

低鉄筋比 RC 橋脚の水平耐力と破壊挙動の FEM 解析

九州大学大学院 学生員 黄 玲
中央コンサルタンツ 正会員 柚 辰雄

九州大学工学部 正会員 彦坂 熙
九州大学工学部 学生員 兼年俊吉

1. 緒 論

日本の既設 RC 橋脚には大断面で低鉄筋の構造が多用されており、それらの中には、ひび割れ耐力 P_c と降伏耐力 P_y がほぼ等しいか、または $P_c > P_y$ となるものが含まれている。特に、軸方向鉄筋の段落しが行われた低鉄筋断面では、降伏モーメント M_y がひび割れモーメント M_c を下回ることがよく見られる。低鉄筋比の RC 部材ではひび割れ発生荷重が破壊荷重となり、かつ極めて脆性的破壊を起こす恐れがある。 $P_c > P_y$ となるような既設 RC 橋脚の耐震性を非線形動的解析により照査する場合の材料モデル ($M-\phi$ 曲線) の設定法も、まだ必ずしも確立されていない。本論文は、このような低鉄筋 RC 構造の破壊挙動を分布ひび割れモデルに基づく非線形有限要素法により解析した結果を報告するものである。

2. 材料モデルおよび解析法の概要

本研究における RC 構造の二次元 FEM 解析では、主鉄筋、帯鉄筋をそれぞれ一次元棒要素とし、コンクリートの応力-ひずみ関係を材料固有のものとして扱う。圧縮応力下のコンクリートは初期降伏まで線形弾性材料とし、その後は弾塑性理論を用いる。引張応力に対しては、最大主応力がコンクリートの引張強度を越えると主応力に直交するひびわれが発生し、その後は、ひび割れに垂直方向の要素剛性をひずみ軟化則に従って低下させる分布ひび割れモデルを採用する。鉄筋には、ひずみ硬化係数 0.01 のバイリニア応力-ひずみ関係を仮定する。低鉄筋比 RC 部材の曲げひび割れ発生に伴う荷重低下に対処するため、解析には荷重増分法と変位増分法を併用する。

3. 低鉄筋比 RC はり供試体の曲げ破壊挙動の解析

曲げを受ける低鉄筋比 RC はりの破壊実験結果¹⁾ が報告されている供試体のうち、鉄筋比 $p=0.1\sim 0.2\%$ の 3 体を解析対象に選び、二次元 FEM 解析の適用性を検討する。3 体は同一寸法 (全長 240cm、スパン長 220cm、はり高 60cm、はり幅 25cm) の長方形断面単鉄筋単純支持はりで、対称 2 点載荷されている。配筋は供試体 No.3 (2D10、 $p=0.1\%$)、No.4 (3D10、 $p=0.15\%$)、No.5 (1D19、 $p=0.2\%$) であり、せん断補強筋は配置されていない。

構造および荷重の対称性を考慮した二次元 FEM メッシュを図-1 に示す。解析に用いるコンクリートの材料特性は圧縮強度の実測値 $f'_c=20.1\text{MPa}$ に基づいて定め、鉄筋の材料特性は実測値を用いた。

図-2 は、各供試体の荷重-変位曲線の FEM 解析結果を鳥らの実験値¹⁾ と比較したものである。変位増分法による FEM 解析では、曲げひび割れの発生に際して荷重が大きく低下し、解析による上限値を結んだ包絡線が実験値に概ね対応している。

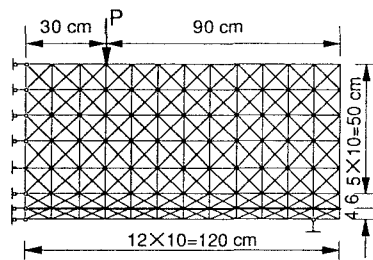


図-1 はり供試体の FEM メッシュ

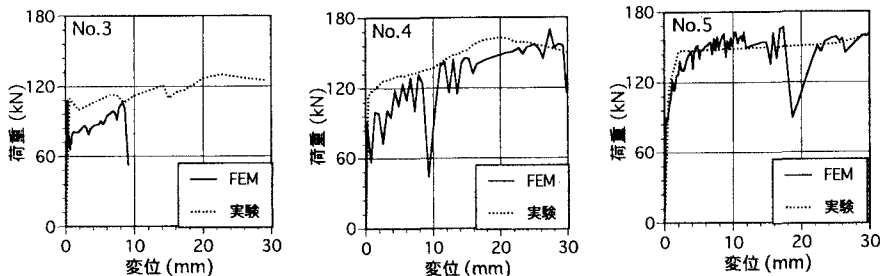


図-2 曲げを受ける低鉄筋比 RC はりの荷重-変位曲線

鉄筋比 $p=0.1\%$ で $P_c > P_y$ の供試体 No.3 については、実験で 2 本目の曲げひび割れが発生した直後の変位 10mm 付近で収束解が得られなくなっている。

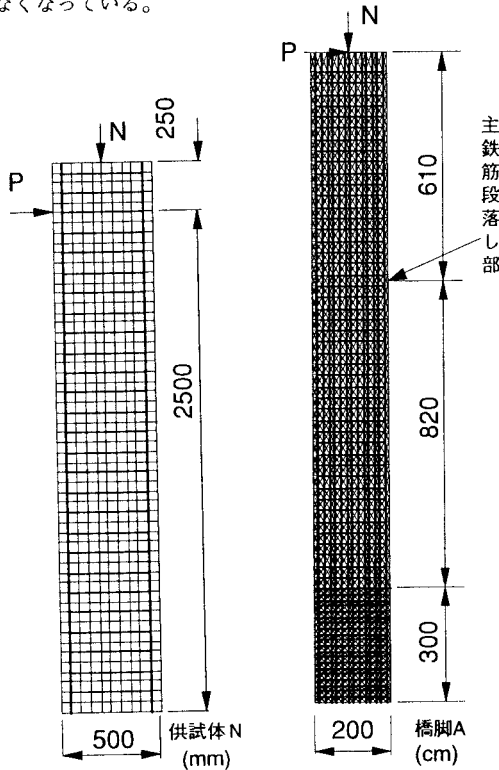
4. RC 壁式橋脚供試体および実橋脚の解析

正負交番荷試験結果²⁾ が報告されている引張鉄筋比 $p=0.5\%$ の RC 壁式橋脚供試体 N、および昭和 55 年以前の道路橋示方書により設計された $p=0.14\%$ (基部) で段落しのある低鉄筋比 RC 壁式実橋脚 A について、一定軸圧縮力と橋軸方向漸増水平荷重下での静的弾塑性解析を行った。それぞれの構造諸元を表ー 1 に、また二次元 FEM メッシュを図ー 3 に示す。供試体 N の材料特性は実測値、また実橋脚 A の材料特性は設計用値をそれぞれ解析に用いた。

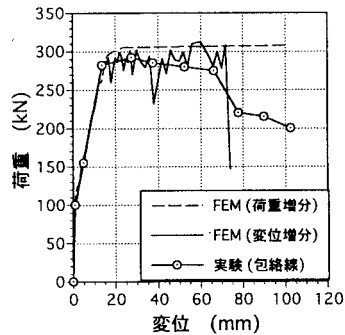
表ー 1 RC 壁式橋脚供試体および実橋脚の諸元

	橋脚構造寸法(mm)			断面縦横比	せん断スパン比	引張鉄筋比 (%)	軸力 (kN)
	B	D	H				
供試体 N	1500	500	2500	3.0	5.0	0.50	450
実橋脚 A	7500	2000	17300	3.75	8.65	0.14	4700

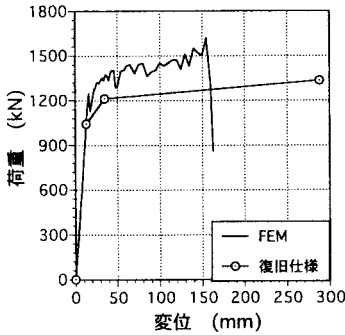
供試体 N の荷重－変位曲線の実験値 (包絡線)²⁾ を FEM 解析値と比較すれば、図ー 4 の通りである。実験における供試体の降伏変位は $\delta_y=13\text{mm}$ であり、変位 $5\delta_y$ (65mm) 载荷の第 2 サイクルで主鉄筋が座屈して耐力が大きく低下したことが報告されている。本解析では主鉄筋の座屈を考慮していないが、変位 72mm で収束解が得られず、終局に至っている。図ー 5 は、実橋脚 A の荷重－変位曲線の FEM 解析結果を復旧仕様³⁾ による算定値と比較したものである。FEM 解析による最大耐力は復旧仕様による終局耐力を上回っているが、変位増分法による解析では変位 160mm 付近で収束解が得られなくなっている。



図ー 3 RC 壁式橋脚 (橋軸方向の FEM メッシュ)



図ー 4 供試体 N の荷重－変位曲線



図ー 5 実橋脚 A の荷重－変位曲線

〔参考文献〕 1) 島弘ほか：曲げを受ける低鉄筋比はりにおける脆性破壊の防止に関する検討、土木学会論文集第 378 号/V-6、1987-2。 2) 田村陽司ほか：壁式橋脚の耐震補強工法に関する検討、日本道路公団試験所報告 Vol.34、1997-11。 3) 建設省道路局：兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様、1995-2。