

日本大学工学部 正員 安田 復輔

まえがき 砂層をはじめ、粒子の微粒な土の透水に関する研究は、透水係数と云うあいまいな要素をのこすが、Darcy 則を中心とした多くの研究がある。しかし砂利層など粗粒子層に関する研究は非常に少なく感ずる。

筆者は砂利層透水の研究を終局目的とするが、予備的研究として現象を単純化し均一球形粗粒子層を取り扱い、巨視的見地から一応この現象を大雑把に把握した。

砂層内の潤辺および径深を仮定し、定流における透水層内の微小区間の釣合の条件より抵抗係数 ζ の形を決定し、透水現象を規定する幾つかの関係因子を列記し、Buckingham の Π 定理、および少数の実験結果ではあるが、これらの結果とにより暫定的な実験式を求めた。

1. 実験装置 内径10cm、長さ210cmの塩化ビニールパイプに直径1.65cmのガラス玉を詰めたものを透水層本体とし、図のように25cm間隔にマンネーターを取り出した循環水路装置とした。

間隙率25.4%、 $Re = 400 \sim 4000$ の範囲の水平透水の実験を行なった。

2. 砂層内の潤辺 S および径深 R

d_m ; 代表粒径, e ; 間隙比

n ; 間隙率, A ; 透水体の全断面積

A_s ; 固体部分の平均断面積, A_v ; 間隙断面積, N ; 透水体全体の土粒子の個数

$\bar{A}_s$; 全土粒子表面積の合計

$$nA = A_v = A - A_s = A - \frac{1}{6} \frac{N\pi d_m^3}{\Delta S}, \quad \therefore N = \frac{6\Delta S}{\pi d_m^3} (1-n)A$$

$$S = \frac{\bar{A}_s}{\Delta S} = \frac{N\pi d_m^2}{\Delta S}, \quad \therefore S = \frac{6}{d_m} (1-n)A = \frac{6A}{d_m(1+e)}$$

径深 R は
$$R = \frac{A_v}{S} = \frac{d_m}{6} \frac{n}{1-n} = \frac{1}{6} e d_m$$

3. 抵抗係数 ζ 透水層抵抗 τ を $\tau = \zeta \frac{\rho v^2}{2}$ と仮定し、透水方向 ΔS 区間の釣合の条件より、透水における抵抗係数 ζ の一般式が求まる。ただし潤辺としては上記のものを採用した。

$$\zeta = \frac{e}{6} \cdot \frac{2g d_m}{v^2} i = \frac{e}{6} \cdot \frac{2g d_m \Delta h}{v^2 \Delta S} = \frac{e}{3} \cdot \frac{1}{F_r^2} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta S}$$

この抵抗係数は土の透水において用いられてゐる抵抗係数 $\frac{2g d_m \Delta h}{v^2 \Delta S}$ に $\frac{e}{6}$ を掛けたものに等しい形になってゐる。

4. 理論的考察 透水現象を規定する要素としては次のような要素が考えられる。

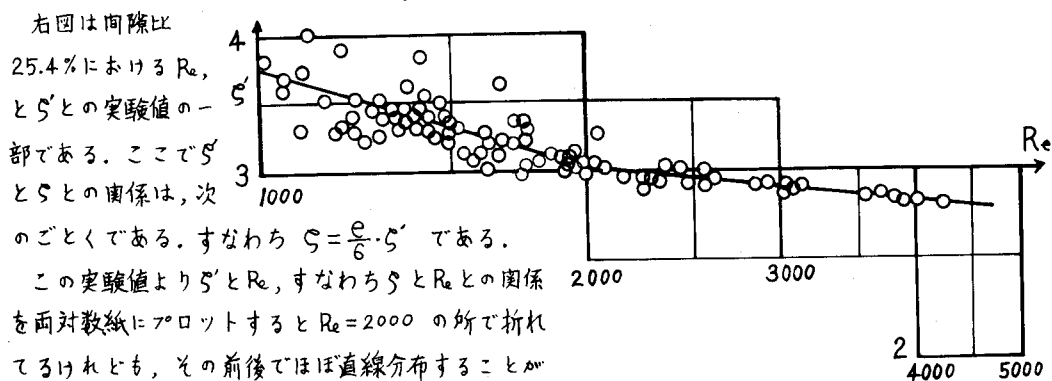
v ; 浸透流速, Δp ; 圧力差, ΔS ; 透水層厚, d_m ; 砂粒の代表粒徑
 μ ; 水の粘性係数, g ; 重力の加速度, ρ ; 水の密度, e ; 間隙比
 C_R ; 粒子の形状係数, t ; 水温, γ_R ; 粒度係数, etc.

今回の実験においては均一球形粒子について行なったので C_R, γ_R 等をのぞいて, これらの要素の關係式を $f(v, \Delta p, \Delta S, d_m, \mu, g, \rho) = 0$ とおき, これを無次元化すると

$$\phi\left(\frac{g \cdot \Delta R}{v^2}, \frac{\Delta S}{d_m}, \frac{v d_m}{\nu}, \frac{g d_m}{v^2}\right) = 0$$

$$\text{ここで } \frac{g \cdot \Delta R}{v^2} = \frac{e}{6} \cdot \frac{2g d_m \Delta R}{v^2 \Delta S} \stackrel{\times \frac{3 \Delta S}{e d_m}}{=} \zeta \cdot \frac{3}{e} \frac{\Delta S}{d_m}, \quad \therefore \zeta = \frac{e d_m}{\Delta S} \phi_2\left(\frac{v d_m}{\nu}, \frac{\Delta S}{d_m}, \frac{v^2}{g d_m}\right)$$

$$\text{また } Re = v d_m / \nu, \quad Fr = v / \sqrt{g d_m} \text{ であるから } \zeta = \frac{e d_m}{\Delta S} \phi_3(Re, Fr, \Delta S / d_m)$$



この実験値より ζ' と Re , すなわち ζ と Re との關係を両対数紙にプロットすると $Re = 2000$ の所で折れてるけれども, その前後ではほぼ直線分布することから

分る。また勾配は 45° でないので Darcy 則に従わない。

以上のことからにより $\zeta \propto Re^{-m}$ となり, 抵抗係数 ζ は次式の形に書き表わせる。

$$\zeta = Re^{-m} \cdot \frac{e d_m}{\Delta S} \phi_4\left(Fr, \frac{\Delta S}{d_m}\right) \quad \text{と} \quad \zeta = \frac{e}{6} \cdot \frac{2g d_m}{v^2} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta S}$$

$$\text{より } v = \left(\frac{2g}{3\phi}\right)^{\frac{1}{2-m}} \left(\frac{6}{\nu e}\right)^{\frac{m}{2-m}} \cdot R^{\frac{1+m}{2-m}} i^{\frac{1}{2-m}} = \left(\frac{2g}{3\phi}\right)^{\frac{1}{2-m}} \cdot \frac{e g}{3\phi \nu^m} \cdot d_m^{\frac{1+m}{2-m}} i^{\frac{1}{2-m}}$$

$$m=1 \text{ の場合は } v = \frac{e g}{3\phi \nu} \cdot d_m^2 \cdot i \quad \text{となり Darcy 則となる。ただし } \phi = \frac{e d_m}{\Delta S} \phi_4\left(Fr, \frac{\Delta S}{d_m}\right)$$

$$\text{ここで } C = \left(\frac{2g}{3\phi}\right)^{\frac{1}{2-m}} \left(\frac{6}{\nu e}\right)^{\frac{m}{2-m}}, \quad n = \frac{1+m}{2-m}, \quad m' = \frac{1}{2-m} \quad \text{とおけば}$$

$$v = C R^n i^{m'} \quad \text{となり浸透流速 } v \text{ は指数形流速公式となる。}$$

5. むすび i) Darcy 則には従わない。 ii) $\zeta = Re^{-m} b$ と表わせる。

iii) Re がある値の所で m, b は変化する。 iv) b は $e d_m / \Delta S, Fr, \Delta S / d_m$ の関数となる。

v) m は d_m, e などの関数と予想され Re のある値の前後で変化する。 vi) v は指数形に表わせる。

だいたい以上のようなことが分ったが, $Re-\zeta$ 折線の折衷, ϕ 関数の関数形の決定, m 値と d_m, e との關係, Darcy 則から $\zeta = Re^{-m} \phi$ 則への変遷の状況など, まだ未解決の問題が山積してゐる。

以上