

I - 207

コンクリート構造物における2次元クラック進展解析

建設技術研究所 正員 ○松永昭吾

建設技術研究所 正員 伊藤恭平

岡山大学環境理工学部 正員 広瀬壮一

岡山大学環境理工学部 正員 谷口健男

1. はじめに

コンクリート構造物におけるクラック進展による破壊現象では、クラック先端周辺に数cmから数十cmにわたってマイクロクラックが累積した破壊進行領域が存在し、そこでは開口方向変位が増加するにつれ伝達応力が減少する引張軟化現象が生ずる。そこで、「仮想クラックモデル」¹⁾の採用により、破壊力学を適応した非線形クラック進展解析システムを構築し、「はりの曲げ破壊」(図1)について2次元非線形解析を行った。また、混合モード下におけるクラック分岐現象に関する検討を行うため、「アンカーボルトの引き抜き破壊」(図2)の2次元線形解析を行い実験結果と比較した。要素分割にはデローニー三角分割法を利用した要素自動分割²⁾を用いた。

2. 非線形解析

数値解析手法としては、変位法を基とした有限要素解析を用いた。仮想クラックモデルの導入には、村上の提案する影響係数法³⁾を採用した。これは、移動境界値問題として線形解析結果の重ね合わせを行うものであるが、この手法で用いる応力拡大係数の算定にはIngraffeaの提案する算定式を用いた。適用性を検討するため「はりの曲げ破壊解析」を行った。引張軟化曲線に直線モデルを採用した³⁾。クラックは直進するものとした。図3に荷重-変位曲線(変位はA点鉛直方向変位)を示す。比較のため、図4に(社)日本コンクリート工学協会により行われた共通実験の結果を示しておく。最大荷重については、線形解析に比べ、非線形解析の方が再現性が高いことがわかる。

3. 線形解析によるクラック分岐に関する検討

コンクリート構造物の破壊に頻繁にみられる混合モード下におけるクラック分岐解析の可能性に関する検討をクラック進展毎の等応力線図により行った。各進展毎のクラック進展方向の決定には、「クラック先端の周方向直応力最大方向」⁴⁾、「ひずみエネルギー密度最小方向」⁵⁾の2つを採用したがどちらもほぼ同様の進展経路が得られた。図5に変形図ならびに等応力線図、図6に実験¹⁾によるクラック進展経路を示す。クラック先端部分の等応力線は、先端を中心とする同心円状に比較的狭い領域に形成されたまま進展していくが、先端が押さえ点下方にさしかかったあたりから、応力集中している部分の面積が広くなり、その領域の形状も複雑になっている。また、この時点では応力拡大係数 K_{II} (モードII)が増大し、進展方向も比較的急激に変化している。マイクロクラックを生成しうる条件での等応力線内部ではマイクロクラックが累積していることが考えられ、変形した破壊進行領域を予測できればクラック分岐を考慮した解析も可能となる。

4. おわりに

実験結果との比較により、既存の線形解析より結合モデルを用いた非線形解析の方が、最大荷重については再現性が高いことがわかった。今後は、混合モード下における非線形解析システムを構築するため、せん断軟化挙動を実験的に明らかにする必要がある。さらに、クラック分岐による荷重-変位曲線への影響を検討し一般的なコンクリート構造物への適用を図っていきたい。

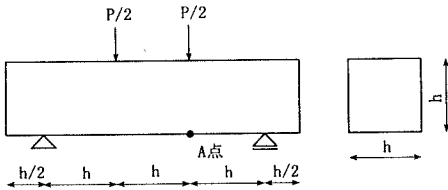


図1 はりの曲げ破壊解析モデル ($h=200\text{mm}$)

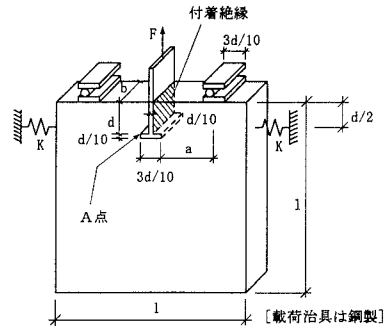


図2 アンカーボルトの引き抜き破壊解析モデル

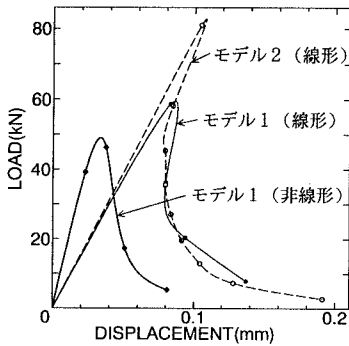


図3 荷重－変位曲線（解析結果）

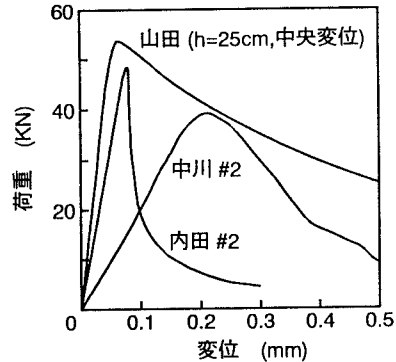
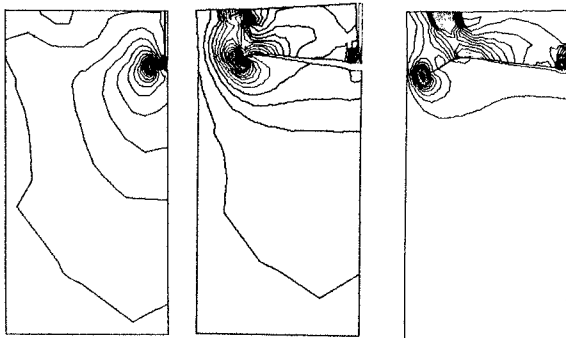
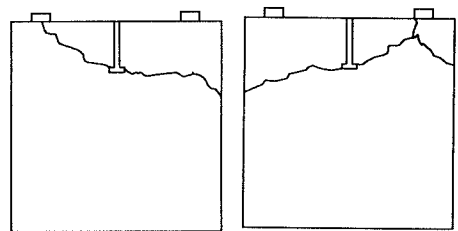


図4 荷重－変位曲線（実験結果¹⁾）



(a)進展3回目 (b)進展20回目 (c)進展24回目

図5 変形図ならびに等応力線図（単一クラック）



(a)中島らの実験1 (b)中島らの実験2

図6 クラック進展経路（実験結果¹⁾）

参考文献

- 1) 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，1993.
- 2) 谷口健男：FEMのための要素自動分割，森北出版，1992.
- 3) 村上聖：境界要素法を用いた結合力モデルの非線形解析，熊本大学工学部研究報告，1992，pp. 185-198.
- 4) Erdogan, F., Sih, G. C. : On the crack extension in plates under plane loading and transverse shear, Journal for Numerical Methods in Engineering, Trans., ASME, 1963, pp. 519-527.
- 5) Sih, G. C. : Introductory chapter, A special theory of crack propagation, Mechanics of fracture, 1, Noordhoff, 1972, pp. 21-45