

CS 61

アンカーボルトによるコンクリートの破壊解析

岡山大学大学院 学生員 ○松永昭吾
 機建設技術研究所 正員 伊藤恭平
 岡山大学工学部 正員 広瀬壮一
 岡山大学工学部 正員 谷口健男

1.まえがき (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より提案された共通解析問題2を対象として、アンカーボルトの引き抜きによるき裂伝播の様子を数値的にシミュレートし、実験結果と照合する。なお、ここでは、線形破壊力学理論を用いる。

2.解析対象 同共通解析問題の形状を図1に示す(図中において、 $d=150\text{mm}$, $a=2d$, $b=100\text{mm}$, $l=900\text{mm}$, $K=0$)。また、比較のため、 $a=d/2$ 、及び、 $K=\infty$ についても解析を行う。材料定数については、以下の通りである。

弾性係数E(GPa) ポアソン比ν

コンクリート部	30.0	0.2
アンカーボルト	210.0	0.3

また、破壊エネルギー $G_F=100(\text{Nm}/\text{m}^2)$ とする。

3.き裂伝播解析 本研究では、線形破壊力学理論に基づいて解析を行う。数値解析手法としては、変位型FEMを用いる。応力拡大係数の算定には、Ingraffeaが提案した算定式¹⁾を用いる。なお、モードIに対応する応力拡大係数 K_I が、破壊靭性値 $K_{IC}=\sqrt{EG_F}$ にいたったとき、ひび割れは進展するものとする²⁾。

ひび割れ進展方向の決定には、ひび割れ先端の周方向直応力最大の方向³⁾を用いる。また、ひび割れの進展量は、任意とし、なめらかな進展結果が得られるように調節を行った。

また、破面近傍の引張応力状態から、分岐ひび割れを考え、分岐ひび割れの発生する場合についても解析を行った。

4.数値解析とその結果 要素分割は、デローニー三角分割法による要素自動分割⁴⁾を行う。ひび割れ先端には、図2(a)(b)に示す様な2種のひび割れ先端要素を用い精度についての比較を行った。今回は、(a)(b)の円形配列(実際には八角形)の半径を3mm程度にとって比較を行ったが進展経路に大差はなかった。したがって、経路解析には、(b)の要素配列で十分であることがわかった。

以下の結果は図2(a)のfineを用いたものである。尚、先端の最内側8要素には特異アイソパラメトリック要素を用い、その他の要素はアイソパラメトリック要素を配している。

$a=2d$ の場合の解析結果を図4に、 $a=d/2$ の場合の解析結果を図5に示す。図4、図5とともに、(a)は、 $K=0$ の場合、(b)は、 $K=\infty$ の場合、(c)は、分岐ひび割れのある場合、(d)は、分岐ひび割れがある場合の変形図を示した。

進展経路の決定には、アンカーボルトからの距離 a の押さえ点の位置、及びバネ剛性 K の影響が大きくあらわれており、 K_\parallel を減少させる方向にひび割れが進展していることがみとめられた。

また、 $a=2d$, $K=0$ 、单一ひび割れの場合のA点の荷重-変位曲線を図3に示す。

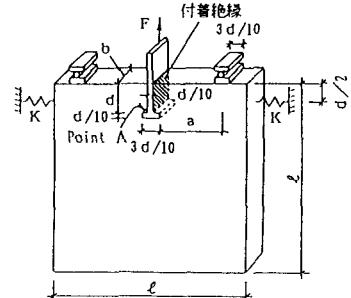


図1 共通解析モデル

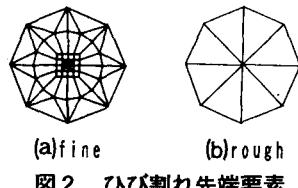


図2 ひび割れ先端要素

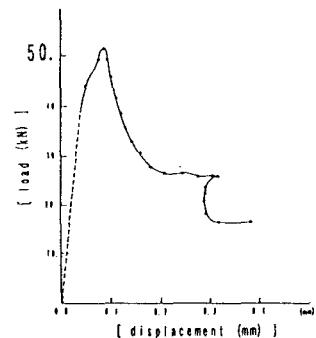


図3 荷重-変位曲線

5.あとがき 今回は、線形破壊力学理論を用いて解析を行ったが、進展経路については、実験結果⁵⁾との比較の結果、精度の良い結果が得られることがみとめられた。また、部分的に細かい要素分割を行ったため、比較的少ない要素数で効率的に良好な解を得ることができた。主なひび割れの分岐メカニズムについては、今後も十分な検討が必要であろう。引張軟化特性を導入した非線形解析による解析も行い、線形解析との比較検討を行う予定である。

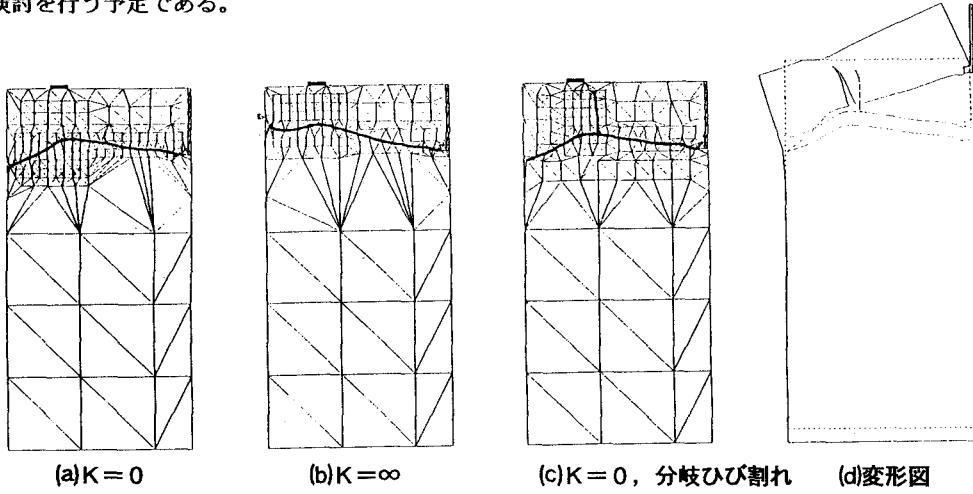


図4 $a = 2d$ モデル

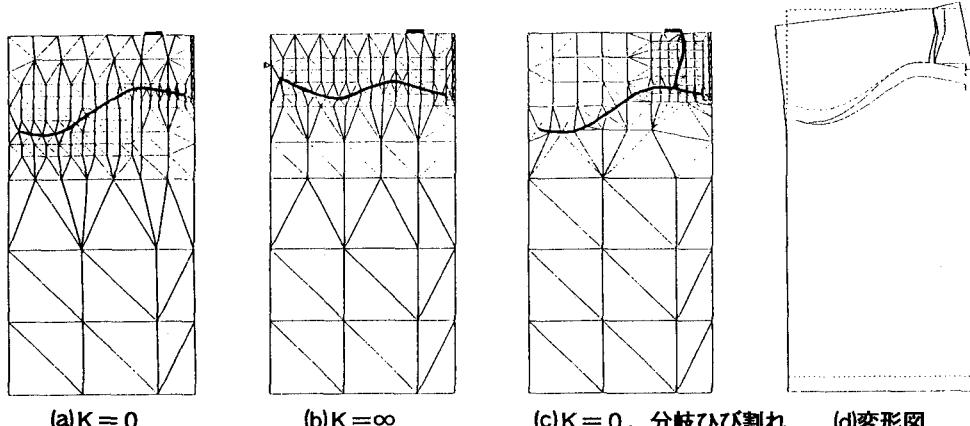


図5 $a = d/2$ モデル

《参考文献》

- 1) A. R. Ingraffea; Numerical modelling of fracture propagation, Rock Fract. Mech. (ed. H. P. Rossmath), Springer, Berlin, pp. 151-208, 1983
- 2) J. Wang, P. Navé, C. Huet; Round-Robin Analysis of Anchor-Bolts, RILEM TC-90 FMA, Fracture Mechanics of Concrete—Applications, Preliminary Report, May 1991
- 3) F. Erdogan, G. C. Sih; On the Crack Extension in Plates Under Plane Loading and Transverse Shear, Journal of Basic Engineering, pp. 519-527, 1963
- 4) 谷口健男; FEMのための要素自動分割～デロ二ー三角分割法の利用, 森北出版, 1992
- 5) A. Helbling, A. M. Alvarado, F. H. Wittmann, Round Robin Test of Anchor Bolts, RILEM TC-90 FMA, Fracture Mechanics of Concrete—Applications, Preliminary Report, May 1991