

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	履歴型・粘性型ダンパーを直列連層配置した鋼構造超高層建物の簡易モデル作成手法
Title	
著者(和文)	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. 82, , 2005
Citation(English)	, Vol. 82, , 2005
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/110009571491

履歴型・粘性型ダンパーを直列連層配置した鋼構造超高層建物の簡易モデル作成手法

構造—振動

正会員 ○ 添田幸平^{*1} 同 佐藤大樹^{*1} 同 北村春幸^{*1}
同 石井正人^{*2} 同 吉江慶祐^{*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

粘性ダンパー セン断モデル

1. はじめに

曲げ変形が卓越する超高層建物は、中層から上層にかけてダンパーが有効に稼働するせん断変形が小さいため制振性能が低下する。そこで筆者ら^{1),2)}は、下層に履歴ダンパー、上層に粘性ダンパーを直列連層配置した制振構造を提案し、履歴ダンパーを単独で用いる場合に比べて制振性能が改善されることを、部材モデルにおける時刻歴応答解析結果から確認した。

設計では、多くの時刻歴応答解析により制振構造の応答性状を把握するため、等価せん断モデル²⁾や等価曲げせん断モデル³⁾などの簡易モデルを用いることが多い。しかし、履歴ダンパーと粘性ダンパーを直列連層配置した制振構造(併用モデル)において簡易モデル作成手法に関する研究は無く、併用モデルに対しても既往の簡易モデルをそのまま適用しているのが現状である^{例えば4)}。

そこで、本報では、笠井・岩崎⁵⁾、石井・笠井⁶⁾により報告された「骨組特性値」を用いた簡易モデル(以後、既往モデルと称す)の作成手法を拡張し、併用モデルに対しても有用な簡易モデルの作成手法を示す。さらに、地上30階の超高層鋼構造建物に対して、本手法を適用し精度検証を行う。

2. セン断モデルの作成手法

2.1 既往モデルの作成方法

提案されている骨組特性値を用いた制振構造に有用なせん断モデル^{5),6)}は、擬似ブレースとダンパー要素を直列結合により構成される(図1)。

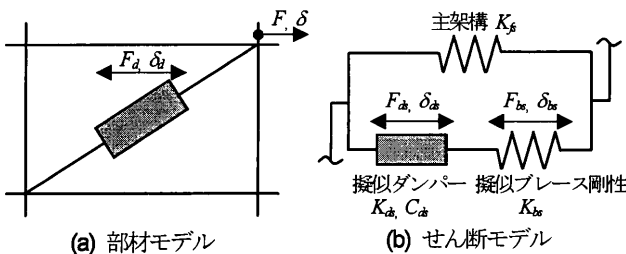


図1 部材モデルとせん断モデルの対応

骨組特性値 α_N および擬似ブレース剛性 K_b は、主架構のみの弾性部材モデル(状態N)および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、式(1)によって算出される^{5),6)}。なお、静的解析時

の荷重はAi分布に基づくものとする。

$$\alpha_N = \delta_{dN} / \delta_N, K_R = F_{dR} / \delta_R, K_{bs} = \alpha_N \cdot K_{dR} \quad (1a, b, c)$$

ここで、 K_R :ダンパー設置箇所の架構の曲げ剛性、 δ_d :ダンパー設置箇所の相対変形の水平成分、 δ :架構の層間変形、 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を示す。せん断モデルと部材モデルの対応関係を以下に示す。 α_N を用いて、式(2)より部材系におけるダンパーの水平変位 δ_d および水平力 F_d を、せん断モデルにおけるダンパーの水平変位 δ_{ds} および水平力 F_{ds} に変換することができる。添え字「s」はせん断モデルを示す。

$$\delta_d = \alpha_N \cdot \delta_{ds}, F_d = F_{ds} / \alpha_N \quad (2a, b)$$

2.2 骨組特性値および擬似ブレース剛性の修正

曲げ変形はダンパーがせん断力を負担することで誘発され、その傾向は、ダンパー量が多いほど、また集中的に連層配置した場合に顕著となる⁷⁾。併用モデルでは、付録Aに示すように履歴ダンパーが負担するせん断力と粘性ダンパーが負担するせん断力との間に位相差が生じることから、全層に履歴ダンパーを設置したときに比べて併用モデルは曲げ変形が緩和される^{注1)}。本報では、その影響を粘性ダンパー設置層の骨組特性値 α_N および履歴ダンパー設置層の架構の曲げ剛性 K_R を修正することで考慮する。図2の併用モデルをもとに、修正法の概略を以下に示す。

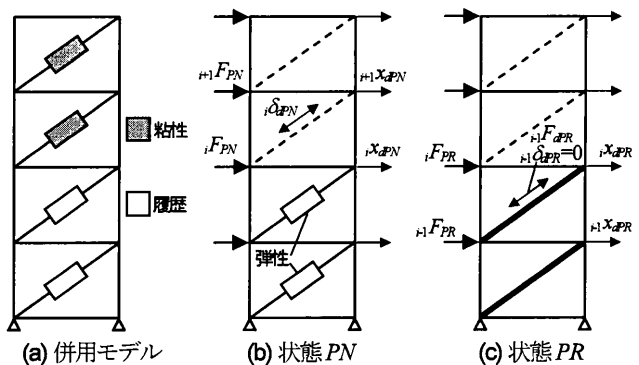


図2 部材モデルと状態PN・PR

まず、粘性ダンパー設置層の骨組特性値の修正法について示す。骨組特性値の修正値 α_{PN} は、履歴ダンパー設置層のみに、使用する履歴ダンパーの初期剛性を持つ弾性バネを挿入した状態PN(図2(b))の静的解析結果から得られ、式(3)により求められる。

$$\alpha_{PN}(K_d) = \delta_{dPN} / \delta_{PN} \quad (3)$$

ここで、右下の添え字 PN は状態 PN の計算値であることを示し、 (K_d) は K_d によって変化する値であることを意味する。

次に、履歴ダンパー設置層の架構の曲げ剛性の修正法について述べる。架構の曲げ剛性の修正値 K_{PR} は、粘性ダンパー設置層のダンパーを外し、履歴ダンパー設置層には剛性が極端に大きい弾性バネを挿入した状態 PR (図 2(c)) の静的解析結果から得られ、式(4)により求められる。

$$K_{PR} = F_{dPR} / \delta_{PR} \quad (4)$$

ここで、右下の添え字 PR は、状態 PR の計算値であることを示す。状態 PN および状態 PR における静的解析時の荷重は A_i 分布に基づくものとする。

各層のダンパーの骨組特性値および擬似ブレース剛性の組合せを以下に示す。

・履歴ダンパー設置層：

$$\text{骨組特性値 } \alpha_N, \text{ 擬似ブレース剛性 } K_{bs} = \alpha_N K_{PR} \quad (5)$$

・粘性ダンパー設置層：

$$\text{骨組特性値 } \alpha_{PN}, \text{ 擬似ブレース剛性 } K_{bs} = \alpha_{PN} K_R \quad (6)$$

3. 簡易モデルの精度検証

3.1 検討用建物および入力地震動の概要

検討対象建物は、図 3 に示す地上 30 階の超高層鋼構造建物^{注1)}であり、解析は X 方向のみを対象とする。架構の弾性 1 次固有周期 T_1 は 4.46 sec である。なお、主架構は弾性状態を保つものとし、構造減衰は架構の T_1 に対して 2% となる剛性比例型とする。

ダンパーの配置は $Y2$ および $Y3$ 通りに連層配置とする(図 3 (b))。本報では、履歴ダンパーを全層に配置したモデル $HD30$ 、粘性ダンパーを全層に配置したモデル $VD30$ 、下層に履歴ダンパー・上層に粘性ダンパーを配置し境界層を 25 層、20 層、15 層、10 層、5 層とした併用モデル 5 種(それぞれ $HD25, HD20, HD15, HD10, HD05$)、下層に粘性ダンパー・上層に履歴ダンパーを配置し境界層を 25 層、20 層、15 層、10 層、5 層とした併用モデル 5 種(それぞれ $VD25,$

$VD20, VD15, VD10, VD05$)、履歴ダンパーと粘性ダンパーを 3 層毎に交互に配置したモデル AD の計 13 種の配置を用いる(図 3 (c))。併用モデルの各層のダンパーは $HD30$ と $VD30$ のダンパーを組み合わせる。履歴ダンパーには、 $LY225$ 材からなる座屈拘束型ブレースを用い、降伏せん断力係数 $\alpha_{d1} = 0.025$ を採用する^{注1)}。粘性ダンパーは、線形粘性ダッシュポットと弾性バネを直列結合したモデルを用いる^{注1)}。

検討用入力地震動は、速度応答スペクトルを $S_v = 0.8m/s (h=5\%)$ とした模擬波 3 波と観測波 2 波を用いる。模擬波の位相特性は $HACHINOHE 1968 EW$ (以降 $ART HACHI$)、 $JMA KOBE 1995 NS$ (以降 $ART KOBE$)、 $TOMAKOMAI 2003 NS$ (以降 $ART TOMA$) を採用する。観測波は、最大速度を $0.5m/s$ に基準化した $EL CENTRO 1940 NS$ 波 (以降 $EL CENTRO$)、 $JMA KOBE 1995 NS$ 波 (以降 $JMA KOBE$) を採用する。図 4 に、速度応答スペクトル $S_v (h=5\%)$ を示す。

3.2 α_{PN} および K_{bs} の性状

各モデルの α_{PN} および K_{bs} の高さ方向分布を図 5 に示す。 α_{PN} の算出には、 $\alpha_{d1} = 0.025$ の時の初期剛性に相当する弾性バネを設置する。図 5(a)より、 α_{PN} は履歴ダンパー設置層が多いほど低下することが確認できる。つまり、状態 PN は、粘性ダンパー設置層における実効変形比の上限値を減少させる効果を持つことがわかる。図 5(b)より、併用モデルにおける履歴ダンパー設置層の K_{bs} は、全層にダンパーを配置したときに比べて増加し、併用モデルにおける粘性ダンパー設置層の K_{bs} は全層にダンパーを配置したときに比べて減少すること確認できる。ダンパー量の増加に伴う実効変形比の減少は、 K_{bs} が大きいほど鈍くなることから⁸⁾、状態 PR は履歴ダンパー設置層における実効変形比の減少を鈍くする効果を持つことがわかる。

3.3 精度検証結果

$ART HACHI$ 入力時の $HD15, VD15$ および AD における部材モデルとせん断モデルの応答分布の比較を図 6 に示す。また、状態 N および状態 R のみを用いたモデルの応答(既往モデル)、状態 PN および状態 PR を用いたモデルの応答(本モデル)を重ねて示す。

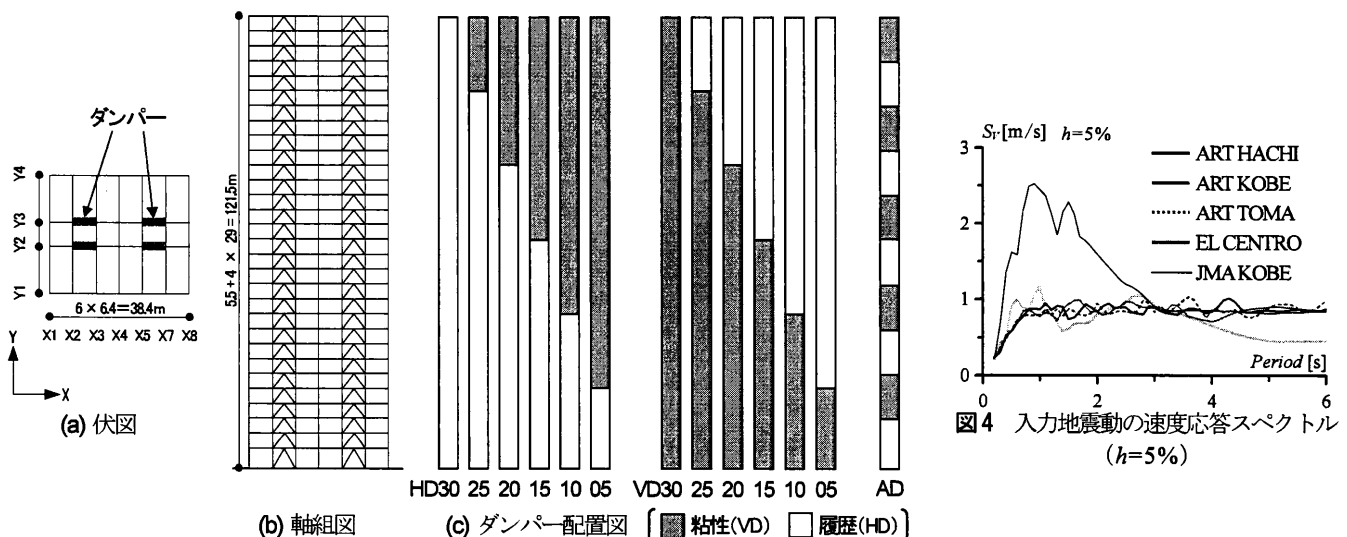


図3 検討対象建物の伏図、軸組図、ダンパー配置図

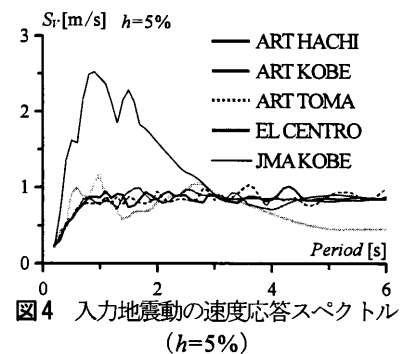


図4 入力地震動の速度応答スペクトル (h=5%)

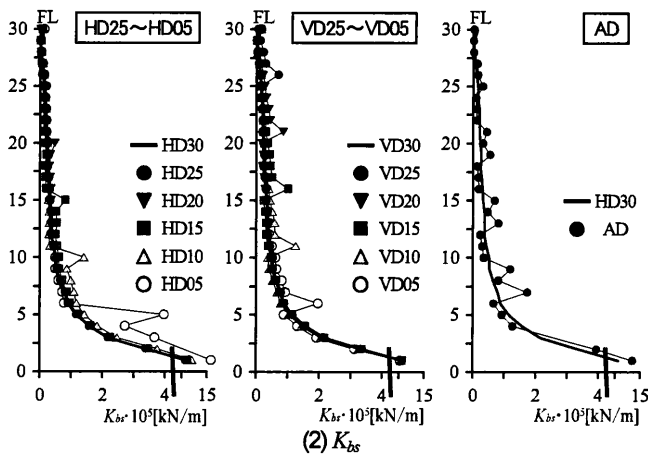
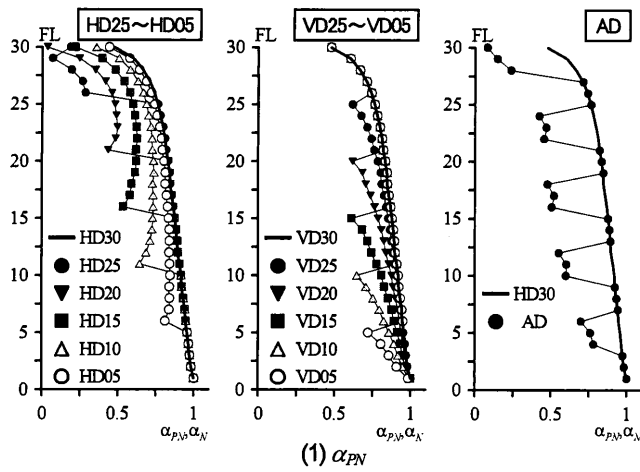


図5 α_{PN} および K_{PR} の高さ方向分布の比較

図の層間変形角 R に着目すると、HD15 および AD の粘性ダンパー設置層では、本モデルが部材モデルを上回るが、概ね一致していることが確認できる。VD15 では、本モデルが精度良く部材モデルを再現していることが確認できる。また、いずれのモデルにおいても既往モデルと本モデルでは大きな差は見られない。層せん断力 Q に着目すると、層間変形角と同様、いずれのモデルにおいても、本モデルが精度良く部材モデルを再現していることが確認できる。また、いずれのモデルにおいても既往モデルと本モデルでは大きな差は見られない。ダンパーによるエネルギー吸収量 w_d に着目すると、いずれのモデルにおいても既往モデルは、境界層付近で部材モデルの w_d を再現できていない。一方、本モデルは境界層付近の w_d が改善され、部材モデルの w_d を精度良く再現している。ART KOBE, ART TOMA および EL CENTRO を入力した場合においても ART HACHI を入力した場合と同様、本モデルは部材モデルの R , Q および w_d を再現していることを確認している。しかし、高次モードが卓越する JMA KOBE を入力した場合には R , Q および w_d の精度が劣る (図7)。

図8 に全てのケースにおける各層の部材モデルと本モデルの応答比較を示す。層間変形角 R は、前述したように JMA KOBE でばらつきが大きく、精度が劣るが、他の位相特性では概ね誤差 $\pm 15\%$ 以内に収まる。層せん断力 Q およびダンパーによるエネルギー吸収量 w_d は、全ケースで概ね $\pm 15\%$ 以内に収まり精度は良好である。

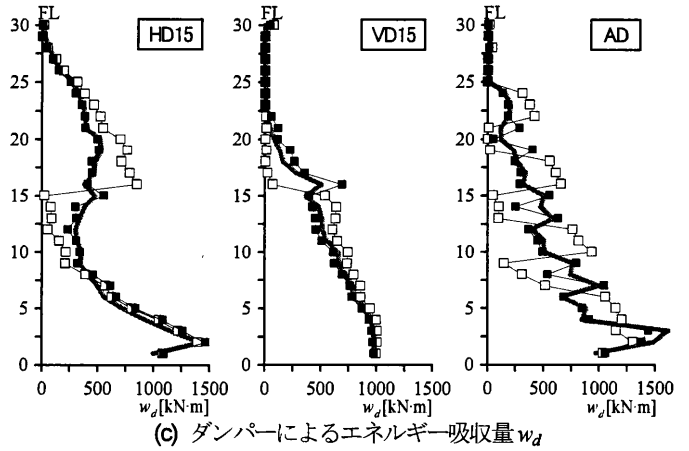
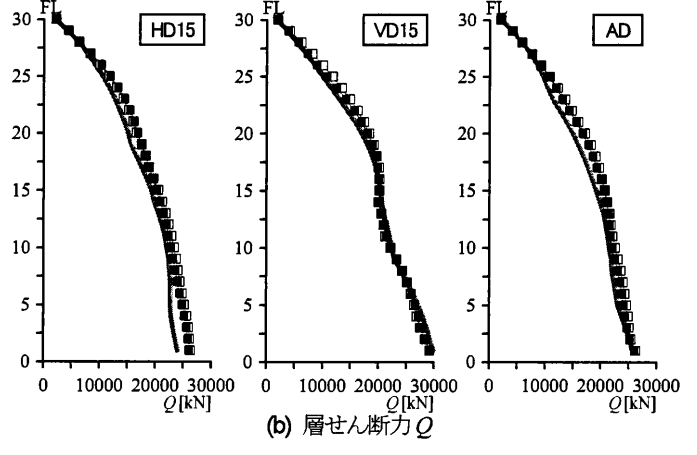
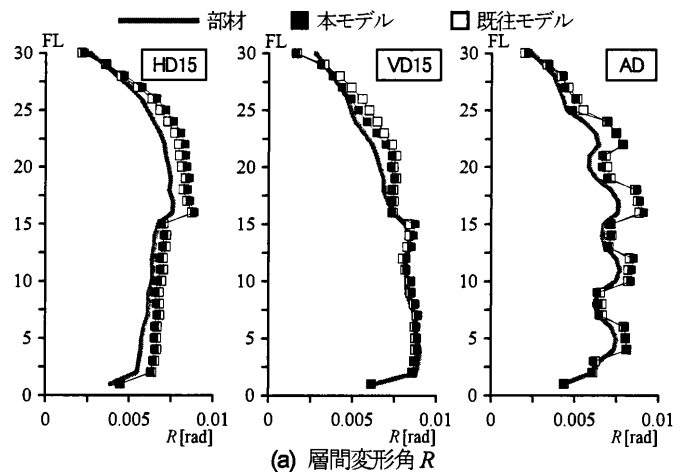


図6 高さ方向分布の比較 (ART HACHI)

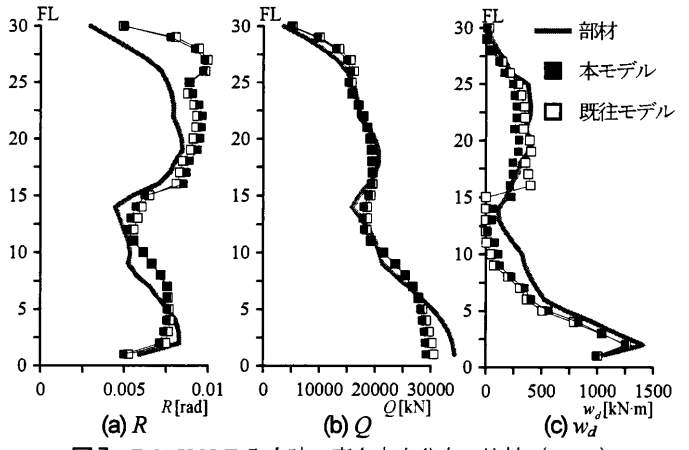


図7 JMA KOBE 入力時の高さ方向分布の比較 (HD15)

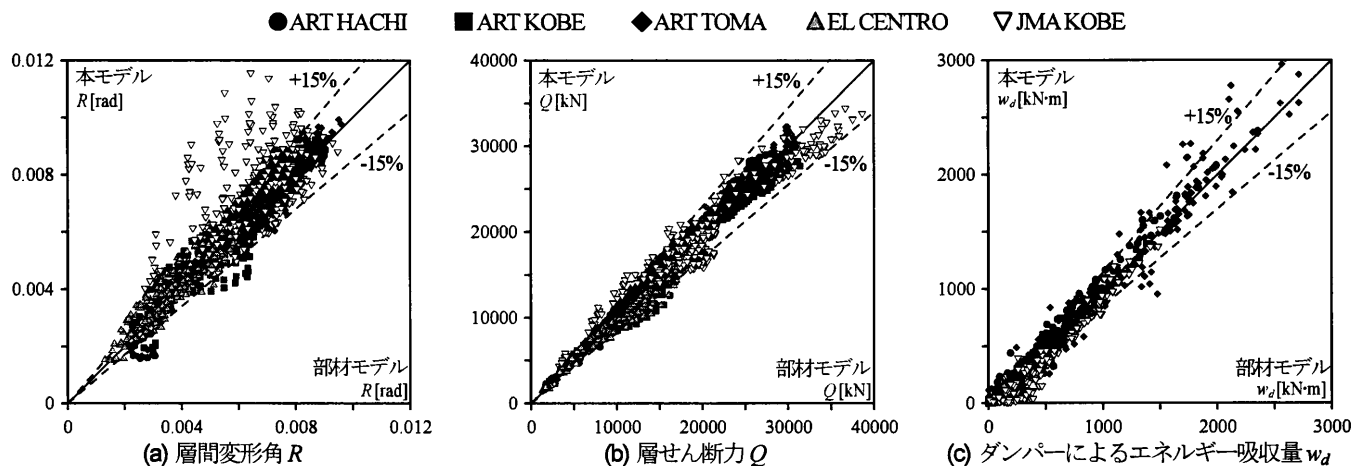


図8 部材モデルと本モデルの応答比較

4. おわりに

「骨組特性値」を用いた簡易モデルの作成手法を拡張し、併用モデルに対して有用な簡易モデルの作成手法を示した。さらに、地上30階の超高層鋼構造建物に簡易モデルの作成手法を適用し、部材モデルでの解析結果と比較することで精度検証を行った。以下に得られた知見を示す。

- (1) 履歴ダンパー設置層のみに弾性バネを挿入した状態 PN の静的解析結果から得られた骨組特性値は、履歴ダンパー設置層が多いほど低下し、これによって粘性ダンパー設置層における実効変形比の上限値が減少する。
- (2) 履歴ダンパー設置層のみに極端に大きい弾性バネを挿入した状態 PR の静的解析結果から得られる架構付近の曲げ剛性は、全層にダンパーを配置したときに比べ増加し、これによって併用配置における粘性ダンパー設置層の実効変形比のダンパー量に対する減少率は小さくなる。
- (3) 状態 PN および状態 PR より得られた骨組特性値および擬似ブレース剛性を用いて作成したせん断モデルは、高次モードが卓越する場合を除けば、部材モデルの応答を精度良く再現できる。

謝辞

本研究は、日建設計、オイレス工業、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) 渥美孝紘, 北村春幸, 石井正人, 浦本弥樹: 鋼構造超高層建物における履歴減衰型・粘性減衰型制振部材の高さ方向併用配置の提案(その1-2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.763-766, 2006.9
- 2) 北村春幸: 性能設計のための建築振動解析入門(第2版), 朝国社, 2009.4
- 3) Huang, Y.H., Wada, "A Method of Preliminary Seismic Design for Tall Building", Report of The Reserch Laboratory of Engineering Materials, Tokyo Institute of Technology, Number 21, 1996
- 4) 小野喜信, 黄一華, 和田章: 履歴ダンパーと粘性ダンパーを組込んだ高層建物の動的性質, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.629-630, 1996.9
- 5) 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バネ系への変換法, 日本建築学会構造系論文集, No.605, pp37-46, 2006.7

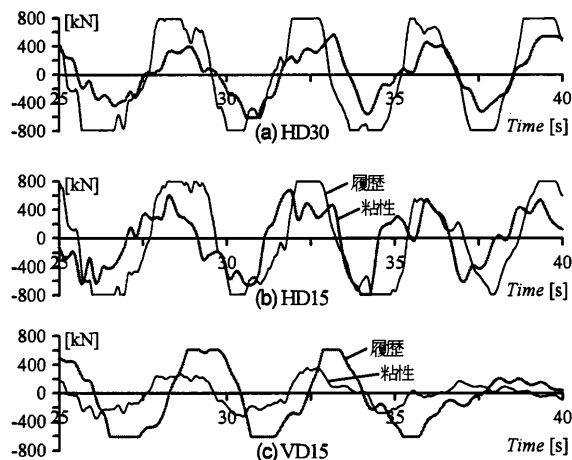
- 6) 石井正人, 笠井和彦: 多層制振構造の時刻歴解析に用いるせん断棒モデルの提案, 日本建築学会構造系論文集, 第647号, pp.103-112, 2010.11
- 7) 石井正人, 北村春幸, 和田章, 笠井和彦: 粘弾性型制振部材付き架構のモデル化に関する検討, 日本建築学会構造系論文集, 第531号, pp.55-62, 2000.5
- 8) 添田幸平, 佐藤大樹, 北村春幸, 古谷慶, 石井正人, 吉江慶祐, 宮崎充, 佐々木和彦, 岩崎雄一: 超高層建物における実効変形比に着目した制振性能評価 その2 制振効果の評価指標の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.775-776, 2011.8

注

注1) 「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」2012年の日本建築学会技術報告集に掲載予定である。

付録A 履歴ダンパーと粘性ダンパーの負担せん断力 F_d の位相差

HD30, HD15, VD15における1層, 17層に設置したダンパーの負担せん断力 F_d および $17F_d$ の時刻歴波形を付図Aに示す。入力地震動はART HACHIである。ただし, HD15の $17F_d$ は相対的に小さいため5倍した値 ($5 \cdot 17F_d$) を図示している。付図AよりHD30の F_d は上層に遅れが生じているのが確認できる。HD15およびVD15では, 粘性ダンパーの F_d が履歴ダンパーの F_d と比べて立ち上がりが早く, HD30と比べてHD15およびVD15における $17F_d$ と $17F_d$ の位相差が大きいのが確認できる。



付図A ダンパーの負担せん断力の時刻歴波形 — F_d — $17F_d$

*1 東京理科大学 *2 (株)日建設計 *3 オイレス工業(株)