

鋼製ラーメン橋脚はり部の弾塑性挙動に関する解析的検討

浜村圭太¹・小野潔²・西岡勉³

¹学生員 大阪大学大学院 工学研究科（〒565-0871 吹田市山田丘2-1）

²正会員 博士（工学） 大阪大学大学院准教授 工学研究科（〒565-0871 吹田市山田丘2-1）

³正会員 博士（工学） 阪神高速技術株式会社 技術部（〒550-0005 大阪市西区西本町1-4-1）

1. はじめに

鋼製ラーメン橋脚はり部（以下、「はり部」という）の耐震性能に関する研究は非常に少なく、塑性域での耐力および変形性能といった耐震性能も十分に明らかにされていないため、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編¹⁾でも具体的な耐震設計法が示されていない。そのような状況の中、はり部の耐力および変形能を把握し、耐震設計法の提案を行うための実験的・解析的な研究^{2),3)}が行われているが、柱部材としての鋼製橋脚と比較すると十分なデータが得られていない。また数値解析により、はり部の耐震性能を把握するには、解析結果と実験結果との比較によりその解析手法の妥当性を検証する必要がある。

そこで本稿では、既往の研究³⁾で行われた実験結果と解析結果との比較により、解析手法の妥当性の検証を行った。また、橋梁用高降伏点鋼板（以下、「SBHS」という）が JIS に規定された⁴⁾。SBHS の大きな特徴は高い降伏点と高い溶接性である。SBHS の中でも SBHS700 は最も高い降伏点と引張強さを有している。よって、SBHS700 を橋梁に適用することで、今までは実現することが難しかった耐荷性能等の性能が得られる可能性、建設コストの削減の可能性がある。しかしながら、SBHS が実構造物に適用されている例は少ない。そこで、妥当性の確認された解析手法を用いて、SM490Y および SBHS700 を用いたはり部を対象とした解析を行い、鋼種の違いがはり部の耐力および変形能に与える影響について検討を行った。

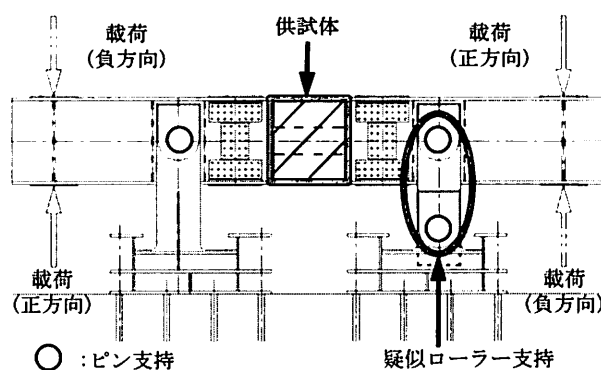


図-1 再現解析対象実験の試験装置概要³⁾

2. 実験概要および再現解析

(1) 実験概要

既往の研究⁵⁾における実験の試験装置概要を図-1に示す。供試体は試験装置中心に位置する箱型部分である。実験では図-1の試験装置の両端の矢印部にジャッキを設置し、左右で上下逆方向に荷重することにより、試験装置中心に配置されている供試体にせん断力を生じることとしている。また、荷重は変位制御で、図-2に示すような漸増型の強制変位パターンを与えた。4体の供試体で実験が行われており、いずれの供試体の鋼材も SM490Y である。各供試体の代表的なパラメータを表-1に示す。供試体②の断面図および諸元を図-3に示す。各供試体は箱型断面を有し概形および板厚は同じであるが水平補剛材の数、およびせん断幅厚比パラメータを変化させている。

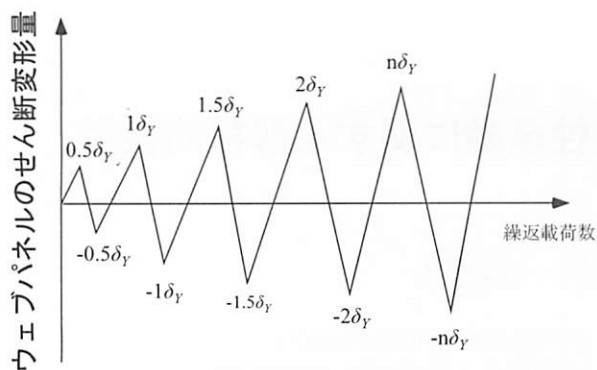


図-2 荷重パターン

表-1 代表的なパラメータ

供試体名	①	②	③	④
ウェブのせん断幅厚比パラメータ R_{tw}	0.81	0.64	0.53	0.64
ウェブの補剛材本数	2	3	4	3
フランジの幅厚比パラメータ R_F	0.4	0.4	0.4	0.7
フランジの補剛材本数	4	4	4	0
フランジ内の板パネルの幅厚比パラメータ R_R	0.39	0.39	0.39	2.42

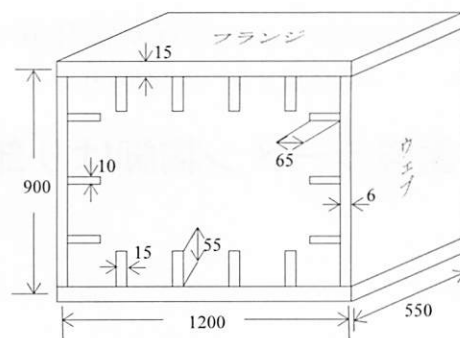


図-3 供試体②の断面図(単位:mm)

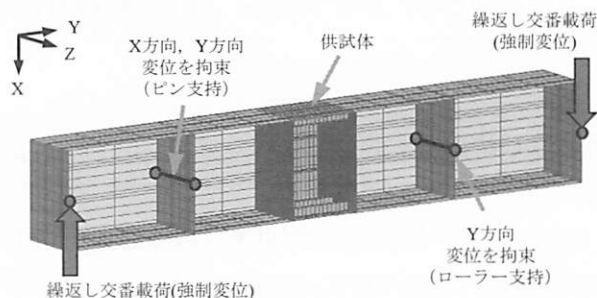


図-4 解析モデル図

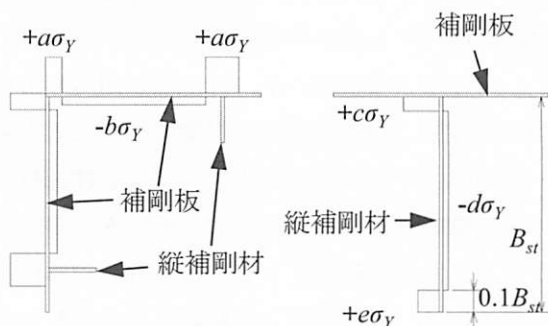


図-5 導入した残留応力分布

(2) 再現解析

図-4 に解析モデル図を示す。供試体を縦に二分割したハーフモデルで再現解析を行った。荷重は変位制御で、実験に準拠した漸増型の強制変位パターンを与えた。材料構成則の定数のうち、単調荷重に関する定数は、当該実験での引張試験結果³⁾から決定した。繰返しに関する定数は過去に大阪大学で行われた SM490Y 材の材料試験の値⁵⁾を用いた。ここで引張試験により得られた降伏応力の値を表-2 に示す。また、初期不整として図-5 の分布形状で残留応力を補剛板水平方向に導入した。各値の大きさについては表-2 に示す。図-6 にウェブおよびフランジに導入した初期たわみ形状を示す。また補剛材には残留応力は導入しているが、初期たわみを導入していない。

表-2 残留応力の各値

	a	b	c	d	e
SM490Y	1.0	0.23	1.0	0.16	0.6
SBHS700	0.8	0.15	1.0	0.12	0.6

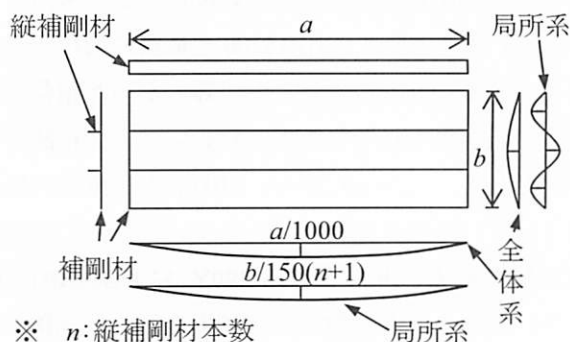
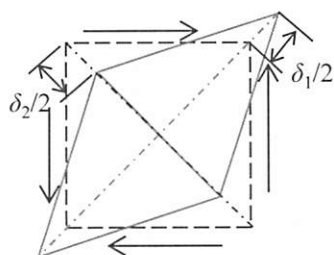


図-6 導入した初期たわみ



注1 片矢印はせん断力を表す

注2 セン断変形量 $\delta = \delta_1 + \delta_2$

図-8 セン変形量 δ の定義

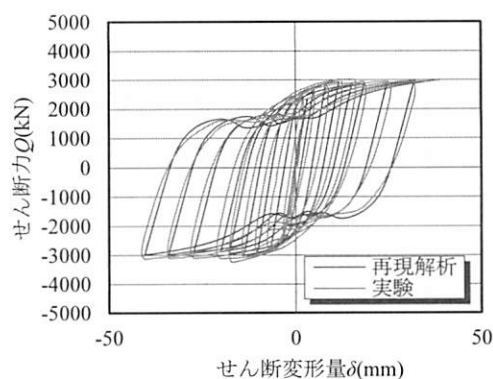
(3) 解析結果と実験結果の比較

解析結果と実験結果の履歴曲線の比較を図-7 に示す。グラフの縦軸は、供試体のせん断力 Q であり、試験装置を剛体と仮定して力のつり合いなどの数値計算により、ここでは $Q=0.981P$ (P :両端のジャッキ荷重)³⁾としている。横軸のウェブ面せん断変形量 δ は文献3)に定義が示されており、図-8 に示す。せん断変形量はウェブ面の対角線変位の差で表される。図-7 より、実験結果および解析結果の履歴曲線は良く一致していることがわかる。

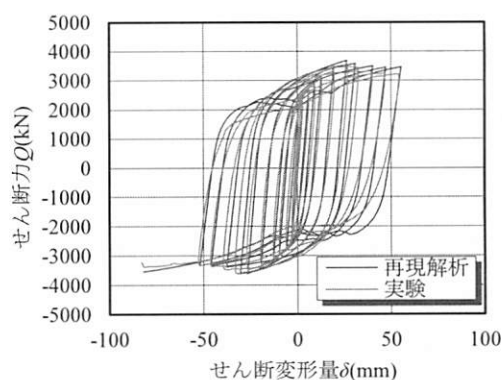
4. 鋼種の違いによる解析結果の比較

(1) 解析概要

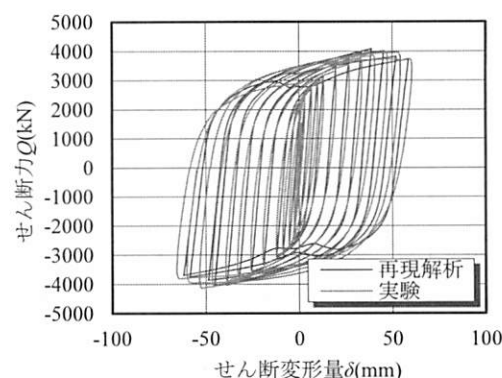
2章で再現解析を行った供試体①と同じパラメータ値で、鋼種に SBHS700 を使用したモデルに対して解析を行った。2章の再現解析中のモデルは鋼種に SM490Y を使用していた。そこで本章では同じパラメータをもち、鋼種の異なる2種類のモデルに対して解析を行い、鋼種の違いによりどのような挙動の変化が生じるのか確認する。そこで、SBHS700 で作成するモデルと合わせるパラメータは表-1 に示した供試体①の各パラメータとする。また、解析で使用する SBHS700 の構成則は過去に大阪大学で行われた各材料試験の結果⁶⁾を参考に決定した。初期不整として残留応力を再現解析と同様に図-4 の分布形状で表-2 の大きさで補剛板水平方向に導入した。なお、初期たわみに対しても再現解析と同様に導入している。



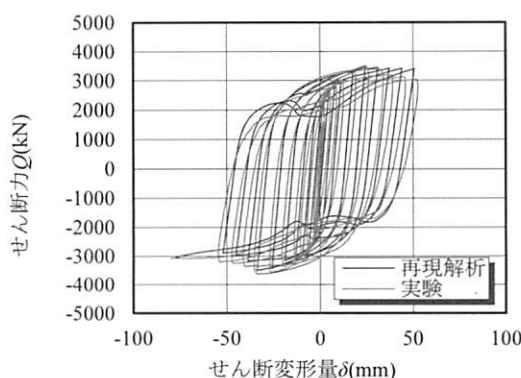
a) 供試体①



b) 供試体②



c) 供試体③



d) 供試体④

図-7 履歴曲線の比較

(2) 解析結果

図-9 に鋼種の違いによる解析結果の比較を示す。各解析結果のせん断力およびせん断変形量をウェブの降伏せん断応力時のせん断力および降伏せん断変形量で無次元化した値で比較している。図-8 より Q/Q_Y - δ/δ_Y 関係の包絡線に着目して Q/Q_Y の最大値および Q/Q_Y が最大となる δ/δ_Y を比較すると、鋼種に SBHS700 を用いたモデルの方が SM490Y を用いたモデルよりも小さくなることが分かった。今後、他の鋼種との比較等、詳細に検討を行う予定である。

5. まとめ

本稿では、実験結果と解析結果との比較により、はり部の耐力および変形能に関するデータを得るために必要な、解析手法の妥当性の検証を行い、本稿中で使用する解析プログラムが炭素鋼に対して用いることが確認できた。また、妥当性の確認された解析手法を用いて SBHS700 および SM490Y のモデルの解析を行った。各鋼種のモデルを比較すると、鋼種に SBHS700 を用いたモデルの方が SM490Y を用いたモデルよりも Q/Q_Y の最大値および Q/Q_Y が最大となる δ/δ_Y が小さくなることが分かった。今後詳細に検討を行う予定をしている。

6. 謝辞：阪神高速道路(株)より、本稿で対象とした鋼製ラーメン橋脚はり部の実験データに関する資料をいただきました。ここに感謝申し上げます。

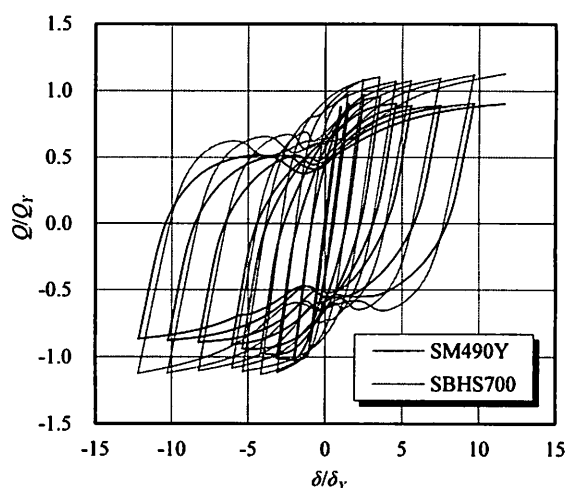


図-9 鋼種による比較

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，平成 24 年。
- 2) 葛西昭，渡辺智彦，天野麻衣，宇佐美勉：繰り返しせん断力を受ける補剛板強度と変形能評価，構造工学論文集，Vol.47A, pp.761-770，平成 13 年。
- 3) 阪神高速道路(株)：鋼製ラーメン橋脚のはり部のせん断変形性能実験に関する研究業務(その 2)報告書，平成 17 年。
- 4) 日本規格協会：橋梁用鋼降伏点鋼板，JIS G 3140，2011。
- 5) 岡田誠司，小野潔，谷上裕明，徳永宗正，西村宣男：高軸力が作用する矩形断面鋼部材の耐震性能評価に関する研究，土木学会論文集 A, vol.66, No.3, pp.576-595，平成 22 年。
- 6) 橋本祥太，小野潔，北市さゆり，山田信司，岡田誠司：SBHS700 の構成則および既往の高張力鋼との比較，土木学会年次学術講演会講演概要集，I-519, pp.1037-1038，平成 25 年。