

II-191 岩盤ブロックモデルによる透水実験

埼玉大学工学部 正会員 佐藤 邦明
給与建設KK ○田中 純夫

はじめに
岩盤中の水流は岩質、割れ目系の幾何的性質、流れの方向などに支配され、粒状均質多孔体の流れと違った物理的性質をもっていることは周知の通りである。本質的にはレイノルズ数支配の流れであるから、抵抗則はダルシー則と考えてよいが、問題は流路系と流れの場の平均化があまりににくいのである。そのため、岩盤浸透流のモデルとして、平行間隙中の粒性流を類似して来たものの、かなり漠然とした取扱いである。そこで、本研究は平行間隙が一連のネットワークとなった透水モデルを導入して、透水係数算定式を提案するわけである。

1. 実験装置と実験方法

実験装置は図-1に示したように、長さ109 cm、幅43 cmのく形水そうの中に、さらに、長さ63 cmの透水体容器水そう（この場合、透水体の幅は可変できる）を設けて、定水位タンクに水頭差を与えるものである。この装置の特色は流体温度の変化を防ぐ水はりがあること、さらに、透水体のブロック（高さ、5.3 cm一辺5.0 cmの正方形、正三角形アクリル製であり、下面に磁石板を貼り付けたもの）の下端磁石板と透水体容器の下面に磁石板をもつことである。

実験方法は、まず、透水体容器の上がたと取り、ブロックを所定の元てんパターンでつめ、つぎに、多孔体中に水を飽和させてから、上がたととして、通水する順序となる。その際、磁石板にブロックが密着し易いため、ブロック間隙幅のコントロールが非常にし易く、上がたとやブロック下端での漏水が防げ、流れは平面的にのみ生じることとなる。水温は実験中は一定であるが、日々変わるがほぼ一定であり、粒性係数は実験ごとに判りから、透水係数は修正できる。

実験時のブロックの配列は表-1に示したように、Rect-1が5、Rect-2が5、Triが4、Para 3種（それぞれの配列は図-2参照）であり、間隙幅が変うから、空隙率も変ってくる。各々の配列について、動水こう配を変えて、流量計を計るわけである。さらに、各々の配列について流線形状を観察（写真による）するため、トレーサー注入実験も行なう。

2. 実験結果と実験式

表-1の空隙率は平面ブロック配列では幾何的に容易に決まるが、ブロック寸法、間隙幅dとすると、Rect-1, 2、Tri、Para、について、

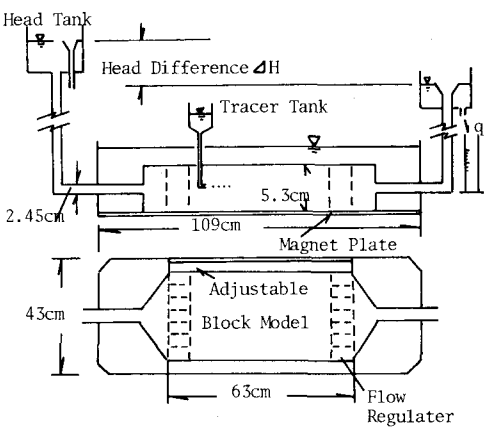


図-1 岩ブロックモデルと実験装置の概略

表-1 実験条件

Name of Exp.	width cm	permeability cm/sec	porosity %
Rec. 1-1	0.317	434.9	13.29
Rec. 1-2	0.250	363.7	10.42
Rec. 1-3	0.160	211.9	6.61
Rec. 1-4	0.142	150.2	5.67
Rec. 1-5	0.067	29.6	2.62
Rec. 2-1	0.317	310.8	11.96
Rec. 2-2	0.250	271.3	9.37
Rec. 2-3	0.160	146.9	5.95
Rec. 2-4	0.120	93.2	4.45
Rec. 2-5	0.080	22.7	2.62
Tri. 1	0.250	149.2	16.21
Tri. 2	0.173	87.9	11.16
Tri. 3	0.133	31.7	6.43
Tri. 4	0.053	10.9	4.65
Para. 1	0.283	126.9	16.28
Para. 2	0.226	66.3	12.07
Para. 3	0.184	29.4	9.06

$$\lambda \doteq 1 - \frac{1}{1+2(d/L)}; \text{Rect-1, 2}, \lambda \doteq 1 - \frac{1}{1+3.414(d/L)}; \text{Tri}, \lambda \doteq 1 - \frac{1}{1+2.207(d/L)}; \text{Para.}$$

となる。ここで、 $(d/L)^2 \doteq 0$ とおく。

従って、これらの関係はいずれも $(d/L) = (1/C) \{ \lambda / (1-\lambda) \}$ の形にかけ、 C ; Rect-1, 2 で 2.0, Tri. で 3.414, Para. で 2.207 である。表-1 の空隙率 λ はこれらの式より算出したものである。また、 $(d/L)^2 = C_s \{ \lambda / (1-\lambda) \}^2$ とおくと、 $C_s = (1/C)^2 = 0.2500$ (Rect-1, 2 の場合)、 $C_s = 0.0858$ (Tri. の場合)、 $C_s = 0.2053$ (Para. の場合) ともかける。

一連の透水実験結果は、レイノルズ数 $Re = d\bar{v}/\nu$ ($\bar{v}$; 空隙内平均流速、 ν ; 動粘性係数) と抵抗係数 $\zeta = 2gdi/\bar{v}^2$ (i ; 動水こう配、 g ; 動水加速度) で整理して、層流の範囲の値を用いて、 $\bar{v} \sim i$ 関係から (真の) 透水係数 k' を求めた。その際、限界レイノルズ数 $Rec = 400 \sim 450$ がいずれの実験でも認められた。表-1 にはこのようにして得た透水係数がそれぞれの配列についてまとめられている。

そこで、透水係数 k' の表現として、

$$k' = C_0 C_s \frac{g}{\nu} \left(\frac{1}{(b/L)} \right) \left(\frac{\lambda}{1-\lambda} \right)^2 L^2$$

$$= \left(\frac{C_0}{(b/L)} \right) \frac{g}{\nu} d^2, \quad (1)$$

とおくこととする。ここで、 b ; 流路長に関する量、 C_0 ; 定数である。

式(1)は次元解析的に得られるもので、 (b/L) と流路屈曲に関する factor と考え、単一平行空隙の場合は 1 であり、その時は当然 $C_0 = 1/2$ となる。つまり、式(1)の (b/L) と C_0 を実験的に決めればよいことになる。そこで、流線の観測結果を示したものが図-2 である。图中、Rect-1 では流路に直交する空隙は死水域が出来て、有効空隙率は表-1 中 Rect-1 ~ 5 について、5.28、4.17、2.67、2.0、1.0 % とかなり小さくなり、Rect-2, Tri., Para. はいずれも死水域は見られず、流線は網状となっている。従って、 (b/L) の値は、Rect-1 では 1.0、Rect-2、2.0、Tri.、1.55、Para.、2.41 となること流量配分と損失関係から決まる。

図-3 は式(1)を用いて、 $C_0 = 0.02 \sim 0.12$ を実験より決めて、判っている $C_s = 0.0858 \sim 0.2500$ と与え、上述の屈曲 factor について $k' \sim d/L$ の関係を 1 とつけたものを示した。そうでないものは通常の平行空隙中の粘性流の k' である。特に、Para., Tri., のようになると、流路屈曲の補正が必要がよく判る。

今回行った一連の実験から判るように、岩盤の割れ目系をブロック岩塊モデルで表わすと、単一割れ目がどのような幾何的構造をもつかによって、透水係数の値が違ってくるがよく判る。上述の屈曲 factor から考へて、 $(b/L) \geq 1$ が成立つから、単に平行空隙中の粘性流として透水係数を求めるより、実際には小さい値となることが明らかである。

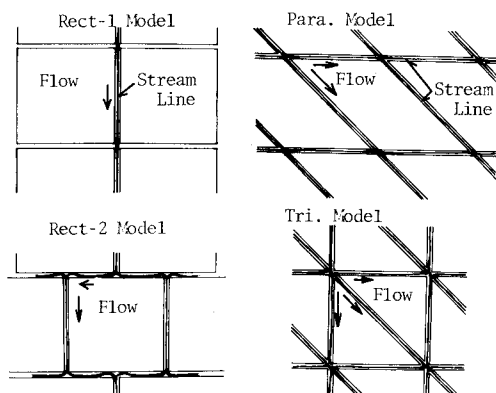


図-2 ブロック中の流線形状 (水圧の方向はいずれも上端から下側へ)

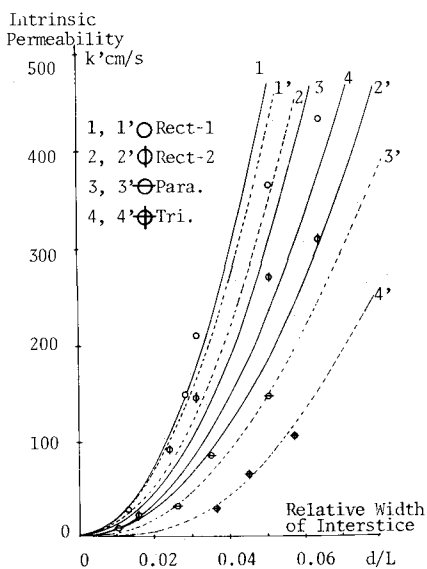


図-3 相対空隙幅 d/L と真の透水係数 k' の関係 (图中、 λ の値は修正式による)