

鋼種の異なる鋼製橋脚隅角部の弾塑性挙動に関する実験的研究

名古屋高速道路公社
(株)IHI インフラシステム正会員 ○大門 大
正会員 岡田 誠司名古屋高速道路公社
早稲田大学正会員 森下 宣明
正会員 小野 潔

1. まえがき

鋼製橋脚のはりと柱が交差する隅角部は、従来から常時やレベル 1 地震時に対して、奥村・石沢の提案した方法¹⁾によって算出したせん断遅れ現象により生じる局所的なピーク応力を用いた弾性設計が適用されている。そのため、隅角部は一般部に比べて厚板化する傾向にあり、溶接性、施工性及び製作性等の面で不都合が生じることがある。隅角部の板厚低減に資する対応として、既往の研究成果²⁾によるとフィレット設置による応力低減効果が得られることが報告されており、そのことを考慮した設計手法も提案³⁾されている。さらに 2017 年改定の道路橋示方書に規定化された橋梁用高降伏点鋼板 SBHS500 の採用も対応策の一つである。一方で SM570 や SM490Y と比べ SBHS500 を用いた隅角部のフィレット設置による応力低減効果に関する研究データは不足している。そこで本研究では、フィレットを有する SBHS500 及び SM490Y 製隅角部の縮小供試体による載荷実験を行い、フィレットによるフランジの応力低減効果等について鋼種の違いによる影響について検討を行った。

2. 実験の概要

1) 実験供試体

供試体の断面寸法は、実験施設のジャッキ能力、載荷ストローク等各种条件や供試体の製作性を勘案し、高さ・幅が SBHS500 の供試体では 530mm、SM490Y の供試体では 630mm の矩形断面を基本とした。これは実構造物に対する約 1/5 のスケールに相当する。またウェブ高さは、既往の研究成果³⁾を参考に、はり：柱＝1：1 を基本とした。供試体諸元を表-1、供試体を図-1 にそれぞれ示す。

2) 載荷方法

本実験では、図-2 に示すはり下側フランジまたは柱内側フランジそれぞれのフランジ交差部近傍の外面に設置したひずみゲージの値の平均のうち、大きいほうの値がミルシートに記載の降伏応力度より算出した降伏ひずみに達した時点フランジの降伏とみなした。また、この時点での隅角変位 δ をフランジの実験時降伏変位 δ_y と定義した。荷重の載荷方向はジャッキが伸びる方向（供試体を圧縮する方向）を正、ジャッキが縮む方向（供試体を引っ張る方向）を負とし、正方向より載荷を開始した。載荷パターンは、フランジが降伏に達した時点（隅角変位 $+1\delta_y$ ）で載荷方向を反転させて除荷を行い、次に負方向に隅角変位 $-1\delta_y$ まで載荷を行った。以降 $\pm 2\delta_y$ 、 $\pm 3\delta_y$ 、・・・と $1\delta_y$ ずつ変位を漸増させながら正負交番載荷を行い、最大荷重が観察されるまで載荷を行った。また、弾性域から降伏に至るまでの荷重－変位関係を詳細に把握することを目的として、前述した $+1\delta_y$ までの載荷に先立ち、 $+0.5\delta_y$ 程度、断面計算で算出したウェブパネルの合成応力度が 1.0 及び 1.2 に達する時点のひずみから荷重ゼロまでの繰り返し載荷をそれぞれ 3 回実施した。

表-1 供試体諸元

	供試体No. 1	供試体No. 3
はり・柱断面寸法 フランジ×ウェブ (mm)	530×530mm ($t=10$ mm)	630×630mm ($t=10$ mm)
補剛材 $h_r \times t_r$ (mm)	59×10 (3本)	62×10mm (3本)
材質	SBHS500	SM490Y
フィレットの有無	有	有
公称降伏応力 (N/mm^2)	500	355
実降伏応力 (N/mm^2)	576	420
R_R	0.48 (0.45)	0.49 (0.45)
R_F	0.48 (0.45)	0.49 (0.45)
γ_1/γ_{1-reg}	1.27	1.19
フィレット幅厚比 R_{fil}	21.2	25.2
アーム長 (mm)	3,000	3,200

※ R_R 、 R_F は実降伏応力 (カッコ内の数字は、公称応力) を用いて算出。

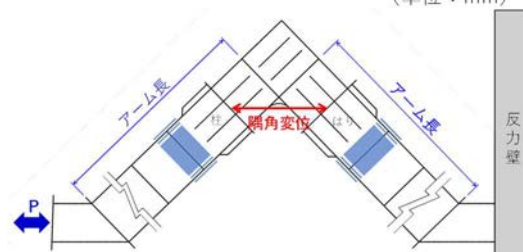
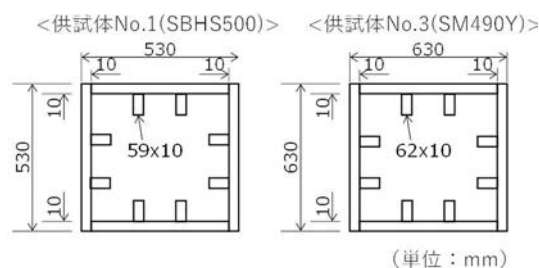


図-1 供試体

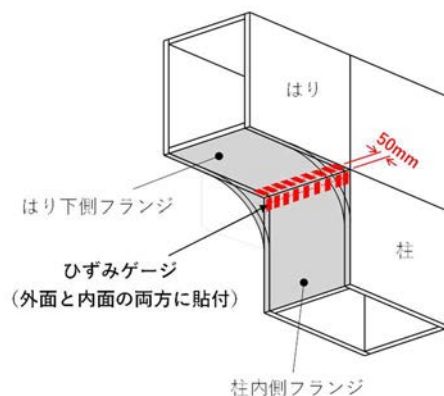


図-2 フランジ交差部近傍に設置したひずみゲージ

キーワード: SBHS, 隅角部, 耐荷力, フィレット, 弾塑性挙動

連絡先: 〒453-0804 名古屋市中村区黄金通 7-28-1 (TEL) 052-756-5966

3. 実験結果と考察

1) 荷重変位関係

SBHS500 と SM490Y の各供試体に対して正負交番荷重実験を行った。荷重 P と隅角変位 δ の関係 (P - δ 関係) を図-3, 4 に示す。図-3, 4 に示す載荷荷重 P/P_y , 隅角変位 δ/δ_y は、各供試体におけるフランジの実験時降伏荷重を P_y , 実験時降伏変位を δ_y とし、それぞれ無次元化している。

SBHS500 と SM490Y を比較すると、弾性域での挙動はほぼ同程度であることが確認できた。一方で塑性域での挙動を比較すると、SBHS500 と比べ SM490Y は最大荷重が大きく、また変形性能が高い傾向が確認された。これは SM490Y 材の降伏比が SBHS500 材と比べ小さいことが要因の一つと推測される。

また、各供試体とも荷重の増加に伴いフィレットの面外変形が進み、最終的に柱内側フランジ及び梁下側フランジの面外変形が一因となり荷重低下し、最終的にウェブパネルの面外変形が確認された。最大荷重確認後の荷重低下の状況や残留変形について、SBHS500, SM490Y について特異な差は見受けられなかった。

2) フランジ交差部近傍のひずみ分布

SBHS500 と SM490Y の梁下側フランジ交差部近傍における供試体の外面及び内面のひずみ分布について、降伏荷重 P_y の 0.25 倍のひずみ分布を図-5 に、降伏荷重 P_y の 0.5 倍のひずみ分布を図-6 にそれぞれ示す。なお図-5, 6 に示すひずみ ε は、ミルシートに記載の降伏応力度 ε_y で無次元化している。

SBHS500 と SM490Y との鋼種の違いに着目し、フィレット設置によるフランジ交差部に発生する応力低減効果について比較を行った。 $P_y \times 0.25$ 時では、供試体の内面及び外面のひずみ値に差はほとんど無い。 $P_y \times 0.5$ 時と荷重が増加するにつれ、SM490Y の供試体は SBHS500 の供試体に比べ、若干高いひずみ分布が確認できるがその差は小さい。また SM490Y のフランジ端部で一部高いひずみが計測された理由については、フィレットの面外変位の影響も含め、今後詳細に検討していく。

4. まとめ

SBHS500, SM490Y の 2 つの鋼種の供試体を用いて実験を行った。

SBHS500, SM490Y の荷重-隅角変位関係を比較すると、弾性域での挙動はほぼ同程度であることが確認できた。また塑性域での挙動は、SBHS500 と比べ SM490Y は最大荷重が大きく、また変形性能が高い傾向が確認された。

フランジ交差部近傍の $\varepsilon/\varepsilon_y$ 分布を比較したところ、SBHS500, SM490Y はほぼ同程度の分布を示しており、フィレットを有する隅角部のフランジ近傍のひずみ分布において、鋼種の違いによる大きな差はないことが確認できた。

(参考文献)

- 1) 奥村敏恵, 石沢成夫; 薄型構造ラーメン隅角部の応力計算について, 土木学会論文集, 第153号, pp. 1-18, 1968. 5.
- 2) 田辺篤史, 三木千壽, 市川篤司, 佐々木栄一, 下里 哲弘; 既設箱形断面鋼製ラーメン橋脚隅角部のリブ取付による疲労強度向上, 土木学会論文集, No. 773/ I -69, pp. 137-148, 2004. 10.
- 3) 美島雄士, 小野潔, 西村宣男; 鋼製ラーメン橋脚隅角部の弾塑性挙動およびフィレットの効果を検討した設計法の提案, 土木学会論文集A1, Vol. 70 No. 1, pp. 31-50, 2014.

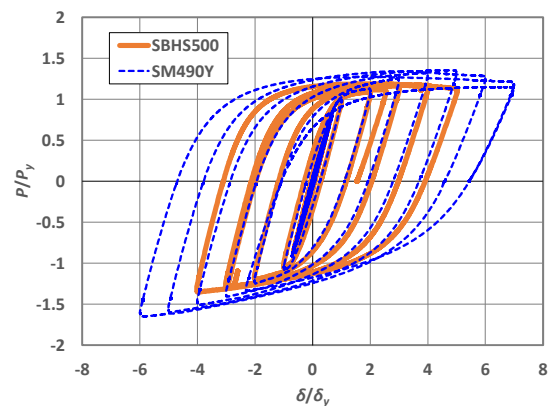


図-3 荷重 P -隅角変位 δ 履歴曲線

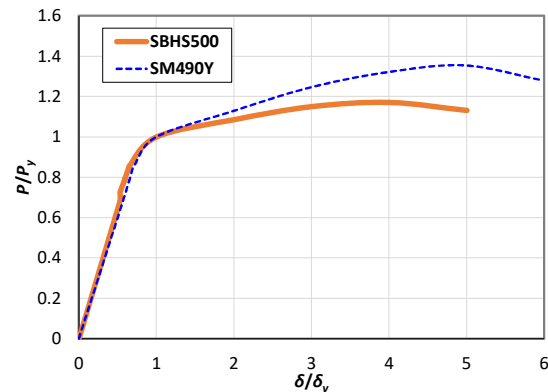


図-4 荷重 P -隅角変位 δ 履歴曲線 (包絡線)

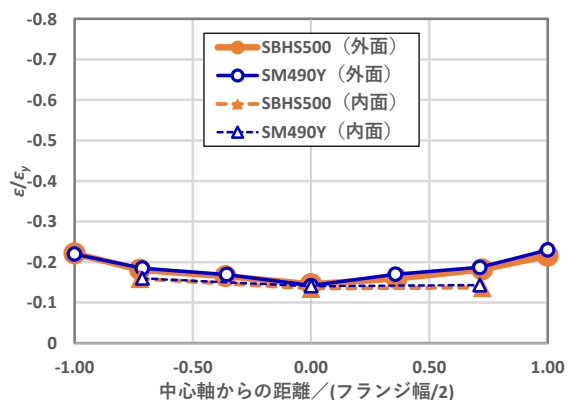


図-5 梁下フランジ交差部のひずみ ($0.25P_y$ 時)

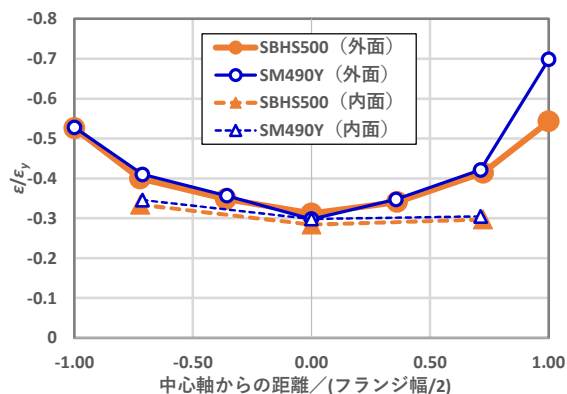


図-6 梁下フランジ交差部のひずみ ($0.5P_y$ 時)