低降伏点鋼を用いた LENS 型せん断パネルダンパーの動的性能確認試験

日本鋳造(株) 正会員 〇山﨑 信宏 (株)東光コンサルタンツ フェロー 高久 達将 日本鋳造(株) 正会員 原田 孝志 (株)東光コンサルタンツ 正会員 今井 康二 日本鋳造(株) 正会員 石山 昌幸 愛知工業大学 正会員 青木 徹彦

1. はじめに

地震時における水平力を担うデバイスとして、せん断パネルダンパーに着目し、両サイドに縦リブを有しない、低降 伏点鋼を用いた LENS 型せん断パネルダンパー(以下、LENS 型せん断パネル)を考案し、これまでに基本的な性能を確 認している ^{1),2)}.

この LENS 型せん断パネルは、パネル幅 D および高さ H が板厚 t の 13 倍(幅厚比: D/t=13)となる正方形であり、弾 塑性領域を拡げるため、平面中央部に球状の凹レンズ部を設けた(凹レンズ部の残り板厚と板厚との比は 1:2)。また、パネルの四隅には、応力集中を緩和させるため、円弧フレアを設けた形状とし、パネルに用いる低降伏点鋼は、LY100 材とした。

本研究では、低降伏点鋼を用いたせん断パネルの動的特性に関する研究が少ないことから、LENS 型せん断パネルの動的特性を実験的に明らかにすることを目的とした.

2. 試験体

試験体形状は、静的試験と同様、幅厚比 D/t の考え方に基づき、試験機の制約から試験可能な大きさに設定した。その寸法は、板厚が 12mm で、パネル幅 D およびパネル高さ H が 156mm となる正方形である。平板中央部の両面には、中央部の板厚が 6mm となるように球状の凹み加工を施し、プレートの四隅には R=48 の円弧フレアを設けた。また、LENS型せん断パネルの上下辺は、固定部材に設置するため、**図1** に示すような長帯状とし、ボルト孔を設けた。

3. 試験方法

試験は、日本鋳造(株)所有の高速二軸試験機にて行った。静的試験と同様に、 せん断パネルを高力ボルトで固定部材へ連結し、その状態で(写真 1 参照)、鉛 直荷重を作用させずに、水平方向への繰返し載荷試験を行った。

動的試験の載荷ケースは、正弦波による正負交番の一定変位繰返し載荷とし、変位量は、静的試験と同様に、 $\pm 4 \delta y$ 、 $\pm 6 \delta y$ の $2 \ell \ell \ell$ の $2 \ell \ell$ を形). なお、周期については、橋梁の動的解析結果 3ℓ を参考に決定した.

4. 試験結果

 $\pm 4\,\delta$ y, $\pm 6\,\delta$ y の正負交番一定変位繰返し載荷試験により得た水平変位とせん断耐力との関係を**図2** および**図3** に示す. 図の縦軸は, 降伏応力(σ y=80. 1N/mm², τ y=46. 2N/mm²) より算出した降伏せん断力で,横軸は,降伏変位 ± 5 mm で無次元化している ¹⁾. 静的試験と同様に,いずれの試験体とも,試験開始後の立ち上がりにおいて,せん断抵抗力の低い傾向が認められ,以降は,矩形状に安定した履歴曲線を得たものの,繰返しと共にせん断耐力の低下する傾向が認められた.

最大せん断耐力は、 $\pm 4\delta y$ 試験では載荷回数 3 回で 3.0Qy、 $\pm 6\delta y$ 試験では 3 回で 3.1Qy を得ており、いずれの試験でも、静的試験で得た最大せん断耐力とほぼ等しい値となった。また、除荷勾配については、 $\pm 4\delta y$ 試験、 $\pm 6\delta y$ 試験ともほぼ等しく、静的試験で得た結果とも同程度であった。

図4および図5にせん断耐力と累積塑性せん断ひずみ (γp) との関係を示す。なお、この図の縦軸も降伏応力より算出した降伏せん断力で無次元化している。動的試験における LENS型せん断パネルのせん断耐力は、累積塑性せん断ひずみの増加と共に、静的試験で得た結果より勾配をもって低下する傾向を示し、最大せん断耐力に対する終局手前での耐力低下率は、 $\pm 4\delta y$ 試験で 71%程度、 $\pm 6\delta y$ 試験で 77%程度であった。

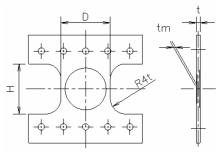


図1 試験体の形状



写真1 試験機への設置

表1 試験載荷ケース

載荷 ケース・	周期	振幅 変位	平均 載荷 速度	最大 載荷 速度	平均 せん断 ひずみ
<i>y</i> · <i>A</i> ·	sec	mm	mm/sec	mm/sec	%
Case-1	1.25	±20	64	100	±12.8
Case-2	1.88	±30	64	100	± 19.2

キーワード: せん断パネル, ダンパー, 低降伏点鋼, 動的試験, 制震装置, 機能分離型支承

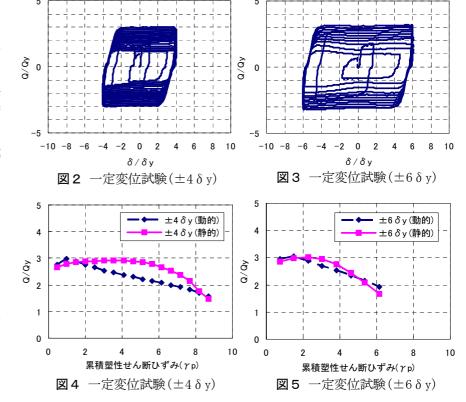
連絡先: 〒210-9567 神奈川県川崎市川崎区白石町 2-1 日本鋳造(株) TEL: 044-355-5033 FAX: 044-333-4575

なお、累積塑性せん断ひずみは、**図6**および式(1)の考えにより算出している⁴.

各試験体の終局回数は、 $\pm 4 \delta y$ 試験では載荷回数 14 回、 $\pm 6 \delta y$ 試験では 8 回であり、いずれも円弧フレア部から亀裂を生じた。また、終局状態に対する累積塑性せん断ひずみは、 $\pm 4 \delta y$ 試験で 6.6、 $\pm 6 \delta y$ 試験では 5.4 程度であり、静的試験の結果と同程度であった。

各試験終了後の試験体写真を写真2および写真3に示す、載荷時において、LENS中央部からは熱による変色が始まり、その変色が外側へ矩形状に広がっていくことを確認した。載荷中の試験体温度を計測することはできなかったが、 $\pm 4 \, \delta \, y$ 試験終了後に非接触温度計により LENS部を計測したところ、温度は 450 \mathbb{C} 程度を示した.

累積塑性せん断ひずみ= $\sum_{i} \gamma_{pi}$ (1)



5. まとめ

LENS 型せん断パネルの動的試験により得られた結果を以下に示す.

- ・ 最大せん断耐力は,静的試験で得られた結果とほぼ等しい値となったが,せん断耐力は,累積塑性せん断ひずみを増すごとに,矩形状に安定した履歴を確保しながら,静的試験で得られた結果よりも勾配を持って低下する傾向を示した.
- ・ いずれの試験とも除荷勾配はほぼ等しく、静的試験結果とも同程度であった.
- ・ せん断パネルに繰返し高速載荷を与えた結果, せん断パネルの温度上昇を確認した. せん断パネルの発熱による変色が, 断面の最も小さい中央部から外側に向かって広がったことは, LENS 効果によるものと考える.
- ・ 終局状態に対する累積塑性せん断ひずみは、静的試験結果と同程度であった.
- ・ 高速載荷時におけるせん断パネルのせん断耐力に着目してみると、パネルに 生じた発熱の影響などにより、静的試験と異なる傾向を示したが、終局状態 に対する累積塑性ひずみはほぼ等しい結果となった。静的試験および動的試 験により得られた結果から、適切な解析モデルを構築し、動的解析を行うこ とで、橋梁へは十分対応可能と考える。
- ・ せん断パネルの動的特性をより定量的に評価することを目的とし、橋梁の動 的解析から得た地震時応答波形による動的試験を今後行う予定である.

参考文献

- 1) 劉陽, 青木徹彦, 高久達将, 福本唀士: 低降伏点鋼せん断パネルダンパーの繰返し載荷実験, 構造工学論文集 Vol.53A, pp.560-567, 2007.3
- 2) 石山昌幸, 原田孝志, 他: 低降伏点鋼を用いた LENS 型せん断パネルダンパーの静的性能確認 試験, 土木学会第64回年次学術講演会, 2009.9
- 3) 今井康二,高久達将,他:LENS型せん断パネルダンパーを用いた3径間連続桁の耐震挙動,土 木学会第64回年次学術講演会,2009.9
- 4) 土木学会 鋼構造委員会:鋼・合成構造標準示方書[耐震設計編],丸善,2008.2
- T. Aoki, J. Dang & C. Zhang, T. Takaku, Y. Fukumoto: Dynamic shear tests of low-yield steel panel dampers for bridge bearing, STESSA 2009, 2009.8

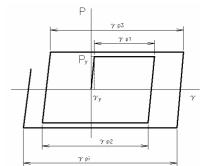


図6 累積塑性せん断ひずみの定義

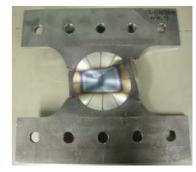


写真2 一定変位試験(±4δy)



写真3 一定変位試験($\pm 6 \delta y$)