

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	2059 骨組特性値に基づく超高層制振建物の性能評価：その1 履歴ダンパーによる検討(構造)
Title	
著者(和文)	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
Authors	Kohei Soeta, daiki sato, Haruyuki Kitamura, Mitsuru MIYAZAKI, Kazuhiko Sasaki, IWASAKI Yuichi
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, Vol. 81, No. 0,
Citation(English)	, Vol. 81, No. 0,
発行日 / Pub. date	2011, 2
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/110008730299">http://ci.nii.ac.jp/naid/110008730299</a>

## 骨組特性値に基づく超高層制振建物の性能評価 その1 履歴ダンパーによる検討

構造一振動  
 準会員 ○ 古谷慶<sup>\*1</sup> 正会員 添田幸平<sup>\*1</sup> 同 佐藤大樹<sup>\*1</sup>  
 同 北村春幸<sup>\*1</sup> 同 石井正人<sup>\*2</sup> 同 吉江慶祐<sup>\*2</sup>  
 同 宮崎充<sup>\*3</sup> 同 佐々木和彦<sup>\*3</sup> 同 岩崎雄一<sup>\*3</sup>

超高層建物 制振構造 履歴ダンパー  
 ダンパー配置 部材レベル 時刻歴応答解析

### 1. はじめに

制振構造は、主架構の損傷により耐震性を確保する耐震構造の弱点を改善する構造形式である。主架構の代わりに地震エネルギーを吸収する制振構造は、現在までに多く設計され、超高層建物から既存建物の制振改修まで適応されている。

制振部材を設置した建物の制振効果を確認するためには、時刻歴応答解析による検討が必要となる。本報では、建物に対して制振部材を入れる際に、地震波に影響せず、動的解析を用いず、静的解析のみから、制振部材が有効に働く配置および量を決定することを目的とし検討する。また、制振部材の配置および量を主架構の静的解析から得られる、骨組特性値<sup>1), 2)</sup>を用いて評価検討する。

本報その1では、架構剛性の異なる3つの架構を用いて、制振部材の配置位置、ダンパー量を変えたときの応答性状の違いについて示す。本報その2では、架構特性の異なる3つの架構を用いて、制振部材の配置位置が制振効果に及ぼす影響について、骨組特性値と応答解析結果の相関関係から評価する。

### 2. 検討建物・解析用入力地震動の概要

本報で検討する超高層建物の平面図と軸組図を図1に示す。検討に用いる主架構は純ラーメン架構の地上30階鋼構造である。階高は1階のみが5.5m、他の階は4mであり、平面形状は各階同一とする。主架構は、剛性の異なる3種を設計した。検討建物の部材断面一覽を表1に、主架構3種の1次固有周期および重量を表2に、層剛性の高さ方向分布を図2に示す。各主架構の表記名は、主架構

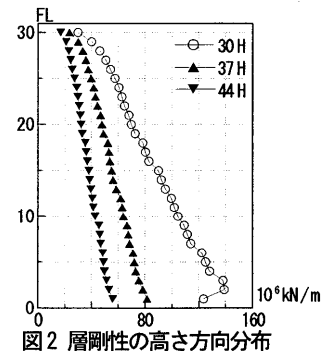
面一覽を表1に、主架構3種の1次固有周期および重量を表2に、層剛性の高さ方向分布を図2に示す。各主架構の表記名は、主架構

表1 検討建物の部材断面一覽

30H	内柱	□-600×600×19	～	□-600×600×45
	外柱	□-600×600×19	～	□-600×600×45
	大梁	WH-850×200×16×19	～	WH-850×300×16×25
37H	内柱	□-600×600×22	～	□-600×600×50
	外柱	□-550×550×22	～	□-550×550×50
	大梁	WH-600×200×12×19	～	WH-600×250×12×25
44H	内柱	□-550×550×22	～	□-550×550×45
	外柱	□-500×500×19	～	□-500×500×45
	大梁	WH-500×200×12×16	～	WH-500×250×12×22

表2 主架構のみの諸元

モデル	$T_1$ (sec)	重量(kN)
30H	3.55	259712
37H	4.47	253239
44H	5.36	247056



のみの状態における1次固有周期 $T_1$ が建物高さ $H$ に対して、 $T_1=0.030H, 0.037H, 0.044H$ となることから30H, 37H, 44Hとした。図2より、30H, 37H, 44Hの順に架構の剛性が低減していることが確認できる。解析はX方向への一方向入力とし、剛床を仮定し

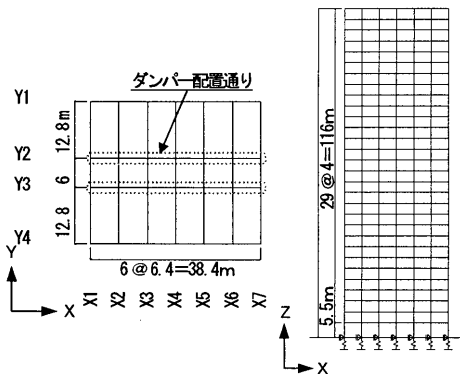


図1 平面図と軸組図

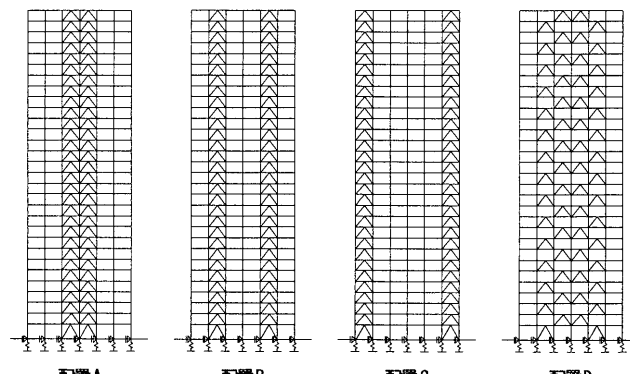


図3 ダンパー配置

た立体部材モデルで行う。また、主架構は弾性とし、構造減衰は剛性比例の2%とした。

制振部材は、Y2およびY3通りに配置する(図1)。また、図3に示すように制振部材は連層配置の3パターンおよび千鳥配置の1パターンの計4パターンとする。配置する履歴ダンパーには、降伏応力度225N/mm<sup>2</sup>の座屈拘束型ブレースを用いる。ダンパーの高さ方向の降伏耐力分布は、A<sub>i</sub>分布に基づく設計用層せん断力分布をもとに5段階とした(図4)。図4の横軸は第1層のダンパー降伏耐力、 $Q_{y1}$ に対する各層のダンパー降伏耐力、 $Q_{yi}$ の比率である。 $Q_{y1}$ と第1層のダンパーの降伏せん断力係数、 $\alpha_{y1}$ の関係は次式で表される。

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

ここで、 $g$ : 重力加速度、 $m_i$ :  $i$ 層の質量である。

また、本報で用いる履歴ダンパーは、塑性化部と弾性部で構成される。解析で1本の部材としてモデル化する場合、等価弾性係数  $E'$  および等価剛性  $K'$  はそれぞれ次式で表される。

$$E' = E \cdot \lambda, \quad K' = \frac{AE'}{L} \quad (2a-b)$$

$$\lambda = \frac{A_1}{A_c} \left[ 1 + \left( \frac{L_c}{L} \right) \cdot \left( \frac{A_1}{A_c} \right) - \left( \frac{L_c}{L} \right) \right] \quad (3)$$

ここに、 $E$ : 鋼材の弾性係数、 $A$ : 鋼材の断面積、 $L$ : 柱・梁芯間長

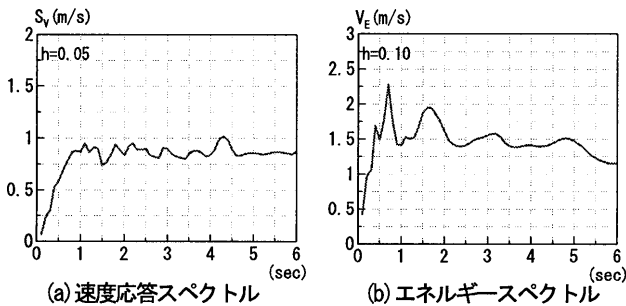


図5 地震動ART HACHIのスペクトル

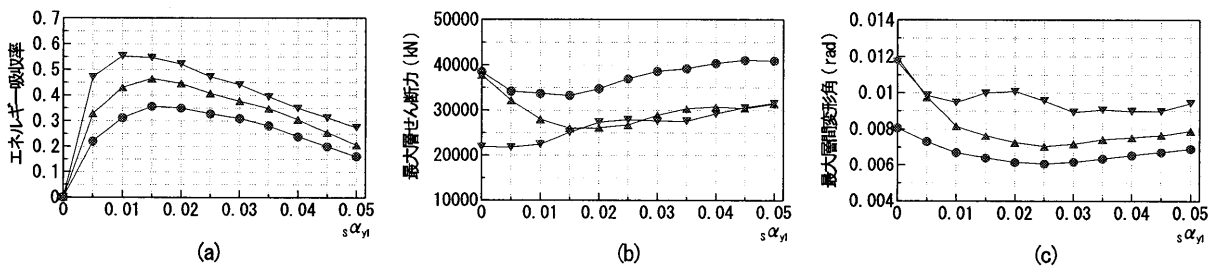


図6 地震応答性状・架構別(パターンB) ● B-30H ▲ B-37H ▼ B-44H

さ、 $A_1$ : 弾性部断面積、 $A_c$ : 塑性化部断面積、 $L_c$ : 塑性化部長さである。本報では、 $A_1/A_c=2$ 、 $L_c/L=1/3$  とし、式(3)より、 $\lambda=E'/E=1.5$  とした。

本報の解析用入力地震動は、ART HACHINOHE (位相特性: HACHINOHE 1968 EW)を採用する。図5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. 架構剛性とダンパー配置が制振効果に与える影響

本章では、架構剛性とダンパー配置が制振効果に与える影響について時刻歴解析結果を用いて検討する。

本報では、ダンパーによる制振効果を、せん断力  $Q$ 、層間変形  $\delta$ 、実効変形比  $\alpha_e$ 、ダンパーのエネルギー吸収率  $E_d/E$ 、ダンパー1本当りの塑性履歴エネルギー  ${}_d W$  から評価する。 $\alpha_e$ は、層間変形  $\delta$  に対するダンパー変形の水平方向成分  $\delta_d$  の比率  $\delta_d/\delta$  より求め、ダンパーのエネルギー吸収率  $E_d/E$  は、入力エネルギー  $E$  に対する全ダンパーのエネルギー吸収量  $E_d$  の比率から求める。塑性履歴エネルギーは、ダンパー1本当りが吸収した総エネルギー量とする。

#### 3.1 ダンパー量の違いによる応答変化の検討

架構剛性の異なるモデルにおいてのダンパー量の違いによる応答の変化について検討する。

パラメータとして、 $\alpha_{y1}$  を横軸にとり、0~0.05まで変化させたときのB-30H、B-37H、B-44Hの  $E_d/E$  および最大層せん断力  $Q_{max}$ 、最大層間変形  $\delta_{max}$  の変化を図6に示す。図6(a)から、いずれのダンパー量においても、B-30H、B-37H、B-44Hの  $E_d/E$  は、架構剛性の低い順に大きくなることが確認でき、各モデルの  $E_d/E$  は0.01~0.015で極値を有する傾向が確認できる。図6(b)から、 $Q_{max}$  は、 $\alpha_{y1}$  が0~0.015間で架構剛性の低い順に小さくなる。B-44Hのみ極値を有する傾向を示さず、増加傾向を示す。0.015~0.05間でB-37H、B-44Hの大小関係が入れ替わる。各モデルにおいて、極値をとるダンパー量が各応答値で異なることが確認できる。本報では示していないが、配置A、C、Dでも同様の傾向となることを確認している。

次に、配置の異なるモデルにおいて、ダンパー量の違いによる応答の変化について検討する。パラメータとして、 $\alpha_{y1}$  を横軸にとり、0~0.05まで変化させたときのA37H、B37H、C37H、D37Hの  $E_d/E$

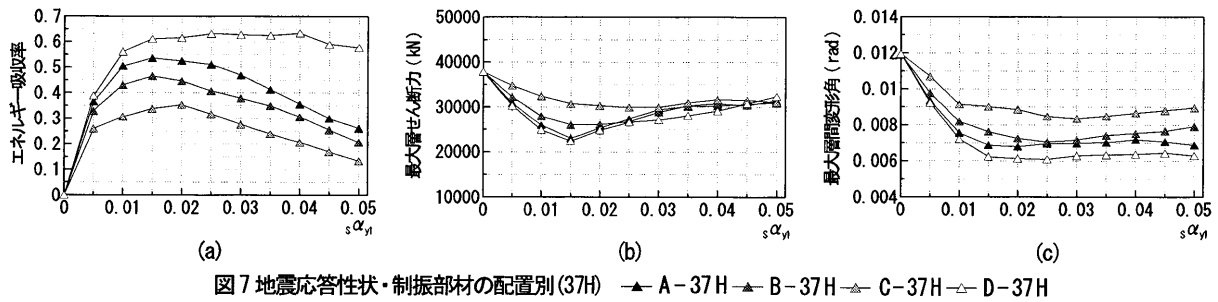


図7 地震応答性状・制振部材の配置別(37H) ▲ A-37H ▲ B-37H ● C-37H ○ D-37H

および  $Q_{max}$ ,  $\delta_{max}$  の変化を図7に示す。 $E_d/E$  は、各ダンパー量において、配置 C, B, A, D の順に大きくなる。配置 A, B, C, D, いずれのモデルでも、ダンパー量を増やすことで極値を有する傾向を示すが、配置 D はダンパー量を増やしても、エネルギー吸収率の低下が小さい。以上より、配置 D はダンパー量に限らず、エネルギーを吸収することが確認できる。 $Q_{max}$  は、0~0.025 間で配置 C, B, A, D の順に大きくなるが、0.025~0.05 間では配置による違いは見られない。 $\delta_{max}$  より、いずれのダンパー量においても、連層配置による応答低減は、中央連層配置の配置 A が大きい。また、連層配置に比べ、千鳥配置の配置 D の応答低減が大きいことが確認できる。各モデルにおいて、極値をとるダンパー量が各応答値で異なることが確認できる。

### 3.2 架構剛性による応答変化の検討

前節より、各モデルにおいて、あるダンパー量で応答値が極値を有することを確認した。本報では、 $E_d/E$  の極値となるダンパー量をそのモデルの最適ダンパー量とする。極値の判断がしにくいものは、 $Q_{max}$ ,  $\delta_{max}$  を含めダンパー量を決定する。表3に各モデルの最適ダンパー量を示す。最適ダンパー量を投入した各モデルを用いて、架構剛性とダンパー配置による応答の変化について検討する。

表3 各モデルの最適ダンパー量

	A		B		C		D	
30H	0.015	30H	0.015	30H	0.025	30H	0.020	
37H	0.015	37H	0.015	37H	0.020	37H	0.015	
44H	0.015	44H	0.010	44H	0.015	44H	0.020	

図8に、ダンパー配置 B における応答の高さ方向分布を 30H, 37H, および 44H を重ねて示す。図8(b)には、ダンパー非設置時の層間変形  $\delta_N$  に対するダンパー設置時の層間変形  $\delta$  の比率  $\delta/\delta_N$  を示す。図8(a), (b)から、架構によりダンパー設置による応答低減量および応答低減箇所が 30H, 37H, 44H ごとに異なることが確認できる。図8(b)より、3種の架構の中で最も架構剛性が高い 30H の層間変位は、ダンパーを設置することで、全層で概ね 2.2 割の応答低減を示すことが確認できる。37H の応答はダンパーを設置することで下層および上層で 4 割程度、中層で 3 割程度低減し、30H よりも応答低減が全層で大きい。最も剛性の低い 44H の応答は、ダンパーを設置することで下層および上層で 1.5 割程度、中層で 2.4 割程度となり、下層および上層で 30H に比べて、応答低減が小さいこと

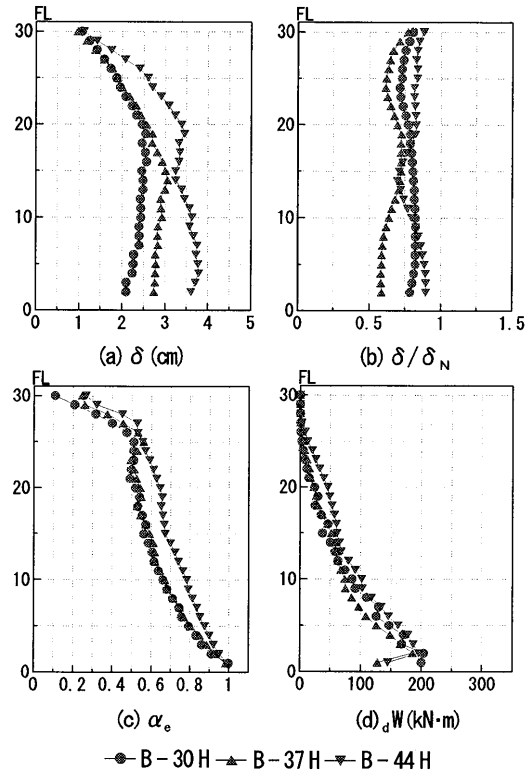


図8 地震応答性状・架構別(パターンB) ● B-30H ▲ B-37H ▼ B-44H

が確認できる。以上より、架構剛性を低減させることで応答低減が大きくなるとは限らないことが確認できる。30H は中層に比べ、低層および高層の  $\delta/\delta_N$  の低減量がわずかに大きくなり、37H においても同形状で中層に比べ低層および高層の低減量がより大きくなっている。44H では低層および高層に比べ中層の低減量が大きくなり、架構によって、ダンパー設置による応答低減箇所が異なることが確認できた。図8(c)より、1~25 層において、30H および 37H の  $\alpha_e$  はほぼ等しく、44H の  $\alpha_e$  はそれらより 0.15 程度大きくなる。いずれの架構も上層になるにつれ減少し、25 層以上で減少率が增加する。

図8(d)より、いずれのモデルにおいて、25 層以上で  $dW$  がほぼ 0 の値を示す。また、30H, 37H, および 44H いずれにおいても、1~20 層で全体の 90% 以上を占めることが確認でき、上層のダンパーは有効に機能していないことがわかる。

### 3.3 ダンパー配置による応答変化の検討

ダンパー配置による応答の変化について、37H を比較代表として、

その比較を図9に示す。図9(a)には、ダンパー非設置時の $\delta$ も重ねて示す。図9(a)より、千鳥配置である配置D、連層配置では配置C、B、Aの順に大きな応答低減を示している。図9(b)の $\delta/\delta_N$ より、配置Cは、他の配置に比べ、応答低減量が小さいことが確認できる。また、29層および30層でダンパー非設置時に比べ、応答が大きくなることから、配置Cはダンパーを設置するには有効でないと考えられる。図9(c)より、連層配置に比べ、千鳥配置でダンパー効率が良いことが確認できる。また、千鳥配置はAおよびBの配置を各層交互に組み合わせた配置であるが、配置Aおよび配置Bよりダンパーの効率が良いことが確認できる。連層配置の $\alpha_e$ で比較すると、配置A、B、Cの全層の平均値が0.72、0.62、0.42となることから、配置A、Bに比べ配置Cのダンパー効率が悪いことが確認できる。いずれの配置も上層になるにつれ $\alpha_e$ は減少し、25層以上で減少率が増加する。ダンパーを配置することで発生する全体の曲げ変形により、上層でダンパーが有効に機能しないことがわかる。また、その傾向は外柱に近い配置ほど大きいことがわかる。

図9(d)より、5層以下では千鳥配置の $dW$ に比べ連層配置の3パターンにおける $dW$ が大きいが、5層以上の層では配置C、B、A、Dの順に大きくなることが確認できる。上層になるにつれ、エネルギー吸収量は小さくなる。いずれの配置においても、1~20層の $dW$ の合計は全体の90%以上を占めることより、上層のダンパーは有効に機能していないことがわかる。特に、配置Cは1~10層の $dW$

の合計が全体の90%以上を占めるため、10層以上のダンパーが有効に機能していないことがわかる。

#### 4. おわりに

本報では、30層鋼構造建物に対して、架構剛性の異なる建物(剛性が最も高い30H、次に高い37H、最も低い44H)、履歴ダンパーの配置(連層配置3種と千鳥配置1種)、ダンパー量( $\alpha_{yi}=0\sim 0.05$ )が制振効果に与える影響について、部材レベルモデルの時刻歴解析の結果より検討を行った。ダンパー設置時のモデルの応答値の高さ方向分布では、各モデルにおける最適ダンパー量を用いた。以下に、得られた知見を述べる。

- (1) ダンパー量をパラメータとした時の架構剛性による応答変化では、ダンパーのエネルギー吸収率において、いずれのダンパー量においても架構剛性が低い順に大きくなることが確認できた。また、エネルギー吸収率、最大層せん断力、および最大層間変形において、極値を有する傾向を見られたが、44Hの最大層せん断力のみ増加傾向が見られた。
- (2) ダンパー量をパラメータとした時のダンパー配置による応答変化では、ダンパーのエネルギー吸収率および最大層間変形において、いずれのダンパー量においても架構剛性が低い順に大きくなることが確認できた。また、ダンパーのエネルギー吸収率において、連層配置はダンパー量0.01~0.025で極値を有する傾向を示すが、千鳥配置はその傾向が見られない。
- (3) 架構剛性の違いによる応答の高さ方向分布の変化では、30Hおよび44Hが同程度の応答低減量となり、37Hが最も応答低減量が大きくなることが確認できた。架構剛性を低減させることで、応答低減量が増加するとは限らない。
- (4) 履歴ダンパーの配置の違いによる応答の高さ方向分布の変化では、連層配置に比べ千鳥配置による応答低減量が大きくなることが確認できた。連層配置では、外柱に近い配置ほど応答低減量が小さくなることがわかった。

#### 参考文献

- 1) 笠井和彦, 岩崎啓介: 様々な形式の制振構造における自由度縮約法と水平パネ系への変換法, 日本建築学会構造系論文集, 第605号, pp.37-46, 2006.7
- 2) 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

\*1 東京理科大学

\*2 (株) 日建設

\*3 オイレス工業(株)

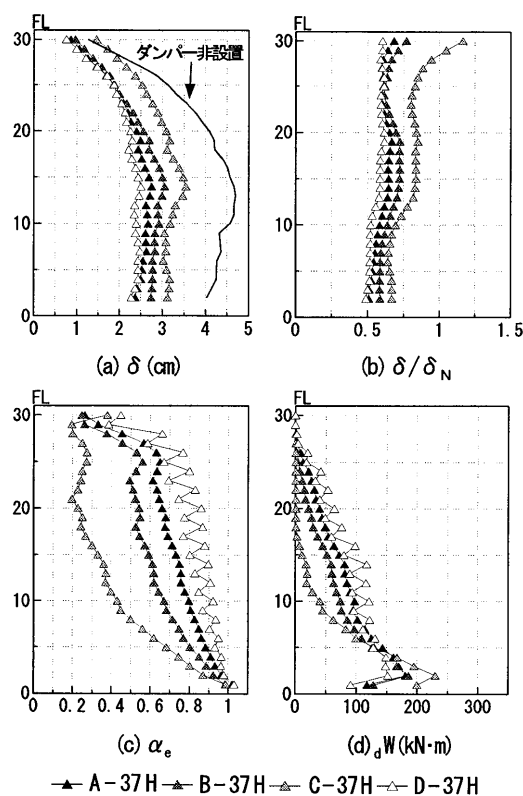


図9 地震応答性状・配置別(37H)