

東急建設 正員 奥村 幹也
正員 宮城 敏明

1. はじめに

耐震性能確認実験として交番載荷実験が数多く実施されている。実験では耐震性能が直接確認できるが、多大な費用と期間を必要とするため実験ケースは限られてくる。そこで、非線形有限要素解析による既設RC構造物の耐震性能評価を試みた。本報告では、鉄道高架橋柱(柱断面60cm×60cm)を対象に非線形有限要素解析を実施し、実験結果¹⁾と解析値との比較結果を報告する。

2. 解析モデルと材料定数

柱の形状と配筋を図-1に示す。解析は二次元平面応力問題とした(図-2)。コンクリートは8節点アイソパラメトリック要素、鉄筋は主鉄筋、帯鉄筋とも埋込鉄筋とした。スタブ下端をX、Y方向で固定した。表-1に解析に用いた材料定数、破壊基準を示す。コンクリートの引張強度 f_t は圧縮強度 f_c より $f_t=0.5 \times f_c^{2/3}$ で算定した。また、分布ひび割れモデルを採用し、引張主応力が引張強度を超過したらひび割れが発生するとした。ひび割れ発生後のコンクリートのせん断剛性は初期剛性の0.2倍とした²⁾。

載荷は実験と同様、柱頂部の水平方向強制変位を正負に繰り返す交番載荷とした。柱が+X方向に変形した場合を正側載荷とする。引張側主鉄筋降伏時の柱頂部の水平変位を $18\delta y$ とし、変位制御で $28\delta y \sim 58\delta y$ と変位レベルを増加させた。解析では、載荷サイクルは各変位レベルを1サイクルとした。軸力は $120tf(33.3kgf/cm^2)$ と設定した。解析プログラムとしてDIANAを用いた。

表-1 材料定数と破壊基準

コンクリート	圧縮強度(kgf/cm ²)	279.0	Drucker-Prager型材料非線形
	引張強度(kgf/cm ²)	20.0	引張応力のカットオフ
	せん断伝達係数	0.2	初期剛性に対する低減係数
	ヤング係数(kgf/cm ²)	2.38×10^5	
	ポアソン比	0.2	
鉄筋	主鉄筋降伏強度(kgf/cm ²)	3560	Von Mises型材料非線形
	帯鉄筋降伏強度(kgf/cm ²)	3230	Von Mises型材料非線形
	ヤング係数(kgf/cm ²)	1.95×10^6	
	ポアソン比	0.3	

3. 解析結果

図-3にP~ δ の包絡線、表-2に各ピーク時のP、 δ の値をそれぞれ示す。解析値と実験値はよく一致している。最大耐力も解析値 $39.3tf$ と実験値 $40.3tf$ はよく一致している。

+18 δy 時の柱頂部の水平変位量は解析値18.2mmに対し、実験値24.9mm¹⁾と6.7mmの差がある。これは、解析では主鉄筋の拔出による柱躯体の剛体回転が評価されないためと考えられる。28 δy 時以降は、この+18 δy 時の水平変位量を基準にして各段階の強制変位量を制御する。

+58 δy 時には実験では荷重が低下するが、解析では低下していない。これは、①鉄筋の座屈挙動を考慮していないこと、②コンクリートの構成則にピーク後の圧縮軟化を考慮していないことなどによると考えられる。

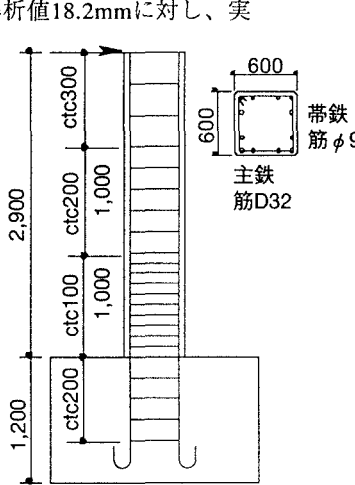


図-1 試験体形状

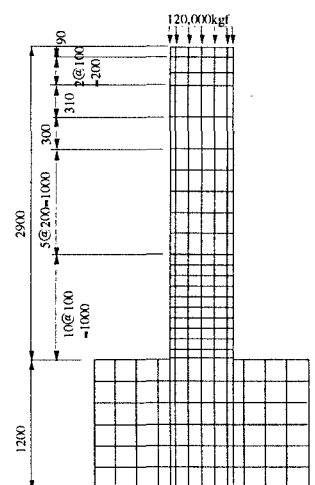


図-2 解析モデル

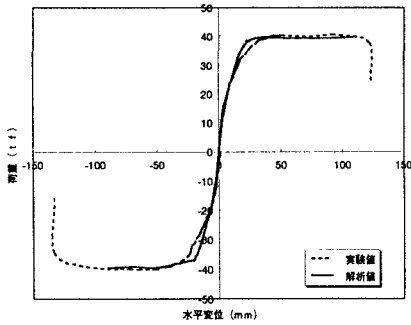


図-3 荷重変位曲線の包絡線

表-2 解析値と実験値¹⁾との比較

	荷重(tf)		水平変位(mm)	
	解析値	実験値	解析値	実験値
+1δy時	35.15	35.89	18.2	24.9
-1δy時	-35.39	-36.16	-18.2	-26.2
+2δy時	39.63	40.22	36.5	49.2
-2δy時	-38.47	-36.36	-36.5	-52.4
+3δy時	39.32	39.94	54.8	73.6
-3δy時	-39.69	-40.12	-54.8	-79.9
+4δy時	39.32	38.88	73.1	98.3
-4δy時	-39.27	-40.24	-73.1	-106.7
+5δy時	39.36	37.39	91.3	122.3
-5δy時	-39.73	-34.69	-91.3	-132.7

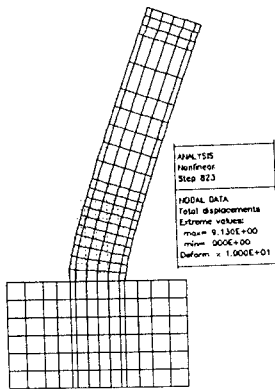


図-4 +5δy時の変位

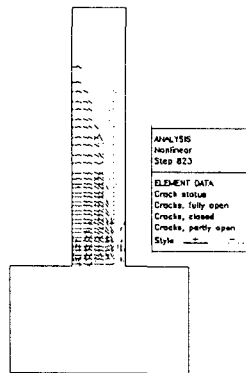


図-5 +5δy時のひび割れ状況

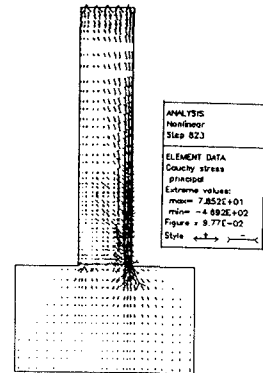


図-6 +5δy時のコンクリート主応力

+5δy時（頂部水平変位9.1cm）の解析結果の詳細を示す。図-4に変位、図-5にひび割れを示す。水平方向だけではなく、斜め方向のひび割れも観察される。図-6にコンクリートの主応力を示す。圧縮応力は荷重方向の柱基部に集中している。図-7に主鉄筋応力、図-8に帯鉄筋応力を示す。実験では、終局時の破壊モードが曲げ降伏後のせん断破壊であり、解析における帯鉄筋の降伏がこれを表すと考えられる。

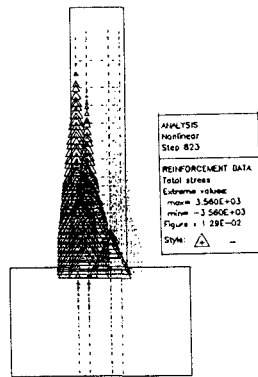


図-7 +5δy時の主鉄筋応力

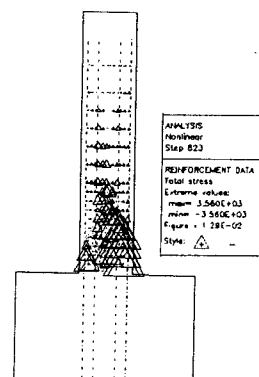


図-8 +5δy時の帯鉄筋応力

4. まとめ

材料非線形を考慮した有限要素解析により、RCラーメン高架橋柱のP~δの包絡線を実験値に近似できた。今後、終局状態の表現には、鉄筋の座屈、コンクリートの圧縮軟化を考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 佐藤、渡辺、安原：RC柱の鋼板巻きによる耐震補強効果、橋梁と基礎、Vol.30, No.8, pp.96-99, 1996
- 2) 日本コンクリート工学協会：破壊力学の応用研究委員会報告書、1993