

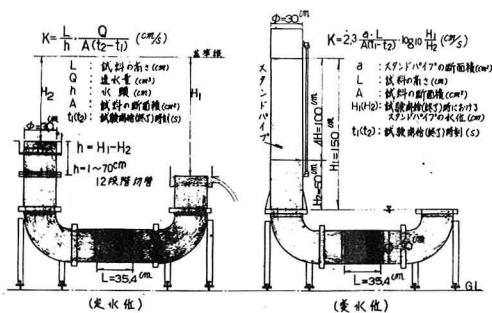
九州電力(株) 総合研究所 正員 赤司六哉 ○中島隆士
而日本技術開発(株)土木部 正員 中尾憲治

1. まえがき

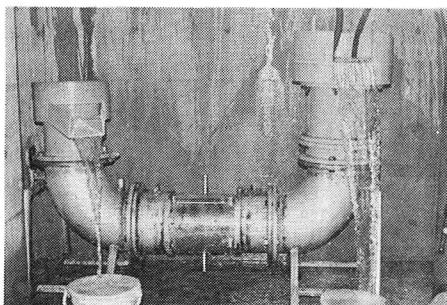
ロックフィルダムの浸透解析に必要な常数として、透水係数がある。現在、コア材料の透水係数は、定水位あるいは変水位のいずれかの試験法を用いて測定されているが、ロック材料は、定水位試験法か、または、「土質試験法」に紹介されている高透水試験法が採用されている。九州電力では、第1図に示すような、改良型高透水試験機を製作して、現在建設中の大平発電所のロック材料、およびアルミニボールによる試験を行なったので、その試験結果を報告する。

2. 試驗方法

製作した改良型高透水試験機は、第1図に示すとおりで、供試体部の断面と同じ面積の通水路（スタンドパイプなど）を持つU字型のもので、供試体は水平にセットされるようになっている。供試体は、モールド（ $\phi 300\text{mm} \times L 354\text{mm}$, $T = 25,000\text{cm}^3$ ）を使用し、大型突固め試験機（Standard Proctor）によって所定のエネルギーの締固めができるようにした。ロック材料の透水係数の測定は、第1表に示すように水頭差（定水位、変水位）を基本にして、締固め仕事量は、EcJIS 0.05, 0.5, 1.0, 4.0で実施した。定水位試験の場合の水頭差は、第1図の左頭部を種々取り換えることによって、1, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 40, 50, 60, 70, (cm)の12種を選べることができる。変水位試験機も、第1図のように変水高さを1mとして、スタンドパイプを簡単に取り付けセットできるようになっている。注水は、水道水を使用したためできるだけ低い水圧にするにしたが、念のため減勢用のストレーナーを注水口に取り付け、さらに、水位の測定は、第2図のようにある基準高さを決め、下げ振りとスチール製のスケールを使用して行なった。流量の測定は、かなり大きくな



第1図 改良型高透水試験機



第2図 定水位高透水試験の状況

第1表 透水試験結果表

流量であるため、ポリ容器とストップウォッチを使用し、重量測定によって水の量を定めた。なお、ロット材料は、表乾状態（24時間以上水浸）のものを使用した。

3. 試験結果

浸透水は土粒子の抵抗によって層流になつたり乱流になつたりし、一般に細かい土粒子間を流れる浸透水は層流とされている。ここで問題となるのは、ロット材料間の浸透水流の状態である。第1表、第4図、第5図は、さきに述べた試験方法にもとづいてロット材料についての透水係数を測定した結果を示したものであるが、動水コウ配 i が大きくなれば、流速 v が大きくなり、透水係数の測定値は減少している。すなわち、この現象から考えて透水係数は乱流状態で測定されたと考えられる。（第6図参照）ここで、つぎのように考察してみた。ダルシーによると、

$$U = k \frac{H}{L} = ki \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、
U：浸透流の速度

k：透水係数

i：動水コウ配

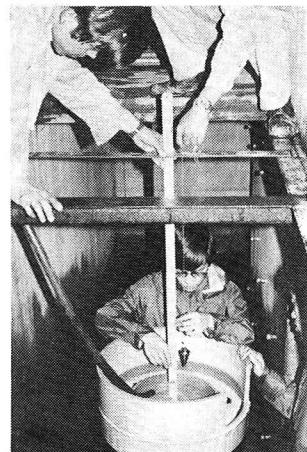
しかし、上式が成立するのは、層流の状態にある場合である。一般に、ダルシーの法則が適用される範囲はレイノルズ数 Re によって決定される。ここでは、ロット材料内の流れの状態（層流あるいは乱流）の検討方法として、つぎの式を採用した。

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta} \quad \dots \dots \dots (2)$$

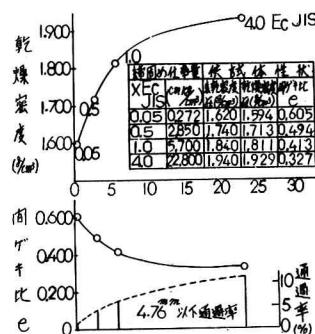
ここに、
Re：レイノルズ数
 ρ ：水の密度

v ：浸透速度

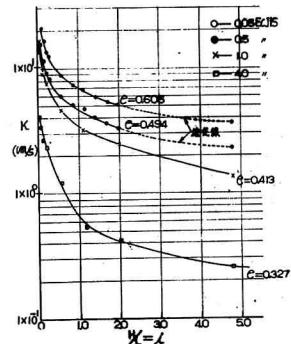
d：土粒子の平均粒径（ここでは、有効粒径 d_{10} を使用）



第3図 水位の測定状況



第4図 供試体の縮固め図



第5図 k～i

第2表 ダルシーの法則に対する適用性の検討

試験 条件 JIS No.	動水 コウ 配 i (%)	透水 係数 k (cm/s)	水温 T (°C)	動水 コウ 配 i (%)	透水 係数 k (cm/s)	水温 T (°C)	透水 係数 k (cm/s)	水温 T (°C)	透水 係数 k (cm/s)	水温 T (°C)	
0.05	1.0	0.0010	6.80	0.605	0.377	18.000	0.73	17°	0.92	0.1203	乱流
0.5	1.0	0.45	10.455	0.494	0.331	37.46	0.70	17°	0.92	0.0881	乱流
1.0	1.0	0.30	1.30	0.413	0.292	11.300	0.58	17°	0.92	0.600	乱流
4.0	1.0	0.0010	0.080	0.327	0.246	3.250	0.47	15°	1.46	0.133	乱流

註) $Re > 1$ 乱れた流。 $Re < 1$ 層流

η : 水の粘性係数

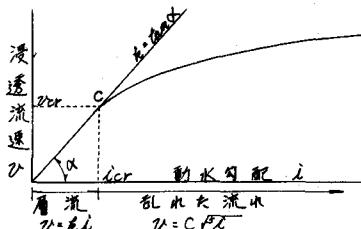
なお、浸透速度 v は、平均流速 \bar{v} をつぎの式によって補正した。

$$U = \frac{\bar{v}}{n} \quad \dots \dots \dots (3)$$

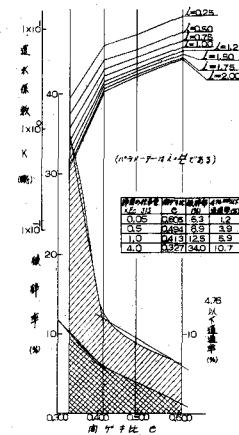
ここに、 \bar{v} ：平均流速
n：間ゲキ率

上記の式2、3によって試験時のレイノルズ数を計算したものが第2表である。この表からみると Re は(Re)/乱流)100~1000と大きく、乱流の状態で透水係数の測定が行なわれたことが示されることになる。以下、図を使用しながら考察を続けてみるとつぎのことおりである。第7図は動水コウ配 i をパラメーターとした間ゲキ比 n と透水係数 k との関係を示したものであるが、間ゲキ比 n が0.413(綿固めエネルギー1.0)から極端な曲線の変化をみせている。これは破碎率曲線からも明らかのように、粒子破碎が大きく関係しているようであり、供試体の英固めエネルギーと破碎率との関係を示す曲線とよく対応している。これは、ティラーが提示したように透水係数に影響する重要な要因としてそのあり方を良く示していると考えられる。第8図は、定水位の水頭と変水位の当初の水頭と同じにして測定した透水係数 k を比較したものであるが、両者は大差ない値が求められている。つぎに動水コウ配 i と浸透速度 v と間ゲキ比 n との関係を、第9図、第10図に示す。この両図から間ゲキ比 n が小さくなれば動水コウ配 i の影響が比較的小さくなり、かなり層流に近い状態で透水係数が測定されていると考えられよう。最後に動水コウ配 i と間ゲキ比 n の影響で、透水係数が変化する場合、ある1つの材料に関しては、第11図、および第12図に示すような透水係数の表現法があることを考慮したので、その方法を説明してみるとつぎのことおりである。まず、両対数方眼紙に間ゲキ比 n をパラメーターとした i ~ k の関係をプロットしてみると、ロツク材料、アルミニナボールとともに殆んど同じコウ配を持った直線が描かれる。この直線は、 $k = b i^c \dots \dots \dots (4)$

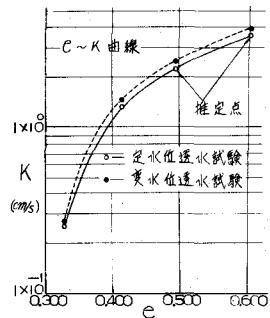
のかたちで表わされ、第11図からわかるように、ロツク材料について、 b が各々6.8、4.5、3.3、0.8で、 C が-0.45(一定)の値をもつ4本の直線であり、アルミニナボールについても、ロツク材料に準じたりと C (-0.45)を持つ直線が求められた。ここで付記しておかねばならないのは、アルミ



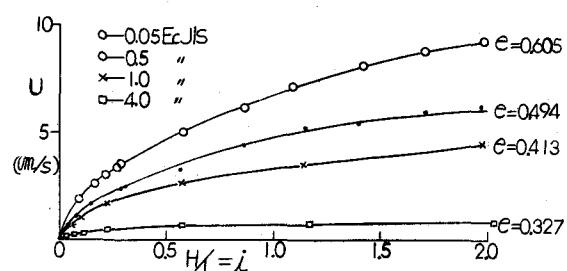
第6図 ダルシーの法則が適用される層流範囲



第7図 間ゲキ比の変化による透水係数と破碎率



第8図 透水係数の定水位と変水位の比較



第9図 $i \sim v$ (v をパラメーター)

ナボールの場合、同一粒径の材料で供試体を作成し、しかも、間隔比の違いを得るために粒径を変化(60mm , 40mm , 20mm , 10mm)させたということである。いま、 C が一定の値であるという点に着目して、第12図のように間隔比 ϵ と係数 b の関係を方眼紙で表現すると、これも材料別の直線が求められる。

すなわち、

$$b = 18.2 (\epsilon - 0.23) \quad \text{ロック材料(大平B試料)} \quad (5)$$

$$b = 127.8 (\epsilon - 0.58) \quad \text{アルミナボール} \quad (6)$$

が求められ、この b の式と上述の $C = -0.45$ とを(4)式に入すれば、ある1つの材料に関するとの実験式が求まることになる。

$$k = 18.2 (\epsilon - 0.23) \cdot \epsilon^{-0.45} \quad \text{ロック材料(大平B試料)} \quad (7)$$

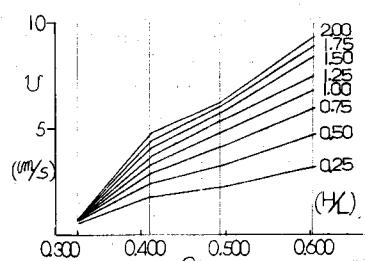
$$k = 127.8 (\epsilon - 0.58) \cdot \epsilon^{-0.45} \quad \text{アルミナボール} \quad (8)$$

いま、第11図、第12図をもとにして、上式を考慮してみるとつぎのようなことがいえる。

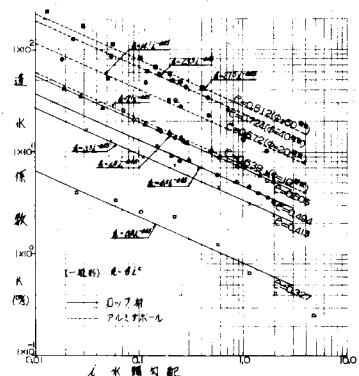
- ① 両対数紙に ϵ ～ k の関係を図示すると、材料の最大粒径、粒子の形状および粒度配合の如何にかかわらず、ほとんど一定のこう配をもつ直線を示す。(とくに粒状体の場合に限る)
- ② 透水係数を $k = b \cdot \epsilon^C$ のかたち(粒状体の場合に限る)で表わすと、ロック材料とアルミナボールとでは全く異なった b の値を示すが、この b は、 ϵ の値はもちろん、 ϵ 、粒径、形状および粒子の集合状態などの函数として表わされるものであろう。
- ③ アルミナボールの場合、粒径を変化させた試験結果が一定の b で表わされた。この問題は、さうに粒度配合を変化させた試験を展開させることにより解決していきたい。

4. まとめ

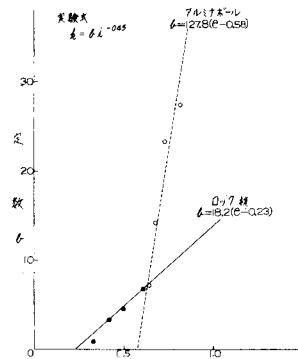
高い透水係数をもつロック材料に関しての新しい試験機の製作とこれを用いた粒状体(ロック材料、アルミナボール)の試験結果とは、以上に記述したとおりであるが、改めて、当試験機を製作した意義について付け加えておくならば、つぎのとおりである。揚水式発電所のダムとして築造されるフィルタイアダムは、毎日、利用水深の範囲内における水位の変動が繰返されている。このような外的要因を貯水池の水位急降下という条件で表現し、フィルタイアダムの安定を論じようとする、いわゆるスペリ安定解析の手法では、とくに、ロックゾーンの残留水位を決定することが重要なカギとなる。すなわち、ロック材料の透水係数は、出来る限り現地に近い状態でしかも正確に測定する必要があることになる。筆者らは、さうに粒状体に関する透水係数測定法の開発研究を進め、信頼度の高い実験公式を誘導できるよう努力してゆくつもりである。



第10図 $e \sim U$
(U をパラメーター)



第11図 $\epsilon \sim k$



第12図 透水係数の実験式の誘導