

繰り返し水平力を受ける鋼製ラーメン橋脚の終局挙動のFEM解析

熊本大学工学部 学生員 ○増永 寿彦 学生員 大江 知也
熊本大学工学部 正員 崎元 達郎 正員 渡辺 浩

1. はじめに：鋼製橋脚の内、単柱橋脚については、実験的研究に加えて、FEM解析等の理論的研究も多く行われてきている。しかしながら、ラーメン橋脚については、未だ十分な研究がなされていない。本研究では、鋼製ラーメン橋脚が繰り返し水平力を受ける場合の終局挙動を汎用プログラムMARC[®]を用いてFEM解析し、既往の実験結果等との比較を通して、その耐震性を検討している。

2. 解析概要：実験に用いられた、補剛・無補剛ラーメン橋脚について、無補剛ラーメン橋脚については、全体解析を行い、補剛ラーメン橋脚については、計算自由度を減少させる為に X-Z 面で半割りした 1/2 対称モデルにより解析を行った。今回の解析に用いた汎用プログラム MARC の使用上の条件を表-1 に解析の対象とした供試体の諸元と材質を表-2 に示す。境界条件としては、橋脚柱下端部で完全固定とする。1/2 対称モデルにおいては、対称面に位置する節点の Y 軸方向の変位の自由度及び X、Z 軸回り回転の自由度を拘束し、対称面上に縦リブがある場合の板厚は 1/2 で与える。残留応力と幾何学的初期不整については考慮していない。鋼材の応力-ひずみ関係は、無補剛ラーメン橋脚については、引張試験結果の応力-ひずみ関係を用い、補剛ラーメン橋脚については、引張試験結果の応力-ひずみ関係が入手できなかったので式 (1) をもとにしたマルチリニア型の応力-ひずみ関係を用いた。

载荷条件としては、実験の载荷方法と合わせ、まず供試体に柱の全断面降伏荷重の 15% に相当する鉛直力を载荷した後、鉛直力を一定に保った状態で隅角部の所定の载荷点に単調又は、繰り返し水平変位を与えた。繰り返し水平変位を与える場合は、供試体の基部が降伏する時(線形理論)の载荷点の変位を δy とし、 δy の整数倍で順次増加 ($\pm \delta y$ 、 $\pm 2 \delta y$ 、 $\pm 3 \delta y$...) するよう変位を制御した。無補剛断面の要素分割方法は、基部(断面幅と同じ高さの部分)と隅角部パネルについては、 10×10 とし、補剛断面の要素分割については、基部、隅角部パネル、隅角部パネルに隣接する柱及び梁の断面幅と等しい部分をそれぞれ 12×12 分割し、他の部分は分割数を少なくした。

$$\frac{\sigma}{\sigma_y} = \frac{1}{\xi} \frac{E \sigma}{E} \left\{ 1 - e^{-\xi \left(\frac{\epsilon - \epsilon_{st}}{\epsilon_y} \right)} \right\} + 1 \quad (\epsilon_{st} \leq \epsilon) \quad (1)$$

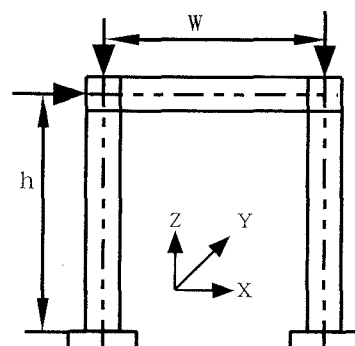


図-1 モデル概略図

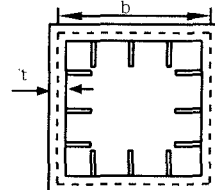


図-2 柱断面図

表-1 解析条件

項目	解析条件
使用プログラム	MARC
使用要素	4 節点シェル要素
積分点	面内方向 2×2 、板厚方向 5
応力-ひずみ曲線	Multi-linear 型
降伏条件	Von Mises
硬化則	移動硬化
幾何学的非線形性	Cauchy の応力で記述、Total Lagrange による定式化
初期条件	初期不整、初期応力(残留応力)考慮しない

表-2 供試体の諸元と材質

供試体名	断面形	b (mm)	t (mm)	w (cm)	h (cm)	幅厚比 R	使用鋼材	実施機関
R-12	無補剛正方形	113.5	5.5	115	115	0.468	SS400	熊大文献 ³⁾
R-17	無補剛正方形	163.5	5.5	115	115	0.622	SS400	
R-22	無補剛正方形	212.5	5.5	115	115	0.814	SS400	
R-60	補剛正方形	600	6.0	5000	5800	0.490	SS400	土研文献 ²⁾

3. 解析結果： 表-2に示した供試体R-12・R-17・R-22・R-60について解析を行い、水平荷重Hと載荷点での水平変位 δ の関係を図-3～6に示している。図-3(R-12)の解析結果は、初期勾配と最大強度を大きく目に評価しているが、実験では溶接割れが発生しており、この事を考慮すれば最大荷重についておおむね一致するものと考えられる。図-4(R-17)を見ると、解析において残留応力と初期不整を考慮していない為、塑性化による剛性低下の様子が若干異なるが全体としてはほぼ一致している事が分かる。また、図-5(R-22)については、実験では図-3 同様に溶接割れが発生しているため明確な比較は出来ないが、最大荷重で比較すると、明らかに解析値が高めに出ている。この原因の一部として残留応力や幾何学的初期不整の影響も考えられるが真の理由は特定できていない。図-6(R-60)では、本研究での解析結果を文献2)の解析結果と比較している。初期勾配に関しては、ほぼ一致しているが、最大荷重の値を10%程高めに評価している。これは、比較対象とした文献2)での解析諸元(応力-ひずみ関係・板厚等)が必ずしも一致していないことに起因すると考えられ、今後この点を明確にしたいと考えている。

4. まとめ： 鋼製ラーメン橋脚に関して、無補剛の単調載荷での解析結果は、R-17 については、実験結果とよく一致していた。残り2体の最高荷重については、高目の評価をするが、劣化勾配については、ほぼ一致する。また補剛ラーメンでの解析結果も、文献2)での解析値より最高荷重を若干高めに評価するが、線図の形状はほぼ一致する。今後は繰り返し載荷でのラーメン橋脚の解析を行い、既往の実験結果等との比較を通して耐震性を検討する予定である。

参考文献

- 1) MARC Users Manual Vol. A-E、日本マーク。
- 2) 西川和廣、高橋実、岡本隆、他：鋼製ラーメン橋脚の耐力・変形性能に関する載荷実験、土木学会第53回年次学術講演会、1998、pp303-304
- 3) 崎元達郎、渡辺浩、土田真二、三輪清貴：局部座屈を考慮した鋼骨組の終局挙動の簡易解析法、構造工学論文集 Vol.43A、1997、pp.195-204

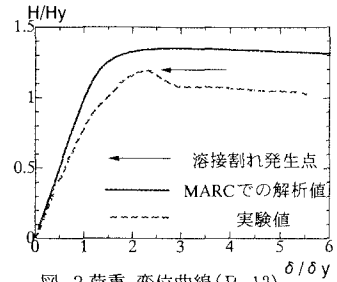


図-3 荷重-変位曲線(R-12)

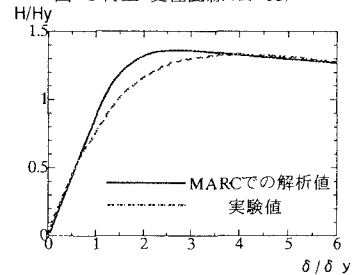


図-4 荷重-変位曲線(R-17)

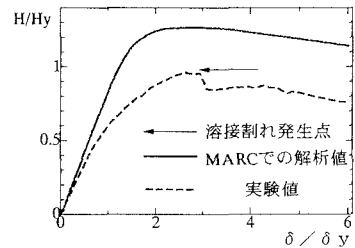


図-5 荷重-変位曲線(R-22)

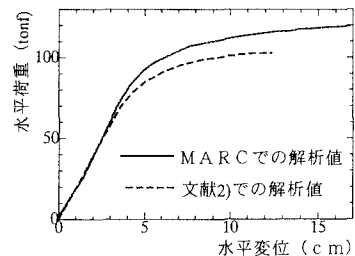


図-6 荷重-変位曲線(R-60)