

繰り返し水平力を受ける単柱式鋼製橋脚の終局挙動の F E M 解析

熊本大学工学部 学生員 ○中島祐二
熊本大学工学部 正 員 崎元達郎

熊本大学工学部 学生員 中島黄太
熊本大学工学部 正 員 渡辺 浩

1. はじめに

著者らは橋脚の局部座屈を考慮した終局挙動をはり一柱ファイバー要素を用いて解析する簡易解析法を開発しており、既往の実験結果と比較検討して、その妥当性を検証しつつあるが、実験の結果は必ずしも多くなく、その検証対象として F E M 解析が考えられる。本研究では、単柱式鋼製橋脚（無補剛箱形断面、補剛箱形断面）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 M A R C を用いて解析し、既往の実験結果との比較も含めて、F E M 解析の有効性について検討するものである。

2. 解析の概要

解析対象は既往の研究^{2), 3)}の中で用いられた実験供試体とし、解析モデルは水平荷重載荷方向を含む鉛直面を対称面とした全体の 1/2 モデルを解析対称とし、要素分割については局部座屈の影響を考え脚基部と最下段ダイヤフラム間については高さ方向を 12 分割、それより上部については解析精度に与える影響は少ないものと考え徐々に粗く分割した、また補剛材間を 3 等分とした。境界条件としては、橋脚基部で完全固定、対称面には対称条件を設定した。残留応力と幾何学的初期不整については、繰り返し履歴挙動に対する影響は小さいと考え、これを無視した。鋼材の応力-ひずみ関係は無補剛箱形断面柱については実験結果を用い、補剛箱形断面柱については (1) の式から得られる値を用いた。荷重条件としては、荷重実験の荷重方法と合わせ、まず供試体に所定の軸力を載下した後、その軸力を一定に保った状態で頂部の所定の荷重点に正負の繰り返し水平荷重を静的に水平交番載下する。荷重方法は供試体の基部が降伏する時の荷重点の変位を δy とし、 δy の整数倍で順次増加 ($\pm \delta y$, $\pm 2 \delta y$, $3 \delta y$, ...) するよう変位を制御した。ただし δy は、供試体下端部で初期降伏が生じる際の荷重点水平変位（線形梁理論）で得られる値である。軸力は全断面降伏荷重の 15% の軸圧縮力作用させた。

表-1 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 2 x 2、板厚方向 5
応力度-ひずみ曲線	Multi-Linear 型
降伏条件	Von Mises
硬化則	移動硬化則
幾何学的非線形	① ひずみ、応力表示： 対数ひずみ、Cauchy 応力 ② Updated Lagrangian
非線形方程式求解法	Newton Raphson 法

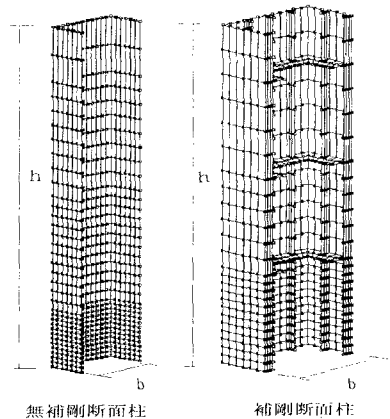


図-1 解析モデル

表-2 供試体パラメータ

供試体種類名	断面形	b (mm)	t (mm)	h (mm)	R_g	R_F	使用鋼材
A1-15-1 (熊大)	無補剛正方形	158	4.5	940	0.83	・	SS400
A2-15-1 (熊大)		153	6.0	940	0.61	・	SS400
A3-15-1 (熊大)		160	9.0	940	0.41	・	SM490
No. 20 (土研)	補剛正方形	900	9.0	3151	0.585	0.611	SM490

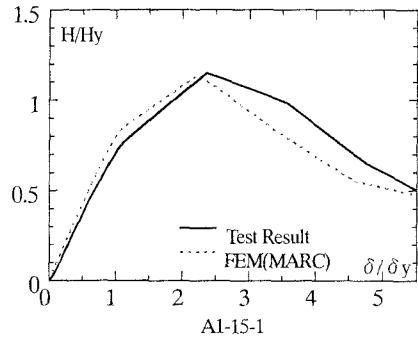
$$\frac{\sigma}{\sigma_y} = \frac{1}{\xi} \frac{Est}{E} \left\{ 1 - e^{-\xi \left(\frac{\epsilon - \epsilon_u}{\epsilon_y - \epsilon_u} \right)} \right\} + 1 \quad (\epsilon_{st} \leq \epsilon) \quad (1)$$

3. 解析結果および考察

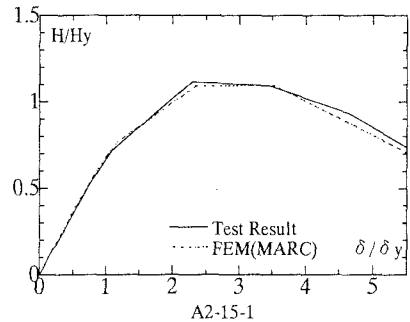
表一2に示した供試体の中から、無補剛箱型断面柱についてはA1-15-1、A2-15-1、補剛箱型断面柱についてはN0. 20について解析を行い、水平荷重Hと載荷点水平変位 δ の関係を図2～4に示す。比較のため実験結果の包絡線を併せて示した。図一2 (A1-15-1) 及び図一3 (A2-15-1) の解析結果は、初期勾配、最大強度ともに、実験値と解析値は良く一致している。図一4 (No. 20) の解析結果については初期勾配は一致しているが、最大強度到達後は解析値のほうが高めに出来る。実験値と解析値との差の原因については不明であるが、たとえば要素分割との関係について今後検討する予定である。解析による橋脚基部の変形モードを図一5(a)に示すが、これは図一5(b)の実験結果とおおむね一致した。

4. おわりに

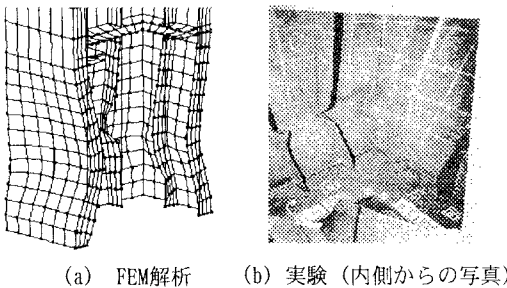
無補剛箱型断面柱についてはおおむね良好な結果が得られているが、補剛箱型断面柱については実験結果と良く一致しているとは言い難い、今後はより適切な解析諸元や要素分割について検討を行い、また他の断面を有する橋脚についても解析し検討を加える予定である。



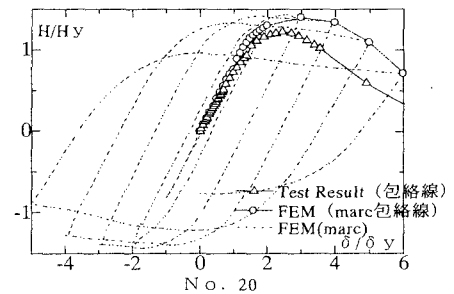
図一2 荷重一変位履歴曲線(包絡線)



図一3 荷重一変位履歴曲線(包絡線)



(a) FEM解析 (b) 実験(内側からの写真)
補剛断面柱



図一4 荷重一変位履歴曲線(包絡線)

図一5 脚部の変形モード(供試体No. 20)

参考文献

- 1) MARC Users Manual Vol. A-E, 日本マーク.
- 2) 建設省土木研究所: 道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する報告書、平成9年4月.
- 3) 崎元達郎、渡辺浩 他: 繰り返し水平力を受ける鋼柱の終局挙動の簡易解析法、鋼製橋脚の非線形数値解析と耐震設計に関する論文集、土木学会、1997.5、pp. 111-116