

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	間柱型粘弾性ダンパーを組み込んだ超高層建物のせん断モデル化 ~ その2 履歴型ダンパーを併用した建物モデルのせん断モデル化 ~
Title(English)	Converting member models into shear models for high-rise building with Stud-type viscoelastic damper. Part II. Converting member models with Stud-type viscoelastic dampers and hysteretic dampers into shear models
著者(和文)	樹下亮佑, 佐藤大樹, 戸張涼太, 安永隼平, 植木卓也
Authors(English)	Ryosuke Kinoshita, Daiki Sato, Ryota Tobar, Jumpei Yasunaga, Takuya Ueki
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 329-332
Citation(English)	, , , pp. 329-332
発行日 / Pub. date	2021, 3

## 間柱型粘弾性ダンパーを組み込んだ超高層建物のせん断モデル化

## ～その2 履歴型ダンパーを併用した建物モデルのせん断モデル化～

構造—振動

制振構造 間柱型 粘弾性ダンパー  
超高層建物 長周期地震動正会員 ○ 樹下亮佑<sup>\*1</sup>  
// 戸張涼太<sup>\*3</sup>  
// 植木卓也<sup>\*4</sup>正会員 佐藤大樹<sup>\*2</sup>  
// 安永隼平<sup>\*4</sup>

## 1. はじめに

本報その1では、間柱型粘弾性ダンパーのみを制振ダンパーとして用いた場合のせん断モデル化手法についてまとめた。しかし、間柱型のダンパーは大梁を介して層間に設置される間接接合型であるため、ブレース型などの直接接合型のダンパーよりもダンパーのエネルギー吸収効率が悪い。そのため、実務の設計では意匠設計の関係上ブレース型のダンパーが使用できない箇所に補助的に用い、直接接合型のダンパーと併用される場合がほとんどである。

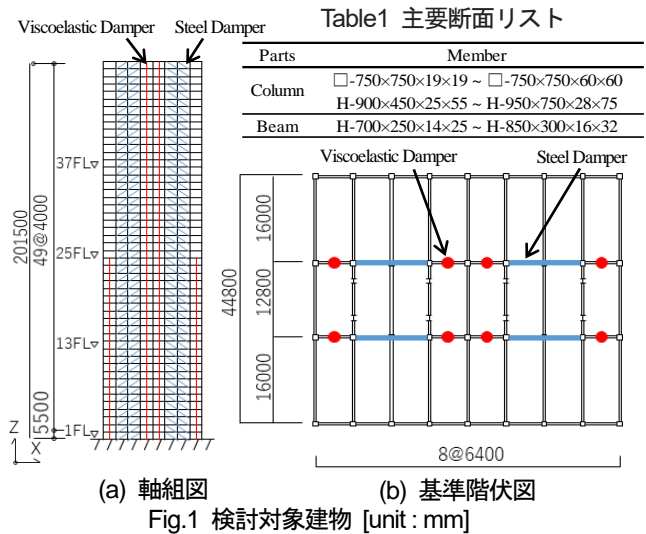
添田らは、大地震時のエネルギー吸収能力に優れている履歴型ダンパーと中小地震から大地震までエネルギーを吸収する粘性ダンパーを混合配置すると、それぞれを単独で配置したときよりもエネルギー吸収効率が高くなるという事実を踏まえ、それらを混合連層配置したときのダンパーの実行変形比を考慮したせん断モデル化手法についてまとめている<sup>9)</sup>。しかし、その手法は履歴型ダンパーと粘性ダンパーの混合配置でしか検証されておらず、粘弾性ダンパーとその他のダンパーを混合配置した建物モデルのせん断モデル化について示された文献はこれまでにない。

そこで、本報その2では間柱型粘弾性ダンパーと履歴型ダンパーを併用した建物モデルのせん断モデル化手法についてまとめる。

## 2. モデル化概要

## 2.1 検討対象建物

検討対象建物は、鉄骨造 50 階建の事務所ビルとする。Fig.1 に検討建物モデルの軸組図と基準階伏図、Table1 に架構部材の主要断面を示す。解析条件はその1と同様であり、本解析には構造計算プログラムである RESP-D、RESP-F3T を用いた。



## 2.2 履歴型ダンパーのモデル化

本報では、履歴型ダンパーとして座屈拘束ブレース（以下、鋼材ダンパー）を用いる。鋼材ダンパーは塑性化部と弾性部で構成され、部材長さ  $L_d$  に対して、塑性化部  $L_d/3$ 、塑性化部断面積  $A_d$  に対して弾性部断面積  $2A_d$  とする。塑性化部には LY225 材を用い完全弾塑性とする。ただし、本報では断面積を一定とした等価断面のダンパーとして扱うこととする。

## 2.3 せん断モデル化手法概要

以下に実効変形比を考慮したせん断モデル化手法を記す。主架構バネ（擬似フレーム）は弾性としてモデル化する。せん断モデルの各要素は擬似フレーム剛性  $K_{fs}$ 、粘弾性ダンパーの擬似ブレース剛性  $K_{bs}$ 、鋼材ダンパーの擬似ブレース剛性  $K_{bs}$ 、粘弾性体のせん断断面積と厚さの換算値  $\nu A_{ds}$ 、 $d_{ds}$  および擬似鋼材ダンパー剛性  $K_{ds}$  で構成され、それらは Fig.2,3 に示す状態 N 解析、状態 R 解析より得られる骨組特性値より算出される（後述）<sup>1,2)</sup>。間柱型粘弾性ダンパーの骨組特性値及び  $K_{bs}$ 、 $\nu A_{ds}$ 、 $d_{ds}$  の算出方法は本

Converting member models into shear models for high-rise building with Stud-type viscoelastic damper.

Part II. Converting member models with Stud-type viscoelastic dampers and hysteretic dampers into shear models

KINOSHITA Ryosuke, SATO Daiki, TOBARI Ryota, YASUNAGA Jumpei, UEKI Takuya

Table2 各ケース詳細

	状態N		状態R	
	粘弾性	鋼材	粘弾性	鋼材
Case1	$\nu_{N_s}N$	$\nu_{N_s}N$	$\nu_{R_s}R$	$\nu_{R_s}R$
Case2	$\nu_{N_s}E$	$\nu_{N_s}N$	$\nu_{R_s}E$	$\nu_{N_s}R$
Case3	$\nu_{N_s}E$	$\nu_{E_s}N$	$\nu_{R_s}E$	$\nu_{E_s}R$
Case4	$\nu_{N_s}N$	$\nu_{N_s}N$	$\nu_{R_s}N$	$\nu_{N_s}R$
Case5	$\nu_{N_s}E$	$\nu_{N_s}N$	$\nu_{R_s}R$	$\nu_{N_s}R$
Case6	$\nu_{N_s}E$	$\nu_{E_s}N$	$\nu_{R_s}R$	$\nu_{R_s}R$
Case7	$\nu_{N_s}E$	$\nu_{E_s}N$	$\nu_{R_s}N$	$\nu_{N_s}R$

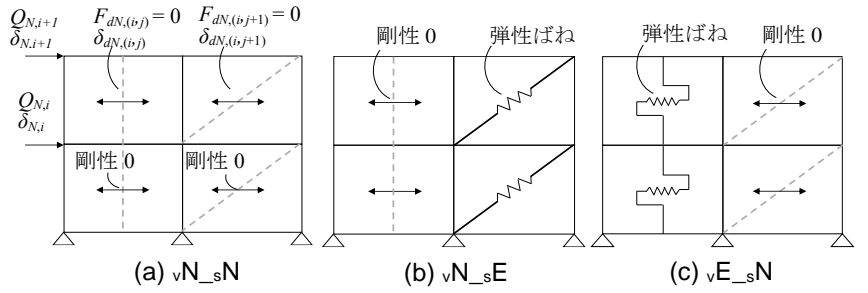


Fig.2 状態 N

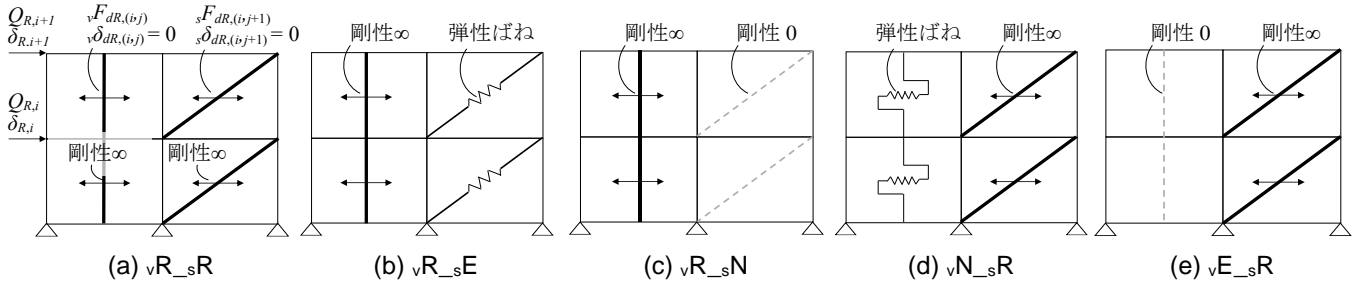


Fig.3 状態 R

報その 1 に示すとおりであるため、本報その 2 では省略する。Fig.2, 3 に示す左下添え字はダンパーの種類を表し、粘弾性ダンパー (Viscoelastic damper) は  $\nu$ 、鋼材ダンパー (Steel damper) は  $s$  で表す。また、N は剛性が 0 の弾性ばね (No damper)、R は剛性が  $\infty$  のばね (Rigid damper)、E は任意の剛性を持った弾性ばね (Elastic spring) を表す。また、各ケースの粘弾性ダンパーと鋼材ダンパーの骨組特性値を算出するための状態を Table2 に示す。ここで、間柱型粘弾性ダンパー設置箇所の任意の剛性を  $\nu K_e$ 、とし、以下の式で算出される。

$$\nu K_e = \nu A_d \nu G_{eq} / \nu d_d \quad (1)$$

ここで、 $\nu A_d$  : 粘弾性体のせん断断面積、 $\nu d_d$  : 粘弾性体の厚さ、 $\nu G_{eq}$  : 間柱型粘弾性ダンパーの等価せん断弾性率である。 $\nu G_{eq}$  は以下の式で算出される。

$$\nu G_{eq}(\nu \gamma_d) = 0.641(0.42960 + 2.6355e^{-\nu \gamma_d/0.65317} + 5.5626e^{-\nu \gamma_d/0.10130}) \quad (2)$$

ここで、 $\nu \gamma_d$  は粘弾性ダンパーのせん断ひずみであり、ここでは  $\nu \gamma_d = 1$  として算出している。また、鋼材ダンパー設置箇所の任意の剛性  $s K_e$  は、鋼材ダンパーの一次剛性としている。

状態 N 解析より、鋼材ダンパー設置箇所における相対変形の水平成分  $s \delta_{dN(i,j)}$  の層間変形  $\delta_{N,i}$  に対する比  $s \alpha_{N(i,j)}$  (式(3)) を算出する。

$$s \alpha_{N(i,j)} = s \delta_{dN(i,j)} / \delta_{N,i} \quad (3)$$

鋼材ダンパー設置箇所の負担軸力の水平成分  $s F_{dR(i,j)}$ 、層間変位  $\delta_{R,i}$  で軸剛性の水平成分  $s K_{dR(i,j)}$  (式(4)) を各制振部材設置箇所について計算し、第  $i$  層における鋼材ダンパー総数を  $s N_i$  とすると、鋼材ダンパーの擬似ブレース剛性  $s K_{bs,i}$  (式(5)) が得られる。

$$s K_{dR(i,j)} = s F_{dR(i,j)} / \delta_{R,i} \quad (4)$$

$$s K_{bs,i} = \sum_{j=1}^{s N_i} s \alpha_{N(i,j)} \times s K_{dR(i,j)} \quad (5)$$

せん断モデルに用いる  $i$  層の鋼材ダンパー剛性  $s K_{ds,i}$  は、部材構成モデルにおける第  $i$  層  $j$  番目の鋼材ダンパーの 1 次剛性  $s K_{d(i,j)}$  と式(3)で算出される  $s \alpha_{N(i,j)}$  を用いて算出される (式(6))。

$$s K_{ds,i} = \sum_{j=1}^{s N_i} (s \alpha_{N(i,j)})^2 \times s K_{d(i,j)} \quad (6)$$

このようにして得られた  $K_{fs}$ 、 $\nu K_{bs}$ 、 $s K_{bs}$ 、 $\nu A_{ds}$ 、 $\nu d_{ds}$ 、 $s K_{ds}$  を用いてせん断モデルを作成する。Fig.4,5 に部材構成モデルとせん断モデルの概念図を示す。ここで、部材構成モデルの鋼材ダンパー変位、鋼材ダンパー内力をそれぞれ  $s \delta_d$ 、 $s F_d$  とすると、せん断モデルの擬似鋼材ダンパー変位  $s \delta_{ds}$ 、擬似鋼材ダンパー内力  $s F_{ds}$  はそれぞれ式(7)、(8)で表される。ここで  $s \hat{\delta}_d$ 、 $s \hat{F}_d$  はそれぞれ鋼材ダンパーの軸方向変位、軸方向ダンパー内力である。

$$s \delta_{ds} = s \hat{\delta}_d / (s \alpha_{N} \times \cos \theta) = s \delta_d / (s \alpha_{N} \times \cos \theta) \quad (7)$$

$$s F_{ds} = s \alpha_{N} \times s \hat{F}_d \times \cos \theta = s \alpha_{N} \times s F_d \quad (8)$$

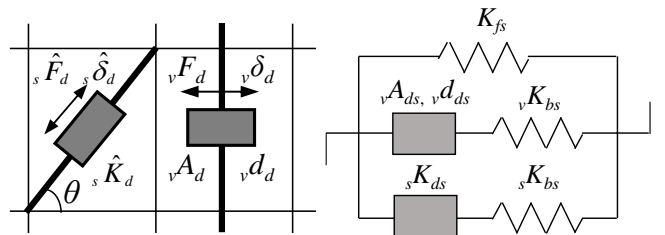


Fig.4 部材構成モデル

Fig.5 せん断モデル

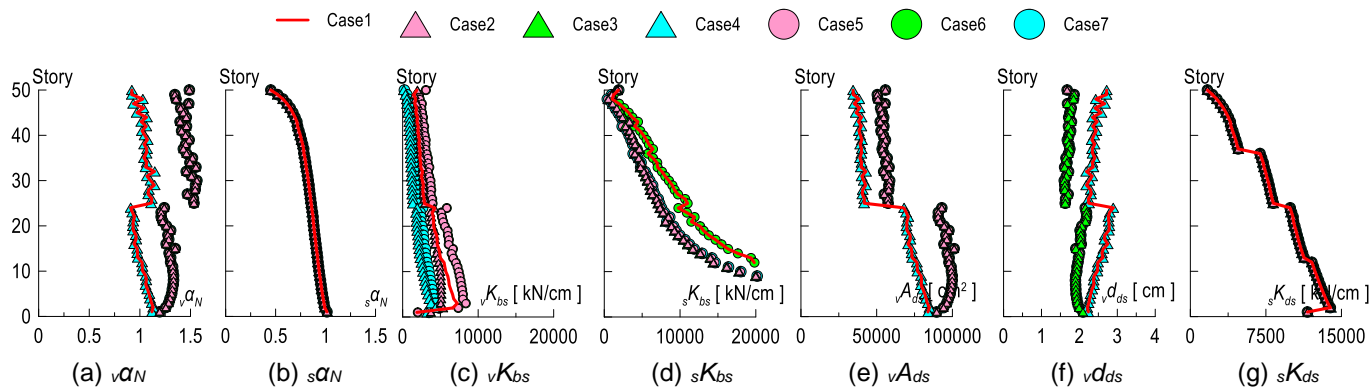


Fig.6 せん断モデルの各要素

Fig.6 にせん断モデルの各要素を示す。まずは粘弾性ダンパーと鋼材ダンパーの各要素を比較する。Fig.6(a), (b)より、各ケース  $v a_N$  は  $s a_N$  よりも大きな値を示す。これは間柱型のダンパーは大梁を介して層間に設置されるため、付帯梁の曲げ変形の影響でダンパー部の変形が増大するからである。また、 $v a_N$ ,  $s a_N$  ともに低層では大きな値を示すが、高層になるにつれて層の曲げ変形が卓越し、値が減少する傾向を示す。Fig.6(c), (d)より、 $v K_{bs}$  は  $s K_{bs}$  よりも小さい値を示す。これは、間柱型のダンパーは付帯梁の曲げ変形の影響で、ブレース型などと比べてダンパー部の変形が減少することが原因である。また、 $v K_{bs}$ ,  $s K_{bs}$  ともに低層では大きな値を示すが、高層になるにつれて層の曲げ変形が卓越し、値が減少する傾向を示す。Fig.6(e), (g)に示す  $v A_{ds}$ ,  $s K_{ds}$  は  $v a_N$ ,  $s a_N$  の値と各層のダンパー数に依存するため、低層で比較的大きな値を示し、曲げ変形成分が卓越する影響とダンパー数が減少する影響で、高層になるにつれて値が小さくなる。Fig.6(f)に示す  $v d_{ds}$  は  $v a_N$  の値に依存するため、 $v a_N$  が減少する高層になるにつれて値が上昇する傾向を示す。

続いて、各ケースを比較する。Fig.6(a)より、鋼材ダンパー設置箇所に弾性ばねを挿入した場合、挿入しないCase1, Case4 よりも  $v a_N$  は大きく評価される傾向を示した。しかし、Fig.6(b)より間柱型粘弾性ダンパー設置箇所に弾性ばねを挿入した場合、 $s a_N$  は挿入しない場合と概ね

同等の値を示した。このことから、弾性ばねの剛性がある程度大きい場合は、もう一方のダンパー部変形を増大させるが、ばね剛性が小さい場合はほとんど影響しないことがわかる。Fig.6(c)より、 $v K_{bs}$  は鋼材ダンパー設置箇所の剛性 0, 任意の剛性, 剛性 $\infty$ の順に大きな値を示した。しかし、Fig.6(d)より、 $s K_{bs}$  は間柱型粘弾性ダンパー設置箇所の剛性 0 のときと任意の剛性を持つときは概ね同等の値を示し、剛性 $\infty$ の時は大きな値を示した。このことから、弾性ばねの剛性がある程度大きい場合は、擬似ブレース剛性の値を大きく評価するが、剛性が小さい場合は、擬似ブレース剛性にほとんど影響を及ぼさないことがわかる。

### 3. 部材構成モデルとせん断モデルの応答比較

入力地震動はその1で示した3波とする。Fig.7に各ケースの最大応答値の高さ方向分布を示す。Fig.7(a)より、層間変形角は各ケース概ね同等の値を示し、比較的精度よく部材構成モデルの応答とせん断モデルの応答が一致している。Fig.7(b), (c)より、Case1, 2, 3は部材構成モデルの応答と精度よく一致しているが、Case4, 7は応答を小さく、Case5, 6は応答を大きく評価する傾向が見られる。このことから、間柱型粘弾性ダンパーは状態 R 解析時に鋼材ダンパー設置箇所に剛性を持ったばねを挿入しないと、エネルギー吸収量や実行変形比を小さく評価し、状態 N 解析時に鋼材ダンパー設置箇所に剛性を持ったば

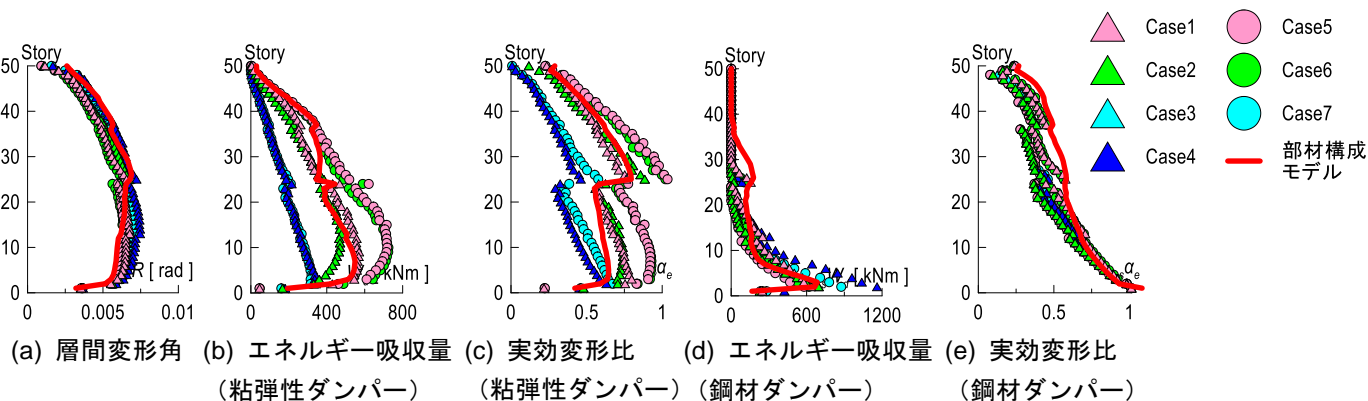


Fig.7 最大応答値 (ART HACHI)

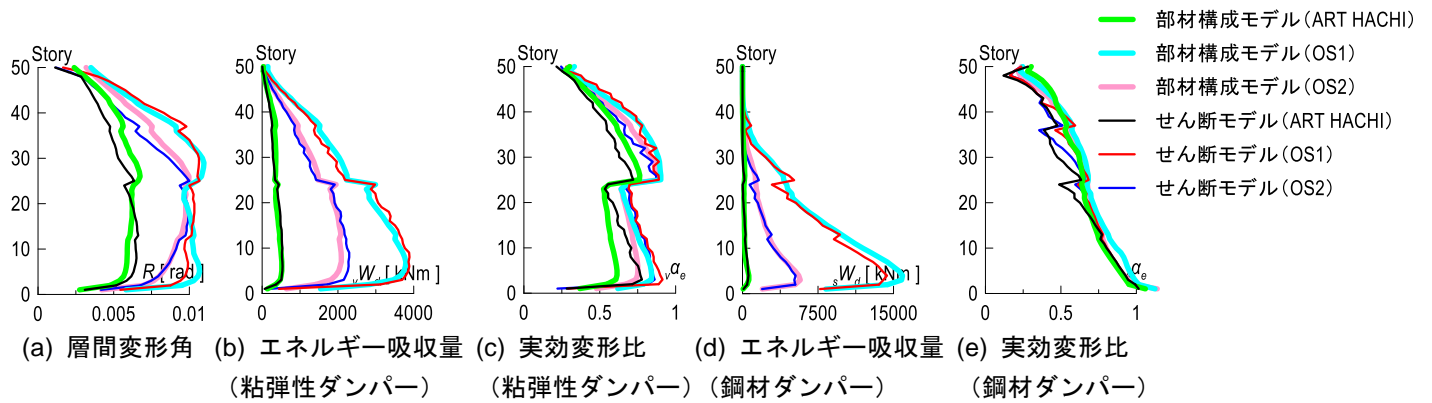


Fig.8 最大応答値 (Case1)

ねを挿入すると、エネルギー吸収量や実行変形比を大きく評価することがわかる。Fig.7(d), (e)より、各ケース応答にそれほど差はなく、部材構成モデルの応答と概ね一致している。このことから、間柱型粘弾性ダンパー設置箇所に剛性を付加してもしなくても、鋼材ダンパーの応答にはそれほど影響を及ぼさないことがわかる。これらを踏まえると、間柱型粘弾性ダンパーの状態 R 解析時は鋼材ダンパー設置箇所に剛性を持ったばねを挿入し、状態 N 解析時に鋼材ダンパー設置箇所に剛性を持ったばねを挿入しないことが適切であると考えられる。つまり、Case1 が最も適切だと考えられる。

Fig.8 に Case1 の最大応答値の高さ方向分布を示す。各地震波ともに部材構成モデルとせん断モデルの応答が概ね一致している。このことから、Case1 でのモデル化が最も適切であるといえる。しかし、その 1 に示す間柱型粘弾性ダンパーのみを組み込んだ場合よりも若干精度が落ちるため、注意が必要である。

#### 4. まとめ

間柱型粘弾性ダンパーと鋼材ダンパーを併用した建物モデルのせん断モデル化についてまとめた。以下に得られた知見を示す。

- (1) 間柱型粘弾性ダンパーの状態 N 解析時に鋼材ダンパー設置箇所に剛性を持ったばねを挿入すると、間柱型粘弾性ダンパーのエネルギー吸収量や実行変形比を大きく評価する。
- (2) 間柱型粘弾性ダンパーの状態 R 解析時に鋼材ダンパー設置箇所に剛性を持ったばねを挿入しないと、間柱型粘弾性ダンパーのエネルギー吸収量や実行変形比を小さく評価する。
- (3) 鋼材ダンパーの応答は、鋼材ダンパーの骨組特性値算出時の間柱型粘弾性ダンパー設置箇所の弾性ばね剛性の大小にあまり影響されなかった。

- (4) Case1 でのせん断モデル化が最も適切であったが、ダンパーを併用すると、せん断モデルの精度が若干落ちるため、注意が必要である。

#### 謝辞

本報告は、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の一部をまとめたものです。また、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によるものです。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 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, pp.37-46, 2006.7
- 2) 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, No.647, pp.103-112, 2010.1
- 3) 森隆浩, 櫻井祐, 加藤亨二, 戸張涼太, 吉永光寿, 金城陽介: 高減衰ゴムを用いた間柱型粘弾性ダンパー~その 2 時刻歴応答解析用履歴モデル~, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.597-598, 2017.7
- 4) 太木本仁志, 佐藤大樹, 戸張涼太, 安永隼平, 植木卓也: 間柱型粘弾性ダンパーを組み込んだ超高層建物の長周期地震動に対する応答性状および性能評価実験, 構造工学論文集, Vol.66B, pp.345-352, 2020.3
- 5) 添田幸平, 佐藤大樹, 石井正人, 北村春幸: 粘性ダンパーと履歴ダンパーを連層配置した超高層鋼構造建物の簡易モデル作成手法, 日本建築学会構造系論文集, No.768, pp.197-207, 2020.2

\*1 学生会員 東京工業大学 大学院生  
 \*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

Graduate Student, Tokyo Institute of Technology \*1  
 Associate Professor, FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng. \*2  
 JFE Civil Engineering & Construction Corporation \*3  
 JFE Steel Corporation \*4