

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	超高層から中低層の鋼構造建物に関する制振性能評価：その1 建物形状やダンパー配置の違いが骨組特性値に与える影響
Title	
著者(和文)	戸張涼太, 古谷 慶, 佐藤 大樹, 北村春幸
Authors	Ryota Tobaru, daiki sato, Haruyuki Kitamura
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, Vol. 82, No. ,
Citation(English)	, Vol. 82, No. ,
発行日 / Pub. date	2012, 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/110009571495

超高層から中低層の鋼構造建物に関する制振性能評価 その1 建物形状やダンパー配置の違いが骨組特性値に与える影響

構造—振動

準会員 ○ 戸張涼太^{*1} 正会員 古谷慶^{*1}
同 佐藤大樹^{*1} 同 北村春幸^{*1}

中低層建物 超高層建物 制振構造
履歴ダンパー 部材レベル 時刻歴応答解析

1. はじめに

制振構造は大地震時の主架構の変形を抑え、損傷を軽減するために有効であり、多くの制振構造を採用した建物が設計されている。制振構造の設計においては、ダンパーの配置や量などのパラメータが多く存在するため、解析とその結果からの制振性能評価の検討に多くの時間と労力が必要とされることがしばしば問題となる。古谷らは制振性能の優劣を、静的解析のみから得られる「骨組特性値^{1,2)}」を用いて評価できることを示している。

制振構造の応答性状は部材モデルを用いた時刻歴応答解析により詳細に検討を行うことができるが、時刻歴応答解析にはせん断モデルや等価曲げせん断モデルなどの縮約された簡易モデルが用いられる事が多い。モデルのハンドリングが良いことから設計段階のパラメトリックスタディに適しており、より精度の高い簡易モデルが望まれる²⁾。石井・笠井は骨組特性値を用いて、多層制振構造に適用できる部材モデルと整合性を保つ簡易モデルの設定方法を示した²⁾。しかしながら、せん断モデルの精度や傾向についてさまざまな建物で検証し、まとめられた資料は報告されていないのが現状である。

制振構造を設計する際は建物形状・ダンパー配置が制振効果に与える影響と、せん断モデルによる時刻歴応答の傾向を把握することは重要であるといえる。本報では建物形状の異なるモデルにおける制振性能の傾向を示すことを目的とし、その1では建物形状の異なるモデルにおける制振性能の傾向を、時刻歴応答解析と骨組特性値を用いて検討する。その2では、部材モデルを正解値としたときのせん断モデルの誤差(精度)が建物形状によりどのような傾向があるのかを検討する。

2. 検討建物及び解析用入力地震動の概要

対象建物は5階建て、8階建て、21階建て、35階建ての鋼構造建物である。それぞれ5-F、8-F、21-F、35-Fと呼ぶ。平面図と軸組図を図1に、建物諸元を表1に示す。Aspはアスペクト比を表し、図表中ではこの表記を用いる。減衰は、主架構の1次固有周期 T_1 に対して $h=2\%$ となる剛性比例型として、主架構のみに与えている。ダンパーは塑性化部と弾性部で構成される。部材長さの1/3とした塑性化部にはLY225材を用いる。ダンパーの履歴性状は完全弾塑

表1 建物諸元

	高さ(m)	重量(kN)	Asp		T_1 (s)		部材断面	
			X	Y	X	Y	柱	大梁
5-F	21.3	74910	X	0.33	1.10	柱	□-450×450×16×16 ~ □-450×450×22×22	WH-600×200×11×17 ~ WH-800×300×16×28
			Y	0.69	1.00	大梁		
8-F	33	78009	X	0.72	1.54	柱	□-500×500×19×19 ~ □-550×550×50×50	WH-500×200×9×12 ~ WH-850×300×16×32
			Y	1.03	1.46	大梁		
21-F	80.5	109491	X	2.68	2.41	柱	□-450×450×16×16 ~ □-600×600×40×40	WH-600×250×12×19 ~ WH-600×300×12×32
			Y	3.35	2.41	大梁		
35-F	141	373868	X	3.52	4.07	柱	□-600×600×16×16 ~ □-700×700×85×85	WH-700×200×12×19 ~ WH-800×350×14×40
			Y	4.41	4.05	大梁		

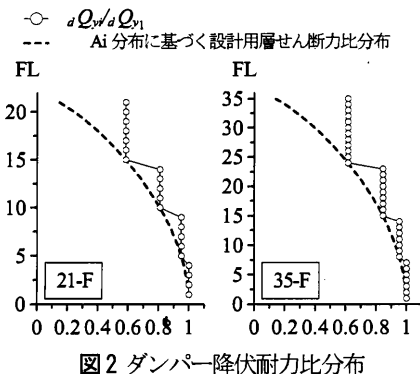


図2 ダンパー降伏耐力比分布

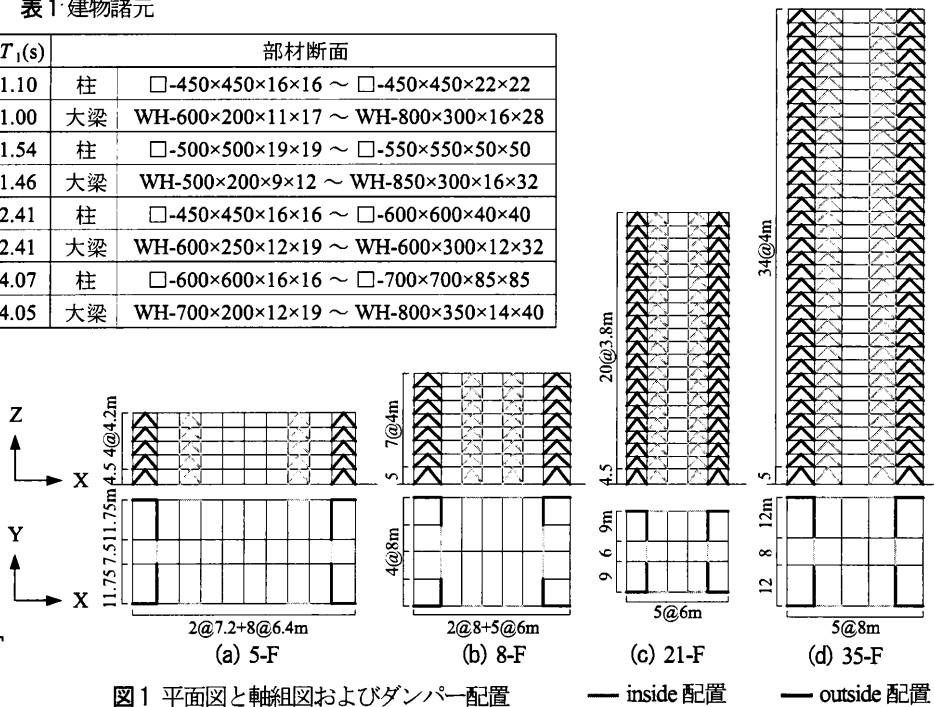


図1 平面図と軸組図およびダンパー配置

性とする。各層のダンパーの降伏層せん断力 Q_{yi} は、5-F と 8-F で第 1 層のダンパー降伏層せん断力 dQ_{y1} と同じ値を用いる。21-F と 35-F では dQ_{y1} を基準とし、Ai 分布に基づく降伏層せん断力分布を 4 段階に分けたものに従い決定する (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。

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

ここで、 g : 重力加速度、 m_i : i 層の質量である。ダンパーの配置は図 1 にも示すように架構の内側に設置する Inside 配置および架構の外側に設置する Outside 配置の 2 パターンとする。

本報での解析用入力地震動には ART HACHI (位相特性 : HACHINOHE 1968 EW) を使用する。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 $V_E(h=10\%)$ を示す。

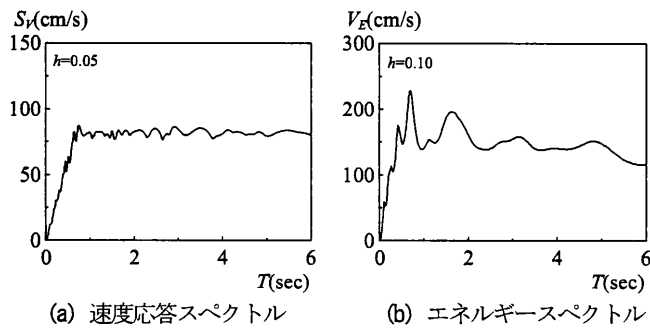


図 3 ART HACHI のスペクトル

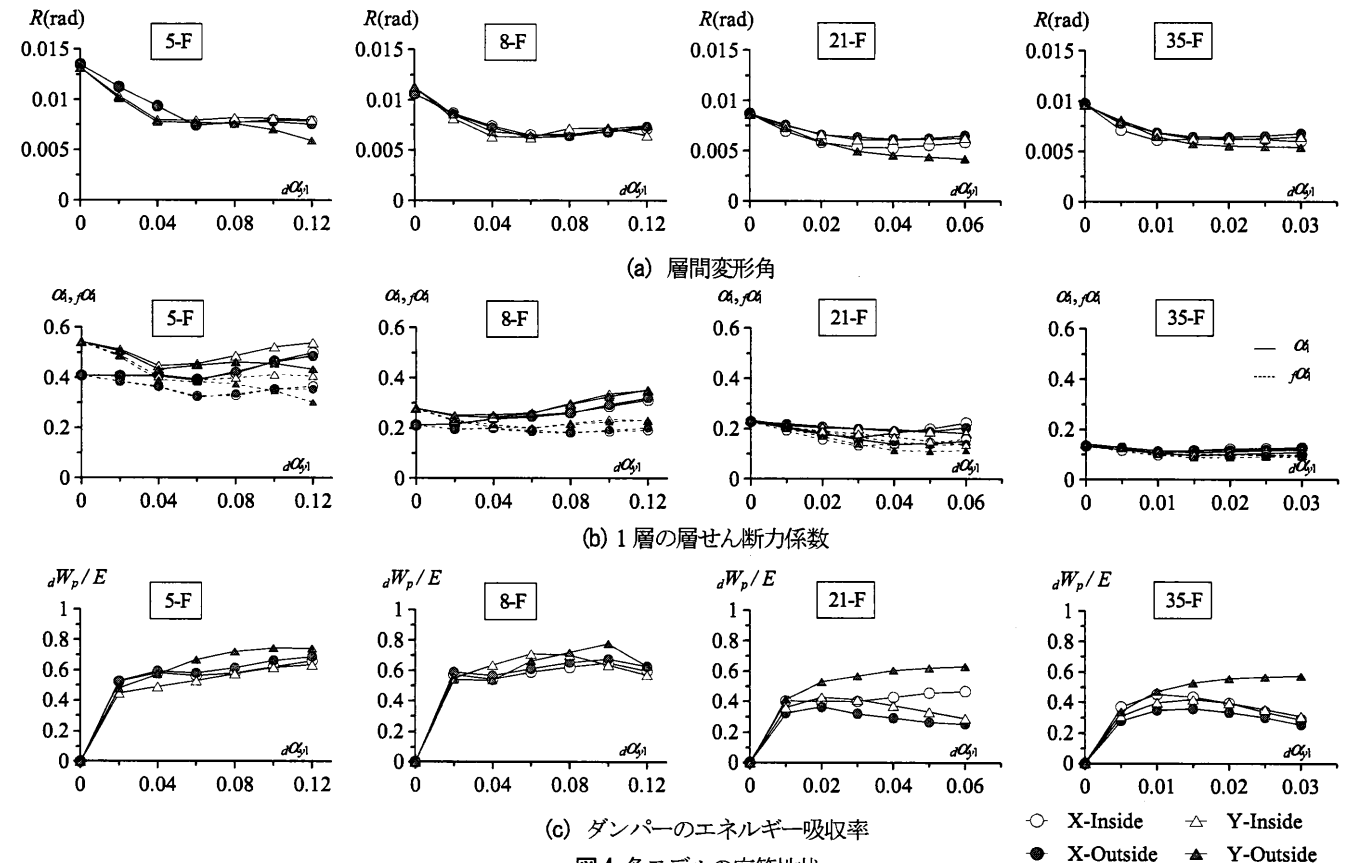


図 4 各モデルの応答性状

3. 建物形状・ダンパー配置が制振性能に与える影響

本章では建物形状及びダンパー配置が制振性能に与える影響を時刻歴応答解析の結果から検討する。ダンパーによる制振効果は層間変形角 R 、1 層の層せん断力係数 α_1 、入力エネルギー E に対する全ダンパーのエネルギー吸収量 dW_p の割合 dW_p/E を用いて検討を行う。

3.1 建物形状から見た応答変化

各モデルでの $d\alpha_{y1}$ を増加させた時の応答の変化を図 4 に示す。 $d\alpha_{y1}=0$ はダンパーを設置していない主架構のみの状態を表す。図 4(a) の層間変形角をみると、 $d\alpha_{y1}$ が増加するとすべてのモデルで R は低減していく。この時の $d\alpha_{y1}=0$ に比べた応答の低減は、5-F、8-F に比べると 21-F と 35-F では小さいことがわかる。図 4(b) の層せん断力係数 α_1 をみると、5-F および 8-F では $d\alpha_{y1}$ を増加させても α_1 はほとんど低減せずに増加する傾向にある。しかし 21-F と 35-F では $d\alpha_{y1}$ 増加により α_1 は低減してゆき極値をとった後増加している。図 4(c) のダンパーのエネルギー吸収率 dW_p/E をみると 5-F では最大 0.7、8-F では最大 0.75 をとっているが 21-F、35-F では dW_p/E は最大でも 0.6 となり 21-F および 35-F では dW_p/E の値は 5-F と 8-F に比べ小さい傾向にあった。以上より、中低層のモデルに比べ超高層のモデルはダンパー量の増大に伴う R の低減効果は小さいが、 α_1 の低減効果が大きいことがわかる。また、超高層のモデルはダンパー量を増しても dW_p/E の最大値が小さく、中低層のモデルに比べダンパーによるエネルギー吸収効率が低いことが確認できる。

3.2 ダンパー配置の違いによる応答変化

本節では前節で示した応答性状をダンパー配置に着目して制振性能の評価を行う。モデルごとに見ていくと図4(a),(b)より5-FではRと α_1 どちらも配置による明確な差はないが、図4(c)の $\delta W_p/E$ ではX,Y方向ともにOutsideがInsideを上回っている。8-Fも同じくRと α_1 どちらも配置による明確な差はなく、 $\delta W_p/E$ ではX方向のOutsideがInsideを上回っている。8-FのY方向では $\delta\alpha_1=0.06$ までInside > Outsideとなり、それ以降は逆転している。21-Fを見るとX方向はInside、Y方向ではOutsideの制振効果が高いことがR、 α_1 、 $\delta W_p/E$ から確認できる。35-Fでは、X方向のOutsideにおける α_1 が $\delta\alpha_1=0.015$ 以降でInsideよりも低減されているがその差は小さく、逆にRおよび $\delta W_p/E$ ではInsideの応答低減がOutsideに比べ大きいいため、Insideの制振効果が高いといえる。35-FのY方向ではOutsideの制振効果が高い。Insideに比べOutsideの制振効果が高い傾向を示した8-FのY方向、21-FのX方向、35-FのX方向はInsideとOutsideでダンパーの取り付け角度に違いがなく(図1)、角度に差がない場合の制振性能はInsideが高いといえる。それ以外のモデルはOutsideの角度がInsideの角度に比べ低く、角度が低くなるとダンパーは有効に働くと考えられる。これらの傾向は建物形状によらず確認できる。また、中低層モデルでは超高層モデルに比べ配置によるRおよび α_1 の差が大きく現れない傾向もあるといえる。

4. 骨組特性値を用いた制振性能評価

4.1 骨組特性値の算出方法

本章では、建物形状及びダンパー配置が制振性能に与える影響について骨組特性値を用いて検討を行う。骨組特性値は主架構のみの弾性部材モデル(状態N)と、主架構の制振部材設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(状態R)の静的解析結果から式(2)によって得られる¹⁾。

$$\alpha_N = \frac{\delta_{dN}}{\delta_N}, \quad K_{dR} = \frac{F_{dR}}{\delta_R}, \quad K_{bs} = \alpha_N \cdot K_{dR} \quad (2a-c)$$

ここで、 δ_d :ダンパー設置箇所の相対変形の水平成分、 δ :層間変形、 F_d :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、右下の添え字NおよびRは、状態Nおよび状態Rの計算値であること

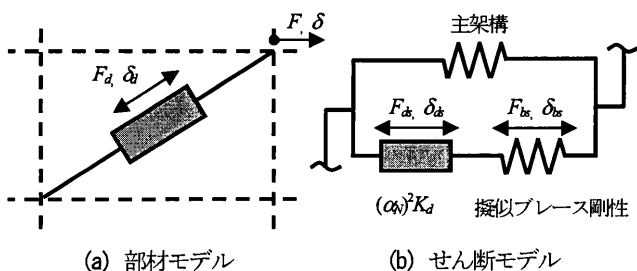


図5 部材モデルとせん断モデルの対応

を示す。骨組特性値 α_N は実効変形比(層間変形に対するせん断変形の割合)の上限値に当たり、擬似ブレース剛性 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。

4.2 α_N および K_{bs} の高さ方向分布での検討

図6に α_N の高さ方向分布を示す。5-Fと8-Fでは全層0.9~1となつたのに対し、21-Fと35-Fでは上層ほど低下しており高層建物における曲げ変形による上層のダンパー効率低下がこの図から伺える。配置に着目すると α_N は21-FのY方向と35-FのY方向以外の全架構でOutsideに比べInsideが大きき値をとった。21-FのY方向と35-FのY方向でOutsideがInsideを上回ったのはダンパー角度による影響と考えられる(4.4節後述)。配置のみを考えると、建物の高さによらずOutsideに比べInsideの α_N が大きくなることからInsideの実効変形比も大きくなり制振効果も高くなるといえる。

図7に K_{bs} の高さ方向分布を示す。下層ほど K_{bs} が増大、上層ほど減少していくという傾向は建物の高さに関係なくすべてのモデルで確認できる。配置に着目して K_{bs} を見ると、InsideがOutsideを上回るモデルは8-FのY方向、21-FのX方向、35-FのX方向である。これらは3.2節で述べたようにInsideとOutsideでダンパー角度に差がないモデルであり、この場合 K_{bs} は建物高さによらずOutsideに比べInsideが大きくなることわかる。 α_N 、 K_{bs} ともにOutside < Insideとなっている8-FのY方向、21-FのX方向、35-FのX方向ではInsideにおける制振効果が高いことが予想でき、3章で示した時刻歴応答解析の結果とも一致する。それ以外ではInside配置の影響よりもOutside配置時のダンパー角度の影響が上回ったと考えられる。

4.3 α_N および K_{bs} の代表値を用いた検討

本節では α_N および K_{bs} の代表値 $\bar{\alpha}_N$ 、 \bar{K}_{bs} を用いてアスペクト比による制振性能の傾向を検討する。代表値 $\bar{\alpha}_N$ は1層~最上層での平均値とし、 \bar{K}_{bs} は1層の K_{bs} が極端に大きくなってしまったため2層~最上層での平均値とする。図8に建物のアスペクト比と $\bar{\alpha}_N$ および \bar{K}_{bs} の関係を示す。図8(a)の $\bar{\alpha}_N$ を見ると、アスペクト比が大きくなるほど $\bar{\alpha}_N$ は減少していくことがわかる。図8(b)より \bar{K}_{bs} は単調減少の傾向は見られず、 K_{bs} はアスペクト比との相関はないことが確認できる。

4.4 ダンパーの取り付け角度の影響

本節では4.2節で制振効果に作用したと考えられるダンパーの取り付け角度の影響を取り扱った上で、配置による制振性能の違いについて骨組特性値を用いて再度検討する。図9はダンパー設置箇所におけるスパンがInsideおよびOutsideで異なったモデルを、両配置で等スパンとなるよう変更を加えたモデルでの α_N および K_{bs} の高さ方向分布である。なおこの図には元々等スパンであったモデルは記載していない。図9(a)の α_N を見るとすべてのモデルでOutsideに比べInsideの α_N が大きき、Insideの制振効果がOutsideに比べ高くなる

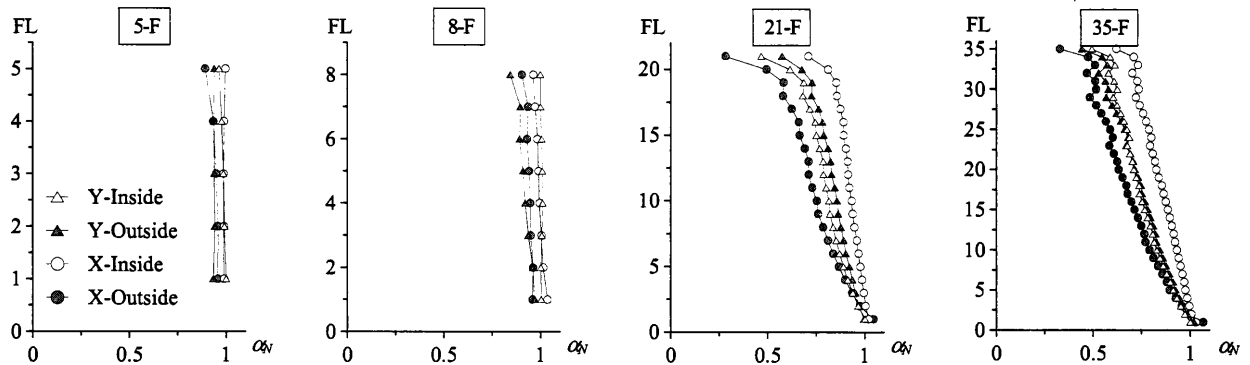


図6 α_N の高さ方向分布

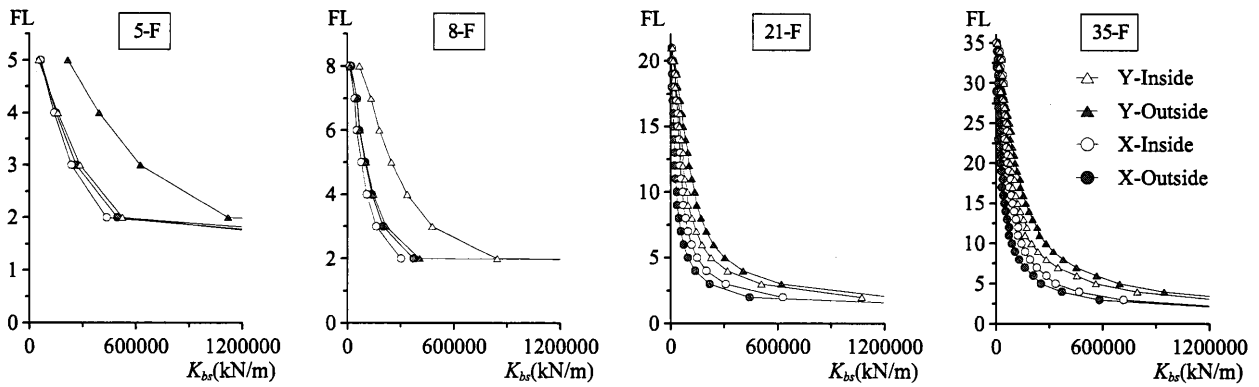


図7 K_{br} の高さ方向分布

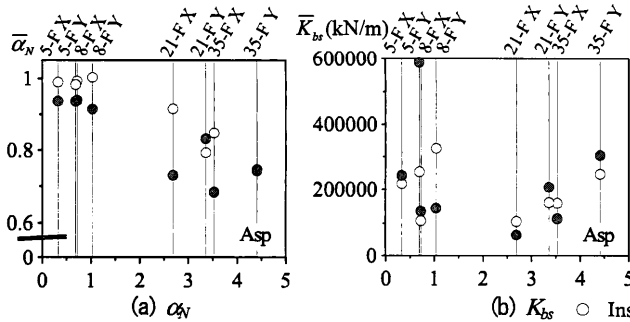


図8 α_N および K_{br} の代表値：アスペクト比での検討

ことは明らかである。図 9(b) K_{br} も同様で、Inside の曲げ剛性が Outside に比べ大きく、内側配置は外側配置に比べ制振効果が高いことがわかる。4.2 節の結果とも合わせて考えると外側配置でもダンパーの取り付け角度をより低くすることで制振効果が上がることがわかる。

5. おわりに

本報では建物形状の異なるモデルにおける制振性能の傾向を示すことを目的とし、時刻歴応答解析及び骨組特性値から制振性能を評価検討した。以下に得られた知見を述べる。

- (1) 時刻歴応答解析より、中低層建物に比べ超高層建物は層間変形の低減効果は小さく、層せん断力の低減効果が大きい傾向がある。また、超高層建物は $\rho W_p/E$ が小さくダンパーのエネルギー吸収率が中低層建物に比べ低下する。
- (2) ダンパーは架構の内側に配置するほど、またダンパー角度は低

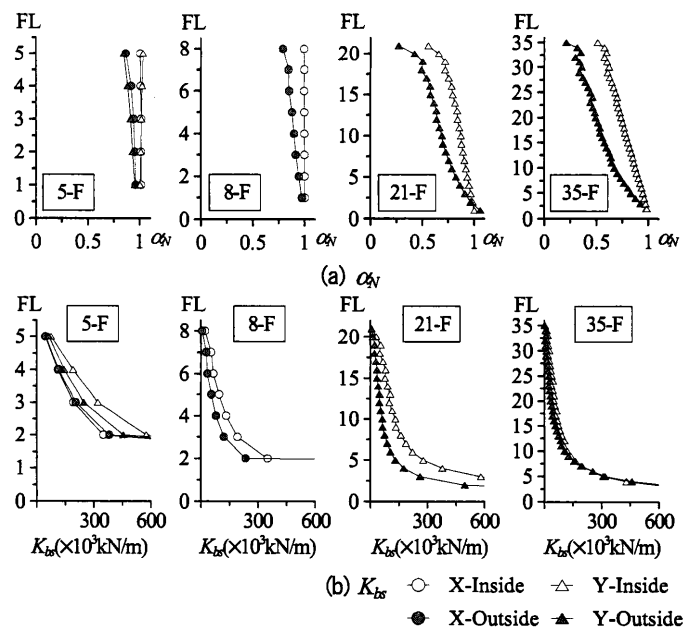


図9 等スパンとした時の α_N および K_{br} の配置による比較

いほど制振効果は高くなる。中低層建物では超高層建物に比べ配置による応答低減の差が大きく現れない。

- (3) アスペクト比が大きくなるほど骨組特性値 α_N の平均値 $\bar{\alpha}_N$ は低下する。擬いブレース剛性 K_{br} にはアスペクト比との相関はない。ダンパーの取り付け角度が低いほど K_{br} は増大し、曲げ剛性が大きくなる傾向がある。

参考文献

その2にまとめて記載

*1 東京理科大学