

間柱型鋼材ダンパーにおける間柱の曲げが実効せん断剛性に与える影響

Influence of Effective Shear Stiffness on Stud-type Steel Damper

○須藤勝哉¹, 千葉光平¹, 萩原伸彦², 石鍋雄一郎³, 半貫敏夫⁴*Katsuya Sudo¹, Kohei Chiba¹, Nobuhiko Hagiwara², Yuichiro Ishinabe³, Toshio Hannuki⁴

Abstract: In a high-rise building, Stud-type low yield point steel damper is adopted in numerous cases because of cost and maintainability. Typically, stud-type damper is in order to bear the shear force, the effects of the bending is not considered occasionally. However, there is a possibility that the effective shear stiffness of stud-type steel damper is reduced by the bending of the stud. In this study, a FEM analysis of stud-type steel damper is performed to examine the effect of bending of the stud on the effective shear stiffness of damper. Thereafter, analysis is performed with variation of the cross section of stud to examine the relationship between the cross section of stud and dampers. In addition, to compare the lateral stiffness of the concrete studs and the steel damper, the relationship between ratio of the lateral stiffness and the effective shear stiffness of the steel damper is examined.

1. はじめに

高層建物では比較的廉価で維持管理の容易さから低降伏点鋼ダンパーが数多く採用されている。特に、高層集合住宅では意匠上の利点から、ブレース型よりも間柱型ダンパーが好まれる傾向がある^{1),2)}。

間柱型ダンパーはせん断力を負担するため、曲げによる影響を重要視しないことがある。しかし、間柱型鋼材ダンパーに関しては間柱の曲げにより実効的なせん断剛性が低下してしまう恐れがある。上記の問題に関しては、間柱の断面を大きくすることで解決することができると考えられるが、間柱断面と鋼材ダンパーの実効せん断剛性の関係を検討したものは少ない。

そこで、本研究では、間柱型鋼材ダンパーを対象に有限要素法解析を行い、間柱の曲げが鋼材ダンパーの実効的なせん断剛性に与える影響について検討を行った。その後、間柱の断面を変化させ解析を行い、間柱断面と鋼材ダンパーの実効せん断剛性の関係について検討を行った。また、コンクリート間柱と鋼材ダンパーのせん断剛性を比較し、鋼材ダンパーの実効せん断剛性との関係の検討を行った。

2. 解析概要

2-1. 解析モデル

有限要素法解析エンジン NEi Nastran を用いて、間柱型鋼材ダンパーを対象に有限要素法解析を行った。Fig.1 に本解析で使用した解析モデルを示す。鋼材ダンパーは板要素、コンクリートは、梁要素を用いた。鋼材ダンパーの端部とコンクリート間柱は剛体要素でつなぎ、鋼材ダンパーとコンクリート間柱が一体となって挙動するようにした。荷重方法は、単調荷重とし、

境界条件は、下端を固定支持、荷重端では回転拘束とした。初期不整は、ウェブ板厚の 1/100 である 0.09mm をウェブ中央部に与えて解析を行った³⁾。

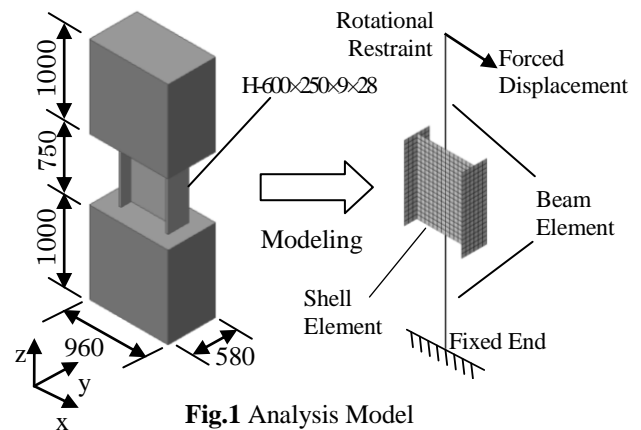


Fig.1 Analysis Model

2-2. 材料特性

鋼材ダンパーのウェブに SS400, フランジに SN490 を用いた。ヤング率は素材引張試験の結果より, SS400 は 208495(N/mm²), SN490 は 200452(N/mm²)とした。材質は等方等質とし, von Mises の降伏条件を用いた。コンクリート間柱の材料構成則は, 間柱部分が塑性化を考慮しないため, ヤング率を 35000(N/mm²)と設定した。

3. 間柱型鋼材ダンパーの実効せん断弾性係数

Fig.3 に解析によって得られた, $P-\delta$ 関係を, Table.1 に式(1), (2)より求めたせん断弾性係数と, 式(3)より求めたせん断弾性係数の理論値を示す。

$$G_a = \frac{Q_y}{\theta_y \cdot A_w} \quad (1)$$

$$\theta_y = \frac{\delta_y}{l} \quad (2)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (3)$$

1 : 日大理工・建築, Student, Nihon Univ.

2 : 東亜建設工業(株), Toa Corporation

3 : 日大理工・教員・建築, Nihon Univ., Dr.Eng.

4 : 日大名誉教授, Prof. Emeritus, Nihon Univ., Dr.Eng

E : ヤング率(=205000N/mm²) ν : ポアソン比(=0.3)
 G : せん断弾性係数 A_w : ウェブ断面積
 Q_y : 降伏せん断耐力(=821kN) θ_y : 降伏変形角(=1.9mm)
 δ_y : 降伏変形 l : ダンパー高さ

Table.1 Elastic Shear Modulus

	Elastic Shear Modulus	Analysis/Theory
	$G(N/mm^2)$	
Analysis	64791	0.82
Theory	78846	

Table.1 より, 解析値のせん断弾性係数は, 理論値に対して 18%程度低いことがわかる. これは, コンクリート間柱の曲げ変形の影響であると考えられる. そのため, コンクリート間柱の断面を変化させて解析を行い, 間柱の断面が鋼材ダンパーの実効せん断剛性に与える影響について確認する必要がある.

4. 間柱断面とせん断弾性係数の関係

間柱部分の断面二次モーメントを変化させ, 有限要素法解析を行い, 間柱断面と実効せん断剛性の関係を検討した. 間柱の断面二次モーメントは, Fig.1 に示した間柱断面を基準とし, 0.8 倍, 1.15 倍, 1.3 倍, 1.5 倍, 1.75 倍, 2.2 倍の断面で解析を行った. Fig.4 にせん断弾性係数比 G_d/G —断面二次モーメント比 II_c 関係を示す. なお, せん断弾性係数比 G_d/G は実効せん断剛性 G_d を理論値のせん断弾性係数 G で除した値であり, 断面二次モーメント比 II_c は各断面の断面二次モーメント I を基準とした断面の断面二次モーメント I_c で除したものである. Fig.4 より II_c が大きくなると G_d/G が大きくなる事が分かる. 具体的には断面二次モーメントが 2 倍になると実効せん断剛性は 10%ほど上昇した.

Fig.5 に実効せん断剛性の低減率—せん断剛性比 K_s/K_d 関係を示す. 実効せん断剛性の低減率は, せん断弾性係数の理論値からの低減率を表している. せん断剛性比に関しては, 間柱の曲げによる水平剛性 K_s を鋼材ダンパーのせん断による水平剛性 K_d で除したものである. 間柱と鋼材ダンパーのせん断剛性は, 式(4), (5), (6)より求めた.

$$K_s = \frac{Q_y}{\theta_s \cdot h} \tag{4}$$

$$K_d = \frac{G \cdot A_w}{l} \tag{5}$$

$$\theta_s = \frac{Q_y h^2}{2EI} \left(\frac{x^2}{h^2} - 1 \right) \tag{6}$$

K_s : 間柱のせん断剛性 K_d : ダンパーのせん断剛性
 θ_s : ダンパー降伏時の間柱の変形角 Q_y : 降伏せん断耐力
 h : 間柱の下端からダンパー中央までの長さ
 δ : 間柱下端からダンパー中央までの水平変位
 x : 鋼材ダンパー1/2の長さ

Fig.5 より, コンクリート間柱のせん断剛性が大きくなると, 鋼材ダンパーの実効せん断剛性の低減率は小さくなる事が分かる. また, 間柱の曲げ変形を考慮した場合の実効せん断剛性の低減率を式(7)で評価した. Fig.5 に式(7)の関係について示す.

$$\frac{G_d}{G} = \frac{1}{K_d \left(\frac{1}{K_s} + \frac{1}{K_d} \right)} \tag{7}$$

Fig.5 より, 間柱の曲げ変形を考慮した場合の荷重低減率は解析値の低減率よりも大きい値となった. これは, 鋼材ダンパー自体に曲げ変形が生じたためであると考えられる. これより, 鋼材ダンパーの曲げの影響を考慮すれば, 式(7)の評価式と近い値になると考えられる.

5. まとめ

- (1) 鋼材ダンパーの実効的なせん断剛性は, コンクリート間柱の曲げ変形の影響により, 理論値よりも低い値となった.
- (2) 鋼材ダンパーの曲げ変形の影響により, 鋼材ダンパーの実効せん断剛性は, 理論値よりも低い値となる.
- (3) 式(7)を用いて, 鋼材ダンパーの実効せん断剛性の低減率を評価することが可能であると考えられる.

【参考文献】

1) 川端栄治, 平川倫生, 萩原伸彦, 石鍋雄一郎, 千葉光平, 玉井政人: 間柱型低降伏点鋼ダンパー付 RC 造の施工過程における軸ひずみの実測と評価 (その 1) 高層住宅の軸ひずみの計測結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2012.9
 2) 萩原伸彦, 千葉光平, 石鍋雄一郎, 平川倫生, 川端栄治, 玉井政人: 間柱型低降伏点鋼ダンパー付 RC 造の施工過程における軸ひずみの実測と評価 (その 2) RC 柱の軸ひずみの推定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2012.9
 3) 小野泰弘, 石鍋雄一郎, 半貫敏夫: 貫通孔を有する薄肉 H 形断面梁の耐力評価及びスリーブ管補強に関する研究, 2011 年度日本建築学会関東支部研究報告集, 2012.3

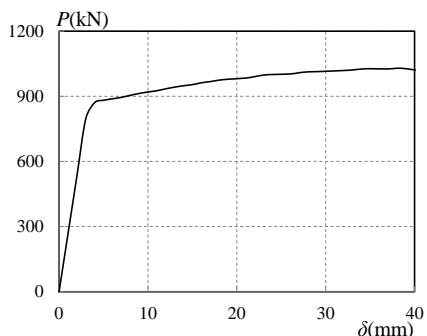


Fig.3 P— δ Curve

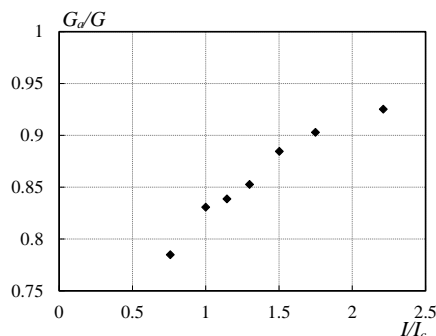


Fig.4 G_d/G — II_c Relationship

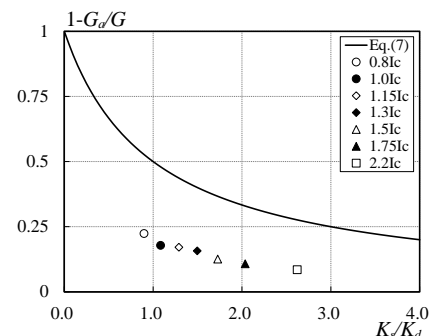


Fig.5 $1-G_d/G$ — K_s/K_d Relationship