

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 廣瀬壮一

岡山大学環境理工学部

正 員 谷口健男

スウェーデン爆破研究所

Finn Ouchterlony

(1) はじめに

ISRM (International Society for Rock Mechanics) では、岩の破壊じん性の検討に際し、Chevron Bend Model と Short Rod Model を推奨している。この働きかけにより多くの実験・解析が行われてきている。しかし、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応力拡大係数 (K 値) を算出することにより、岩の破壊じん性の評価を行った。なお、異方性体は、その材料定数によって様々な挙動を示し、その特徴を把握するのは困難であるので、横等方性に限定して解析を行った。

(2) 解析モデル

本研究では、ISRMの提案したモデルの1つである Short Rod Model (図1) を用いて FEM 解析を行った。モデル寸法は、 $W=1.45D$, $a_0=0.48D$, $t=0$, $\theta=54.6^\circ$ である。なお、き裂の進展状態を表現するために、 a/D 値を 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0 と変化させた5種類のモデルを用意した。また、モデルの対象性から1/4モデル (図2) 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、き裂前面のみ15節点特異要素を用いた。

(3) 異方性パラメータ

材料が横等方性であり、等方性 (異方性) の軸が直交座標系と一致する場合、軸の取り方によって、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通り考えられる。なお、横等方性と仮定しても、独立した材料定数は6個存在する。そこで、以下に述べるような、実験から得られた岩の材料定数をもとにした仮定を用い、新たに2つのパラメータ $\lambda=E_2/E_1$, $\gamma=E_3/E_1$ をつくり独立した材料定数を3個に削減したい。1-2平面が等方な場合、

- ・ヤング率に関しては、 $E_1=E_2=\gamma^{-1}E_3$ ($\gamma < 1$) なる関係がある。
 - ・ポアソン比に関しては、 $\nu_{23}=\nu_{13}=\gamma^{-2}\nu_{12}$ なる関係がある。
 - ・せん断剛性に関しては、等方面においては等方性の場合と同様、 $1/G_{12}=2(1+\nu_{12})/E_1$ とし、他の面においては近似的に、 $1/G_{23}=1/E_2+1/E_3+2\nu_{23}/E_2$ ならびに、 $1/G_{31}=1/E_3+E_1+2\nu_{31}/E_3$ と与えられる。
- 以上の仮定により、いずれか1個のヤング率・いずれか1個のポアソン比・ γ (λ) の3個の材料定数となる。

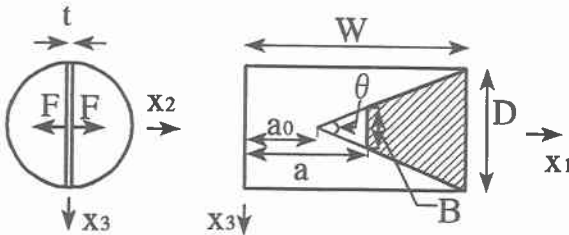


図1 Short Rod Model

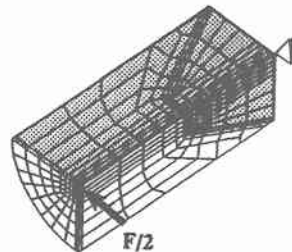


図2 1/4 Mesh Model

(4) 解析結果

図3は、1-2平面等方・2-3平面等方・3-1平面等方のそれぞれに対し、ヤング率比 γ (λ) 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、き裂前面(図1, B部分)の各点のK値を、 $A=K_1/(F/D^{1/2})$ により無次元化して、二乗平均したものである。図3より、2-3平面等方・3-1平面等方の場合には異方性の影響が数十パーセントにも及ぶことがわかり、無視できない要素であるということが言える。ただ、1-2平面等方の場合のみ、ほとんど異方性の影響は表れず、このような条件下においては、異方性の影響を考える必要性は少ない。

また、等方性時($\gamma=\lambda=1.00$)には、 $a/D=0.8$ 付近で、A値が最小値をとっており、この付近でき裂進展が安定状態から不安定状態に移ると言える。また、2-3平面等方の場合には、 λ が大きくなるほど最小値時の a/D 値は、0.8より大きくなり、3-1平面等方の場合には、 λ が小さくなるほど最小値時の a/D 値は、0.8より小さく、傾向があることがわかる。このことより、3-1平面等方の場合には、 a/D 値が小さい段階で、つまり、き裂進展が初期の段階で安定状態から不安定状態に変わるので、特に注意が必要である。

(5) おわりに

本研究では、異方性の影響に着目し、FEMを用いて、ISRMの提案したShort Rod Modelの解析を行った。異方性におけるヤング率の影響は、数十パーセントに及び、岩の破壊じん性を検討する上で非常に重要であることがわかった。なお本研究報告書には記載していないが、異方性におけるポアソン比の影響も調べたところ、ほとんど影響しないこともわかった。

また、ISRMの提案したもう1つのモデルである3点曲げ試験用のChevron Bend Modelにおいては、異方性の影響は、数パーセントしか表れず、本研究報告書の結果と異なる結果になった。このことは、モデルの形状・寸法・境界条件等の違いによっても異方性の影響が変化する可能性があると言える。

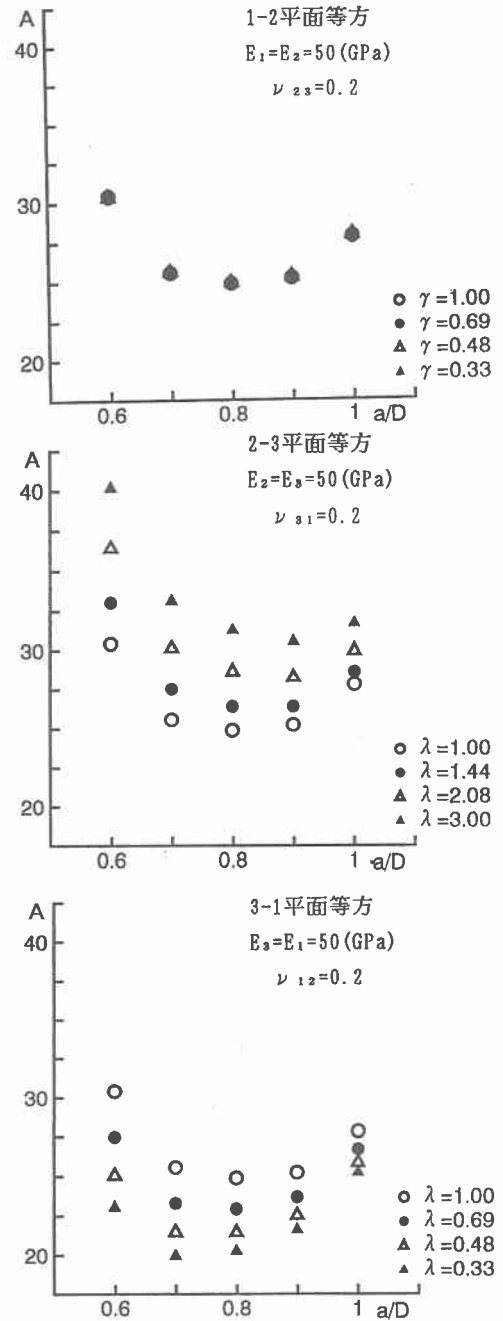


図3 a/D と A 値の関係

参考文献

- 1) V. E. Saouma and E. S. Sikiotis, Eng. Fract. Mech. Vol. 25, pp. 115-121, 1986