T2R2東京工業大学リサーチリポジトリ Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報 Article / Book Information

論題(和文)	間柱型制振部材における粘弾性ダンパーと支持部材が応答に及ぼす影 響
Title(English)	
著者(和文)	松井征生, 渡辺泰成, 佐藤大樹, 佐藤利昭, 戸張涼太, 北村春幸, 宮川和明, 植木卓也, 村上行夫
Authors(English)	Daiki Sato, Toshiaki Sato, Ryota TOBARI, Haruyuki Kitamura, Kazuaki Miyagawa, Takuya Ueki, Yukio MURAKAMI
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 541-544
Citation(English)	, , , pp. 541-544
発行日 / Pub. date	2016, 3

間柱型制振部材における粘弾性ダンパーと支持部材が応答に及ぼす影響

構造一振動

正会員	○松井征生*1	同	渡辺泰成*1	同	佐藤大樹*2
正会員	佐藤利昭*1	同	戸張涼太*3	同	北村春幸*1
正会員	宮川和明*3	同	植木卓也*4	同	村上行夫*4

鋼構造建物 制振構造 粘弾性ダンパー

1. はじめに

制振構造は、近年の超高層建物では一般的な技術 となっている。中低層建物においても想定する地震動 レベルの増大により、制振部材を導入する事例が増 加し、設計上の制約条件に対応すべく、様々な制振装 置が開発されている。このような背景の中、間柱型の 制振装置は、平面計画における自由度を損なわない という利点があるが¹⁾,付帯梁等の周辺架構の影響を 受けやすく、個別の構造物に則した制振部材の選定 が不可欠となる。

著者らはこれまでに,間柱型の制振装置として低 降伏点鋼を用いた履歴型ダンパーに着目し,その応 答性状を調べてきた²⁾。本報はそれらの続報で,高減 衰ゴムを採用した粘弾性ダンパーに着目し,ダンパ ーと支持部材の剛性の変化が地震応答に与える影響 を検討したものである。以降では,まずダンパーのモ デル化の概要を述べた後,10層の鋼構造建物を対象に, 時刻歴応答解析を通して地震応答を調べた結果につ いて述べる。

2. 検討対象建物とダンパーの概要およびモデル化 2.1 検討対象建物の概要およびモデル化

検討対象建物は、平面:43.2 m×20.0 m,建物高さ: 42.4 m(1層:4.6 m,2~10層:4.2 m)の地上10 階建 ての鋼構造建物である。検討対象建物の部材断面を表

表	1	部材	断	面
~		- 1 M M	F7 I	parts.

	FL	断面(鋼材種:SN490)
柱	1 ~ 10	\Box - 500 × 500 × 32 ~ 16
大梁	$2 \sim R$	$\mathrm{H}-600\times250\times12\times25\sim19$



1 に、基準階伏図、およびダンパーを設置した A, D 通 りの軸組図を図1に示す。ダンパーは長辺方向に各層 4 基設置し、全層で同一のダンパーを用いた。主架構 のみの1次固有周期_fT₁は 2.02s である。以降の検討は、 ダンパーが設置されている長辺方向のみを対象とす る。

解析モデルは、立体骨組モデルとした。スラブは剛 床とし、スラブによる曲げ剛性増大率 ϕ は、片側にス ラブが付帯する場合に ϕ = 1.30、両側に付帯する場合 に ϕ = 1.45 とした。構造減衰は、 $_fT_1$ に対して減衰定数 h= 0.02 となる初期剛性比例型とし、主架構のみに与え る。基礎梁は弾性とした。

2.2 粘弾性ダンパーの概要およびモデル化

本報で扱う間柱型ダンパーの全体の構成を図 2 に, ダンパーの構成を図3に示す。ダンパー部は縦横400~ 1000 mmの粘弾性体を鋼板ではさんだ形状である。上 下の支持部材はH形鋼から成り,ダンパー部と支持部 材はガセットプレートで接続されている。

ダンパーの解析モデルは図4に示すように、応力が 変位に比例する貯蔵剛性 K_D と、速度に比例する粘性 係数 C_D の並列ばね(Voigt モデル)に、支持部材の等 価せん断剛性 K_c を直列に繋いだものとする³⁾。



図4間柱型ダンパーのモデル化

- R

2.3 支持部材のモデル化

支持部材の等価せん断剛性 K_cは、大梁の部材心か らダンパーまでの長さのH形鋼の、一端を固定端、も う一端を自由端とした曲げせん断棒の剛性マトリク スを水平方向に縮合することで評価した。剛性マトリ クスは、



を用いた。ここで、 P_x : 軸力、 P_y : せん断力、M: 曲げモ ーメント、E: ヤング係数、A: 支持部材の断面積、I: 支 持部材の断面二次モーメント、L: 支持部材の長さ(図 3)、 e_x : 軸方向の変位、 e_y : せん断方向の変位、 θ : 回転 角、 κ : 形状係数(= 1.2)である。以下に、支持部材の等 価せん断剛性 K_c の導出手順を示す。

式(1a)を,せん断力 Q'を作用させたときのせん断方 向の変位 δ_v と回転角 θ の関係で表すと,

$$\begin{cases} 0\\ Q'\\ 0 \end{cases} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & & \\ & \frac{1}{1+2\gamma} \frac{12EI}{L^3} & \frac{1}{1+2\gamma} \frac{-6EI}{L^2} \\ & \frac{1}{1+2\gamma} \frac{-6EI}{L^2} & \frac{1+\gamma/2}{1+2\gamma} \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0\\ \delta_y\\ \theta \end{bmatrix}$$
(2)

となる。式(2)を Q'について解くことで、

$$Q^{\gamma} = \frac{6EI}{(2+\gamma)L^3} \delta_y = K_c \times 2\delta_y \tag{3}$$

と表せる。したがって, K_cは,

$$K_c = \frac{3EI}{(2+\gamma)L^3} \tag{4}$$

と導出される。

3. 時刻歴応答解析結果

3.1 解析用入力地震動の概要

解析用入力地震動は、コーナー周期 $T_c = 0.64$ s 以降 で、擬似速度応答スペクトル $_pS_v = 80$ cm/s となる、レ ベル 2 の告示波とした。位相特性は、1968 年十勝沖地 震 (HACHINOHE) EW 成分を採用した。以降では、こ



の地震動を ART HACHI 80 と呼ぶ。図 5(a)に擬似速度 応答スペクトル $_{p}S_{v}$ (h = 5%),同図(b)にエネルギース ペクトル V_{E} (h = 10%)を示す。

3.2 K。を剛とした時の建物とダンパーの応答の検討

本節では、支持部材の等価せん断剛性 *K* を剛とした場合に、ダンパー量が変化することによる建物およびダンパーの地震応答結果をまとめる。

本節では、粘弾性体のせん断断面積 *A*,の異なる7種 類のモデルを扱う。粘弾性ダンパーのモデル名と諸元 を表 2 に示す。ダンパーの貯蔵剛性 *K*_D,粘性係数 *C*_D は、

$$K_D = G_d \times (A_t / t_r) \tag{5}$$

$$C_D = \eta_d \times K_D / \omega \tag{6}$$

で求めた。ここで、 G_d : ダンパーのせん断弾性率、 t_r : ゴム厚さ(=20 mm)、 η_d : ダンパーの損失係数、 ω : 主架 構の一次固有振動数(=3.11 Hz)である。本報では、 G_d = 489 kN/m²、 η_d = 0.744 とする。ダンパー量 $_d\alpha_1$ は、

$$_{d}\alpha_{1} = \frac{F_{d1\max} \cdot N_{d1}}{Mg}$$
(7a)

$$F_{d1\max} = \sqrt{1 + \eta_{d1}^2} \cdot K_{D1} \cdot u_{d1\max}$$
(7b)

と定義する³⁾。ここで、*F*_{d1max}:1層の1本分のダンパーの最大力、*N*_{d1}:1層のダンパーの本数(=4),*M*:建物 全質量、g:重力加速度、*K*_{D1}:1層のダンパーの貯蔵剛 性、*η*_{d1}:1層のダンパーの損失係数、*u*_{d1max}:1層のダン パーの最大変形である。*u*_{d1max}は、粘弾性体のせん断歪 み 100%時の値(20 mm)とする。

7種類のダンパーをそれぞれ設置した建物モデルに ART HACHI 80を入力した際に,最も応答の大きい層 (3層)における最大層間変形角 Rmaxを図 6に,ダン パーの実効変形比(ダンパーの最大変位を最大層間変

表2粘弾性ダンパーの諸元

モデル名	粘弹性1	粘弹性2	粘弹性3	粘弹性4	粘弹性5	粘弹性6	粘弹性7
A_t (mm ²)	160000	250000	360000	490000	640000	810000	1000000
K_D (kN/m)	7824	12225	17604	23961	31296	39609	48900
$C_D(kN \cdot s/m)$	1872	2925	4211	5732	7487	9476	11698
ダンパー量 _d α_1	0.0029	0.0045	0.0065	0.0088	0.0115	0.0145	0.0179

位で除した値)を図7に、ダンパーおよび主架構のエ ネルギー吸収率(全層のダンパーの吸収エネルギーの 合計 W_d、および主架構の累積塑性歪エネルギーの合 計 W_fを入力エネルギーEで除した値)を図8に示す。

図6より、ダンパー量の増加に伴う最大層間変形角 の低下の傾向が、ダンパー量_da₁ = 0.01 付近から緩 やかになっていることが分かる。このことは、図7よ り、ダンパー量の増加に伴いダンパーの実効変形比 が低下していること、図8より、ダンパー量_da₁ = 0.01 付近から主架構のエネルギー吸収率 *W*_f/E が増加 し、主架構の損傷が大きくなっていることからも確 かめられる。ダンパーの影響で主架構のどの箇所に損 傷が生じているのかを確認するため、図9に、長辺方 向のダンパー設置構面を代表してA通りの1層から6 層までの主架構の塑性ヒンジの発生箇所を示す。なお、 丸の大きさは塑性率の大きさを示している。

図9より,粘弾性1と2では、ダンパーの周辺架構 に,塑性率が比較的小さい塑性ヒンジが少数生じる が,粘弾性3と4までダンパー量が増加すると,塑性 ヒンジは生じなくなる。しかし,粘弾性5から、ダン パーの付帯梁端部に塑性ヒンジが生じ,粘弾性6,7で はダンパー量の増加に伴い、ダンパーの付帯梁端部 の塑性ヒンジの数,および塑性率が大きくなってい ることが分かる。以上より、ダンパー量の増加に伴う 主架構の損傷は、ダンパーの付帯梁の損傷によるも のであり、これにより、図 8 のようにダンパーのエネ ルギー吸収率 W_d/E が低下したと考えられる。

3.3 支持部材の等価せん断剛性 K_aを変化させた検討

本節では、ダンパーの諸元を前節の粘弾性3に設定 し、支持部材の等価せん断剛性 K_cを変化させた場合 の建物とダンパーの応答について検討する。K_cが異な る7種類のモデル名と諸元を表3に示す。

7 種類のモデルにおける,支持部材の等価せん断剛 性 *K_c* とダンパーの貯蔵剛性 *K_D*の比 *K_c/K_D*を横軸とし, 前節と同様に3層の最大層間変形角 *R_{max}*を図10に,ダ ンパーの実効変形比を図11に,ダンパーと主架構の エネルギー吸収率 *W_d/E*, *W_f/E*を図12に示す。図10,11, 12には,前節の *K_c*を剛とした場合の応答を併せて示 す。

図 10 より, K_c/K_Dが 10 付近までは K_c/K_Dの増加に伴 い最大層間変形角が低下するが,これ以降は低下の 傾向が緩やかになることが分かる。このことは図 11, 12 より, K_c/K_Dの増加に伴うダンパーの実効変形比と, ダンパーのエネルギー吸収率 W_d/E の増加の傾向が緩 やかになっていることからも確認できる。また,図 12 の主架構のエネルギー吸収率 W_f/E から, K_c/K_Dが 10 付 近までは主架構の損傷が確認できるが,これ以降は 損傷がほとんど見られない。

A通りにおける1層から5層までの主架構の塑性ヒンジ発生箇所と塑性率を,前節と同様に図13に示す。



図 13 より, T400 から, *K_c/K_D*が 10 付近である T700 まではダンパーの周辺架構に塑性率 1.3 を超える塑性 ヒンジが多数確認できるが, T800以降はほとんど塑性 ヒンジが見られない。

図 11, 12, 13 において, 前節の *K_c* を剛とした場合の 応答と, *K_c/K_D* が 10 以上である T700, T800, T900, T1000 の応答に, 大きな差が見られないことから, 本 報のモデルでは, *K_c/K_D* が 10 を超えると, *K_c* が剛である 場合と概ね同じ応答結果になることが確かめられた。

4. まとめ

本報では、検討対象の粘弾性ダンパーを全層同一 に設置した 10 層の鋼構造建物に対して時刻歴応答解 析を行い、ダンパーと支持部材の剛性に着目して応 答結果をまとめた。限られた検討の範囲ではあるが、 以下に得られた知見を示す。

 ダンパー量を過剰に増やすと、間柱型ダンパーの 付帯梁の降伏により主架構の損傷が大きくなること、またダンパー量の増加に伴い、ダンパーの実 効変形比が低下することにより,最大層間変形角 の低下の傾向は緩やかになる。

- 2)支持部材の等価せん断剛性と、ダンパーの貯蔵剛 性の比が 10 以上で、概ね支持部材を剛とみなせ、 ダンパーの実効変形比、およびダンパーのエネル ギー吸収率の増加の傾向が緩やかになり、主架構 の損傷は見られなくなる。加えて、最大層間変形角 の低下の傾向も緩やかになる。
- 今後は、入力地震動の影響や建物応答に応じた、 ダンパーの最適配置の検討を進める予定である。

参考文献

- 田期嘉一:2本のH形鋼と粘弾性体による間柱型ダンパーの 制振性能評価,日本建築学会近畿支部研究報告集,構造系 (44),pp.389-392,2004.5
- 2) 松井征生,渡辺泰成,戸張涼太,佐藤利昭,北村春幸,佐藤大 樹宮川和明,植木卓也,村上行夫:間柱型履歴ダンパーのモデ ル化が建物応答に与える影響その1~3,日本建築学会大会学術 講演梗概集,pp.761 - 766,2015.9
- 3) 日本免震構造協会:パッシブ制振構造設計・施工マニュアル 第2版, p.39, 2005.9
- *1 東京理科大学 *2 東京工業大学 *3 JFE シビル株式会社
- *4 JFE スチール株式会社

表3支持部材の等価せん断剛性 Kc が異なるモデルの諸元

