

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

日本 casting (株) 正会員 ○石山 昌幸
 日本 casting (株) 正会員 原田 孝志
 日本 casting (株) 正会員 山崎 信宏

(株) 東光コンサルティング フェロー 高久 達将
 (株) 東光コンサルティング 正会員 今井 康二
 愛知工業大学 正会員 青木 徹彦

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、わが国の新設橋梁には免震ゴム支承が広く用いられ、耐震性の向上が図られているものの、大きなせん断変形量が許容され、桁遊間が大きくなり、伸縮装置も大変形用のものが必要となる等の指摘が生じている。

このような指摘を解決するため、低降伏点鋼を用いたせん断パネルが提案されている。従来のせん断型ダンパーのほぼすべては、両サイドに縦リブを有する矩形形状であり、水平方向のせん断繰返しに対して、多くは上下方向の移動を自由、またははりと接合した半固定としている。この形式は、パネル全体にせん断力を生じさせる最も単純で合理的構造だが、これ以外にも様々な形状、支持条件を有するせん断型ダンパーが考えられ、その耐震性能が明らかにされれば、将来、設計者は、様々な性能を持つ制震デバイスにより選択の幅が広がり、性能設計を迎える時代にあって設計の自由度が増大すると考えられる。

そこで筆者らは、従来のせん断型ダンパーによらない様々なせん断パネルダンパーを考案し、これらの水平繰返し力に対する基本的性能を確認することで、最も変形性能の良い形状を選定した¹⁾。選択したせん断パネルの形状は、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、平面中央部の両面に球状の凹レンズ形状を設けた (以下、LENS 型せん断パネル)。そして、LENS 型せん断パネルの四隅には、応力集中を緩和させるため、円弧フレアを設けた。なお、LENS 型せん断パネルに用いる低降伏点鋼は、LY100 材とした。

図 1 に提案する LENS 型せん断パネル構造は、溶接を必要とせず、安価でとてもシンプルな構造である。そこで、本構造での水平繰返し力に対する基本的性能を確認するため、実験的検討を行った。なお、事前に、平面中央部に設ける球状凹み量の差異による特性試験を実施し、性能が良いと判断された板厚比 (球状凹み部分の残り板厚と板厚との比) $1:2$ とする形状を採用し、試験を実施した。

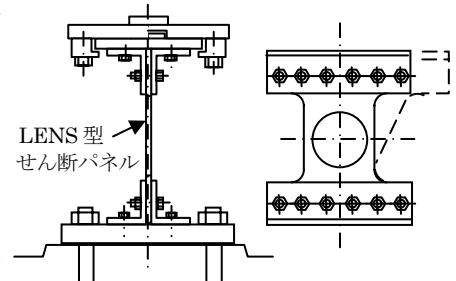


図 1 LENS 型せん断パネル構造

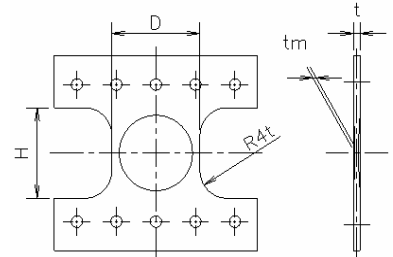


図 2 試験体の形状

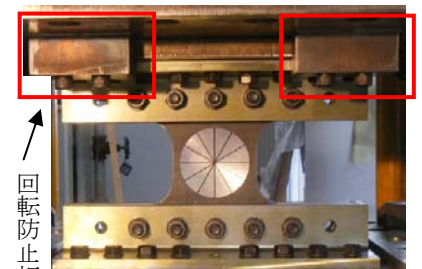


写真 1 試験機への設置

2. 試験体

試験体形状は、幅厚比 D/t の考え方にに基づき、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 の正方形である。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、プレートの上四隅には $R=48$ 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 2 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 casting (株) 所有の高速二軸試験機にて行った。LENS 型せん断パネルの試験機への取付けは、せん断パネル上下部に設けられたボルト孔と試験機面板に取付けられたパネル固定部材のボルト孔に高力ボルトを介して締付けた。せん断パネルの固定部材は、ボルトにより上柵および試験機下面板に連結されている。しかし、上柵と試験機上面板は、橋梁への取付け構造を意識し、ボルト連結は行わず、せん断キーで水平力を伝達させる構造とした (図 1 参照)。そのため、加振軸方向へ载荷中に面外方向へ回転してしまう恐れのあることから、写真 1 に示すような回転防止板を設置した。その状態で、鉛直荷重を作用させずに、下記に示す水平方向への繰返し载荷試験を行った。

(1) 正負交番変位漸増繰返し载荷試験

正負交番変位漸増繰返し载荷による特性把握のため、正弦波で水平変位 $\pm \delta y$ ごと、徐々に変位を漸増させた試験である。ここで、 $\pm \delta y$ は $\pm 5\text{mm}$ とした¹⁾。

キーワード：せん断パネル，ダンパー，低降伏点鋼，静的試験，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 casting (株) TEL: 044-355-5033 FAX: 044-333-4575

(2) 正負交番一定変位繰返し载荷試験

正負交番一定変位繰返し载荷による特性把握のため、正弦波で $\pm 2\delta y$ 、 $\pm 4\delta y$ 、 $\pm 6\delta y$ の3ケースの変位量を繰返した試験である。なお、繰返し変位量は、正負交番変位漸増繰返し载荷試験の結果より決定した。

4. 試験結果

試験結果を以下に示す。図の縦軸は、降伏応力（ $\sigma_y=80.1\text{N/mm}^2$ 、 $\tau_y=46.2\text{N/mm}^2$ ）より求めた降伏せん断力で、横軸は、降伏変位で無次元化している¹⁾。

(1) 正負交番変位漸増繰返し载荷試験

試験後写真を写真2に、試験により得た水平変位とせん断耐力との関係を図3に示す。試験では、水平変位 $\pm 6\delta y$ 程度から座屈変形が見られたが、最大せん断耐力は、 $\pm 8\delta y$ 载荷時に $3.1Q_y$ に達した。その後、 $\pm 9\delta y$ 载荷時に円弧フレア部から亀裂が生じ、終局を迎えた。

(2) 正負交番一定変位繰返し载荷試験

$\pm 2\delta y \sim \pm 6\delta y$ の試験により得た水平変位とせん断耐力との関係を図4～図6に示す。いずれの試験とも、試験開始後の立ち上がりにおいて、せん断耐力の低い傾向が認められたが、以降は、安定した履歴曲線が得られた。

最大せん断耐力は、 $\pm 2\delta y$ 試験では载荷回数16回で $2.6Q_y$ 、 $\pm 4\delta y$ 試験では8回で $2.9Q_y$ 、 $\pm 6\delta y$ 試験では4回で $3.0Q_y$ となり、変位が大きくなるにつれ大きくなる傾向を示し、せん断耐力に対して正負交番となる時の傾き（除荷勾配）は、 $\pm 2\delta y$ 試験で若干大きいものの、 $\pm 4\delta y$ 試験と $\pm 6\delta y$ 試験ではほぼ等しい値となった。

各試験体とも、最大せん断耐力に達した以降、徐々にではあるが、座屈変形と共にせん断耐力も低下し、 $\pm 2\delta y$ 試験では载荷回数43回、 $\pm 4\delta y$ 試験では14回、 $\pm 6\delta y$ 試験では8回で、円弧フレア部からの亀裂により、終局を迎えた。終局状態に対する累積塑性せん断ひずみ²⁾を見てみると、 $\pm 2\delta y$ 試験では10.7、 $\pm 4\delta y$ 試験では6.6、 $\pm 6\delta y$ 試験では5.4程度であった。

5. まとめ

LENS型せん断パネルの静的試験により得られた結果を以下に示す。

- ・ 変位漸増繰返し载荷試験では、側面にリブを持たないにもかかわらず、 $\pm 8\delta y$ という大きな変形性能を示し、最大せん断耐力は $3.1Q_y$ に達した。
- ・ 一定変位繰返し载荷試験での最大せん断耐力は、変位が大きくなるにつれ大きくなる傾向を示した。また、除荷勾配は、 $\pm 2\delta y$ 試験で若干大きいものの、 $\pm 4\delta y$ 試験と $\pm 6\delta y$ 試験ではほぼ等しい値となった。
- ・ 一定変位繰返し载荷試験での終局状態に対する累積塑性せん断ひずみは、5.4～10.7程度となった。
- ・ 動的解析から求まる累積塑性せん断ひずみとの比較が必須となるが、LENS型せん断パネルの解析モデルは、応答変位によってせん断耐力に多少の増減はあるものの、除荷勾配はほぼ等しい結果を得たことから、最大せん断耐力（ $Q_{\max}$ ）に対する定量的評価が必要ではあるが、図7に示す履歴モデルで模擬できると考える。

参考文献

- 1) 劉陽, 青木徹彦, 高久達将, 福本嘯士: 低降伏点鋼せん断パネルダンパーの繰返し载荷実験, 構造工学論文集 Vol.53A, pp.560-567, 2007.3
- 2) 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
- 3) Minoru Uenoya, Yuhshi Fukumoto, Masaki Nakamura, Syunsuke Ishida: Cyclic Shear Behavior of Low-Yield Steels by New Shear Test Procedure, 1st International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering, pp.183-188, 2005.7

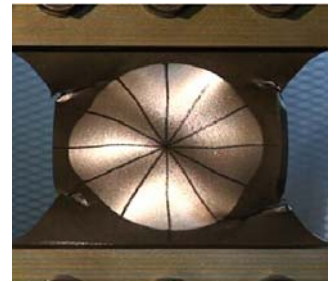


写真2 変位漸増試験後写真

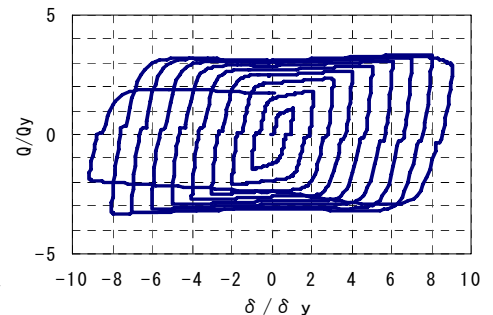


図3 変位漸増試験

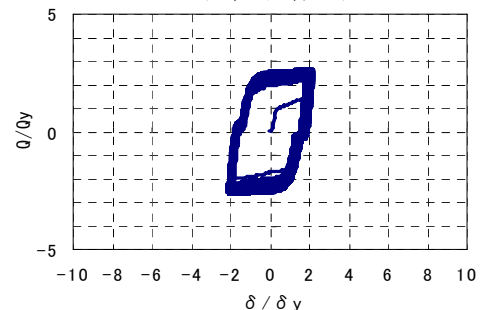


図4 一定変位試験 ($\pm 2\delta y$)

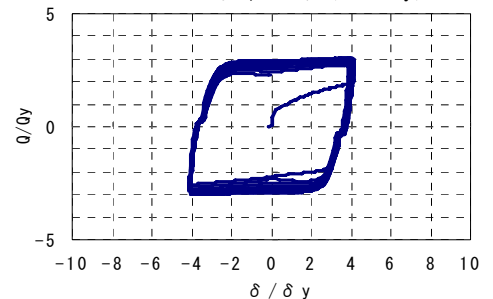


図5 一定変位試験 ($\pm 4\delta y$)

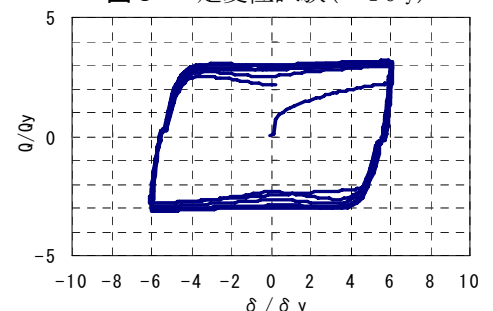


図6 一定変位試験 ($\pm 6\delta y$)

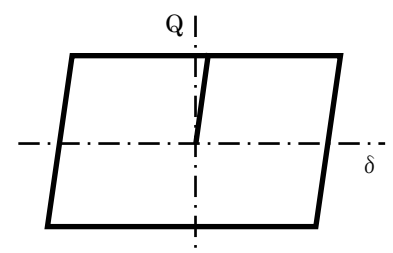


図7 LENS型せん断パネルのモデル化