

埼玉大学 工学部 正会員 ○ 渡辺和夫
東電設計株式会社 星野吉昇

はじめに

岩盤の透水性を把握するため、通常ルジオン試験などの現場実測法が行なわれる。しかし、現場透水試験で得られる値は局所的な場の透水係数であり、大領域の岩盤に対しては、事実上点としての把握しかできない。一方、岩盤の地質調査によれば岩盤を面あるいは線としてとらえることができる。そのため、地質調査結果から岩盤の透水性が量的に評価しえれば、現場透水試験と併用しより全体的な透水性が把握しうるようになる。ここで、岩盤の透水性は主としてその中に発達するCrack系によって決定されるから、まず基礎的には単一Crackの間隙幅や壁面凹凸など諸形状と透水係数との関係を知ることが重要である。この場合、実際のCrack中の流れが層流かどうかが問題であるが、トンネルなどの近傍を除いてほぼ層流と考えるであろう。今回の研究は以上をふまえて、一般的な単一open-crack について、その形状と透水係数との関係を調べたものである。

1 従来の研究とその問題点

単一open-crackの形状と透水係数との関係についての研究は、Lomig¹⁾, Louis¹⁾らによって行なわれている。それらは図-1(c), (b)に例示する、表面に各種の凹凸(粗度)をつけた二枚の平行板間隙をCrackのモデルと考え、その中の浸透流抵抗則を層流-乱流とあわせて実験的に調べたものである。その結果Louisは層流状態抵抗則から透水係数(k)が、

$$k = g \cdot (J)^2 / (12V \{1 + A(h^3/Dh)^{1.5}\}) \quad \text{----- (1)}$$

で表現しようとした。ここに、 A =定数、 g =重力加速度、 V =動粘性係数、 J, hr =それぞれ図-1(c)と示す平均間隙幅、平均粗度高さ、 Dh =水力直径($Dh = 4A/S$, A =流れ断面積、 S =潤辺、この場合 $Dh \approx 2d$)であり、 A 値としてLomigは170, Louisは8.8を求めた。これらの研究はある程度の成果を挙げながら、同時に多くの問題を持っている。たとえば hr という量であるが、実際のCrackは図-2に例示するように種々の凹凸を持ち、浸透経路内の粗度ばかりでなく経路の曲がりやを形成している。従って hr とあるが定義しにくい。これはむしろ直接間隙幅の変化を考えた方がよい。つぎ、両者の A 値がかなり異なり、実験式の妥当性に疑問が残る。どうしてこの差が出るのか詳しく検討する必要がある。さらに従来の研究では、実際のCrackを用いて、実験式の検証をしてみず、この点が最大の問題であろう。以上の問題点をふまえて、今回まずCrackの形状と間隙幅の変化をとらえ、Crack内の流れを近似的な理論式で考え、その式の近似度を実験で検証した。つぎに実際のCrackの透水係数を実験し、この近似的な考えやさらにLouisの実験式の結果と比較し、その有用性を調べた。

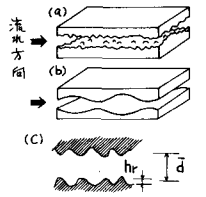


図-1 従来Crackモデル

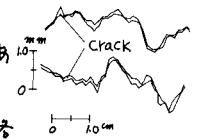


図-2 実際のCrack例

2 近似理論とその実験による検証

近似的な考えはまず図-3(a)に示すCrackを(b)のように $\Delta X, \Delta Y$ でメッシュ分割し、各メッシュはそれぞれある間隙幅を持つとする。ここで、 Z 方向流速を無視し、各メッシュ内の流れがポアズイユ則が成立すると仮定すれば、透水量係数が場所的に変化する場合の通常の地下水流動式と同様の次式が成立する。

$$\frac{\partial}{\partial x} (C \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (C \frac{\partial h}{\partial y}) = 0 \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 C =透水量に関する係数、 h =水頭である。実際には(2)式を差分化して解く

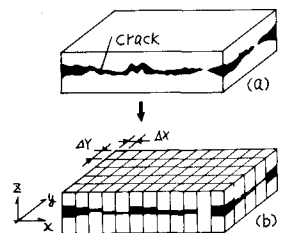


図-3 Crackのメッシュ分割

が、各差令(1,5)×ウツシクついて、その間隙幅 $d_{i,j}$ を用い、 $C_{i,j} = \frac{9}{12V} \cdot (d_{i,j})^3$ となる。この式が十分妥当であるならば、間隙幅の今布 $d_{i,j}$ さえ与えれば、各差令×ウツシの水頭がわたり透水係数が求められる。問題は妥当性であるが、つぎに、実験的に検討した。実験は図-4に

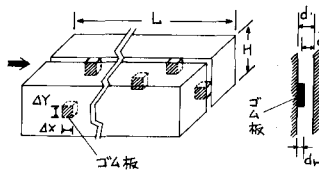


図-4 実験装置模式図

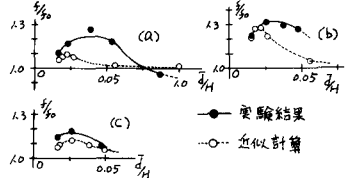


図-5 近似計算と実験との比較

概念的に示す装置を用いた。これは間隙幅 d を持つ二枚の平行板間に、面積 $\Delta X \times \Delta Y$ 、厚さ d のゴム板を片側の板にはりつけたものである($d \geq d_r$)。ゴム板のはりつけ位置や個数は種々変えた。実際の実験では $\Delta X = \Delta Y = 1\text{cm}$ とし、図中の間隙長さ L 、その幅 H はそれぞれ 50cm 、 5cm にとった。ここで H が小さいため、 d が大きくなるとダクト中の流水となり(2)式と比較しうるのは d の小さい範囲のみである。図-5に実験結果と(2)式の解との比較を示す。図中の(a),(b),(c)はゴム板のはりつけ位置や個数を変えたものである。また図に於いて横軸に平均幅 \bar{d} と H の比 \bar{d}/H をとると、縦軸は間隙幅 \bar{d} でゴム板(粗度)のない場合の理論的な拖抗係数 f_0 と実測および計算拖抗係数 f との比 f/f_0 をとった。前述のように、これは \bar{d} (あるいは d)の小さい範囲でしか直接の比較はできないが、ほぼ $\bar{d}/H \leq 0.03$ 程度の範囲で実験値と計算値がよく合っており、(2)式の妥当性がある程度検証したと考へる。

3 近似解の性質と実測透水係数との比較

近似解と Louis の実験式を比較するため、計算領域を流水方向に 30×0.2 、流れに直交方向に 10×0.2 とし、各ウツシに例として $d_{i,j}$ に $0 \sim 1$ までの一様乱数 $d_{i,j}$ 、あるいは $d_{i,j} + \beta$ 、 $d_{i,j} - \alpha$ ($\alpha, \beta < 0.5$ の場合 $\gamma = d_{i,j}$)の各ケースを与え計算した例が図6である。ここで、 β, γ は任意の数($\beta > 0, 0 < \alpha < 1$)である。Louis の実験式と比較するため、平均粗度高さ h_r を近似的に $h_r + \frac{\gamma}{2} \sum (d_{i,j} - d)$ と与えた。 N は総ウツシ数である。図中、横軸は h_r/d_h 、縦軸は幅 \bar{d} で粗度のない場合の透水係数 k_0 ($k_0 = \frac{9}{12V} \cdot (\bar{d})^2$)と各方法で求めた透水係数 k との比を示す。近似解と実測、または、 $N=300$ と少ないため、用いる乱数により結果と差が生ずることを考慮して、各ケース20程の異なる乱数の組を与えた。図中の実線は平均値であり、各記号のバラつきは、乱数の性質とよるものである。Crack間が大きく、間隙幅今布が一様乱数的であれば、この実験から透水係数が求められる。またこの図から、Lomiz の式は h_r/d_h が0.3付近で近似値に近く、Louis の式は h_r/d_h がより小さい領域で近似解と近くなることかわかり、両者の違いは、実験の条件が異なることとよる結果であると推定しうる。

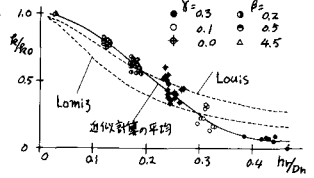


図-6 近似理論の性質

さらに今回、4本の花崗岩コアサンプル中の実際の単一Crack中の間隙幅今布を測定し(図-7(a),(b)に例示)、この今布に従う乱数を各ウツシに与え近似解を求めた。その結果を表-1に示す。表中あわせてLomiz, Louisの実験式、図-6の実線による読みを示した。また同時に、実測値とあげた。全体的にみて各方法ともかなり実測値と近い値を示しているといえるがとくに実際の間隙幅を測定し、その今布から求めた値がより妥当と思われる。以上のことより、岩盤の透水係数は、Crackの形状を調査し、かなりの精度で推定しうることがわかった。調査とあわせてとくに間隙幅今布の特性を調べる必要がある。今後はこのような考え方を、実際の岩盤に適用し、その有用性をより詳しく調べるつもりである。

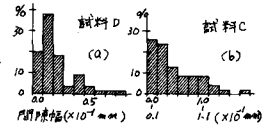


図-7 実測間隙幅今布

表-1 実測透水係数と種々の計算値比較 (単位: cm/sec)

試料名	Louis	Lomiz	近似計算		実測透水係数
			図-6の(実線より)	実測間隙幅今布より	
A	1.61×10^{-1}	1.08×10^{-1}	1.39×10^{-1}	1.27×10^{-1}	1.16×10^{-1}
B	5.20×10^{-1}	3.29×10^{-1}	2.39×10^{-1}	3.06×10^{-1}	5.53×10^{-1}
C	7.45×10^{-2}	4.55×10^{-2}	2.02×10^{-2}	2.44×10^{-2}	4.17×10^{-2}
D	9.61×10^{-3}	5.84×10^{-3}	2.26×10^{-3}	3.73×10^{-3}	3.01×10^{-3}

参考文献) Louis, C (1969), A study of ground water flow in jointed rock and its influence on the stability of rock masses, Imperial College Rock