

不連続性岩盤における節理調査とその適用例

平 間 邦 興 丸 山 誠
鈴 木 健 一 郎

Joint Survey and its Application to Rock Mass

Kunioki Hirama Makoto Maruyama
Ken-ichiro Suzuki

Abstract

Computational analyses of hydro-mechanical responses of rock masses have undergone rapid advances in a period of a few decades. However, the applications of these methods would be completely inadequate if in-situ hydro-mechanical parameters were not available. Very little progress has been made applying field surveys to analyses of jointed rock masses because of the geometrical complexity of discontinuities in the masses. In this report, the following are discussed and applied to a certain site: (1) Methods of field surveys, especially joint surveys, and quantitative descriptions of discontinuities in rock masses. (2) Methods dealing with data obtained by joint surveys on the basis of the crack tensor concept proposed by Oda in 1982.

概 要

不連続性岩盤の水力・力学的性質に及ぼす不連続面の影響を正しく理解することは、岩盤構造物の安定性を評価する上で重要である。この報文では、主に宅地造成計画地で実施した節理調査をもとに、その手法の確立と幾何学的性質を総合的に評価する指標として提案されているクラックテンソルの概念に基づいて岩盤性状を把握することを試みた。以下にその概略を述べる。

1. 緒 言

岩盤力学における各種地盤調査の第一の目的は、岩盤の地質構成を三次元的に組立てるとともに、各々の構成単位の水力・力学的性質を明らかにすることにある。岩盤を分類したり、あるいは等級を与えることのみが目的ではない。それは、岩盤分類がその物性を簡便に把握するために発展して来た経緯を考えると明らかである。しかし、最近の傾向として物性や施工性の面から、より細かい判定を必要とする動きもみられる。というのも、最近の岩盤を対象とした重要構造物、例えば、石油の地下備蓄や原子力廃棄物の地下処分などに関する岩盤内構造物への需要の増加に伴い、従来の方法に加えて、より正確さを持った岩盤の評価の必要性が生じて来たからである。確かに地質調査データに基づく岩盤分類より定性的

に評価は可能である。それにより不連続面の存在が岩盤の水力・力学的性質に大きな影響を与えると判断されると、不連続面に関する調査データが詳細に検討される。例えば、推定される物性値で、安定計算を行なう場合、その岩盤モデルがどの程度、実際の岩盤を反映しているかが結果の判断を大きく左右することは言うまでもない。しかしこの岩盤モデルの精度なり、実岩盤への対応などを示す一般的な規準が無いために、“岩盤分類がそれに相当する”というような誤解が生ずる。この“一般的な規準”として提案されたのがクラックテンソルである。クラックテンソルは一般的な地質調査データから計算することができる。この報告は、まず地質調査、主に節理調査に関する地表踏査手法とその表現方法について検討し、次に実際の岩盤においてそれを実施し、得られたデータよりクラックテンソルを計算し、同岩盤の透水

試験結果との比較を行なったものである。

2. 節理調査手法と不連続性岩盤のモデル化

2.1. 不連続面の調査手法と記載法

不連続面の幾何学的特性や物理的特性についての定量的表現法の統一の試みが各方面で検討されている。既存の調査報告では、岩盤ボーリング結果に、コア観察結果として割れ目の傾斜や粗度の記述があるのみであり、表現法もまちまちである。表記法統一の検討の成果として、ISRM（岩の力学連合会）より1978年に指針が提案された¹⁾。ここではその指針に沿い、不連続面を定量的に記載するための10個のパラメータについて概説する。そのパラメータとは、①方向 (Orientation)、②間隔 (Spacing)、③連続性 (Persistence)、④粗さ (Roughness)、⑤壁面強度 (Wall Strength) ⑥間げき幅 (Aperture)、⑦充填物 (Filling)、⑧浸透水 (Seepage) ⑨セット数 (Number of Sets)、⑩ブロックサイズ (Block Size) である。これらの不連続面の調査は、主に露頭観察、ボーリングコア観察、あるいは空中写真撮影などによって行なわれる。これらのパラメータに対する目的、適用範囲、使用機器、調査方法並びに表現方法について一覧表にまとめたのが表-1である。しかし、実際の現地調査の作業では手間と時間をかなり必要とし、また、そのデータの整理にも検討すべき問題は多くある。それについては適用例のところでも述べることにする。

2.2. 調査データを利用した不連続性岩盤のモデル化

前節で述べた手法により、不連続面を表現するのに必要なデータが定量的に表わされたとする。重要なことは、これらのデータをどのように翻訳し、設計、施工に結びつけるかということである。地質調査データは、岩盤分類のためのバックデータには成り得るが、岩盤の水理・力学的性状と直接的に結びつけるには至っていないのが現状である。その大きな理由は、岩盤がサイトごとに異なり、評価すべき領域が広範囲にわたることが挙げられる。さらに技術的な問題は、表-1の各パラメータが岩盤の水理・力学的性質に対して相互に依存することにある。換言すれば、各パラメータを統一的に表現し、不連続面の幾何学的性質を総合的に判断する指標に欠けるとことになる。これらの問題に関して、筆者らはクラックテンソルという概念の導入を試みた。クラックテンソルについての一般論は文献^{2),6)}に譲るとして、何故テンソル量が要求されるのか、そして実際の岩盤において、表-1のパラメータを用いてどのように決定するかについて述べる。

岩盤中に存在する節理やき裂といった不連続面は、方向性を有するものである。それらが岩盤中に含まれる密度とか大きさ、開口量は方向性を持たない量であるからスカラー量で表現できる。しかし、ストレオ投影やジョイントロゼットなどに表わされるように不連続面は空間的な分布を持っており、それを表現するのに座標系の取

項目	パラメータ	①方向	②間隔	③連続性	④粗さ	⑤壁面強度	⑥間隙幅	⑦充填物	⑧浸透水	⑨セット数	⑩ブロックサイズ
目的と適用	三次元的な不連続面の方向と構造物との関連性	岩盤の強度や透水性や破壊様式に影響	不連続面の長さ、面積の粗がりを意味する	起伏や凹凸によって特徴づけるせん断試験の規模による	せん断強度や変形特性に重要。変質の程度	不連続面での壁面間の垂直距離。透水試験の評価	壁面に存在する物質せん断。変形特性。透水性に影響	母水性の不連続面を通る水の流。地下水水位など関連	互いに交差する不連続面の粗で対象岩盤の範囲に影響	岩盤の力学的挙動(応力条件下)に影響。不連続面の間隔。セット数。連続性より決定される	
使用機器	コンパス クリノメータ (テープ、角度器) 傾斜計	3m測定テープ (mm単位) コンパス クリノメータ	10m測定用テープ	直定規 コンパス クリノメータ 10mテープ デュスクリノメータ 厚板 (45~40cm)	地質ハンマー シムミットロック ハンマー 標準土質層貫入 試験器	3m測定テープ フォーラーゲージ ペイント 洗浄具	3m測定テープ (mm単位) 折尺(直定規) 地質ハンマー ナイフ	目視観察 空中写真 気象データ	地質用コンパス クリノメータ	3m測定テープ (mm単位)	
調査データ 調査方法	最大傾斜角 (水平からの) 傾斜方向角 (北から時計回りに)	サンプリング長さ : 3m以上 (間隔×10以上)	スケッチ 不連続面の長さ測定 不連続面の終端 (x: 露頭の終端 y: 露頭中の岩石中 d: 他の不連続面)	線状断面法 デュスクリノメータ法 写真測量法	地質ハンマー試験 点載荷試験 シムミットロック ハンマー試験	対象調査線と交差する不連続面の測定	幅(野外スケッチ) 異化度 (化学的、物理的) 地質学的性質 粒子の大きさ、 強度、含水比、 透水	排水パターンと 地下水水位 不連続面からの 浸透水区分 (流量、滞留)	調査領域の大きさ の関数 スケッチ	ブロックサイズ 指標 (B) 単位体積割れ目数 (Jv) (ジョイント数/m ³) 岩盤区分	
結果の表現 方法	走向・傾斜の分布 (地質的不連続面) との関係 ブロックサイズ グラム ジョイントロゼット 球面投影	ヒストグラムの 作成 (最小間隔) 最大間隔 最頻値間隔 最大間隔 間隔の総数に 対する相対本数 (頻度)	ブロックサイズ グラム トレース上の 分布 終端特性の表示	階級法、波状、 平坦に分級	異化度区分 圧縮強度の測定区分 スケッチ (断面図)	間隙による分級 (當量径<0.1mm 閉閉域 開口径>1cm)	寸法形状 充填物のタイプ 充填物強度 (S ₁ ~S ₆ 指標) 透水性 (W ₁ ~W ₆ 等級)	水文地質データの 記入	走向・傾斜分布 (視覚的)	基礎ブロックサイズ 指標 最大・最小 ブロックサイズ Jvによる分級 (1.0~30)	
備考	必要回数150回 写真測量法	層折法による 管性探査の利用 ボアホール内 観察法	露頭の大きさに 影響	せん断試験の 測定	試験回数: 1組10回程度	(例) 方解石、結 晶石、シル ト、石膏結 晶等	空中写真、地質 図の利用	①方向データの 活用 (物理的)	採石跡中、発 破効中に影響		

表-1 不連続面の定量的表現方法 (ISRM 指針1985年11月より)

り方に不変なテンソル量でなければならない。さらにテンソル量であるということは、調査目的である岩盤の工学的性状の把握という意味からも有効な量である。何故なら岩盤の水理・力学的挙動を論ずるには、少なくとも応力、ひずみ、変位、流速などのベクトル、テンソル量を扱わねばならない。破壊（降伏）規準もテンソルの不変量を用いるのが一般的であり、不連続面の分布性状をテンソル量で表わすことは、それら諸量とうまく結びつけられるからである。以後、2階のテンソルを例にとり簡単に説明する。

今、密度 ρ は、岩盤中の体積 V の領域中に $m(v)$ 個の不連続面がランダムな中心座標をもって均一に分布しているとしたとき $m(v)/V$ と定義する。また不連続面の大きさの代表値として例えば、等価な面積を持つ円の直径 r を選ぶ。開口量も凹凸の平均的な量 t で、さらに不連続面の方向をその単位法線ベクトル n で定義することにする。クラックテンソル F_{ij} 、および第2種クラックテンソル P_{ij} は確率密度関数 E を用いて次式のように表わされる。

$$F_{ij} = \frac{\pi\rho}{4} \int_0^\infty \int_\Omega r^3 n_i n_j E(n, r) d\Omega dr \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$P_{ij} = \frac{\pi\rho}{4} \int_0^\infty \int_0^\infty \int_\Omega t^3 r^2 n_i n_j E(n, r, t) d\Omega dr dt \quad \dots\dots\dots(2)$$

F_{ij} や P_{ij} はそれぞれ弾性コンプライアンス D_{ijkl} や透水係数 k_{ij} と次のように関係づけられる^{5), 6)}。

$$D_{ijkl} = \frac{(1+L)}{E} \delta_{ik} \delta_{jl} - \frac{\nu}{E} \delta_{ij} \delta_{kl} + \frac{1}{4D} (\delta_{ij} F_{kl} + \delta_{jl} F_{ik} + \delta_{jk} F_{li} + \delta_{ik} F_{jl}) \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここで、 E および V は岩石基質部のヤング率およびポアソン比、 $1/D$ は不連続面の剛性で一般には非線型で応力に依存している。また、 δ_{ij} はクロネッカーのデルタで $i=j$ のとき 1、 $i \neq j$ のとき 0 となる。

$$k_{ij} = C(P_{kk} \delta_{ij} - P_{ij}) \quad \dots\dots\dots(4)$$

C は、流れのタイプや面の状態に依存する定数で、Pois-euille 流れを仮定すれば $\rho g/12\mu$ である。ただし、 ρ , μ , g はそれぞれ、水の密度、粘性係数、重力加速度である。以上のように F_{ij} および P_{ij} が岩盤の水理・力学的物性と直接的に関連していることがわかる。次に実際の岩盤においてそれらをどのように決定していくかについて述べる。

式(1)および(2)に示されるテンソル量を決定するためには、実際にはどのような測定を行なえばよいであろうか。走向、傾斜の測定は露頭において可能である。しかし、面の大きさについては、いちいち岩盤をはいで調べることは不可能である。しかし不連続面は、露頭面との交線としてその大きさを示している。直感的には同一面に現

われる交線において長いものは、短いものに比べて岩盤内部での拡がりも大きいと想像できる。しかし、観察面に現われる交線の長さや岩盤内部での拡がりは、予想に反する場合も有る筈である。そのような二次元場に現われる情報から三次元場における様子を推定しようというのが積分幾何学とかステレオロジーとか言われるものである。不連続面の大きさ r と露頭に現われるそれらの交線長さ l との間には、次のような関係がある^{3), 4)}。

$$\int_0^\infty l^n \phi(l) dl = \frac{1}{\int_0^\infty r f(r) dr} \int_0^\infty r^{n+1} f(r) dr \int_0^{\pi/2} \sin^{n+1} \theta d\theta \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここで ϕ および f は l と r の確率密度関数である。次に、空間に長さ h 、方向 q なる測線を設けた時に、それと交わる不連続面の個数について考えてみる。測線が直径 r 、法線ベクトル n の面の中心を通った時、 q に垂直な面へ投影される面積は、 $(\pi/4)r^2 n \cdot q$ である。今、 h が十分に長いと考えて、体積 $(\pi/4)r^2 h n \cdot q$ の円柱中に含まれる直径 $r \sim r+dr$ 、法線ベクトル n が微小立体角 $d\Omega$ にある不連続面の個数 $dN^{(q)}$ は、密度 $\rho = m(v)/V$ を用いて

$$dN^{(q)} = \frac{\pi}{4} \rho r^2 h n \cdot q f(r) E(n) dr d\Omega$$

と表わされる。従って、すべての不連続面については、 r を $0 \sim \infty$ 、 $d\Omega$ を全立体角 $\Omega (=4\pi)$ について積分すればよい。すなわち、

$$N^{(q)} = \frac{\pi\rho}{4} h \int_0^\infty r^2 f(r) dr \int_\Omega n \cdot q E(n) d\Omega \quad \dots\dots\dots(6)$$

となり、 $N^{(q)}$ が長さ h の方向ベクトル q なる測線に交わる不連続面の総数であり、任意の測線について測定可能な量である。以後、簡単のため、次のような表記法を採用する。

$$\int_0^\infty r^n f(r) dr = \langle r^n \rangle, \quad \int_0^\infty \tau^n \phi(\tau) d\tau = \langle \tau^n \rangle$$

$$\int_\Omega n_i n_j E(n) d\Omega = \langle n_i n_j \rangle$$

$$\int_\Omega n \cdot q E(n) = \langle |n \cdot q| \rangle$$

(5)式および(6)式の結果をふまえ、(1)式および(2)式を大きさ、方向、開口量の測定値がそれぞれ独立であるとして書き換えると次式となる。

$$F_{ij} = \frac{3\pi}{4} \frac{\langle l^2 \rangle}{\langle l \rangle} \frac{N^{(q)}}{h \langle |n \cdot q| \rangle} \langle n_i n_j \rangle \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$P_{ij} = t_0^3 \frac{N^{(q)}}{h \langle |n \cdot q| \rangle} \langle n_i n_j \rangle \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中に表われる量はすべて測定可能な量で、

- ① 不連続面の法線ベクトル
- ② 露頭に現われる交線の長さ
- ③ 測線に交わる面の個数と法線ベクトル

の三つである。各測定法は表-1による。ただし、法線方向は基準座標系に対する方向余弦として求める。

3. 某ダム基礎岩盤における適用例

3.1. 調査地点の地形・地質概要

調査地点は、兵庫県での宅地造成計画地の一部で山稜を寸断する開析谷の河床部分である。(標高 110 m) 対象地盤は、調整池えん堤の基礎岩盤となる部分で地質は中生代の有馬層群に属する凝灰岩および頁岩が主で、その下位に礫~角礫凝灰岩が分布している。全般に層理がよく発達し、節理が多く、節理間隔も狭く、概ね C_M 級岩盤と想定される。この調査地点においては、数多くのボーリング調査と現場透水試験を実施している。それによると対象となる岩盤は RQD=0~70% とき裂が多く、孔内水位はいずれのボーリング孔でも GL -25~30 m 以深で、かなり深部に位置する。

3.2. 調査およびモデル化

調査データより、F_{ij} および P_{ij} を計算し、岩盤を連続体、多孔質媒体としてモデル化するにしても、表-1 に示す手法によりデータを表現しておく必要はある。

ここでは、各パラメータの定量的記載を行なうとともに、最終的に F_{ij} および P_{ij} の値を示し、調査岩盤を多孔質媒体に置き換える。

法線方向の分布：不連続面の方向分布をシュミットネットにプロットしたのが図-1である。N-S 走向、傾斜約 90° のグループ1、E-W 走向で傾斜が約90° のグループ2 およびほぼ水平なグループ3の三つにグループを分けることができる。データは、現地で測線を設け、それに交わったものについてクリノメータにより、直接測定したもので、精度は 10±0 である。〈n_{in}j〉の計算は、傾斜を φ, 傾斜方向をNより時計回りに θ° とすると、

$$\langle n_{in}j \rangle = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \begin{pmatrix} \sin^2\theta^{(k)} \sin^2\varphi^{(k)}, & \sin\theta^{(k)} \cos\theta^{(k)} \sin^2\varphi^{(k)}, & \sin\theta^{(k)} \sin\varphi^{(k)} \cos\varphi^{(k)} \\ & \cos^2\theta^{(k)} \sin^2\varphi^{(k)}, & \cos\theta^{(k)} \sin\varphi^{(k)} \cos\varphi^{(k)} \\ & & \cos^2\varphi^{(k)} \end{pmatrix} \dots\dots\dots(9)$$

を用いて、各グループごとに行なう。(基準座標系はE方向を X₁, N方向を X₂, 鉛直上向を X₃ とする右手系である)

交線長さの分布：グループ1とグループ2についての交線長さの頻度分布を図-2, 図-3にそれぞれ示す。これらは、基準となるスケールとともに撮影した写真より測定された長さである。写真からデジタイザによりトレースを行なったのが図-4である。交線は始点から終点まで一本の直線ではないが、対象領域を考えれば、そ

れらを一本の直線で近似することは十分可能である。従って交線長さはほぼ始点と終点を結ぶ直線で近似し

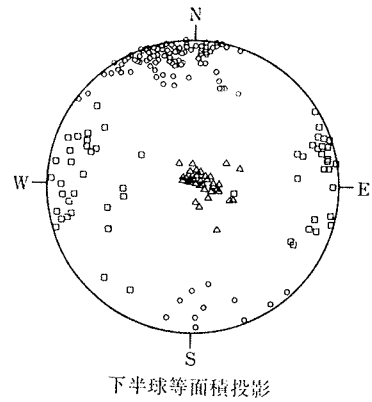


図-1 下半球等積投影図

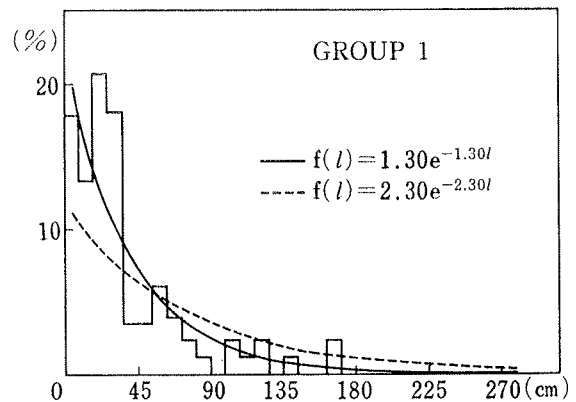


図-2 交線長さの分布 (グループ1)

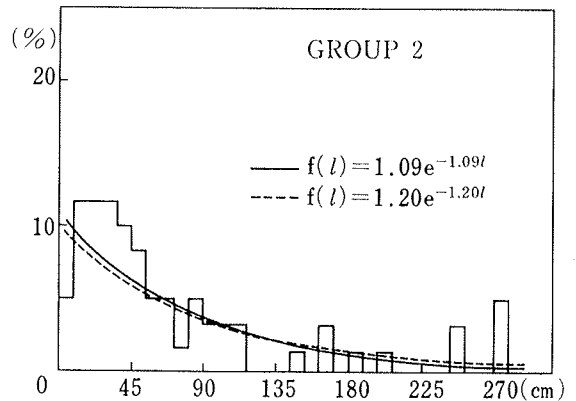


図-3 交線長さの分布 (グループ2)

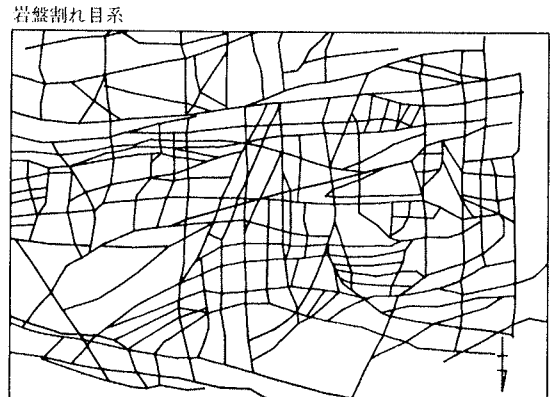


図-4 岩盤割れ目系

たときの長さである。ここで始点と終点を決定するにあたり次のような前提を設けている。①交線の交叉部分では、できる限り直線方向へ、且つ長い方へ伸ばす。②原則として交線の始点および終点は、他の交線上にあり途中で消滅することはほとんどない。また、図中の実線は上記測定長の分布から指数関数； $\phi(l) = \lambda e^{-\lambda l}$ で分布型を、近似したものである。式中の係数 λ の簡便な決定法として、Priest & Hudson は次のようなものを提案している。すなわち、

$$\lambda = -\ln[(N_T - N_C)/N_T]/C \quad \dots\dots\dots(10)$$

ただし、 N_T は、測線と交わる交線の総数、 N_C は C 以下の片交線長をもつ交線の数である。この式を用いるためにはサンプリング数が母集団（ここでは露頭面中の交線の総数）を推定するのに十分である必要がある。(10)式より推定される λ を用いた分布型を点線で示したが、グループ1は、実線との差が明らかである。理由としては、サンプリング数の少なさと、頻度分布図が面内の交線長さの分布であるにもかかわらず、(10)式による推定が測線によるサンプリング法を用いたためではないかと考えられる。そこで(10)式の記号の意味を N_T は幅 C 内に入るすべての交線の数、 N_C を C 内に交線の一端以上があるものの数とする。これは幅 C 内に十分な測線を設けたことに対応する。すると λ の値がすべての交線長さを測定して得られる結果に十分近い値となる。無限領域まで調査領域の交線の分布形状が広がっているとすれば、(7)式中の $\langle l^2 \rangle / \langle l \rangle$ は、 $2/\lambda$ となるが、ある領域 t を限ってしまうとその領域内には t より長い交線は存在しないので次のような計算によらねばならない。すなわち、

$$\langle l^2 \rangle = \int_0^t l^2 \phi(l) dl + t \int_0^t \phi(l) dl + t^2 \int_t^\infty \phi(l) dl \quad \dots\dots(11)$$

$$\langle l \rangle = \int_0^t l \phi(l) dl + t \int_0^t \phi(l) dl + t \int_t^\infty \phi(l) dl \quad \dots\dots(12)$$

t を $1/\lambda$ 、すなわち交線長さの平均値のほぼ4倍以上の値をとった場合には、 $\langle l^2 \rangle / \langle l \rangle = 2/\lambda$ から得られる値の90%以上の値となる。グループ3についてはこの方法により $\langle l^2 \rangle / \langle l \rangle$ の値を決定している。

密度の推定：密度 ρ の値は直接推定されることはないが、(6)式より $\int_0^\infty r^2 f(r) dr$ との積して得られる。ここでは、グループ1については17本、2および3については、それぞれ7本、2本の測線を設け、 $N^{(q)}/h$ を決定した。また、各グループにおける補正項 $\langle \ln \cdot q \rangle$ は、すべての測定法線ベクトルと測線の方向ベクトルとの内積の平均を考えた。

F_{ij} および P_{ij} の決定：以上の測定結果より各グループの F_{ij} および P_{ij} が決定され、全体としての F_{ij} および P_{ij} は次式のように求まる。

$$F_{ij} = F_{ij}^{(1)} + F_{ij}^{(2)} + F_{ij}^{(3)} = \begin{pmatrix} 8.56 & -1.84 & -1.14 \\ & 12.17 & -2.15 \\ \text{symm.} & & 22.46 \end{pmatrix} \times 10^{-2} \quad \dots\dots(13)$$

$$P_{ij} = P_{ij}^{(1)} + P_{ij}^{(2)} + P_{ij}^{(3)} = t_0^3 \begin{pmatrix} 8.95 & -0.90 & 0.02 \\ & 7.57 & -1.15 \\ \text{symm.} & & 8.96 \end{pmatrix} \times 10^{-2} \quad \dots\dots(14)$$

F_{ij} および P_{ij} は、不連続面の幾何学的特性のみに依存する量で、 F_{ij} の第一不変量 F_{ii} は、岩盤の間げき率と等価な意味を持ち、偏差第二不変量 $(F_{ij} - F_{kk} \delta_{ij}/3)$ ($F_{ji} - F_{kk} \delta_{ji}/3$) は異方性の程度を表わす指標であり、三次元の場合は $0 \sim \sqrt{2}$ の範囲で示される。調査岩盤においては、 $F_{ii} = 43$ と非常に大きく、クラッキーな岩盤であることを意味する。また、異方性の程度は0.44となり、多少の異方性が見受けられる。基質岩のEおよび ν さらには、不連続面の変形特性が知れば式(3)を用いて地山の物性値が評価できる。一方、透水係数テンソル k_{ij} は、(4)式に(14)式を代入することにより、Poiseuille 流れの仮定できる場合、

$$k_{ij} = t_0^3 \times \begin{pmatrix} 1.13 & 0.61 & -0.01 \\ & 1.22 & 0.78 \\ \text{symm.} & & 1.13 \end{pmatrix} \times 10^9 \quad \dots\dots\dots(15)$$

(cm/sec)

となる。ただし、ここでは、開口量 t_0 の値が未測定であるため、 t_0 はそのまま残っているものである。

3.3. 岩盤透水試験との比較

同岩盤で行なわれたルジオン試験の結果を深度について整理したのが図-5である。前述のように今回の調査では開口量の測定を行なわなかったため、Bianchi &

Snow⁵⁾ が花崗岩岩盤において測定した開口量を用いて式(15)を具体的に決定し、図-5の結果との比較を試みる。図-6が Bianchi & Snow が macro-photography と fluorescent liquid penetrants という特別な手法により開口量を実測し、深さ方向に整理したものである。このデータを対数

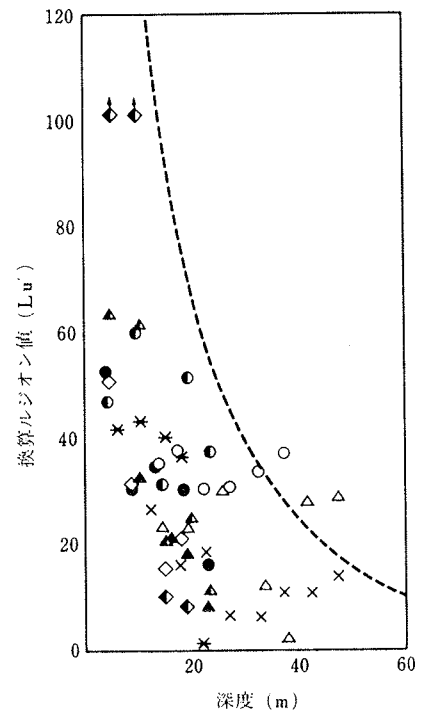


図-5 ルジオン試験結果

曲線により近似したのが図一6中の破線である。この開口量の近似曲線を式(15)の t_0 に代入して、透水係数をルジオン値に換算して示したのが図一5の破線である。岩種も不連続面の性質も異なるものの結果を用いたが、同岩盤において開口量の測定が十分に行なわれることにより、図一4に見られるような複雑な幾何学的特性を持つ不連続性岩盤が、多孔質媒体としてモデル化できることが確認された。

3.4. 適用上の問題点

以上のように岩盤の露頭調査から、クラックテンソルを決定することにより不連続面の幾何学的特性を評価し、その岩盤の水理学的性状と結びつけたが、次のような適用上の問題点があった。

開口量の推定: 開口量は露頭において測定すると風化の影響などで桁違いに大きくなることもある。例えば図一6に地表での測定値は1,000ミクロン程度であるが、地表面下数mでの値と大分異なっており、透水性を規定するために用いられるには不適當であることがわかる。岩盤の水理または力学的性状と結びつけるためには、水理学的または力学的開口量をそれぞれ用いるのが適當であり、その簡便な測定

法については検討していかねばならない。

調査領域とサンプリング量: 節理調査に限らず原位置試験においても、それらが調査岩盤を代表し得る範囲のものであるかは大きな問題である。透水性に関する数値実験⁵⁾によると面の大きさ r の3倍、今回の考察では交線長さの4倍という領域長さが必要である。またサンプリングの質や量

により当然偏りが生じ、水理・力学的物性値に及ぶことになる。母集団に対してどの程度のサンプリング数が必要であるかは、今後データを蓄積して明らかにしていかなければならない。

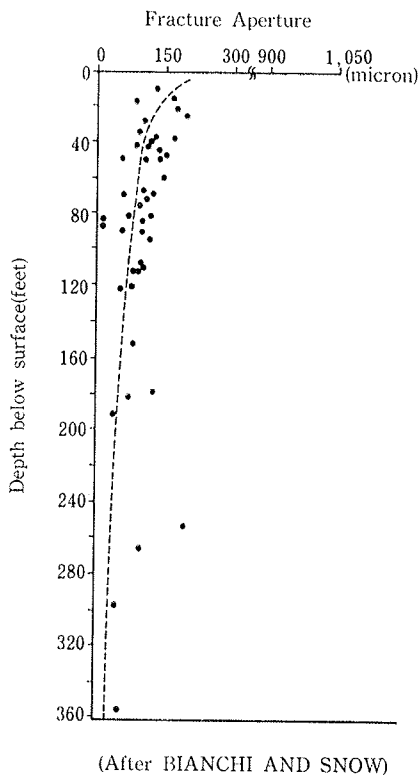
4. まとめ

“岩盤の評価は、不連続面の評価である”と言われていている。不連続面に関する情報を統一的な表現方法をもって、今後増加する岩盤構造物の安定性評価に役立てようという動きが ISRM の指針として現われたに違いない。しかし、これらのデータと解析に用いるデータとの間にはいまだ大きな隔りがあることは否めない。この報告では、その隔りを埋める意図をもって提案されたクラックテンソルを実際の岩盤調査から決定することを試みた。今回、表一1に示したパラメータの中で考慮されたのは、直接には方向、連続性、セット数であるが、間隔、ブロックサイズについても密度との関係から考慮されている。従って主要なパラメータはクラックテンソルに含まれており、それにより不連続面の幾何学的性質が十分評価されることが確認された。

今後は、データを蓄積することで、例えば前述の F_{II} が幾ら程度なら節理、き裂の影響がどのくらいあるとか、あるいは、異方性の程度を表わす指標がこの程度であれば等方性岩盤として解析してもよい、などの評価が可能となる。一方で、母岩および不連続面自身の水理・力学的性質を同時に考慮することにより、岩盤構造物の設計に対して、高価な原位置試験を必要最低限に、かつ試験結果の解釈などにかなり有効な指標となるものである。

参考文献

- 1) ISRM commission on standardization of Laboratory and Field Tests, Int. J. of Rock Mech. Min. Scie. vol. 15, No. 6, (1978), pp. 319~368
- 2) M. Oda et al: Soils and Foundations, vol. 24, No. 3, (1984), pp. 27~40
- 3) M. Oda et al: Proc. of 6th Japan Symp. on Rock Mech., (1984), pp. 121~125
- 4) K. Kanatani: Proc. of 6th Japan Symp. on Rock Mech., (1984), pp. 115~120
- 5) L. Bianchi & D. Snow: Annals of Arid Zone, vol. 8, No. 2, (1968), pp. 231~245
- 6) M. Oda: Proc. of 18th Sympo. on Rock Mech., (1986), pp. 126~130



(After BIANCHI AND SNOW)
 図一6 開口量の深さ方向の変化
 (Bianchi and Snow による)