

I - A 292 一様熱流下の弾性体中の剛体介在物に発生するクラックの解析

東急建設 正員 安居 和哉
名古屋工業大学 正員 長谷部 宣男

〔まえがき〕

厚さが限りなく薄いスリット型の剛体介在物を有する弾性無限板が一様熱流を受けた場合に、介在物から母材に向かって生じるクラックについて解析する。ただし、介在物およびクラックは熱を通さないものとする。図-1に示す介在物からクラックが発生した後の応力分布ならびにクラック先端の応力拡大係数は、介在物と母材が結合している境界を剛境界、クラックなど変位の拘束が解放されている境界を自由境界とする混合境界値問題を解析することにより得られる〔1〕。ここではそれらの解析結果を用いてクラックの発生方向を2つの方法により求める。

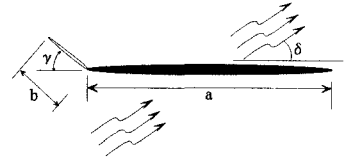


図-1 解析形状

〔微小クラック発生後のモデルを用いた予測〕 $b/a = 0.0005$

クラックの発生方向を微小クラック発生後の応力拡大係数 $K_I = \max$ criterionならびにエネルギー解放率 $E_c = \max$ criterionを用いた criterionにより予測するが、そのまゝに弾性定数を別にしたエネルギー解放率の(1)式を以下の2点について考える。

$$E_c = K_I^2 + K_{II}^2 \dots (1)$$

{1} (1)式で定義される E_c では K_I と K_{II} のクラック発生への影響が同じように扱われているが、 K_I の影響の方が大きいのではないだろうか。

{2} (1)式で定義される E_c では $K_I < 0$ の場合も $K_I \geq 0$ の場合と同じように扱われてしまう。また、クラック先端で $K_I < 0$ の場合、 K_I は垂直抗力により摩擦力が生じるように、 K_{II} のクラックを引き起こそうという作用を妨げるよう働くのではないだろうか。

そこで、以上2点を考慮し、 $K_I = \max$ criterionの内容も含む E_c' を(1)式に係数 a' 、 b' を導入し次のように定義する。以後 $E_c' = \max$ criterionにより具体的な予測を行う。 $K_I < 0$ のとき $a' = -0.5$ とする。

$$E_c' = a' K_I^2 + b' K_{II}^2$$

$$\begin{aligned} K_I \geq 0 & \quad a' = 1, \quad 0 \leq b' \leq 1 \\ K_I < 0 & \quad -1 \leq a' \leq 0, \quad 0 \leq b' \leq 1 \quad \dots (2) \end{aligned}$$

① 熱流方向 $\delta = 0^\circ$ ，右側に微小クラック発生（図-2）

b' が0に近い場合 $\gamma = 0^\circ$ 方向に発生すると考えられる。 b' が大きくなり $\gamma = 140^\circ$ よりも大きいとき E_c' は単調に増加し $\gamma = 180^\circ$ で最大になると思われるが、写像関数の精度上、この角度以上の値はこの方法では求められない。

② $\delta = 90^\circ$ ，右側に微小クラック発生（図-3）

この場合 E_c' は単調増加し $\gamma = 180^\circ$ で最大となると考えられる。

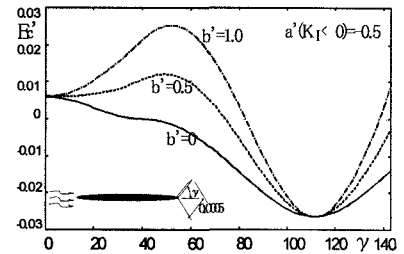


図-2 E_c' 値 ($\delta = 0^\circ$ ，右側クラック)

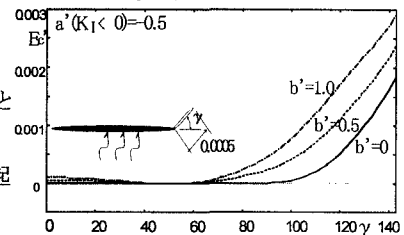


図-3 E_c' 値 ($\delta = 90^\circ$ ，右側クラック)

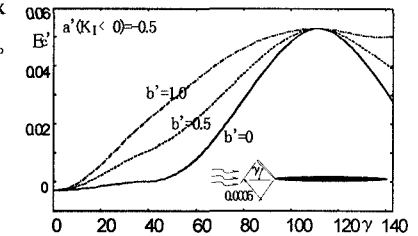


図-4 E_c' 値 ($\delta = 0^\circ$ ，左側クラック)

クラック，応力拡大係数，エネルギー解放率
名古屋工業大学 名古屋市昭和区御器所町

- ③ $\delta = 0^\circ$, 左側に微小クラック発生（図-4）
 $\gamma = 110^\circ \sim 111^\circ$ 方向に発生すると考えられる。
 ④ 介在物無し、 $\delta = 90^\circ$, 右側に微小クラック発生（図-5）
 $\gamma = 75^\circ \sim 77^\circ$ 方向に発生すると考えられる [2]。

[初期状態のモデルを用いた予測]

初期状態（クラックが生じていない状態）での
 介在物先端近傍の応力分布によりクラックの発生方
 向を予測する。ただし $r' = 0.0005$ とする。

ここで、図-6のようなクラック先端を基準とした円柱座
 標を用いた応力成分 $\sigma_{\theta'}$, $\tau_{r'\theta'}$ の各点、各熱流での応力分布
 の形とそれらに対応した K_I , K_{II} の分布の形がよく似ている
 ことから、ここでも、(2) の考え方を用いてここに D_c を
 定義する。ここでは $\sigma_{\theta'} < 0$ のとき $a' = -0.5$ とする。

$$D_c = a' \sigma_{\theta'}^2 + b' \tau_{r'\theta'}^2$$

$$\sigma_{\theta'} \geq 0 \quad a' = 1 \quad , \quad 0 \leq b' \leq 1$$

$$\sigma_{\theta'} < 0 \quad -1 \leq a' \leq 0 \quad , \quad 0 \leq b' \leq 1 \quad \dots (3)$$

以後、 $\sigma_{\theta'} = \max$ criterion の内容も含み、かつ $\tau_{r'\theta'}$ も考慮し
 た $D_c = \max$ criterion により具体的な予測を行う。

- ① 熱流方向 $\delta = 0^\circ$, L 点にクラック発生（図-7）
 $0 \leq b' \leq 0.11$ の場合 $\theta' = 0^\circ$ 方向に、
 $0.11 \leq b' \leq 1.0$ の場合 $\theta' = 180^\circ$ 方向に発生すると考えられる。
 ② $\delta = 90^\circ$, L 点にクラック発生（図-8）
 $\theta' = 180^\circ$ 方向に発生すると考えられる。
 ③ $\delta = 0^\circ$, N 点にクラック発生（図-9）
 $\theta' = 114^\circ$ 方向に発生すると考えられる。
 ④ 介在物無し、 $\delta = 90^\circ$, L 点にクラック発生（図-10）
 $\theta' = 71^\circ$ 方向に発生すると考えられる。

[あとがき]

以上のように微小クラック発生後のモデルを用いた $E_c' = \max$ criterion と初期状態のモデルを用いた $D_c = \max$ criterion のクラック発生方向予測は、最も差がある場合でも 5° 前後であり、近い結果が得られる。したがって、この場合に関しては精度や容易さから、 $D_c = \max$ criterion が有効であると考えられる。

また、ここでは触れていないが、クラックの発生方向予測が 180° 方向であった場合は介在物先端からの剥離発生の可能性を示していることが剥離発生についての解析で分かっている。

[参考文献]

- [1] Hasebe, N., Irikura, H. and Nakamura, T., ASME Journal of Applied Mechanics, Vol.58, 1991, 996-1000.
 [2] Hasebe, N., Tamai, K. and Nakamura, T., ASCE Journal of Engineering Mechanics, Vol.112, 1986, 31-42.

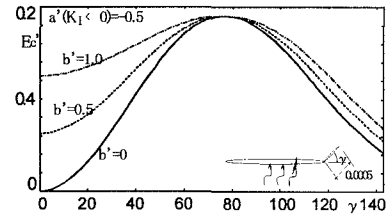


図-5 E_c' 値 ($\delta = 90^\circ$, 右側クラック, 介在物無し)



図-6 介在物先端の円柱座標

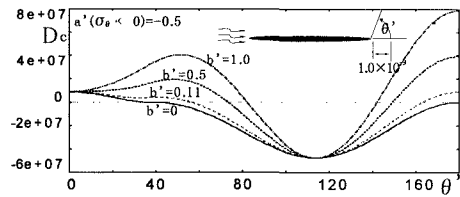


図-7 D_c 値 ($\delta = 0^\circ$, L点クラック)

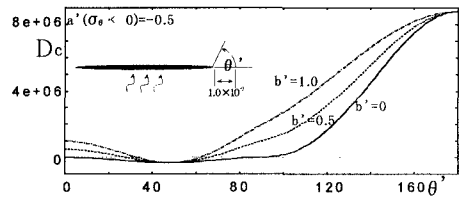


図-8 D_c 値 ($\delta = 90^\circ$, L点クラック)

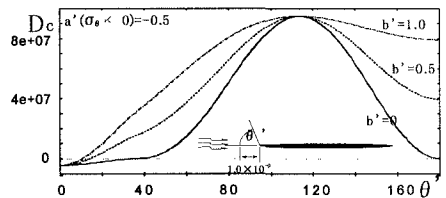


図-9 D_c 値 ($\delta = 0^\circ$, N点クラック)

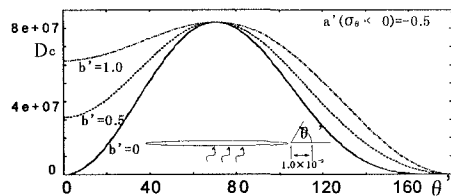


図-10 D_c 値 ($\delta = 90^\circ$, L点クラック, 介在物無し)