

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	履歴ダンパーを有する超高層制振建物における骨組特性値と等価減衰定数による制振性能評価
Title(English)	Vibration control performance evaluation based on frame parameters for control and equivalent damping ratio for high-rise building with hysteretic dampers
著者(和文)	澤侑弥, 佐藤大樹, 戸張涼太, 吉永光寿, 安永隼平, 金城陽介
Authors(English)	Yuya Sawa, Daiki Sato, Ryota Tobari, Mitsutoshi Yoshinaga, Jumpei Yasunaga, Yosuke Kaneshiro
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 747-748
Citation(English)	, , , pp. 747-748
発行日 / Pub. date	2021, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

履歴ダンパーを有する超高層制振建物における骨組特性値と等価減衰定数による制振性能評価

正会員 ○澤侑弥*1 同 佐藤大樹*2 同 戸張涼太*3
同 吉永光寿*3 同 安永隼平*4 同 金城陽介*5

超高層制振建物 鉄骨構造建物 履歴ダンパー
骨組特性値 等価減衰定数 性能評価

1. はじめに

近年、大地震発生の対策として、建物に制振部材を設置する制振構造を採用する建物が増えている。制振構造は制振部材配置箇所や投入量に大きな影響を受けるため、設計時にそれらを考慮する必要がある。しかしながら、任意の外力に対して有効に作用する制振部材配置箇所や投入量を決定するには、時刻歴応答解析などが必要となり、設計者に大きな負担がかかる。そこで筆者らは、状態 NR 解析から得られる骨組特性値¹⁾と等価減衰定数を用いた制振性能評価を提案し、履歴ダンパーを有する 35 層建物モデルで有効性を確認した²⁾。本報では、他の建物高さでも適用可能であることを、履歴ダンパー（以降、ダンパー）を設置した 50 層建物モデルで評価を行う。

2. 解析モデル概要

2.1 検討対象建物概要およびダンパーの概要

検討対象建物は 50 階建ての鉄骨構造建物とする。軸組図 (Fig. 1) および基準階伏図 (Fig. 2) を示す。主架構のみのモデル（以降、フレームモデル）の 1 次固有周期 T_1 は 7.39 s である。構造減衰は T_1 に対して、減衰定数 $h_0 = 2\%$ となる初期剛性比例型とする。また、X 方向のみ検討を行い、主架構は弾性とする。ダンパーの高さ方向の配置（以降、ダンパー配置）は Fig. 1 に示すように連層配置であり、Outside, Inside, Center (基準型配置), Chidori, A, X (併用型配置) とする。各層のダンパー降伏層せん断力分布は、1 層のダンパー降伏層せん断力 Q_{dy1} 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 段階とする (Fig. 3)。本研究では 1 層のダンパー降伏層せん断力係数 α_{dy1} をダンパー量と呼ぶ。一般的に建物に水平外力が作用したとき、建物の内側の柱は外側に比べ軸変形が小さく、ダンパーを内側の方が建物全体の曲げ変形が抑制でき、制振性能は向上する。そのため、基準型配置の Center は制振性能が高いと推測できる。しかし、併用型配置はダンパー配置が煩雑なため推測が難しい。なお、Fig. 1 に示す値は、 $\alpha_{dy1} = 0.004$ の時の弾性 1 次固有周期 T_1 を示す。 T_1 は Chidori が最も短く、Outside が最も長い。これらは、付加系剛性 (2.2 節後述) に依存するため、Chidori の付加系剛性が大きく、制振性能が高いと推測できる。

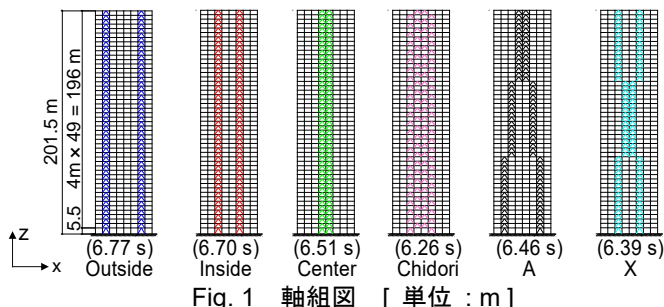


Fig. 1 軸組図 [単位: m]

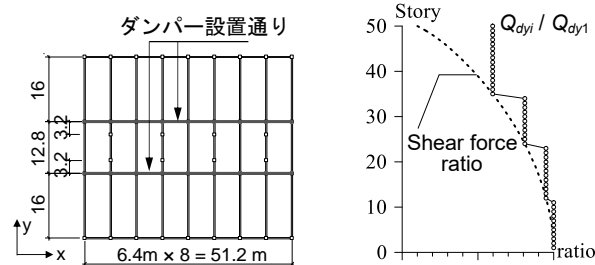


Fig. 2 基準階伏図 [単位: m]

Fig. 3 ダンパー降伏層せん断力分布比

2.2 せん断モデル化概要¹⁾

実効変形比（層間変形に対するダンパー変形の水平成分の比）を考慮したせん断モデル化概要を記す。せん断モデルの各バネ要素は、擬似フレーム、擬似ダンパー、擬似ブレースで構成され、状態 N/R 解析より得られる骨組特性値から算出できる。状態 N/R 解析は各状態で Ai 分布などの外力を作用させるものである。状態 N は主架構のみの弾性部材モデル、状態 R は弾性部材モデルの制振部材設置箇所に極端に剛性の高い弾性バネを挿入した状態である。骨組特性値は、状態 N の制振部材設置箇所の実効変形比 $\alpha_{N,i}$ 、曲げ変形を評価する擬似ブレース剛性 $K_{bs,i}$ 、せん断変形を評価する擬似ダンパー剛性 $K_{ds,i}$ である。なお、擬似ダンパーと擬似ブレースは直列関係にあり、合わせて付加系（剛性: K_{as} ）、さらに付加系は擬似フレームに対し並列であり、合わせてシステム（剛性: K_s ）と呼ぶ。

3. 制振性能評価

以降では、実効変形比を考慮したせん断モデルを用いて評価する。まず、擬似ダンパー弾性時の実効変形比（以降、実効変形比の下限 $\alpha_{es,i}$ ）の定義を示す³⁾。

$$\alpha_{es,i} = \frac{\alpha_{N,i} \delta_{ds,i}}{\delta_{ds,i} + \delta_{bs,i}} = \frac{\alpha_{N,i}}{1 + K_{ds,i}/K_{bs,i}} = \frac{\alpha_{N,i}}{1 + \kappa_{ds,i}} \quad (1)$$

ここで、 $\delta_{ds,i} + \delta_{bs,i}$ ($=\delta_{s,i}$) はせん断モデルにおける擬似フ

レーム層間変位, $\kappa_{ds,i} = K_{ds,i} / K_{bs,i}$ とする。次に $\alpha_{N,i}$ と $\alpha_{es,i}$ から実効変形比の中間 $\alpha_{eM,i}$ を得る (式(2a))。また, その時の付加系塑性率を $\mu_{asM,i}$ とすると, $\alpha_{eM,i}$ は式(2b)で表される⁴⁾。

$$\alpha_{eM,i} = \frac{\alpha_{N,i} + \alpha_{es,i}}{2} = \frac{(2 + \kappa_{ds,i})\alpha_{N,i}}{2 + 2\kappa_{ds,i}} \quad (2a)$$

$$\alpha_{eM,i} = \frac{(\mu_{asM,i} + \mu_{asM,i}\kappa_{ds,i} - \kappa_{ds,i})\alpha_{N,i}}{\mu_{asM,i} + \mu_{asM,i}\kappa_{ds,i}} \quad (2b)$$

式(2a-b)より, $\mu_{asM,i} = 2$ であることが確認できる。なお, 時刻歴応答解析では, 1~全体の 2/3 層まででダンパーは 90%程度エネルギー吸収を行うため, 以降では 1~全体の 2/3 層まで平均化し, $\alpha_{eM,i}$ の平均を $\bar{\alpha}_{eM}$ と表記する。

次に, $\mu_{asM,i}$ 時の等価減衰定数 h_{eqM} を次式で評価する。

$$h_{eqM} = \sum_{i=1}^n h_i W_i / \sum_{i=1}^n W_i + h_0 \quad (3)$$

i 層の減衰定数 h_i を次式で評価する。

$$h_i = \frac{2(1 + \kappa_{as,i})}{\pi \mu_{asM,i}} \ln \frac{\mu_{asM,i} + \kappa_{as,i}}{(1 + \kappa_{as,i})(\mu_{asM,i})^{1/(1 + \kappa_{as,i})}}, \quad \kappa_{as,i} = \frac{K_{as,i}}{K_{fs,i}} \quad (4)$$

なお, 式(3)に示す最大ポテンシャルエネルギー W_i は式(5)で表され, $K_{seq,i}$, $K_{s1,i}$ はそれぞれシステム等価剛性, システム 1 次剛性を示す (式(6))。

$$W_i = K_{seq,i} (\mu_{asM,i} \delta_{asy,i})^2 / 2 \quad (5)$$

$$K_{seq,i} = K_{s1,i} + K_{as,i} / \mu_{asM,i}, \quad K_{s1,i} = K_{fs,i} + K_{as,i} \quad (6)$$

ここに示す n は全体の 2/3 層とし, h_{eqM} の算出も $\alpha_{eM,i}$ の平均化と同様の層数としている。以上より算出した $\bar{\alpha}_{eM}$ および h_{eqM} の関係を Fig. 4 に示す。縦軸は h_{eqM} を減衰 $h = 10\%$ で基準化した h_{eqM}/h , 横軸を $\bar{\alpha}_{eM}$ とする。図に示す破線は同一のダンパー量 α_{dy1} を繋いでいる。 h_{eqM} は高いほど, フレームモデルに対して応答低減が見込めることから, h_{eqM} は大きい値を示すほど, また, $\bar{\alpha}_{eM}$ は 1 に近いほど望ましい。そのため, いずれのダンパー量でも $\bar{\alpha}_{eM}$, h_{eqM}/h が大きな値を示す Chidori は制振性能が高く, 逆に Outside は制振性能が低いと推察できる。ダンパー量毎の評価を原点から任意のダンパー量までの距離 Γ で評価する (式(7))。

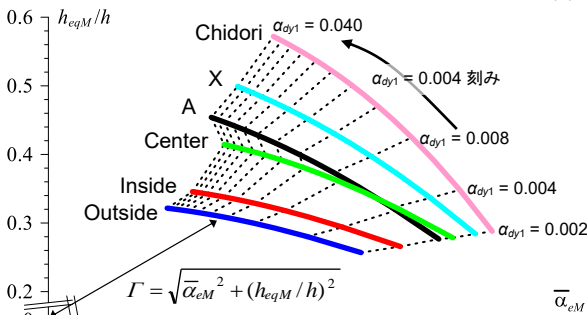


Fig. 4 骨組特性値と等価減衰定数による制振性能評価

$$\Gamma = \sqrt{\bar{\alpha}_{eM}^2 + (h_{eqM}/h)^2} \quad (7)$$

式(7)によるダンパー配置毎の制振性能評価を Fig. 5 に示す。なお, ダンパー量 α_{dy1} は 0.002~0.012 とする。Fig. 4 と同

様にいずれの α_{dy1} でも Chidori2 が最も高い値を示している。また, Γ はダンパー量の増加に伴い減少するが, $\alpha_{dy1} = 0.012$ までにほぼ収束する。 α_{dy1} をそれ以上増やしても制振性能がほぼ変わらないと推測される。そのため, 最適ダンパー量は $\alpha_{dy1} = 0.002 \sim 0.012$ に存在すると予測できる。

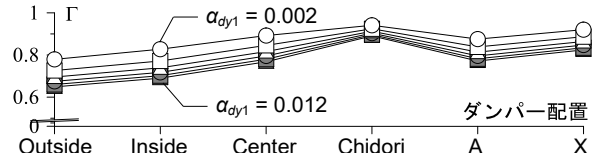
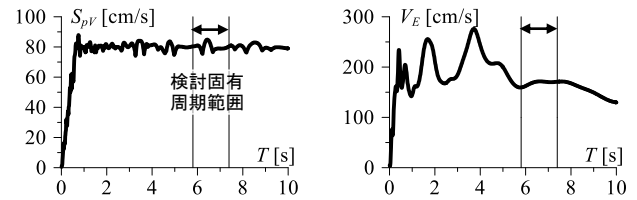


Fig. 5 ダンパー量毎の評価値 Γ

4. 時刻歴応答解析による制振性能評価の精度検証

長周期領域で擬似速度応答スペクトル $S_{pV} = 80$ cm/s とする模擬地震動で, 位相特性として HACHINOHE 1968 EW を用いる。Fig. 6(a)に構造減衰 $h = 5\%$ の S_{pV} , (b)に $h = 10\%$ のエネルギー Spektral V_E を示す。



(a) 擬似速度応答スペクトル (b) エネルギー Spektral
Fig. 6 入力地震動 Spektral

Fig. 7 に各ダンパー配置の最大層間変形角 R_{max} を示す。制振性能の順は 3 章で示した順と一致しており, 50 層建物モデルでも適用可能であることが確認できる。

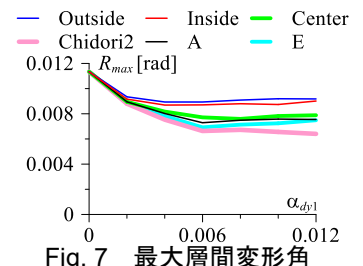


Fig. 7 最大層間変形角

5. まとめ

本報では, 文献 2) で提案した骨組特性値と等価減衰定数による制振性能評価法を 50 層建物モデルで評価を行い, 適用可能であることを示した。

謝辞

本報は JFE シビル株式会社, JFE スチール株式会社, 東京工業大学佐藤研究室の共同研究の成果を一部まとめたものです。本研究の一部は JST 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム (JPMJP1723) によるものです。

参考文献

- 石井正人, 笠井和彦: 多層制振構造の時刻歴応答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, Vol.75, No.647, pp.103-112, 2010.1
- 澤侑弥, 佐藤大樹, 他 4 名: 履歴ダンパーを有する超高層制振建物における等価減衰定数を用いた制振性能評価手法 その 2 骨組特性値と等価減衰定数による評価, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.289-292, 2021.3
- 澤侑弥, 佐藤大樹, 他 4 名: 履歴ダンパーを有する超高層建物における実効変形比とダンパー塑性率の関係, 日本建築学会技術報告集, Vol.24, No.65, pp.154-159, 2021.2
- 澤侑弥, 佐藤大樹, 他 4 名: 履歴ダンパーを設置した超高層建物における最適ダンパー量時の実効変形比, 日本建築学会技術報告集, Vol.27, No.66, pp.656-661, 2021.6

*1 石本建築事務所 (元東京工業大学)

*2 東京工業大学 未来産業技術研究所 准教授・博士(工学)

*3 JFE シビル株式会社

*4 JFE スチール株式会社 博士(工学)

*5 JFE スチール株式会社

*1 Ishimoto Architectural & Engineering Firm, Inc. (Former Tokyo Tech)

*2 Associate Professor, FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.

*3 JFE Civil Engineering & Construction Corporation

*4 JFE Steel Corporation, Dr.Eng.

*5 JFE Steel Corporation