

# 岩盤節理情報の処理とその浸透流解析への適用について

## ESTIMATION OF DISCONTINUITY CHARACTERISTICS AND ITS APPLICATION TO ROCK HYDRAULICS ANALYSIS

大西有三\*・鍵本広之\*\*・西野賢治\*\*\*

By Yuzo OHNISHI, Hiroyuki KAGIMOTO and Kenji NISHINO

In hydraulically modelling a rock fracture system, we usually model the rock mass as a continuous porous medium. But one of the important questions that arises is whether or not the fracture network behaves like a porous medium and when it does, what is the appropriate permeability tensor for the medium. Answers for this problem have recently been proposed in several ways and qualitative approaches are in progress rapidly. However, even if the rock fracture network behaves like a porous medium, clear distinct faults or fractures should be recognized as main conduits for fluid flow in rock masses. In our approach, combination of flow in the equivalent porous medium for fine fractures and flow in the planar large fractures is considered. A finite element code has been developed to determine the hydraulic behavior of such discontinuous systems.

*Keywords*: discontinuity, rock modelling, rock hydraulics, FEM

### 1. はじめに

地盤、ならびに岩盤を流れる水が、土木構造物の挙動に多大な影響を与えていることはよく知られている。たとえばダム基礎岩盤内の浸透流、フィルダム堤体内の流れ、地下空洞への地下水の流入、降雨・貯水による斜面の安定など数えあげればきりが無いほどである。しかし岩盤は本来不連続面を数多く含んでいるため、それらの影響で岩盤中の浸透流の動きはきわめて複雑となり、その挙動を的確に把握し、解析する方法が確立されているとはいえないのが現状である。

従来から岩盤の透水性を知るためにはルジオンテストの結果を等価な透水係数に置き換え（1ルジオン $\equiv 10^{-5}$  cm/s）、不連続面の効果を無視したいわゆる土質力学的浸透流解析が行われている。このルジオンテストは注入試験の1つであり、基本的には流量を単に透水係数に変換するだけのため、透水性の異方性については何の情報も得ることができない。またルジオンテスト以外の調査事項、たとえばボーリングによる調査や踏査などの調査

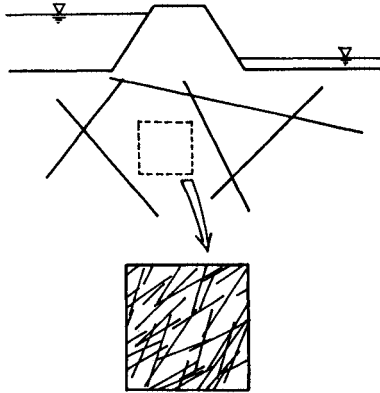
データもあまり有効に使われていないのが現状であり、場合によってはただ単に調査が行われたままになっているか、せいぜいRQDを求めるのに使われている程度のこともある。では、たとえば図-1のようなダムの基礎岩盤において、踏査による岩盤の露頭面調査やボーリング調査などによって長大な割れ目と岩盤中の細かい節理が判別されている場合どのような解析方法を考えればよいであろうか。

最近の岩盤浸透流解析において岩盤内に含まれる不連続面の存在を加味したうえで岩盤を1つの多孔質体に置換して計算を行う方法が急速な進歩を遂げている。Longらによる数値解析的手法<sup>1),2)</sup>と小田らのクラックテンソルによる方法<sup>3)</sup>が代表的なものとして知られている。しかしこれらの方法を単独で用いる場合、置換できる領域の大きさがどれくらいか、また断層などの特別長大な割れ目をどう取り扱うかについて問題が生じる。したがって、ある程度節理の規模が大きくなるとその影響を陽に計算できる決定論的手法の導入が不可欠であると考えられる。その最も簡単な1つの手法として長大な割れ目は割れ目として独立に取り扱い、それ以外の細かい節理を有する岩盤部分を等価な透水係数テンソルをもつ連続体に置き換えるというハイブリッド的な方法が提案できる。そうするとたとえば有限要素法による解析では、

\* 正会員 Ph. D. 京都大学助教授 工学部交通土木工学科 (〒606 京都市左京区吉田本町)

\*\* 京都大学大学院修士過程 (同上)

\*\*\* 工修 建設省東北地方建設局 (〒980 仙台市二日町 9-15)



図一 ダムの基礎岩盤

岩盤を四辺形要素，長大な割れ目を線要素として計算を行えばよい。この手法は踏査やボーリング調査データなどの節理情報を生かすかたちで，不連続性の効果を具体的に計算内容に取り入れることができるので，既存の解析プログラムに多少手を加えるだけで岩盤の不連続性による不均質性を考慮した浸透解析が可能になる。

本研究では，岩盤のボーリング調査ならびに露頭における調査から不連続面すなわち節理の情報を求め整理する方法について検討したのち，ある現場で得られたボーリング等からの節理情報に基づき具体的に岩盤モデルを作成し，上記の手法を適用して岩盤の浸透流解析を実施した例を提示する。

2. 岩盤モデル化のための入力定数の推定方法

実際の現場におけるボーリングや地表踏査により得られた節理データを統計的に処理すると，中には既存の分布形（たとえば指数分布）からはずれた長大な割れ目や開口幅の巨大な節理が散見される。これらの規格外の節理を全体にまとめて統計処理しようとする結果にひずみが生じ，また一方，岩盤挙動に対する重要な影響因子を消し去ることもなりかねない。本研究では，こうした節理を長大割れ目として確定的に独立に取り扱い，残りの節理群を定められた領域ごとに一括して連続体に変換する。この置換のための作業手法を順を追って以下に示す。

(1) 節理の卓越方向の決定方法

岩盤中の節理は，種々の走向・傾斜を有する。その卓越方向を決定するためには，まず走向・傾斜の密度分布を求め，その中から密度の高いいくつかの節理群を抽出する。これには菊地らの極座標による解析手法<sup>4)</sup>を用いることにするが，この手法は節理面を球面座標上の点として表わし，球面座標上に等間隔に設けた各測定点からの距離により節理点の集合分けを行うものである。

(2) 平均節理長の推定方法

現場の岩盤露頭面で節理調査を行う場合，種々の理由により節理全体をとらえることができないことの方が多い。このような場合実際の節理長を正しく測定することができない。したがって限られた情報をもとにして実際の節理長を推定しなければならない。そこでここでは節理全体が測定不可能な場合の平均節理長の推定方法を Priest, Hudson 流の考え<sup>5)</sup>に準拠して考察する。以下卓越方向解析を行ったのちの属群に分類された節理のみを対象にする。すなわち考えている節理群はすべて平行なものとして取り扱ってよい。さて図-2のように，測定基線となるスキャンラインを設置する露頭の広さには制限がある場合が多いので，実際には実長  $ab$  の測定が不可能な場合がある。したがって，スキャンラインと交差する節理の半節理長  $ib$  により実長  $ab$  を評価することを考える。図-3は露頭の観察可能範囲に制限があるため，半節理長の測定可能な長さが制限されている場合を示している。半節理長の長さを  $C_m$  とするとその長さは位置により変化するものであるから，

$$C = \min \{C_m\} \dots \dots \dots (1)$$

のような  $C$  という基準値を設定する。

$n$  をスキャンラインと交差する節理数， $r$  を  $C$  以下の半節理長をもつ節理数とし節理長の母集団が指数分布に従うと仮定する（過去の研究により，この仮定はほぼ正しいとされている<sup>6)</sup>と，サンプル数が多くなると

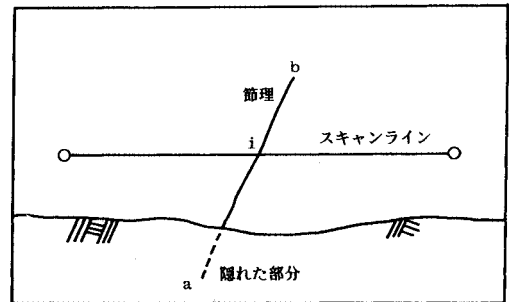


図-2 スキャンラインによる節理のサンプリング

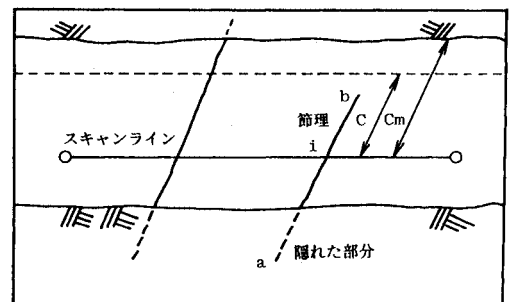


図-3 節理全体が測定できない場合

$$\mu = -C \ln \frac{n-r}{n} \dots\dots\dots (2)$$

一様分布に従うと仮定するとき

$$\mu = \frac{1 + \sqrt{(n-r)/n}}{2/C} \dots\dots\dots (3)$$

で評価できる。ここで、 $\mu$  は分布の平均値の逆数である。したがって式 (2), (3) から、測定可能な半節理長を測定することにより実際節理長が指数分布、一様分布に従うと仮定した場合の平均値を推定することができる。このようにして、露頭における節理長が指数分布、一様分布に従うとみることができるとき、スキャンライン調査によって測定可能な半節理長を測定することにより、その分布形の平均値を推定することができる。

(3) 節理密度の推定方法

節理は三次元空間(岩盤)に存在するものであるが、残念ながら岩盤内を覗き見ることはできないので二次元平面(露頭)または一次元線分(ボーリング)における調査によって節理密度を推定せざるを得ない。露頭における節理調査は菊地らの行っている平面サンプリングの方法<sup>7)</sup>があるが、ここではスキャンライン調査およびボーリング調査から節理密度を推定する方法について考察する。

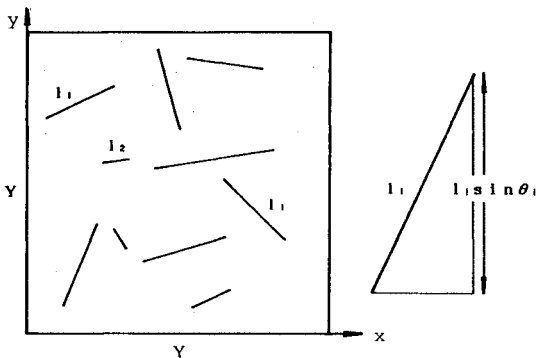
節理の位置・方向・長さはランダムで、スキャンラインあるいはボーリングの方向は  $x$  軸方向であると仮定する。

いま図-4(a) のような一辺が  $Y$  の正方領域を対象とし、この領域内に節理が  $n$  本存在しているとすると、節理がスキャンラインと交差する割合は、節理の  $y$  軸方向の射影長によって決まる(図-4(b))。

節理の長さ、および節理が  $x$  軸(スキャンライン)となす角をそれぞれ  $l_i, \theta_i$  とすると、各節理の  $y$  軸方向の射影長  $L_i$  は次のように表わされる。

$$L_i = l_i \sin \theta_i \quad (0 \leq \theta_i \leq \pi) \dots\dots\dots (4)$$

スキャンライン調査のような線形サンプリングを行う



(a) 仮定の露頭面 (b) 節理の  $y$  軸方向の射影

図-4

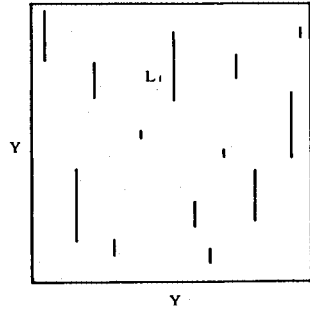


図-5 モデル領域

ときには、節理の射影長  $L_i$  のみに着目すればよいから、以下  $y$  軸に平行な線分  $L_i$  のみを考えたモデルを対象として考える(図-5)。

線分  $L_i$  がスキャンラインにとらえられる確率  $P$  は、

$$P = \frac{L_i}{Y} \dots\dots\dots (5)$$

対象領域にスキャンラインを  $m$  本設置したとき、線分  $L_i$  がスキャンラインと交差する回数の期待値  $I$  (本) は

$$I = m \frac{L_i}{Y} \dots\dots\dots (6)$$

となる。対象領域内に線分は  $n$  本存在するから、スキャンラインとの総交差点数  $T$  は、

$$T = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{Y} m \dots\dots\dots (7)$$

で表わされることになる。

平均節理間隔の定義によると、

$$\bar{X} = \frac{\text{総スキャンライン長}}{\text{総交差点数}} \dots\dots\dots (8)$$

したがって、平均節理間隔  $\bar{X}$  は次式で表現される。

$$\bar{X} = \frac{mX}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{Y} m} = \frac{XY}{\sum_{i=1}^n L_i} \dots\dots\dots (9)$$

ここで、節理密度(単位面積中に存在する節理本数)を  $N_m$  とすると、

$$N_m = \frac{n}{XY} \dots\dots\dots (10)$$

これより

$$N_m = \frac{1}{X} \frac{n}{\sum_{i=1}^n L_i} \dots\dots\dots (11)$$

また、式(4)より

$$N_m = \frac{1}{X} \frac{n}{\sum_{i=1}^n l_i \sin \theta_i} \dots\dots\dots (12)$$

各節理群ごとに考えて、スキャンラインと節理群とのなす角を  $\theta_i$  とすると、上式は次のように変形できる。

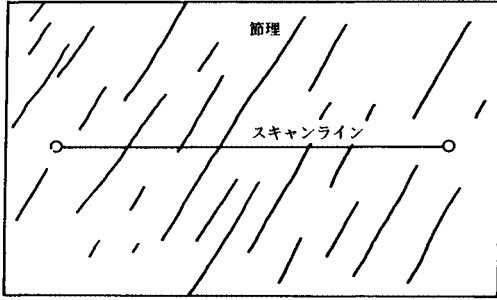


図-6 平行な節理のサンプリング

$$N_m = \frac{1}{\bar{X}} \frac{1}{l \sin \theta} \dots\dots\dots(13)$$

ここで、露頭全体の節理長の平均値  $\bar{l}$  をスキャンライン調査で推定することを考える。

図-6のように、ある平行な節理群に対してスキャンラインを設置したとき、ある節理とスキャンラインとが交差する確率は節理長に比例する。したがってスキャンラインと節理が、節理長のうち  $l \sim l + dl$  の範囲で交差する確率  $p(l)$  は次式で与えられる。

$$p(l) = \alpha l f(l) dl \quad \alpha : \text{定数} \dots\dots\dots(14)$$

したがって実際にスキャンラインと交差する節理長の確率密度関数  $g(l)$  は、次式で与えられる。

$$g(l) = \alpha l f(l) \quad \alpha : \text{定数}, l > 0 \dots\dots\dots(15)$$

ここで、 $g(l)$  は確率密度関数であるから

$$\int_0^\infty g(l) dl = 1 \dots\dots\dots(16)$$

すなわち

$$\alpha \int_0^\infty l f(l) dl = 1 \dots\dots\dots(17)$$

しかし

$$\int_0^\infty l f(l) dl = 1/\mu \text{ より} \\ \alpha = \mu \dots\dots\dots(18)$$

したがって

$$g(l) = \mu l f(l) \dots\dots\dots(19)$$

ここで  $\mu$  は平均値の逆数である。

式 (19) は、スキャンラインでサンプリングしたときの偏向をもった節理長の確率密度関数を示している。露頭の節理長の確率密度関数  $f(l)$  が、指数分布、一様分布に従うときの  $g(l)$  の形を表-1に示しておく。

したがって、 $n_1$  をスキャンラインと交差する線分の数とし

$$\bar{l} = \frac{l}{n} \sum_{i=1}^n l_i = k \cdot \frac{l}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} l_i \dots\dots\dots(20)$$

で評価すると、

$$N_m = \frac{l}{\bar{X}} \frac{k n_1}{\sum_{i=1}^{n_1} l_i \sin \theta_i} \dots\dots\dots(21)$$

表-1  $f(l)$ ,  $g(l)$  の確率密度関数 (Priest, S. D. and Hudson, J. A.)<sup>5)</sup>

	確率密度関数 $f(l)$	確率密度関数 $g(l)$
指数分布	$\mu/2 \leq 2/\mu$	$\mu^2/2$
一様分布	$\mu \exp(-\mu l)$	$\mu^2 \exp(-\mu l)$

と表わされる。ここで、定数  $k$  はスキャンライン調査における偏向の度合を表わす定数で、節理長の確率密度関数を指数分布あるいは一様分布と仮定したとき定数  $k$  の値はそれぞれ 2.0, 4/3 となる。

スキャンライン調査においては、節理の走向・傾斜・節理長および節理間隔・節理数は測定可能である。これらのデータに加え、スキャンラインの方向、長さも既知であれば、対象領域の節理密度  $N_m$  は式 (21) で推定できることになる。

またボーリング調査を考える場合上記のデータのうち節理長  $l_i$  は得ることができないが、節理長の分布は指数分布とみるのが妥当であろうから、その平均値  $\bar{l}$  が推定できれば各節理の長さは決定できることになる。

そこで、式 (21) を変形し、各節理群ごとに考えると次のようになる。

$$N_m = \frac{l}{\bar{X}} \frac{k}{l \sin \theta} \dots\dots\dots(22)$$

ここで  $\theta_i$  は、考えている節理群とスキャンラインとのなす角を表わす。ボーリング孔での調査により  $\bar{X}$ ,  $\sin \theta_i$  は得られ、開口幅-長さに関係があるとすると、平均開口幅より平均節理長は推定できる。

しかしながら、厳密に考えると実際の岩盤は三次元的なものであり、節理密度も単位体積中に存在する節理個数として表わされるべきものである。そこで、式 (21) で得られた調査露頭面での節理密度から、三次元的な節理密度を推定することを考える。この場合節理形状は円板、その半径は指数分布に従うものと仮定し、またその方向は露頭面に垂直に  $X$  軸、露頭面上に  $Y$ ,  $Z$  軸をとるとしたとき、露頭面の法線ベクトルを  $X$  軸、 $Y$  軸、 $Z$  軸回りにそれぞれ  $\xi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$  回転したならば節理面の法線ベクトルと一致するような方向をもつものとする。

このとき平面的な節理密度  $N_m$  と三次元的な節理密度  $N$  との間に次のような関係があることを導くことができる。

$$N = \frac{\sqrt{(\tau_{12}\tau_{23} - \tau_{13}\tau_{22})^2 + (\tau_{12}\tau_{33} - \tau_{13}\tau_{32})^2}}{(\tau_{12}^2 + \tau_{23}^2)} (1/\bar{l}) N_m \dots\dots\dots(23)$$

ここに、 $\bar{l}$  : 露頭で観察される交跡線長の平均値

$N_m$  : 露頭における節理密度 (個/m<sup>2</sup>)

$$\tau_{11} = \cos \theta \cos \psi$$

$$r_{12} = \sin \xi \sin \theta \cos \psi - \cos \xi \sin \psi$$

$$r_{13} = \cos \xi \sin \theta \cos \psi + \sin \xi \sin \psi$$

$$r_{21} = \cos \theta \sin \psi$$

$$r_{22} = \sin \xi \sin \theta \sin \psi + \cos \xi \cos \psi$$

$$r_{23} = \cos \xi \sin \theta \sin \psi - \sin \xi \cos \psi$$

$$r_{31} = -\sin \theta$$

$$r_{32} = \sin \xi \cos \theta$$

$$r_{33} = \cos \xi \cos \psi$$

したがって式(23)により、観察露頭面における節理密度がわかれば三次元的な節理密度を推定することができる。いま節理群の方向と、二次元浸透流解析を行おうとする断面の方向はわかっているから式(23)から、考えている断面の節理密度が計算できる。

(4) 開口幅の決定方法

開口幅は1mm以下のものについてはクラックゲージまたはスリットゲージ等を用い、それ以上のものはコンベックス等のものさしで測定する。そこで、節理調査によって得られた開口幅データをもとにして現場の状態をよく再現するような値を設定する。実際のデータから開口幅と節理長とに相関関係があるとの報告<sup>7)</sup>もあるが、これに関しては賛否両論が存在するところである。この仮定を認めた場合その分布特性を考慮に入れた開口幅の設定の仕方も考えられるが、この仮定が成り立たないような場合、最も簡単には得られた開口幅データの平均値を採用するものとする。

3. 節理モデルの作成方法

岩盤の節理モデルを作成するにあたっては、実際の節理分布の特性をそなえたものを作成する必要がある。したがって節理調査によって得られた節理データを長さ、および開口幅について統計処理し、所定の分布から大きくずれるものは独立な割れ目として選びだしたのち(どこまでの割れ目を独立とするかは、現場の状況、岩盤構造物の性格、計算機の解析能力などを考慮して技術者の判断で決める)、2.に示した手法によって処理し解析に供することとする。以下に、その手順を示す。

(1) 対象岩盤の節理調査結果を用いて卓越方向解析を行い、表現すべき属群の数および方向を決定する。

(2) 描くべき属群の節理本数を式(23)を変形して算出する。

(3) 各節理は、その中点を表示面にランダムに配置し、それぞれの長さは指数分布で決定する。これは、露頭における節理の長さが指数分布で近似できるという報告に基づいており、その平均値は前節の方法で推定する。

(4) (2)、(3)の手順を各節理ごとに行えば、属群に含まれる節理のモデル図が得られる。

(5) 属群に含まれない節理群については、その方向

をランダムに決定し、その他については上記手順と同様な方法で表示する。

4. 解析の手法と例題

図-1のようなダム基礎岩盤において、踏査による岩盤の露頭面調査やボーリング調査などによって断層や長大な割れ目と岩盤中の細かい節理が判明している場合、本報告では、長大な割れ目は既知の不連続面として解析モデルに残し、それ以外の細かい節理を有する岩盤部分を等価な透水係数テンソルをもつ連続体に置き換えるという統計的手法と決定的手法の両者を組み入れた方法を考えることはすでに説明した。本研究では、細かい節理部分の透水係数テンソルの算出に際しては、水は節理内のみを流れるとし、節理を線要素として取り扱ったLongらと同様の有限要素法による数値解析<sup>1),2)</sup>を行っている。次に長大な割れ目をも含んだ図-1のような岩盤全体の解析モデルを考える場合には、上記で求めた透水係数テンソルを長大な割れ目の間をうめる細かい節理を含んだ部分の透水特性とし、残りの長大な割れ目の部分は平行2枚板モデルでモデル化し有限要素法による準三次元解析を行った。

この解析に用いた節理データは山岳地帯のある地点でボーリング調査、ならびに近辺の切り取り斜面における節理調査を行って得られたものである。データ数は合計505本で断層などの長大節理も4本確認されている。

(1) 細かい節理を含んだ岩盤部分の取り扱い

節理調査によって得られた節理データを、菊地らの極

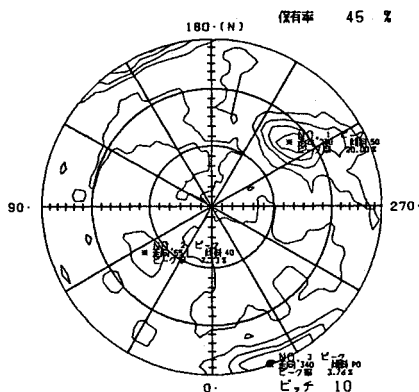


図-7 卓越方向解析結果

表-2 節理群の走向・傾斜

	走向(度)	傾斜(度)	節理本数(本)	集中度(%)
第一ピーク	230	50	101	20.00
第二ピーク	55	40	36	7.13
第三ピーク	340	90	19	3.76

座標による解析手法<sup>9)</sup>によって節理の方向性の評価を行った(図-7)。これにより、卓越している節理群は3つであり、それぞれの方向および卓越度は表-2に示す。

表-2中の集中度とは次式で定義される。

$$\text{集中度 (\%)} = \frac{N_i}{N} \dots\dots\dots(24)$$

ここで、 $N$ ：節理総個数(本)

$N_i$ ：節理群に属する節理個数(本)

この集中度とは、ある節理群に含まれる節理個数が総節理個数中に占める割合であり、この値が高いほど節理母集団におけるその節理群の絶対的な卓越度が高いことを示すものである。ここでは、集中度が3%以上になったものを有意な節理群として取り扱っている。

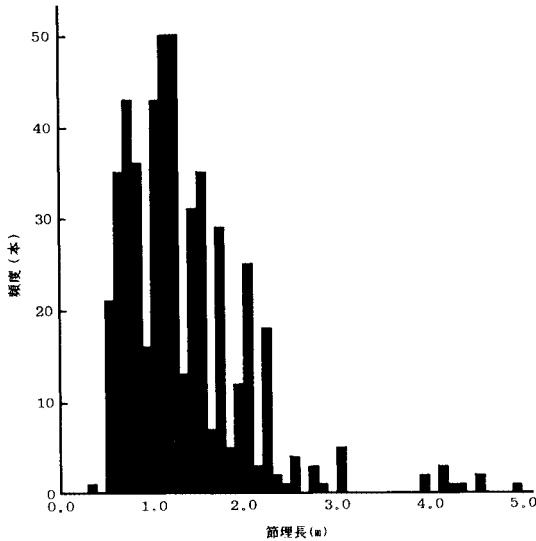


図-8 節理長の頻度分布

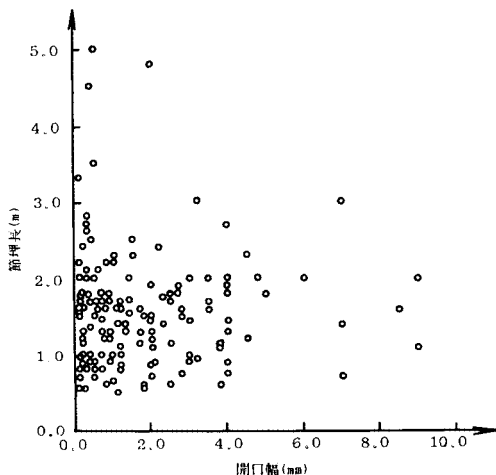


図-9 開口幅と節理長の関係

データを採取した現場では各種のボーリング調査が主であったため、これからは節理長データは得ることはできなかった。しかし、付近に同種の岩盤の切り取り斜面があったので、そこで節理調査を行い節理長データのサンプリングを行った結果、得られた節理長の頻度分布を

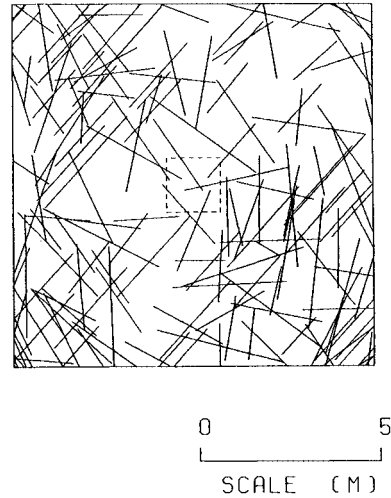


図-10 岩盤モデル(水平面)

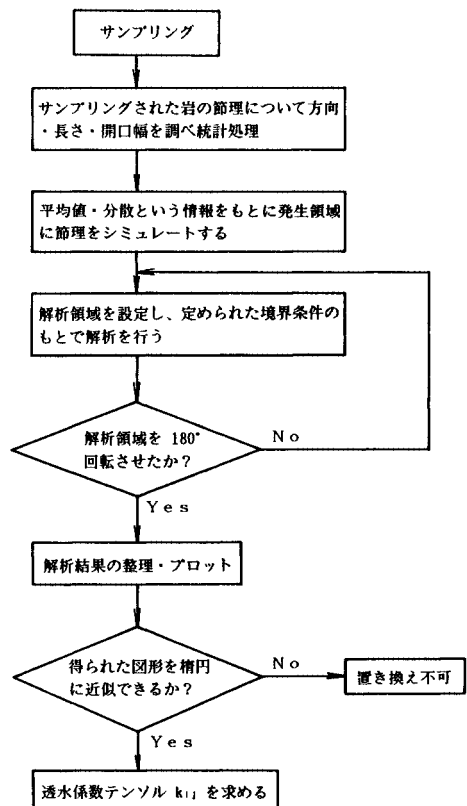


図-11 フローチャート

図-8に示す。また開口幅は図-9に示すように、節理長との相関もなく、卓越群ごとにも特徴はみられなかったため、開口幅と節理長との相関関係から節理長を推定することはできないので、今回の解析ではその平均値1.59 mmを用いた。

節理モデルの作成方法は3. で述べた手順による。図-10はこのようにして作成された水平面の岩盤モデルであり、一辺の長さが10 mとして再現されている。今回の解析例はすべてこのモデルを用いたものである。

節理モデル図を用いて透水係数テンソルを算出する。解析手順の詳細はすでに発表しているの<sup>8)</sup>で図-11にフローチャートの形で挙げるにとどめる。こうして算出された細かい節理を含んだ岩盤部分の透水係数を各方向別に表-3に示す。

(2) 解析モデル

上記の現場データを用い、仮想的に地下工事で地下のある深さのところまで水位を低下させたとすると、その影響がどのように現われるかを長大割れ目を考慮して検討した。解析に用いた有限要素メッシュは、モデル計算用にできるだけ簡単なものを用意し、図-12(a), (b)に示すものとした。境界条件は図面上端で非排水、その他は水頭500 mの水位固定である。図中の斜線部は掘削により水頭が200 mに低下したと仮定している部分である。比較のために割れ目を考えた場合と考えない場合を計算した。浸透解析手法としては、三次元的な水位変動も近似的に追跡するのに便利で、トンネルや地下空

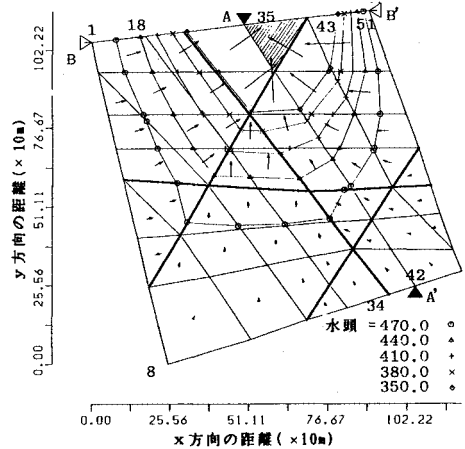


図-12(a) 解析メッシュ図(割れ目を考えた場合)

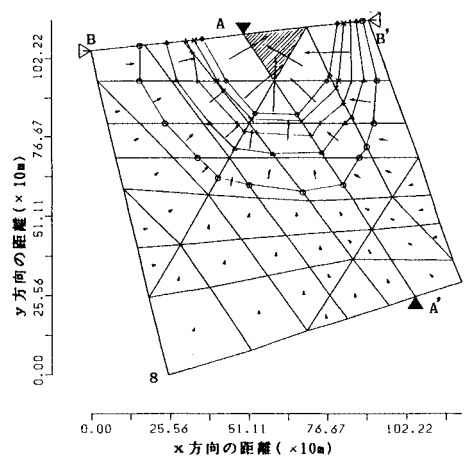


図-12(b) 解析メッシュ図(割れ目を考えない場合)

表-3 各方向の透水係数(北から時計回り)

	透水係数 (m/sec)	
	$\alpha$	$\alpha + 180$
0	$3.16 \times 10^{-4}$	$7.94 \times 10^{-5}$
15	$6.67 \times 10^{-5}$	$8.78 \times 10^{-5}$
30	$1.11 \times 10^{-5}$	$3.02 \times 10^{-6}$
45	$6.44 \times 10^{-6}$	$1.84 \times 10^{-6}$
60	$1.42 \times 10^{-3}$	$1.53 \times 10^{-4}$
75	$2.25 \times 10^{-4}$	$8.79 \times 10^{-4}$
90	$3.33 \times 10^{-4}$	$3.75 \times 10^{-4}$
105	$1.53 \times 10^{-4}$	$3.35 \times 10^{-5}$
120	$2.40 \times 10^{-6}$	$4.06 \times 10^{-6}$
135	$7.49 \times 10^{-6}$	$7.09 \times 10^{-6}$
150	$5.77 \times 10^{-6}$	$2.19 \times 10^{-3}$
175	$2.75 \times 10^{-4}$	$5.54 \times 10^{-4}$

洞の掘削シミュレーションも可能<sup>9)</sup>となった準三次元手法を採用した。不連続性岩盤の準三次元解析手法の詳細は他の文献<sup>9)</sup>に掲載されているのでここでは省略する。

この計算例では岩盤部分の透水係数を表-3から楕円型の最適平均値を求める形で決定し、長大な割れ目の開口幅については挟在物などを勘案し平均的に5 mmとした。解析の結果を図-12から図-14に示す。図-12は掘削開始後10日目の水頭分布ならびに流速分布を表わしている。当然のことであるが割れ目のある方の水位低下が早く、流出流量も多くなっており、解析が妥当であることがわかる。

図-13はメッシュ図のA-A'線に沿った断面における水頭分布の変化を示したものである。割れ目のあるモデルでは掘削後10日にして定常状態に至っているが、割れ目のない場合には約16日で定常状態になる。図-14も同じように、B-B'断面の水頭変化を示している。割れ目を通る水みちが水位低下に貢献することがよくわ

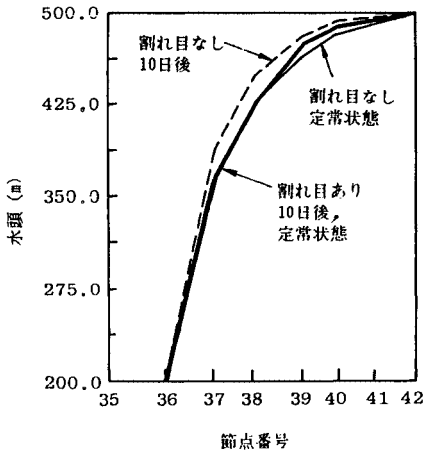


図-13 A-A'線の水頭分布の変化

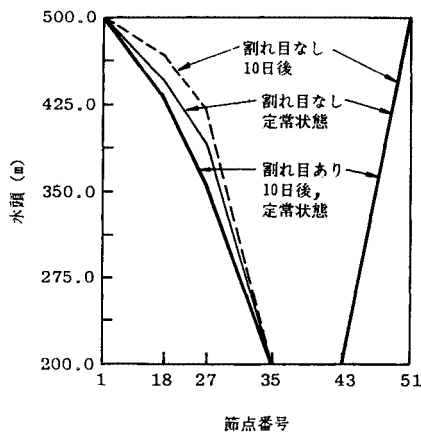


図-14 B-B'線の水頭分布の変化

かる。定常時の流出流量はこの例では割れ目のある方がない方の約20倍の値を示している。

## 5. 結 語

地表踏査やボーリング調査データから得られた節理情報をできるだけ活用したうえで、岩盤の不連続性の効果を具体的に浸透計算に取り入れる1つの方法を提示した。従来節理情報の取り扱いが不完全のまま放置された感があったが、少なくともここで示した方法を取り入れ

ることにより、節理調査の意義が明確になり、今後の作業にも目的意識が付加されることと思われる。最近の節理性岩盤の取り扱いに関する研究の進展は目ざましいものがあるが、今後の課題としては、三次元の節理情報の収集手段の問題とその表現方法、情報の信頼性、サンプリングスケール、割れ目の中の挟在物の判定などの問題が考えられる。

最後に、この研究を進めるにあたって多くの助言を頂いた京都大学 足立紀尚教授ならびに堀田政國助手に、また計算を手伝って頂いた京都大学大学院生 今井政人君に感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) Long, J. C. S., Remer, J. S., Wilson, C. R. and Witherspoon, P. A. : Water Resources Research, Vol. 18, No. 3, pp. 645~658, 1982.
- 2) 大西有三・西野賢治・鍵本広之：モデル化された節理性岩盤の浸透流解析，第20回土質工学研究発表会講演論文集，1985.
- 3) Oda, M. : Permeability tensor for jointed rock masses, Geotechnique, Vol. 35 (4), 1985.
- 4) 菊地宏吉・井上大栄：電子計算機を利用した極座標を用いた岩盤節理の卓越方向の検討，応用地質，第14巻，2号，1973.
- 5) Priest, S. D. and Hudson, J. A. : Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Absir. 18, pp. 183~197, 1981.
- 6) Call, R. D., Savely, J. and Nicholas, D. E. : Estimation of Joint Set Characteristics from Surface Mapping Data, 17th U.S. Symposium on Rock Mechanics, pp. 2b 2-1~2b 2-9, 1976.
- 7) 菊地宏吉・三室俊昭・大村富士夫・原 敏昭：節理性岩盤のモデル化に関する研究，第16回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，1984.
- 8) 大西有三・西野賢治：岩盤調査による割れ目情報を利用した岩盤浸透流解析，第16回岩盤力学に関するシンポジウム，1984.
- 9) 大西有三・西垣 誠・中屋真司・今井紀和：準三次元有限要素浸透解析によるトンネル掘削シミュレーション手法について（投稿中）
- 10) 大西有三・西野賢治：不連続性岩盤の準三次元浸透解析，第6回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，1984.

(1986. 6. 4・受付)