

応用要素法(AEM)を用いた軸方向鉄筋の座屈を考慮した RC 柱曲げ破壊解析

中央大学大学院 学生会員 黒田 武大
 東京大学生産技術研究所 正会員 目黒 公郎

1. はじめに

構造物の崩壊に至るまでの破壊挙動を解明するためには、連続体から非連続体までの破壊現象を統一的に高い精度で扱える数値解析手法が求められる。目黒・Hatem によって開発された応用要素法 (Applied Element Method : AEM)¹⁾ はその可能性が期待される手法の 1 つである。AEM では微小変形から大変形・崩壊に至るまでの一連の挙動を追跡することが可能である。

ところで橋脚などの RC 構造物の崩壊過程では、軸方向鉄筋の座屈やそれに伴うかぶりコンクリートの剥離といった現象が、構造物の破壊挙動に大きく影響することが知られている。しかし従来の AEM 解析では、これらの現象は扱われていない。そこで本研究では鉄筋の座屈現象を AEM 解析で扱うためのモデルを構築し、実験結果との比較などによりその適用性を検討する。

2. 応用要素法

応用要素法(AEM)では、解析対象を仮想的に分割した要素の集合体として取り扱う。各要素は法線方向とせん断方向の 2 種類の分布バネでつながれている(図 1)。2次元解析の場合、各要素は水平、鉛直、回転の三自由度を有しており、分布バネを介して周囲の要素と力のやり取りを行う。各バネが代表する領域の材料がその領域に作用する応力に耐えられなくなると、バネが切断してクラックが自然に発生する。また RC を扱う場合、鉄筋位置に鉄筋の材料モデルを適用したバネを並列に配置することで、鉄筋の位置と量を直接考慮した解析が可能となる。

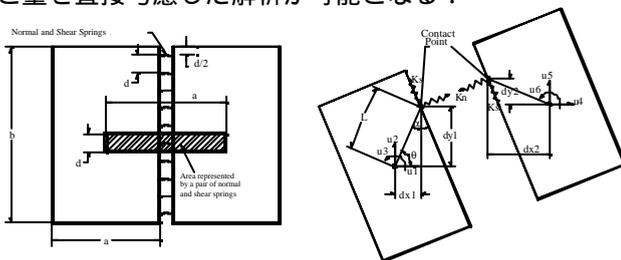


図 1 AEM のバネ分布と幾何学的関係

3. 鉄筋の座屈モデル

3.1 RC 柱の軸方向鉄筋の座屈現象

RC 柱の軸方向鉄筋の座屈現象には、次のようなメカニズムが知られている²⁾。まず引張縁のかぶりコンクリート

に引張りひび割れが発生し(図 2(a))、鉄筋を拘束しようとする効果が徐々に低下する。また、引張縁の軸方向鉄筋は塑性変形し、その後圧縮縁へと転じようとする状態(図 2(b))では残留圧縮応力が生じている。この時、圧縮応力によって鉄筋がはらみ出ようとしてかぶりコンクリートを押しやり、かぶりコンクリートによる拘束力が低下していると、軸方向鉄筋の座屈及びかぶりコンクリートの剥離が発生する。

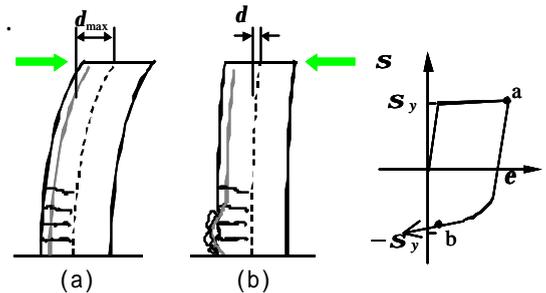


図 2 軸方向鉄筋の座屈発生メカニズム

3.2 モデル化

本研究では上記のようなメカニズムを踏まえて、AEM 解析で鉄筋の座屈を扱うためのモデルを構築した。まず座屈の対象となる鉄筋の範囲は、作用する軸力と Euler の座屈荷重(式(1))との比が最大となるような範囲とする。

$$P_{cr} = \left(\frac{p}{aL} \right) EI \quad (1) \quad d(x) = \frac{d_0}{2(P_{st}/P_{cr})} \left\{ 1 - \cos \left(\frac{2p}{L} x \right) \right\} \quad (2)$$

ただし、この範囲がそのまま座屈範囲となるわけではなく、座屈長はかぶりコンクリートが保持している拘束力との関係によって後に自動的に決まる。次にこの範囲の鉄筋を拘束するかぶりコンクリートを図 3(a)のように仮想的に取り外した無拘束の鉄筋を考え、この鉄筋のたわみ曲線が式(2)で与えられるものとする。ここで d_0 は区間中央の初期たわみ量であり、鉄筋周囲のコンクリートの損傷程度

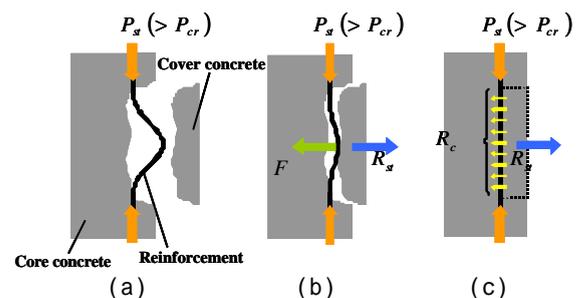


図 3 鉄筋の座屈のモデル

キーワード：応用要素法、座屈現象、軸方向鉄筋、鉄筋コンクリート、数値解析

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 B 棟 目黒研究室 TEL: 03-5452-6437

に依存するものと考えられる．ここでは鉄筋と同じ位置のコンクリートバネが過去に経験した最大圧縮ひずみの関数とし、ピークひずみまではコンクリートと鉄筋は一体となって挙動するものとし、たわみはゼロ、それ以降は4次関数とした．そして、このたわみ鉄筋を図3(b)のようにゆっくりと最後まで押し戻したときに生じる仮想反力 R_{st} を、かぶりコンクリートに負担させることとした．即ち、 R_{st} が拘束力を上回ると、力の釣合いが崩れて鉄筋の座屈及びかぶりコンクリートの剥離が自動的に発生する．簡単のため、 R_{st} は無拘束鉄筋のたわみ量と比例関係とした．また、各材料については図4のようなモデルを用いた．

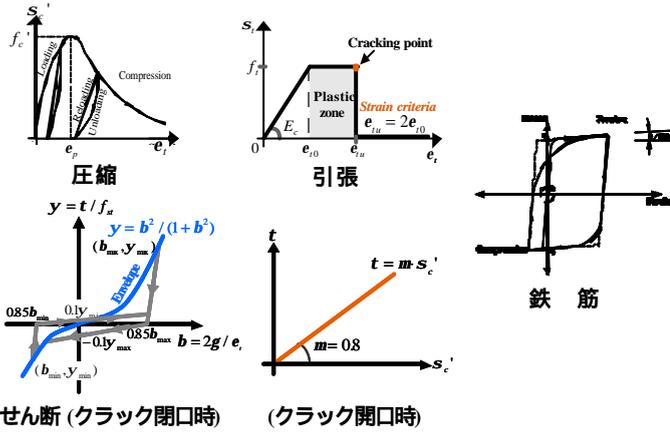


図4 コンクリートと鉄筋の構成則

4. 結果と考察

4.1 解析対象

解析対象は図5に示すような矩形断面単柱の交番荷重破壊実験³⁾であり、荷重条件は漸増型の変位制御とした．材料諸元は表1のとおりである．

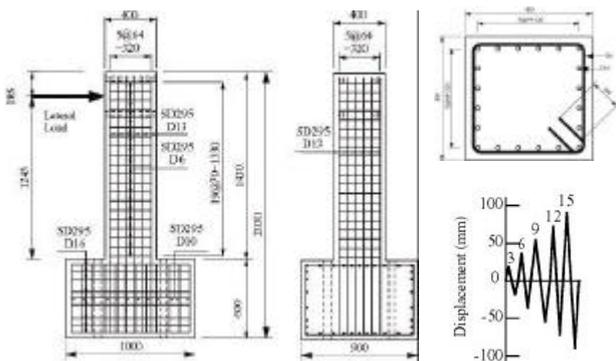


図4 解析対象寸法(mm)と荷重履

表1 材料諸元 (kN/m²)

	Compressive Strength	Tensile Strength	Young's Modulus	Yield Strength
Concrete	350	35	2.46×10^4	
Longitudinal Reinforcement			1.86×10^6	3830
Tie Reinforcement			1.89×10^6	3770

4.2 解析結果

解析結果及び実験結果のP - 関係を図5に示す．改良前の解析結果は、変位が6cm程度までは実験とよく合っているが、実験において鉄筋の座屈が問題となる領域では

図6に示すように解析精度が低くなっている．それに対して改良後のモデルを用いた解析結果では、鉄筋の座屈の効果がよく現れており、精度の向上が見られる．

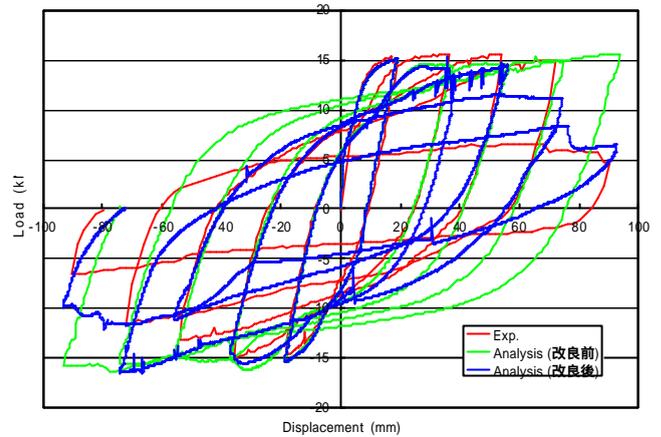


図5 P - 関係(1)

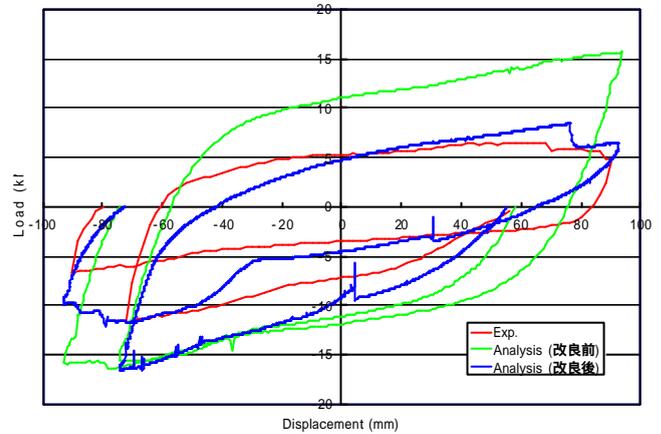


図6 P - 関係(2)

5. まとめ

本研究ではAEM解析において鉄筋の座屈を考慮するためのモデルを構築した．このモデルは座屈が発生する位置・範囲・時点が、周囲のコンクリートの状況などによって自動的に決定される特徴を有している．またこれにより、これまでは表現できていなかった座屈の効果がある程度の精度で得られることがわかった．今後は他の解析対象でも検討を進め一層の精度の向上を図り、更にAEMの特徴を生かした崩壊過程までの解析を目指したい．

参考文献

- 1) Meguro K. and Tagel-Din H.:A new efficient technique for fracture analysis of structures, Bulletin of Earthquake Resistant Structure, IIS, The University of Tokyo, No.30, pp. 103-116, 1997.
- 2) 建設省土木研究所耐震技術研究センター耐震研究室：軸方向鉄筋の座屈解析による鉄筋コンクリート橋脚の塑性ヒンジ長に関する研究，2000.9
- 3) 武村浩志，川島一彦：荷重履歴特性が鉄筋コンクリート橋脚の変形性能に及ぼす影響，構造工学論文集，1997.3