

B-4

圧縮軸力下の間柱型低降伏点鋼ダンパーにおけるフランジ断面の影響

Influence of the flange cross-section in the stud-type damper using low yield point steel under compressive axial force

○須藤勝哉¹, 石鍋雄一郎², 萩原伸彦³*Katsuya Sudo¹, Yuichiro Ishinabe², Nobuhiko Hagiwara³

Abstract: Since excess axial strain can degrade the performance of shear panel dampers, some cares are taken in construction to reduce axial strain. Steel damper to be installed through the RC stub to the frame is constrained not to shorten and elongate, axial force acting along with deformation of the damper is drastically variable. In this paper, considering the influence of the flange proportion has on the boundary conditions of the web and deformation performance of the damper under compressive axial force.

1.はじめに

間柱型低降伏点鋼ダンパーは供用開始時点でダンパーに生じる軸ひずみを小さくするため、施工過程において配慮がなされるが、適切な管理基準が明確にされていないのが現状である。フレーム内に RC スタブを介して設置される鋼材ダンパーは鉛直変位を拘束され、ダンパーの変形が増大するにともない作用する軸力が変動する¹⁾。せん断パネルダンパーにおける軸力の影響はフランジ断面に左右されることが考えられ、ウェブの拘束条件とあわせて検討する必要がある。

本報告ではフランジ断面がウェブの拘束条件に与える影響を検討し、フランジ断面が圧縮軸力下の鋼材ダンパーの変形性能に与える影響を検討する。

2.解析概要

有限要素法解析コード Abaqus を用いて、座屈固有値解析、静的弾塑性解析を行った。解析の基準とした鋼材ダンパー²⁾(BH-600×250×9×28, フランジ断面積比 $A_f/A_w=1.4$)はウェブが LYP225, フランジが SN490 で構成されている。解析のパラメータはフランジ断面積比 A_f/A_w であり 0.5, 0.75, 1.0, 2.0 と変化させた。フランジ断面は基準断面のフランジ板厚を変化させるケースとフランジ幅を変化させるケースの 2 ケースを比較する。なおウェブ断面は一定である。作用させる圧縮軸力は、LYP225 の降伏応力 σ_y にダンパー全断面積を乗じた値 N_y を基準とし、1.0 倍, 2/3 倍, 1/3 倍, 無軸力とした。

基準断面の解析モデルを Fig.1 に示す。使用した要素は 4 節点シェル要素である。境界条件はダンパー下端を固定、上端は回転とウェブ面外方向である y 方向変位を拘束した。荷重方法は圧縮軸力をダンパー上部に作用させた後、ダンパー上端の z 方向変位を拘束し、x 方向の強制変位を与えた。荷重スケジュールは 5mm を基準とした正負交番繰返し荷重であり 5 サイクル荷重を行った。座屈固有値解析に関しては x 方向のせん断

力のみ作用させる。解析に用いた鋼材の真応力-真歪関係を Fig.2 に示す³⁾。硬化則は混合硬化則である。混合硬化則の材料パラメータは文献(4)を参考に設定した。

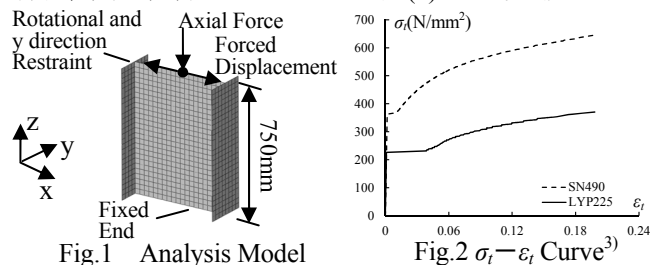


Fig.1 Analysis Model

Fig.2 $\sigma_t - \varepsilon_t$ Curve³⁾

3.解析結果

弾性座屈応力度の解析値と理論値を比較し、鋼材ダンパーのウェブの拘束条件を検討する。弾性座屈応力度の解析値は、最小座屈固有値モードの弾性座屈耐力をウェブ断面積 A_w で除して算出する。ウェブの拘束度の比較を Fig.3 に示す。縦軸の τ_a/τ_{cr} は弾性座屈応力度の解析値 τ_a を 4 辺固定支持とした場合の純せん断時の弾性座屈応力度の理論値 τ_{cr} で除した値である。Fig.3 より、フランジ断面積比が小さくなると、弾性座屈応力度の解析値が小さくなり、理論値との差が大きくなることわかる。これは、フランジ断面積が小さくなりウェブの拘束条件が固定支持から単純支持に近づいたことを示している。また、フランジの板厚を変化させたケースは、フランジ幅を変化させたケースよりも、フランジ断面が小さくなることによる、弾性座屈応力度の低減量が大きいことわかる。これより、ウェブの拘束条件はフランジ幅より、フランジ板厚の方が大きく影響することが考えられる。

荷重-変形角関係を Fig.4, 鋼材ダンパーに作用する軸力-変形角関係を Fig.5 に示す。Fig.5 の縦軸の軸力は正側が引張、負側が圧縮を示している。Fig.4, Fig.5 はフランジ断面積比 0.5 と基準断面の結果である。Fig.4 より、いずれのフランジ断面においても、ダンパーに圧縮軸力が作用しても、履歴に大きな変化は見られな

かった。これはダンパー上端の鉛直方向変位を拘束したことにより、ダンパー変形角が大きくなるに従い、引張軸力が作用したためであると考えられる。座屈後の挙動に関して、フランジ幅を変化させた場合は、いずれの断面積比においてもピンチング現象を起こした。フランジ板厚を変化させたケースは、フランジ断面積が小さくなるとピンチング現象を起こしにくくなる傾向を示した。これは、フランジ板厚を変化させたケースは、ウェブの拘束度が小さいためであると考えられる。また、フランジ断面積が大きくなると、降伏後の耐力上昇が大きくなる傾向を示した。しかし、ウェブの拘束条件が履歴に与える影響はそれほど大きくないことがわかる。図 5 より、ダンパーの変形角が大きくなると、初期载荷した圧縮軸力が減少し引張軸力が作用することがわかる。また、座屈後には再び圧縮軸力が作用することがわかる。これは斜張力の影響であると考えられる。この変動軸力の影響により無軸力、軸力比 1/3 では初期軸力より大きな圧縮軸力が作用する。

等価せん断座屈変形角の予測式⁵⁾とせん断座屈変形角の解析値を比較し、フランジ断面が鋼材ダンパーの変形角に与える影響について検討する。等価せん断座屈変形角予測式は、せん断パネルダンパーのせん断座屈変形角を予測するための式であり式(1)で示される。

$$\bar{\gamma}_B = \frac{A}{G} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1-\nu^2)} \cdot \frac{\kappa_c}{\left(\frac{h_s}{t_w}\right)^2} \quad (1)$$

A : 実験定数(=3.7) G : せん断弾性係数
 E : ヤング係数 ν : ポアソン比
 κ_c : 板座屈係数 h_s : ダンパー高さ t_w : ウェブ厚さ
 κ_c は、全辺固定支持の場合には式(2)で定義される。

$$\kappa_c = 5.60 + 8.98 \left(\frac{d_s}{h_s}\right)^2 \quad (2)$$

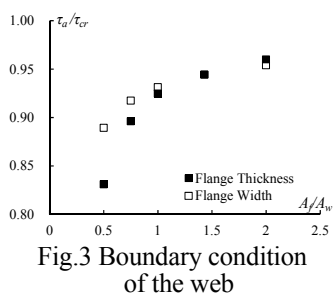


Fig.3 Boundary condition of the web

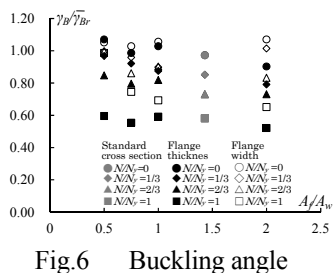


Fig.6 Buckling angle

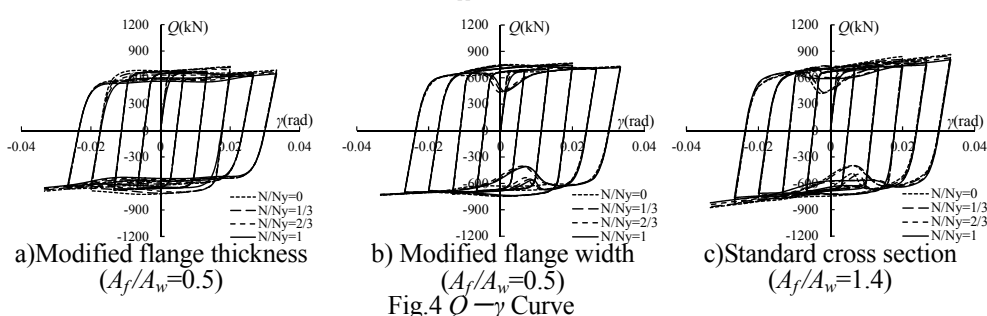


Fig.4 Q-γ Curve

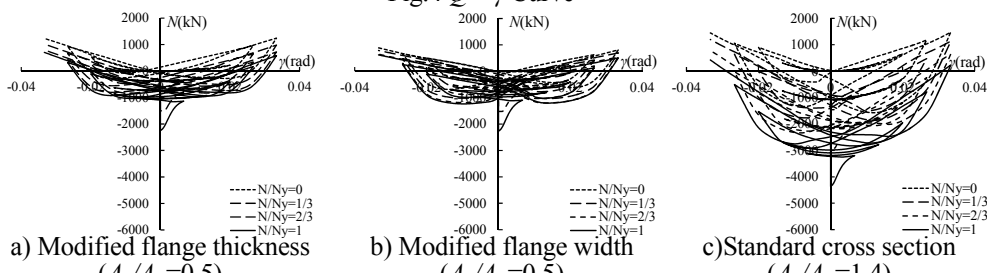


Fig.5 N-γ Curve

座屈変形角の比較を Fig.6 に示す。Fig.6 の縦軸は解析より得られた座屈変形角 γ_B を式(1)より得られる等価せん断座屈変形角の予測値 $\bar{\gamma}_B$ で除した値である。Fig.6 より、フランジ板厚を変化させたケース、フランジ幅を変化させたケースいずれにおいても、鋼材ダンパーに作用する圧縮軸力が大きくなるに従い、座屈変形角が小さくなる傾向を示した。フランジ断面の変化に着目すると、フランジ板厚を変化させたケースに関して、軸力比 2/3 以下ではフランジ断面積が大きく、ウェブの拘束条件が固定支持に近づくに従い、座屈変形角が小さくなる傾向を示した。軸力比 1 ではフランジ断面積が変化しても、座屈変形角はほぼ一定であることがわかる。一方、フランジ幅を変化させたケースには、軸力比 2/3 以上で、フランジの拘束条件が固定支持に近づくに従って座屈変形角が小さくなる傾向を示した。

4. まとめ

- (1) 圧縮軸力が作用しても、履歴に大きな影響は見られない。また、ウェブの拘束条件による影響はほとんど見られなかった。
- (2) 圧縮軸力が作用すると座屈変形角が小さくなる。
- (3) フランジ板厚を変化させた場合、軸力比 2/3 以下で、フランジ幅を変化させた場合には軸力比 2/3 以上で、ウェブの支持条件が固定支持に近づくに従い、せん断座屈変形角が小さくなる。

【謝辞】本解析に使用した、実験結果は安藤建設(株)(現・(株)安藤・間)と東亜建設工業(株)が共同で実施したものであり、試験データを提供いただいた安藤建設に、ここに記して謝意を表します。
 【参考文献】
 1) 金子 他：架構内に配置される制震間柱の初期軸力の影響，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.955-956, 2008.9
 2) 萩原 他：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，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.97-100, 2012.9
 3) 大谷 他：ピン接合形式による外付け制振補強工法の開発，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.627-628, 2010.9
 4) Jia 他：Cyclic Stress-Strain Behavior to Fracture of Structural Steel, Part1, 日本建築学会関東支部研究報告集，pp.541-544, 2012.3
 5) 玉井 他：せん断パネルダンパーの等価せん断座屈変形角について，鋼構造年次論文報告集第 20 巻，pp.229-236, 2012.11