

大林組 正員 ○鈴木 健一郎
 埼玉大学工学部 正員 小田 匡寛
 日特建設 小倉 均

1. はじめに 岩盤の力学的性質が断層・節理・亀裂といった地質学的不連続面に支配されている場合、それらの影響を如何に評価し、合理的な設計を行なうかという事が岩盤関係技術者の間を一つの大きな課題となっている。断層のような大規模な数本の不連続面は、数値解析に直接取り込む事が可能であるが、数において多くを含み、その幾何学的外觀が非常に複雑な所謂節理性岩盤においては、それら不連続面(クラックと呼ぶ事にする)を1つ1つ解析に取り込むのは不可能である。その為、不連続体である岩盤を等価な弾性定数及び降伏条件を持つ連続体として安定解析が行なわれる。しかしその場合、幾何学的に複雑なクラックをどのように定量的に評価し、等価な連続体を定義していくかという事が問題となる。その1つの評価法として提案されたクラック・テンソルは、これまでの理論的・実験的研究より不連続性材料の力学的特性を述べる上で有効である事が確かめられて来た。弾性定数については既に報告済であるので¹⁾、本報告では石膏によるモデル供試体の一軸及び二軸圧縮試験結果から、不連続体を等価な連続体として定義する場合の降伏・破壊条件として、クラック・テンソルを用いてクラックの幾何学的影響を考慮した規準を提案する。

2. 実験概要

供試体及び一軸圧縮試験については、文献2)を参照されたい。二軸試験は図1のような装置を用い、まず所定の側圧まで鉛直方向の応力 σ_1 と水平方向の応力 σ_2 を等方的に載荷した後更に σ_1 を増加させ軸差応力 $\sigma_1 - \sigma_2$ を測定した。上下・左右の剛体加圧板はテフロン加工を施し、更に左右の加圧板と供試体との間にはグリースを塗付したメンブレンを挿入しその間の摩擦抵抗を緩和した。

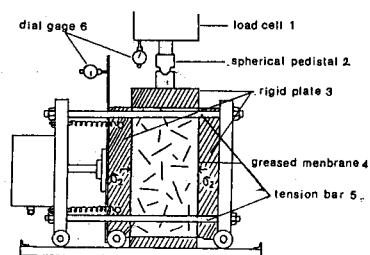


図-1

3. 実験結果及び考察

まず、等方性材料の二軸圧縮試験結果について、各々の強度 σ_1 と対応する側圧 σ_2 とその材料の一軸圧縮強度 q_u で無次元化した平均応力と最大剪断応力についてプロットしたのが図2である。この図は、クラックの開口量がその長さに近似的に比例するという報告を考えると間隙率と等価な意味を持つ事が容易に証明できる0階のクラック・テンソル F_0 の異なる種類の結果を含んでいる。それにもかかわらず全てが次式で表わせる一直線上に並んでいる事がわかる。

$$\sigma_1 - \sigma_2 / 2q_u = k \cos \phi + (\sigma_1 + \sigma_2 / 2q_u) \sin \phi \quad \dots (1)$$

ここで k , ϕ は材料固有の定数である。(1)式は $\tau - \sigma$ 座標上で考えた時、Mohrの包絡線の初期直線部に対して

$$\tau = k q_u + \sigma \tan \phi \quad \dots (2)$$

という F_0 の変化に伴う強度の変化が主に見掛けの粘着力の変化に依存し、しかもその見掛けの粘着力が一軸圧縮強度 q_u の一次関数で表わせるという非常に簡単な降伏規準と等しい。又、(2)式はHvorslevの粘土の降伏規準として提案した内部摩擦角は一定で、有効粘着力が間隙比の関数となるといふ次のような規準

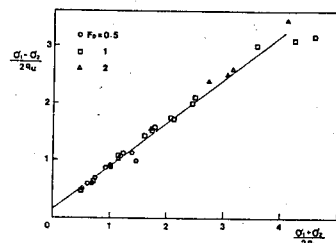


図-2

$$\tau = C_{eo} \exp(-B\epsilon_f) + \sigma \tan \phi \quad \dots (3)$$

$$C_{eo}, B, \phi = \text{constant.}$$

と同じ形式である事から等方性不連続材料の力学的挙動は粘土のそれと非常に類似している事が明らかとなった。

異方性材料の試験結果についても同様な整理をしたのが図3と図4である。図3に示したのは $F_0 = 1, R = 0.98$ (異方性の程度の強い供試体)、図4に示したのは $F_0 = 1.7, R = 0.78$ (異方性の程度のやや弱いもの) であるが、それぞれ図2の直線と同一な直線上にプロットされる。即ち、不連続性材料の強度特性を考える場合、クラックの幾何学性は主に材料の一軸圧縮強度 q_u に影響を与える為、 q_u の把握を十分する事で Mohr の包絡線が直線となる領域においては、(1)又は(2)式の規準が有効である事が確認された。この結果は石膏供試体によるモデル実験においてのみ成立するものでない事は図5、図6を見ると明らかである。図5は Hoek らによる異方性粘板岩の三軸試験結果³⁾についてこれまでと同様な整理をしたものであるが一本の直線上に結果がプロットされる事がわかる。図6の赤井らによる異方性石墨片岩の三軸試験結果⁴⁾についても同じである。そこで不連続性材料の q_u についてこれまでの結果をまとめてみる。 q_u は材料基質部の強度 $q_u^{(0)}$ 、クラックの物理性・力学性を表わすパラメータ α 、そして幾何学性を評価するクラック・テンソル E の関数として

$$q_u = f(q_u^{(0)}, E, \alpha) \quad \dots (4)$$

のように表わせ、等方性の場合、 E に関して0階のテンソル F_0 を用いれば十分で $q_u^{(0)}$ で無次元化した強度は $\log F_0$ と線型関係にあり(図7)、その関係は図8に示すように基質材料の異なるものでも同様である。クラック自身の力学性質が異なる⁵⁾と図9の様にその傾きが変化する。ただしクラックの存在が強度に影響し始める F_0 の値は 10^{-2} という等しい値となっている。即ち、 q_u に関する降伏条件として次式を得る。

$$q_u = -\frac{q_u^{(0)}}{F_0} \log \frac{F_0}{F_0^*} \quad \dots (5)$$

$$n = \log \alpha - \log 10^{-2}$$

ここで α は $q_u = 0$ となる F_0 の値を用いる。

7. 異方性の場合、 E に関して2階のテンソル F_2 まで用い、その主方向と応力テンソルの主方向との成す角 θ 、異方性の程度を表わす F_2 の偏差第2不変量に關係する量 R 、そして間隙率と等価な F_0 を用いて表現する事が可能であるが、その詳細な表現方法は今後の課題である。

- 参考文献) 1) "不連続性材料の弾性コンプライアンス" 小田、鈴木、前渡、第16回岩盤力学に関するシンポジウム(2) 2) "不連続性材料の構造テンソルに関する研究" 小田、鈴木、鈴木、土牛、1982年、32頁-119
3) "Underground Excavations in Rock" Hoek, E. & Brown, E.T. 4) "結晶片岩の構造異方性に関する実験的研究" 赤井、山本、有岡
5) "不連続性材料の降伏・破壊規準" 鈴木、小田、第16回岩盤力学に関するシンポジウム(I)

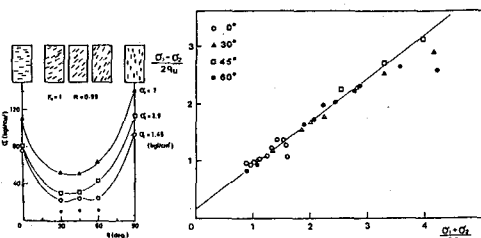


図-3

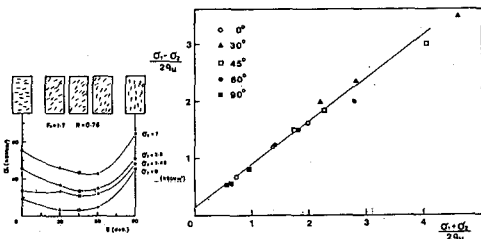


図-4

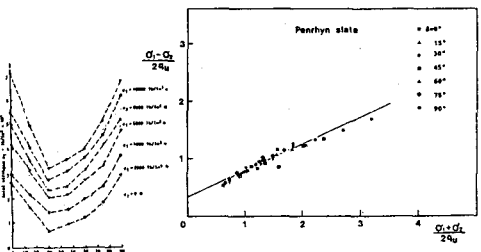


図-5

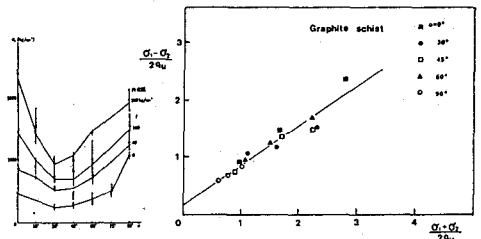


図-6

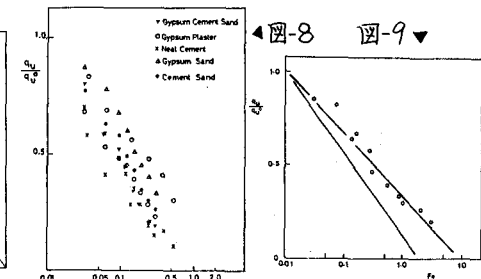


図-8 図-9

