

建設省土木研究所

正員

富永正照

正員

○坂本忠孝

1. はじめに、透水体の透水性は通常透水係数で表示されている。しかし、透水係数の概念の適用は低いレイルス数の範囲に限られ、礫のような透水性の大きいものへの適用、あるいは乱流域での適用は困難であり、透水性を統一的には表示していない。又透水係数と粒径、粒度分布、間隙率等の諸要因との関係を明らかにした研究も少ない。そこで透水体の間隙内の流れを、間隙を連続させた仮想的な流管内の流れとして取り扱い、透水性を示す指標として、管路の抵抗係数の概念を採用した。仮想流管の大きさは、粒径、粒度分布、間隙率より求まる平均の間隙の大きさとして求めた。このようにして、上述の諸要因との関係を求め、礫を中心に、主として乱流域に於ける透水性に関する実験を行なった結果について報告する。

2. 考察 2-1. 抵抗係数について、透水体を次のようにモデル化して考える。

- (a). 透水体の構成粒径は均一粒径であって、粒径 d [cm] とする。
- (b). 構成各粒は球形と見なされるものとする。
- (c). 各粒は等方的に詰め込まれているものとし、間隙率を P とする。
- (d). 毛細管現象、吸着水現象等は無視する。

以上の仮定に従って、間隙の平均の大きさを求めて見る。(a)~(c)の仮定より縦 a 、横 a の $a \times a$ 断面に於いて、期待できる球の切断個数 n は(1)式で与えられ、切断面に於ける間隙の総断面積 S は(2)式で与えられる。

$$n = a^2(1-P) / \left(\frac{\pi}{6} d^2 \right) \dots \dots \dots (1)$$

$$S = a^2 P \dots \dots \dots (2)$$

球の切断個数 n と間隙の数 N とは、比例関係にあるものと仮定し、間隙の平均の大きさより、間隙の平均径深 R_p を求めて見ると(3)式となる。

$$R_p = \frac{Pd}{1-P} / \left(6\sqrt{\frac{2}{3}} \right) \dots \dots \dots (3)$$

透水体の抵抗係数 ξ を(4)式、一般の管路の抵抗係数 ξ_f を(5)式のように定義する。

$$\Delta h = \xi \frac{L}{d} \frac{U^2}{2g} \dots \dots \dots (4)$$

$$\Delta h = \xi_f \frac{L}{dR} \frac{U^2}{2g} \dots \dots \dots (5)$$

Δh = 損失水頭 L = 水路長
 R = 径 深 U = 断面平均流速

R_p を R と見て、(5)式に代入し、このような間隙 N 個あることを考慮し、(4)式と比較する。さらに ξ_f がレイルス数の関数であることを考えると(6)式が得られる。

$$\frac{P^3}{1-P} \xi - \frac{P^3}{1-P} \frac{2gd}{U^2} \frac{\Delta h}{L} = f(Re) \dots \dots \dots (6)$$

透水流に関する Re 数は通常断面平均流速 U と粒径 d による $Re = \frac{U \cdot d}{\nu} \dots \dots \dots (7)$ 式によっているがこの物理的根拠は必ずしも明確でない。 ξ に関すると考えられる Re 数は流管(間隙)内の流速と流管の大きさを代表する長さによる Re 数であり、これをつくると(8)式のような表示となり、間隙率を考慮しなければならぬことがわかる。

$$Re = \frac{1}{1-P} \cdot \frac{U \cdot d}{\nu} \dots \dots \dots (8)$$

以上の考察により、透水性は(6)式と(8)式の関係により統一的に表現できるはずである。なお、低い Re 数の範囲に限れば、透水係数 k_f は(9)式で表わされることになる。

$$k_f < \frac{Pg}{\mu} \cdot \frac{P^3}{(1-P)^2} d^2 \dots \dots \dots (9)$$

この式は Kozeny - Carman の式、あるいは Fair - Hatch の式と一致する。

2-2, 粒度分布がある場合の代表径の決め方について。以上述べた水泳か均一の粒径よりなる場合を考慮した。粒度分布がある場合には、代表径として何をとれば良いであろうか。Hagen の提案した10%有効径 d_{10} か有名であるか d_{10} それ自身には意味がなく、「透水性を規制するものは重量分布の中央径 d_{50} よりむしろ小さい粒径である」ことを便宜的に示しているにすぎない。粒径 d_i の全体に占める重量比を W_i とすると、(1)式に対応するのは(10)式となり、以下同様の考え方により粒径 $\bar{d}$ を(11)式のようにとれば、均一粒径の場合と同様の考察ができることになる。 $\bar{d}$ を等価直径と名付ける。

$$n = \bar{d}^2 (1-P) \sum \left(\frac{W_i}{\bar{d}_i^2} \right) \dots \dots (10)$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\sum \left(\frac{W_i}{\bar{d}_i^2} \right)} \dots \dots (11)$$

①, 実験 実験施設の主要部分を図-1に示す通りで、本体はコンクリート水路である。透水供試体部分は長さ $l=2.0m$, 幅 $B=1.5m$, 高さ $H=1.0m$ である。計量した試料を詰め込んだ後、試料おさえを来せ、閉水路として実験した。測定事項は流量、水位差、透水体内15点の水圧、試料の比重、空隙率、水温、試料の大きさである。

試料の大きさは、任意に抽出した50個の試料の重量および寸法より求めた。実験ケースは表-1の通りである。

②, 実験結果とその検討。図-2は(4)式で定義される抵抗係数 ξ と(7)式による Re 数との関係を見らるのである。 ξ は Re 数と空隙率 P との両方の関数であることがわかり、空隙率の大きいほど抵抗係数の小さくなることかわかる。

図-3は(6)式の空隙率を考慮した抵抗係数を(8)式の空隙率を考慮した Re 数との関係を見らるのである。碎石と玉砂利では、表面状態の相違により、透水性が異なることかわかる。碎石については、実験結果はほぼ一つの曲線にまよる。考察の妥当性を示しているのと思われるので、(6)式と(8)式の関係は一般的な粉状体の透水性に適用できるのと考えられる。碎石について実験式を作れば(12)式となる。

$$\frac{P^3}{1-P} \xi = \frac{757}{Re} + \frac{393}{\sqrt{Re}} + 4.0 \dots (12) \quad \text{ただし } 10 \leq Re = \frac{1}{1-P} \frac{U \bar{d}}{\nu} \leq 1.6 \times 10^4$$

粗石による締切堤、高潮防潮堤の捨石部分の透水計算など、乱流状態と考えられる範囲の透水量計算などに利用できる。

表-1 実験ケース一覧表

実験番号	粒径(公称)	等価直径 $\bar{d}$ (mm)	流量 Q	上下流の水位差 Δh (mm)	空隙率 P
N0.1	2号碎石 $d_{10} \sim 6.0$	4.90	2.60-127.5	0.02-41.34	0.465
N0.2	100mm碎石	1.093	4.40-150.4	0.02-26.30	0.445
N0.3	碎石混合粒径 $d_{50}=12.0, d_{10}=3.0$ 1号40-80 60%	8.77	2.82-124.0	0.02-41.74	0.383
N0.4	5号10-20 40%	2.30	1.20-38.0	0.37-43.25	0.320
N0.5	2号40-60 70%	4.36	2.00-110.0	0.05-40.08	0.433
N0.6	40mm玉砂利	4.13	2.90-90.0	0.02-41.54	0.361
N0.7	混合粒径 $d_{50}=10, d_{10}=3.1$	0.581	小型水路による実験		0.380
N0.8	混合粒径 $d_{50}=10, d_{10}=2.6$	0.288			0.544

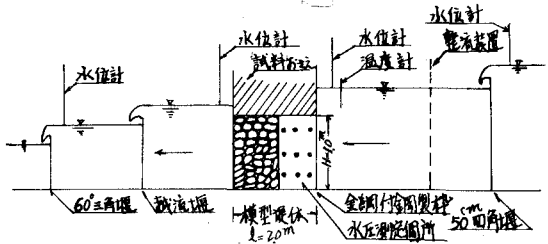


図-1 実験装置略図

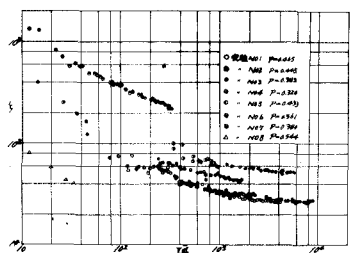


図-2

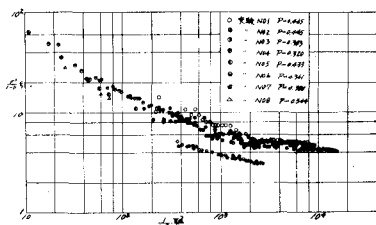


図-3