

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	骨組特性値を用いた履歴型ダンパーを有する建物の制振性能評価
Title	THE EVALUATION OF THE VIBRATION CONTROL PERFORMANCE OF THE BUILDING WITH HYSTERETIC DAMPER USING FRAME PARAMETERS FOR CONTROL
著者(和文)	戸張涼太, 佐藤大樹, 古谷慶, 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	Ryota Tobar, daiki sato, Haruyuki Kitamura, Mitsuru MIYAZAKI, Kazuhiko Sasaki, IWASAKI Yuichi
出典 / Citation	構造工学論文集, Vol. 59B, , pp. 321-327
Citation(English)	Journal of structural engineering, Vol. 59B, , pp. 321-327
発行日 / Pub. date	2013, 3
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: http://ci.nii.ac.jp/naid/110009706601

骨組特性値を用いた履歴型ダンパーを有する建物の制振性能評価

THE EVALUATION OF THE VIBRATION CONTROL PERFORMANCE OF THE BUILDING WITH HYSTERETIC DAMPER USING FRAME PARAMETERS FOR CONTROL

戸張涼太*, 佐藤大樹**, 古谷慶*, 北村春幸***, 石井正人****

吉江慶祐****, 宮崎充****, 佐々木和彦****, 岩崎雄一****

Ryota TOBARI, Daiki SATO, Kei FURUYA, Haruyuki KITAMURA, Masato ISHII,

Keisuke YOSHIE, Mituru MIYAZAKI, Kazuhiko SASAKI and Yuichi IWASAKI

There are few researches in comprehensive evaluation of the vibration control performance from low-rise to high-rise buildings. Besides, the authors proposed vibration control performance method which can be evaluated from only two-types of static analysis results without using dynamic response analysis results. The validity of this evaluation method was demonstrated by comparing with the dynamic response analysis results. However, the method is considered only in a high-rise steel structure building of thirty stories. This paper describes evaluation of the vibration control performance for four types of steel buildings with different aspect ratio: five, eight, twenty-one and thirty-five stories. In addition, this paper verifies the usefulness of the evaluation method by applying to four types of buildings.

Keywords : Seismic control structure, Hysteretic damper, Aspect ratio, Static analysis, Steel structure building, Performance evaluation

制振構造, 履歴ダンパー, アスペクト比, 静的解析, 鋼構造建物, 性能評価

1. はじめに

制振構造は制振ダンパーの粘性減衰エネルギーあるいは塑性履歴エネルギーの消散により, 建物の振動エネルギーを低減して建物の振動および主架構の損傷を低減するものである¹⁻³⁾。もともとは動的設計が義務付けられている超高層や高層S造建物を中心に一部の開発者により適用される程度であった。しかし, 1995年の兵庫県南部地震以降は建築主の対地震安全性に対する意識の高揚もあり, 既存RC建物の制振改修など新築から耐震改修まで構造種別や建物高さに制限されることなく, 多くの建物に適用されている⁴⁾。

制振ダンパーの配置計画上の留意点については, 以下の2点について知られている⁵⁾。①層間ダンパーは, フレームの層間変形のうちせん断変形に対して有効であるため, 曲げ変形成分が大きくなるような配置計画ではダンパーが有効に稼働しない。②履歴減衰型ダンパーは地震動のレベルに応じて最適な投入量が存在するため, パラメトリックな地震応答解析により最適量を把握した上で設計を行わなければならない。

以上の問題に関する報告は数多く存在するが^{例えば5-8)}, これらの研究は超高層建物に関するものが大半を占め, 中低層建物に関しては僅かしか存在しない⁹⁾。また, 中低層から超高層までの建物について広範にわたり総合的に検証を行なっている報告も見られない。

一方, 筆者らの一部は文献6)において, 制振性能の向上に実効変形比(フレームの層間変形に対するダンパーの水平変形成分の割合)

を大きく確保することが重要であることを確認し, 石井・笠井の手法^{9,10)}より算出された骨組特性値および擬似ブレース剛性を用いた制振性能評価手法を提案している^{6,11)}。この手法は, 静的解析のみから得られる実効変形比の上限値および下限値の予測値を制振性能評価指標として, 効率的なダンパーの配置位置を判断するものである。しかし文献6)では, 30層の超高層建物1棟のみを対象とした検討であり他の建物については検討を行っていない。

本論文では建物の全体曲げ変形に大きな影響を与えるアスペクト比に着目し, 4種類の鋼構造建物を用いて, 制振構造を適用した中低層から超高層までの建物における制振性能の違いを示す。また, 文献6)の制振性能評価手法を本論文の4種類の建物に適用し, 中低層から超高層の建物に対しても文献6)の評価手法が有用であることを示す。

本論文の構成を記す。2章では検証に用いる4種類の建物モデルや, ダンパーの設定方法と入力地震動などの解析概要について述べる。3章では, アスペクト比の異なる建物の応答低減効果の違い, ならびに履歴型ダンパーの配置位置が応答低減効果に及ぼす影響について, 立体部材モデルを用いた時刻歴応答解析結果より検討する。4章では前述した文献6)の骨組特性値および擬似ブレース剛性を用いた制振性能評価手法を, 本論文で用いた中低層から超高層までの4種類の建物に適用しその有用性を示す。

* 東京理科大学大学院理工学研究科 大学院生

** 東京理科大学理工学部建築学科 助教・博士(工学)

*** 東京理科大学理工学部建築学科 教授・博士(工学)

**** (株)日建設計構造設計部 博士(工学)

***** オイレス工業(株)

Graduate Student, Faculty of Science and Eng., Tokyo Univ. of Science

Assistant Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Eng., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Eng., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

Nikken Sekkei Ltd, Dr. Eng.

Oiles Corporation.

2. 解析概要

2.1 検討建物概要

検討建物は、中低層モデルとして5階建て⁷⁾と8階建て¹²⁾、超高層モデルとして21階建て¹³⁾と35階建て¹³⁾の鋼構造物とする。それぞれの平面図と軸組図を図1(a)-(d)に、建物諸元一覧を表1に示す。建物高さが高いモデルほど、アスペクト比も高くなっている。全モデル階高は1階のみ他の階に比べ高く、平面形状は各階同一とする。解析には、部材軸方向の振れモーメントを除き、部材の軸力、2方向のせん断力、2方向の曲げモーメントに対して弾塑性挙動を表現できる部材レベルの3次元立体架構モデルを用い、剛床を仮定している。柱部材は、材端に2平板間に複数の弾塑性軸ばねを部材の断面形状に合わせて配置した Multi spring Model¹⁴⁾でモデル化し、軸力と2方向の曲げモーメントに対する弾塑性挙動を、部材中央部に2平板間に複数の弾塑性せん断ばねを部材の断面形状に合わせて配置した Multi Shear Spring Model¹⁵⁾でモデル化し、2方向のせん断力に対する弾塑性挙動を評価する。梁部材は、柱部材と同じモデルを用いるが、軸力は生じない。本論文では主架構を弾性とし、構造減衰は主架構の弾性1次固有周期 f_1 に対し2%となる剛性比例型とする。

2.2 ダンパー概要

建物高さ方向のダンパー配置は図1に示すように連層配置とし、平面配置位置には内側配置および外側配置の2種を用いる。ダンパーは履歴ダンパーとして座屈拘束型ブレースを用い、塑性化部と弾性部で構成される。部材長さ L_d に対して塑性化部の長さを $L_d/3$ とし、塑性化部断面積 A_d に対して弾性部断面積を $2A_d$ とする。塑性化部にはLY225材(降伏応力度225 N/mm²)を用い、ダンパーの履歴性状は完全弾塑性型とする。5層モデルと8層モデルにおける各層

のダンパーの降伏層せん断力 dQ_{yi} は、第1層のダンパーの降伏層せん断力 dQ_{y1} と同じ一律分布とする($dQ_{yi}=dQ_{y1}$)。21層モデルと35層モデルにおいては dQ_{y1} を基準とし、地震層せん断力係数の高さ方向分布(Ai分布)に基づく設計用層せん断力分布をもとに4段階とした(図2)。 dQ_{y1} と第1層のダンパーの降伏層せん断力係数 $d\alpha_{y1}$ の関係は次式で表される。

$$dQ_{yi} = d\alpha_{y1} \sum_{i=1}^N m_i g \quad (1)$$

ここで、 m_i : i層の質量、 g : 重力加速度、 N : 層数である。

層せん断力係数 α_i は、振動特性係数 R_i の分布からわかるように、 $1.0 \leq f_1$ の領域では建物周期の逆数に比例する。そのため、建物周期の異なる複数の建物で総合的な検討を行う上では、標準せん断力係数 C_0 相当に換算した基準化降伏せん断力係数 $d\alpha_{y1}$ を用いる。 $d\alpha_{y1}$ は次式で表される。

$$d\alpha'_{y1} = d\alpha_{y1} \quad (f_1 < 1.0 \text{ (s)}) \quad (2a)$$

$$d\alpha'_{y1} = d\alpha_{y1} \cdot f_1 \quad (1.0 \text{ (s)} \leq f_1) \quad (2b)$$

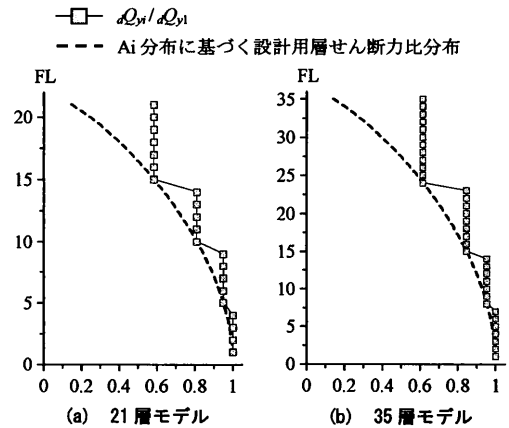


図2 ダンパーの降伏耐力比分布

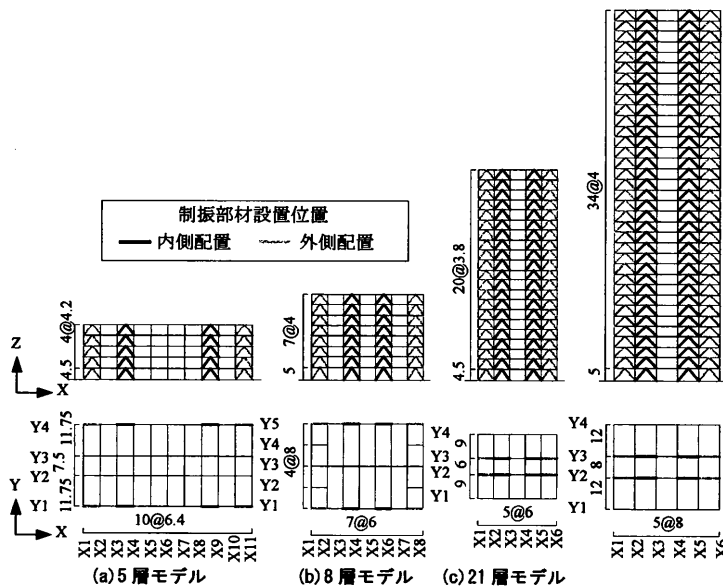


図1 平面図と軸組図およびダンパー配置 単位: m

表1 建物諸元一覧

高さ(m)	重量(kN)	Asp.	f_1 (s)	部材断面
5層モデル	72580	0.33	1.09	柱 □-450×450×16×16 ~ □-450×450×22×22
				大梁 WH-600×200×11×17 ~ WH-800×300×16×28
8層モデル	71954	0.79	1.52	柱 □-500×500×19×19 ~ □-550×550×50×50
				大梁 WH-500×200×9×12 ~ WH-850×300×16×32
21層モデル	109491	2.68	2.41	柱 □-450×450×16×16 ~ □-600×600×40×40
				大梁 WH-600×250×12×19 ~ WH-600×300×12×32
35層モデル	373868	3.52	4.07	柱 □-600×600×16×16 ~ □-700×700×85×85
				大梁 WH-700×200×12×19 ~ WH-800×350×14×40

※Asp.: アスペクト比

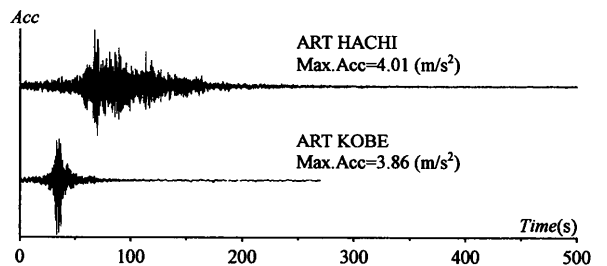


図3 入力地震動加速度波形

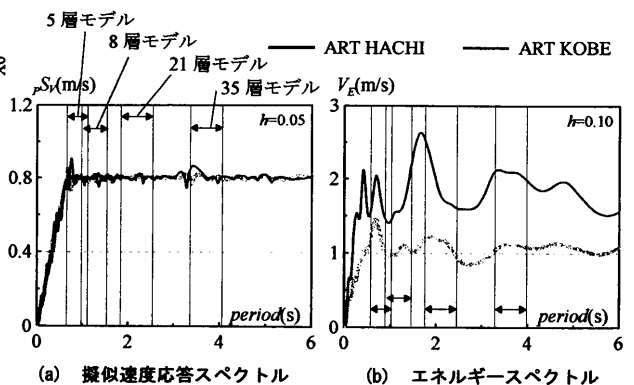


図4 地震動のスペクトル

2.3 入力地震動概要

本論文では、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、告示波の位相特性として、設計で用いられることが多い HACHINOHE 1968 EW および JMA KOBE 1995 EW を採用する(以後、ART HACHI および ART KOBE)。コーナー周期 $T_c = 0.64s$ 以降で擬似速度応答スペクトル $\rho S_V = 0.8m/s$ とする。図 3 に入力地震動の加速度時刻歴波形、図 4 に $\rho S_V(h=5\%)$ およびエネルギースペクトル $V_E (h=10\%)$ を示す。図中の矢印は各モデルに履歴ダンパーを設置した場合に、固有周期が変化する範囲を示したものである。

3. 各モデルにおける応答の低減効果の違い

本章では、アスペクト比の異なる建物の応答低減効果の違い、ならびに各モデルにおける履歴型ダンパーの配置位置と応答の低減効果の関係について、立体部材モデルを用いた時刻歴応答解析結果より検討する。

3.1 ダンパー量と制振効果の関係

図 5, 6(a)-(d)に、5層モデル～35層モデルでの、内側配置における ART HACHI, ART KOBE を入力した際の最大層間変形角 R , 1層の層せん断力係数 α_1 , 入力エネルギー E に対するダンパーの総エネ

ルギー吸収量 dW_p の割合 dW_p/E , 実効変形比 $\bar{\alpha}_e$ の全層平均 $\bar{\alpha}_e$ とダンパー量 $d\alpha_{y1}$ の関係を示す。同時に横軸を $d\alpha'_{y1}$ に基準化した際の応答とダンパー量の関係も示す。固有周期が長いほど層せん断力係数は低下するため、超高層モデルの2モデルにおいては中低層モデルの2モデルに比べ小さい $d\alpha_{y1}$ で検討を行なっている。なお、 $d\alpha'_{y1}$ の図における層せん断力係数については、 $d\alpha_{y1}$ と同様に1次固有周期を乗じて、縦軸に関しても基準化を行なった。

図 5(a)の層間変形角に着目すると、5層モデル、8層モデルにおいてはダンパー量を増やすほど層間変形角は低減するか横ばいとなる傾向にあるが、21層モデル、35層モデルでは低減の程度が鈍くなった後増大していることが確認できる。また、ダンパー非設置時と比べると、層数の多いモデルほど層間変形角の低減効果が小さいことがわかる。例えば ART HACHI 入力時を見ると、5層モデルおよび8層モデルではダンパー非設置時と比べ最大 59%, 53%低減しているのに対し、21層モデル、35層モデルでは最大 28%, 33%しか低減していない。この傾向は ART KOBE 入力時においても確認できる。図 5(b)の層せん断力係数に着目すると横軸が $d\alpha_{y1}$ の図において低層建物 (T_1 が短い) ほど層せん断力係数 α_1 は大きくなるが、 T_1 を乗じて

○ 5層モデル △ 8層モデル ■ 21層モデル ▼ 35層モデル

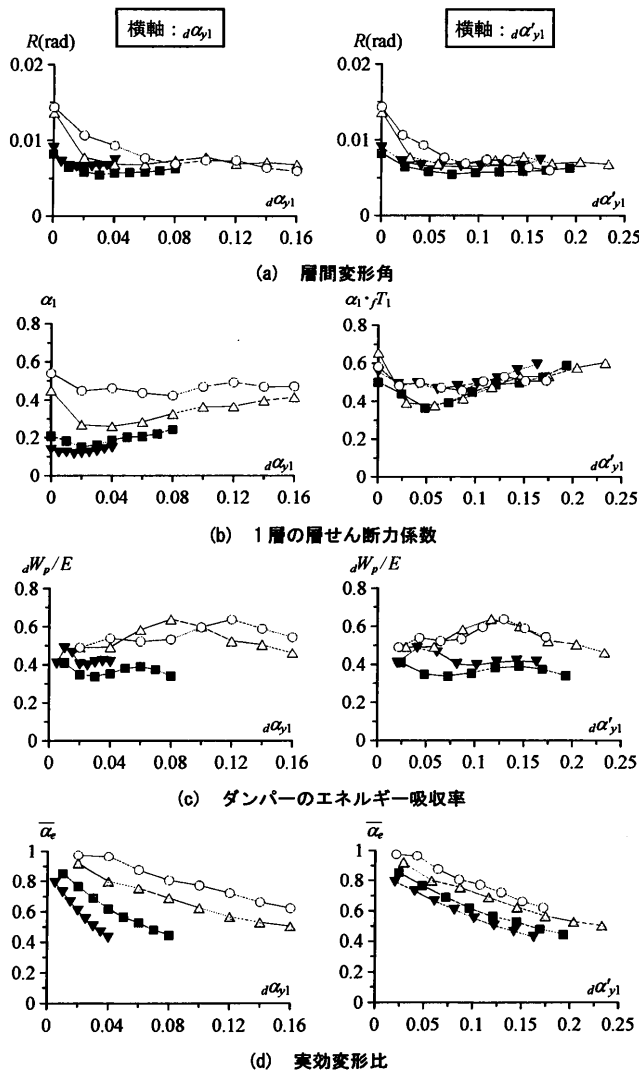


図 5 $d\alpha_{y1}$ および $d\alpha'_{y1}$ と応答の関係 (内側配置, ART HACHI)

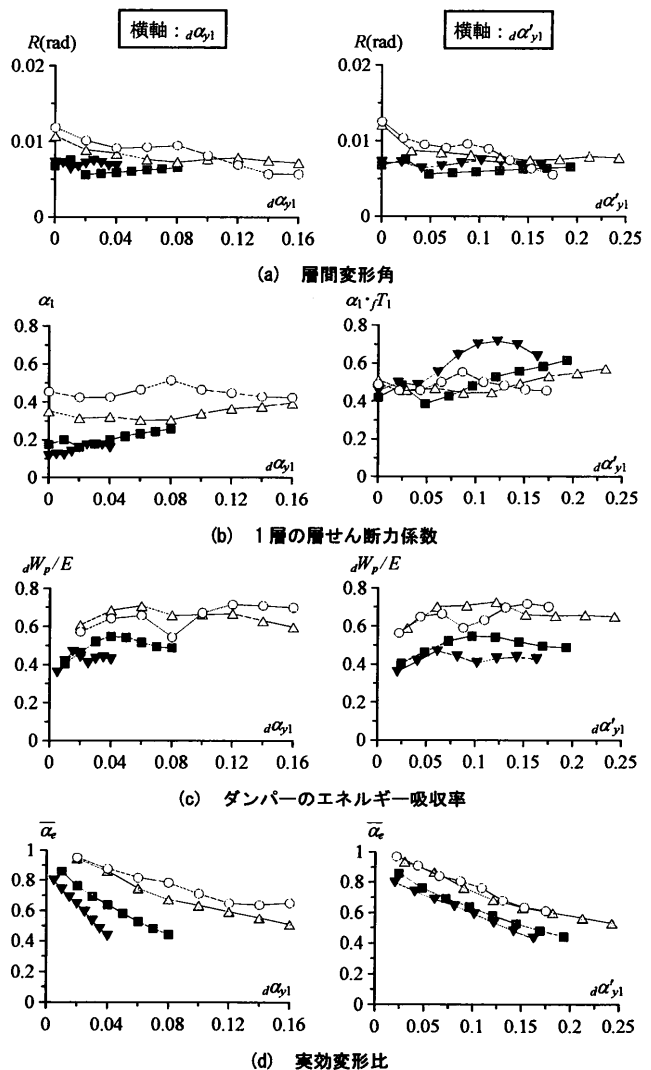


図 6 $d\alpha_{y1}$ および $d\alpha'_{y1}$ と応答の関係 (内側配置, ART KOBE)

基準化をした $\alpha_1 \cdot f_{T1}$ の値は全モデル概ね同等の値となる。図 5(c)のダンパーのエネルギー吸収率に着目すると、層数の少ないモデルほどエネルギー吸収率が高いことが確認できる。ART HACHI 入力時を見ると、5層モデルおよび8層モデルでは最大63%、64%吸収しているのに対し、21層モデルと35層モデルでは最大41%、49%の吸収に留まっていることがわかる。図 5(d)の実効変形比に着目すると、全モデルにおいてダンパー量を増加するほど実効変形比は低下していく。また、層数の多いモデルほど実効変形比が低い値を示していることが確認できる。

横軸 $d\alpha_{y1}$ を $d\alpha'_{y1}$ に基準化すると、 R または $\alpha_1 \cdot f_{T1}$ の低減が鈍る時の $d\alpha'_{y1}$ は、全モデルで概ねある範囲に収まることが確認できる。その範囲は、ART HACHI 入力時で $d\alpha'_{y1}=0.05\sim 0.10$ 程度、ART KOBEでは少しばらつき $d\alpha'_{y1}=0.05\sim 0.12$ 程度である。本論文での今後の検討では、ART HACHI 入力時に $\alpha_1 \cdot f_{T1}$ の低減が鈍る時のダンパー量を用いることとし、表 2 に示す。

図 7(a), (b)に ART HACHI を入力、内側配置時における各層のダンパーのエネルギー吸収率および実効変形比の高さ方向分布を示す。各層のダンパーのエネルギー吸収率は、1層から各層までの総和を全体のダンパーの吸収エネルギー dW_p で除した値としている。なお、縦軸は層数を各モデルの全層数で除して基準化した値としている。

表 2 検討用ダンパー量

	$d\alpha_{y1}$	$d\alpha'_{y1}$
5層モデル	0.080	0.087
8層モデル	0.040	0.061
21層モデル	0.020	0.048
35層モデル	0.015	0.061

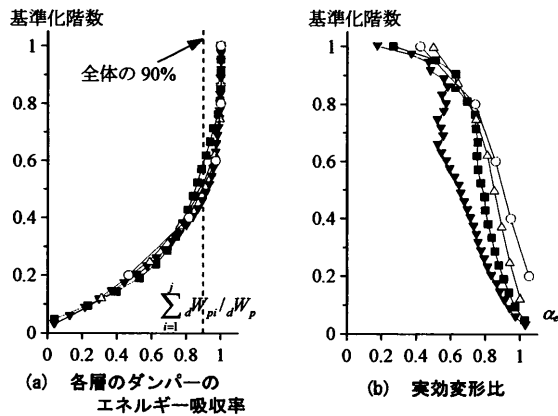


図 7 高さ方向分布 (内側配置, ART HACHI)

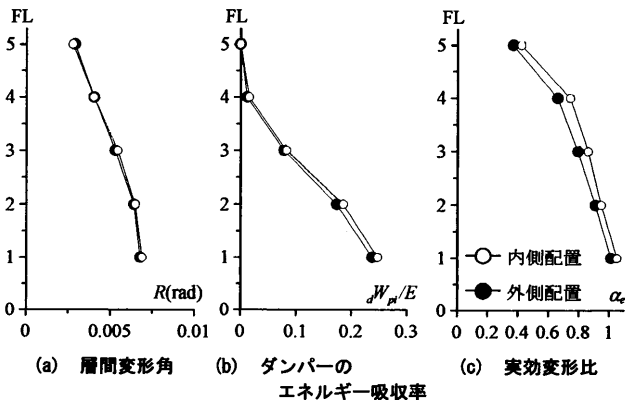


図 8 配置別の応答値の高さ方向分布 (5層モデル, $d\alpha_{y1}=0.080$, ART HACHI)

図 7(a)より各層のダンパーのエネルギー吸収率に着目すると、いずれのモデルにおいても、最下層から全層数の 2/3 に位置する層までの dW_{pi} の合計は、全体の 90%を占めている。図 7(b)に示す実効変形比ではどのモデルにおいても、上層ほど実効変形比が低下していることが確認できる。また、図 5, 6の $d\alpha_{y1}$ および $d\alpha'_{y1}$ と $\bar{\alpha}_e$ の関係同様、高さ方向分布からも層数の多いモデルほど実効変形比が低下していることがわかる。検討用ダンパー量の際の $\bar{\alpha}_e$ は5層モデルにおいて0.80であったのに対し、35層モデルでは0.66となった。最上層の実効変形比に着目すると5層モデル、8層モデルで0.4を超えているのに対し、35層モデルでは0.2を下回っており曲げ変形成分が非常に大きくなり、ダンパーがほとんど稼働していないことが確認できる。以上のように層数の多いモデルほど制振性能が劣る要因としては、層数の多いモデルほどアスペクト比が高くなり全体曲げ変形が卓越していることが考えられる。

3.2 ダンパー配置と制振効果の関係

図 8, 9(a)-(c)に、ダンパー配置位置別の層間変形角、各層のダンパーのエネルギー吸収率、実効変形比の高さ方向分布を、5層モデルと35層モデルについてそれぞれ示す。入力は ART HACHI とする。図 8 の 5層モデルの応答に着目すると、層間変形角では内側配置と外側配置でほとんど同じ値を示しているが、ダンパーのエネルギー吸収率および実効変形比から、外側配置に比べ内側配置の制振効果が高い傾向が確認できる。図 9 に示す 35層モデルの応答においても、層間変形角、ダンパーのエネルギー吸収率、実効変形比の結果より、外側配置に比べ内側配置の制振効果が高いことが確認できる。5層モデルおよび35層モデルと同様に、外側配置に比べ内側配置の制振効果が高い傾向は8層モデルと21層モデルにおいても確認した。

図 8, 9 について、モデルの違いによる検討を行う。図 8 の 5層モデルに着目すると、内側配置と外側配置での差は層間変形角で $\pm 5\%$ 以内、各層のダンパーのエネルギー吸収率でもエネルギーをほぼ吸収していない4, 5層を除けば $\pm 5\%$ 以内と両配置による差は小さい。一方、図 9 の 35層モデルの層間変形角に着目すると、外側配置に比べ内側配置では最上階において26%ほど小さい。各層のダンパーのエネルギー吸収率においては上層で内側配置、下層で外側配置が高い吸収率を示すが、 E に対する総エネルギー吸収量 dW_p の割合 dW_p/E では、内側配置が外側配置に比べ高い吸収率を示す。以上より、層数の少ないモデルにおいてはダンパー配置位置が制振効果に与える影響は小さく、層数の多いモデルにおいてはダンパー配置位置による制振効果の違いが大きく現れると言える。

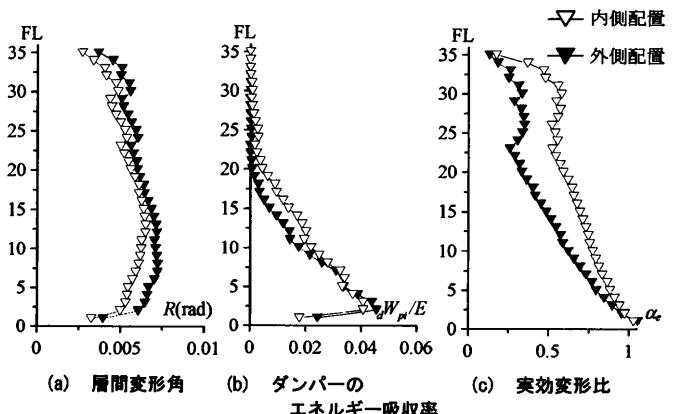


図 9 配置別の応答値の高さ方向分布 (35層モデル, $d\alpha_{y1}=0.015$, ART HACHI)

4. 骨組特性値を用いた制振性能評価

本章では、文献6の骨組特性値を用いた制振性能評価手法を、本論文で用いた中低層から超高層の4種類の建物に適用しその有用性を示す。また、時刻歴応答解析での地震波のばらつきに依らない、より定性的な評価を行う。

4.1 骨組特性値¹⁰⁾および実効変形比の予測値⁹⁾の算出

文献6では、図10に示すように部材モデルからせん断モデルに変換される過程の中で算出される骨組特性値 α_N および擬似ブレース剛性 K_{bs} を制振性能評価手法に用いている。

α_N および K_{bs} は、主架構のみの弾性部材モデル(図11, (a)状態N)と、主架構の制振部材配置位置に剛性が極端に大きい弾性バネを挿入したモデル(図11, (b)状態R)の静的解析結果から式(3a-c)により得られる¹⁰⁾。なお、本論文では外力分布にAi分布を用いる。

$$\alpha_N = \frac{\delta_{aN}}{\delta_N}, K_{aR} = \frac{F_{aR}}{\delta_R}, K_{bs} = \alpha_N \cdot K_{aR} \quad (3a-c)$$

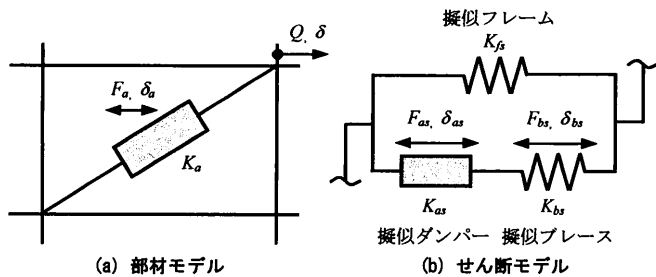


図10 部材モデルとせん断モデルの対応

ここで、 δ_a :ダンパー設置箇所の相対変形の水平成分、 δ :層間変形、 F_a :ダンパー設置箇所の弾性バネが負担する軸力の水平成分、 K_a :ダンパー設置箇所の弾性バネの剛性の水平成分である。また、右下の添え字NおよびRは、状態Nおよび状態Rの計算値を、Sはせん断モデルを示す。 α_N はダンパー量0における実効変形比のため実効変形比の上限値に当たり¹⁰⁾、 K_{bs} は、ダンパー設置箇所における架構の曲げ剛性を表す¹⁰⁾。

実効変形比の予測値 α_{es} は、図10(b)のせん断モデルの関係から、式(4)を用いて算出する。

$$\alpha_{es} = \frac{\delta_a}{\delta} = \frac{\alpha_N \cdot \delta_{as}}{\delta_{as} + \delta_{bs}} = \frac{\alpha_N}{1 + \delta_{bs}/\delta_{as}} = \frac{\alpha_N}{1 + (F_{as}/K_{bs}) / \{F_{as}/(\alpha_N^2 \cdot K_{as})\}} = \frac{\alpha_N}{1 + (\alpha_N^2 \cdot K_{a1})/K_{bs}} \quad (4)$$

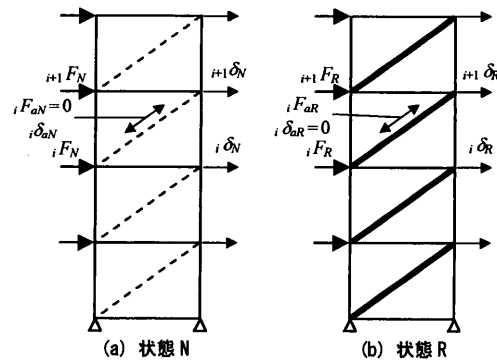


図11 状態Nおよび状態R

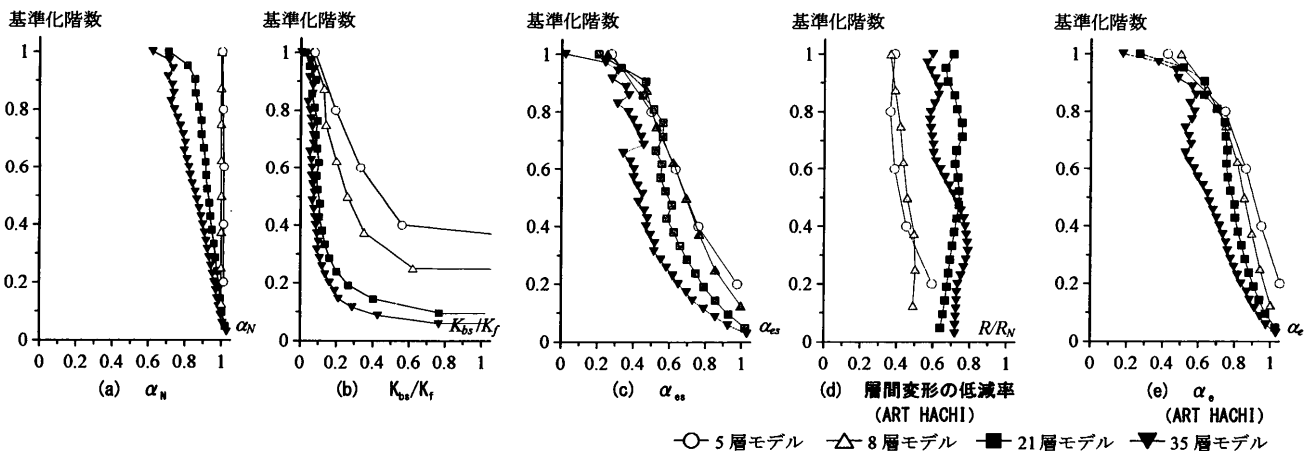


図12 α_N , α_{es} および K_{bs}/K_f と応答の関係-モデル別-(検討ダンパー量(表2))

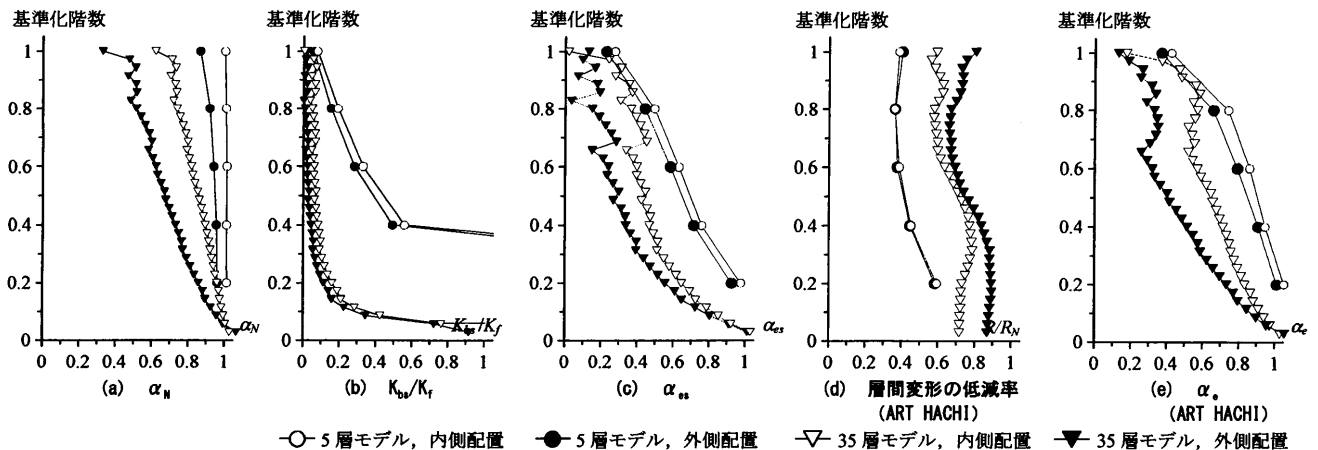


図13 α_N , α_{es} および K_{bs}/K_f と応答の関係-ダンパー配置位置別-(検討ダンパー量(表2))

ここで、 K_{d1} はダンパーの水平方向の1次剛性である。 α_{es} はダンパーの1次剛性を用いているため、ダンパーが弾性時の実効変形比となり、 α_e の下限値を表す⁹⁾。

4.2 α_N , K_{bs} および α_{es} と応答の関係

文献6において、静的解析のみから算出できる α_N , K_{bs} および α_{es} より、時刻歴応答解析から求まる実効変形比 α_e の傾向や制振効果を捉えることが可能であると示されている。本節では、文献6の制振性能評価手法を、当文献で未検証であった中低層建物を含む本論文の4種類の建物に適用し、その有用性を確認する。

図12, 13に α_N , 主架構の剛性 K_f に対する K_{bs} の比, α_{es} と応答の関係モデル別, ダンパー配置位置別としてそれぞれ示す。図12, 13の(a)-(c)は静的解析のみから算出される。応答はART HACHI入力時の層間変形の低減率(ダンパー非設置時の層間変形角 R_N に対する層間変形角 R の割合)と実効変形比 α_e を示す。ダンパー量は表2の検討ダンパー量とする。図12より、 α_N は5層モデルと8層モデルでは全層において0.9~1.0を示すのに対し、21層モデルと35層モデルでは上層ほど低下し、その傾向は層数の多いモデルほど顕著である。 α_{es} および K_{bs}/K_f でも α_N と同様の傾向が確認できる。これらは時刻歴応答解析の結果である層間変形の低減率および α_e と同様の傾向を示しており、特に α_{es} は α_e の分布形状までもよく捉えている。21層モデルと35層モデルでは、5層モデルおよび8層モデルに比べると、曲げ剛性が低いため上層における実効変形比が低下する。これはアスペクト比が高い建物の架構における特徴である。図13のダンパー配置位置別の α_N , K_{bs}/K_f および α_{es} は、5層モデル, 35層モデル共に外側配置に比べ内側配置で大きな値を示している(付録A)。層間変形の低減率と α_e より外側配置に比べ内側配置の制振効果が高いことが確認でき、 α_N , K_{bs}/K_f , α_{es} よりダンパー配置位置別の制振性能評価も可能である。以上より本論文の層数の異なる複数の建物モデルにおいても文献6の評価手法が有用であることが示された。

4.3 $\bar{\alpha}_N$, $\bar{\alpha}_e$ と $\bar{\alpha}_{es}$ の関係

図14(a), (b)に各モデルの内側および外側配置における、 α_N , α_e および α_{es} の平均値($\bar{\alpha}_N$, $\bar{\alpha}_e$, $\bar{\alpha}_{es}$)とダンパー量($d\alpha'_{y1}$, $d\alpha''_{y1}$)の関係を示す。なお、3.1節において最下層から全層数の2/3に位置する層までのダンパーは、全モデル有効に稼働していることを確認したため、本節での $\bar{\alpha}_N$, $\bar{\alpha}_e$, $\bar{\alpha}_{es}$ は各モデルの全層数の2/3に位置する層までの平均値とする。図14の横軸には $d\alpha'_{y1}$ をとり、 $d\alpha''_{y1}$ の値も示す。図14(a), (b)より、いずれのモデルにおいてもダンパー量を増加していくと $\bar{\alpha}_e$ は実効変形比の上限値を表す $\bar{\alpha}_N$ から、実効変形比の下限値

を表す $\bar{\alpha}_{es}$ に近づいていくことが確認できる。いずれのモデルにおいても、 $\bar{\alpha}_e$ は $\bar{\alpha}_N$ と $\bar{\alpha}_{es}$ の間の値となる。建物モデルの違いに着目すると、層数の多いモデルほど実効変形比の上限値である $\bar{\alpha}_N$ と下限値である $\bar{\alpha}_{es}$ が低下しており、同様に $\bar{\alpha}_e$ も低下していることが確認できる。ダンパーの配置位置に着目すると、図14(b)の外側配置では $\bar{\alpha}_N$, $\bar{\alpha}_{es}$ が図14(a)の内側配置に比べ低下するため $\bar{\alpha}_e$ も低下し、外側配置における制振効果が劣ることが確認できる。さらに $\bar{\alpha}_N$, $\bar{\alpha}_{es}$ の低下の程度は層数の多いモデルほど大きく、配置位置による影響が大きい。以上のようにこれらの指標より、定性的な制振性能の評価が可能である。

ダンパー量と $\bar{\alpha}_N$, $\bar{\alpha}_e$, $\bar{\alpha}_{es}$ の関係に着目する。文献6において、最適ダンパー量時に $\bar{\alpha}_e$ が $\bar{\alpha}_N$ と $\bar{\alpha}_{es}$ の概ね中間に位置する傾向が示されている。本論文のモデルにおいても同様の検証を行う。ART HACHI入力時、3.1節で確認した応答の低減が鈍くなる範囲($d\alpha'_{y1}=0.05\sim 0.10$; 図中斜線部)において、5層モデルを除く3つのモデルで $\bar{\alpha}_e$ は $\bar{\alpha}_N$, $\bar{\alpha}_{es}$ の概ね中間に位置する傾向が確認できた。

5. まとめ

中低層から超高層のアスペクト比の異なる4種類の建物モデル(5層, 8層, 21層, 35層建物)を用いた時刻歴応答解析結果より、アスペクト比の異なる建物の応答低減効果の違いについて検討を行った。また、文献6で示されている骨組特性値を用いた制振性能評価手法を本論文の複数の建物にも適用し、その有用性の確認を行なった。以下に得られた知見を記す。

- (1) 建物の層数の多いモデルほどダンパーの制振効果は劣る。入力エネルギーに占めるダンパーのエネルギー吸収量の割合は層数の多いモデルほど低下し、ART HACHINOHE入力時、5層モデルで63%、35層モデルでは49%であった。実効変形比の全層での平均値も層数の多いモデルほど低下し、5層モデルでは0.80、35層モデルでは0.66であった。
- (2) ダンパーの降伏層せん断力係数に主架構の1次固有周期を乗じて基準化することで、応答低減が鈍る時のダンパーの降伏層せん断力係数は、周期の異なる建物でもある範囲に収まることを確認した。本論文の4モデルでは、 $\nu_{Sv}=0.8m/s$ のART HACHINOHEおよびART KOBE入力において0.05~0.12となった。
- (3) 建物層数の違いによらず、ダンパーの配置位置は内側配置が外側配置に比べ高い制振効果を発揮する。層数の少ないモデルほど、ダンパー配置位置が制振効果に及ぼす影響は小さい。

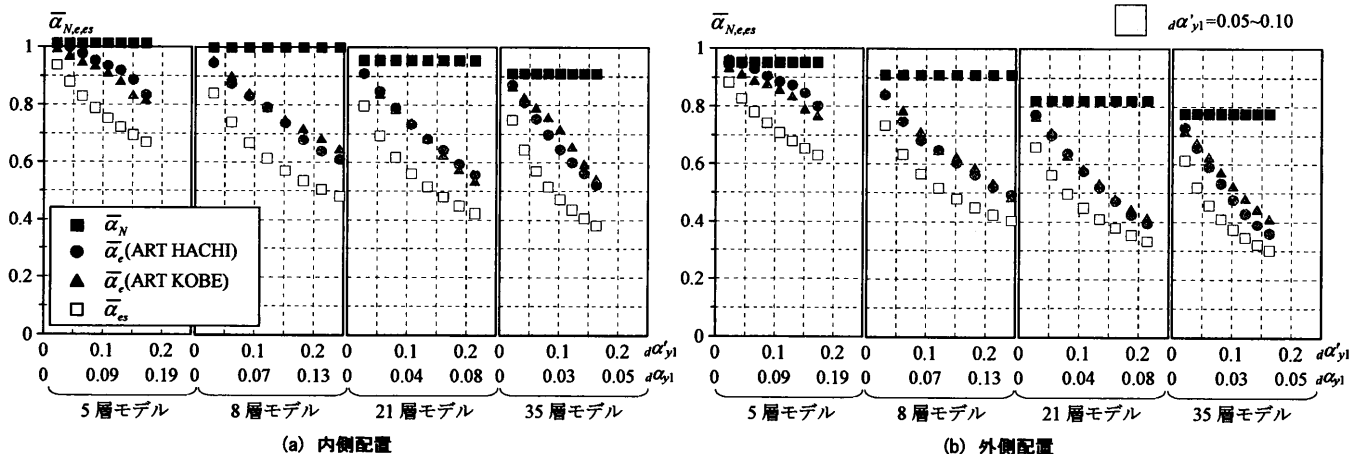


図14 $\bar{\alpha}_N$, $\bar{\alpha}_e$ および $\bar{\alpha}_{es}$ の関係

- (4) 文献6で示されている静的解析より求まる骨組特性値を用いた制振性能評価手法は、未検証であった中低層建物を含む本論文の4種類の建物においても有効であることを確認した。
- (5) 本論文の5層モデルを除く3つのモデルにおいて、応答の低減が鈍り始める時のダンパー量での実効変形比は、実効変形比の上限値と、実効変形比の下限値の予測値の概ね中間に位置することを確認した。

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

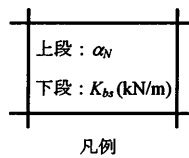
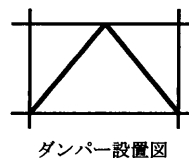
- 坂本光男：制震構造の設計 制震計画，建築技術，No.559，pp.112-113，1996.10
- パッシブ制震構造設計・施工マニュアル 第2版，(社)日本免震構造協会(JSSI)，2005.9
- 日本建築構造技術者協会：応答制御構造設計法，彰国社
- 北村春幸，北村佳久，伊藤優，坂本光男：適用建物調査に基づく日本の応答制御構造の分析・評価，日本建築学会技術報告集，No.18，pp.55-60，2003.12
- 添田幸平，佐藤大樹，北村春幸，石井正人，吉江慶祐，宮崎充，佐々木和彦，岩崎雄一：連層配置した履歴型ダンパーと粘性型ダンパーが超高層建物の制振効果に与える影響，日本建築学会技術報告集 No.39，pp.477-482，2012.6
- 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：履歴ダンパーを有する超高層弾性架構の実効変形比に着目した制振性能評価，構造工学論文集，Vol.58B，pp.197-207，2012.3
- 松澤祐介，佐藤大樹，栗林晃司，北村春幸，山口路夫，西本晃治：履歴型ダンパー配置が中低層鋼構造建物の地震応答性状に与える影響，構造工学論文集，Vol.58B，pp.189-196，2012.3
- 平田淳二，寺本陸幸：各種ダンパーを用いた鋼構造建物の応答性状に関する研究：ダンパー配置による影響，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.569-570，2008.7
- 笠井和彦，岩崎啓介：様々な形式の制震構造における自由度縮約法と水平バネ系への変換法，日本建築学会構造系論文集，No.605，pp.37-46，2006.7
- 石井正人，笠井和彦：多層制震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
- 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：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 その1，2，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.913-914，2012.9
- 野村尚史，佐藤大樹，北村春幸，藤澤一善：建築構造用高強度鋼材H-SA700と制震部材を組合せた高耐震化中低層鋼構造建物の応答性状，構造工学論文集，Vol.58B，pp.179-187，2012.3
- 島田侑，佐藤大樹，長江拓也，北村春幸，福山國夫，梶原浩一，井上貴

仁，中島正愛，齊藤大樹，福和伸夫，日高桃子：超高層建物の下層階に部分配置する履歴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，No.649，pp.549-557，2010.3

- 14) 石井正人，齊藤安生，浅野美次，堀井昌博：マルチスプリングモデルの特性 その1，2，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.383-384，1997.7
- 15) 和田章，木下雅彦：MSSモデルを用いた柱降伏型の建物の立体振動解析 その1，2，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.315-316，1985.9

付録A 各ダンパー配置での α_N および K_{bs}

付図Aに各ダンパー配置位置での骨組特性値 α_N と擬似ブレース剛性 K_{bs} を示す。なお本検討モデルでは、 α_N 、 K_{bs} が左右対称となるため、片側のみ示す。(a)に5層モデル、(b)に21層モデルの結果を示す。 K_{bs} はモデルの中心を軸にダンパーを左右対称に1箇所ずつ、1層から最上層まで連層配置として計算したものを各架構内に示している。例えば、図1の5層モデルにおける内側配置は、X3-X4間とX8-X9間に記載した値に、外側配置はX1-X2間とX10-X11間に記載した値に対応する。なお、21層モデルはスパン数が奇数のため、X3-X4間に表記する K_{bs} はX3-X4間のみの連層配置時における計算結果とする。付図A(a)の5層モデルを見ると、最も外側の配置(X1-X2、X10-X11間)を除き α_N は概ね1を示しており、低層建物ではダンパー配置位置による制振効果の違いも小さくなるのがわかる。 K_{bs} はモデルの中心に近づくほど増大しており、最も内側の配置(X5-X6、X6-X7間)では最も外側の配置に比べ2-4倍ほど大きい。付図A(b)の21層モデルの α_N は、5層モデルとは違いダンパー配置位置による違いが大きい。ダンパー配置位置が外側になるほど、上層における α_N は下層に比べて大きく低減している。 K_{bs} に着目すると、X2-X3とX4-X5間の配置に比べ最も内側の配置(X3-X4間)での K_{bs} が若干低くなっている。これは、1連配置と2連配置の違いによるものであり、複数箇所配置したほうが架構の曲げ剛性は大きくなる。



0.86	1.00	1.00	1.00	1.00						
3.0×10 ⁴	4.3×10 ⁴	4.3×10 ⁴	4.6×10 ⁴	1.2×10 ⁵						
0.92	1.00	1.00	1.00	0.99						
8.9×10 ⁴	1.1×10 ⁵	1.1×10 ⁵	1.2×10 ⁵	2.3×10 ⁵						
0.94	0.99	1.00	1.00	0.99						
1.6×10 ⁵	1.9×10 ⁵	1.9×10 ⁵	2.0×10 ⁵	3.7×10 ⁵						
0.95	0.99	1.00	1.00	0.99						
3.1×10 ⁵	3.5×10 ⁵	3.5×10 ⁵	3.7×10 ⁵	6.8×10 ⁵						
0.96	0.99	1.00	1.00	0.99						
2.6×10 ⁶	3.2×10 ⁶	2.8×10 ⁶	3.2×10 ⁶	5.5×10 ⁶						
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11

(a) 5層モデル (Y1, Y4 通り)

0.28	0.71	0.89								
5.1×10 ³	2.3×10 ³	2.4×10 ⁴								
0.49	0.81	0.92								
6.1×10 ²	1.6×10 ⁴	1.1×10 ⁴								
0.58	0.85	0.94								
7.2×10 ³	2.8×10 ⁴	3.0×10 ⁴								
0.58	0.85	0.94								
4.9×10 ³	2.6×10 ⁴	2.0×10 ⁴								
0.62	0.87	0.95								
9.7×10 ²	3.3×10 ⁴	3.0×10 ⁴								
0.66	0.89	0.95								
1.5×10 ⁴	4.2×10 ⁴	4.2×10 ⁴								
0.66	0.89	0.96								
1.4×10 ⁴	4.2×10 ⁴	3.7×10 ⁴								
0.69	0.90	0.96								
1.8×10 ⁴	4.8×10 ⁴	4.4×10 ⁴								
0.71	0.91	0.96								
2.3×10 ⁴	5.5×10 ⁴	5.3×10 ⁴								
0.71	0.91	0.96								
2.1×10 ⁴	5.3×10 ⁴	4.4×10 ⁴								
0.73	0.92	0.97								
2.6×10 ⁴	5.9×10 ⁴	5.2×10 ⁴								
0.75	0.93	0.97								
3.4×10 ⁴	6.9×10 ⁴	6.3×10 ⁴								
0.76	0.94	0.97								
3.4×10 ⁴	7.0×10 ⁴	5.9×10 ⁴								
0.78	0.95	0.98								
4.5×10 ⁴	8.3×10 ⁴	7.4×10 ⁴								
0.81	0.96	0.98								
5.7×10 ⁴	9.5×10 ⁴	8.7×10 ⁴								
0.84	0.97	0.98								
7.4×10 ⁴	1.1×10 ⁵	1.1×10 ⁵								
0.87	0.98	0.99								
1.0×10 ⁵	1.5×10 ⁵	1.4×10 ⁵								
0.90	0.98	0.99								
1.5×10 ⁵	2.0×10 ⁵	2.0×10 ⁵								
0.93	0.99	0.99								
2.4×10 ⁵	3.0×10 ⁵	3.0×10 ⁵								
0.97	1.00	1.00								
5.2×10 ⁵	6.2×10 ⁵	5.9×10 ⁵								
1.04	1.02	1.00								
2.3×10 ⁸	2.2×10 ⁹	2.2×10 ⁶								
X1	X2	X3	X4	X5	X6					

(b) 21層モデル (Y2, Y3 通り)

付図A 各ダンパー配置位置での α_N および K_{bs}