

円形剛体介在物から発生するクラックとはく離の連成問題

名古屋工業大学 学生員 ○山本 泰幹

中部電力(株)

正 員

上田 稔

名古屋工業大学 正 員 長谷部 宣男

名古屋工業大学

正 員

中村 卓次

1. まえがき 本報告は、図-1に示すように、(a)無限弾性板中の初期はく離を有する円形剛体介在物に一樣引張荷重が作用し、その初期はく離が、(b)角 θ で表される位置まで進展したとき、さらにこのはく離が進展するのか、あるいは、(c)はく離端からクラックが生ずるのかを調べる目的で、解析を行ったものである。これにより、はく離とクラックによるどのような破壊現象が起きるのかを決めることができる。解法は、参考文献1)と同様なので省略する。

3. 解析結果 クラックの発生に関する指標として、クラック発生直後の応力拡大係数、およびエネルギー解放率 G_c を用いる。この G_c をもって、クラック発生に関するエネルギー解放率とする。はく離の進展に関する指標として、はく離進展によるエネルギー解放率 G_d を用いる²⁾。これらのエネルギー解放率 G_c 、 G_d と、はく離の位置を示す角 θ の関係を κ を変えて求めた結果を図-2と3に示す[κ はポアソン比 ν の関数で、 $\kappa=3-4\nu$ (平面歪)、 $\kappa=(3-\nu)/(1+\nu)$ (平面応力)]。 μ はせん断弾性係数を表す。図-2の微小

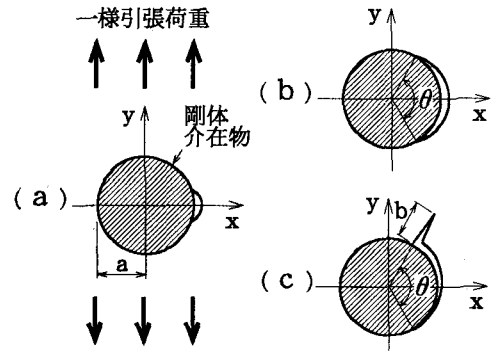


図-1 解析モデル

クラックのエネルギー解放率 G_c は、クラックの長さを示す値 b/a が、0.0005および0.001に対して示す。なおこのクラックは、はく離先端から法線方向への微小クラックを考えている。ここでエネルギー解放率により表されるクラック発生の破壊靱性値を G_{c0} 、同じくはく離の進展の破壊靱性値を G_{d0} と表すと次のことが言える。

(A) $G_d < G_{d0}$ かつ $G_c < G_{c0}$ の場合；はく離は進展せず、クラックも発生しない。

(B) $G_d < G_{d0}$ かつ $G_c > G_{c0}$ の場合；はく離は進展せず、クラックが発生する。

(C) $G_d > G_{d0}$ かつ $G_c < G_{c0}$ の場合；はく離が進展し、クラックは発生しない。

(D) $G_d > G_{d0}$ かつ $G_c > G_{c0}$ の場合；はく離が進展する可能性も、クラックが発生する可能性もある。

上記(D)の場合には実際には、はく離とクラックのどちらかの現象が起きるであろう。そのいずれが起きるのかを判断するために、次式で表されるエネルギー解放率の比 C_{dc} 、および破壊靱性値の比 C_{d0c0} を考える。

$$C_{dc} = G_d / G_c, \quad C_{d0c0} = G_{d0} / G_{c0} \quad (1)$$

C_{dc} 値を図-4に示す。 G_{d0} 、 G_{c0} が材料によって決まる一定値ならば、 C_{d0c0} 値は図-4で、横軸に平行な直線として表される。はく離が角 θ の位置にあるときの C_{dc} 値と C_{d0c0} 値の大小関係より、次のことが言える。

(イ) $C_{dc} < C_{d0c0}$ の場合；はく離端からクラックが発生する。

(ロ) $C_{dc} > C_{d0c0}$ の場合；はく離が進展する。

ただし、クラックの発生するとき、クラック発生直後のモードIの応力拡大係数 K_I は正でなければならぬだろう。図-5に次式で無次元化した微小クラックの応力拡大係数 F_I を示す。

$$F_I = K_I / (P\sqrt{\pi a}) \quad (2)$$

$F_I > 0$ の場合にはクラックの発生する可能性があり、 $F_I < 0$ の場合にはその可能性はないと考えられる。しかし荷重の向きが変わると(圧縮荷重になると) F_I の符号が変わるので、 $F_I < 0$ の部分は圧縮荷重の場合に意味がある。

つぎに、 G_{a0} 、 G_{e0} が一定値をとるとして、もう少し具体的に説明する。(B)の場合は、図-5において $F_1 > 0$ のとき、その θ の位置でクラックが発生する。 $F_1 < 0$ のとき、圧縮荷重でクラックが発生する。(C)の場合は、図-3において極値をとる θ より右の方の θ の位置まで、はく離が進展する。 G_a の曲線と G_{a0} の交点まで進展する。ただしこのとき、 $G_e < G_{e0}$ を前提としている。はく離進展中に $G_e > G_{e0}$ となったときには、(D)の条件を考える必要がある。(D)の場合は、例えば $\kappa = 2$ 、 $C_{a0} = 1$ を例にとり説明する。図-4に $C_{a0} = 1$ の線を引く。 $C_{ae} < C_{a0}$ かつ $F_1 > 0$ すなわち、 θ が $16.7^\circ < \theta < 36.0^\circ$ の範囲にあるとき、その θ の位置でクラックが発生する。 $C_{ae} < C_{a0}$ かつ $F_1 < 0$ すなわち、 θ が $0^\circ < \theta < 3.4^\circ$ の範囲にあるとき、圧縮荷重でクラックが発生する。 θ が $3.4^\circ < \theta < 16.7^\circ$ の範囲にあるとき、 $\theta = 16.7^\circ$ まではく離が進展し、そこでクラックが発生する。

参考文献

- 1) 山本・上田・長谷部・中村：介在物から発生したクラックやはく離の応力解析，応用力学連合講演会予稿集(1992)
- 2) 長谷部・奥村・中村：材料，第39巻，445号，pp. 1405-1410(1990)

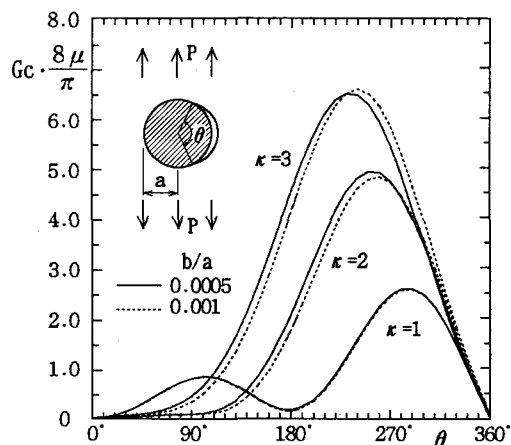


図-2 クラック発生のエネルギー解放率

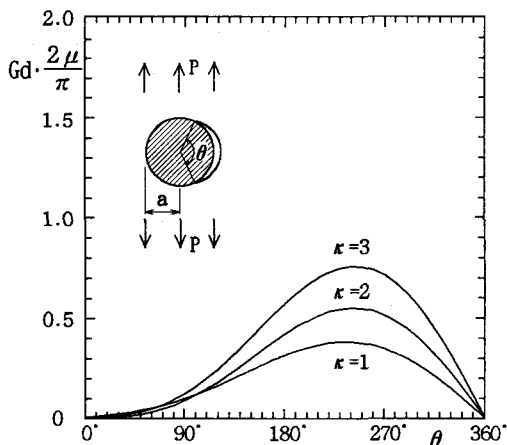


図-3 はく離進展のエネルギー解放率

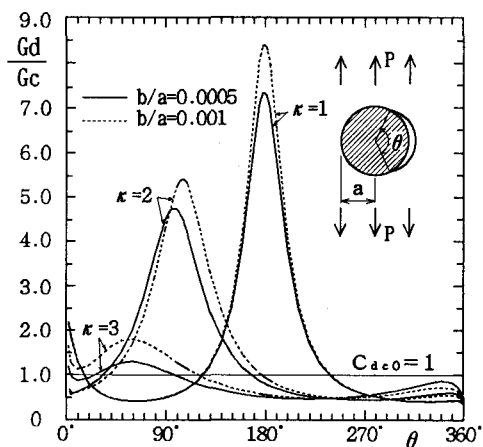


図-4 エネルギー解放率の比

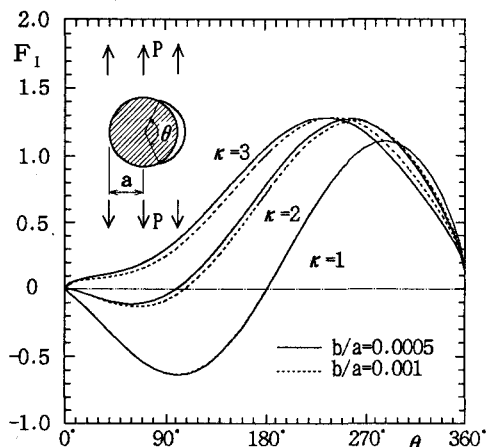


図-5 無次元化した応力拡大係数