

高強度鋼SHY685を用いた矩形断面鋼製橋脚の 弾塑性挙動に関する解析的検討

小野 潔¹・橋本 祥太²・遠藤 和男³・岡田 誠司⁴

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

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

³正会員 博士(工学) 本州四国連絡高速道路(株) 企画部 (〒651-0088 神戸市中央区小野柄通4-1-22)

⁴正会員 博士(工学) IHIインフラシステム 開発部 (〒108-0023 東京都港区芝浦3-17-2)

1. はじめに

鋼製橋脚の耐力および変形能に関する情報を得るため、数多くの大型模型供試体を用いた正負交番載荷実験や多くの数値解析による検討が実施されている¹⁾。その結果、鋼製橋脚の具体的な耐震性能照査手法が道路橋示方書・同解説V耐震設計編²⁾等で示されている。

ところで、橋梁用高降伏点鋼板(SBHS)がJISに規定された³⁾。SBHSは高い降伏点、高い施工性等の特色を有している。このような高強度鋼では一般的に降伏比も大きくなるため、高強度鋼を用いた鋼製橋脚では、SM400およびSM490等を用いた鋼製橋脚と比較して降伏点以降の耐力および変形性の増加が少ないことが指摘されている。よって、道路橋示方書・同解説V耐震設計編においては、SM570以上の高強度鋼に対する具体的な耐震設計法は示されていない。

しかしながら、塑性化の程度を限定すれば、高強度鋼を用いることで鋼製橋脚をより合理的に設計出来る場合もあると考えられる。また、斜張橋の鋼製タワー、吊橋の鋼製タワーでは、それら橋梁の重要性に鑑み、レベル2地震に対しても、その地震時応答を弾性応答に抑えることが求められることが多いと考えられる。そのような耐力に着目した弾性設計を行う鋼部材については、高強度鋼を適用をした方がより合理的な設計が可能となる。しかしながら、斜張橋あるいは吊橋等の重要構造物では、特に、設計で想定する以上の地震動に対しても橋梁の安全性を確保することが望まれる。よって、そのような鋼構造物については、弾性設計をしている場合において

も、塑性域での耐力および変形能を把握しておくことが重要となる。

そこで、本研究では、高強度鋼を用いた鋼製橋脚の耐力および変形能といった弾塑性挙動に関する基礎的なデータを得るため、既往の高強度鋼を使用した鋼製橋脚の正負交番載荷実験結果も活用して、解析的な検討を行ったので報告する。

2. 高強度鋼SHY685を用いた矩形断面鋼製橋脚の正負交番載荷実験

文献4)、5)では、高強度鋼としてSHY685を用いた矩形断面鋼製橋脚の正負交番載荷実験が実施されている。以下にその正負交番載荷実験の概要を示す。詳細については、文献4)、5)を参照されたい。

図-1に既往の研究^{4),5)}におけるSHY685を用いた供試体の寸法および載荷状況を、表-1に供試体の主な構造諸元、力学パラメータを示す。

図-1に示すように、正負交番載荷実験では、鉛直載荷装置により降伏軸力（公称降伏値より算出）の15%（=1,618kN）程度の軸力を一定に保ちながら、水平加振機により供試体基部から1500mmの位置に水平荷重を正負交番載荷している。水平荷重の載荷は、図-2に示すように、ベルヌイ・オイラーの梁理論から算出される降伏水平変位 δ_{yN} （降伏応力は公称降伏値）の整数倍を繰り返し回数1回で漸次増加させた。図-3に実験で得られた水平荷重－水平変位関係を示す。実験では $5\delta_{yN}$ 載荷時に水平荷重が最大に達し、 $7\delta_{yN}$ の載荷途中に両フランジベースプレート間の溶接割れが全面に渡って発生し載荷を終了している。

【単位：mm】

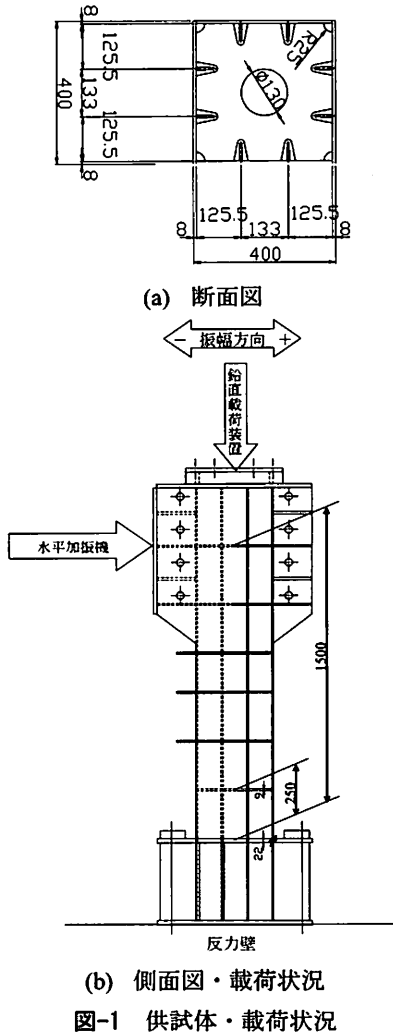
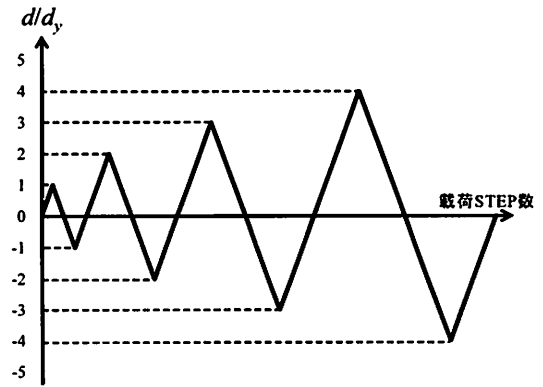


表-1 主なパラメータ等

鋼材	SHY685
フランジ幅, ウェブ幅 B_F, B_W (mm)	392
フランジ板厚, ウェブ板厚 t_F, t_W (mm)	8.0
リブ幅 b_r (mm)	50
リブ板厚 t_r (mm)	8.0
リブ枚数 n	2
載荷点高さ h (mm)	1500
ダイヤフラム間隔 a (mm)	250
軸力 N (kN)	1618
剛比 γ_I/γ_I^*	3.09
降伏応力(材料規格値) σ_{yW} (N/mm ²)	685
降伏応力(材料試験値) σ_{yM} (N/mm ²)	799
軸力比 N/N_y	0.15
細長比パラメータ λ_N	0.36
幅厚比パラメータ R_{RN}	0.49
幅厚比パラメータ R_{FN}	0.29



	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
SM490	1.0	0.25	1.0	0.17	0.6
SHY685	0.8	0.15	0.8	0.12	0.6

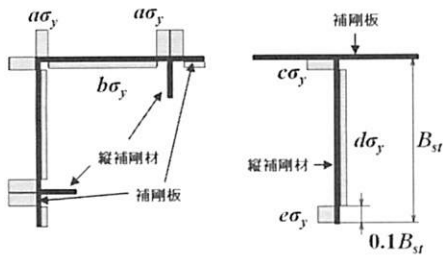


図-4 残留応力分布

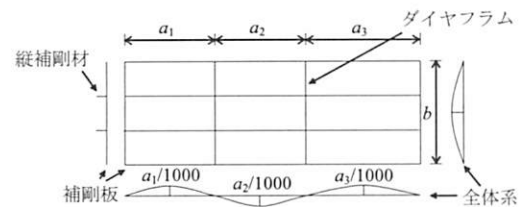


図-5 初期たわみ

図-6に実験で最大水平荷重点を若干超えた付近までの実験および解析の水平荷重－水平変位関係を比較したものを示す。図-6に示すように、解析結果は実験結果の水平荷重－水平変位関係を適切に再現出来ており、本稿で用いる解析手法でSHY685を用いた矩形断面鋼製橋脚の最大水平荷重までの領域の弾塑性挙動を適切に把握できることが分かる。

(2) 解析によるSHY685の弾塑性挙動の検討

鋼製橋脚に使用される代表的な鋼種としてSM490がある。そこで、SHY685を用いた鋼製橋脚の弾塑性挙動に関する検討を行うため、SHY685およびSM490を用いた鋼製橋脚を対象にしてCYNASを用いて解析を行い、両者の弾塑性挙動の違いについて検討を行った。

表-2にSM490、SHY685、SBHS700のJISに規定される機械的性質を示す。表-2に示す通り、SHY685の降伏強度、引張強さはSBHS700と近いものとなっている。また、既往の研究⁷⁾によれば、本稿で対象としたSHY685とSBHS700の構成則は特性の近いものとなっている。

表-3にSHY685およびSM490を使用した鋼製橋脚の解析モデルの構造諸元、主な力学パラメータを示す。表-3に示すように、SHY685を使用した鋼製橋脚とSM490を使用した鋼製橋脚とで、解析の力学パラメータが等しくなるように解析モデルを設定している。また、本稿では鋼材の塑性履歴特性の違いが

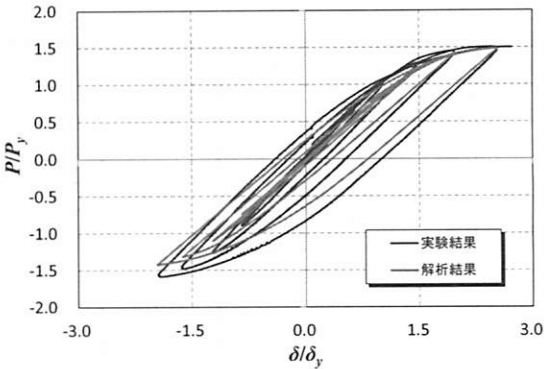


図-6 実験結果と解析結果の比較

表-2 各鋼材の JIS 規格値

鋼種	板厚区分 (mm)	試験片の 種類	降伏点	引張強さ	伸び
SM490	5≦ <i>t</i> ≦16	5号	325(MPa)	490～610(MPa)	17(%)
SHY685	6≦ <i>t</i> ≦16	5号	685(MPa)	780～930(MPa)	16(%)
SBHS700	6≦ <i>t</i>	5号	700(MPa)	780～930(MPa)	16(%)

解析結果に出やすいように、 $(R_R, R_F)=(0.3, 0.3)$ の幅厚比パラメータの組み合わせに対して、解析モデルを設定している。初期不整については、既往の文献を参考に、図-4に示す残留応力分布、図-5に示す初期たわみを解析モデルに導入した。また、構成則に含まれる定数について、SM490は文献8)の値をSHY685は 3.(1)と同様、文献4)の値を用いた。

図-7にSHY685およびSM490を用いた鋼製橋脚の解析結果から得られる水平荷重－水平変位関係を比較したものを示す。図-7より、SHY685を用いた鋼製橋脚はSM490を用いた鋼製橋脚より、最大水平荷重および最大水平荷重時変位が小さくなっている。

なお、今後、SHY685のみならずSBHS700等、より多くの高強度鋼を対象にして、高強度鋼を用いた鋼部材の弾塑性挙動についてより詳細に検討を行う予定である。

4. まとめ

本稿では、高強度鋼として SHY685 を用いた鋼製橋脚を対象に、実験結果との比較により妥当性を検証した解析手法により弾塑性挙動に関する検討を行った。その結果によれば、高強度鋼である SHY685 を用いた鋼製橋脚は SM490 を用いた鋼製橋脚より最大水平荷重および最大水平荷重時変位が小さくなることが分かった。今後、対象とする高強度鋼の種類も拡大して、高強度鋼を用いた鋼部材の弾塑性挙動についてより詳細に検討を行う予定である。

表-3 解析モデルのパラメータ等

		SM490-03	SHY685-03
構造寸法	フランジ幅, ウェブ幅 B_F , B_W (mm)	2,559	2,587
	フランジ板厚, ウェブ板厚 t_F , t_W (mm)	59.0	87.0
	リブ幅 b_r (mm)	308	295
	リブ板厚 t_r (mm)	59.0	87.0
	リブ枚数 n	2	2
	解析モデル長さ h (mm)	11,250	7,500
	ダイヤフラム間隔 a (mm)	2,250	1,500
	軸力 N (kN)	39,710	128,877
解析で 材料強度に 基づく数値	剛比 γ_I/γ_I^*	1.01	1.00
	降伏応力 σ_{yM} (N/mm ²)	360	799
	ヤング係数 E (N/mm ²)	205,800	205,800
	軸長比 N/N_{yM}	0.15	0.15
	細長比パラメータ λ_M	0.31	0.30
	幅厚比パラメータ R_{RM}	0.30	0.30
	幅厚比パラメータ R_{FM}	0.30	0.30

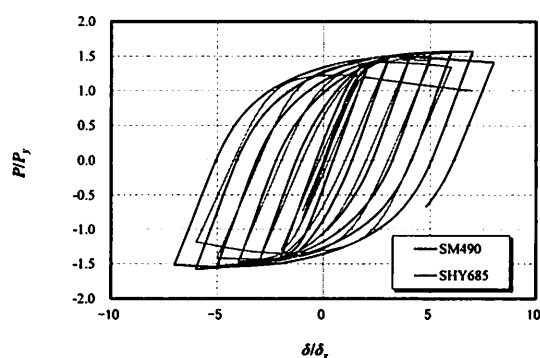


図-7 SHY685 と SM490 の比較

して謝意を表します。

参考文献

- 1)例えば, 建設省土木研究所ほか: 道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書I～VIII, 総括編, 1997～1999.
- 2)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説V耐震設計編, 2014.
- 3)日本規格協会: 橋梁用高降伏点鋼板, JIS G 3140, 2011.
- 4) 遠藤和男, 運上茂樹, 二井伸一: 高強度鋼材を用いた矩形断面鋼製橋脚の載荷実験, 土木学会第60回年次学術講演会梗概集, I-136, 2005.
- 5) 遠藤和男: 大規模地震に対する長大吊橋主塔の耐震性能照査法に関する研究, 大阪大学博士論文, 2007.
- 6) 西村宜男, 小野潔, 池内智行: 単調載荷曲線を基にした繰り返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式, 土木学会論文集, No.513/I-13, pp.27-38, 1995.
- 7)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, 土木学会第68回年次学術講演会梗概集, I-519, pp.1037～1038, 2014.
- 8)岡田誠司: 高軸力が作用する矩形断面鋼部材の耐震性能および評価法に関する研究, 大阪大学博士論文, 平成17年.

5. 謝辞: 本稿のSHY685を使用した鋼製橋脚の正負交番載荷実験結果は(独)土木研究所より提供いただきました。また, 本稿の解析の一部はJSPS研究費25420483の一貫として実施したものです。ここに記