

V-261 鉄筋コンクリート構造の終局耐力の解析

熊本大学 学生員 新田 晃久 熊本大学 正 員 渡辺 浩
熊本大学 正 員 崎元 達郎

1. はじめに：鉄筋コンクリート（以下RCと略）分野における有限要素法の活用に対する関心が今日高まっているように思われるのは、1)有限要素解析によって、RCの非線形挙動の統一のとれたアルゴリズムで解くことができる。2)対象とする構造物の形状や境界条件を任意に設定できる。3)本質的には見ることのできない応力の流れを見ることができる。4)用いる材料特性などに関するモデルが正しいものであれば、解析対象が広がる。などの事柄が挙げられる。しかし、対象とする問題によっては確立された方法論がまだない。そこで本研究では、有限要素法を考慮して、正負繰返し応力を受けるRC平面骨組構造物が終局状態に至るまでの挙動を明らかにすることができる解析プログラムを開発することを目的とする。

2. 解析理論：増分移動座標法により定式化する。1節点3自由度(u, v, θ)のはり一柱要素を用いた有限要素法を用いることとし、断面要素法により材料的非線形性を、断面分割要素毎の応力を積分した断面力を要素とする初期応力マトリックスにより幾何学的非線形性を考慮する。増分つり合い方程式は次式で定義する。

$$(K_{ep} + K_g) \cdot u = P - (T \cdot \bar{f} - \bar{P})$$

ここで、 K_{ep} :塑性の影響を考慮した微小変位の接線剛性マトリックス、 K_g :断面力を要素として含む初期応力マトリックス、 u :節点変位増分ベクトル、 P :節点外力増分ベクトル、 T :座標変換マトリックス、 f :部材座標による全断面力ベクトル、 $\bar{P}$:全外力ベクトル、 $T \cdot \bar{f} - \bar{P}$:荷重又は変位増分途中で生じる不釣り合い力、繰返し計算により、これが0になった時点が釣り合い状態となる。

3. 繰返し荷重を受けるコンクリートの応力-ひずみ関係

コンクリートの応力-ひずみ関係としては、図-1に示すようなものを考える。 f_c は圧縮強度、 f_t は引張強度で圧縮を正としている。主な性質は、①圧縮領域では、応力は圧縮強度を与える点Cまでは二次曲線で増加し、それ以降は点Eまで直線的に減少するとする。さらに点Eを越えると、以後は圧縮、引張のいかなるひずみにおいても応力は分担しないものとする。②圧縮領域にあるコンクリートに引張力が作用する場合は、そのひずみ ϵ がAC上にあるときには傾き E_c で点Hまで減少し、その後は引張強度を与える点Iまで直線的に変化する。また、 ϵ がCE上にあるときには傾き $2 \cdot \sigma / E$ で点G($\epsilon / 2, 0$)まで減少し、同様に点Iまで直線的に変化する。③引張領域では、応力は点Iまでは傾き E_c で増加して、それから点Jまで 2000μ の間、引張応力は直線的に低減するとする。④繰返し時には、ひずみが圧縮側から引張側に移る時には③の直線上を移動し、引張側から圧縮側に移る時には引張応力に転じた時のひずみまで応力は0とし、以後は②の直線に従って圧縮応力を受け持つものとした。

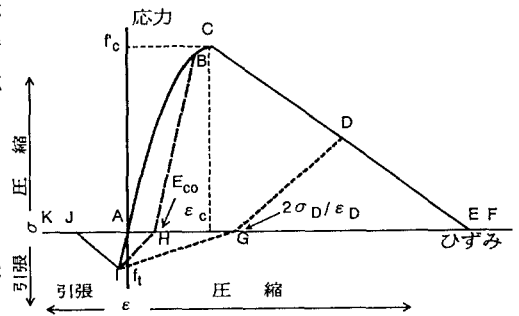


図-1 コンクリートの応力-ひずみ関係

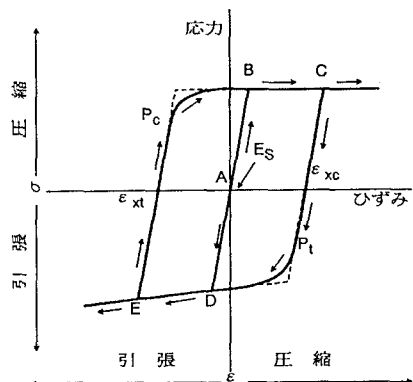


図-2 鉄筋の応力-ひずみ関係

4. 繰返し荷重を受ける鉄筋の応力-ひずみ関係

鉄筋の応力-ひずみ関係としては、図-2に示すように、バイリニア型の弾性-ひずみ硬化モデルを採用する。つまり、単調増加荷重の場合は引張側、圧縮側ともに降伏

点までは傾き E_s で上昇し、圧縮側は降伏点を越えると傾き0でひずみのみが増加し、引張側は降伏点を越えると1/100の傾きで上昇するとした。

圧縮を受けた部材が引張を受ける場合は、初期の引張曲線を正の方向に ε_{xc} だけ平行移動したものにバウシinger効果を考慮した遷移曲線を加えたものとなる。その逆の場合は、負の方向に ε_{xc} だけ平行移動したものに遷移曲線を加えたものとなる。

5. 数値解析法：部材は節点間のはり一柱要素に分割し断面は層状に分割した。断面要素の図心でひずみ、応力度、接線係数を評価して次式により、断面剛性及び断面力を計算する。

$$\overline{EA} = \sum E_i \cdot A_i \quad \overline{EI} = \sum E_i \cdot y_i^2 \cdot A_i + \sum E_i \cdot I_{oi}$$

$$N = \sum \overline{\sigma}_i \cdot A_i \quad M = \sum \overline{\sigma}_i \cdot A_i \cdot y_i$$

6. 解析結果：図-3(a)に示すような片持ちばり供試体について、正負交番曲げ载荷をした埼玉大学の実験¹⁾について解析を行った。供試体は、左側の太い部分をボルトで固定し、自由端の鉛直方向に交番力を作用させている。図-3(a)の供試体を図-3(b)のように要素を4部材に分割し、断面を40分割してモデル化を行った。载荷方法は変位制御で载荷をし、その変位を0.60cmとして、以降は ± 0.60 cm, ± 1.20 cm, ± 1.80 cm, ...を軸力をかけない場合は5回、軸力をかけた場合は4回繰り返している。各々の場合の载荷点における正負交番载荷履歴曲線を、実験により得られた実験値の包絡線（履歴曲線は与えられていない）とを併せて、図-4に軸力が0kgfの場合を、図-5に軸力が6000kgf作用する場合を示す。

本解析値と実験値とを比較すると、軸圧縮力による強度の増大を含めてほぼ良好な一致を示している。実験値の包絡線は第2サイクル以降に耐力が低下していくのが確認されるのに対し、図-4における本解析値の履歴曲線においては、この現象は確認されない。しかし、図-5においては変位2.0cm付近からの耐力の低下が確認された。これは変位2.0cm付近でコンクリートが圧壊をしたということがわかる。

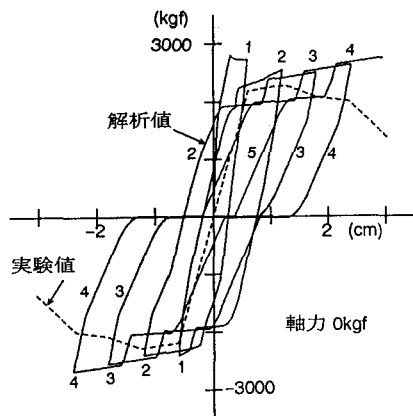


図-4 繰り返し载荷履歴曲線

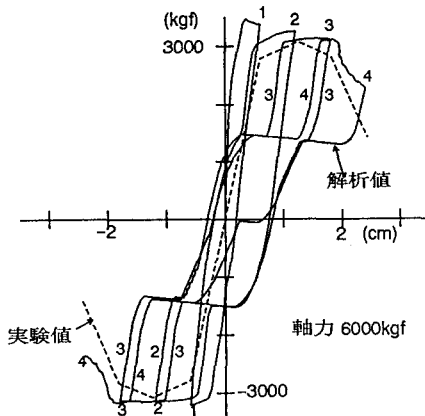


図-5 繰り返し载荷履歴曲線

7. まとめ：以上のことより、本解析理論における解析結果の履歴曲線と、実験値の包絡線との整合性はほぼ示されたと言える。しかし、解析モデルによってはまだ実験結果を妥当に評価できない場合があるので、あらゆるモデルに対しても解析し得るようプログラムに一般性をもたせることを今後の課題としたい。

参考文献：1) 豊田和彦・睦好宏史・町田篤彦：「RC部材の終局変位定量化に関する実験的研究」第7回コンクリート工学年次講演論文集, No. 158, 1985