

I-306

すべり面を有する任意開き角のクラック先端
近傍の応力特異性

松江工業高等専門学校 正員 浜野 浩幹
山梨大学 正員 平島 健一
中国電力(株) 朝日 宏

1. 緒言

無限遠で面内引張りを受けているクラックを有する材料が、そのクラックの先端から直線状の幅の狭い帯状の塑性変形を発生して破壊に至る過程や、くさび形材料が他の材料中に埋め込まれたモデルの角部近傍の応力特異性については既に多くの研究者によって解析されている。しかし、これらはクラックがスリットクラックであったり、埋め込みモデルではクラックが入らないような限定されたものである。

筆者らは既に異材結合面に対して、任意の開き角を持つクラック先端の応力特異性に検討した。本論文ではそこで導出した基本式を用いて、任意の開き角を有するクラックの先端から発生する2本のすべり線に沿って降伏しているモードI型クラックを対象として、クラック先端近傍の応力特異性の解析を行う。

ここでは図1に示すように水平軸に対称な場合のみを考え、クラックが存在する領域を材料I、すべり線に囲まれた領域を材料IIとした一般的なものとする。また、すべり線上の降伏の度合いは完全すべりの状態から完全接合の状態までを包含して取り扱えるように、すべり係数パラメータ c_0 を導入するものとする。ここでのすべり係数パラメータを零すなわち完全すべりとしてクラックをスリットクラックとした場合は、戸谷らの解と一致し、完全接合とした場合は従来までの解と一致している。

これらは、接合部の角度によっては、材料定数とすべり係数パラメータの値によって特異解が複数個存在し、あるいは複素数になりうる場合があり注意を要する。また、異材接合部が弱点となって降伏する場合も解析することができ、材料接合部の良否の判定にも応用できるものである。

2. 特性方程式

文献1)で導いた基本式に、ここでは図1に示すような x 軸に対称な任意の開き角 $(2\pi - \phi)$ を持ち、弾性定数が G_1, ν_1 ($j=1, 2$) なる2種類の材料の結合面 $\theta = \phi/2 - \phi$, $\theta = \phi/2 + \phi$ ですべり線を有する無限に広がった物体に無限遠に引張力が作用している場合を考える。この場合の境界条件は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \theta = 0 \text{ で無応力の条件: } & \quad \sigma_\theta = 0, \quad \tau_{r\theta} = 0, \\ \theta = \frac{\phi}{2} - \phi \text{ で応力および変位の連続条件: } & \\ & \quad \sigma_\theta = 2\sigma_\theta, \quad u_\theta = 2u_\theta, \quad \tau_{r\theta} = 2\tau_{r\theta} = c_0 G_2 \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} - \frac{\partial v_\theta}{\partial r} \right), \\ \theta = \frac{\phi}{2} \text{ で変形、応力が対称の条件: } & \quad u_\theta = 0, \quad \tau_{r\theta} = 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

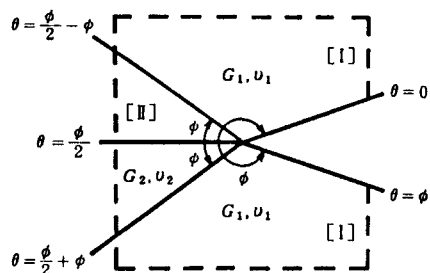


図1. クラックの先端からすべり面が発生する系

ここに、 c_0 はすべりの状態を表す摩擦係数である。

これらの境界条件を変位、応力の式に適用して整理すれば積分定数に関する8元の同次式が得られ、これが積分定数に対して有意な解を持つためには、その行列式が零とならなければならない。したがって c_0 を適当に設定することにより特異解 λ を求めることができる。

いま、平面ひずみの状態において、すべり角 $\phi = 40^\circ$ の場合について、すべり係数パラメータ c_0 を0.0 (完全すべり状態) から無限大 (完全接合状態) まで変化させて計算した特異解 λ を示す。まず、図2は

材料Ⅰと材料Ⅱにおける材料定数を同じとした場合 ($m=G_1/G_2=1.0$) を示したものである。 $c_0=100.0$ および無限大の場合はすべり線のない完全接合の場合に相当し、 $\phi=360^\circ$ のスリットクラックの場合は $\lambda=0.5$ となって従来までの結果と一致している。特異解 λ は 0.5 から 1.0 の間に存在し、すべり抵抗が小さくなるにしたがって特異解が小さくなっている。

次に、図3はクラックのある側の材料定数
 が大きい $m=10.0$ のときの特異解を示す。すべり係数パラメータが 1.0 から 5.0 まで2実根と複素根が発生しているのが見られる。ここには示していないが $\phi=60^\circ$ の場合も複素根が発生するが、 $\phi=80^\circ$ の場合は1実根のみである。

図4はすべり線で囲まれた部分の材料定数の方が大きい $m=0.1$ のときの特異解を示したものである。2実根が発生している場合があるが複素根は出てこない。この場合、クラックの開き角が 30° の近辺で特異解 λ が一定値に収束し、それ以降では特異性が逆になっており、スリットクラックでは上記2例とは逆に完全すべりの場合の方が完全接合の場合より特異性が大きくなっている。

3. 結 言

任意の開き角を有するクラックの先端から発生する2本のすべり線によって降伏しているモードⅠ型クラックについて、そのすべりの状態を完全すべりから完全接合の状態までを取り扱った。クラックが存在する部分の材料Ⅰとすべり線で囲まれた部分の材料Ⅱの材料定数が同一 ($m=1$) の場合、特異解 λ はすべり角 ϕ の値にかかわらず1実根で、その値は 0.5 から 1.0 の間に存在する。また、 $m>1$ の場合はすべり角とすべり係数パラメータの値によっては2実根と複素根が発生することが確認された。特異解 λ は 0.0 から 1.0 の範囲にわたって存在し、より強い特異性が示されている。 $m<1$ の場合は、今のところでは2実根が存在する場合があるが複素根は発生していない。また、特異性は上記 $m\geq 1$ の場合よりも小さくなっている。

4. 参考文献

- 1) 平島, 浜野, 広瀬, 木村: 日本機械学会論文集, 57-535, A, (1991), 637-644.
- 2) 戸谷, 矢富, 桐岡: 日本機械学会論文集, 54-498, A, (1988), 339-344.
- 3) Williams, M. L., Trans. ASME, J. Appl. Mech., 19(1952), 526-528.

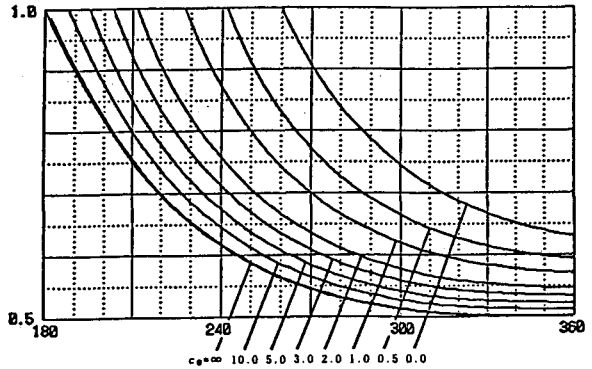


図2. $m=1.0$, $\psi=40^\circ$ の場合の特異解 λ

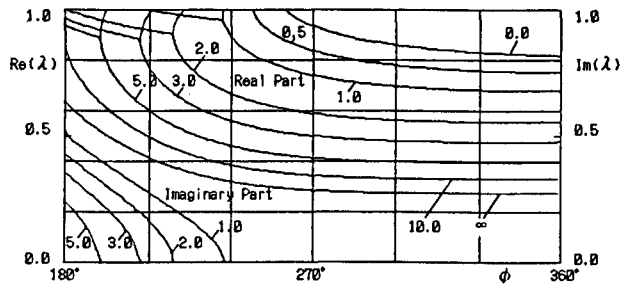


図3. $m=10.0$, $\psi=40^\circ$ の場合の特異解 λ

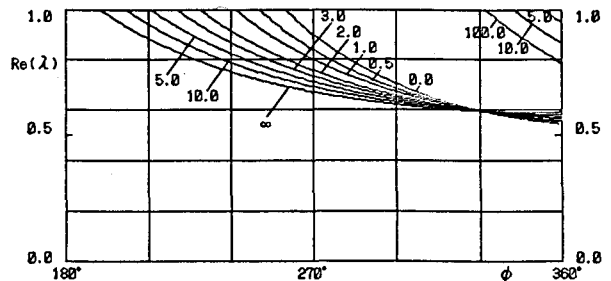


図4. $m=0.1$, $\psi=40^\circ$ の場合の特異解 λ