

高性能極軟鋼せん断型ダンパーの静的および動的低サイクル疲労実験

愛知工業大学 学生会員 ○山下友樹 愛知工業大学 学生会員 張 超鋒
 愛知工業大学 学生会員 森田慎也 愛知工業大学 正会員 青木徹彦

1. 序論

1995年兵庫県南部地震以降、免震ゴム支承が汎用化されてきたが、重量トラックによる交通振動の発生や、それに伴う上部工付属物としての照明柱、標識柱の基部の疲労破壊が新たな問題として生じてきた。それに代わり、経済的な極軟鋼せん断パネルダンパーの利用が考えられる。著者らは、最近、パネル隅角部に溶接接点を設けないことなどの改善を行い、静的漸増繰返し実験により最大平均せん断ひずみ(最大変位とパネル部高さ比)70%に達するものを開発した。

極軟鋼せん断パネルダンパーを橋梁の支承部に設置する場合、地震時の変形により累積損傷による起因するダンパーのエネルギー吸収能力の低下を耐震設計時に考慮する必要がある。

本研究では、高変形能力を有する極軟鋼せん断パネルダンパーを用い、低サイクル疲労寿命に着目し、静的および動的一定ひずみ振幅繰返し載荷実験を行い、大変形、高ひずみ速度で載荷されたダンパーの疲労特性を実験的に明らかにする。

2. 実験計画

2.1 実験供試体

供試体のせん断パネルの材質はLYP100で、パネルの中央を谷型に削り、左右にリブを溶接した。パネル左右には図-1に示すように平行移動できるリンクを設置している。

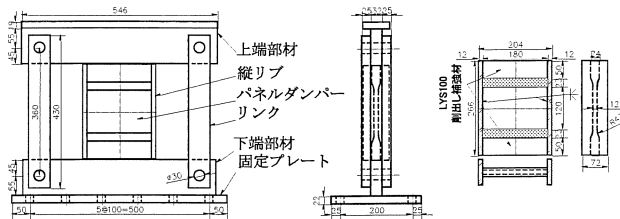


図-1 パネルダンパー供試体の構造

2.2 載荷方法

静的実験では平均せん断ひずみ速度 $\dot{\gamma}_v$ を極めて低速である0.4%/secとし、正負側にそれぞれ20%、30%、40%、及び50%のせん断ひずみ振幅を与える。これらの供試体名はSTとし、そのあとに振幅の数字を付ける。動的実験では、静的実験と同じ、20%~50%の4種類のひずみ振幅を与え、それぞれに載荷振動数0.5Hz(周期2秒)および1.0Hz(周期1秒)の2種類の動的載荷を行う。これらの供試体をD05とD10とし、そのあとに振幅の数字を付ける。

3. 実験結果とその考察

3.1 荷重-せん断ひずみ履歴曲線

静的および動的実験で荷重-せん断ひずみ曲線の一例を図-2に示す。静的実験では、いずれも荷重のかけ始めの半サイクルで、荷重が徐々に増加し、その後のサイクルではほぼ一定の荷重値を保っている。静的実験は動的実験に比べ、荷重の除下および再載荷の過程で直線に傾きが見られ、若干菱形となっているが、動的実験はほぼ矩形を成している。

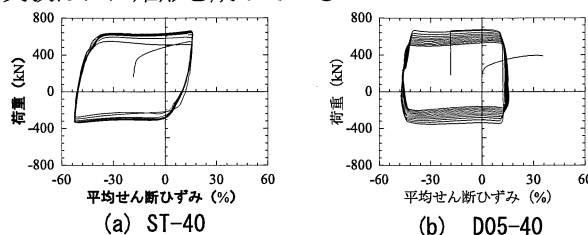


図-2 荷重-せん断履歴曲線

3.2 ピーク荷重履歴曲線

静的および動的実験の各サイクルでの最大荷重をピーク荷重と呼ぶことにする。ピーク荷重の変化の様子を図-3に示す。同図から静的載荷では、繰返し回数が增加しても荷重は一定を保っているのに対し、動的載荷では急速に低下している。この原因はパネルが摩擦により発熱し、剛性が低下したためと思われる。また始めの2、3サイクルで達する最大値は動的実験の方が約20%大きかった。図-3の動的実験の荷重の低下の傾き、すなわち荷重低下速度 F_v (kN/sec)と平均せん断ひずみ速度 $\dot{\gamma}_v$ との関係を求め、図示すると図-4のようになる。同図から動的実験における荷重の低下率 F_v は、平均せん断ひずみ速度 $\dot{\gamma}_v$ と直線的関係にある。

3.2 低サイクル疲労特性

静的および動的繰返し載荷実験において、ここでは最大荷重の70%まで荷重低下した時の繰返し回数 N_{70} を疲労破壊の回数と定義する。各実験で得られた繰返し回数 N_{70} を表-1に示す。疲労曲線を図-5に示す。各実験点に対してManson-Coffin則による近似式と各実験点がよく一致している。同一せん断ひずみ振幅を与えた場合、載荷速度が大きいものほど、疲労サイクル数は低下している。

3.3 累積塑性せん断ひずみ量

各供試体の荷重-せん断ひずみ履歴曲線から、累積塑性せん断ひずみを求め、せん断ひずみ振幅との関係を調べると図-6のようになる。静的実験では指数関数的に減少しているのに対し、動的実験ではほぼ直線的に低下し

キーワード せん断型ダンパー、極低降伏点鋼、免震支承、低サイクル実験

連絡先: 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八草1247 TEL: 0565-48-8121, FAX: 0565-48-0030

ていることがわかる。本せん断パネルの疲労損傷度の限界値は累積せん断ひずみで約 1800%と見なされる。

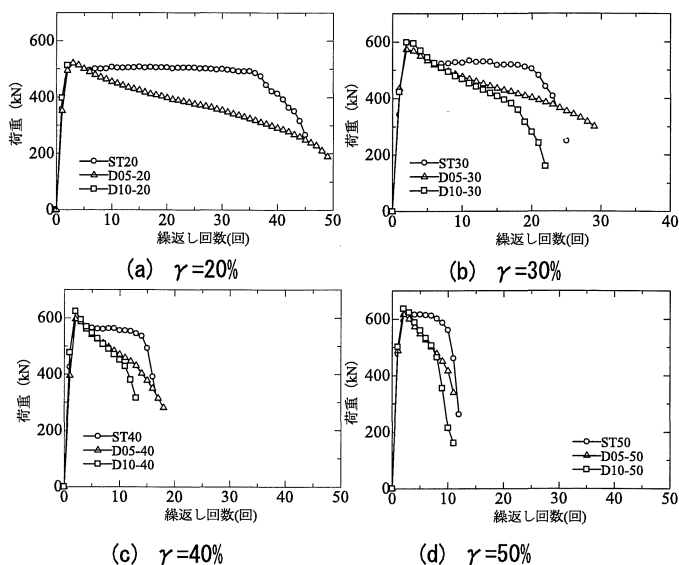


図-3 ピーク荷重履歴曲線

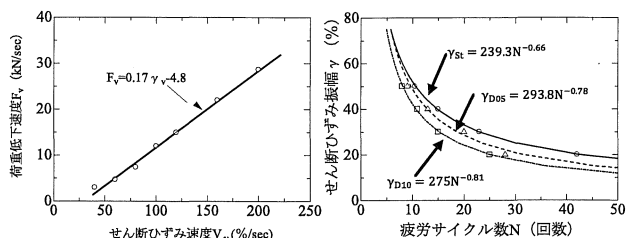


図-4 せん断ひずみ速度と荷重低下速度の関係

図-5 疲労曲線

表-1 繰返し回数 N_{70}

供試体名	N_{70}	供試体名	N_{70}	供試体名	N_{70}
ST20	42	D05-20	28	D10-20	25
ST30	23	D05-30	20	D10-30	15
ST40	15	D05-40	13	D10-40	11
ST50	10.5	D05-50	9	D10-50	8

3.4 累積エネルギー吸収量

荷重実験によって得られた荷重-せん断ひずみ履歴曲線からエネルギー吸収量 ΣE を求め、せん断ひずみ振幅 γ との関係を図示すると図-7 のようになった。同図から静的荷重は指数関数的に、動的荷重は直線的関係が得られた。本せん断パネルに対して、累積エネルギー吸収能力は、荷重加振周波数 $f=1.0\text{Hz}$ の値を累積エネルギー吸収量の代表値と考え、 $890\text{kN}\cdot\text{m}$ と見なす。

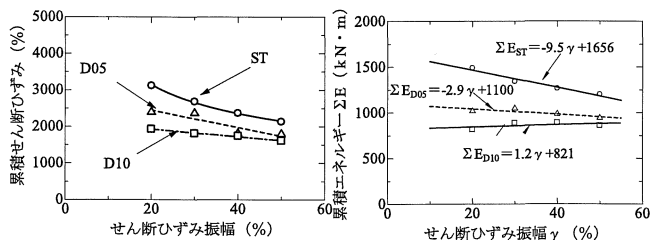


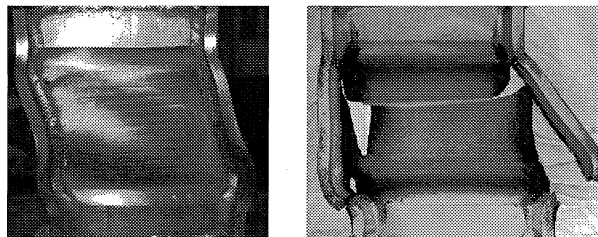
図-6 累積塑性ひずみ量

図-7 累積エネルギー吸収量

この値は、 $f=1.0\text{Hz}$ 付近では、せん断ひずみ振幅、せん断ひずみ速度に関係なく、一定値である。

3.5 破壊モード

荷重実験の破壊時付近の供試体の一例を写真-1 に示す。静的実験では、繰返し増加とともに座屈変形量が大きくなり、パネル隅角部の一つから亀裂を生じ、リブの溶接部に亀裂が広がって、荷重が低下した。動的実験では、繰返しの増加とともにパネル面全体から発熱し、パネルに横方向に赤熱した帯が現れ、その位置で横方向に破断した。以上のように破壊モードは静的と動的荷重で異なった様子を見せた。



(b) ST30 (22 サイクル) (a) D10-30 (終局)

写真-1 破壊の様子

4. 結論

本研究は高変形性能せん断パネルダンパーを用いて、変位振幅 4 種、荷重周期を 3 種変えた静的および動的繰返し実験を行い、耐震性能の変化を調べたものである。実験によって得られた結論は以下のようにまとめられる。

- 1) 荷重-せん断ひずみ履歴曲線の各サイクルのピーク荷重は、静的実験は一定値を保ったのに対し、動的実験では繰返しとともに直線的に低下した。これはパネルが摩擦により発熱し、剛性が徐々に低下したためと思われる。また最初の 2, 3 サイクルで達する最大値は動的実験の方が約 20%大きかった。
- 2) 動的実験時の荷重低下速度は、せん断ひずみ速度 γ_v ($\%/sec$) に比例する関係がみられた。せん断ひずみ速度が大きいほど、発熱量が大きく材料が軟化するためと思われる。
- 3) 静的および動的実験においてせん断ひずみ振幅と繰返し回数との間に Manson-Coffin 則の関係が得られた。また荷重速度が大きくなると、同一疲労サイクル数を得るための、せん断ひずみ振幅 γ は小さくなった。
- 4) 本せん断パネルの疲労損傷度の限界値は累積せん断ひずみで約 1800%と見なされる。

参考文献

- 1) 劉陽, 青木徹彦, 高久達将, 福本昤士: 低降伏点鋼せん断パネルダンパーの繰返し荷重実験, 土木学会構造工学論文集, Vol. 53A, 2007 年 3 月
- 2) 劉陽: 高性能せん断型パネルダンパーの開発と橋梁への適用に関する研究, 愛知工業大学 博士論文, 2008. 2