

埼玉大学大学院 学員○鈴木 健一郎

埼玉大学工学部 正員 小田 匡寛

埼玉県庁 星 直見 大豊建設 大和田 剛

1. はじめに

岩盤の力学的性質は、節理・断層のようなクラックに依存する。天然のクラックの幾何学的・力学的性質は、極めて複雑であり、岩盤の力学的挙動にどのような影響を及ぼすかを一般性を失なわないように評価する事は至難な事とされている。更に、室内の実験・解析結果を原位置の岩盤に利用する為には克服しなければならない多くの問題が残されている。小田らは既に、クラック・テンソルという考え方を導入し、複雑なクラックの幾何学性を統一的に表現し得る事を示し、特に前報では、等方性材料の強度・変形特性がクラック・テンソルによって十分説明できる事を実験的に確認した。本報では更に、異方性材料においてクラック・テンソルの適用性と明らかにする目的で、石膏供試体によるモデル実験を行った結果を報告するものである。

2. 実験

供試体は図-1のような直方体で、クラックは供試体の奥行きに対して一定であり、図の正面に対して常に垂直な二次元的なモデルである。まず、クラック・テンソルの普遍性を調べる為に石膏自体の強度を水と石膏の混合重量比を変える事で変化した供試体について一軸圧縮試験を行った。次に、異方性供試体(FシリーズとHシリーズ)ニシリーズについて一軸圧縮試験を行った。変位はコンタクトゲージ(1/1000 mmダイヤルゲージ付)を用いて少なくとも三方向測定する事で、供試体の歪 ϵ_{ij} も求めた。

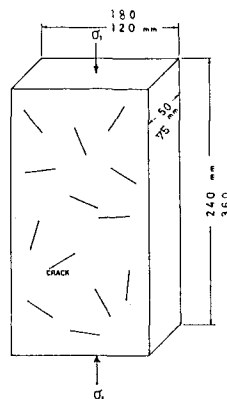


図-1

3. 結果及び考察

図-2は、石膏自体の強度が異なる等方性供試体の一軸圧縮試験結果である。縦軸には、クラックを含まない供試体の強度で無次元化した強度比を、横軸には、クラック密度及びクラックの大きさの三乗に比例する量で不連続性の程度と相対的に表わすと考えられるクラック・テンソルの第一不変量 I_1^c の対数をとっている。この中には、水と石膏の混合重量比の異なる5種類が含まれており、どれも $\log I_1^c$ の増加に伴い線型的な減少傾向を示しており、今までに得られた等方性の強度と I_1^c の関係(水石膏混合重量比2対3, クラックの幅一定・個数を変えたもの、個数一定・幅を変えたもの、幅・個数共に任意のものを含んでおり、図中のバンドはその実験誤差と考えられる範囲である。)が、石膏自体の強度の違いに依存しない事がわかる。つまり、クラック・テンソルの第一不変量は、材料の力学的性質に依らず不連続性の程度を相対的に表わすという事の確認された。

図-3は、異方性供試体ニシリーズの試験結果を図-2と同様に整理をしたものである。図中、Hシリーズは、クラックの平均密度を相対的に表わす第一不変量 I_1^c の0.31で、含まれる全てのクラックが圧縮方向に対して同一方向 α (0°, 30°, 45°, 60°, 90°)を持ち、 $I_1^c=0.31$ において異方性の程度を示す I' は最大の0.24であ

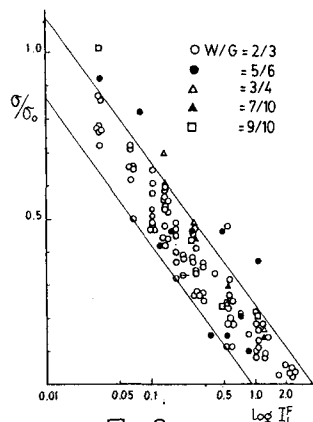


図-2

る。又、Fシリーズは α に或る幅を持たせ異方性の程度とやや弱くしたもので $I^* = 0.18$ で、 I^* は同じ0.31のものである。これより明かなように異方性材料の強度は I^* では述べられない。そこで、クラックに蓄えられる歪エネルギーを考えてみる。非常に平らなクラックに図4のような1'方向がクラックの法線方向と一致するように、ローカルな座標系において垂直応力 σ_{11}' と剪断応力 σ_{12}' が作用した時、1つのクラックに蓄えられる歪エネルギー ΔW_c は近似的に

$$\Delta W_c = \frac{\pi r^2 t}{4E} (\sigma_{11}'^2 + \sigma_{12}'^2) \quad (1)$$

となる事が知られている。¹⁾これを固定された座標系で考えると

$$\sigma_{ij}' = Q_{ik} Q_{jl} \sigma_{kl} \quad (2)$$

という回転テンソル Q_{ij} による座標変換が行なわれるが、1'方向と2'方向が一致するという事を考慮して(1)式を書き換えると

$$\Delta W_c = \frac{\pi r^2 t}{4E} (\sigma_{ik} \sigma_{ij} n_j n_k) \quad (3)$$

となる。クラックに付随する全体の歪エネルギーは、クラック相互のエネルギー干渉を無視してただ単に体積平均で表わせるとすると

$$W_c = \frac{1}{V} \int \Delta W_c dV = \frac{1}{V} \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \frac{\pi r^2 t}{4E} \sigma_{ik} \sigma_{ij} n_j n_k g(E(r, r)) d\Omega dr \quad (4)$$

となる。今、 F_{ij} の定義²⁾より(4)式は

$$W_c = \frac{\pi}{4E} \sigma_{ij} \sigma_{ik} F_{jk} \quad (5)$$

のように書き直せ、本実験のような一軸圧縮試験($\sigma_{11} = \sigma_c \neq 0$)において(5)式は

$$W_c = \frac{\pi}{4E} \sigma_c^2 F_{11} \quad (6)$$

となる。つまり一軸圧縮試験において、クラックに関する歪エネルギーはクラック・テンソル F_{ij} の11成分 F_{11} に比例している。そこで、異方性材料において強度を F_{11} で整理したものが図5である。これより異方性材料に一軸圧縮強度を述べるには、 F_{ij} の11成分である F_{11} が有効な指標となる事が確認された。図6は、図5に等方性供試体の試験結果を重ねたものであるが、材料が等方性・異方性によらず同じ減少傾向を示している事がわかる。即ち、一軸圧縮試験の場合、 F_{11} をもってすると、等方性・異方性材料共に同じ場で議論する事ができるといえる。

4. 結論

1) クラック・テンソルの第一不変量 I^* は、材料の性質に依存しない普遍的な量である。

2) F_{ij} の11成分、 F_{11} は、異方性材料と等方性材料の一軸圧縮強度を同一場で述べる上で十分有効なパラメーターとなる。

以上二点が実験的に確認され、クラック・テンソルのクラックの幾何学性を統一的に表現し得る量としての有効性が高められ、現場への適応が待たれるものとなった。

参考文献) 1) "Fundamentals of rock mechanics" Jaeger and Cook

2) 例へば "クラック・テンソルによる不連続性材料の力学的性質" 鈴木・小田(1983) 第15回岩盤力学に関するシンポジウム(工学会)

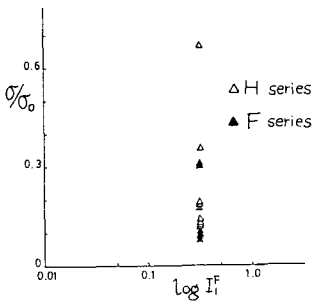


図-3

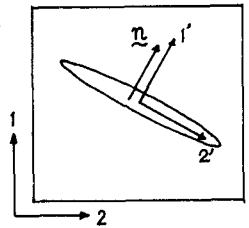


図-4

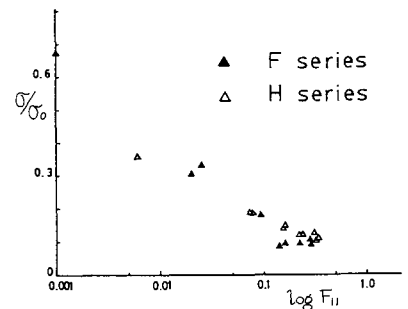


図-5

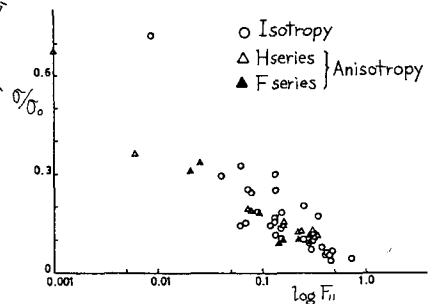


図-6