

### 極軟鋼せん断パネルダンパー動的実験

愛知工業大学	学生会員	○張	超鋒
愛知工業大学	学生会員	党	紀
愛知工業大学	学生会員	渡辺	剛士
愛知工業大学	正会員	青木	徹彦

#### 1. はじめに

免震ゴムデバイス LRB は地震時における鉛直荷重を担うとともに、水平力にも抵抗する。一方で、鉛直方向力と水平抵抗力を分離した機能をもつ免震システムもある。例えば、従来の鋼製支承が鉛直方向死荷重と活荷重を支持し、せん断パネルダンパーが水平方向の力に抵抗する機能分離型がある。

筆者らはこの数年来、高変形性能を有する低降伏鋼せん断パネルダンパーは開発してきた。これらの準静的な繰返し載荷試験を行うとともに5連続桁橋の地震解析<sup>1)2)</sup>を行ない、ダンパーの耐震性能を確認した。

本研究では、開発したせん断パネルダンパーの動的特性を実験的に明らかにする。また、動的实验結果を静的実験結果と比較し、パネルダンパーの動的破壊モードを検討する。

#### 2. 試験方法

実験には側辺ブリ付きの極軟鋼 (LYP100) せん断パネル試験体 (156×156×6mm) を用いる。試験体形状を図-1 に示す。

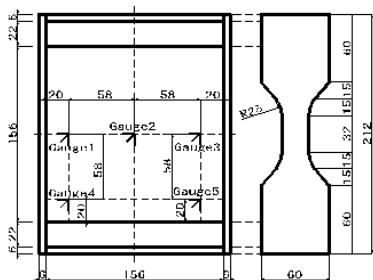


図-1 試験体の形状

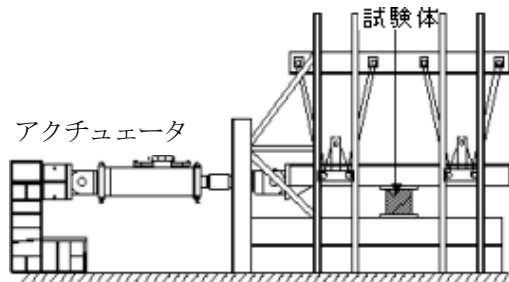


図-2 試験装置

図-2 示すように、せん断パネルダンパー上端にアクチ

ュエータを接続し、水平方向への繰返し載荷試験を行なう。静的試験は、漸増変位繰返し試験とし、毎回サイクルの変位増加量は $\pm 5 \delta_y$ とした、ここに $\delta_y$ は0.2%オフセット降伏応力値 $\delta_{0.2}$ から定め、0.42mmとした。

動的な試験では、周期0.5秒、1.0秒および2.0秒の正弦波を与え、 $\pm 18\text{mm}$ の一定振幅の正負交番繰返し載荷を行なう。

#### 3. 試験結果

##### 3.1 静的試験

静的繰返し載荷実験では、サイクルごとに最大荷重が増え続け、11サイクルまで200kNに達し、11サイクルから16サイクルまでこの値を保持した。16サイクル以降は低サイクル疲労と面外せん断座屈により、最大荷重は徐々に減少した、また最大変位は $95 \delta_y(40\text{mm})$ に達した。これは26%平均せん断ひずみに相当するもので、今回開発した極軟鋼せん断パネルダンパーは従来のものに比べて、非常に大きい変形量である。

画素処理<sup>2)</sup>によって、全体パネルせん断ひずみを計測した、 $35 \delta_y$ まではせん断ひずみはほぼ均一に分布することが観測された。

##### 3.2 動的試験

2.0秒、1.0秒および0.5秒の正弦波周期における11サイクルまでの水平荷重と変位の履歴関係を図-3(a)(b)(c)に示す。いずれの動的試験においても、せん断パネルダンパーの履歴曲線は長方形で、最大荷重はほぼ一定値190kNであった。これは静的な繰返し載荷試験で得られた最大荷重200kNとほぼ同じ値である。

LYSP-D20 (T=2.0秒) では、振幅は最初のサイクルでは $\pm 18\text{mm}$ であったが、2サイクルから安定した変位 $\pm 15\text{mm}$ になった。最大の速度を与えたLYSP-D5 (T=0.5秒) では、アクチュエータ内部変位計を用いたため、所定の変位制御ができなかった。したがって、高速動的載荷の場合内部変位計ではなく、外部変位計を直接利用するほうがよいと思われる。

大地震の主要動は通常 10 回程度であるから、今回の実験で 11 サイクルまでの荷重によって、安定した荷重—変位曲線の結果が得られたので、ダンパーとしての動的な性能は使用上安定していると言える。

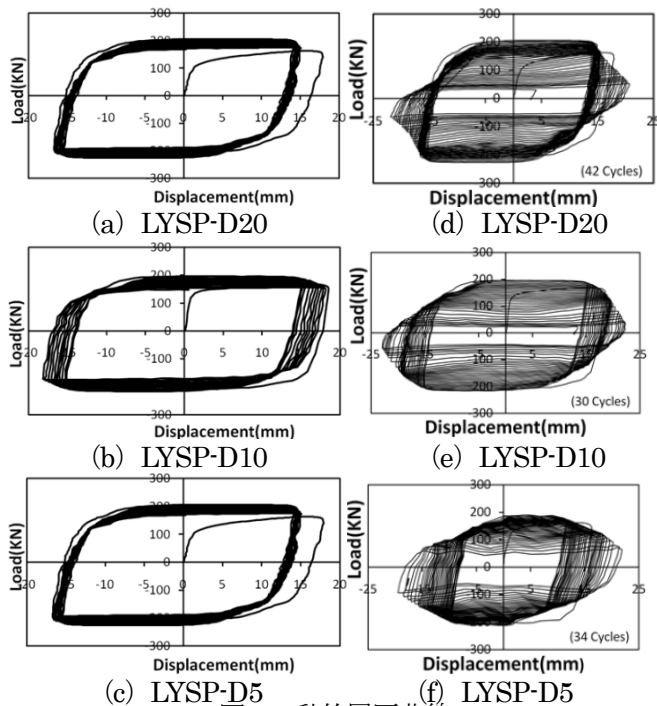


図-3 動的履歴曲線

### 3.3 11 サイクル以後のダンパーの動的性能

11 サイクル以後、繰り返し回数を増加させるにつれて、抵抗力は徐々に低下し、30 から 40 までのサイクル回数の中で試験体は破壊した。11 サイクル以降では、高速繰返しによって発生した内部摩擦熱が累積し、高温となった。これによりダンパーの材質の軟化を引き起し、座屈が発生やすくなった。試験体の破損終局状態を図-4 に示す。同図から、高温区域は長方形となり、この中左右に二つの半波せん断座屈モードが現れ、X 字型のクラックが生じた。最も遅い速度の試験体 LYSP-20 の座屈モードは図-4 (a) に見られるように他の 2 体の高速荷重の試験体の破壊モードと異なっている。

これらの現象は静的繰返し荷重試験で観測されず、発熱による座屈モードの変化は興味深い現象である。大

地震の主要動が 10 回以上 15~20 回程度続く場合、あるいは、応答変位が大きいときや速度が大きいとき、せん断パネルダンパーの動的な履歴特性は静的な特性と異なることに注意が必要である。

### 4. 結論

本研究はせん断パネルダンパーを高速繰返し荷重で実験を行い、耐震性能を調べたものである。周期は 0.5 から 2.0 秒までの 3 種類変えた正弦波を与えた。

1)動的荷重試験の荷重—変位履歴曲線から、11 サイクルまでは(せん断ひずみ 12%) ほぼ一定形状の長方形であり、この履歴曲線から速度依存性はないと思われる。11 サイクル以降は、せん断座屈による面外変形の繰返しにより、水平抵抗力は低下した。

2)せん断パネルダンパーに高速繰返し荷重を与えた場合、パネルは内部摩擦により、温度が急上昇する。パネルの発熱現象は、静的試験では見られない現象である。高温域はパネル中央部より徐々に上下に広がった。

3)温度上昇に伴って、ダンパー材料軟化現象が生じ、座屈がやすくなったと思われる、高速荷重実験と静的実験の座屈破壊モードは異なる。

### 参考文献

- 1)Aoki, T., Liu, Y., Takaku, T., Ueno, M & Fukumoto, Y. 2007. Experimental investigation of tapered shear-type seismic devices for bridge bearings. *Proc. 8<sup>th</sup> Pacific Structural Steel Conference (PSSC), New Zealand, March 2007*, 111-117.
- 2)Aoki, T., Liu, Y., Takaku, T. & Fukumoto, Y. 2008. Development of hysteretic shear damper for seismic steel bridge. *Proc. 5<sup>th</sup> EUROSTEEL, Graz, Austria, September 2008*.
- 3)Dusicka, T., Itani, A.M. & Buckle, I.G. 2007. Cyclic response of plate steels under large inelastic strains. *Journal of Constructional Steel Research* 63:156-164.
- 4)Nakashima, M. 1995. Strain-hardening behavior of shear panels made of low-yield steel. I: Test. *Journal of Structural Engineering, ASCE* 121, 1995.12: 1742-1749.
- 5)Saeki, E., Sugisawa, M., Yamaguchi, T. & Wada, A. 1998. Mechanical properties of low yield point steels. *Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE* 10, 3: 143-152

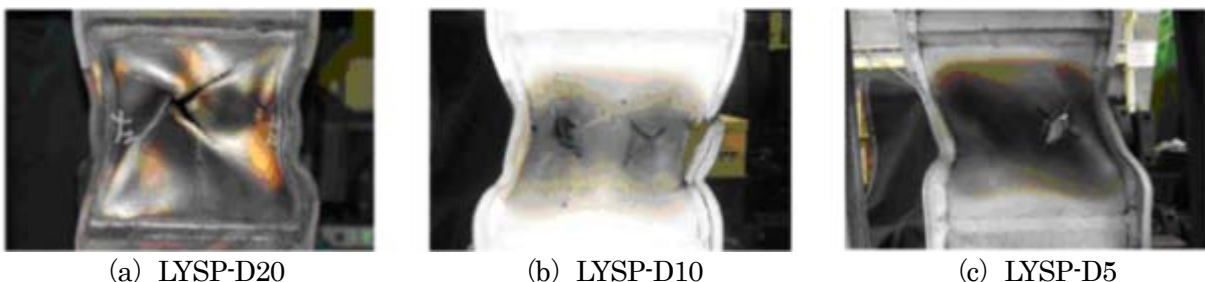


図-4 試験体の破損モード