

直交異方性体境界面亀裂周辺の応力集中比

岐阜大学工学部 ○正会員 藤井康寿
岐阜大学工学部 正会員 中川建治

1. まえがき

コンクリートや地盤・岩盤等のようなクラックを含む不均一な材料の力学特性を定量的に把握することは、基礎構造物の破壊評価を行うための一つの重要なファクターと考えられる。本研究では、直交異方性弾性体とコンクリートとの接触面のインターフェイスクラックの周辺の応力集中の大きさと異方性弾性体の弾性特性との関係を検討するために、図-1に示すクラックモデルを設定して、異方性を考慮した場合の応力集中の解析を試みたので報告したい。数値解析方法はすでに文献¹⁾で報告した有限で滑らかな最大応力を構成する方法であり、作用外力はクラック面に平行な一様せん断力である。解析結果は、異方性の主軸方向角と剛性のパラメータとの変化に対する最大せん断応力の挙動としてまとめられている。これらの図表を用いると、弾性特性が既知の岩石とコンクリートの間のインターフェイスクラックによる最大せん断力比を推定することが可能である。

2. 解析条件

1) 本解析では、図-1に示す $\xi < 0$ の下部半平面は、コンクリートの材質と仮定して、各材料特性の添え字には1を付加する。同様に、 $\xi > 0$ の上部半平面は、岩盤(岩石)の直交異方性の材質として各材料特性には添付2を付ける。無限遠方には、境界面に平行なせん断応力のみが作用させているものとして、 $\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz} = \sigma_{xy} = \sigma_{yz} = \sigma_{zx} = 0$ 、 $\tau_{xy} = 1$ とする。

2) コンクリートは、等方等質の材料であるとして、ヤング係数 $E = 2.5 \times 10^5$ (kgf/cm²)、ポアソン比 $\nu = 0.17$ 、ねじり定数 $\kappa = 0.99$ とする。岩盤(岩石)は、表-1に示すように掲載した文献及び岩石の種類によりヤング係数、ポアソン比の値域が広い。コンクリートのヤング係数で無次元化すると、岩石のヤング率は0.46~3.42となるので、岩石の剛性範囲を0.4~4.0として計算する。

3) ねじり定数 κ は、材料に対して明確な調査が施されていないため、本研究では、コンクリートのねじり定数は $\kappa_1 = 0.99$ とし、岩石は $\kappa_2 = 0.001 \sim 0.99$ まで変化すると仮定した。

4) ポアソン比 ν は、コンクリートの場合0.17と規定し、岩盤については表-1に示されているように明確な値が示されていないため、主軸方向の最大剛性のポアソン比を0.26と仮定し、主軸方向の最小剛性のポアソン比は相反関係から次式より計算される。

$$\nu_{xx} B_{xx} = \nu_{yy} B_{yy}$$

ただし、 ν_{xx} : ポアソン比(x軸よりy軸へ)、 ν_{yy} : ポアソン比(y軸よりx軸へ)、 B_{xx} : 主軸方向の最大剛性、 B_{yy} : 主軸方向の最小剛性である。

5) コンクリートは等方性板として解析するため、主軸角度 ω_1 は 0° と固定して、岩盤の主軸角度 ω_2 を $0^\circ \sim 90^\circ$ まで変化させた。

3. 解析結果および考察

インターフェイスクラック周辺の応力集中の特性を把握するために、いくつかの計算結果を図表として示す。図-2は、主軸角度 ω_2 の変化による ξ 軸に沿う最大せん断応力の挙動を表した図である。これらの曲線は、 $B_{xx2} = 1$, $B_{yy2} = 0.4$, $\nu_{xx2} = 0.26$, $\nu_{yy2} = 0.104$ として、クラックの長さを $a/T = 0.7$ 、ねじり定数を $\kappa_2 = 0.001 \sim 0.99$ 、主軸角度を $\omega_2 = 0^\circ \sim 90^\circ$ と変化させて得られた曲線である。図から推察されることは、 ξ 軸に沿う最大せん断応力の変化は主軸角度 ω_2 に著しく作用されること、ねじり定数 κ_2 の変化にも大きく影響されることが認められる。ねじり定数 κ_2 の値が小さいほど、応力集中の変化が激しくなる傾向もみられる。ただし、 $\omega_2 = 0^\circ, 90^\circ$ では、せん断応力度は等しい値を示しているが、この理由は次の様に解釈される。最大剛性 B_{xx2} が 0° の場合、直交座標軸 ξ 軸に重なり 90° で η 軸に重なるために、

コンクリート側の最大剛性の影響を受けて、等方等質板と同じ挙動を示したためと考えられる。

図-3は、 $B_{x2}=1, \kappa_2=0.001$ の状態では、主軸剛性を $B_{y2}=0.4 \sim 10$ まで変化させたときのプロセスゾーンの長さ(T-a)の増加(0.15~0.3まで増加)と最大せん断応力比の変化を示す図である。横軸はLog(プロセスゾーンの長さ)として、縦軸はLog(主軸角 ω_2 方向の最大せん断応力-平均せん断応力)として表したものである。主軸剛性が増加するに従って直線勾配が緩やかに変化することが認められる。従って、プロセスゾーンの長さ(T-a)が0.15より短くて、平均せん断応力 τ_0 の場合における最大せん断応力 τ を推定するには、図中に示した勾配 δ (<0)を活用してプロセスゾーンの長さ0.3すなわち(T=0.7)の場合の最大せん断応力 τ_3 より次のようにすれば良い。

$$\tau - \tau_0 = (\tau_3 - \tau_0) \left(\frac{T-0.7}{T-a} \right)^{|\delta|}$$

すなわち、弾性定数が決定できるならば、本文に示した図表を基にして微小長さのプロセスゾーンにおける最大せん断応力を簡単に求められる。

今後の研究課題として、本研究ではねじり定数の値に言及したものではないが、最大せん断応力の挙動に大きく影響を与えているため実験による検証が必要であると判断される。

【参考文献】

- 1) K.Nakagawa, T.Anma and S.Duan, A mathematical approach of the interface crack between dissimilar anisotropic composite materials. E.F.M. 36, pp.439-449(1990).

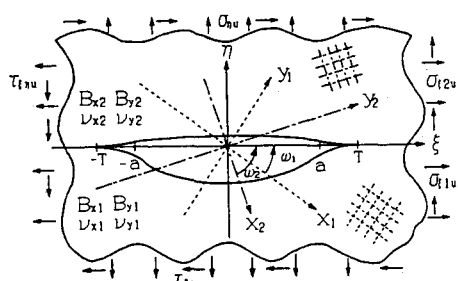


図-1 直交異方性弾性体の
インターフェイスクラックモデル

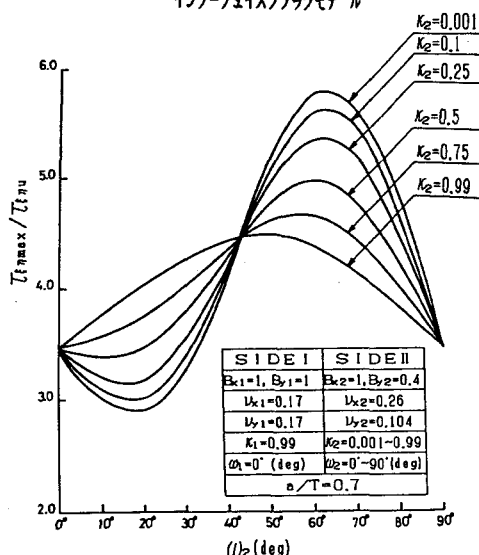


図-2

ヤング係数Estone, Ec, ()内はポアソン比

材料	構造力学 公式集 *10 ³ kgf/cm ²	建築力学 *10 ³ kgf/cm ²	土質工学 ポアソン比 *10 ³ kgf/cm ²	Rock and Soil *10 ³ kgf/cm ²	Estone/Ec
花こう岩	1.40~5.20 (0.28)	2.76~5.38	5.00~6.00	7.35	
安山岩	—	—	1.15	—	0.46
砂岩	1.70 (0.28)	4.79~7.92	1.70	1.02	
粘板岩	Estone 6.80	2.85~3.45	—	—	
大理石	7.70 (0.26)	—	3.10	—	
石灰岩	3.10~4.20	8.48~8.55	2.00	6.01	3.42
凝灰岩	—	2.36~2.45	—	—	
コンクリート	Ec	2.50	—	—	—

表-1 材料定数

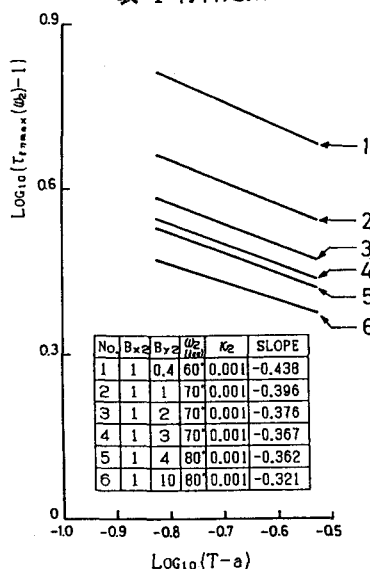


図-3 応力集中比