T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo 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, Ⅰ, , pp. 541-544
Citation(English)	, Ⅰ, , pp. 541-544
発行日 / Pub. date	2016, 3

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

2015年度日本建築学会
関東支部研究報告集 I
2016年3月

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−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

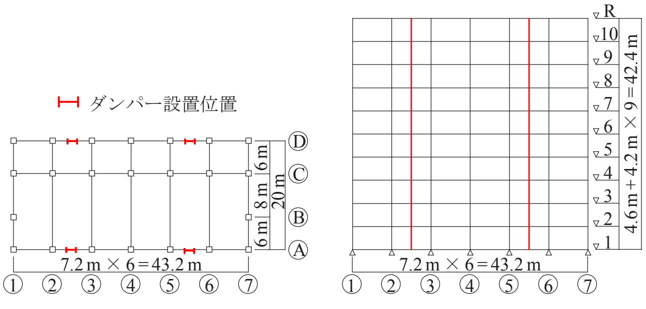
2.1 検討対象建物の概要およびモデル化

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 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 ${}_fT_1$ 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。

表 1 部材断面

	FL	断面（鋼材種 : SN490）
柱	1 ~ 10	□ − 500 × 500 × 32 ~ 16
大梁	2 ~ R	H − 600 × 250 × 12 × 25 ~ 19



（a） 基準階伏図　（b） A, D 通り軸組図

図 1 検討対象建物の基準階伏図および軸組図

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]。

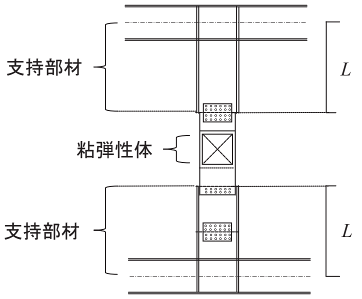


図 2 間柱全体の構成

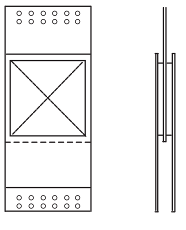


図 3 ダンパーの構成

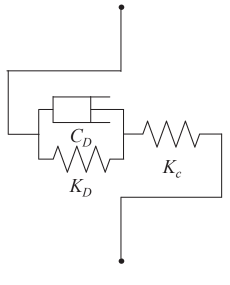


図 4 間柱型ダンパーのモデル化

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，

$$\begin{Bmatrix} P_x \\ P_y \\ M \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & & \\ & \frac{1}{1+2\gamma}\frac{12EI}{L^3} & \frac{1}{1+2\gamma}\frac{-6EI}{L^2} \\ & \frac{1}{1+2\gamma}\frac{-6EI}{L^2} & \frac{1+\gamma/2}{1+2\gamma}\frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} e_x \\ e_y \\ \theta \end{Bmatrix} \tag{1a}$$

$$\gamma = \frac{6EI\kappa}{GAL^2} \tag{1b}$$

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_y と回転角 θ の関係で表すと，

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

となる。式(2)を Q'について解くことで，

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

と表せる。したがって, K_cは,

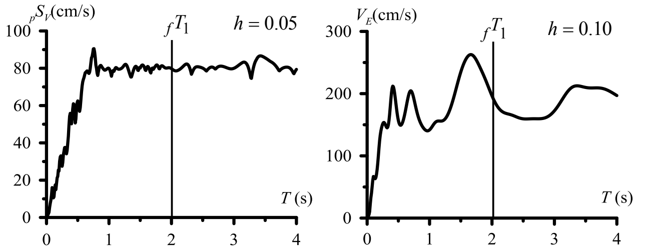
$$K_c = \frac{3EI}{(2+\gamma)L^3} \tag{4}$$

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 ${}_pS_v$（h = 5 %），同図(b)にエネルギースペクトル V_E（h = 10 %）を示す。



(a) 擬似速度応答スペクトル　(b) エネルギースペクトル

図 5 解析用入力地震動のスペクトル

3.2 K_c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_c 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_r 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/m^2, η_d = 0.744 とする。ダンパー量 ${}_d\alpha_1$ は,

$${}_d\alpha_1 = \frac{F_{d1\max} \cdot N_{d1}}{Mg} \tag{7a}$$

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

と定義する [3]。ここで, $F_{d1\max}$: 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, $u_{d1\max}$: 1 層のダンパーの最大変形である。$u_{d1\max}$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 $R_{\max}$ 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	粘弾性1	粘弾性2	粘弾性3	粘弾性4	粘弾性5	粘弾性6	粘弾性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・s/m)	1872	2925	4211	5732	7487	9476	11698
ダンパー量${}_d\alpha_1$	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 ${}_d\alpha_1 = 0.01$ 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 ${}_d\alpha_1 = 0.01$ 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_c 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。

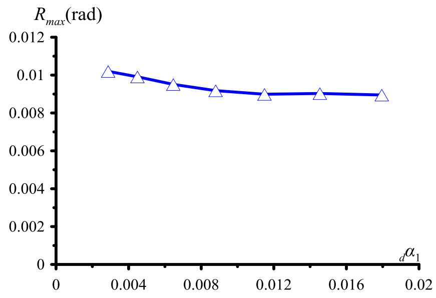


図 6 最大層間変形角

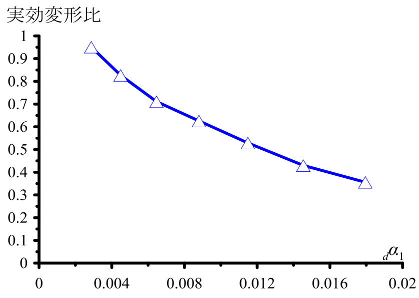


図 7 ダンパーの実効変形比

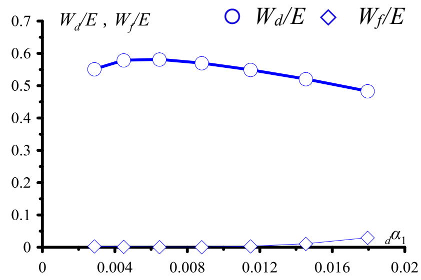
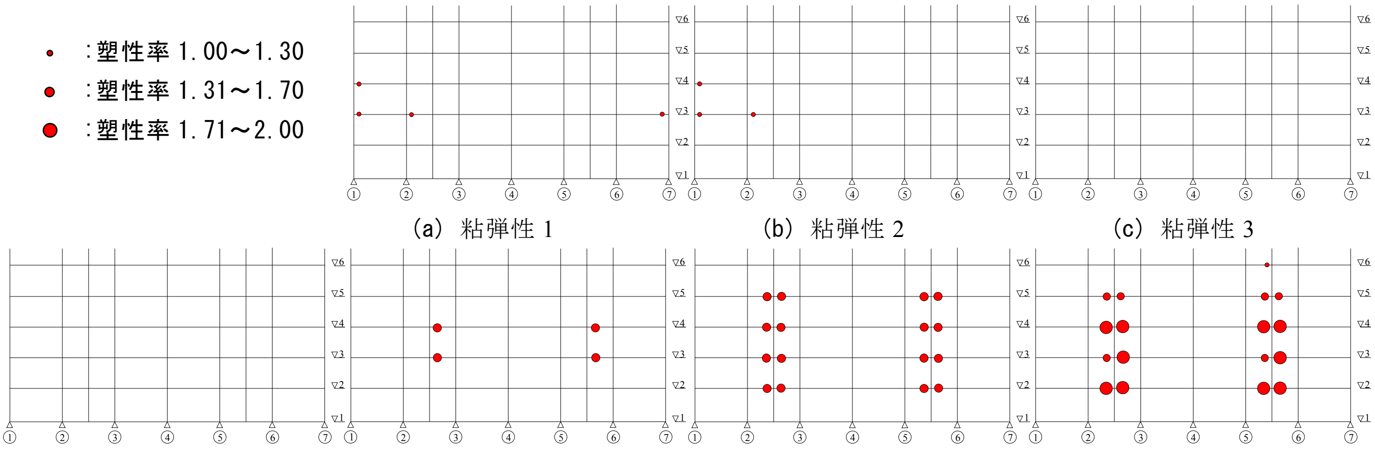


図 8 エネルギー吸収率



(a) 粘弾性 1　(b) 粘弾性 2　(c) 粘弾性 3

(d) 粘弾性 4　(e) 粘弾性 5　(f) 粘弾性 6　(g) 粘弾性 7

図 9 A 通りにおける塑性ヒンジ発生箇所

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。

1) 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。
3) 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
1) 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 K_c が異なるモデルの諸元

モデル名	T400	T500	T600	T700	T800	T900	T1000
支持部材の梁せい(mm)	400	500	600	700	800	900	1000
K_c(kN/m)	18506	58841	127664	209293	277034	363161	426600
K_D(kN/m)	17604						
C_D(kN・s/m)	4211						
K_c/K_D	1.05	3.34	7.25	11.89	15.74	20.63	24.23

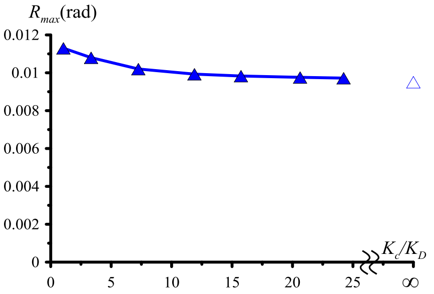


図 10 最大層間変形角

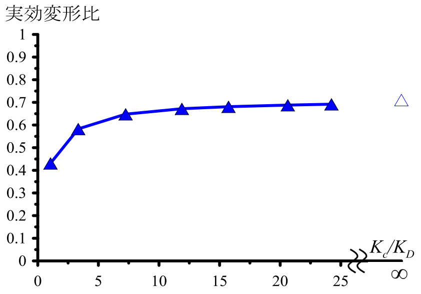


図 11 ダンパーの実効変形比

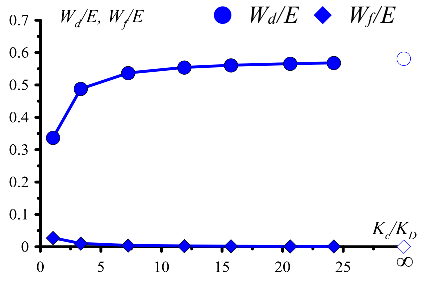


図 12 エネルギー吸収率

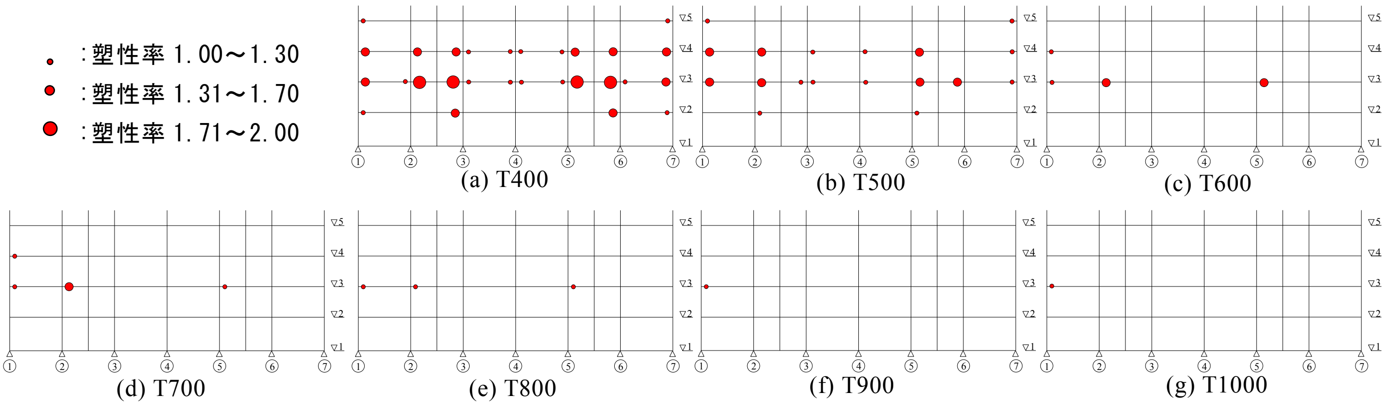


図 13 A 通りにおける塑性ヒンジ発生箇所