

埼玉大学 工学部 正会員 ○ 渡辺邦夫
 “ “ “ 佐藤 祥明

はじめに

コアサンプルあるいは一般に岩盤の透水性を評価するにあたり、主な浸透経路となる micro-crack や crack 系の性質を定量的にとらえ、透水係数との関係を評価する必要がある。筆者らは以前、micro-crack 系の性質を間隙率で全体的に把握することを考え、花崗岩コア・サンプルの透水係数がみかけ上、間隙率のほぼ 4~5 乗に比例することを実験的に明らかにした。今回この研究成果をふまえ、より詳しく micro-crack 系をモデル化し、透水係数と間隙率との関係を理論的に考察した。この結果、実験値と理論値のよい一致をみたので報告する。

1 micro-crack 系のモデル化と透水係数算定式

モデル化について、今回なるべく実際の micro-crack 系に近づけることを目的とし、図-1 のように考えた。まず全体的なモデルの形態は図-1(a) のように、各々の micro-crack の曲がり、方向性などを考慮している。また micro-crack 壁面には、図-1(b)、(c) のように複雑な凹凸(粗度)を有するとし、実際にかなり近いモデルである。(かくし、ここに下記の仮定を導入する。①各々の micro-crack の間隙幅はすべて一定である② micro-crack は考えているサンプル大きさ程度ではすべて連続している③一つ一つの透水経路が図-1(b) のように独立に取り出しうる④ micro-crack 壁面の粗度が透水係数に与える影響は、図-1(c) に示すように間隙幅 w が見掛け上小さくなりげになると考えることにより表現しうる⑤その関係は、 $w' = cw$ (c は定数) であるとする。このような仮定を導入することにより、図-1(a) の x 方向の透水係数 k_x は、図-1(b) のような一つ一つの透水経路中の流れを、幅 w の平行平板間での層流状態の流れでおきかえて、下記の(1)式で表現できる。

$$k_x = \frac{g}{12\nu} \cdot (w')^3 \cdot L_s \cdot \left(\frac{1}{L}\right)^2, \quad (w' = cw) \quad \dots \dots (1)$$

ここに、 g : 重力加速度、 ν : 動粘性係数である。また L_s は、図-1(a) に示すような、 x に直交断面内の単位面積あたりの micro-crack 平均長さ、 L は x 方向の岩盤長さ、 w は図-1(b) のように考えた時の、平均透水経路長さである。

この(1)式の問題点の一つは、モデルの妥当性はさておき、式の中に w 、 c 、 L_s 、 $(\frac{1}{L})^2$ など多くの micro-crack の性質をあらわすパラメーターが含まれており、實際上使い難い形となっていることである。この点を考慮し、また以前報告した実験式が、透水係数と間隙率の関係で整理されていることに注目し、これらのパラメーターが間隙率とどのような関係を持っているかを実際のコア・サンプルにより調べ、間隙率により統一的に表現することを考える。

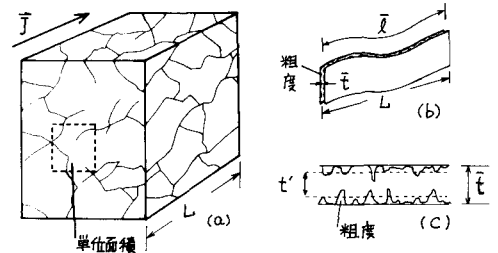


図-1 micro-crack 系のモデル化

2 各パラメーターの間隙率による評価および透水係数の理論値と実験値との比較

検討に用いたコア・サンプルは、群馬県草木ダム、愛知県矢作ダム、瀬戸内河内など 6 地点で採取した間隙率の異なる花崗岩である。まず平均間隙幅 w について考える。すでに筆者らは、400 倍偏光顕微鏡により間隙幅分布を調べ、 $N(w)dw$ を間隙幅が w と $w+dw$ の間の micro-crack 数、 K 、 m を定数として、 $N(w)dw = K w^m dw \dots \dots (2)$ で表現しうることを明らかにした²⁾。図-2 にこの代表的な、間隙率の異なる二例を示すが、横軸は間隙幅 w 、縦軸は $N(w)dw$ の全体の micro-crack 数 N に対する比である。このように表せば、(2)式中の定数 K 、 m は一方と定めれば決定できる。ここで m について、間隙率 λ との関係を探ったものが図-3 であり、ほぼ $m = 2.18 \lambda^{-0.2}$ と読みとれる。平均間隙

幅 δ は、このように分布を与えられれば、 T_m をサンプル中の最小間隙幅、 T_B を最大間隙幅とすれば、 $\int_{T_B}^{T_m} kT dt$ により求める。今回 T_m については、400倍偏光顕微鏡で観察する最小幅 $0.16 \mu m$ とし、 T_B は、一般にコア・サンプル中にみられるmicro-crack間隙幅の大きさを考慮して $100 \mu m$ と設定した。

つぎに単位面積中のmicro-crack長さ L_s を考える。この測定は、金属組織学の研究³⁾によれば、図4のよう平面に任意方向走査線を考え、走査線とmicro-crackとの交点数から平均的に求める。図5に L_s と間隙率 λ との関係を示す。ややバラツいてはいるが、ほぼ $L_s = 8.3\lambda + 112 (\%)$ と読みとれる。

さらに、 $(\lambda/\delta)^2$ であるが、これは三次元的なmicro-crack系を考える必要があり測定が難しい。今回は近似的に二次元的に考えることとし、図6のようmicro-crack系を間隔 ΔL で区切り、その間を結ぶ実際のmicro-crack長さ ΔL_c を測定し、平均的な λ/δ を λ/δ_c とした。しかし、多くの試料でほぼ $(\lambda/\delta_c) \approx 1/2$ 程度となることもあって、今回間隙率に關係なく $(\lambda/\delta_c) = 1/2$ とおいた。

つぎに C については、実験的に求めた透水係数値と、上記の方法で決定した L_s 、 (λ/δ_c) を(1)式に代入して逆算した。その結果をまとめて整理したものが図7である。図中●は新鮮な花崗岩を700℃まで順次強熱冷却し、強制的に間隙率を変えたものでいわば強制風化試料である。○は自然風化状態の試料である。図より両者の分布がかなり異なることがわかるが、これは自然風化の場合、crack壁面が長期間に変質し、粘土鉱物の生成や溶脱現象により複雑な凹凸ができるのと比べ、強制風化ではそのような変化がないといった壁面の性質の違いを反映したものであろう。いづれの試料でもモガが大きくなると $C \approx 1$ つまり、粗度の影響が小さくなるという傾向を持つ。これは、間隙幅が大きくなると壁面の微小な凹凸が相対的に小さくなりほとんど無視しえるようになるためと思われる。図から、モガ小さい範囲では、強制風化の場合 $C \approx 0.45 \pm 0.2$ (3)、自然風化で $C \approx 0.25 \pm 0.1$ (4)で近似(3)と考えられる。

以上の関係を(1)式に代入すれば間隙率と透水係数の関係をもとめることができる。求めた値を実験値と比較したものが図8である。図中●は強制風化、○は自然風化の花崗岩、●はマサセ、●は古第三紀、●は石炭紀砂岩の測定値である。実線は(4)式より求めた値であるが、(a)は $C=0$ とし、(b)は(3)式 (c)は(4)式で C を決定したものである。この図より(4)式が全体にみて実験値とよい一致を示し、また間隙率が30%以上のマサセや、古第三紀や石炭紀砂岩といった花崗岩とは性質の異なる硬岩にも使いうることがわかる。

今回の研究により、図1のモデル化や(1)式の理論式の妥当性が示されたと思うが、今後花崗岩以外の岩について詳しく検討し、また L_s 、 C 、 (λ/δ_c) などのパラメータの性質をより明らかにする必要がある。

参考文献) 1) 渡辺邦夫・佐藤邦明、岩盤の透水評価に関する実験的研究、第23回水理講演会論文集、pp.15~20、1979
2) 渡辺邦夫、花崗岩中に発達するmicro-crack系の性状とその定量評価の2つの試み、応用地質、Vol.20, no.2, 1979
3) Dehoff R.T., Rhines F.N., Quantitative Microscopy, McGraw-Hill, 1968

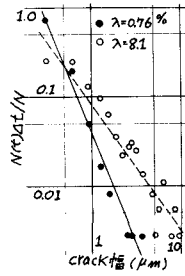


図2 Crack幅分布

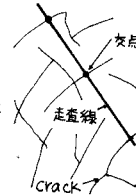


図4 L_s の測定

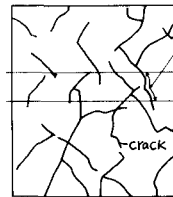


図6 λ/δ の測定

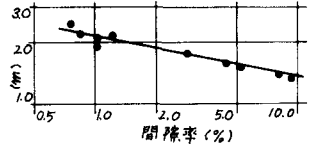


図3 λ 値と間隙率との関係

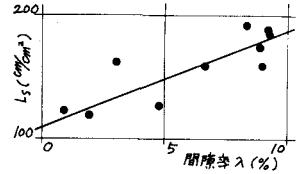


図5 L_s と間隙率との関係

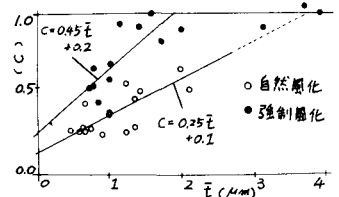


図7 C と平均間隙幅 δ との関係

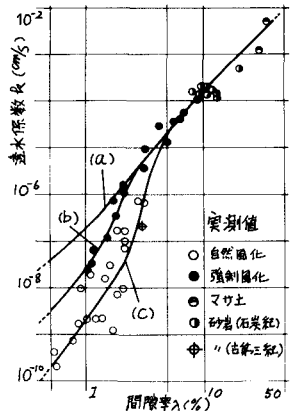


図8 透水係数と間隙率の関係