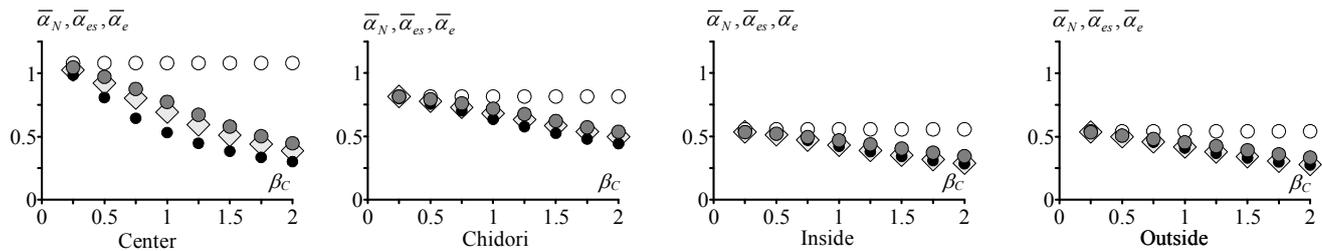


図 15  $\bar{\alpha}_e$  と  $\bar{\alpha}_N$ ,  $\bar{\alpha}_{es}$  の関係 (2-5 配置) ○  $\bar{\alpha}_N$  ●  $\bar{\alpha}_{es}$  ●  $\bar{\alpha}_e$  (ART-HACHI) ◇  $\bar{\alpha}_e$  (ART-KOBE)

### 4.3 制震性能評価指標と応答解析結果との関係

図 15 に、ART-HACHI および ART-KOBE における、設置タイプごとの  $\alpha_e$ ,  $\alpha_{es}$  および  $\alpha_N$  の関係について示す。ここでは、横軸に粘性係数倍率  $\beta_c$  ととり、縦軸は  $\alpha_e$ ,  $\alpha_N$  および  $\alpha_{es}$  の 1~20 層の平均値  $\bar{\alpha}_e$ ,  $\bar{\alpha}_N$  および  $\bar{\alpha}_{es}$  とする。図 15 より、いずれの設置タイプにおいても、 $\beta_c$  の増加に伴い時刻歴応答解析よりもとまる実効変形比  $\bar{\alpha}_e$  が、上限値である  $\bar{\alpha}_N$  から下限値を表す  $\bar{\alpha}_{es}$  に近づくことが分かる。つまり、いずれの設置タイプにおいても、 $\bar{\alpha}_e$  は  $\bar{\alpha}_N$  および  $\bar{\alpha}_{es}$  の間の値となる。 $\bar{\alpha}_{es}$  が  $\bar{\alpha}_e$  の下限を示すのは、式 (5) に示す  $\bar{\alpha}_{es}$  が定常振動を仮定しており、さらに非線形ダッシュポットの 1 次粘性係数を用いているためである。

さらに、各設置タイプにおける  $\bar{\alpha}_N$  と  $\bar{\alpha}_{es}$  の幅に着目すると、Center は、他の設置タイプに比べて、実効変形比の上限値を表す  $\bar{\alpha}_N$  と下限値を表す  $\bar{\alpha}_{es}$  の幅が広いことが分かる。つまり、Center は  $\beta_c$  の増加に伴う  $\bar{\alpha}_e$  の減少が、他の設置タイプに比べて大きいと判断できる。一方、Inside および Outside は、 $\bar{\alpha}_N$  と  $\bar{\alpha}_{es}$  の幅が狭く、 $\beta_c$  の増加に伴う  $\bar{\alpha}_e$  の減少が鈍いことが分かる。ただし、Inside および Outside の実効変形比の上限値を表す  $\bar{\alpha}_N$  が 0.5 程度であるため、いかなる  $\beta_c$  においても、高い制震性能は期待できない。それに対し、Chidori は、 $\bar{\alpha}_N$  が約 0.8 と比較的高く、かつ  $\bar{\alpha}_N$  と  $\bar{\alpha}_{es}$  の幅が狭いため、 $\beta_c$  にかかわらず高い制震性能が期待できる。

以上のように、骨組特性値に基づく  $\bar{\alpha}_N$  と  $\bar{\alpha}_{es}$  の値および幅に着目することで、粘性制震壁を設置した超高層建物の定性的な制震性能を評価することが可能である。なお本報では、各モデルの制震効果を確認するために主架構を弾性とした。制震壁を設置した大梁に大きな応力が生じ、梁端が塑性することで制震性能が低下することが予想される。これについては、今後検討を進めていく予定である。

## 5. おわりに

本報では、粘性制震壁の配置位置および設置タイプが超高層建物の制震性能に及ぼす影響を、部材モデルの静的解析結果から得られる骨組特性値に基づく制震性能評価指標により評価した。加えて、時刻歴応答解析結果と比較することで、本評価手法の有用性を示した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 粘性制震壁を設置した超高層建物の制震性能は、制震壁の配置位置を内側に配置するほど高い。さらに、設置タイプにおいて、制震壁の設置量の少ないときは Center、制震壁の設置量の多いときは Chidori で制震性能が高い。
- (2) 制震壁の設置タイプにより制震性能に差が生じる原因は、制震壁設置箇所における大梁の回転の大きさおよび方向が異なるためである。この制震壁の設置状況による制震構造の特性変化は、骨組特性値  $\alpha_N$  および擬似ブレース剛性  $K_b$  により表現できる。
- (3) 骨組特性値に基づく実効変形比の上下限値と時刻歴応答解析結果とを比較することで、骨組特性値に基づく制震性能評価

の有用性を確認した。本手法を用いることで、粘性制震壁を設置した超高層建物の定性的な制震性能を評価することができる。

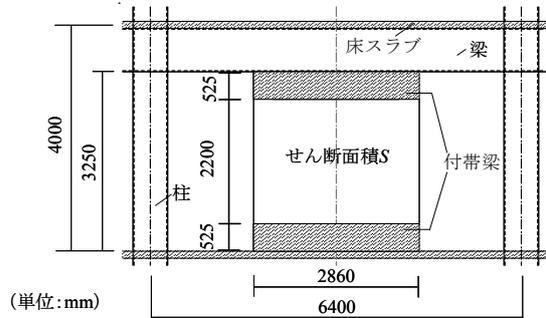
### 謝辞

本研究は、(株)日建設計、オイレス工業(株)、東京理科大学北村研究室による共同研究の成果の一部を用いたものです。

### 参考文献

- 1) 古谷慶, 添田幸平, 佐藤大樹, 北村春幸, 石井正人, 吉江慶祐, 宮崎充, 佐々木和彦, 岩崎雄一: 実効変形比に着目した履歴ダンパーを有する超高層建物の制震性能評価, 構造工学論文集, Vol.58B, pp.197-207, 2012.3
- 2) 三浦晴史, 大宮幸, 石井正人, 寺本隆幸: 粘性壁ダンパーの制振効果に関する研究(その1,2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.765-768, 2003.7/同(その3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.99-100, 2004.8/同(その1, その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.943-946, 2005.9
- 3) 長田修一, 長島和央, 池永雅良, 鈴木清春, 澤田毅, 和田章: 制震壁を設置した 1/2 縮小フレーム動的加力試験(その 1-3), 日本建築学会大会学術梗概集, B-2, pp.507-512, 2009.8/同(その 4), 日本建築学会大会学術梗概集, B-2, pp.567-568, 2010.9
- 4) 吉敷祥一, 鴨下直登, 和田章: 制振壁の復元力と層間変形を受ける柱梁部分架構の弾塑性挙動に関する実験, 日本建築学会構造系論文集, No.671, pp.95-105, 2012.1
- 5) 梁川幸盛, 宇佐美佑人: 粘性制振壁の設置形式を考慮したパラメータスタディ, 日本建築学会大会学術梗概集, B-2, pp.505-506, 2009.8
- 6) 石井正人, 笠井和彦: 多層制振構造の時刻歴解析に用いるせん断棒モデルの提案, 日本建築学会構造系論文集, 第 647 号, pp.103-112, 2010.1
- 7) 笠井和彦, 西村忠宗: 減衰力が速度にバイリニア的に比例するオイルダンパーをもつ制振構造の等価線形化手法, 日本建築学会構造系論文集, 第 583 号, pp.44-54, 2004.9
- 8) 添田幸平, 佐藤大樹, 北村春幸, 石井正人, 吉江慶祐, 宮崎充, 佐々木和彦, 岩崎雄一: 連層配置した履歴型ダンパーと粘性型ダンパーが超高層建物の制振効果に与える影響, 日本建築学会技術報告集, No.39, 2012.6

### 付録 A せん断面積 $S$ が $12.58 \text{ m}^2$ ( $\beta_c=1.0$ ) の制震壁の寸法



付図 A せん断面積  $S$  が  $12.58 \text{ m}^2$  の制震壁の寸法

[2012年6月20日原稿受理 2012年8月7日採用決定]