

CS1-24〔I〕

圧縮荷重下におけるクラックの接触問題

岡山大学大学院 学生員 ○上田和哉  
 岡山大学工学部 正会員 廣瀬壮一  
 岡山大学工学部 正会員 谷口健男

1. まえがき 近年、土木構造物におけるクラックの発生及び進展に関する数々の研究報告が行われている。クラックの解析は通常クラック面が接触しないという仮定の下で行われることが多いが、現実には、必ずしもその仮定は正しくない。実際のクラックを考えると、クラック面は接触することも予想され、接触条件を考慮に入れた解析を行う必要がある。よって、本研究では、摩擦力を伴うクラック面の接触を考慮した二次元クラック解析を境界積分方程式を用いて行った。

2. 接触条件 外力の作用していない状態においてクラック面の法線方向に  $[u_{\dots}]$  ( $> 0$ ) なる初期開口変位が存在すると仮定する。このようなクラックに圧縮荷重が作用させたときのクラックの開口変位をクラック面に法線方向と接線方向に分解してその各々の成分を  $[u_n]$ 、 $[u_t]$  とする。同様に、接触したクラックに作用する表面力の法線方向成分と接線方向成分を  $t_n$ 、 $t_t$  とすると、クラック面では以下の条件が満足される。以下、 $\gamma$  は摩擦係数を表わす。

- ・ 接触していないクラック面では、  $t_t = t_n = 0$
- ・ 接触しているクラック面では、  $[u_n] = -[u_{\dots}]$   
 $|t_t| = \gamma |t_n|$ 、 $\text{sgn}(t_t) = \text{sgn}([u_t])$

また、クラック面全体において満足されるべき条件は、次のように表わされる。

$$[u_n] + [u_{\dots}] \neq 0 \quad (1)$$

$$t_n \neq 0 \quad (2)$$

3. 境界積分方程式 遠方において  $\sigma$  なる応力が作用する無限弾性体中のクラックを考える。このときクラック面  $S_c$  での表面力  $t$  は次式によって表わされる。

$$t_i(x) = \bar{t}_i(x) + p.f. \int W_{ij}^{-1}(x;y) [u_j(y)] dS_y \quad x \in S_c \quad (3)$$

ここに、 $t_i = n_j \sigma_{ij}$  ( $n$ : 法線ベクトル) であり、p.f. は積分の有限部分を表わし、 $[u]$  はクラック開口変位を表わす。また、積分核  $W_{ij}^{-1}(x;y)$  は点  $y$  に  $j$  方向に変位の不連続が生じた場合の点  $x$  における  $i$  方向の表面力成分を表わす。そこで、クラック面での接触条件を考慮するため、直交座標系で表わされた式(3)をクラック面でのローカルな座標系に変換、離散化すると次の様になる。

$$\begin{Bmatrix} \vdots \\ [u_n^I] \\ [u_t^I] \\ \vdots \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \vdots \\ t_n^I \\ t_t^I \\ \vdots \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} \vdots \\ \bar{t}_n^I \\ \bar{t}_t^I \\ \vdots \end{Bmatrix} \quad (4)$$

4. 収束計算の手順 クラック面での接触領域は、あらかじめ与えられるものではないので、クラックの接触問題は非線形問題となる。そこで、以下の手順を用いて収束計算を行った。式(4)で  $I$  番目の要素における法線方向の開口変位が、式(1)を満たさない場合、クラックが接触していると考え、式(5)で表わされるようにマトリックスの組み替えを行う。式(2)を満たさない場合は、その要素では接触を起こしていないと考

えられるので、表面力を0として、開口変位を未知数とするマトリックスを構成し再び解析を行う。以上、全ての要素で、式(1)、(2)が満足されるまで繰り返す。

$$\begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & 0 & \vdots \\ \vdots & \gamma & \vdots \\ \vdots & -1 & \vdots \\ \vdots & 0 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \vdots \\ [u_n^I] \\ t_n^I \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} \vdots \\ t_n^I \\ \vdots \end{Bmatrix} + [u_{gap}^I] \quad (5)$$

5. 解析例 解析例として、遠方において $\sigma_{11} = \delta_{21} \delta_{21} \sigma_0$ なる応力を受ける図1の様な折れ線状のクラックを考える。図2、3は、クラック面上での摩擦係数 $\gamma$ を変化させたときの、クラック先端で応力拡大係数(K I、K II)を示したものである。但し、クラックの初期開口変位 $[u_{gap}^I]$ は0とした。これにより、クラック面上での摩擦係数 $\gamma$ と応力拡大係数は線形な関係を持つことが分かった。また、図4、5では摩擦係数 $\gamma=0$ の時の開口変位、及び表面力を示した。これにより、図1に示すき裂の上辺と下辺において開口が見られ、中央の辺では接触を起こしていることが分かる。

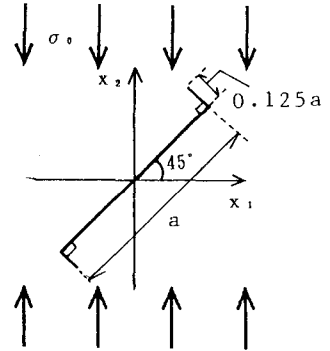


図1 解析モデル

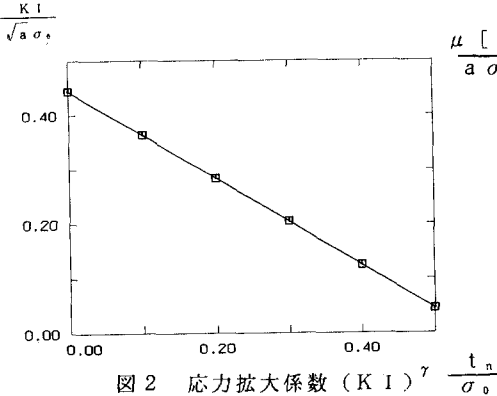


図2 応力拡大係数(K I)  $\gamma$

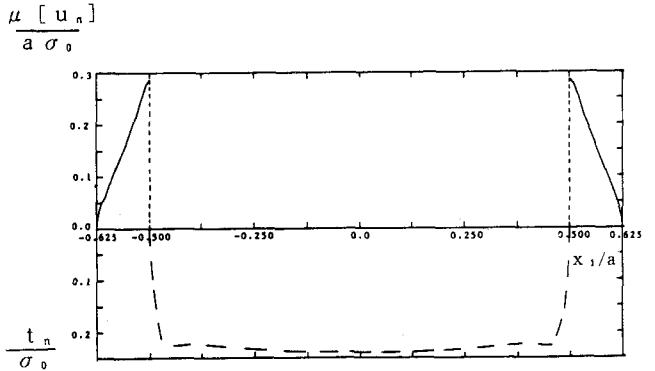


図4 開口変位及び表面力(法線方向)

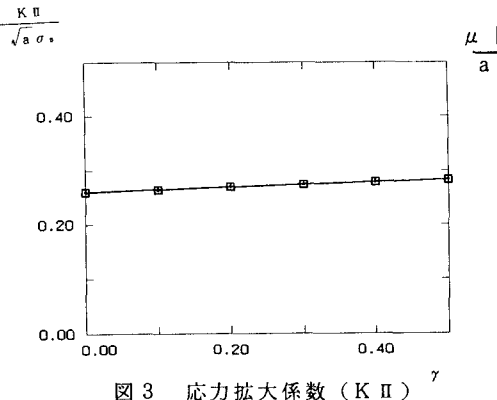


図3 応力拡大係数(K II)  $\gamma$

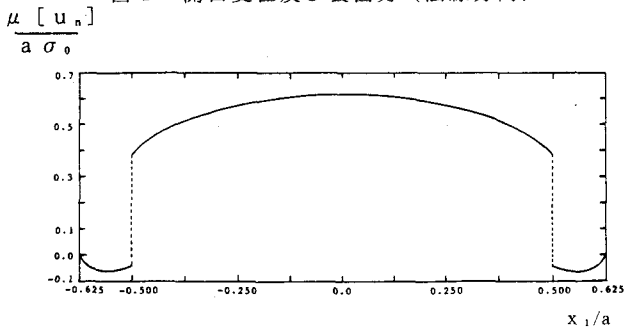


図5 開口変位(接線方向)