

## 岩盤浸透流の基礎的性質

On a Theoretical Evaluation of Permeability in Rock Masses

埼玉大学工学部 正会員 ○渡 辺 邦 夫

" " " 佐 藤 邦 明

## はじめに

ダム漏水やトンネル湧水など岩盤中につくられた構造物周辺の浸透問題を考えるにあたっては、岩盤内に発達する割れ目系を主な浸透経路とする岩盤浸透流の性質を十分考慮する必要がある。従来、このような問題の解析にあたっては、岩盤を粒体集合の多孔体と考え、通常の多孔体浸透と同様な取扱いがなされることが多かった。しかし、岩盤浸透流は通常の浸透流とは異った性質を持っている。たとえば、(1)岩盤割れ目には方向性が顕著であり、従って均一相岩盤内においても透水性にかなりの異方性を示す、(2)割れ目相互の脈絡性が全体の透水性に大きな影響を持つ、(3)抵抗則の相違性、などがその例として挙げられよう。このような性質を定量的に評価・導入した研究は不十分であり、早急に解明すべき問題であろう。筆者らは、以前岩盤浸透流の抵抗則について若干の実験結果を報告したが、<sup>1)</sup> 今回、岩盤浸透流の異方性、および浸透経路の解析と定量評価に関し、割れ目系を現地実測し、興味ある知見を得たので報告する。

## 1 割れ目幅分布を考慮した岩盤浸透モデル

岩盤の透水係数を定量的に把握する方法として、ルジオン試験などによる現地実測があるが、それ以外に簡単な理論式が提唱されている。それはたとえば、図-1のような  $a \times a$  断面を持つ長さ  $L$  のモデル岩盤を考え、割れ目系が幅  $t$  を持ち事実上無限に連続する  $N$  個の平行間隙と仮定できる時に、面  $A B C D$  から面  $A' B' C' D'$  への透水係数  $k$  を層流状態の平行板間の粘性流れの式より、

$$k = N \cdot g \cdot t^3 / (12 \cdot \nu \cdot a) \cdots \cdots (1)$$

とするものである。ここに、 $g$ ；重力加速度、 $\nu$ ；動粘性係数である。しかしこの理論式のモデル化における問題の一つは、岩盤内割れ目がすべて  $t$  なる仮想割れ目幅を持つとする点にある。実際の岩盤内には、種々の幅を持つ割れ目が分布しており、むしろその幅分布を考慮した式を考える方が合理的であろう。しかし、岩盤割れ目幅は測定が難しく、従来あまり報告されていない。最近になって、Ogata<sup>2)</sup> は日本各地のダム周辺岩盤中にみられる破碎帯の幅分布に

ついて報告した。それによれば、ある地域に存在する破碎帯の中で、幅が  $t$  と  $t + \Delta t$  の間にあるものの数  $N(t) \cdot \Delta t$  は、近似的に次式であらわされる。

$$N(t) \Delta t = K t^{-m} \Delta t \cdots \cdots (2)$$

ここに、 $K$ 、 $m$  は定数である。一方、筆者らは幅  $0.1 \text{ mm}$  まで測定しうる割れ目幅測定器により、種々の岩盤での測定を行ったが、その結果の二例を図-2に示す。図中、(a)は安山岩（青森県竜飛岬付近）、(b)は花崗岩（長野県上松付近）の節理の open crack である。 $\Delta t$  は、前者が  $1 \text{ mm}$ 、後者が  $0.1 \text{ mm}$  で、各地点共に2ヶ所の結果を示してある。これらの分布は十分(2)式で近似が可能であり、その場合の指数  $m$  の値をあわせて示した。確かに、(2)式の妥当性についてはまだ検討の余地があるが、いま、岩盤中の割れ目幅

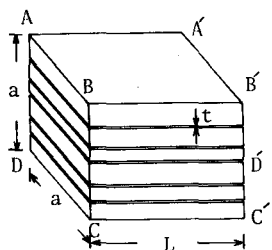


図-1 岩盤割れ目モデル

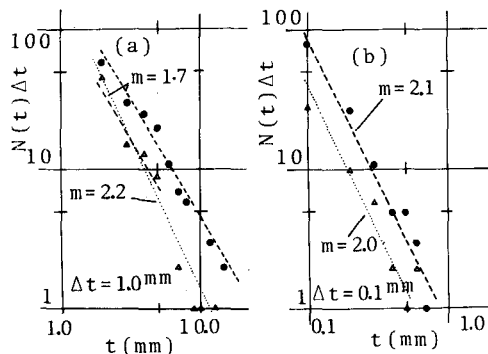


図-2 割れ目幅分布の実測結果

(a)；安山岩節理（青森県竜飛岬付近）

(b)；花崗岩節理（長野県上松付近）

分布がこのように仮定できるとすれば、図-1のようなモデルについて、具体的に、任意の割れ目幅  $t_i$  を考えると、幅  $t_i$  から  $t_i + \Delta t$  を持つ割れ目数  $N(t_i) \Delta t$  は、

$$N(t_i) \Delta t = K t_i^{-m} \Delta t, (K, m \text{ は定数}) \dots\dots\dots(3)$$

となる。ここで、図-1のモデルについて、面  $ABCD$  から面  $A'B'C'D'$  に動水勾配  $I$  があつたとすると、これらの割れ目による浸透流量  $Q_i$  は、平行板間隙の粘性流れの式より、近似的に

$$Q_i = K \cdot K_o \cdot t_i^{-m+3} a \cdot I \cdot \Delta t, (K_o = g / (12\nu)) \dots\dots\dots(4)$$

となる。さらに、今考えている岩盤内の最大割れ目幅区間を  $T_A$  で表わし、最小割れ目幅を  $T_o$  とすると、すべての割れ目による流量  $Q$  は平均的に  $m \approx 4$  の場合

$$Q = I \cdot \int_{T_o}^{T_A} a \cdot K_o t^{-m+3} dt = a \cdot K_o' (T_A^{-m+4} - T_o^{-m+4}), (K_o' = \frac{K_o \cdot K}{-m+4}) \dots\dots\dots(5)$$

と書きあらわしうる。従って透水係数  $k$  は、 $Q$  を流水断面積  $a^2$  で除し、

$$k = K_o' (T_A^{-m+4} - T_o^{-m+4}) / a \dots\dots\dots(6)$$

となる。また、 $\Delta t$  を  $(T_A - T_o) / n$  ( $n$  は任意整数) とした時、 $T_A$  区間に入る割れ目数が  $a_o$  となるような分布であれば、 $T_A \gg T_o$  として、(2)式より定数  $K$  は、 $K \div n \cdot a_o T_A^{m-1}$  と書きあらわしうる。ここで図-2に示した例のように指数  $m$  が2程度であれば、 $T_A^{-m+4} \gg T_o^{-m+4}$  と考えられる。逆に  $m$  が5~6の値であれば、 $T_o^{-m+4} \gg T_A^{-m+4}$  となり、(6)式はそれぞれの場合、具体的に  $m$  が4より小さいか大きいかによって近似的に、

$$k \div n \cdot a_o K_o T_A^3 / a \cdot (-m+4), (m < 4) \cdot (7), \quad k \div -K_o' T_o^{-m+4} / a, (m > 4) \dots\dots\dots(8)$$

と書けるであろう。これらの式は、従来提唱されている仮想割れ目幅  $t$  を用いた(1)式に比べて、 $T_o, T_A, m$  という測定可能量を用いる点で有利、かつ合理的と思われる。ここで、最小割れ目幅  $T_o$  は、岩盤を構成している結晶の大きさや、風化度などで決まるものであろう。しかし、このようなモデル化は、一方向の割れ目系についてのみ考察したものである。実際の岩盤では多方向の割れ目系が発達しており、モデルとしては十分とは言えない。

## 2 多方向の割れ目系による岩盤浸透流の異方性

多方向割れ目による岩盤の透水性の表現については、ボーリングコアにより決定された割れ目面方向を使って、最近 Rocha ら<sup>3)</sup> によって報告されている。しかし、岩盤調査では、割れ目方向は走向傾斜表示がなされることが多く、ここでは走向傾斜表示された割れ目面方向より、岩盤の透水性を評価し、併せてその異方性を考察したい。いま、図-3のような空間中に存在する一つの無限に続く割れ目面  $f$  を考える。つきに方位を図のようにとり、この面の走向傾斜を  $N\alpha'E\beta'S$  とする ( $0 \leq \alpha', \beta' \leq 90^\circ$ )。また座標軸を図のように方位の  $N-S$  が  $x$  軸、 $E-W$  が  $y$  軸、鉛直方向が  $z$  軸となるように設定し、面  $f$  の直交方向を  $\vec{n}$  ( $\cos \alpha, \cos \beta, \cos \gamma$ ) とする ( $0 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq 90^\circ$ )。この空間中に、 $\vec{J}(i, j, k)$  で示される動水勾配を考えると、 $\vec{J}$  による浸透流は、面  $f$  上を流れ、その流れ方向の動水勾配を  $\vec{J}_f(i_f, j_f, k_f)$  とすれば、 $i_f, j_f, k_f$  は  $i, j, k$  より±符号を考へて、

$$\left. \begin{aligned} i_f &= i(\cos^2 \beta + \cos^2 \gamma) \pm j(\cos \alpha \cos \beta) \pm k(\cos \alpha \cos \gamma) \\ j_f &= \pm i(\cos \beta \cos \alpha) + j(\cos^2 \gamma + \cos^2 \alpha) \pm k(\cos \beta \cos \gamma) \\ k_f &= \pm i(\cos \gamma \cos \alpha) \pm j(\cos \gamma \cos \beta) + k(\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

と表現できる。また走向傾斜角  $\alpha', \beta'$  と、 $\alpha, \beta, \gamma$  との関係は、この場合

$$\beta' = \gamma, \cos \beta' \sin \alpha' = \cos \alpha, \cos \beta' \cos \alpha' = \cos \beta \dots\dots\dots(10)$$

とかける。しかし、走向傾斜表現の場合、同じ  $\alpha, \beta$  であっても、 $N\alpha'E\beta'N, N\alpha'E\beta'S, N\alpha'W\beta'N, N\alpha'W\beta'S$  の4つの場合が考えられ、各々の場合により(9)式の±符号を考慮する必要がある。さらにここで、 $\vec{J}$  による浸透流速ベクトルを  $\vec{V}(u, v, w)$  とすると、

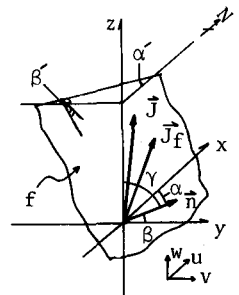


図-3 三次元割れ目の浸透モデル

$$u = k_x \cdot i_f, \quad v = k_y \cdot j_f, \quad w = k_z \cdot k_f \cdots \cdots (11)$$

と書ける。ここで  $k_x, k_y, k_z$  はそれぞれ面  $f$  上の  $x, y, z$  方向の透水係数であるが、いま割れ目を平行板間隙と考えれば  $k_x = k_y = k_z = k$  である。さらに、ここで面  $f$  と平行なすべての割れ目による透水係数を、たとえば(6)式のように表現できるとし、(9)式と(11)式より、

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k(\cos^2 \gamma + \cos^2 \beta) & \pm k(\cos \alpha \cos \beta) & \pm k(\cos \alpha \cos \gamma) \\ \pm k(\cos \beta \cos \alpha) & k(\cos^2 \gamma + \cos^2 \alpha) & \pm k(\cos \beta \cos \gamma) \\ \pm k(\cos \gamma \cos \alpha) & \pm k(\cos \gamma \cos \beta) & k(\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i' \\ j' \\ k' \end{bmatrix} \cdots \cdots (12)$$

あるいは、

$$\vec{V} = \|K\| \cdot \vec{J}, \quad (\|K\| \text{ は透水テンソル}) \cdots \cdots (13)$$

とかける。この式は一方方向についてのみの透水テンソルであったが、各方向の割れ目系についてもそれぞれ定義でき、それらは、 $\|K_1\|, \|K_2\|, \cdots$  と書ける。ここで、それらを合成することを考えると、一つ一つの割れ目面が無限に広がるという仮定のもとでは近似的に、それぞれの透水テンソルの和

$$\|K\| = \|K_1\| + \|K_2\| + \cdots \cdots (14)$$

を全体の合成された透水テンソルと考えることができる。この合成透水係数テンソルによって、岩盤の透水性を評価しうるが、そのテンソルの個有値、個有ベクトルを考えれば、岩盤の最大透水係数  $k_1$ 、中間透水係数  $k_2$ 、最小透水係数  $k_3$  の値、およびその方向をもとめることができる。さらに、 $k_1$  と  $k_3$  の比によって、この岩盤の透水性の異方性の程度の評価がなしうる

と考えられる。

この手法により実際に計算された二例を図-4に示す。これらは青函トンネル坑内の割れ目面分布の実測によるものであるが、各々の上図は走向傾斜表示された割れ目面をシュミットネットに投影し、コンターマップ表示したものであり、●は割れ目の卓越方向を表し、その方向を図中に付記した。計算にはこの卓越方向を使うこととするが、まず各卓越方向の透水係数値が必要となる。今回は各方向の値はすべて等しく  $k$  であるとした。その結果をそれぞれの下図に示したが、下図の大円は、上図●の卓越方向を表しており、◎は最大、中間、最小透水係数  $k_1, k_2, k_3$  方向を示している。各々の値、及び  $k_1/k_3$  比は図中に付記した。この結果、各々の地点で割れ目系分布から計算された  $k_1, k_2, k_3$  方向

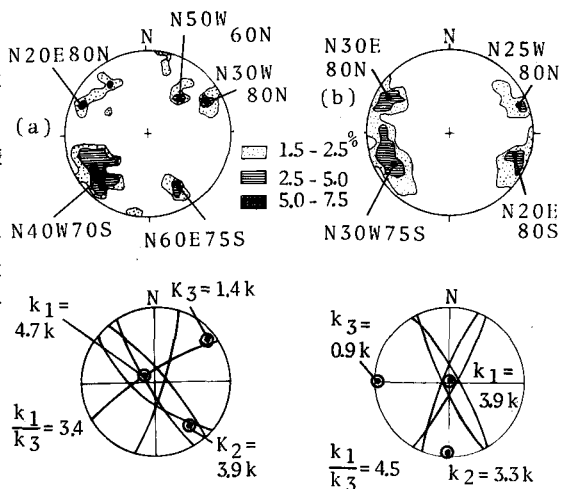


図-4 実際の割れ目方向分布(上図)と透水係数の異方性(下図)、(青函トンネル吉岡方坑内)

はそれぞれほぼ、鉛直  $z$  軸方向、 $N-S$  方向、 $E-W$  方向であることがわかる。また異方性を示す  $k_1/k_3$  比は、3~5程度であるが、実際には割れ目方向により透水係数  $k$  値が異なり、さらに大きな値をとることも十分考えられる。

以上の手法により、多方向割れ目を持つ岩盤の透水性の評価が可能となるが、この手法は割れ目系のモデル化の過程で、一つ一つの割れ目が事実上無限に広がっているものとしている。たとえば図-1においても、 $ABCD$ 面に存在する割れ目は必ず $A'B'C'D'$ 面に長さ  $L$  に関係なく連続すると考えている。しかしこの仮定には問題があり、実際の岩盤においては、割れ目は有限の長さを有し、種々の方向を持った割れ目が連結していると考えらるべきである。ここで、岩盤内浸透が割れ目をのみ経路として行なわれているのであれば、独立した割れ目系、あるいは途中で連結がない割れ目系、具体的には図-1の $ABCD$ 面から $A'B'C'D'$ 面両方に繋がっていない系は浸透経路とはなり得ないはずである。また割れ目の連続の仕方によっては、両面に至る

経路長さが異なってきて、無限広がり仮定した場合のように、単にLで表し得なくなる。このように、割れ目の連続性の評価は岩盤浸透流を考える上で重要な点であり、定量的に把えることが必要となる。

### 3 二次元割れ目系の連続性評価

実際の割れ目系は、岩盤中に三次元的に発達しているものであるが、今回まず二次元割れ目系を考えることとする。そのような二次元割れ目として図-5のようなものが考える。ここで、この割れ目系は、長さ  $l_0$  を持つ小割れ目が連結してできているものとする。ここで  $l_0$  としては、考えている岩盤の大きさによって決まるものとする。このように考えれば、一つの二次元割れ目系は、小割れ目（以下単位割れ目と名づける）の連続性によって評価が可能であろう。この問題を透水問題と結びつけるにあたって、まず図-6のように考える。いま、A-A'からB-B'に至る浸透経路があるものとすれば、浸透経路となりうる割れ目系はa, d, eのみであり、b, cは途中で切れているために経路とはなり得ない。ここで、各々の系列が、前述のように  $l_0$  なる単位割れ目の連続により成り立っているものと考え、各単位割れ目にA-A'から順次0, 1, 2, 3……と符号を付け、それを段階数と名づける。系列aは、途中ループを持っており、段階数が付け難いが一応図のようにする。ここで浸透経路となりうるa, d, eについて考えると、a, dは8段階までの連結を持っており、eでは7段階までになっている。一方、浸透経路となり得ないb, cでは、それぞれ1, 0段階で接続が終っていることがわかる。ここで、A-A'とB-B'を結ぶ最短経路はeである。つまり、このことは、A-A'からB-B'への浸透が生ずるためには、7段階の連結が最低必要であることを示している。一般に、この最低必要連結段階数  $n^{min}$  は、 $L/l_0 - 1$  であらわされるはずである。しかし、a, dで示されるような通常の系列においては、必要段階数  $n$  は  $n > n^{min}$  である。ここで一つの岩盤を考え、種々の割れ目系列で平均的に必要段階数が  $\bar{n}$  であったとする ( $\bar{n} > n^{min}$ )。いま0段階割れ目が  $X_0$  個あったとして、そのうち何個が浸透経路に必要な  $\bar{n}$  段階の連続にいたるかは、a系列のように内部で小ループを持たない場合は、分枝過程の理論によって評価・説明することができる。

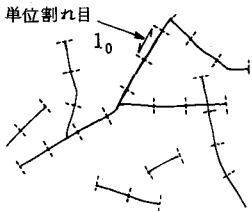


図-5 二次元割れ目モデルと単位長さ分割

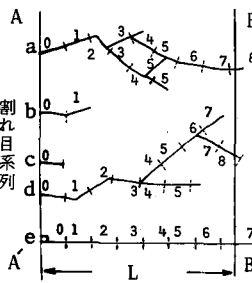


図-6 割れ目連続モデル

ここで、岩盤中の一つの単位割れ目に連続する割れ目数をYとし、その分布が

$$P(Y=j) = \mu_j, \quad (j = 1, 2, 3, \dots) \quad \dots\dots\dots 05$$

で表わされるものとする。ここで  $\mu_j$  は岩盤内のすべての単位割れ目について等しく、また独立であるとすると、0段階割れ目数  $X_0$  が1の場合を考えて、割れ目連結が  $\bar{n}$  段階の前に消滅する確率を  $\mu_0(\bar{n})$  とすると、 $\bar{n}$  段階連結した系列数  $X_{\bar{n}}$  ( $\bar{n}$  段階生存数) は、 $\bar{n}$  段階の確率母関数  $G_{\bar{n}}(s)$  により、

$$\left. \begin{aligned} X_{\bar{n}} &= X_0 \cdot (\mu^{(\bar{n})}) = X_0 \cdot (1 - \mu_0(\bar{n})) = X_0 \cdot (1 - G_{\bar{n}}(0)) = X_0 \cdot (1 - G(G_{\bar{n}-1}(0))) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 06$$

$$G(s) = G_1(s) = \sum_{j=0}^{\infty} \mu_j s^j \quad (s \text{ は任意実数})$$

の関係がある。ここに、 $\mu^{(\bar{n})}$  は  $\bar{n}$  段階での生存確率である。また、 $\mu_j$  と連続性の関係は、 $\bar{\mu} = G'(1)$ 、つまりある単位割れ目に連結する平均数を  $\bar{\mu}$  とおいて、 $\bar{\mu} > 1$  では系列が無限に連結する確率  $\mu^{(\infty)}$  はある値  $\alpha_0$  ( $0 < \alpha_0 < 1$ ) を持つ。一方、 $\bar{\mu} \leq 1$  では  $\mu^{(\infty)} = 0$  である。

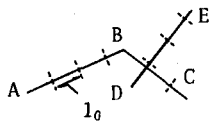


図-7 一方向連鎖 (AB, BC, DE)

つぎに、この分枝過程の理論によって、実際の岩盤割れ目連続をどの程度評価しうるか、実測割れ目系を用いて検討してみる。ここで一つの割れ目系を図-7のように考えて、一方向のみに連続した系列、たとえば、図中のA-B, B-C, D-Eを取り出して検討したものを一方向連鎖、他方すべての方向の連結つまり、図-7の系列をひとまとめにして考えた場合を多方向連鎖状態とよぶこととする。検討に用いた割れ目系を

図-8に示す。

これらは、(a)

；青森県竜飛  
岬付近凝灰岩

(b)；長野県上  
松付近花崗岩

中の割れ目お  
よび、(c)；神

奈川県三保ダ  
ム付近の航空

写真にみられ

図-8 実測割れ目系 (a)；青森県竜飛岬凝灰岩、(b)；長野県上松花崗岩  
(c)；神奈川県三保ダム付近のリニアメント)

るリニアメント系である。これらをまず  
単位割れ目に分割するが、 $l_0$ をそれぞれ、

(a)；2.5 cm、(b)；5 cm、(c)；250 mに  
設定した。この二次元割れ目系について

一方向連鎖、および多方向連鎖のそれぞ  
れの場合について、連続性を検討し、こ

の理論の適用性をみたものが図-9、10  
である。理論値の算定に用いた $\mu_j$ 値は

図-8から算出したが、一方向連鎖では  
当然、連続数 $Y$ は1か0であり、 $\mu_0$ と $\mu_1$

のみ存在する。図の横軸は段階数 $\bar{n}$ に1  
を加えたもので、初期段階0は横軸1

で示される。縦軸は割れ目系列生存数 $100$   
をあらわしているが、横軸1では、初

期割れ目数 $X_0$ を示している。これら  
の図は、段階数の増大につれ割れ目系

列の減少傾向をよくあらわしており、  
またモデルと実測値がかなり合致して

いることをあらわしている。ただ図-  
9の(b)図で理論値と実測値がかなり異

っているが、これは、用いた割れ目系  
が図-8(b)のように、閉ループの多い

系列を含んでおり、分枝過程では扱えられないことによるものである。この場合には浸透過程など別の確率  
過程の導入が必要である。また、この割れ目系では $\bar{\mu} = 1.1$ であり、仮に分枝過程に従うとすれば、無限連  
続が存在し、その確率は0式より、 $\mu(\infty) = 1 - \mu_0(\infty) \div 0.39$ である。しかし(b)の場合のようなものが  
あるにせよ、図-9、10の結果は、分枝過程によりある程度連続性が評価しうること示している。

つぎに、岩盤での平均必要割れ目段階数 $\bar{n}$ について考えるが、一般的な算定式を求めることは難しい問題  
を含んでおり、ここでは近似的に考えてみる。いま図-12のように、透水方向が $\vec{J}$ であらわしうるとし、  
その方向が任意基準線方向から $\theta_0$ であり、また、ここで一つの割れ目系列が図のA-Bから発達しており、  
 $n$ 段階割れ目がA'B'であらわしうるとする。このA'B'に次の $n+1$ 段階割れ目が連結しているが、ここで、  
 $n+1$ 段階割れ目はB'点からのみ、たとえばB'O'、B'O'、B'O'のように連結するとする。また $n+1$ 段階の

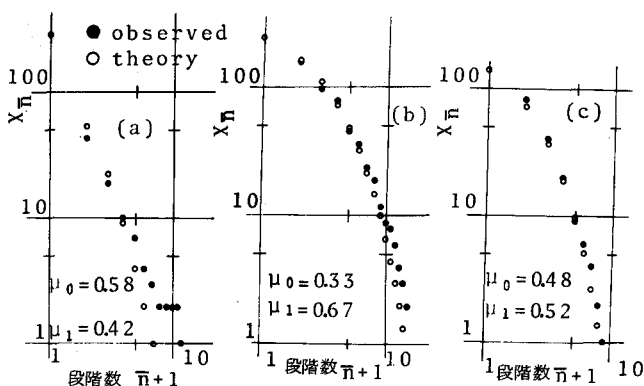


図-9 一方向連鎖の各段階生存数 (符号は図-8に同)

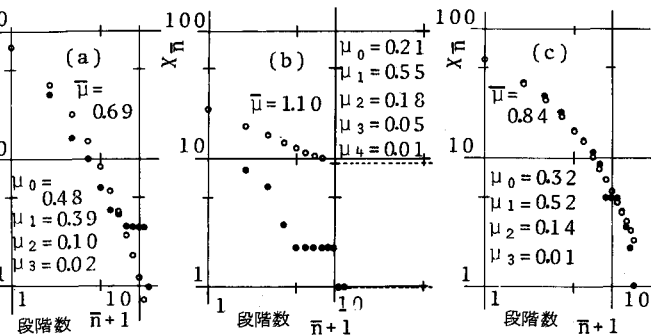


図-10 多方向連鎖の各段階生存数 (符号は図-8に同)

枝は必ずB'点からみて必ずJ'方向に正か0であって、具体的に図中C'方向には連続していないと仮定する。また、ここで、岩盤中に存在する単位割れ目の方向を基準線方向から $\theta$ であるとし、その分布が

$$P(\theta = \theta_i) = \mu \theta_i, \quad (0 \leq \theta < 180^\circ) \dots\dots\dots (7)$$

で表わされているものとすれば、B'点からのびるn+1段階割れ目の方向もこの分布に従っていると考えることができる。よって、n+1段階めの割れ目連結によるJ'方向の平均のび長さ $\bar{L}$ は、

$$\bar{L} = L_0 \sum_i \mu \theta_i |\cos(\theta_i - \theta_0)| \dots\dots\dots (8)$$

となる。従って平均段階数 $\bar{n}$ は、

$$\bar{n} = L/\bar{L} - 1 = L/L_0 \cdot f(\theta_0) - 1 \dots\dots\dots (9)$$

$$f(\theta_0) = 1 / \left( \sum_i \mu \theta_i |\cos(\theta_i - \theta_0)| \right)$$

と方向 $\theta_0$ の関数であらわしう。この関係を図-8の(b), (c)割れ目系について、調べたものが図-12である。この図は、 $\mu \theta_i$ の分布を10°きざみで与え、 $\theta_0$ 方向によって単位割れ目長さ $L_0$ と平均路長さ $\bar{L}$ の比がどのように変わるかをみたものであり、 $L_0/\bar{L}$ 比が大きくなれば、平均段階数 $\bar{n}$ は大きくなる。 $\bar{n}$ の増大は浸透経路数の減少、あるいは経路長さが近似的に $\bar{n} \cdot L_0$ で示されるとすれば、その長さの増大をあらわし、結果として透水性の減少をもたらす。従って、この考えによっても岩盤は異方性を持つことになる。この考えの中で、n+1段階の割れ目が、必ずJ'の正か0方向にのびると仮定することは問題とも思われるが、性質を把握する上で一つの目安には十分使えると考える。

以上の議論は二次元割れ目系において、透水性が割れ目の連続性によって大きく変化することを示し、それが、ある単位割れ目長さ $L_0$ を採用すれば、 $\bar{n}$ ,  $\mu_j$ ,  $\mu \theta_i$ などによって統一的に評価しうることを明らかにした。ここで問題となるのは、 $L_0$ の妥当な設定であるが、今回のようにその都度 $\mu_j$ ,  $\mu \theta_i$ を算定すれば、この値は任意であるが今後、岩盤破壊メカニズムや岩質などとも関連づけて把えてゆく必要がある。

あ と が き

今回の研究により、岩盤浸透流の透水性が、岩盤割れ目の性質を平行板間隙で仮定できる時には、三次元岩盤においても統一的に定量評価しうるといふ知見を得た。またこの仮定に基いて二、三の理論式を提唱した。しかし、実際の岩盤割れ目では、無限に広がるという仮定は成り立たず、割れ目の連続性を評価する必要がある。これについて、筆者らは単位割れ目の概念を導入し、分枝過程により実測データを基に検討し、二次元割れ目系の場合には評価が可能であることを明らかにした。しかし、単位割れ目長さの一般的な表現、割れ目系が閉ループを多く持つ場合の検討、あるいはこの手法の三次元への発展や、実際の浸透問題への応用などの点に関して不十分な点も多く、今後さらに検討したいと考える。

最後に、この研究にあたり、いろいろと御教示いただいた東京大学高橋裕教授、また、ていねいな御討論いただいた東京大学王井信行助教授に深く感謝します。

参 考 文 献

- 1) 佐藤邦明, 渡辺邦夫, 岩盤浸透流の抵抗に関する基礎的研究, 第3回土木学会関東支部年講, 1975
- 2) Ogata.S., Activity evaluation of fault in the basement terrain, 応用地質, vol. 7, No.3, pp.30-32, 1977
- 3) Rocha.M.,Franciss.F., Determination of permeability in anisotropic rock masses from integral samples, Rock Mech., vol.9, pp.67-95, 1977

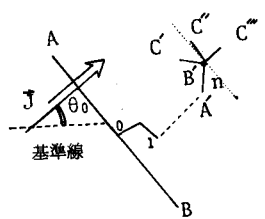


図-11 割れ目連結モデル

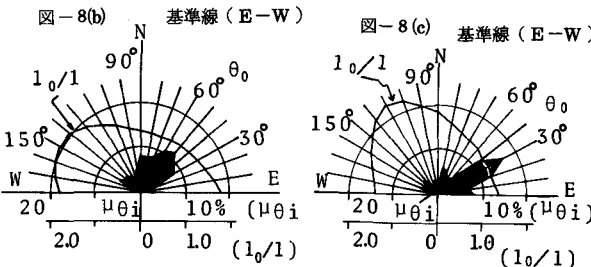


図-12 浸透方向 $\theta_0$ と $L_0/\bar{L}$ 比