

せん断パネル型ダンパー（SPD）の正負交番繰返し載荷試験

橋梁用デバイス研究会 正会員 ○谷中 聡久， 正会員 小池 洋平
名城大学 フェロー 宇佐美 勉，名古屋大学 正会員 葛 漢彬

1. はじめに

近年，橋梁の耐震性能向上策として期待される制震構造は，エネルギー吸収機能をもつダンパーを橋梁の二次部材に設置し，主構造の損傷低減を図る構造である．その中でも鋼材の弾塑性変形履歴を利用した履歴型ダンパーは，最近橋梁への適用が盛んに研究されている．筆者らは，せん断降伏型のせん断パネル型ダンパー（以下，SPD という）に着目し，アーチ橋およびトラス橋の二次部材や，橋梁支承部への適用について研究を進めている^{1), 2)}．

これまでの研究から，履歴型ダンパーは繰返し作用する塑性変形に対して安定した挙動を示すためには，低サイクル疲労耐久性が特に重要であり，SPD の場合は部材溶接部の疲労損傷やせん断パネルのせん断座屈を早期に生じると，安定した挙動を示せないことがわかった．一方，SPD を大型構造物へ適用する場合や，エネルギー吸収機能の向上を目的に変形量を大きくする場合には，せん断パネルサイズを大きくする必要がある．この場合，せん断パネル幅厚比も大きくなりパネルを補剛する必要がある．本研究では補剛した SPD を対象に性能試験を実施し，低サイクル疲労耐久性について検討を行った．

2. 試験概要

試験目的は，SPD の目標終局せん断ひずみ $\gamma_u=0.12$ ¹⁾を振幅とする繰返し載荷を行い，低サイクル疲労耐久性の目標性能である累積塑性変形の限界値 $CID_{lim}=2.8$ ¹⁾を有しているか，さらに載荷中に補剛材の挙動を確認することである．

試験装置の概要を図-1 に，試験体を図-2 に示す．試験体は試験床に架台を介して固定し，反力壁に設置した油圧ジャッキを用いて載荷を行った．載荷はジャッキの先端に取り付けた載荷フレームで試験体の上端を「ロ」の字型に囲み，水平方向に強制変位を与えた．なお，載荷フレームにはローラーを取り付けてガイドフレームで取り囲むことで，載荷フレームがジャッキの可動方向のみに変位する構造とした．

載荷は変位制御として，せん断ひずみ（せん断パネル水平変位／せん断パネル高さ） $\pm 0.02, \pm 0.04, \pm 0.06, \pm 0.08, \pm 0.10$ で漸増載荷の後， ± 0.12 で目標累積塑性変形に達するまで一定振幅で繰返し載荷した．計測項目は，載荷荷重，せん断パネル水平変位とし，載荷中に各項目を動的に計測した．

試験体は，図-2 に示したように I 断面で下端にベースプレート，上側には載荷点リブを有する片持ち構造である．せん断パネルの補剛材は両面配置を基本とし，補剛材端部の構造詳細は，先行して実施した試験結果を考慮し，表-1 に示す 3 種類の構造とした．

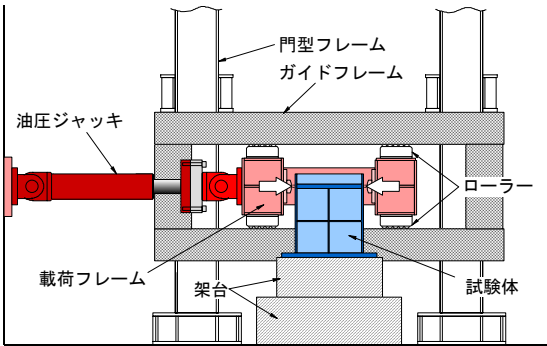


図-1 試験装置の概要

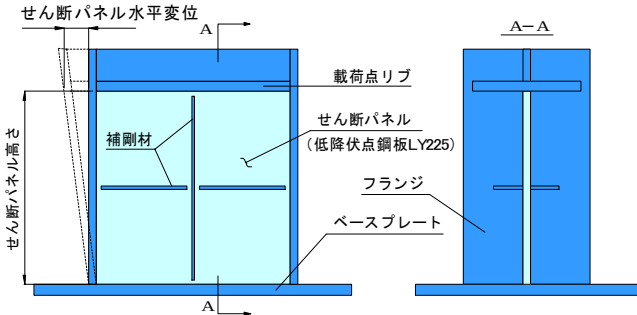


図-2 SPD 試験体

表-1 試験体補剛材端部の構造詳細

構造タイプ 1	構造タイプ 2	構造タイプ 3
フランジと補剛材の隙間15mm (他の隙間も同様)	フランジと補剛材の隙間30mm (ただし，補剛材間の隙間は15mm)	フランジと補剛材を溶接 (他の部位も溶接)

キーワード：せん断パネル型ダンパー，低サイクル疲労，せん断座屈，累積塑性変形
連絡先：〒273-0026 千葉県船橋市山野町 27 番地 (株)横河ブリッジ TEL 047-435-6161

表－2 試験ケース

試験ケース		せん断パネル (mm×mm)	サブパネルの 幅厚比パラメータ R_w (設計値)	補剛材段数	補剛材断面 (mm×mm)	推測される終局状態	着目点
構造タイプ1	SPD-0.20-2A	□610×9	0.20	2段(※1)	80×9	低サイクル疲労	サブパネル幅厚比パラメータの影響 補剛材本数の影響 SPD-0.20-1は補剛材端部構造の影響も兼ねる
	SPD-0.20-2	□610×9	0.20	2段	59×9	低サイクル疲労	
	SPD-0.30-1	□610×9	0.30	1段	72×9	せん断座屈	
	SPD-0.25-0	□400×14	0.25	無し	—	せん断座屈	
	SPD-0.125-1	□400×14	0.125	1段	82×14	低サイクル疲労	
構造タイプ3	SPD-0.20-1	□500×11	0.20	1段	77×11	低サイクル疲労	補剛材端部構造の影響
構造タイプ2	SPD-0.20-2B	□610×9	0.20	2段	59×9	低サイクル疲労	
	SPD-0.20-2C	□610×9	0.20	2段(※2)	59×9	低サイクル疲労	

※1 補剛材を片面に配置

※2 補剛材を片面で表裏に配置(垂直補剛材と水平補剛材を異なる面に配置)

3. 試験ケース

試験ケースは表－2 に示すように、サブパネルのせん断幅厚比パラメータ R_w 、補剛材段数、補剛材端部構造をパラメータとした全8ケースである。 R_w の設定にあたっては、これまでの研究結果²⁾を参考に終局状態が溶接部の低サイクル疲労あるいはせん断パネルの座屈となるように設定した。試験ケース名は【SPD】－【サブパネルの R_w 】－【補剛材段数】とした。

4. 試験結果

各ケースの繰返し回数、累積塑性変形の一覧を表－3 に示す。表中の繰返し回数は、±0.12 振幅 1 回目の载荷に対し、せん断耐力が 90%に低下した段階の回数(N_{90})とした。また、累積塑性変形(CID)は、 N_{90} となるまでの塑性変形(ひずみ)を累積することにより算出できる。

表－2 より $R_w > 0.20$ である試験体 SPD-0.30-1, SPD-0.25-0 については、サブパネルのせん断座屈(写真－1)、他のモデルは補剛材溶接部の低サイクル疲労亀裂(写真－2)が発生し、表－2 で推測したとおりの終局状態となった。低サイクル疲労により終局状態に至ったケースでは、補剛材端部の回し溶接部から亀裂が発生し、せん断パネルを貫通・進展することにより耐力が低下した。その中でも SPD-0.20-2A が繰返し回数 9 回となったのは、補剛材を片面配置としたため亀裂はせん断パネルの片面からのみ発生し、せん断パネルを貫通するのが遅れたためである。補剛した全てのケースで N_{90} となるまでの繰返し载荷の間、補剛材は局部座屈や大きな曲げ変形をすることもなくせん断パネルと一体となり挙動していた。

また、累積塑性変形は 3.53～6.37 と全ケースの最大と最小で 2 倍程度のばらつきがあるものの、目標累積塑性変形 2.8 を全て満たした結果であり、橋梁に適用するにあたり十分な低サイクル疲労耐久性を有していることがわかった。

5. まとめ

補剛した SPD の低サイクル疲労耐久性について検討を行った。その結果、補剛材を設置することによりせん断パネル全体での座屈を防止し、载荷の最終段階まで補剛材の性能を保持していた。また、適切な補剛を行えば SPD として必要な低サイクル疲労耐久性を有していることが明らかとなった。

なお、本試験は名城大学、名古屋大学および橋梁用デバイス研究会((株)横河ブリッジ、高田機工(株)、川口金属工業(株))の共同研究で実施したものである。

【参考文献】 1) 宇佐美：高機能制震ダンパーの開発研究，第10回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，2007.2，2) 谷中ら：低降伏点鋼板を用いたせん断パネル型制震ストッパー その2 正負交番繰り返し載荷試験，第61回年次学術講演会講演概要集，2006.9

表－3 試験結果一覧

試験ケース	繰返し回数 (回)	累積塑性 変形
SPD-0.20-2A	9	5.43
SPD-0.20-2	5	3.53
SPD-0.30-1	5	3.53
SPD-0.25-0	11	6.37
SPD-0.125-1	7	4.48
SPD-0.20-1	7	4.48
SPD-0.20-2B	5	3.53
SPD-0.20-2C	6	4.01



写真－1 SPD-0.30-1 の終局状態



写真－2 SPD-0.20-2 の終局状態