

長大橋耐震対策に用いるせん断型制震パネルの性能確認実験

間嶋信博¹・小林寛²・流田寛之³

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 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 工修 阪神高速道路株式会社 計画部（〒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を大幅に超過する場合が多い。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。

阪神高速では長大橋の耐震対策として免震・制震設計による地震力の低減を計画している。そのデバイスの一つとして、低降伏点鋼を用いたせん断型制震パネルがある。この装置は、低降伏点鋼で構成されたパネル部分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、LY225 材を用いた性能確認実験を行い、報告した¹⁾。

本稿では、既報告の実験（以下「前回実験」という）に加えて、荷重の荷重方法の違いによる履歴曲線および累積塑性ひずみへの影響、せん断パネルの材質・寸法による性能の変化に着目した性能確認実験を行ったので、その結果を報告する。

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、斜張橋主塔のガセット部および下路アーチ橋等の支承部にせん断型制震パネルの使用を計画している。今回の実験では支承部ダンパー（図-1）について、下記の項目に着目した性能確認を行う。

(1) 荷重の荷重方法の違いによる履歴曲線および損傷状況への影響

前回実験では疲労の影響を考慮してせん断ひずみ

で2%ずつ変位を漸増させながら荷重した（図-2）。

今回更に内陸直下型地震を想定した最大変位に一挙に達する荷重パターン（図-3）を追加し、せん断パネルの履歴曲線および供試体の損傷パターンへの影響を調査した。

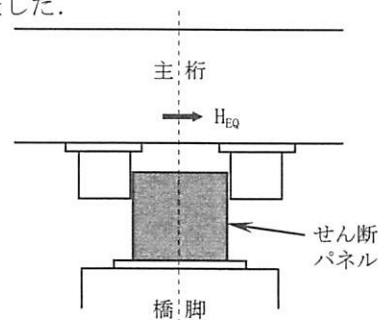


図-1 支承部せん断パネル

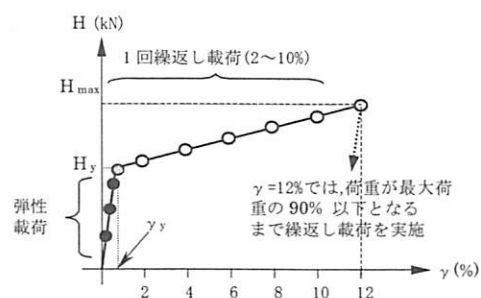


図-2 荷重荷重方法1

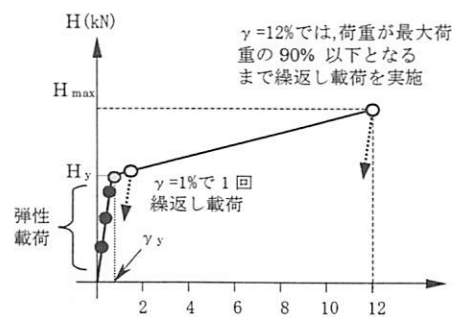


図-3 荷重荷重方法2

(2) せん断パネルへのSN材の適用性

前回実験では強度の低いLY225材のパネルを用いたが、長大橋での使用では大きな耐力が要求される場合も考えられることから、LY材と似た性質を持ち、強度の高い建築用SN材をせん断パネルに用いた、高強度型せん断パネルの性能確認実験を行った。

(3) せん断パネルの諸元による損傷状況の変化

前回実験によると、幅厚比パラメータにより損傷パターンが異なることが明らかとなった。幅厚比パラメータ0.3の供試体ではパネルの座屈が生じ、幅厚比0.1では溶接部の亀裂が生じたが、後者の方が変形性能が高い結果となった。高い性能を持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望ましいが、幅厚比パラメータ0.1では実橋での設計が困難なため、今回は幅厚比パラメータ0.2となるよう寸法を設定し実験を行った。

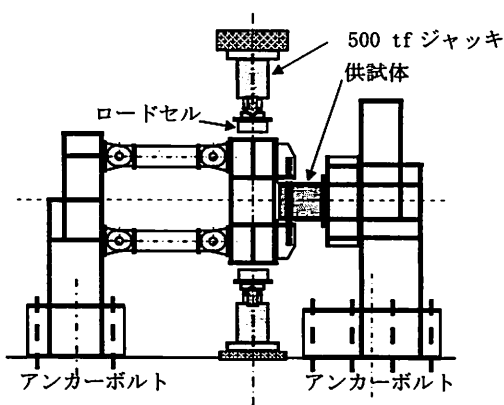


図-4 実験装置

表-1 供試体諸元

供試体	パネル寸法 (高さ*幅*板厚)	材質	R_{nw} *1	荷重 方法
A-4	361*430*12(16)*2	LY225	0.27	2
D-1	409*400*16		0.21	1
E-1	409*400*19	SN400	0.21	1
E-2	409*400*19		0.21	2
F-1	400*400*22	SN490	0.19	1

2-2. 実験計画

表-1に示す5種類の供試体について荷重実験を実施した。荷重荷重方法1は、せん断ひずみ γ を2%ごと ($\gamma=2\%, 4\%, 6\%, \dots$) に1回ずつ繰り返し荷重し、 $\gamma=12\%$ (供試体F-1は $\gamma=10\%$) では最大耐力超過後90%以下に耐力が低下するまで繰り返し荷重を実施し、その状態を終局状態とした。荷重荷重方法2は、 $\gamma=1\%$ で1回ずつの繰り返し荷重の後、 $\gamma=12\%$ で最大耐力超過後90%以下に耐力が低下するまで繰り返し荷重を実施した。

なお、性能確認項目は安定した履歴曲線が得られること、想定している許容せん断ひずみ10%、目標累積塑性ひずみ2.71 (既設長大橋での動的解析で得られた累積塑性ひずみの最大値0.904の3倍) を満足していることである。図-4に実験装置を示す。

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

(B :ウェブ板幅、 t :ウェブ板厚、 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方の厚いの板厚を示す。

3. 実験結果

供試体のせん断繰り返し荷重実験による荷重-ひずみ履歴曲線を図-5～9に示す。また、前回実験も含めた実験結果一覧を表-2に示す。

(1) D-1供試体

幅厚比パラメータを0.2とし、LY225を用いた供試体D-1では、せん断パネルにせん断座屈が発生 (繰り返し回数8回目) した (写真-1)。その後、パネ

表-2 実験結果一覧

供試体	材質	板厚 (mm)	幅厚比 パラメータ R_{nw}	最大せん 断ひずみ	累積塑性 ひずみ	最大荷重 (kN)	繰返し 荷重回数	パネル 座屈	備考
A-1 (H18)	LY225	12	0.30	12%	2.47	1426	4	あり	
A-2 (H18)		12	0.29		1.99	1401	3	あり	テーパ-1辺
A-3 (H18)		12	0.27		2.94	1441	5	あり	テーパ-4辺
A-4 (H19)		12	0.27		2.05	1437	5	あり	テーパ-2辺
B-1 (H18)		32	0.11	10%	5.39	4077	13	なし	
B-2 (H18)		32	0.10		5.20	4165	13	なし	テーパ-1辺
D-1 (H19)	SN400	16	0.21	12%	5.07	1782	9	あり	
E-1 (H19)		19	0.21		3.89	3112	6	なし	
E-2 (H19)		19	0.21		3.70	3064	8	なし	
F-1 (H19)	SN490	22	0.19	10%	3.23	4387	7	なし	

※着色部は今回実験

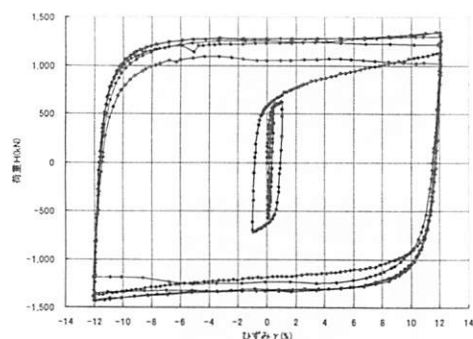


図-5 A-4履歴曲線

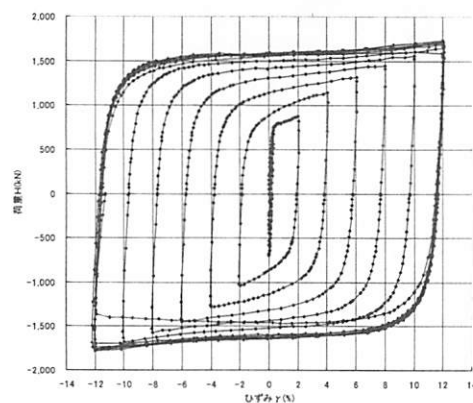


図-6 D-1履歴曲線

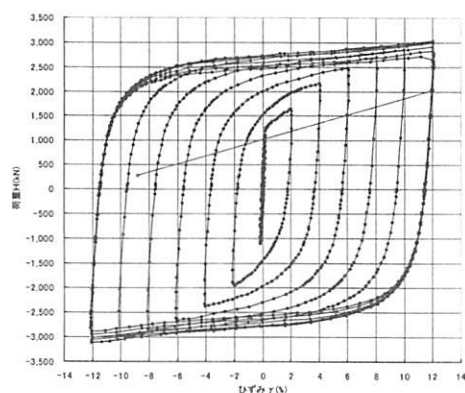


図-7 E-1履歴曲線

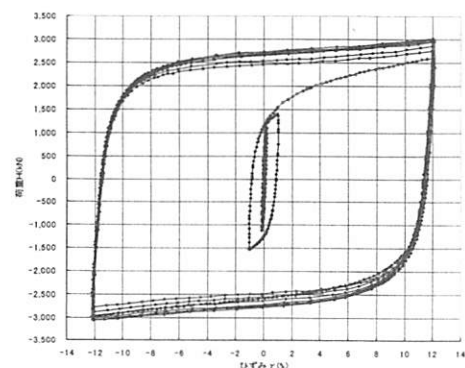


図-8 E-2履歴曲線

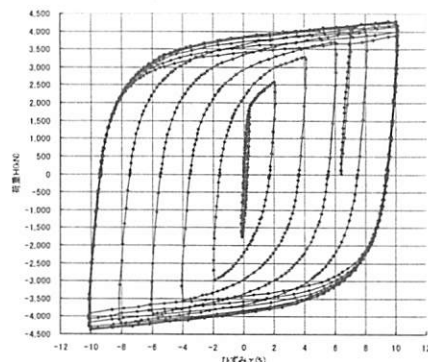


図-9 F-1履歴曲線

ルとフランジとの溶接止端部において貫通亀裂が発生し（繰り返し回数9回目）、載荷荷重が急速に低下した。

この損傷パターンは前回実験の供試体A-1, A-2およびA-3（幅厚比パラメータ0.3程度）でも同様であった。しかし、今回の供試体D-1（幅厚比パラメータ0.21）のせん断座屈発生は繰り返し回数8回目のときであったのに対し、供試体A-1～A-3は2～4回目であった。幅厚比パラメータ0.2としたD-1供試体の方が高い変形性能が得られることが明らかとなった。

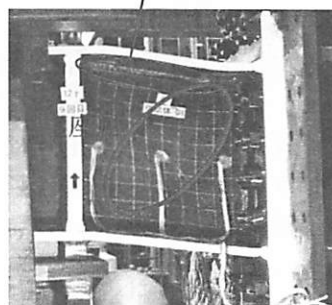


写真-1 D-1供試体実験終了後

(2)E-1, E-2, F-1供試体

SN材を用いた供試体E-1, E-2（SN400B）および供試体F-1（SN490B）では、せん断パネルの座屈は発生せず、急激な耐力低下もなく安定した履歴を描いており、目標とした累積塑性ひずみも満足した。

しかし、LY材を用いた供試体ではせん断パネルのせん断座屈やパネルとフランジとの溶接止端部での貫通亀裂発生により終局に至ったのに対し、SN材を用いた供試体ではフランジとベースプレートとの溶接部で亀裂が発生し、損傷パターンに大きな違いが認められた。

中でも、SN400材を用い、荷重載荷方法1を適用した供試体E-1では、荷重載荷点での亀裂がフランジ全幅を貫通したことにより、パネルが脆性的に破壊した。累積塑性ひずみは十分に満足したものの、安定した履歴曲線が得られたとは言い難い結果となり、今後の検討が必要である。ただし、脆性的に破壊する直前まで、載荷方法による損傷パターン・履歴曲線に大きな差は見られなかった（図-7,8）。実験終了後の供試体の状況を写真-2に示す。

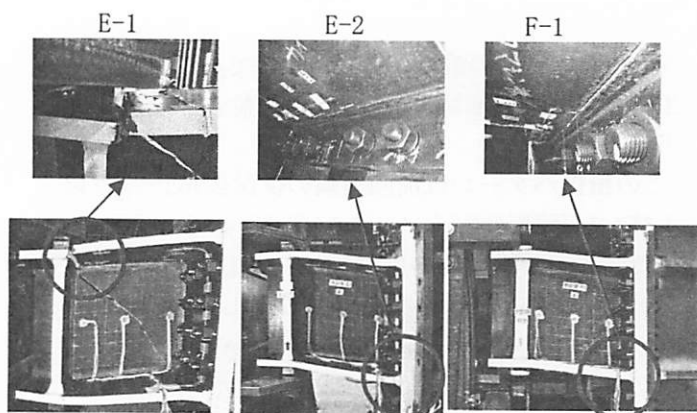


写真-2 E-1, E-2, F-1供試体実験終了後

(3)A-4供試体

内陸直下型地震を想定した荷重載荷方法2を適用した供試体A-4の損傷パターンは、せん断パネルにせん断座屈が発生し（繰り返し回数3回目）、その後せん断パネルとフランジとの溶接止端部において貫通亀裂が発生し、載荷荷重が急速に低下した。この損傷パターンは繰り返し回数2～4回目でせん断座屈が発生した前回実験の供試体A-1, A-2およびA-3でも同様であり、載荷方法を変化させても損傷パターンに大きな違いは見られなかった。

5. まとめ

以上、支承部へのせん断型制震パネルダンパー適用に当たり前回実験および今回実験を実施した結果、以下のことが明らかになった。

- ・実設計で想定するせん断ひずみ10%に対して、性能確認を行うことができた。

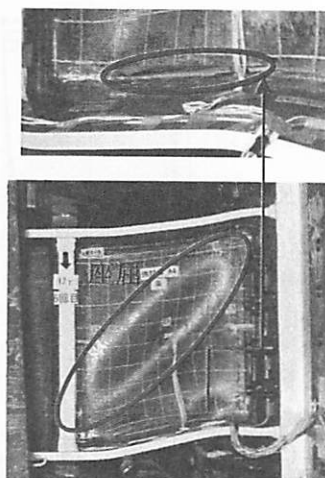


写真-3 A-4供試体実験終了後

- ・幅厚比パラメータが0.2程度以下であれば十分な累積塑性ひずみが確保できる。また、LY材については幅厚比0.2以上であればせん断座屈が発生し、その後溶接止端部において貫通亀裂が発生し、耐力は急激に低下する。
- ・SN材を用いた高強度型せん断パネルは、許容せん断ひずみおよび所要の累積塑性ひずみは満足した。
- ・SN材を用いた場合、LY材を用いた供試体とは破壊形状に大きな違いがあり、せん断パネルとフランジの分担荷重の割合など検討が必要である。
- ・荷重載荷方法により、履歴曲線に大きな差は見られない。

謝辞

実験実施及びデータの取り纏めに当たっては大阪工業大学栗田章光教授はじめ関係各位のご協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 流田寛之、濱田信彦、小林寛、西岡勉：低降伏点鋼を用いたせん断型制振パネルの性能確認実験、第11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、P47-P50,2008.
- 2) 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