

鋼製ラーメン橋脚の損傷メカニズムに関する研究

京都大学大学院 正会員 ○國司 了 京都大学大学院 フェロー 渡邊 英一
 京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征 京都大学大学院 正会員 永田 和寿
 阪神高速道路公団 正会員 足立 幸郎 (株)ニュージェック 正会員 陵城 成樹

1. はじめに

本研究では、阪神高速道路公団との共同研究により、繰り返し載荷実験および汎用有限要素解析コード ABAQUS を用いた弾塑性有限変位解析を行った。そして、上部構造物の重量を想定した鉛直荷重と地震力を想定した水平荷重の載荷を行い、柱部、はり部および隅角部を含む鋼製ラーメン橋脚全体の保有水平耐力と変形性能について検討した。

2. 実験概要

本研究では、一層の門型鋼製ラーメン橋脚として阪神高速道路湾岸線・岸 P34 橋脚を取り上げ、約 1/17 に縮尺した供試体を製作した (Fig.1 参照)。製作時には、主に幅厚比パラメータ (R_r , R_f)、補剛材剛比 ($\gamma/\gamma_{l,req}$) および柱部のはり部に対する剛度比 ($k_{はり部}/k_{柱部}$) を合わせ込むようにした (Table1 参照)。対象橋脚に使用されている主要鋼材は SM490Y 材であるが、供試体製作にあたり SS400 材を使用した。

実験供試体への載荷方法を Fig.2 に示す。軸力の載荷については荷重制御とし、軸力比 (σ_c/σ_y , σ_c : 軸圧縮応力, σ_y : 降伏応力) を対象橋脚の軸力比レベル (4.15%) と同等にし、試験中は一定に保った。水平荷重の載荷に関しては、変位制御とし、Fig.2 に示すような左右柱頭上部をヒンジでリンクさせた構造を採用した。左右柱頭上部にかかる水平荷重を均等に載荷できるように、また、はり部の変形が上部構造物の存在により拘束されないような構造とし、橋脚自身の耐震性能を評価できるような載荷を行った。繰り返し載荷は、各振幅 1 サイクルずつとし、降伏変位 δ_y の ± 11 倍まで行った。降伏変位の定義は、次章で説明を行う。

3. 解析手法

一方、弾塑性有限変位解析では、実験供試体を用いて Fig.3 に示すような解析モデルを構築した。4 節

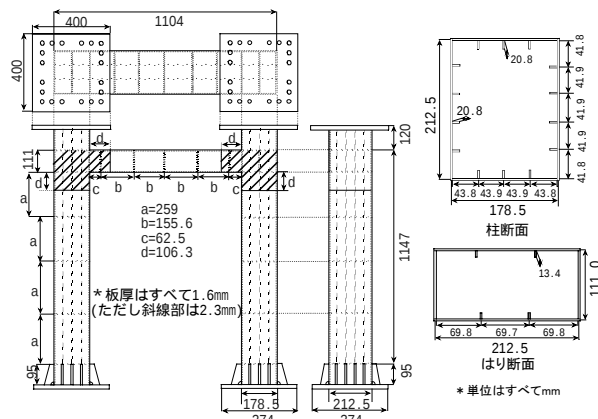


Fig.1 実験供試体全体図

Table1 強度パラメータの比較

		R_r	R_f	$\gamma/\gamma_{l,req}$	$k_{はり部}/k_{柱部}$
岸P34橋脚	柱部	0.500	0.373	1.810	0.389
	はり部	0.781	0.398	3.990	
実験供試体	柱部	0.438	0.363	1.470	0.352
	はり部	0.731	0.481	2.460	

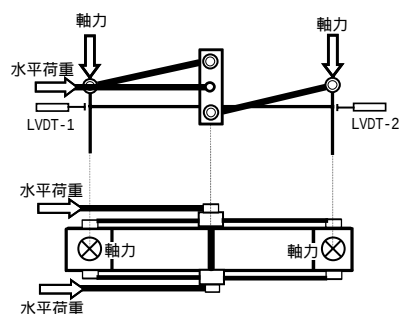


Fig.2 実験供試体への載荷方法

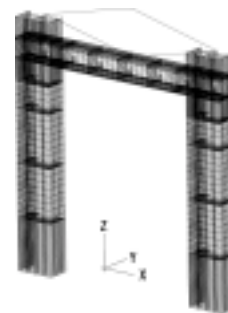


Fig.3 解析モデル全体図

点シェル要素を使用し、局部座屈が精度良く表現できるように十分な要素分割を行った。また、Y 軸に垂直な X-Z 平面に対して対称な変形モードを仮定す

キーワード：鋼製ラーメン橋脚、保有水平耐力、変形性能、軸力変動、せん断力

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL：075-753-5079 Fax：075-753-5130

ることにより供試体の 1/2 のみを解析対象とした。また材料の応力-ひずみ関係は材料試験結果を用い、材料硬化則は混合硬化則を仮定した。初期不整としては残留応力および初期たわみを考慮した。残留応力については、断面全体が自己平衡となるように矩形分布とした。初期たわみに関しては正弦波 (1/2 波) で与え、補剛板全体としての初期たわみ波形と、補剛材間の波形との重ね合わせとした。初期たわみの最大値は道路橋示方書で規定されている許容値とした。載荷方法は実験と同様である。

降伏条件としては、解析モデル全体のすべての要素のうち 1 要素でも von Mises の相当応力が材料の降伏応力に達した時点の載荷位置における水平荷重を H_y とし、またその時の LVDT-1、LVDT-2 (Fig.2 参照) の平均値を δ_y とした。

4. 実験結果および解析結果の比較・検討

Fig.4 に水平荷重-水平変位曲線を示す。縦軸は水平方向載荷用アクチュエータの値を用い、横軸は 2 つの制御用変位計 (Fig.2 参照) の平均値とした。この図より、降伏点以降も水平荷重は上昇し、最大荷重は実験・解析ともに H_y の約 3 倍を示している。最大荷重時における変形性能に関しても、実験では約 $8.0 \delta_y$ 、解析では約 $6.5 \delta_y$ を示していることから、鋼製ラーメン橋脚は優れた強度と変形性能を有していることがわかる。実験と解析の比較より、最大荷重に若干の誤差はあるが良好な対応をしていると考えられる。橋脚の損傷箇所は実験・解析ともに、主として左右柱基部であり、最大荷重点近傍において局部座屈が発生した。実験では約 $9 \delta_y$ 付近において、はり部ウェブ面にせん断力に起因する局部座屈が発生し、解析では、最大荷重以降、はり部において局部座屈が発生した。これらより橋脚の損傷過程についても実験と解析は近似していると考えられる。

また、Fig.5 にはひずみゲージから算出される右柱基部の曲げモーメント-曲率関係を示す。なお M_y は降伏曲げモーメントであり、その時の局率を ϕ_y とした。この図より、最大曲げモーメントが降伏曲げモーメントの約 1.2 倍となっている。また実験・解析ともにサイクル数が増えるごとに曲率が正側に推移しており、両者はよく一致していることがわかる。Fig.6 には、はり部にかかるせん断力と軸力変動の関係

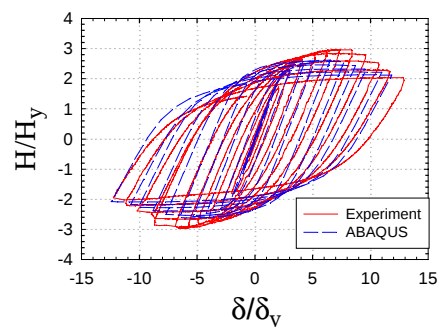


Fig.4 水平荷重-水平変位曲線

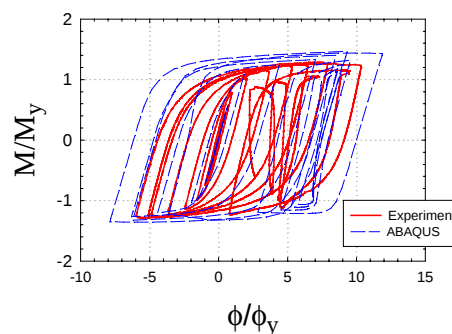


Fig.5 右柱基部の曲げモーメント-曲率関係

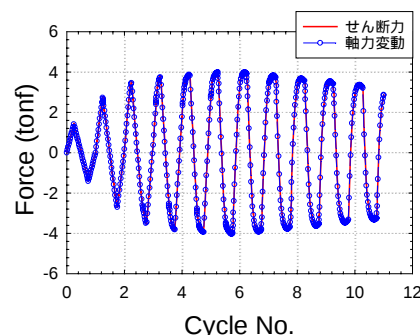


Fig.6 はり部にかかるせん断力と軸力変動の関係

係を示す。この図より、橋脚のフレームアクションにより柱部の軸力変動がはり部にせん断力として作用していることが分かる。

5. 結論

- 1) 鋼製ラーメン橋脚は複数断面での損傷が生じてから終局状態に至る極めて粘り強い構造形式の橋脚である。
- 2) 実験結果と解析結果との比較では、最大荷重点近傍で若干の相違があったがその後の劣化の挙動や崩壊の過程に関しては良好な対応をしている。
- 3) 橋脚のフレームアクションにより、柱部の軸力は変動し、その影響ではり部に繰り返しせん断力が作用する。よって、鋼製ラーメン橋脚の耐震設計ではこれらを考慮する必要がある。