

低降伏点鋼を用いたせん断型制震パネルの性能確認実験

流田寛之¹・濱田信彦²・小林寛³・西岡勉⁴

¹正会員 工修 阪神高速道路株式会社 大阪管理部（〒552-0006大阪市港区石田3-1-25）

²正会員 工博 阪神高速道路株式会社 大阪管理部（〒552-0006大阪市港区石田3-1-25）

³正会員 阪神高速道路株式会社 大阪管理部（〒552-0006大阪市港区石田3-1-25）

⁴正会員 工博 阪神高速道路株式会社 技術部（〒541-0056大阪市中央区久太郎町4-1-3）

1. はじめに

既設の長大橋では、レベル2地震動により大きな地震力が作用し、支承や橋脚の応答値が部材の許容耐力以上となる場合が多い。このため、部材の耐力補強のみならず、免震・制震装置を用いて地震力を低減させる耐震補強対策が必要となる。

阪神高速湾岸線の長大橋でも耐震補強対策として免震・制震設計による地震力の低減対策を計画している。その1つとして、鋼製のせん断型制震パネル（以下「せん断パネル」という。）を支承部において変位制限構造として適用した免震・制震装置（図-1、以下「支承部ダンパー」という。）、また、斜張橋の主塔下部斜材のガセット部に適用したものの（図-2、以下「ガセット部ダンパー」という。）がある。この装置は、鋼板のせん断変形による履歴減衰により、地震エネルギーを吸収するものであり、建築構造物では実績も多い。しかし、橋梁構造物での実績は少なく、特に橋梁用途を目標としたこの種の装置に関する研究報告書においても、せん断パネルの板厚は10～20mm程度のものが多く、阪神高速湾岸線の長大橋で計画しているような、大きな地震エネルギーの吸収性能を対象とした例はない。

よって、本稿では2種類のせん断パネル（支承部ダンパー・ガセット部ダンパー）について、変形性能・耐荷力性能・エネルギー吸収性能など実験により確認したので報告する。

2. 実験概要

2-1. 実験目的

阪神高速では、長大橋の耐震対策として、支承部ダンパーおよびガセット部ダンパーの2種類のせん断パネルの使用を計画している。そこで、実験により下記項目について性能確認・検証を行う。

(1) 支承部ダンパー

実橋では、板厚30mmを超えるせん断パネルを計画しているため、厚板での性能確認を行う。

また、パネル周辺とフランジの溶接部での低サイクル疲労破壊が懸念されることから、テーパーを付ける（下縁のみテーパー、周辺4辺テーパー）ことによる性能向上策について検討を行った。

(2) ガセット部ダンパー

ガセット部ダンパーでは、死荷重による鉛直方向の軸力が作用している。よって、軸力がせん断パネルの性能に及ぼす影響を調べる。

(3) 変形性能照査

両ダンパーともに概略設計で想定している許容せん断ひずみを満足することを確認し、累積塑性ひ

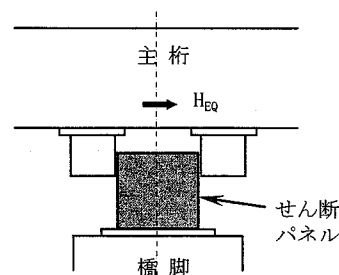


図-1 支承部ダンパー

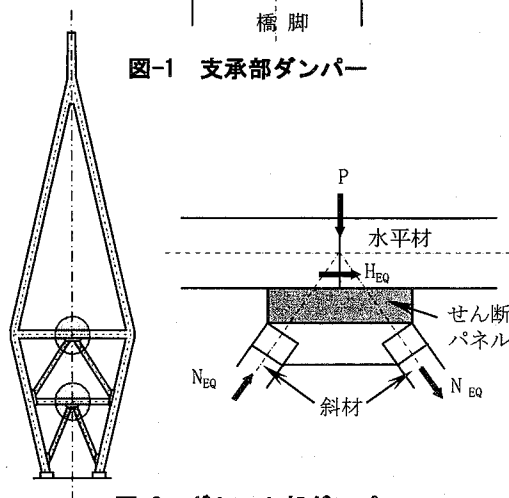


図-2 ガセット部ダンパー

ずみが許容値以下である事により変形性能を照査する。なお、許容せん断ひずみは、ガセット部ダンパーについては6%、支承部ダンパーについては10%とし、設計を実施している。許容累積塑性ひずみは、文献1)により動的解析で得られた累積塑性ひずみの3倍と設定した。なお、使用予定の橋梁での上町断層の破壊を想定したシナリオ地震動での動的解析結果(表-1)は、支承部ダンパーで累積塑性ひずみ0.904、ガセット部ダンパーで0.377が各々最大であるため、それぞれ2.71、1.13を目標の累積塑性ひずみとしている。

表-1 せん断パネル寸法表

橋梁名	せん断 π 寸法 (高さ*幅*板厚)	累積塑性 ひずみ
大和川橋梁	1500*1500*45	0.675
中島橋梁	850*850*41	0.904
平林高架橋	850*850*38	0.623
天保山大橋	7000*1700*34	0.377

2-2. 実験計画

(1) 支承部ダンパー

表-2に示す5種類の供試体について載荷実験を実施した。供試体は、幅厚比パラメータ(以下「幅厚比」という。)を実橋相当としたAシリーズ3体と厚板のBシリーズ2体である。また、溶接部での低サイクル疲労による損傷を緩和するため、Aシリーズは、下縁にテーパを付けた供試体、周囲4辺にテーパを付けた供試体を製作した。Bシリーズについても下縁にテーパを付けた供試体を製作した。載荷方法は、せん断ひずみ γ を2%ごとに1回繰返し載荷し、Aシリーズでは $\gamma=12\%$ で、Bシリーズでは $\gamma=10\%$ で最大耐力超過後90%以下に低下するまで繰返し載荷を実施した。実験装置を図-3に、載荷方法を図-4に示す。

表-2 AB供試体緒元

	π 寸法 (高さ*幅*板厚)	R_{rw} *1	備考
A-1	409*430*12	0.30	
A-2	385*430*12(16)*2	0.29	下縁 π -
A-3	361*430*12(16)	0.27	4辺 π -
B-1	400*400*32	0.11	
B-2	336*400*32(40)	0.10	下縁 π -

*1: 幅厚比パラメータ: $R_{rw} = \frac{B}{t} \sqrt{\frac{\tau_y}{E} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k_F}}$

(B : π 板幅、 t : π 板厚、 τ_y :せん断降伏点、 E :ヤング係数、 ν :ポアソン比、 k_F :座屈係数)

*2: () 内の値はテーパ部の厚い方の板厚を示す。

(2) ガセット部ダンパー

表-3に示す3種類の供試体について載荷実験を实

施した。供試体は、幅厚比を実橋相当とし、C-1:軸力を載荷しない、C-2:死荷重相当の軸力を作用(降伏軸力比8.5%)、C-3:死+活荷重相当の軸力を作用(降伏軸力比12%)させたものの3体の供試体であり、繰返し載荷試験を行った。載荷方法は、基本的にせん断ひずみ γ を1%ごとに1回正負交番載荷し、目標値の $\gamma=6\%$ で3回繰返しを行った。実験装置を図-5に、載荷方法を図-6に示す。

表-3 C供試体緒元

	π 寸法 (高さ*幅*板厚)	R_{rw}	軸力P
C-1	200*195*8	0.21	0
C-2			240kN 死荷重相当
C-3			340kN 死+活荷重相当

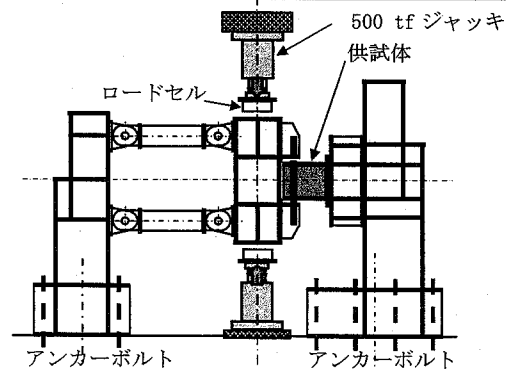


図-3 支承部実験装置

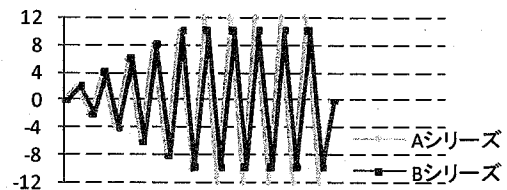


図-4 支承部載荷方法

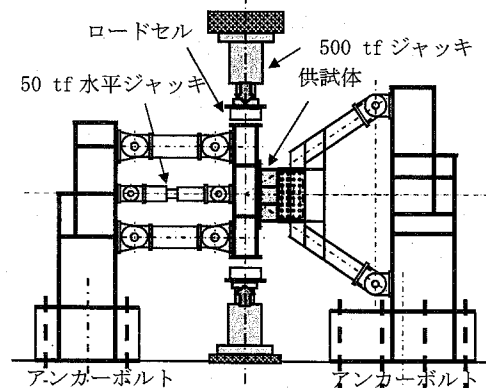


図-5 ガセット部実験装置

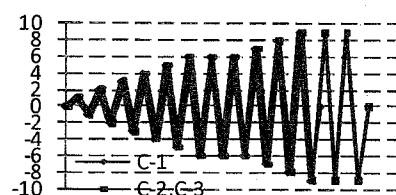


図-6 ガセット部載荷方法

3. 実験結果

3-1. 支承部ダンパー実験結果

ガセット部ダンパー供試体のせん断繰返し載荷実験による荷重-変位履歴曲線を図-7~11に示す。実験結果一覧を表-4に示す。

表-4 実験結果一覧

供試体名	最大せん断ひずみ	累積塑性ひずみ	最大荷重(kN)	繰返し載荷回数*	パネル座屈
A-1	12%	2.468	1426	4	あり
A-2		1.994	1401	3	あり
A-3		2.941	1441	5	あり
B-1	10%	5.394	4077	13	なし
B-2		5.197	4165	13	なし

*繰返し載荷回数：最大荷重超過後90%以下に低下するまでの最大せん断ひずみでの繰返し載荷回数

(1) Aシリーズ供試体

ガセット部ダンパーについても、Aシリーズ、Bシリーズともに耐力の急激な低下は認められず、安定した履歴曲線が得られている。

幅厚比を実橋相当としたAシリーズ供試体では、パネル部分と圧縮フランジで座屈が発生し、座屈による耐力の低下が見られた。また、溶接部の損傷も発生している。パネルにテーパを付けたことにより、各供試体でパネル周辺の損傷の発生位置や程度に違いが見られた。実験終了後の供試体の状況を写真-1に示す。

A-1供試体では、パネル上縁以外の3辺で亀裂が発生し、フランジ側の亀裂は貫通に至った。しかし、パネル周辺にテーパを付けたA-2供試体、A-3供試体においては、テーパを付けた辺の亀裂が未発生もしくは発生しても進展が緩和され、テーパの効

果がみられた。また、最大耐力超過後90%以下に低下した時点を終局とし、繰返し載荷実験を終了しているが、周辺4辺にテーパを付けたA-3供試体が繰返し回数についても最大となり、累積塑性ひずみも最大となった。

目標とした累積塑性ひずみ2.71は、4辺テーパをつけたA-3供試体のみ満足する結果となった。しかし、表-1より中島川橋梁以外の橋梁での所要累積塑性ひずみは2前後でありテーパをつけないA-1供試体でも満足している。

(2) Bシリーズ供試体

板厚を実橋相当としたBシリーズ供試体では、幅厚比が0.1程度と非常に小さいため座屈は全く発生せず、溶接部の亀裂進展により緩やかに耐力は低下した。

実験終了後の供試体の状況を写真-2に示す。溶接部の損傷は、荷重載荷点での亀裂が顕著であり、パネルの周辺に表面亀裂が発生したが、亀裂の貫通はなかった。パネルにテーパを付けたことによる亀裂の状況に、大きな差異は認められなかった。

終局までの繰返し載荷回数については、Aシリーズと比較して、2~3倍程度の回数となり、累積塑性ひずみも大きなものとなった。厚板のせん断パネル

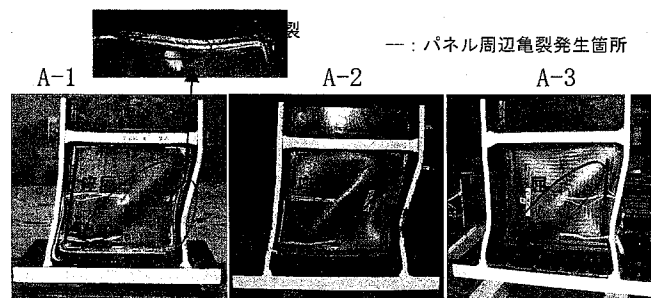


写真-1 Aシリーズ供試体実験終了後状況

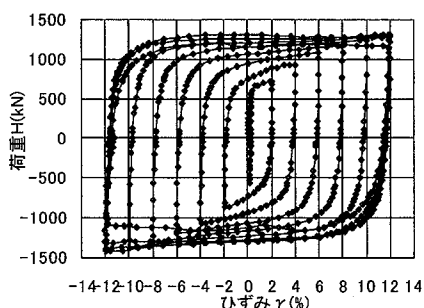


図-7 A-1履歴曲線

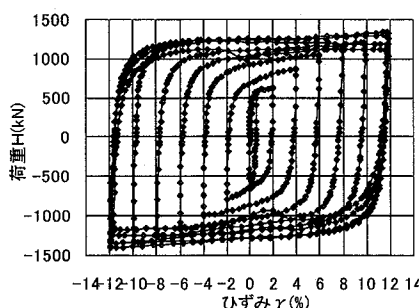


図-8 A-2履歴曲線

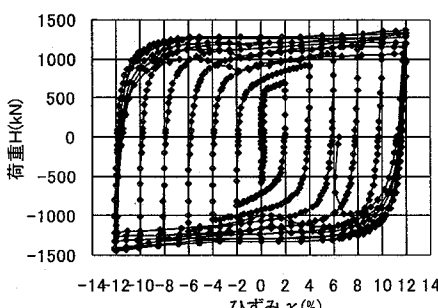


図-9 A-3履歴曲線

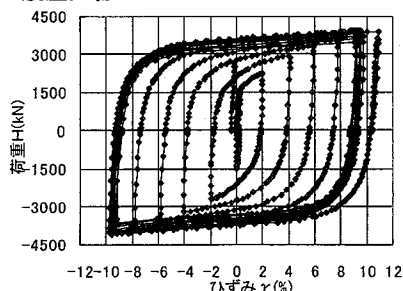


図-10 B-1履歴曲線

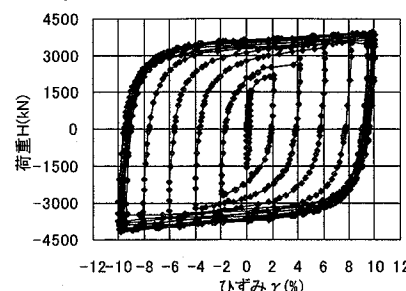


図-11 B-2履歴曲線

B-1 ー：パネル周辺亀裂発生箇所 B-2

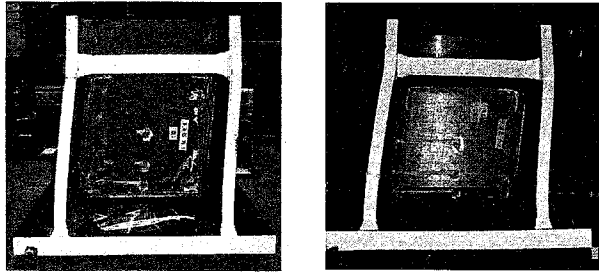


写真-2 Bシリーズ供試体実験後状況

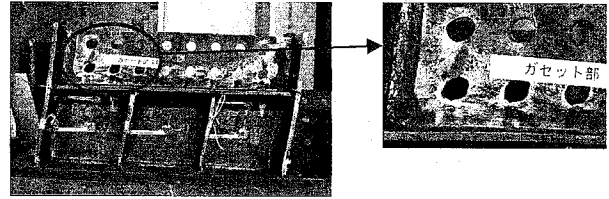


写真-3 C-1 供試体実験後状況

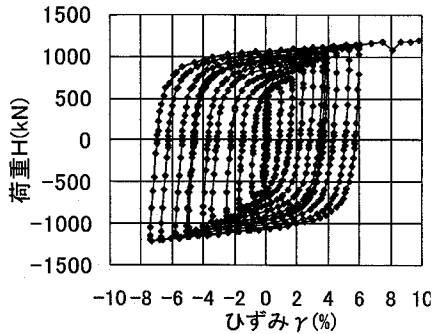


図-12 C-1 履歴曲線

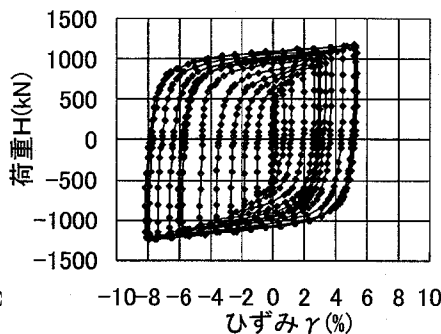


図-13 C-2 履歴曲線

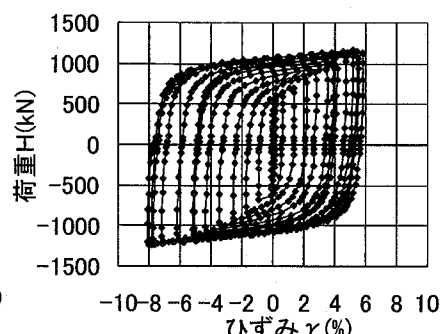


図-14 C-3 履歴曲線

についても、設計目標としているせん断ひずみ、累積塑性ひずみをみたしており、溶接部の低サイクル疲労も設計目標の数値程度であれば問題ないことが分かった。

3-2. ガセット部ダンパー実験結果

ガセット部ダンパー供試体のせん断繰返し載荷実験による荷重-変位履歴曲線を図-12～14に示す。実験結果一覧を表-5に示す。

表-5 実験結果一覧

供試体名	最大せん断ひずみ	累積塑性ひずみ	パネル座屈
C-1	9%	1.745	なし
C-2		2.064	なし
C-3		2.064	なし

実験治具の変形を含めて計測してしまったため、履歴曲線では少し片側にひずみが偏っているが、すべて紡錘形の安定した履歴曲線が得られていることが分かる。軸力の影響はほとんど見られず、軸力を載荷したC-2、C-3供試体についても、設計目標としているせん断ひずみ6%、累積塑性ひずみ1.13を満足する結果となった。

実験終了後のC-1供試体の状況を写真-3に示す。供試体の損傷状況としては、すべての供試体においてパネルのせん断座屈やパネル周辺の低サイクル疲労による亀裂ともにみられず、継手ボルト部におけるズレ量が大きくなったため実験終了とした。

4. まとめ

以上、支承部2種類、ガセット部1種類のせん断パネルの実験を実施した結果を以下に示す。

- ・ ガセット部ダンパーではせん断ひずみ6%、支

承部ダンパーでせん断ひずみ10%の使用を計画しているが、性能の確認を行うことができた。

- ・ パネルにテーパを付けることで、テーパ部の耐久性が向上し、パネルの変形性能が高くなる。
- ・ 幅厚比が小さくなるにつれて、損傷モードが座屈から亀裂に変化する。幅厚比0.1程度になると座屈は全く発生しない。
- ・ 厚板のせん断パネルについても、溶接部の疲労耐久性などに問題はなく、性能は変わらず発揮することを確認した。
- ・ 軸力比12%程度の軸力載荷では、せん断ひずみ9%でも、せん断パネルの性能に悪影響は与えない。
- ・ 今回の実験でせん断パネルの性能を低下させる主な要因は、幅厚比0.3ではパネルの座屈であり、幅厚比0.1では溶接部の亀裂であり、後者の方が変形性能が高い結果となった。高い性能をもつパネルとするためには、大きな塑性域でもパネルの座屈を発生させない幅厚比とするのが良いが、幅厚比0.1では実橋での設計が困難なため、幅厚比0.2の実験も今後実施していく予定である。

謝辞

本実験の実施にあたり「せん断パネル性能確認検討委員会（委員長：家村浩和京都大学大学院教授）」から有益かつ貴重なご意見をいただいた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン：社団法人日本鋼構造協会、2006.9