

異方性弾性体内のき裂伝播解析

(株) 鴻池組 正員 ○吉田幸司
京都大学工学部 正員 小林昭一

1. はじめに

積分方程式解法は境界条件を満足するように、場の方程式を境界上で積分するだけであるので、き裂の伝播のような境界が移動するような問題でも成長したき裂の部分の境界を逐次付け加えるだけの手間で追跡しながら解析できると考えられる。

本研究は積分方程式解法のこのような特性に着目し、異方性弾性体内に初期き裂が存在し、種々な応力を受けた場合にそれより発生する2次き裂の伝播を解析したものである。

2. 積分方程式

弾性問題における外部力2種境界値問題の積分方程式は、1重層ポテンシャルを導入することにより次のように定式化される。

$$u_i(x) = \int_S \Gamma_{ij}^{(k)}(x;y) \varphi_j(y) dy \quad x \in D, y \in S \quad \text{---- (1)} \quad \Gamma_{ij}^{(k)}(x;y); \text{変位基本解}$$

$$x_i(x) = -\frac{1}{2} \varphi_i(x) + \int_S \Gamma_{ij}^{(k)}(x;y) q_j(y) dy \quad x, y \in S \quad \text{---- (2)} \quad \Gamma_{ij}^{(k)}(x;y); \text{応力基本解}$$

ここに、 $u_i(x)$ は変位、 $x_i(x)$ は応力ベクトル、 $\varphi_i(x)$ は境界上に分布する密度を示す。

今回使用したプログラムでは、境界を円弧で近似、密度は2次関数で補間し、一層内の積分は20点をとるガウス積分を採用した。

3. き裂伝播問題への適用

き裂の発生機構や進行方向に関して、これまでに種々の理論が提唱されているが、本数値解析ではそれらについて次のような2つの仮定を設けた。

i) き裂は引張応力によって発生するものとし、最大引張応力が発生基準値 α (引張強度に相当) を越えたとき発生・伝播する。

ii) き裂の伝播方向は引張応力方向と直角とする。

この2つの仮定に基づき次のような手段をとった。①き裂先端周辺に数個の評価点を設け、それぞれの引張応力を求める。②最大引張応力が α を越えたとき、その評価点の方向へ長さ Δ のき裂部分の境界を付け加える。この①、②の操作を最大引張応力が α を下回るまで続けることにした。

4. 数値解析モデル

初期き裂としては $b/a = 10.0$ の楕円とし、一軸圧縮状態では長軸が圧縮応力方向より $\theta = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ 傾いた場合について、二軸圧縮状態では主圧縮応力方向より $\theta = 30^\circ, 45^\circ$ 傾いた場合について解析した。また、主軸が座標軸と一致する直交異方性とし、 x 軸方向弾性係数 E_1 と y 軸方向弾性係数 E_2 の比 $e = E_2/E_1$ を変化させた。荷重条件は、一軸の場合 $\tau_{xy}/\sigma_x = -1/2$ とし、二軸の場合には拘束圧縮応力 τ_1 を変化させた。2次き裂は幅 $\delta =$

0.1a, 長さ $l = 0.4a$ の平行な境界とし, その先端には半径 $p = 0.05a$ の半円を付け加えた。

5. 数値解析結果

結果を示すと図-1~図-4となる。これらより考察されることを簡潔書すると次のようになる。

(一軸圧縮状態)

(1) 2次き裂の発生位置・長さは θ に大きく影響され, 長さは $\theta = 30^\circ$ のときが最も大きい。

(2) 圧縮応力方向の弾性係数が小さいほど2次き裂の発生位置は初期き裂の先端側へ移行し, 長さも大きくなる。

(二軸圧縮状態)

(1) 拘束圧縮応力が大きくなるとつれ, 2次き裂の発生位置は初期き裂の中央側へ移行し, 長さは小さくなる。

(2) 主圧縮応力方向の弾性係数が小さくなれば拘束圧縮応力の影響は小さい。

この結果は実験結果とはほぼ一致し, 本手法でき裂伝播の一般的傾向はつかめうるものと思われる。

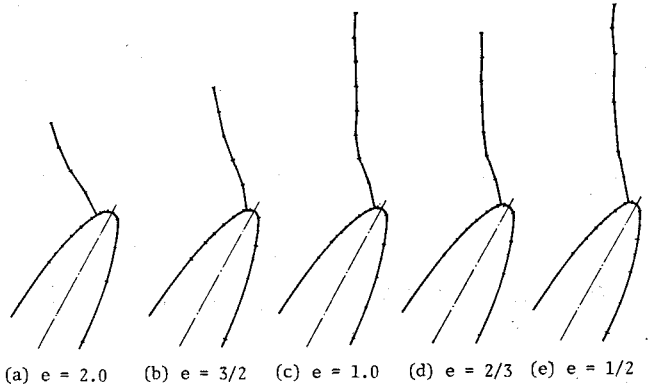


図-1 一軸圧縮応力状態の2次き裂 $\theta = 30^\circ$

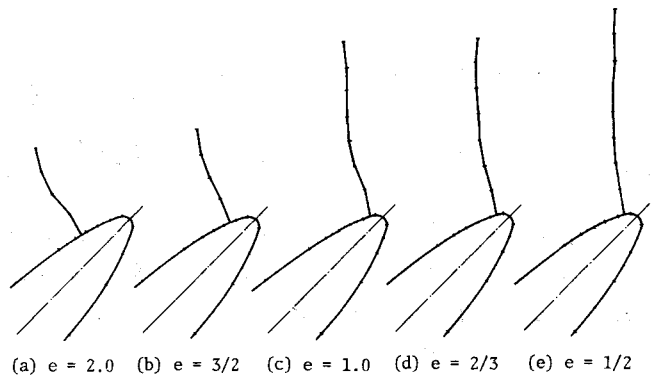


図-2 一軸圧縮応力状態の2次き裂 $\theta = 45^\circ$

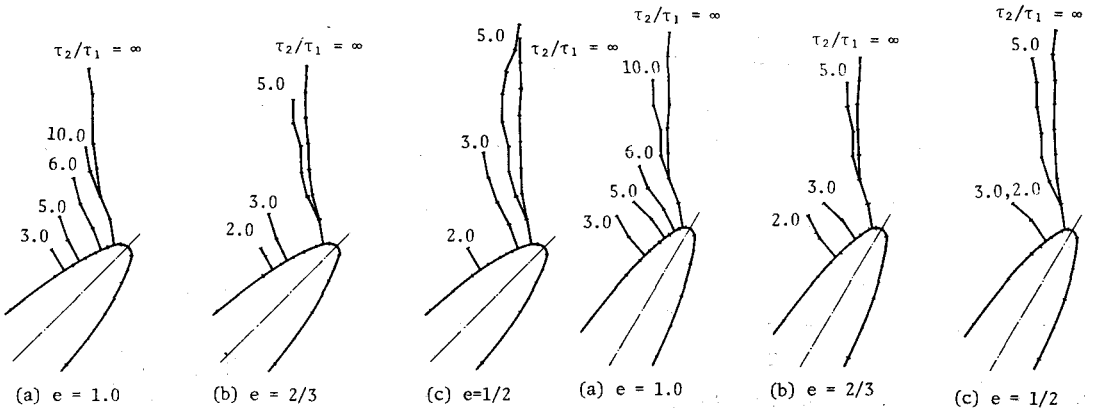


図-4 二軸圧縮応力状態の2次き裂 $\theta = 45^\circ$

図-3 二軸圧縮応力状態の2次き裂 $\theta = 30^\circ$