

鋼構造骨組に設置された間柱型ダンパーの応力変動に関する解析的研究  
 架構によるダンパーの鉛直変位拘束の影響の検討

A Study on Stress Distribution of Steel Frames with Stud-Type Damper  
 Influence of Damper's Vertical Deformation by Restraint of Frame

○松村康司<sup>1</sup>, 石鍋雄一郎<sup>2</sup>, 中島肇<sup>2</sup>

\*Koji Matsumura<sup>1</sup>, Yuichiro Ishinabe<sup>2</sup>, Hajime Nakajima<sup>2</sup>

Abstract: Stud-type shear panel damper is a kind of energy dissipation device for response controlled structure. It is not elucidated definitely how axial force influences plastic deformation capacity of shear panel. In addition, studies on axial forces in dampers restrained vertical deformation by frame are insufficient. In this study, focusing on 20-story steel structure axial forces in studs installed into steel frames and stress distribution are examined.

1. はじめに

間柱型せん断パネルダンパー(以下, 制振間柱)は, 弾性に留まる支持部とウェブにせん断パネルが組込まれたダンパー部で構成される鋼材ダンパーである.

軸力がせん断パネルの塑性変形能力に与える影響は定量的に示されておらず, 既往の研究<sup>[1]</sup>では, 一定軸力下での実験・解析がされているが, せん断変形に伴う鉛直方向の沈み込みを周辺架構が拘束した際の, 制振間柱に生じる変動軸力に関する研究は, 十分でないのが現状である. 本研究では, 制振間柱を設置した鋼構造 20 層骨組の増分解析を行い, 最大層間変形角となる層の 1 構面をモデル化し, 架構による鉛直変位拘束によって制振間柱に生じる軸力について考察する.

2. 解析モデル

主架構は, 文献<sup>[2]</sup>に記載されているテーマストラクチャー 20 層モデルの在来タイプとし, 制振間柱は全層同様に Fig.1 の配置とする. 制振間柱は文献<sup>[3]</sup>の, 各層における主架構に対する制振間柱の剛性比が 0.3 とな

る断面寸法と同じものとした. 平面フレームと FEM モデルは, 立体フレームモデルのプッシュオーバー解析で最大層間変形となった第 5 層の Y2 構面をモデル化した(Fig.2). せん断パネルの板厚は全て 6 mm とした. 制振間柱ダンパー部の断面せいとフランジ断面は支持部と同じ寸法とする. 支持部とダンパー部フランジは SN490 材, パネル部分は LY225 材とする. ダンパー部の高さは H 形鋼の断面せいと等しくした.

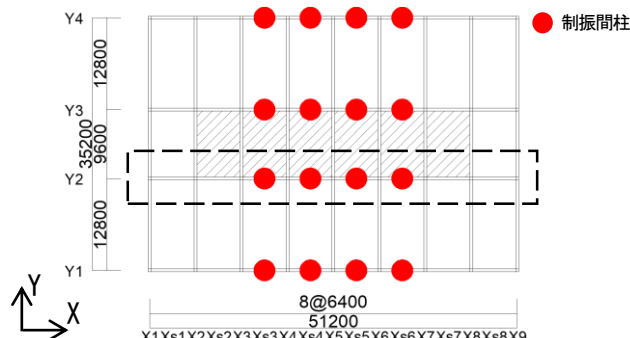


Figure 1. Placement of Studs

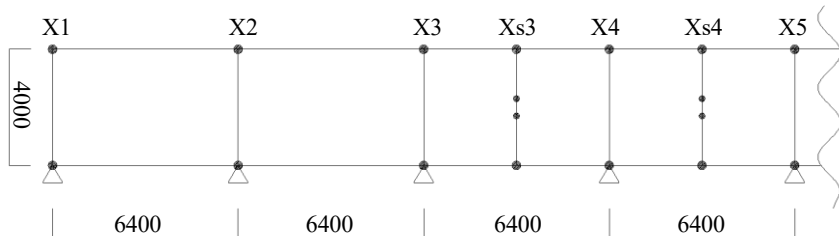


Figure 2. Description of 1 Story Frame and FEM Model

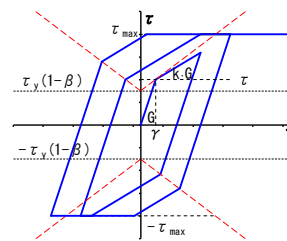


Figure 4. Hardening of Low-Yield Steel (Frame Model)

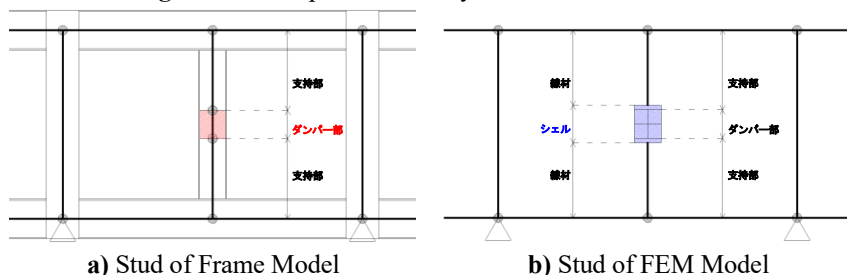


Figure 3. Modeling of Studs

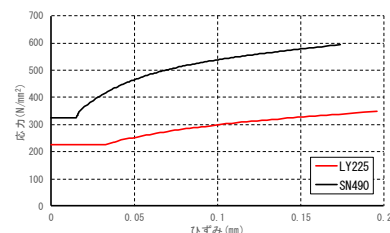


Figure 5. Stress-Strain Relationships (FEM Model)

### 3. 制振間柱のモデル化

各モデルの制振間柱のモデル化について Fig.3 に示す。立体・平面フレームモデルでは、制振間柱を 3 本の直列線材に置換し、中央をダンパー部、両端を支持部とする。弾塑性特性は曲げ・軸に対してはファイバー、せん断に対しては単軸バネでモデル化した。低降伏点鋼の素材特性は文献<sup>[2][4]</sup>より、Table 1, Fig.4 のように想定し、SN490 材の素材特性は、降伏応力度を 325N/mm<sup>2</sup>、二次剛性係数が 0.001 のバイリニアモデルとした。FEM モデルはダンパー部とその両端 100 mm までをシェル要素、支持部を線材でモデル化し、復元力特性は、等方硬化側とした。パネル部の要素設定を Table 2 に、素材の応力-歪関係を Fig.5 に示す。

### 4. 解析条件

解析は X 方向のみ考慮し、長期荷重は考慮しない。

#### 4-1. 立体フレーム 20 層モデル

最大層間変形角 1/100 を終了条件とした変位制御による弾塑性増分解析を行った。荷重分布は Ai 分布とし、固有値解析により求めた、一次固有周期 2.198 s を設計用一次固有周期として用い、地盤は第 2 種地盤とした。柱脚は固定とする。

#### 4-2. FEM モデル

層間変形角 1/100 を解析終了条件として、本柱頂部に水平荷重を漸増载荷し、同時に層せん断力に各柱の弾性時水平力分担率と層高の 1/2 を乗じた値を柱脚と柱頭のモーメントとして漸増载荷した(漸増モーメント载荷)。それに加えて、立体フレーム弾性解析時に各柱に生じた軸力と層せん断力の比を用いて、各柱に軸力を漸増载荷した(漸増軸力载荷)解析の 2 パターンに幾何学的非線形を導入した解析(FEM w/ Nlgeom)と導入しない解析(FEM w/o Nlgeom)の計 4 通りで解析した。

#### 4-3. 平面フレーム 1 層モデル

FEM モデル解析時の層間変形履歴を X5 軸柱頂部に与え、層せん断力履歴を用いて FEM モデル解析時と同様各柱にモーメント荷重、軸力を漸増载荷し、弾塑性増分解析を行った。幾何学的非線形は考慮されない。

### 5. 解析結果

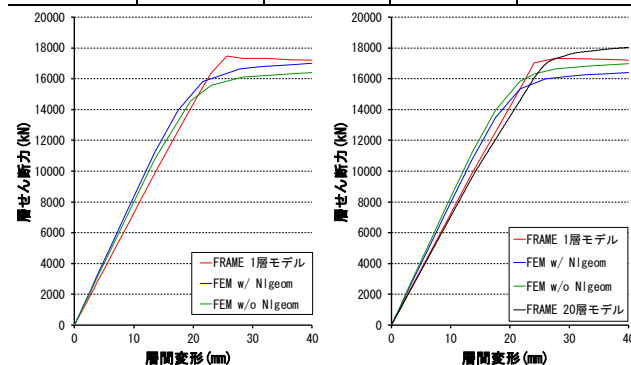
層せん断力-層間変形関係(Fig.6)よりフレーム 1 層モデルでは、層間変形 20 mm を超えたあたりで剛性の低下が見られるが、軸力増大に伴う曲げ耐力の低下によるものだと考えられる。各柱の降伏軸力比(Fig.7)より、軸力漸増载荷時の制振間柱に生じる軸力比は、幾何学的非線形を導入した場合 Xs3 軸の引張はやや増加し、Xs6 軸の圧縮はやや減少したがその差は小さく、架構による鉛直拘束の軸力への影響は小さかった。

Table 1. Specification of Shear Panel (Frame Model)

鋼種	降伏せん断応力度 $\tau_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断耐力 $\tau_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	二次剛性係数 k	降伏耐力上昇勾配係数 $\beta$
LY225	225/ $\sqrt{3}$	300/ $\sqrt{3}$	79000	0.022	0.0133

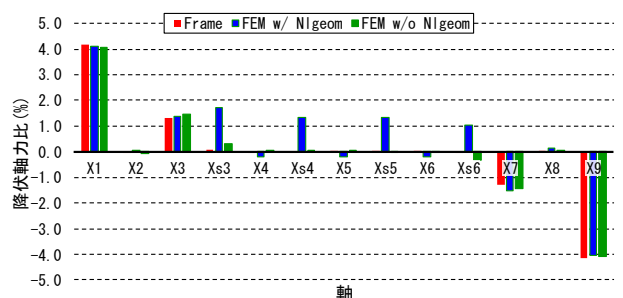
Table 2. Elements of Shell Model (FEM Model)

スチフナ本数	スチフナ幅 (mm)	スチフナ板厚 (mm)	枠スチフナ厚さ (mm)	枠スチフナ幅 (mm)
1	120	16	19	140

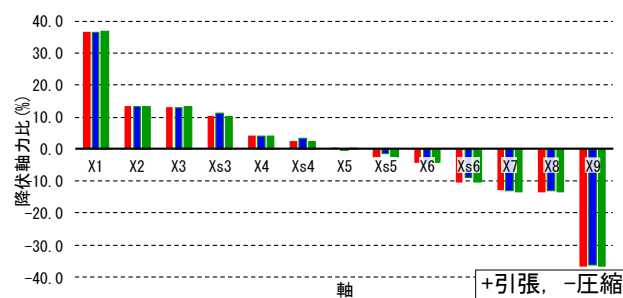


a) With Additional Moments b) With Additional Axial Forces

Figure 6. Story Shear Force—Story Deformation Relationships



a) With Additional Moments



b) With Additional Axial Forces

Figure 7. Axial Force Ratio of Columns

### 6. まとめ

本研究では、鋼構造骨組に設置された制振間柱に生じる軸力の、幾何学的非線形の導入による変化を検討した。本解析では、架構による鉛直変位拘束によって制振間柱に生じる軸力は小さいものとなったが、今後より詳細な検討が必要である。

### 7. 参考文献

[1] 入江, 石鍋ら:「間柱型パネルダンパーの履歴特性に及ぼす圧縮軸力の影響(その 1), (その 2)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 859-862, 2016. 8  
 [2] 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3版, 2013. 1  
 [3] 松村, 石鍋ら:「鋼構造骨組に設置された間柱型ダンパーの応力変動に関する解析的研究」, 2017 年度日本建築学会関東支部研究報告集, pp. 301-304, 2018. 3  
 [4] 日本建築学会:「鋼構造制振設計指針」, 2014. 11