

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	2060 骨組特性値に基づく超高層制振建物の性能評価：その2 骨組特性値と応答の関係について(構造)
Title	
著者(和文)	添田幸平, 佐藤 大樹, 北村春幸, 古谷 慶, 吉江慶祐, 石井正人, 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: http://ci.nii.ac.jp/naid/110008730300

骨組特性値に基づく超高層制振建物の性能評価 その2 骨組特性値と応答の関係について

構造一振動

正会員 ○ 添田幸平^{*1} 同 佐藤大樹^{*1} 同 北村春幸^{*1}
 準会員 古谷 慶^{*1} 正会員 吉江慶祐^{*2} 同 石井正人^{*2}
 同 宮崎 充^{*3} 同 佐々木和彦^{*3} 同 岩崎雄一^{*3}

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

本報その1では、架構剛性の異なる3つの架構を用いて、ダンパーの配置位置、ダンパー量を変えたときの応答性状の違いについて示した。本報その2では、架構剛性および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¹⁾と応答解析結果の相関関係から評価検討する。

また、ダンパー量・配置を決定する上で、ダンパーの実効変形比を多く確保するかが重要になる。本報では、ダンパー量・配置を決定する上で重要となる実効変形比を、骨組特性値および擬似ブレース剛性¹⁾から予測する。その精度についても検証する。

2. 高さ方向の応答分布と骨組特性値¹⁾の関係

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（状態R）2ケースの静的解析結果から得られる。骨組特性値 $\alpha_N^{i,j}$ 、擬似ブレース剛性 $K_{bs}^{i,j}$ は式（1）で表される¹⁾。

$$\alpha_N^{i,j} = \frac{\delta_{dN}^{i,j}}{\delta_N^{i,j}}, \quad K_{bs}^{i,j} = \frac{F_{dR}^{i,j}}{\delta_R^{i,j}}, \quad K_{bs}^{i,j} = \alpha_N^{i,j} K_{dR}^{i,j} \quad (1)$$

ここで、 $\delta_d^{i,j}$ ：ダンパー設置箇所相対変形の水平成分、 $\delta^{i,j}$ ：層間変形、 $F_d^{i,j}$ ：ダンパー設置箇所弾性バネが負担する軸力の水平成分、右上の添え字 (i,j) は i 層 j 番目の制振部材を示す。また、右下の添え字NおよびRは、状態Nおよび状態Rの計算値であることを示す。

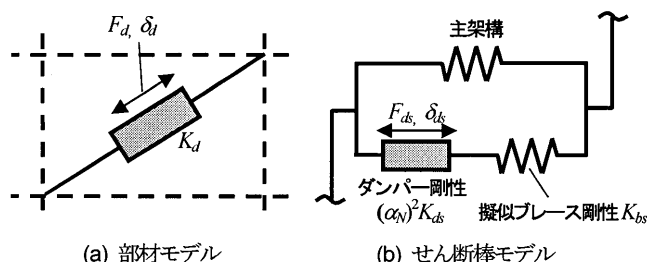


図1 部材モデルとせん断棒モデルの対応

骨組特性値 $\alpha_N^{i,j}$ は実効変形比の上限値に当たり（3.1節、後述）、擬似ブレース剛性 $K_{bs}^{i,j}$ は、ダンパー設置箇所の架構の曲げ剛性を表現し、せん断棒モデルではダンパーと直列に配置される（図1）。

2.1 架構別の比較

図2に最適ダンパー量を付加した配置Bにおける架構別の高さ方向の応答分布および、高さ方向の架構特性分布を示す。最適ダンパー量は、本報その1同様、ダンパーによるエネルギー吸収率 E_d/E が極大値となるダンパー量とする。なお、 α_e および W_d は本報その1の図8と等しい。30H、37Hおよび44Hのいずれにおいても、25層以上でダンパーが効率良く働いていないことを本報その1で示した。図2(c)より、 α_N よりダンパー非設置時において25層以上で大きく低下していることが確認できる。上層のダンパーの効率が低いことを α_N から想定できる。また、架構剛性が小さいほど α_N が大きくなり、図2(a)の α_e と大小関係が対応している。図2(d)より、擬似ブレース剛性 K_{bs} は、30H、37H、44Hの順に大きいことが確認できる。 K_{bs} から直接30H、37Hおよび44Hそれぞれのダンパー効率の良し悪しを判断できない。下層で効率良くエネルギーを吸収し、上層では、効率が悪いという傾向は、 K_{bs} の分布形状から確認できる。

2.2 ダンパー配置別の比較

図3に最適ダンパー量を付加した37Hにおける配置別の高さ方向の応答分布および、高さ方向の架構特性分布を示す。なお、 α_e および W_d は本報その1の図9と等しい。配置D、配置A、配置B、配置Cの順に α_e が大きいことを本報その1で確認している。図3より、 α_e の大小関係が K_{bs} と対応しており、ダンパー設置位置の曲げ剛性が大きいほど α_e は大きいことがわかる。ダンパーの配置位置がダンパー効率に及ぼす影響は、 K_{bs} から判断できることがわかる。1～5層で連層配置の W_d に比べ千鳥配置の W_d が下回っているが、6層以上で擬似ブレース剛性 K_{bs} と α_e および W_d の大小関係は異なる。下層で効率良くエネルギーを吸収し、上層では、効率が悪いという傾向は、 K_{bs} の分布形状から確認できる。 α_e は千鳥配置では、応答

の大小関係が、 α_N の大小関係と一致しないが、 K_{bs} においては、大小関係が一致する。同じ架構において、ダンパーの配置とダンパー効率の大小関係のみであれば、 K_{bs} の大小関係から評価できると考えられる。

3. 実効変形比と最適ダンパー量の関係

3.1 代表応答の算出

本報その1より、ダンパーがエネルギーを吸収すると見込める層は、いずれのモデルにおいて、概ね1～20層までであることを確認した。今後、一つの建物に対する代表応答 $\bar{x}$ は、記述が無い限り1～20層までの各層の応答 x_i の平均値とする(式(1))。また、20層は検討建物の2/3Hの高さに位置する。

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{20} x_i \quad (2)$$

3.2 実効変形比とダンパーのエネルギー吸収量の関係

図4に、架構剛性の異なる3種にダンパーを配置Bに設置した時の、ダンパーによるエネルギー吸収量と入力エネルギーの比率 E_d/E と実効変形比 α_e の関係を示す。図4(a)に架構別を、図4(b)にダンパーの配置別を示す。最適ダンパー量における E_d/E と実効変形比 α_e の関係を○で示す。図4(a)より、各モデルにおいて、ある実効変形比 α_e で E_d/E が極値をとることが確認できる。 E_d/E が最大となるときの実効変形比 α_e が、最適ダンパー量における α_e と概ね一致することが確認できる。また、最適ダンパー量における α_e は、架構剛性が異なる3種でほぼ一致することが確認できる。他の配置においても同様の傾向が確認できた。

図4(b)より、いずれの配置においても、ある実効変形比 α_e で E_d/E が極値をとることが確認できる。架構別の比較と同様、 E_d/E が最大となるときの実効変形比 α_e が、最適ダンパー量における α_e と概ね一致することが確認できる。

最適ダンパー量における α_e は、ダンパーの配置位置によって異

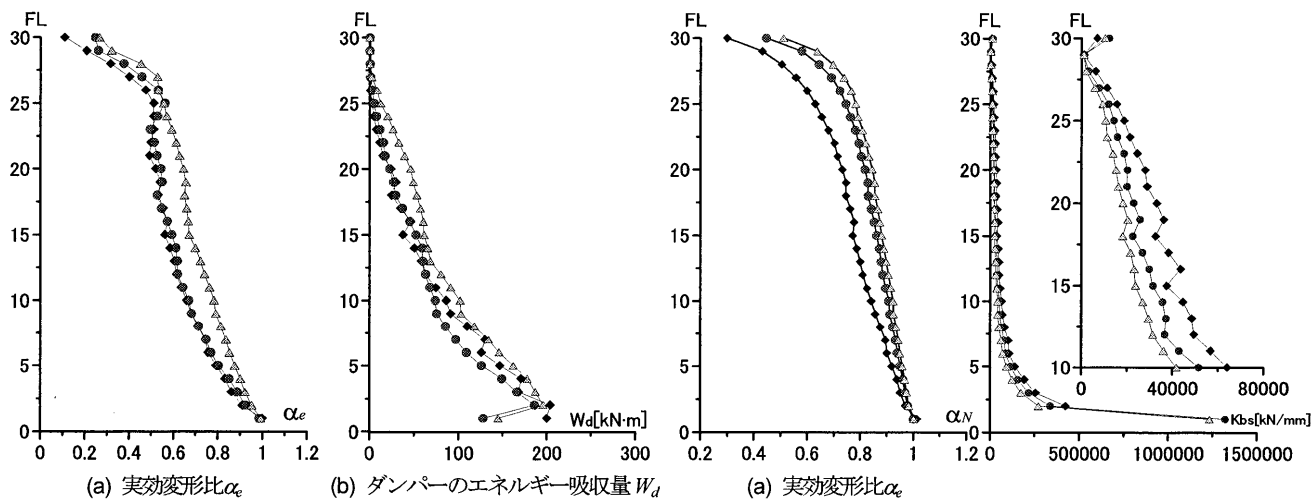


図2 架構別の高さ方向の応答分布および架構特性分布 (配置B)

◆ 30H ● 37H ▲ 44H

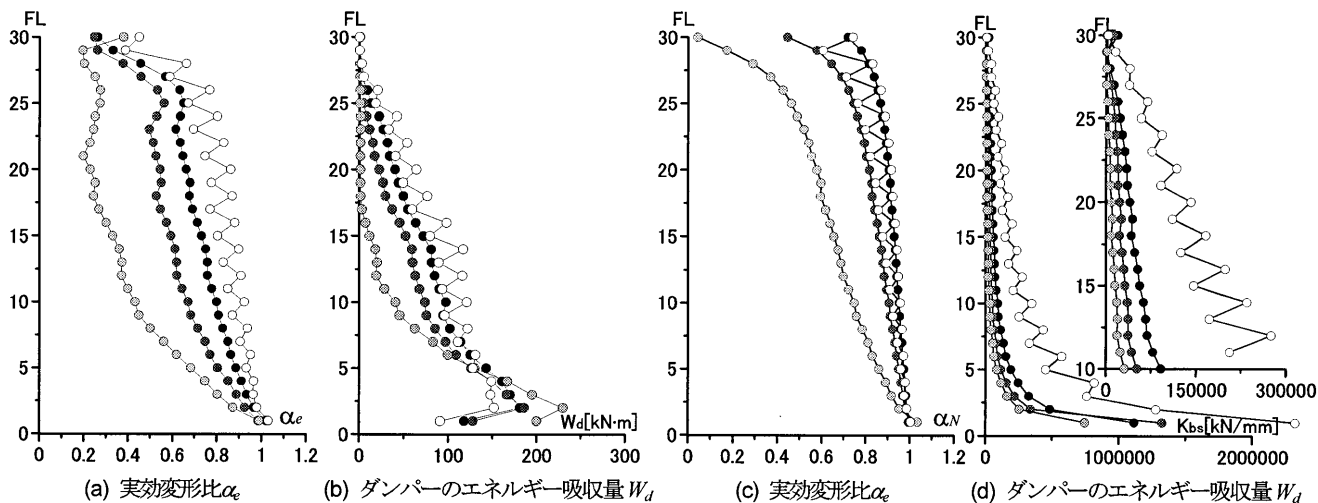
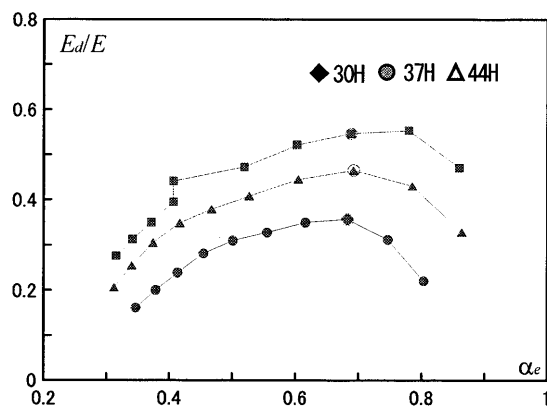


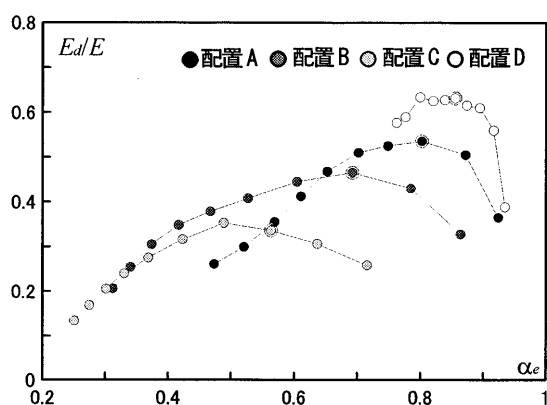
図3 配置別の高さ方向の応答分布および架構特性分布 (37H)

● 配置A ● 配置B ○ 配置C ○ 配置D

なり、連層配置に比べ、千鳥配置（配置 D）の α_e が大きく、連層配置の中では、中央連層配置の α_e が大きい値を示す。 E_d/E においても同様の傾向が見られた。30H および 44H においても同様の傾向が見られた。以上から、最適ダンパー量における α_e を予測することで、最適ダンパー量を予測できると考えられる。



(a) 架構別（配置 B）



(b) ダンパー配置別（37H）

図 4 E_d/E と α_e の関係

4. 実効変形比の予測値と応答解析結果から算出した実効変形比

4.1 塑性化を考慮しない実効変形比 α_{es} の予測式と精度検証

せん断棒モデルと部材モデルの対応関係¹⁾を以下に示す。 α_N を用いて、式(3)より部材系のダンパーの水平変位 δ_d と水平力 F_d を、せん断棒モデルのダンパーの水平変位 δ_{ds} と水平力 F_{ds} に変換することができる。添え字 s はせん断棒モデルを示す。

$$\delta_d = \alpha_N \delta_{ds}, \quad F_d = F_{ds} / \alpha_N \quad (3a, b)$$

せん断棒モデルから、部材モデルの i 層の実効変形比 α_{es} は、式(4a)を用いて予測する。

$$\begin{aligned} \alpha_{es} &= \frac{\delta_d}{\delta} = \frac{\alpha_N \cdot \delta_{ds}}{\delta_{ds} + \delta_{bs}} = \frac{\alpha_N}{1 + \delta_{bs} / \delta_{ds}} = \frac{\alpha_N}{1 + (F_{ds} / K_{bs}) / \{F_{ds} / (\alpha_N^2 \cdot K_{ds})\}} \\ &= \frac{\alpha_N}{1 + (\alpha_N^2 \cdot K_{d1}) / K_{bs}} = \frac{\alpha_N}{1 + \alpha_N^2 \cdot \kappa_d} \end{aligned} \quad (4a)$$

$$\kappa_d = \frac{K_{d1}}{K_{bs}} \quad (4b)$$

ここで、 K_{d1} は弾塑性ダンパーの水平方向の1次剛性である。

式(4a)より、 α_{es} はダンパー剛性、擬似ブレースおよび α_N のみから算出できる。また、 α_{es} は α_e の下限値を示す（図7、後述）。せん断棒モデルから予測した実効変形比 α_{es} の精度を確認するために、 α_{es} と部材モデルにおける応答解析結果から算出した実効変形比 α_e に対する比率 α_{es}/α_e と塑性率 μ の関係を図5に示す。 α_{es}/α_e が1に近づくほど予測値の精度が良いことを示す。灰色が、1～20層までの各層のプロットを示し、黒塗りが1～20層までの平均値を示す。1～20層までの各層のプロットより、塑性率が小さい範囲でばらつきが大きく誤差が20%を超えていることが確認できる。これは、弾塑性ダンパーの塑性率が小さい25層以上で、擬似ダンパーのせん断棒モデルへの変換誤差が影響している。塑性率の大きい範囲では20%以内の誤差に収まらず、ばらつきが大きい事が確認できる。 α_{es} は弾塑性ダンパーの塑性化を考慮していないためであると考えられる。1～20層までの平均値より、概ね20%以内の誤差に収まっていることが確認できる。しかし、塑性率が大きくなるほど予測値の精度が悪くなる。

4.2 塑性化を考慮した実効変形比 $\alpha_{es,eq}$ の予測式と精度検証

4.1節では、弾塑性ダンパーの塑性化を考慮していないため、 α_{es} の予測精度は低いことが確認できた。次に、擬似ダンパーの塑性変形を考慮したときの i 層の実効変形比 $\alpha_{es,eq}$ の予測式を示す。 $\alpha_{es,eq}$ は式(4)より求める。

$$\alpha_{es,eq} = \frac{\delta_d}{\delta} = \frac{\alpha_N}{1 + (\alpha_N^2 \cdot K_{d,eq}) / K_{bs}} = \frac{\alpha_N}{1 + \alpha_N^2 \cdot \kappa_{d,eq}} \quad (5)$$

$$K_{d,eq} = K_d / \mu, \quad \kappa_{d,eq} = K_{d,eq} / K_{bs}$$

ここで、 $K_{d,eq}$ ：最大変位における弾塑性ダンパーの等価剛性、 μ ：各層の塑性率を示す。

$\alpha_{es,eq}$ は α_{es} の算出式に塑性率 μ を加えた形になる。 $\alpha_{es,eq}$ は α_{es} と同様、ダンパー諸元、擬似ブレース剛性との関係だけでなく、主架構の特性である α_N も加味していることが確認できる。 $\alpha_{es,eq}$ と部材モデルにおける応答解析結果から算出した実効変形比 α_e に対する比率 $\alpha_{es,eq}/\alpha_e$ と塑性率 μ の関係を図6に示す。なお、式(5)の精度を確認するため、塑性率 μ は、時刻歴解析より算出した精解値を用いる。 $\alpha_{es,eq}/\alpha_e$ が1に近づくほど予測値の精度が良いことを示す。灰色が、1～20層までの各層のプロットを示し、黒塗りが1～20層までの平均値を示す。1～20層までの各層のプロットより、塑性率が1.5までは、20%以上の誤差が見受けられるが、塑性率が1.5以上ではほぼ1.0を示し、概ねせん断棒モデルから算出した $\alpha_{es,eq}$ が α_e と良い一致を示している。また、1～20層までの平均値より、1～

20 層までの平均値においては、概ね 10%以内の誤差に収まり良好な精度であることが確認できる。

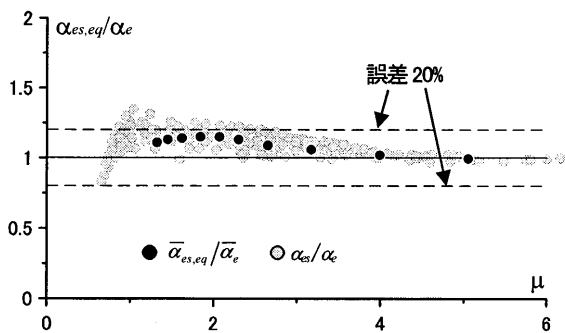


図6 $\alpha_{es,eq}/\alpha_e$ と塑性率 μ の関係 (B37H)

4.3 α_N , α_{es} , α_e の関係

図7にB37Hにおける α_N , α_{es} , α_e の関係を示す。縦軸に α_e 、横軸に κ_d をとる。図7より α_e は、 κ_d が小さい範囲では、 α_N に近い値を示す。一方、 κ_d が大きくなるほど、 α_{es} に近づくことが確認できる。これは、ダンパー量が増えるほど、ダンパーの塑性化が小さいため、1次剛性より求めた α_{es} に近づくと考えられる。また、 α_N は α_e の上限値を示し、 α_{es} は α_e の下限値を示している。

図8に各モデルの α_N 、最適ダンパー量における α_e および α_{es} のプロットを示す。図8より、 α_e は α_N および α_{es} の概ね中間点に位置している事が確認できる。架構剛性の異なる3種の α_e を比較すると、最適ダンパー量における α_e は、ほぼ等しい値を示している。また、配置の異なる4種の α_e を比較すると、最適ダンパー量における α_e は、配置D、配置A、配置B、配置Cの順に小さい値を示している。これより、最適ダンパー量における α_e は、架構の種類にあまり影響せず、配置の違いに大きく依存していることが確認できる。3.2節に示したように、最適ダンパー量における、 α_e と E_d/E は対応することから、塑性率を設定することで、各モデルの最適ダンパー量が予測できることが考えられる。本論文では、そこまでの検討に至らなかったため、今後、検討用建物および地震波を増やした検討を試みる。

5. おわりに

骨組特性値と制振部材の配置位置・時刻歴応答解析結果の相関関係について示した。また、ダンパー量・配置を決定する上で、ダンパーの実効変形比を多く確保するかが重要になる。本報では、ダンパー量・配置を決定する上で重要となる実効変形比を、骨組特性値および擬似ブレース剛性から予測し、その精度を確認した。

以下に得られた知見を示す。

- (1) 骨組特性値および擬似ブレース剛性と時刻歴応答解析結果の関係から、架構剛性の異なるモデルにおけるダンパー効率の

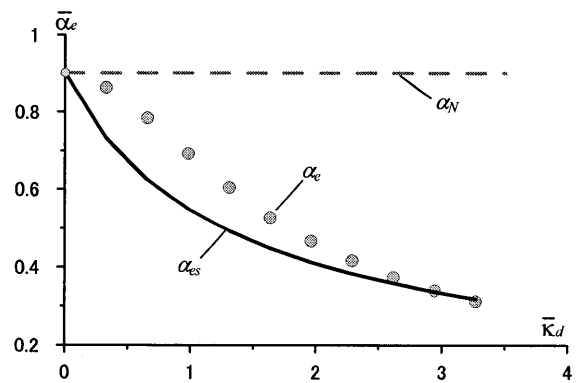


図7 最適ダンパー量における α_e と κ_d の関係(B37H)

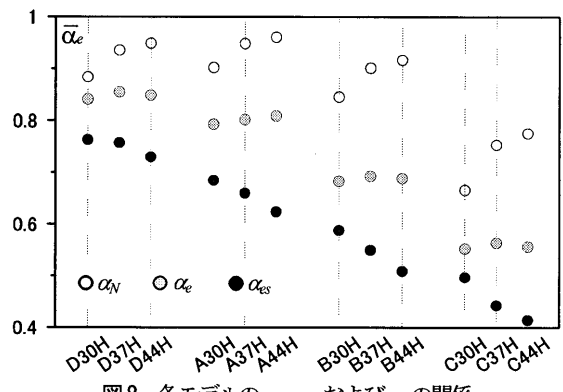


図8 各モデルの α_N , α_e および α_{es} の関係

良し悪しは骨組特性値の分布形状と対応していることが確認できる。また、ダンパーの配置位置とダンパー効率の良し悪しは擬似ブレース剛性の分布形状と対応していることが確認できた。

- (2) 実効変形比の予測式を示した。予測値は時刻歴応答解析結果と概ね一致することを示し、予測式の妥当性を確認した。
- (3) 部材モデルにおける応答解析結果から算出した実効変形比は、骨組特性値、実効変形比の予測値のほぼ中間点に位置することを確認した。塑性率を設定することで、各モデルの最適ダンパー量が予測できることが考えられる。

提案した実効変形比の予測式は、時刻歴応答解析を用いないため、ダンパーを設置した際の時刻歴解析応答解析結果の妥当性を確認する一つの材料になると考える。今後、提案した予測式を用いて、最適ダンパー量の予測まで拡張する予定である。

謝辞

本研究は、オイレス工業、日建設計、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。

*1 東京理科大学

*2 (株)日建設計

*3 オイレス工業(株)