

神戸大学大学院 学生会員 山崎平弥
神戸大学工学部 正会員 篁源亮

1. まえがき

透水層の流れ特性については、層流領域ではダルシーの法則がある。一方、乱流領域の流れ特性を表わす法則は、Dupuit-Forschheimerの式など非線形法則で表示されているが、まだ普遍性のあるものが確立されていない。ここでは視点を新たにして、物体の抗力と透水層固相の受ける流体力とを結びつけた考察により、巨大粒径透水層等における乱流領域の流れ特性を明らかにすることを試みた。

2. 抵抗係数 ζ 、抗力係数 C_D および透水係数 k

定常流の場合、透水層内の流体力の釣り合い関係より、 $(\delta = 2d, Re = \frac{U_R d}{\nu})$ と表わされ、これを(3)式に代入す(1)式と得る。また透水層内の固相の1個の粒子に働く抗力と、(6)式と得る。

力加は(2)式で表わされる。

$$-\frac{\partial R}{\partial l} - \frac{F_R}{\rho g E d A dl} = 0 \quad (1)$$

$$f_p = \lambda C_D \beta d^2 \left(\frac{\rho U_R^2}{2} \right) \quad (2)$$

ここに $-\frac{\partial R}{\partial l}$:動水勾配, dA :透水断面, dl :透水長, F_R :土粒子による抵抗力, E :空隙率, λ :隣接する粒子からの影響を表わす係数, β :粒子の形状係数, d :粒子径, U_R :実流速である。 F_R は透水層が N 個の粒子から構成されているとして、 $F_R = N f_p$ と表わされる。 $N = \frac{(1-E)dA dl}{\pi d^3}$ として、(1)、(2)式より(3)式を得る。

$$\frac{\partial R}{\partial l} = - \frac{\lambda (1-E) \beta C_D}{d^2 r E^3} \frac{1}{d} \frac{U^2}{2g} \quad (3)$$

ここに α :流水面積の補正係数($\alpha = d E U_R$), r :粒子の形状係数, U :見掛けの流速である。よって抵抗係数 ζ は(4)式が示すように抗力係数 C_D を用いて表現できる。

$$\zeta = \frac{\lambda (1-E) \beta C_D}{d^2 r E^3} \quad (4)$$

透水層固相の粒子を球と仮定すると、簡単に C_D は求められ、 $\beta = \pi/4$, $r = \pi/6$ となり、 $\alpha = 1$ とおく。このようにすると、(4)式は λ と E のみをパラメータとして ζ と C_D の関係は(5)式のように表現できる。

$$\zeta = \frac{3}{2} \lambda \frac{1-E}{E^3} C_D \quad (5)$$

補正係数 λ は従って、実粒子と球との形状の相異および透水層が多数粒子から構成される影響の両方を含む係数となる。

流れが層流の場合を考えると、抗力係数 C_D は $C_D = \frac{8}{Re}$ なってくる。今回の巨

$$U = - \frac{2 \alpha r E^2}{\lambda (1-E) \beta \delta} d^2 \frac{\rho g}{\mu} \frac{\partial R}{\partial l} \quad (6)$$

従って、ダルシーの透水係数 k は(7)式のように表示できる。

$$k = \frac{2 \alpha r E^2}{\lambda (1-E) \beta \delta} d^2 \quad (7)$$

層流では、 λ の特性として粒子の形状による影響は受けないが、隣接する粒子からの影響を受けて変化する。

層流によると沈降粒子に隣接する壁間の距離 S の影響は $\lambda = \frac{3\pi\sqrt{2}}{8} (1-d/S)^{-5/2}$ で与えられ、 $1-d/S \approx E$ 故、(5)式と同様の仮定を行うと(8)式となり、 $E=0.37$ の場合は $\lambda=20$, $k=(6.03 \times 10^{-4}) d^2$ となり Hurlermanの結果 $k=(6.54 \times 10^{-4}) d^2$ とほぼ一致する。

$$k = \frac{1}{30} \frac{E^{4.5}}{1-E} d^2 \quad (8)$$

ゆえに、層流では透水試験を行わずとも、透水係数 k は粒子径 d と空隙率 E のみで決定できる。

ここでは、遷移・乱流領域における(5)式の ζ と C_D の関係、また補正係数 λ の特性について実験を行ない考察する。

3. 実験方法および実験装置

透水層における流れの状態を実験を行って求める場合に、透水層を構成する 表-1 実験固相材

代表粒径 d (cm)	空隙率 E
4.5	0.435
20.0	0.388
25.0	0.341

固相・液相の状態が一様性有しないと、その透水方向によって異

大粒径の透水試験においても、このことを考え鉛直方向、水平方向の二つの透水試験装置を用意して、各々の方向の透水試験を行なった。

鉛直方向透水試験は透水断面 $90\text{cm} \times 60\text{cm}$ 、最大透水長 135cm の鋼製タンクを用い、透水層厚 5cm に流量を変化させて、損失水頭を測定した。

水平方向透水試験は、幅 144cm 、最大透水試験長 20m の水平開水路を用い、透水層の長さおよび流量を変化させて、透水層前後の水位差を水準測量することにより、損失水頭を測定した。

透水層の固相材は現場で使用される捨石材そのものを用いた。その種類は表-1に示す種類である。

4. 実験結果と考察

図-1は透水層内の見掛けの流速 v を用いたレイノルズ数 $Re = v d / \nu$ と抵抗係数 λ の関係を示す。これより入試験透水層の流れは遷移領域ないし、乱流領域にあることがわかる。

次に $v = \alpha E \sqrt{k}$ ($\alpha = 1$ とする) より実流速 v を用いたレイノルズ数 $Re = v d / \nu$ より球の抗力係数 C_D を求め、さらに(5)式の関係より λ の値を求める。 λ とレイノルズ数 Re の関係を図-2に示す。これより補正係数 λ はレイノルズ数の増加と共に増加し、遷移領域で最大となりその後減少する。層流から遷移領域にいたる間の λ の増加は、透水層固相粒子の形状による影響と考えられる。また遷移領域以上のレイノルズ数において、係数 λ の値が減少しているのは、透水層が多数の固相粒子から構成されていることによる抗力係数 C_D への影響と考えられる。図-2より $\lambda \sim Re$ 曲線を実験的に求め、この λ を用いて抵抗係数 λ と透水層固相粒子の抗力係数 C_D との関係を求めてみると図-3のようになる。

これより λ と λC_D は(5)式に示すように比例関係が成立することがわかる。値のばらつきは空隙率 E が異なっているため生じたものと思われる。

このように(5)式と実験値の関係を定性的には説明できるが、定量的なことについては研究例も少なく、まだ充分ではないと思われる。

5. あとがき

本研究において、透水層の抵抗と球の抗力現象を結び λC_D とつけることができたことは、このような巨大粒径からなる透水層の特性を明らかにする手がかりを得たものと思われる。

今後より一層補正係数 λ の特性を明確にすることができれば、例えば透水性の海岸ブロックの透水等を一々試験を行なわずとも、それらの流れを明確にすることができると考えられる。

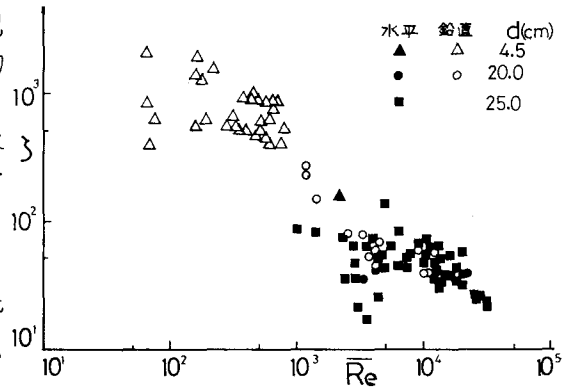


図-1 λ と Re の関係

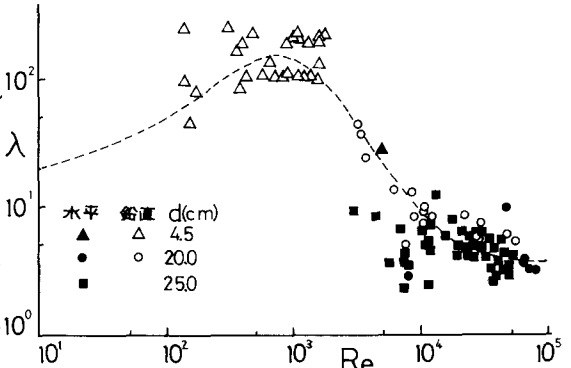


図-2 λ と Re の関係

このように(5)式と実験値の関係を定性的には説明できるが、定量的なことについては研究例も少なく、まだ充分ではないと思われる。

このように(5)式と実験値の関係を定性的には説明できるが、定量的なことについては研究例も少なく、まだ充分ではないと思われる。

このように(5)式と実験値の関係を定性的には説明できるが、定量的なことについては研究例も少なく、まだ充分ではないと思われる。

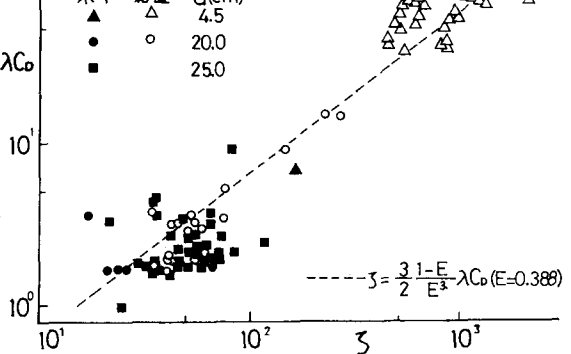


図-3 λC_D と λ の関係