

I-250

クラックを有するひし形剛体介在物の隅角部の強さ

名古屋工業大学 学生員 伊藤 稔浩
名古屋工業大学 正 員 長谷部宣男

まえがき：孔の場合と同様、介在物を有する場合に鋭い角を持つ隅角部では応力集中が起り、クラックやはく離が発生する可能性がある。この隅角部での応力集中は、クラックの場合と同様に、応力を表す級数式の形で表示でき、この第1項の係数は隅角部の強さを表している。菱形剛体介在物の隅角部の強さは文献1に報告されているが、本報告では図-1に示す菱形剛体介在物の一隅角部から鉛直方向にクラックが発生している場合のA1点における隅角部の強さを求めた。対象荷重としてX, Y方向単純引張荷重及び単純せん断荷重を考え、隅角部角度をパラメータとした。尚、この場合の応力拡大係数は先に報告してある。(文献2)

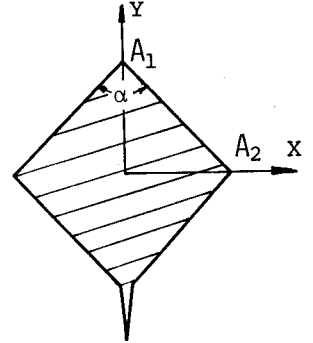


図-1 対象形状

解析方法：平面弾性混合境界値問題として解析され、解法の詳細については文献2に譲る。隅角部角度に丸みを有する場合、その先端での最大応力

σ_{max} はその曲率半径を ρ 、作用荷重を p とすると次式で表される。(文献3)

$$\sigma_{max}/p = K_{\rho} \rho^{m_1} + K_{\rho 2} \rho^{m_2} + K_{\rho 3} \rho^{m_3} + \dots \quad (1)$$

m_i ($i = 1, 2, 3 \dots$) は特性方程式の根である。(文献1)

隅角部に丸みが付いていない場合、隅角部先端から距離 r の位置での応力は次式で表される。(文献4)

$$\sigma_{max}/p = K_r r^{m_1} + K_{r2} r^{m_2} + K_{r3} r^{m_3} + \dots \quad (2)$$

m_1 は前述と同じもので、 m_1 は $-0.5 \leq m_1 < 0$ の値を取り、クラック形状の場合は $m_1 = -0.5$ となる。式(1)、(2)での K_{ρ} と K_r との間には $K_r = CK_{\rho}$ の関係が求められており、この場合の定数 C の値を表-1に示す(文献1)。解析上、有理型写像関数を用いているので K_{ρ} 値が求められる。従って上の関係式により K_r 値を求めることができる。

α	対称荷重	逆対称荷重
30°	0.963	0.235
90°	0.863	0.305
150°	0.881	0.511

表-1 C値($\kappa = 2.0$)

結果及び考察： $\kappa = 2.0$ ($\kappa = 3 - 4\nu$ 平面歪み、ポアソン比 $\nu = 0.25$: $\kappa = (3 - \nu) / (1 + \nu)$ 平面応力、 $\nu = 1/3$)、クラック長比($0 \leq c/b \leq 1$)に対するA1点での K_r 値を、各荷重に対して 図-2、3、4に示す。隅角部角度 α は30°、90°、150°とした。図中の K_{rR} , $K_{r\theta}$ は、 σ_R , σ_{θ} , $\tau_{R\theta}$ よりそれぞれ求めた式(2)の第1項の係数である。尚、 σ_R ははく離、 σ_{θ} はクラック、 $\tau_{R\theta}$ は境界面でのずれから起こるはく離の発生に関係する。 K_r 図-2のX方向単純引張荷重の場合、 K_{rR} , $K_{r\theta}$ は共に α が小さくなるにつれ値は減少している。 $\alpha = 30^\circ$, 90° の場合、値は負であり、圧縮荷重が作用する時に正になる。クラック長の増加に対して K_r 値は緩やかな単調増加を描いているが、増加幅は小さい。これは介在物の境界が剛境界であるため、

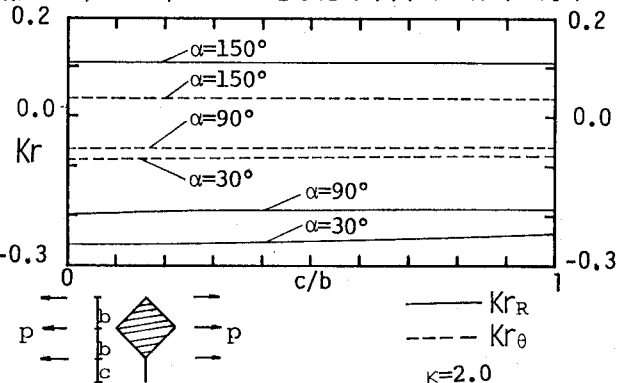


図-2 K_r 値(X方向単純引張)

クラック長の変化によって生じる応力の変化の影響が A1 点まで伝わりにくいためと考えられる。

図-3 の Y 方向単純引張荷重の場合、 $\alpha = 90^\circ$ と 150° との K_{rR} , $K_{r\theta}$ 値の差は小さく、又、 $\alpha = 30^\circ$ に比べ値は大きい。クラック長比に対しては、共にほとんど値の変化はない。これは、作用荷重方向にクラックが存在するため、クラックの影響が小さいと考えられる。クラックの進展とともに A1 点でクラックが発生する可能性は小さい。

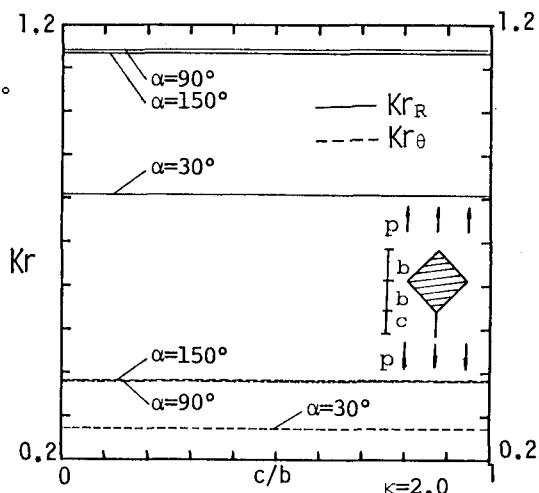


図-3 K_r 値 (Y 方向単純引張)

図-4 では、単純せん断荷重の場合で、 α が大きいほど $K_{rR\theta}$ 値は大きく、よってずれによるはく離を起こす応力が大きく発生する。又、緩やかな単調減少であるためクラックが長くなるにつれてその応力はわずかだが減少していく。よってクラックの進展によるずれの発生はない。つぎに A2 点における隅角部二等分線に対称な応力成分に寄与する K_r 値について考える。形状が X 軸に対して対称でないために A2 点においては逆対称な応力が発生するがその場合の応力状態の $K_{rR\theta}$ 値は、クラック長比 $0 \leq c/b \leq 1$ の場合、零に近い値で大きな影響はない。A2 点先端での K_r 値の方が A1 点での K_r 値よりも大きい場合には、少なくともはく離若しくはクラックは A2 点から発生すると判断できる。

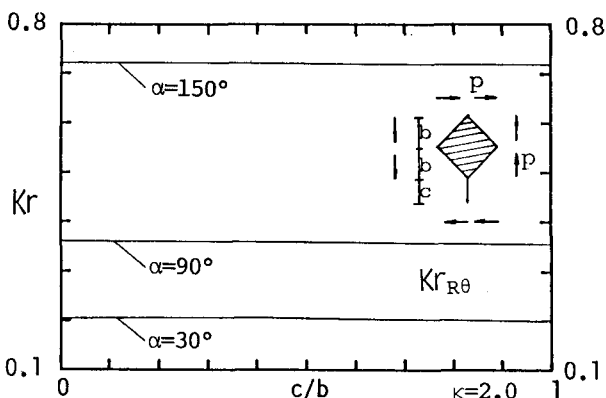


図-4 K_r 値 (単純せん断)

一例として、 $\alpha = 90^\circ$ 、クラック長比 $0 \leq c/b \leq 1$ 、 $\kappa = 2.0$ の場合の X, Y 方向単純引張荷重に対する A1, A2 点での K_r 値の最大値及び最小値を表-2 に示す。X 方向引張荷重の場合、もし、はく離やクラックが発生するのであれば A2 点より発生することが言える。又、圧縮荷重時には A1 点で発生する。Y 方向荷重の場合には引張荷重時には A1 点で、圧縮荷重時には A2 点で発生する。

荷重	K_r 値	A1 点		A2 点	
		最小値	最大値	最小値	最大値
X 方向 引張	K_{rR}	-0.198	-0.185	0.380	0.400
	$K_{r\theta}$	-0.066	-0.062	1.141	1.199
Y 方向 引張	K_{rR}	1.141	1.142	-0.198	-0.190
	$K_{r\theta}$	0.380	0.381	-0.066	-0.063

表-2 A1, A2 点の K_r 値の比較 ($0 \leq c/b \leq 1$)

<参考文献>

- (1) Iida, J., and Hasebe, N., Matuura, S., JOURNAL OF ENGINEERING MECHANICS, ASCE, accept
- (2) 伊藤、長谷部：矩形剛体介在物から発生したクラックの解析。第35回応用力学連合講演会 1985
- (3) Hasebe, N., and Sugimoto, T., Nakamura, T., "STRESS ANALYSIS OF A BLUNTED NOTCH IN A CLAMPED EDGE," Journal of Engineering Mechanics, Vol. 112, No. 2, 1986, pp. 142-153
- (4) Williams, M. L., "STRESS SINGULARITIES RESULTING FROM VARIOUS BOUNDARY CONDITIONS IN ANGULAR CORNER OF PLATE IN EXTENSION," Journal of Applied Mechanics, Vol. 19, 1952, pp. 526-528