

CS - 15

不均質材料中のひびわれ進展解析

岡山大学大学院 学生員○松永昭吾

岡山大学工学部 正 員 廣瀬壮一

建設技術研究所 正 員 伊藤恭平

岡山大学工学部 正 員 谷口健男

1. まえがき コンクリートの材料不均質性を考慮した解析を行うため、疑似乱数を用いた節点配置による要素分割の導入について検討を行った。なお、破壊力学理論としては、線形弾性破壊力学理論を用い、比較のため格子状節点配置による要素分割を用いた線形解析と、引張軟化曲線を導入した非線形解析を行った。

2. 解析対象 (社)日本コンクリート工学協会破壊力学の応用研究委員会により提案された共通解析問題1 無筋コンクリートはりの曲げ破壊の解析問題¹⁾を対象として解析を行う(図1, $h=200\text{mm}$)。なお、材料定数についても同委員会の提案値を採用し、破壊エネルギー $G_F=100(\text{Nm/m}^2)$ 、引張強度 $f_t=2.9(\text{MPa})$ 、弾性係数 $E_c=27.5(\text{GPa})$ 、ポアソン比 $\nu=0.2$ とする。

3. 要素分割法 有限要素分割には、デローニー三角分割法²⁾を用いた要素自動分割を利用する。その際ひびわれ進展経路周辺部には疑似乱数による節点配置を行い、その他の部分には、格子状節点配置を行った。また、比較のため格子状節点配置のみによる要素分割を用いた線形、及び非線形解析も行うが、その際ひびわれ先端部には、図2に示すひびわれ先端部用要素配列を配す。なお、ひびわれ先端部には、アイソパラメトリック特異要素を、それ以外には6節点アイソパラメトリック要素を用いる。

4. 数値解析法 数値解析手法として、変位法を基とした有限要素法を用いる。応力拡大係数の算定には、Ingraffeaの提案する算定式³⁾を用い、線形解析の破壊条件としては、破壊靱性値 $K_{Ic}=\sqrt{E G_F}$ を用いる。なお、ひびわれ先端における周方向直応力最大となる方向に最も近い要素辺を二重節点化することによりひびわれを進展させた。非線形解析には、結合力モデル(cohesive force model)を用いた村上の提案する手法⁴⁾を適応させて用いる。図3に解析に用いた引張軟化曲線(直線モデル)を示す。

5. 解析結果 図4にひびわれ進展状況、図5に荷重-変位曲線を示す。ここでの変位は、図1中のA点の変位を採用した。図4, 5とも(a)は、疑似乱数を用いた要素分割による線形解析結果を、(b)は、格子状節点配置のみを用いた要素分割による線形解析結果を、(c)には、同じく格子状節点配置のみによる非線形解析結果を示した。なお、(b)には、図2(a)に示した細かい要素配列を用いた解析例を、(c)には、図2(b)に示した粗い要素配列をひびわれ先端に用いた解析例を示した。参考のため図6に実験結果¹⁾を示す。この結果より、疑似乱数を用いた要素分割を導入した解析でも、傾向的には格子状節点配置のみによるものとは同様の結果が得られることがわかった。線形解析では、実験結果に比べ最大荷重が高い値となった。非線形解析については、ひびわれ進展回数、及び、要素数を増やしさらに詳細な解析が必要であると考えられる。

6. あとがき 今回の結果からは、疑似乱数を用いた要素分割による解析の有用性は認められなかったが、

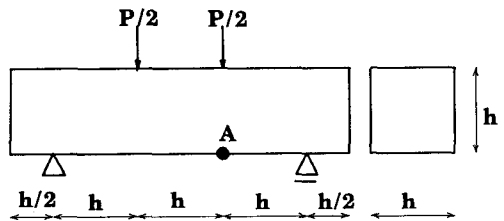
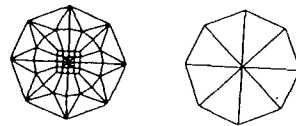


図1 解析モデル

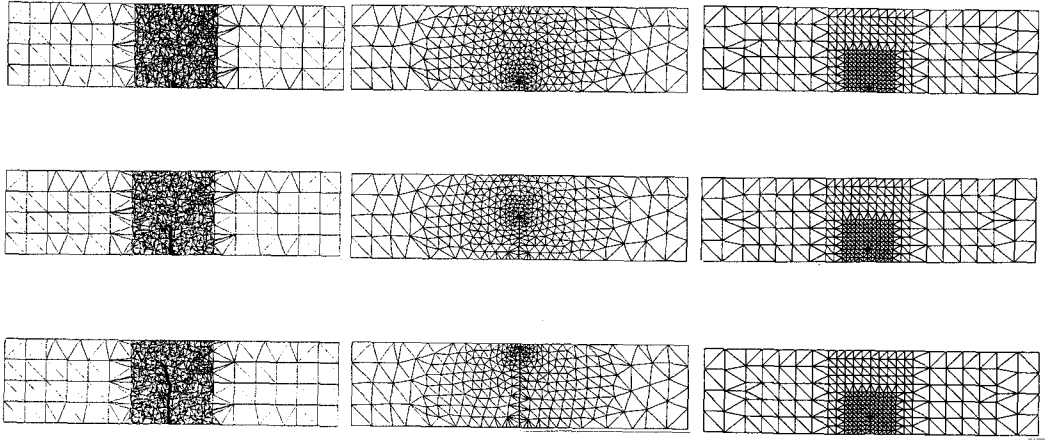


(a) fine

(b) rough

図2 ひびわれ先端要素配列

有限要素法による解を支配する要素形状、及び、要素寸法に関する検討は、コンクリート構造における寸法効果などの問題と絡め、引張軟化曲線を導入した非線形解析との両面から今後検討していく必要があると考えられる。なお、現在混合モード下における非線形解析、及び、ひびわれの分岐に関する検討を行っている。



(a) 擬似乱数、線形解析

(b) 格子状、線形解析

(c) 格子状、非線形解析

図4 ひびわれ進展状況

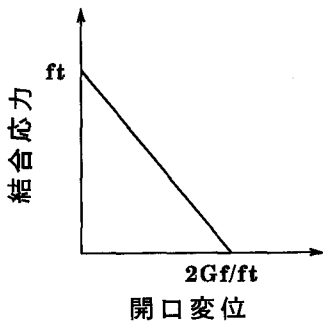


図3 解析で用いた引張軟化関数
(直線モデル)

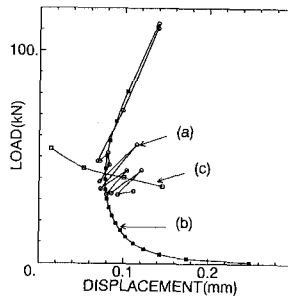


図5 荷重-変位曲線

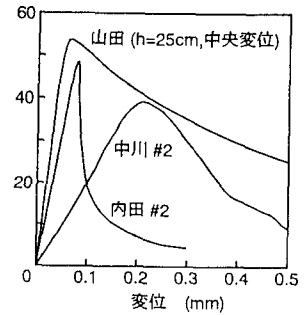


図6 実験結果¹⁾

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書，1993
- 2) 谷口健男：FEMのための要素自動分割～デローニー三角分割法の利用，森北出版，1992
- 3) A.R. Ingraffea：Numerical modelling of fracture propagation, Rock Fract. Mech (ed. H. P. Rossmaith), Springer, Berlin, 1983, pp.151-208
- 4) 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