

変位制御下の介在物周辺のはく離及びクラックの進展特性

名古屋工業大学 学生員 伊藤 孝司

名古屋工業大学 正 員 長谷部宜男

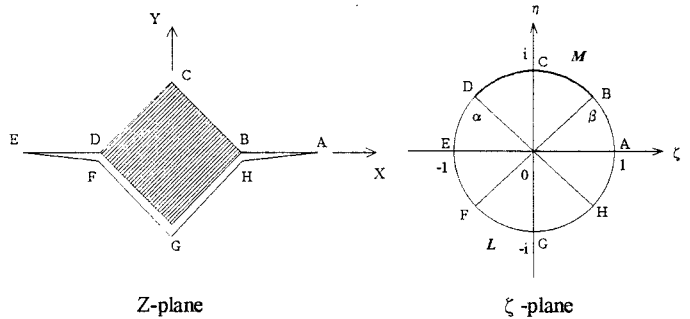
名古屋工業大学 正 員 中村 卓次

1. まえがき 介在物周辺に発生したはく離や介在物から発生したクラックが、変位制御を受けて引張られるときどのように進展するか、進展特性について述べる。解析には弾性体部分を、 ζ -planeの単位円の外部に等角写像する関数と複素応力関数を用い介在物を剛体として、混合境界値問題を解く。コンクリートや金属など介在物を有する弾性体の荷重の载荷方法の違いによる破壊の現象の違いについて調べる。

2. 解法 図-1に示すような解析領域 (Z -plane) を単位円外 (ζ -plane) に等角写像する写像関数は次式のように示される[1, 2]。

$$Z = \omega(\zeta) = E_0 \zeta + \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{\zeta_k - \zeta} + E_{-1}$$

ここに E_0 、 E_k 、 E_{-1} 、 ζ_k は、形状によって決まる定数である。弾性体と剛体介在物が接合している部分を変位のない剛境界 (M)、その他の部分を自由境界 (L) とする。M上、L上の境界条件式は、複素応力関数を用いて次式のように表される。

図-1 解析領域 (Z -平面) と単位円 (ζ -平面)

$$\kappa \phi(\zeta) - \frac{\omega(\zeta)}{\omega'(\zeta)} \overline{\phi'(\zeta)} - \overline{\psi(\zeta)} = 2G(u + iv) \quad \text{on } M$$

$$\phi(\zeta) + \frac{\omega(\zeta)}{\omega'(\zeta)} \overline{\phi'(\zeta)} + \overline{\psi(\zeta)} = i \int (P_x + iP_y) ds \quad \text{on } L$$

ここに G はせん断弾性係数、 P_x 、 P_y ならびに u 、 v は境界上のそれぞれ x 、 y 方向の外力、変位を表す。 y 方向に一様引張り荷重 P を受ける場合の複素応力関数 $\phi(\zeta)$ は次式のように表される[1, 2]。

$$\phi(\zeta) = \chi(\zeta) \left\{ \frac{PE_0}{2\chi(0)\zeta} + \frac{P}{4} E_0 - \sum_{k=1}^n \frac{\overline{A_k} B_k + PE_k/4}{\chi(\zeta_k)(\zeta_k - \zeta)} \right\}$$

A_k 、 B_k は定数であり、 $\chi(\zeta) = (\zeta - \alpha)^m (\zeta - \beta)^{1-m}$ はプレメリー関数である。 α 、 β は、はく離先端の点の単位円に対応する点であり、また、 $m = 0.5 - ir$ 、 $r = \ln \kappa / (2\pi)$ である。 κ はポアソン比 ν の関数であり、 $\kappa = 3 - 4\nu$ (平面ひずみ状態)、 $\kappa = (3 - \nu) / (1 + \nu)$ (平面応力状態) である。この関数は境界上で次を示すような関係を満たす。

$$\chi^+(\zeta) = \chi^-(\zeta) \quad \text{on } M, \quad \chi^+(\zeta) = -\kappa \chi^-(\zeta) \quad \text{on } L$$

ここで、右上の肩符 $+$ は ζ が単位円の外から近づいた $\chi(\zeta)$ の値を、 $-$ は内から近づいた $\chi(\zeta)$ の値を表している。 $\psi(\zeta)$ は、外力の作用していない境界が存在すると解析接続の原理から次式より得られる。

$$\psi(\zeta) = -\overline{\phi(1/\bar{\zeta})} - \frac{\overline{\omega(1/\bar{\zeta})}}{\omega'(\zeta)} \phi'(\zeta)$$

3. 解析結果 図-2に示すように正方形の介在物に縦方向に一樣に引張力が作用した場合の解析結果を示す。まず、図-2、図-3に介在物にはく離が発生し、隅角部まで進展していくまでを示す。図-2には一樣引張り荷重 P を受けた場合[1]の無次元化したはく離の応力の強さ $c = |c_0| / P\sqrt{a}$ の値をはく離の位置 b に対して示す。図-3は変位制御で行った場合で、隅角部A(図-3)での変位 v を一定となるように荷重 P を作用させた場合である。縦軸に、無次元化したはく離の応力の強さ $c' = c/v$ の値を示す。図-4、図-5にはく離が隅角部に進展した後そこからクラックが発生し、そして進展していく様子を示す。

図-4は一樣引張り荷重 P を受けた場合[2]の無次元化した応力拡大係数 $K = K_I / P\sqrt{\pi a}$ 、図-5は変位制御で行った場合で、隅角部A(図-5)での変位 v を用いて縦軸に無次元化した応力拡大係数 $K' = K/v$ をクラック長さ b に対して示す。図-2より、 c は b/a に対して単調増加を示している。つまり、一旦はく離が発生すると隅角部まではく離が進展してしまうことがわかる。また図-4より K は下に凸な曲線を示し、つまりクラックはある程度の大きさを過ぎると一気に進展することがわかる。通常の場合にはく離やクラックの進展に対して以上のような特性がある。

それに対する変位制御で行った場合図-3図-5からわかるように、単調減少の曲線を示している。これにより変位制御の場合、はく離やクラックが一気に進展するようなことは決してなく、進展するためには変位の増大を待たなければならないことがわかる。

参考文献

- 1) 上田・長谷部・児島・中村 土木学会論文集 No. 455/I-21 (1992)
- 2) 長谷部・上田・山本・中村 構造工学論文集 Vol. 38. A (1992)

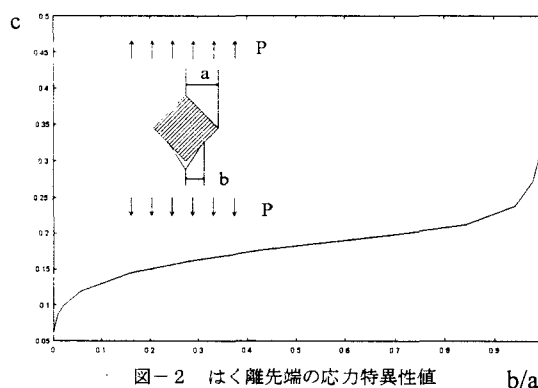


図-2 はく離先端の応力特異性値

b/a

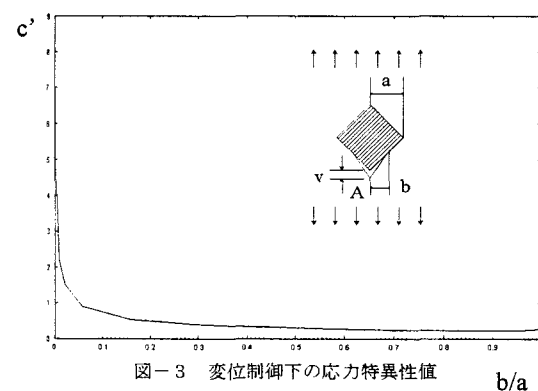


図-3 変位制御下の応力特異性値

b/a

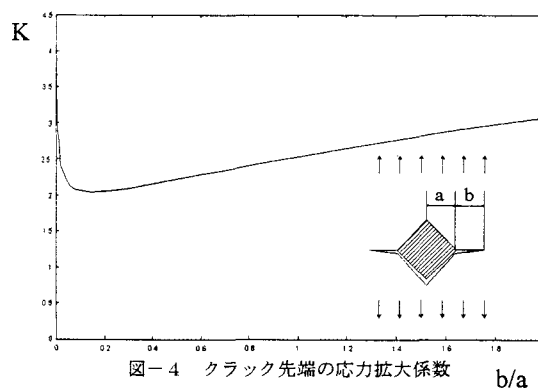


図-4 クラック先端の応力拡大係数

b/a

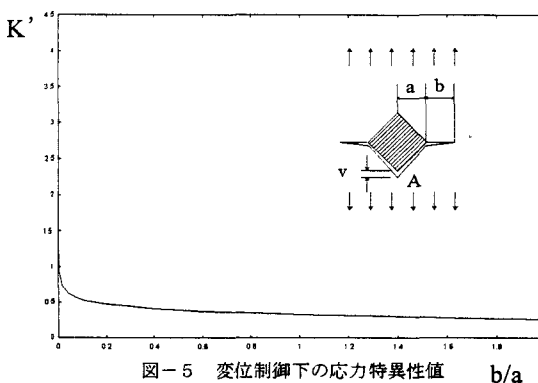


図-5 変位制御下の応力特異性値

b/a