

高強度鋼材を用いた矩形断面鋼製橋脚の載荷実験

○独立行政法人土木研究所 正会員 遠藤 和男
独立行政法人土木研究所 正会員 運上 茂樹
独立行政法人土木研究所 正会員 二井 伸一

1. はじめに

鋼製橋脚の耐震性能、特に終局状態の変形性能を調べるために、数多くの大型模型供試体を用いた正負交番載荷実験が行われており¹⁾、また多くの数値解析による検討も行われている。これらの実験と数値解析に基づいて、鋼製橋脚の終局状態の定式化も幾つか提案されている^{例えは 2)}。一方、近年の目覚ましい鋼材性能の向上により、土木分野において高強度鋼材が使用され始めており、鋼製橋脚に適用した場合、断面のコンパクト化・軽量化によりコスト縮減の可能性がある。しかし道路橋示方書³⁾における終局状態の定式化は非調質鋼（SS400, SM490, SM490Y 等）に限定され、その適用範囲については留意する必要があるとされている。

このような背景から、筆者らはこれまで、シェル要素・ファイバー要素を用いた解析モデルによる弾塑性有限変位解析を実施し、座屈パラメータと最大荷重、終局変位、損傷範囲および終局ひずみの関係を解析的に検討してきた⁴⁾。本稿では、高強度鋼材（JIS SHY685）を用いた矩形断面鋼製橋脚の耐力・変形性能を把握することを目的として実施した正負交番載荷実験、及び終局ひずみによる解析結果・普通鋼材を用いた鋼製橋脚との比較について報告する。

2. 実験概要

供試体の諸元、座屈パラメータ及び断面図をそれぞれ表-1、表-2、図-1 に示す。載荷は、供試体を水平に寝かせた状態で PC 鋼棒を用いて反力壁に固定し、図-2 に示すように、鉛直載荷装置により降伏軸力（公称降伏値より算出）の 15%（ $\approx 1,618\text{kN}$ ）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た。水平荷重の載荷は、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} （公称降伏値より算出、10.6mm）の整数倍を繰り返し回数 1 回で漸次増加させた。なお水平変位は、文献 1) に示される手法と同様に、実験供試体基部の回転・水平移動の影響を取り除いた形で算出している。

3. 実験結果

図-3 に $6\delta_{yN}$ までの荷重-変位関係を示す。試験装置の特性により、負側に所定の変位が載荷出来なかったこと、負側加振時に軸力が 1500kN 程度まで低下したことから、実験結果の整理は正側加振時を対象とする。5 δ_{yN} 載荷時に水平荷重が最大に達し、7 δ_{yN} 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、載荷を終了した。図-4 に実験終了後の供試体基部の状況を示す。鋼製橋脚の実験終了時に一般的に見られる大きな座屈変形は見られず、最大で 7mm 程度の面外変形を生じた程度であった。これは、使用鋼材が普通鋼材と比較して延性に乏しい（材料試験による破断伸び 19.2%）ことと、ダイヤフラム間隔が 250mm と比較的短く補剛板パネルの拘束が大きかったことによるものと思われる。

表-1 供試体諸元

断面外形寸法	ウェブ・フランジ厚	縦リブ寸法
400X400mm	8mm	50X8mm
断面積	ダイヤフラム間隔	載荷点高さ
157.44cm ²	250mm	1500mm

表-2 供試体座屈パラメータ

幅厚比 R_F	幅厚比 R_R	剛比 γ_1 / γ^*	剛比 γ_1 / γ_{req}
0.302	0.513	3.086	5.242
R_{Rib}	細長比 λ	公称降伏値 σ_{yN}	試験降伏値 σ_{yM}
0.587	0.363	685N/mm ²	799N/mm ²

- ・各座屈パラメータは公称降伏値に基づいている
- ・試験降伏値は、0.2%オフセット法により算出

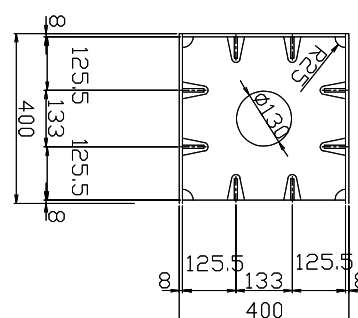


図-1 供試体断面図

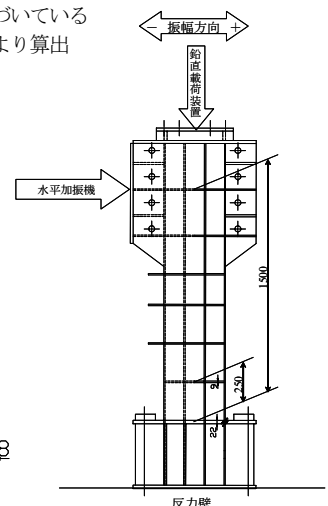


図-2 実験模式図

キーワード：鋼製橋脚、高強度鋼材、塑性変形性能、耐力

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6 TEL029-879-6773 Fax029-879-6736

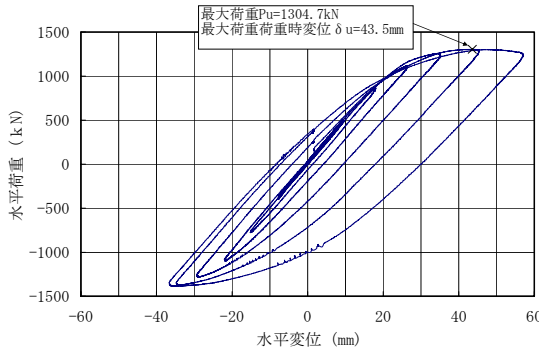


図-3 荷重-変位特性

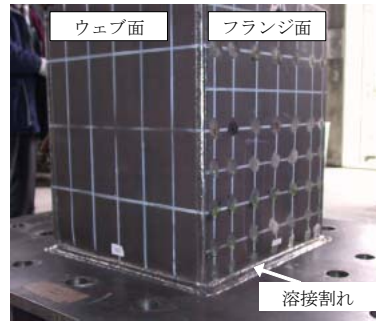


図-4 変形状況

表-3 実験と解析の比較

	最大荷重 P_u (kN)	終局変位 δ_u (mm)
実験結果	1304.7	40.9 (43.6)
解析結果	1118.1	32.9
実験／解析	1.17	1.24

実験結果の終局変位は、文献2)に示される手法により、実験と解析の初期剛性の違いを取り除いた形で補正している。
○内は補正前。

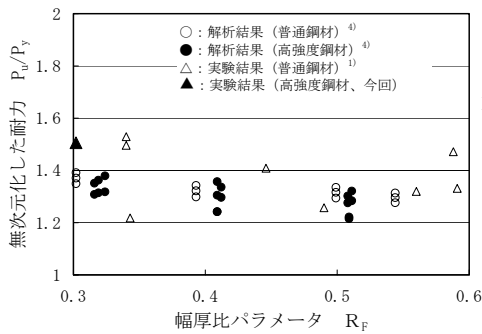


図-5 耐力-幅厚比パラメータの関係

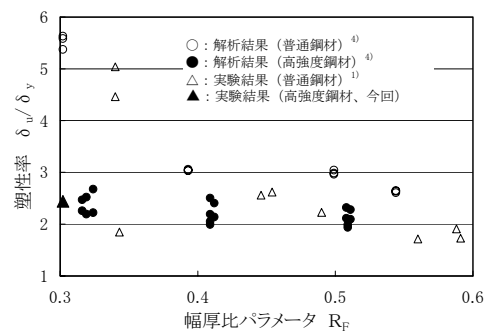


図-6 塑性率-幅厚比パラメータの関係

4. 終局ひずみによる解析結果との比較

終局ひずみによる解析法は、ファイバーモデルによるプッシュオーバー解析を実施し、宇佐美らにより提案されている損傷領域長での圧縮フランジ平均ひずみが終局ひずみに達した時に橋脚が終局状態に至るという手法である⁵⁾。プッシュオーバー解析は、せん断変形を考慮できる Timoshenko 梁で供試体をモデル化し、材料非線形性と幾何学的非線形性を共に考慮した複合非線形解析とした。また応力-ひずみ関係は、材料試験より算出された 1 次勾配及び降伏点を持つ完全弾塑性型とした。ファイバーモデルによる解析結果と実験結果の比較を表-3 に示す。ここでは、終局変位は最大荷重時の水平変位とし、終局ひずみは材料試験結果による降伏ひずみを用いて文献 4) に基づき算出している。これより、解析は実験に対して、安全側の評価であるものの、最大荷重・終局変位を 2 割程度小さく評価する結果となった。この乖離の原因は解析で設定した応力-ひずみ等によるものと考えられるが、今後更なる詳細な検討が必要である。

5. 普通鋼材を用いた鋼製橋脚との比較

図-5、6 に無次元化した耐力（最大荷重／降伏荷重）及び塑性率（終局変位／降伏変位）と幅厚比パラメータ R_f の関係を示す。図中にはこれまで実施した解析及び実験結果を併せて示している。これより、今回の実験結果はこれまでの解析的検討から得られた傾向に合致しており、無次元化した耐力は鋼材強度による差は小さいが、塑性率は同程度の幅厚比 R_f を有する普通鋼材を用いた鋼製橋脚と比較して小さいことが分かる。従って、高強度鋼材を用いた鋼製橋脚は、降伏荷重の増加に応じた耐力の増加が期待できるが、普通鋼材を用いた鋼製橋脚ほど変形性能が期待できない可能性があると言える。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所、首都高速道路公団、阪神道路公団、名古屋高速道路公社、(社) 鋼材倶楽部、(社) 日本橋梁建設協会、: 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)～(VII)、1997.4
- 2) 深谷茂広、小野潔、沈赤、村越潤、西川和廣: 矩形断面鋼製橋脚の正負交番載荷実験結果を基にした曲げ-曲率関係の検討、構造工学論文集、Vol. 46A、pp1365～1376、2000. 3
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説V耐震設計編、丸善、2002. 3
- 4) 遠藤和男、河藤千尋、運上茂樹: 高強度鋼材を用いた矩形断面鋼製橋脚の変形・耐荷力性能に関する解析的研究、第7回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、pp163～168、2004. 1
- 5) 鄭沂、葛漢彬、宇佐美勉: 鋼構造物の強度と変形性能の統一的評価法、第3回鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計への応用に関する論文集、pp25～32、2000. 1