

埼玉大学 工学部 正員 小田 匡 寛
 埼玉大学 大学院 学員 ○鈴木 健一郎
 八十代エンジニアリング 鈴木 啓 之

1 まえがき 実際の岩盤においてクラックは非常に複雑な様相を呈している。又、その岩盤の強度はクラックに依存している事が知られている。これらのクラックは一種の面要素の集合と考えられ、このクラックの幾何学性についてこれまで色々な手法をもって統計的量の置換が成されて来た。しかしそれらは未だ十分だとは云えない。そこで此処に構造テンソルという考え方を導入しこのクラックの幾何学性を統一的に表現しようとした。これを用いると将来は実際の野外調査やボーリング調査により構造テンソルを決定し、更に岩盤の強度や力学的特性が推測可能となると考えられ、今回の研究では、第1段階としてその適用性についてモデル実験を行ない確かめた。

2 構造テンソル クラックの幾何学性を表現する為に、形・大きさ、方向、位置・密度という要素を考え、これらを一般性を失わぬよう形を円と仮定する。大きさは半径 r 、方向はそれぞれの円の単位法線ベクトル $\mathbf{n}$ で与え、その確率密度関数を $E(\mathbf{n}, r)$ と仮定する。位置は面心 C で、密度は C の平均密度 $\langle \rho \rangle$ で与える。今、図1の如くベクトル $\mathbf{z}$ に平行な直線(主直線)を走らせる。これは実際にはボーリング孔に相等すると考えてよい。主直線に関して、交わるクラックと交わらないクラックが存在する事になる。今、クラックの大きさの代表値としてクラック長さ $2r$ を選び、それを単位法線ベクトル $\mathbf{n}$ に乗じた新しいベクトル $2r\mathbf{n}$ を考える。これをクラックベクトルと呼ぶ事にする。このクラックベクトルを主直線に関して交わったものについて加え合わせ得られた合ベクトルのベクトル $\mathbf{z}$ に垂直な $\mathbf{j}$ 方向への投影を考えると

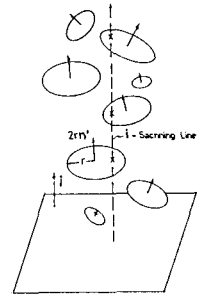


図1

$$F_{ij} = 4\pi \langle \rho \rangle \int_0^\infty \int_{\Omega_2} r^3 n_i n_j E(\mathbf{n}, r) d\Omega dr$$

という無次元の2階のテンソルが得られる。これを構造テンソル F_{ij} と呼ぶ事にする。構造テンソル F_{ij} は座標変換に対して不変なる量を持ち、その偏差についても更に3つの不変量がある。図2は主応力空間と同様に F_{ij} の主値空間を考えたものである。図中 OA を含む軸は主応力空間における等方応力軸に相等する等方性軸である。クラックベクトルの合ベクトルが $\vec{OP}$ で表わされたときと長さ $\vec{AP}$ は等方性軸からの距離即ち異方性の程度を示し、これは偏差構造テンソルの第2不変量 I' に相当する。又、長さ $\vec{OA}$ は等方成分の大きさを示し、 F_{ij} の第1不変量 I に相当する。 I' と I 、更に構造の主軸と荷重方向との成す角 α を含めた量について強度及び変形特性へのパラメータとしての適性について確認を行った。

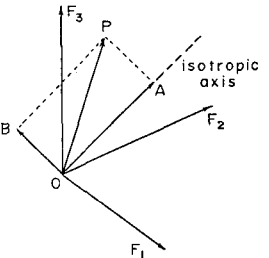


図2

3 実験 クラック材料としてスノーモットという両面がコートされ滑らかな面を持った紙を使い、更にグリースを塗りクラック表面の摩擦を除去し、モデル実験として円筒のような2次元的なクラックを作った。周囲の材料は力学的特性が岩に近いという事で石膏を用い、要素試験より内部摩擦角 17° 、粘着力0という結果が得られた。供試体の作製・養生は恒温恒湿で行ないその差による材料強度への影響は無いと考えられる。この供試体について圧縮試験を行った。

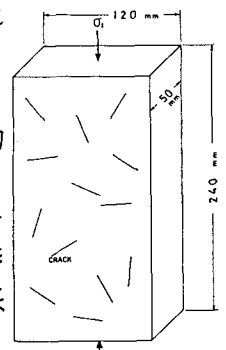
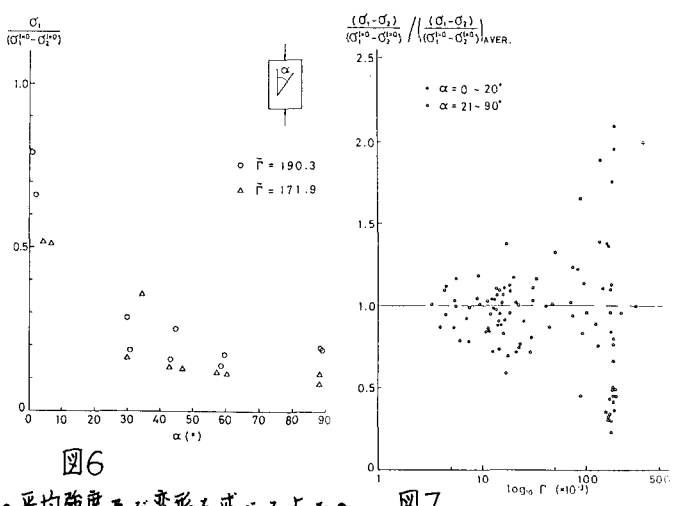
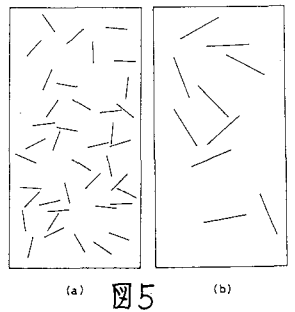
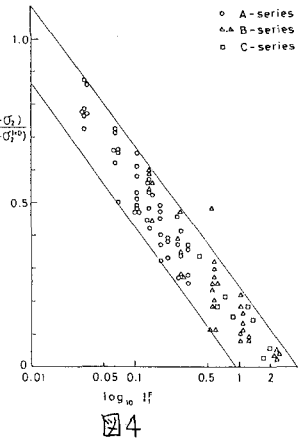


図3

4 結果・考察 まず、構造テンソルの第1不変量 I の適用性を調べる為に等方性供試

体について実験を行、た。図4はその結果でクラック幅一定、個数を変えたAシリーズ、個数一定で幅を変えたBシリーズ、個数も幅も変えたCシリーズについて縦軸にクラック〇個のもので無次元化した破壊強度を、横軸に $\bar{I}$ の対数をとったものである。クラック密度及びクラックの大きさの3乗に比例する量で、不連続性の程度を相対的に表わすと考えられる $\bar{I}$ が増加するに伴い強度は減少している。また破壊状況の観察より、最も危険なクラックの割れ目発生時に破壊強度が与えられるのではなく、供試体全体に割れ目がある程度進行した後に破壊に至る事がわかった。つまり破壊強度はクラックの平均的な量、即ち $\bar{I}$ により決まるという事が確認された。また図5の(a)と(b)に見た目には全く違ったクラックパターンであるが強度はほぼ等しい。クラックパターンを統一的に表わすと考えられる $\bar{I}$ の値は両者とも等しい。次に、異方性の程度を示す $\bar{I}$ 及び構造テンソルの主軸と応力テンソルの主軸との成す角 α について調べた。図6は $\bar{I}$ 一定の下、 α の変化を調べた結果である。横軸に α 、縦軸に破壊強度をとった。○で示した $\bar{I}$ の大きいもの即ち異方性の強いものと△で示した $\bar{I}$ のやや小さいもの即ち異方性の弱いもの共に、 $\alpha = 0^\circ$ 付近で最大値をとり、また α の値により強度は明らかに異なっている。更に、 $\bar{I}$ が小さくなると α による強度範囲が小さくなっている。これは異方性が強いものから次第に等方性に近づくにつれ α の影響が小さくなる事を示している。又、 $\bar{I}$ の異なるこの2シリーズについてそれぞれの平均強度を図4にプロットすると図中のバンド内に入る事より、 $\bar{I}$ は異方性の平均強度を与える指標となる事も確かめられた。図7は $\bar{I}$ の影響を消去した上での $\bar{I}$ と強度の関係にある。 $\bar{I}$ が大きくなるに従って強度のバラつきが大きくなり、●で示した α が $0^\circ \sim 20^\circ$ のものは $\bar{I}$ が大きくなると平均値より上側に位置するようになる。これより、同じ $\bar{I}$ でも $\bar{I}$ が大きくなると α の値により明確に強度に違いが出る事が確認された。今まで述べた強度に関する事は変形係数についてもほぼ同様な事が云える。



5 結論

以上の事より、(1)構造テンソルの第1不変量 $\bar{I}$ は強度や変形係数と線形な関係があり、等方材料や異方材料の平均強度及び変形を述べる上での指標として適当である。(2)偏差構造テンソルの第2不変量 $\bar{I}$ は異方性の程度を述べる上での指標となり、平均の強度や変形からのバラつきを述べるには、これと同時に構造テンソルの主軸と応力テンソルの主軸との成す角 α が大切なパラメータとなっている。という事が確認され、これらより構造テンソルはクラックの幾何学性と統一的に表現し得る量として十分有効ではないかという事が云えると思われる。

6 むすび

将来において、実際の岩盤の構造テンソル F_{ij} が決定できれば、岩盤が構造物の基礎或いは構造物の収容体とされる際に、岩盤の強度及び変形に関する性質について岩盤中に存在するクラックの影響をともに評価する事が可能となると考えられる。