

埼玉大学 工学部 正会員 ○ 渡辺 邦夫
" " " 佐藤 邦明

はじめに

岩盤の透水性は、主な浸透経路となる岩盤内の crack 形状、方向性、分布、連続性などに大きく影響される。一方、crack のそうい、た性状は複雑であり、統一的に把握することが難しく、そのため透水性の評価が従来十分に行なわれているとは言い難い。しかし、工学的に岩盤中の浸透系の性質を明らかにすることは重要であり、crack 系の特性を考慮に入れた透水性の評価が必要であろう。筆者らは従来、岩盤浸透流に注目し、透水性に関与する種々の crack 性状の影響を検討してきたが、今回は岩盤透水係数についていくつかの室内実験と行、たの報告する。

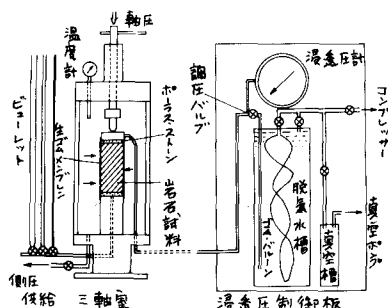
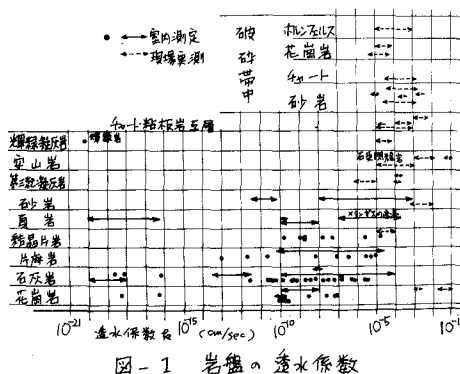
1 岩盤の透水係数に関する従来の研究成果と問題点

岩盤の透水性を把握するために、まず従来報告されている岩盤透水系数を整理し、調べてみる。図-1はそういった報告をもとめたもので、横軸は透水系数值、縦軸は岩種をあらわし、一部破砕帯中の岩石を示してある。図中の●、↔は室内実験値であり、←→はルジオン試験などによる現場実験結果である。この図から、岩盤の透水系数は同種の岩石であ、ても非常に大きな変化域を持ち、それはたとえば花崗岩や石灰岩では10¹²程度とな、てゐる。こゝが概みとあるが、岩盤浸透流の特徴の一つである。大きな変化域を持つ理由の一つには、Crackの方向性があげられよう。たとえば、crack面と平行方向の透水性は直交方向に比べて大きくなる

。しかし、最も大きな理由は、crack 開口度と連続性の問題であろう。一般に、岩盤は破壊や風化程度が進むと透水性が良くなるが、これは crack の開口度が増したり、crack 相互が連結し浸透経路が増加するからと考えられる。図-1の結果もそう、た諸々の差異を反映したものであろう。フグヒ、この差異を定量的に把握することが望まれるが、実際の crack 性状は非常に複雑である。そのため今回は、定量把握の第一歩として、透水性と間隙率のような測定可能量でしか、ある程度 crack 性状と結びつける量で評価することを考え、実験的に検討してみた。またあわせて、岩盤浸透流とみられる他の諸性質についても考察した。

2 實驗裝置

実験は、図-2に示す三軸圧縮型透水試験機を用いて行った。この装置は、図中に示すような円筒型の三軸室により、岩石試料周囲の施力状態を制御して透水実験を行うもので、側圧供給および軸圧加重装置は従来の三軸試験機と同様である。側圧は 10 kg/cm^2 、軸圧は 1 ton まで可能である。浸透圧の制御は浸透圧制御板で行ない、 10 kg/cm^2 まで加える。実験に用いる水は、高圧をかけることもあって脱気水を使用し、浸透圧を加える時空気と水との直接接触をさせるため、ゴム・バルーンを介在してある。また水温は三軸室内の温度計により常時読み取り可能である。試料



を浸透した水はビューレットに導き、透水量を測定し変水位試験と同様にして透水係数を算定する。ビューレットは径の異なるもの3本あり、透水量に応じて適当なものを使用する。岩石試料の大きさは径5cm、長さ10cm内外で、長さ方向の透水係数を測定する。実験中、岩石は生ゴムメンブレンにより三軸室内の側圧供給用の水と隔てられている。この装置で問題となるのは、メンブレンを通して三軸室内より岩石中に流入する水と、岩石表面とメンブレンとの間を通過する水の有無であろう。これらの点について予備実験を行、たが、前者については岩石の透水係数が $10^{-8}\text{cm}^2/\text{s}$ 以上であれば、ほとんど問題はない。しかしそれ以下の透水係数ではメンブレンを2枚にしたり、間にシリコングリスを塗り込むなどの配慮が必要である。また、後者については、側圧が浸透圧より、 $1.5\sim 2.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上高ければほとんど影響せず、実験中は常時の条件を設定した。

3 実験結果と考察

実験は草木ダム付近で得られた花崗岩を中心に用い、また大谷石を用いて比較した。試料番号および間隙率については表-1にまとめた。花崗岩試料はすべて同一場所で同方向にコアサンプリングしたもので、間隙率の変化は、マッフル炉で順次加熱・冷却することにより与えた。実験結果であるが、まず図-3は試料A-1、C-1について流速(v)と動水勾配(I)の関係をみたものである。結果を全体的にみるとほぼ直線関係といえ、ダルシー則に従うようにみえる。しかし詳細に検討すると、Iが小さくなるにつ

水、やや直線から傾きが緩くなるように見え、また直線が原点を通らない。実際、各点で透水係数を算定すると、図中に示したように、Iがほぼ100以下の領域で小さくなる。このことは、粘土の透水実験でみられるような、crack中の水の吸着効果によるものと考えられよう。つぎに、間隙率と透水係数との関係をみたものが図-4である。図中、横軸に間隙率(λ)、縦軸に透水係数(R)を対数で示したが、この図から透水係数は間隙率によって、 $R=C\lambda^m$ の形であらわされるようにみえる。C、mは定数でありmは約4.2と読みとれる。従来、通常のPorous media については透水係数は間隙率で表現できるとされ、たとえば Terzaghi式($R \propto (\frac{\lambda-0.13}{\sqrt{1-\lambda}})^2$)、Zunker式($R \propto (\frac{2}{1-\lambda})^3$)、Kozemy-Donat式($R \propto (\frac{2.3}{1-\lambda})^3$)がある。これらの式が、今回の実験のように λ =数%という領域で成立するかどうかは疑問であるが、比較のため図中これらの式の性質を示しておいた。その結果、岩盤ではPorous media に比べて間隙率の影響が大きくあらわれていることがわかる。このことは興味深いもので、実験問題として岩盤中にトンネルや地下空洞を掘削すると、周囲の地山がゆるむ現象が起るが、図-4の性質はむしろゆるみによっても、透水係数が顕著的に増大することを示している。さらに図-5は、透水係数に与える岩盤周囲の応力状態の影響をみたもので、側圧を $4.65\text{kg}/\text{cm}^2$ で一定とし、軸圧を $50\text{kg}/\text{cm}^2$ まで変化させた。図中、横軸は軸圧(P_a)を示し、縦軸は軸圧 P_a の状態での透水係数 R_{Pa} との比(R/R_{Pa})をあらわしている。今回の結果、花崗岩では応力状態の影響をかなりうけ、また応力履歴の現象がみられたが、大谷石ではほとんど変化がなかった。このことは、浸透経路となる間隙の構造が、岩石によって種々異なり、可能性を示唆しているものであろう。以上、実験結果を概観したが、今後crack 性状を定量化し、透水性と結びつける方向で研究を続けてゆきたいと考える。

表-1 実験試料

岩石名	間 隙 率 (%)				
	A-1	A-2	A-3		
花崗岩	1.59	2.38	7.05		
	B-1	B-2	B-3		
	1.02	1.12	1.14		
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
大谷石	1.58	1.80	2.11	3.26	4.32
	D-1				
	2.18				
	E-1				
	29.0				

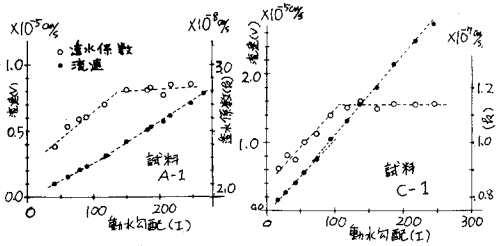


図-3 動水勾配(I)と流速(v)透水係数(R)

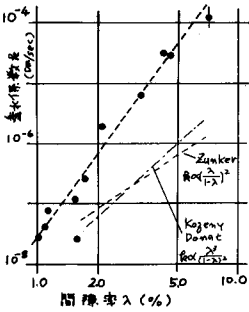


図-4 間隙率と透水係数

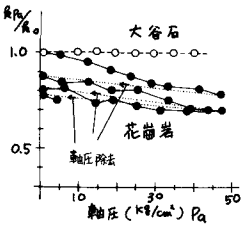


図-5 軸圧と透水係数変化(側圧4.65kg/cm^2)