

大阪工業大学 正員 宮北敏夫
 “ “ 木原 敏
 “ “ 〇竹中勝信

まえがき

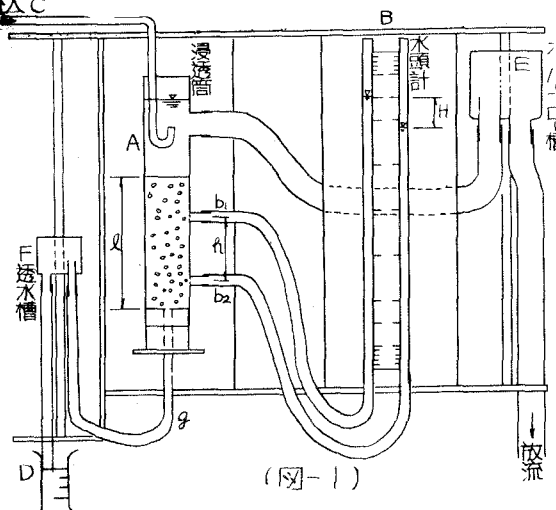
浸透係数についてはすでに種々の公式があるが、いずれも砂粒の混合度を考慮した式ではない。わずかにヘーズンが有効径と均等係数が砂の透水性に影響されると述べているにすぎない。しかし、実際には浸透係数に反ばす砂層の構成は、単に代表径や空隙率のみで代表されるものではなく砂粒径の異なる不均一な砂と均一な砂との間には、かなり差異が認められる。

そこで筆者は砂粒の混合度を考えに入れた式を作るために、あらかじめ用意した人工配合による砂粒を対象に単純充填層について実験を行った。実験に使用した砂の配合は対数正規分布型と考へ、均等係数 $1.0 \sim 2.0$ 、^{註1)} 浸透のレイノルズ数 ($\frac{vd}{\nu}$) $0.1 \sim 5.0$ の範囲 (v : 浸透速度) で行った。

装置および実験方法

砂を充填した円筒、すなわち浸透筒はプラスチック製で内径 54.5mm 、長さ 300mm で図1に示すように b_1 , b_2 より透水計にビニール管 [※]A C

パイプで連結し、又オーバーフロー槽並びに透水槽を設け、これらを上、下させる事によって透過流量を変化させた。流体は水道水を使用し、給水管より充填層の上部から下部に流し透水槽からメスシリンダーへ流過させた。砂は乾燥したもので、まず浸透筒に充填し、充填した砂と砂との間隙に空気が残らないように浸透筒の下部より徐々に水を流入せしめ、水を満した後、充填砂が浸透筒をたぐいても沈下しない程度に定着せしめ、その時の充填層の長さによって空隙率を求めた。



実験は最初充填層を上記のような状態にしてからオーバーフロー槽を一定とし、透水槽を上にあけて固定し、透過流量一定になったときに行い、透過槽を順次下げて行き、一試料につき5回以上透過流量を変化させた。水温はメスシリンダーに流出した水について測定した。実験した範囲では $7.6 \sim 18.5^\circ\text{C}$ であり透水計による水頭差は $2 \sim 138\text{mm}$ の範囲であった。又実験に使用した砂は河川中流のものであって表面は滑らかではあるが丸味はなく、その形は

註1) 均等係数は、一般に用いられる Hazen によるところの $\frac{d_{60}}{d_{10}}$ ではなく、 $\frac{d_{50}}{d_{10}}$ を用いた。

大體凸多面体のものが多く、扁平あるいは極端な棒状のものはなかった。

砂の篩分けに際しては、篩は 5.000^{mm} 、 4.000^{mm} 、 2.000^{mm} 、 1.190^{mm} 、 0.840^{mm} 、 0.590^{mm} 、 0.420^{mm} 、 0.297^{mm} 、 0.210^{mm} 、 0.149^{mm} の各篩目をもつもので、各篩によって篩分け、粒をそろえ、均等係数1.0~2.0の範囲の d_{10} 、 d_{50} の粒度加積曲線から充填砂の配合量を算出し化学天秤にて配合した。又粒度加積曲線図と式 $\frac{1}{ds} = \sum \frac{\Delta z}{ds^2}$ 、 $\Delta z = \Delta z_2 - \Delta z_1$ 、 $d_{12} = \sqrt{d_1 \times d_2}$ によって算出したものを代表寸法 ds^{mm} とした。尚、充填砂の比重は2.62を得て、これを一定値とした。

透水係数の理論的考察

砂の層、その他の粒体のまわりの層を流体が流れるときの抵抗は、次元解析を用いて計算すると次式で表わされる。 $h_e = \left(\frac{\rho}{g}\right) l V^{2-n} V^n D^{n-3} = k \left(\frac{V}{g}\right)^{n-2} \left(\frac{\rho}{g}\right) \left(\frac{V^2}{g}\right) \dots\dots\dots (1)$

但し、 h_e : 流体が層を通るときの損失水頭(cm)、 l : 充填層の長さ(cm)、 D : 充填層内の流路の代表寸法(cm)、 V : 空隙の平均流速(cm/sec)、 ν : 流体の動粘性係数(cm^2/sec)、 g : 重力の加速度(cm/sec^2)、 k 、 n は実験によって定まる無次元の係数である。そして指数 n は充填層内の流れが層流の状態においては $n=1.0$ となり、さらに $k \left(\frac{V}{g}\right)^{n-2}$ を Re 数 $R = \frac{VD}{\nu}$ の関数 $\psi(R)$ として表わすと(1)式は次のようになる。 $h_e = \psi \left(\frac{V}{g}\right) \left(\frac{\rho}{g}\right) \left(\frac{V^2}{g}\right) \dots\dots\dots (2)$

筆者は実験結果を基にして充填層の層流状態における $\psi - Re$ の関係を次のように定めた。

$$\psi = \frac{680}{Re} \quad Re < 5 \quad \text{この式を(2)式に代入すると}$$

$$h_e = \frac{680}{Re} \left(\frac{V^2}{g}\right) \left(\frac{\rho}{g}\right) = 680 \left(\frac{\nu}{g}\right) \left(\frac{V^2}{g}\right) \left(\frac{\rho}{g}\right) \dots\dots\dots (3)$$

なる。次に(3)式をDarcyの式に変形すると

$$\left. \begin{aligned} V &= \frac{2g}{680} \cdot \frac{VD}{\nu} \cdot \frac{\rho}{g} \cdot \frac{h_e}{V} \\ Q &= A \cdot V = A \cdot \frac{2g}{680} \cdot \frac{VD}{\nu} \cdot \frac{\rho}{g} \cdot \frac{h_e}{V} \\ k &= \frac{2g}{680} \cdot \frac{VD}{\nu} \cdot \frac{\rho}{g} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

そして V は充填層の流路の平均流速であるから、流量を充填円筒の横断面積で割った流速 v および空隙率 ϵ の関数である。Bakhmeteffの空隙率導入方法によれば $V = \frac{v}{\epsilon}$ であるといふ、(4)式の V のかわりに $\frac{v}{\epsilon}$ を代入して $k = \frac{2g}{680} \cdot Re \cdot \frac{\rho}{g} \dots\dots\dots (5)$

所で D は充填層内の流路の代表寸法であるから、空隙率 ϵ 、充填物の代表寸法 ds 、ならびに砂粒の形状、すなわち均等係数 γ の関数で表わされ则认为する。 $D = \gamma r^\alpha \lambda^\beta ds \dots\dots\dots (6)$

こゝにBakhmeteffの空隙率導入方法によれば $D = \lambda^\frac{1}{3} ds$ の関数にあると述べている。さらに筆者は実験から $\gamma - \lambda$ 、 $\lambda - ds$ の関数において $\alpha = 1$ とした。 γ については砂の種類が変化すると充填砂の流路形状係数 γ も異なる。そこでこの値を決めるために実験に用いた砂粒の ds と γ がいかなる範囲にあるかを考え、次のように定めた。

$$0.16^{\text{cm}} > ds > 0.10^{\text{cm}} \quad \gamma = 0.29 \sim 0.12, \quad 0.10^{\text{cm}} > ds > 0.04^{\text{cm}} \quad \gamma = 0.75 \sim 0.29$$

$$\text{すなわち(6)式は} \quad D = \gamma r \lambda^\frac{1}{3} ds \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{(7)式を(5)式に代入して} \quad k = \frac{2g}{680} \cdot Re \cdot \gamma r \lambda^\frac{1}{3} ds / v \left\{ \dots\dots\dots (8) \right.$$

$$\left. \begin{aligned} \text{こゝに} \quad Re &= ds \frac{v}{\nu} \\ \gamma &= 0.29 \sim 0.12 \quad (ds = 0.16 \sim 0.10^{\text{cm}}), \quad \gamma = 0.75 \sim 0.29 \quad (ds = 0.10 \sim 0.04^{\text{cm}}) \end{aligned} \right\}$$

となり、(8)は粒径の混合度を考慮した場合の浸透係数を示す。

以上において、これらについての総合判定については講演時に報告する。