

Ⅲ-324

ISRM破壊じん性試験法によるK値への異方性の影響

岡山大学大学院 学生員 ○ 塩尻恭士
岡山大学環境理工学部 正 員 谷口健男

岡山大学環境理工学部 正 員 廣瀬壮一
スウェーデン爆破研究所 Finn Ouchterlony

(1) はじめに

ISRMでは、岩の破壊じん性の検討に際し、Chevron Bend Model(CB)と Short Rod Model(SR)を推奨している。この働きかけにより多くの実験・解析が行われている。だがその解析の多くは、等方性の条件下で行われている。そして、このことが破壊じん性の評価の誤差となるのではないかという指摘がある。そこで本研究では、異方性の影響を考慮した数値シミュレーションにより応力拡大係数(K値)を算出して、岩の破壊じん性の評価を行った。なお、一般の異方性体は、独立の材料定数が21個あり、それらのすべてを考慮して異方性の影響を把握するのは困難であるので、横等方性に限定し解析を行った。

(2) 解析モデル

本研究では、ISRMの提案したCBとSR(図1)を用いてFEM解析を行った。モデルの寸法は、CBは $s=3.33D$, $a_0=0.15D$, $t=0$, $\theta=90^\circ$ であり、またSRは $W=1.45D$, $a_0=0.48D$, $t=0$, $\theta=54.6^\circ$ である。なお、き裂進展を表現するために、 a/D 値をそれぞれ 0.2~0.4(CB)または 0.6~1.0(SR)と変化させた5種類のモデルを用意した。なお、モデルの対称性から 1/4モデルで解析を行った。各要素は、20節点アイソパラメトリック要素を用いているが、き裂前縁を含む要素には15節点特異要素を用いた。

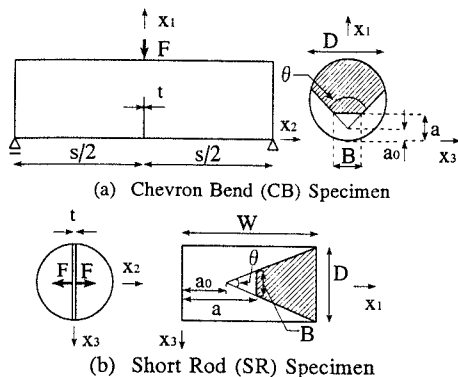


図1 Chevron Bend Model & Short Rod Model

(3) 異方性パラメータ

材料が横等方性材の場合、異方性の軸が座標軸と一致していると仮定すると、1-2平面等方($E_1=E_2$)・2-3平面等方($E_2=E_3$)・3-1平面等方($E_3=E_1$)の3通りが考えられる。例えば1-2平面が等方であると仮定した場合、フックの法則より以下のような関係にある。

$$\begin{Bmatrix} \epsilon_{11} \\ \epsilon_{22} \\ \epsilon_{33} \\ \epsilon_{23} \\ \epsilon_{31} \\ \epsilon_{12} \end{Bmatrix} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & -\nu\tau & 0 & 0 & 0 \\ & 1 & -\nu\tau & 0 & 0 & 0 \\ & & n & 0 & 0 & 0 \\ sym. & & & \frac{E}{G_T} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{E}{G_T} & 0 \\ & & & & & \frac{E}{G} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{31} \\ \sigma_{12} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここで、 E :ヤング率 ν :ポアソン比 G :せん断弾性係数である。また、下添字のTは、等方面に垂直な方向(ここでは x_3 方向)の材料定数に関する量であり、 $n = E/E_T$ とした。周知の通り等方面内における材料定数の間には以下のような関係がある。

$$E/G = 2(1 + \nu) \quad (2)$$

式(1),(2)から、横等方性材には、5つの独立した係数があることが分かる。さてここで、幾つかの近似を導入して異方性パラメータを減らす。まず、Lekhnitskii(1977)の提案した近似式 $G_T = E/(1+n+2n\nu_T)$ を用いる。また、実際の岩の実験式より ν は近似的に $\nu = n^{-1}\nu_T$ と与えられる。さらに、本解析のすべての計算において、ヤング率 $E=50\text{GPa}$ とした。以上より、本研究での独立な異方性パラメータは n と ν_T のみとなる。

(4) 解析結果

図2(CB)・図3(SR)は、1-2平面等方・2-3平面等方・3-1平面等方のそれぞれの場合の n を変化させたときの各モデルのA値を示したものである。ここにA値とは、き裂前縁(図1, B部分)の各点の無次元化した K_I 値、 $K_I/(F/D^{1/5})$ を二乗平均したものである。図2・3より、等方面の取り方により異方

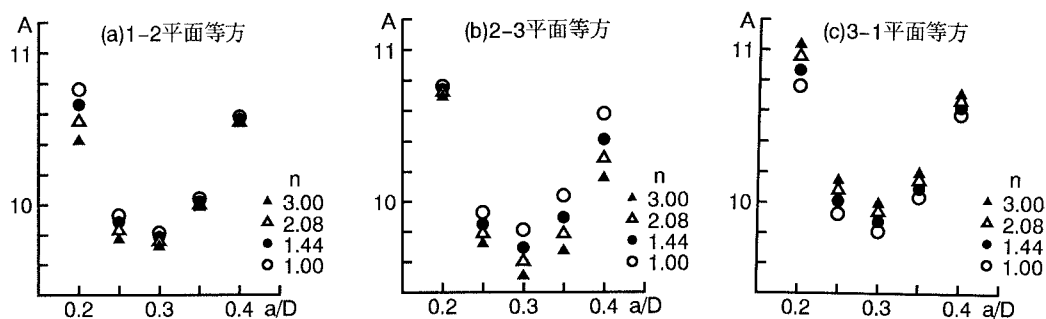


図2 a/DとA値の関係（CB）

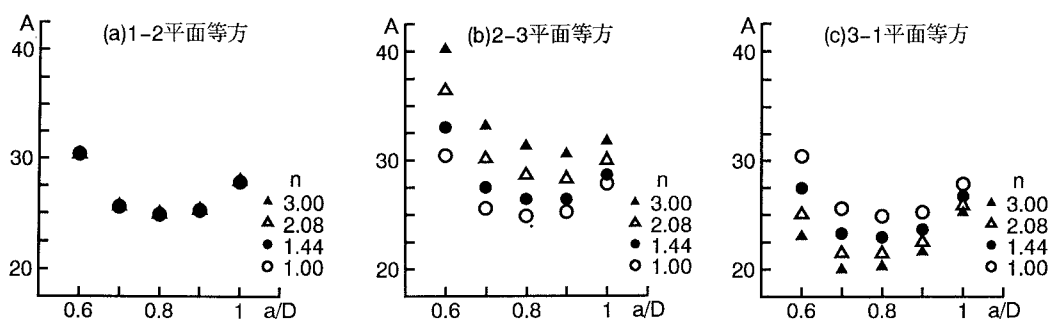


図3 a/DとA値の関係（SR）

性の影響はかなり違うことが分かる。また、それ以上にモデルの形状・境界条件の違いが異方性に及ぼす影響は大きい。CBでは、せいぜい数パーセントの異方性の影響しか現れていないのに対し、SRの2-3平面等方及び3-1平面等方の場合では、異方性の影響が数十パーセントにも及ぶことが分かり、無視できない要素であるということが言える。また、CBではいずれも0.3付近でA値が最小値をとっているが、SRでは等方軸の取り方によってA値の最小値が0.7~0.9間を変動している。A値の最小値とは、き裂進展が安定状態から不安定状態に移るポイントなので、それが変動するSRでは特に注意が必要であろう。

図4は、異方性材料におけるK値の最小値と等方性材料におけるK値の最小値の比を横軸にnをとって

図示したものである。SRの2-3平面等方と3-1平面等方の場合には異方性パラメータへの影響が大きく表れているが、 $\bar{K}_{I,min}/\bar{K}_{I,min}^{iso}$ とnの間にはほぼ線形な関係があることが分かる。なお、ポアソン比 ν_T についても値を変化させてシミュレーションを行ったが、その影響はほとんどなかった。

参考文献

Lekhnitskii, S.G. 1977. theory of elasticity of an Anisotropic Body. Moscow: Mir Publ

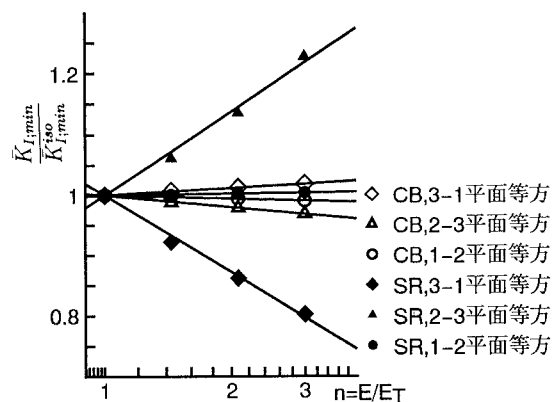


図4 nが $\bar{K}_I$ 値に及ぼす影響（最小値）