

I-35

介在物から発生したクラックの応力拡大係数に関する考察

名古屋工業大学 学生員 ○山本泰幹 正 員 長谷部宣男 中村卓次
中部電力 正 員 上田 稔 正 員 東側豊二

1. まえがき 高強度鋼、コンクリートの粗骨材といった介在物に、はく離やクラックが発生することはよく知られている。最近、これら介在物を含む材料の強度特性を破壊力学に基づき把握しようとする試みがいくなされてきている。本研究は、介在物から発生したクラックの応力拡大係数に与える、介在物の影響に関する知見を得る目的で、片側にはく離を有する矩形剛体介在物から、クラックが発生した状態の応力解析を行い、応力拡大係数を求めて考察したものである。これは図-1に示すように、剛体介在物に一樣引張荷重が作用するとき、隅角部先端(A点)付近の引張応力の集中により発生したはく離が、別の隅角部先端(B点)まで進展し、B点からクラックが発生した状態のモデルである。ここでは矩形介在物は、x軸、y軸に関して対称形とし、介在物の角度 $\delta\pi$ を変えて解析を行い、介在物の形状の影響を調べるとともに、図-2に示すような、全周にわたってはく離を有する介在物からクラックが発生した場合の応力拡大係数との比較も行う。

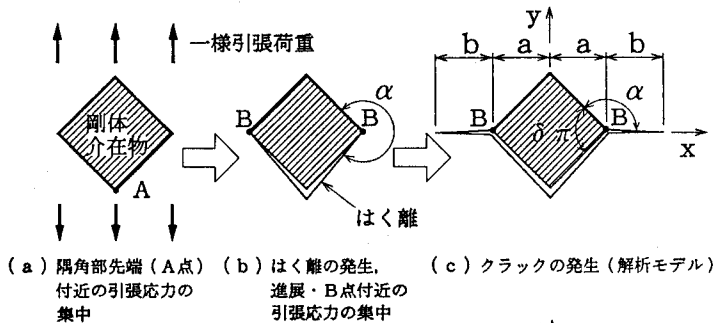


図-1 解析モデルに至る過程

2. 解析方法 図-1(c)に示す、はく離とクラックを有する介在物の周辺弾性領域を単位円外に等角写像する、分数式の和の形の有理写像関数を用いる¹⁾。写像関数に含まれるパラメータを変化させることにより、介在物の形状やクラックの長さを変えることができる。境界条件は、弾性体と剛体介在物が接合している境界を変位のない剛境界、はく離が生じ、弾性体と剛体介在物が離れている境界およびクラックの境界を応力自由境界とする。荷重条件が任意方向一様荷重で、剛境界と応力自由境界が存在する混合境界値問題に対する複素応力関数 $\phi(z)$ 、 $\psi(z)$ を用いる²⁾。

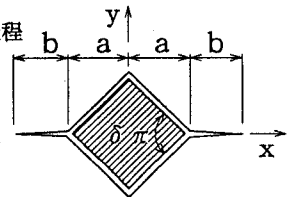


図-2 全周にわたってはく離を有する介在物からクラックが発生したモデル

3. 応力分布 介在物の形状が正方形、母材の $\kappa=2$ [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}] つまり、ポアソン比が平面歪状態の場合1/4、平面応力状態の場合1/3で、荷重条件がy軸方向一様引張の場合($p>0$)のクラック発生前とx軸上に、対称に $b/a=1$ のクラックが発生しているときの、介在物の境界線上の応力(σ_r : 法線方向成分, σ_θ : 接線

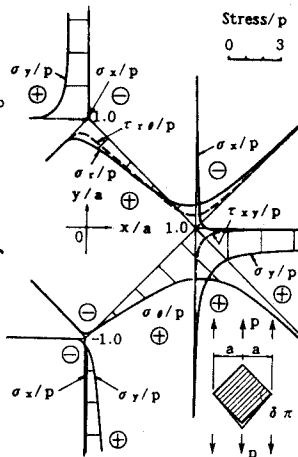


図-3 応力分布; クラック発生前 ($\delta\pi=90^\circ, \kappa=2$)

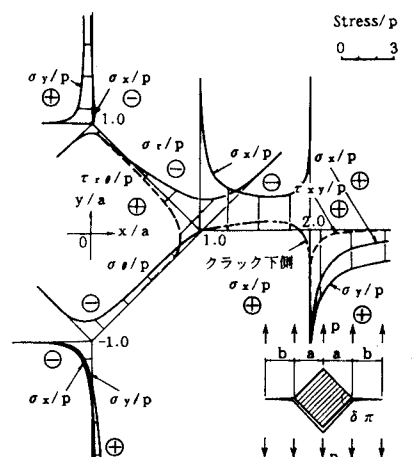


図-4 応力分布; クラック発生後 ($\delta\pi=90^\circ, b/a=1.0, \kappa=2$)

方向成分, τ_{xy} : せん断応力) および x, y 軸上の応力 ($\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$) の分布を図-3と4に示す。図-3よりクラック発生前には、クラックの発生点である剛境界と応力自由境界の隅目付近に著しい引張応力の集中がみられ、クラックが発生しやすい状況であることが分かる。図-4よりクラック発生後は、クラック先端付近に著しい引張応力の集中がみられ、クラックの進展する可能性があることが分かる。

4. 応力拡大係数 モードI, モードIIの応力拡大係数 K_I, K_{II} は、複素応力関数 $\phi(z)$ の一階微分を含む式で求められる。ここでは次式で無次元化した応力拡大係数を用いる。

$$F_I + iF_{II} = (K_I + iK_{II}) / (p\sqrt{\pi a}) \quad (1)$$

荷重条件が y 軸方向一様引張のとき、この無次元化したモードI, モードIIの応力拡大係数 F_I, F_{II} と、クラックの長さを示す値 b/a ($0 \leq b/a \leq 1$), a/b ($1 \geq a/b \geq 0$) の関係を $\kappa=2$ の場合は介在物の角度 $\delta\pi$ を変えて、 $\delta\pi=90^\circ$ のときは κ を変えて求めた結果を図-5と6に示す。図-5のモードIに関しては、矩形孔からクラックが発生した場合(以下矩形孔の場合と呼ぶ)と直線クラックの場合についても示した。

短いクラックの F_I, F_{II} 値は、ともに大きな値を示しており、矩形孔の場合の傾向とは逆である。これは剛体介在物の場合、図-1(c) [$b/a \rightarrow 0$ のときは(b)図を参照] に示す、クラックの付け根におけるB点を先端とする、介在物境界面の剛境界とクラック境界面の応力自由境界によってつくられる隅角部に応力集中が生じるので、クラックが短いほどその影響が大きいためである[このときの応力は、隅角部の角度(α)が $36.0^\circ \sim 63.0^\circ$ の範囲で、隅角部先端(B点)からの距離に対して負のべき乗の特異性をもつことが知られている³⁾]。このことから、短いクラックの応力拡大係数は介在物の影響を大きく受け、介在物の周りののはく離の状態が、応力拡大係数に大きく影響することが分かった。

クラックの進展については、 F_I 値が極値を持っているので、短いクラックのときに止まる可能性がある。極値が表れるのは、クラックが進展するにつれて、上記のクラックの付け根における、隅角部の応力集中の影響が弱まる一方、クラック長の増加に比例する F_I 値の増大があるためである。

極値を持つあたりのクラック長より長いクラックの F_I 値は、直線クラックの場合の F_I 値に近い値を示している。またその値は、矩形孔の場合の F_I 値よりも小さくなっている。したがって、短いクラックがさらに進展した場合の介在物の影響は弱く、その影響は矩形孔の場合よりも小さいことが分かった。

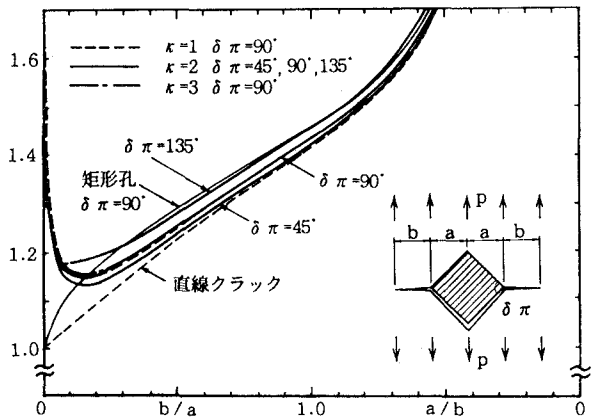


図-5 無次元化したモードIの応力拡大係数: F_I

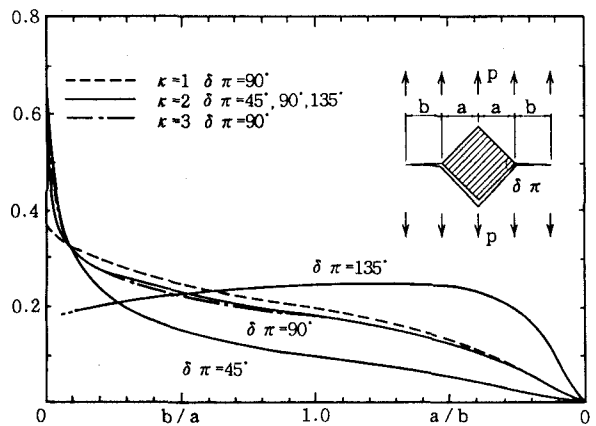


図-6 無次元化したモードIIの応力拡大係数: F_{II}

- 参考文献**
- 1) J. Iida, N. Hasebe and T. Nakamura, Engng Fracture Mech. Vol.36, pp.819-825(1990)
 - 2) N. Hasebe, M. Ueda, Y. Ito and T. Nakamura, J. Engng Mech., ASCE, pp. 2738-2748(1989)
 - 3) M.L. Williams, J. Appl. Mech. Vol. 74, pp. 526-528(1952)