

フジタ工業技術研究所

正員

鎌田正孝

" "

正員

石井武美

" "

正員

○宮地正光

1. まえがき 粗粒材の透水性は水の流れる状態が動水傾度によって層流域から乱流域に及ぶため、ダルシーの法則が適用されず、土の透水試験における透水係数表示で透水性を表わせない。一般にダルシーの法則の適用限界はレイノルズ数 $Re$ で表わされているが、レイノルズ数 $Re$ は粒子の間ゲキの大きさ、すなわち、粒子の粒径によって変化する。今回の様に粒径範囲の広い粗粒子の場合には、その代表粒径のとり方が問題となる。しかしながら、粗粒子の代表粒径に関する研究は少なく、富永<sup>1)</sup>が代表粒径として等価直径( $\bar{D}$ )を提案している他は、ほとんどがHazenの10%粒径( $D_{10}$ )を代表粒径としている。また、粗粒子層の透水性に関しては、安田・藤田<sup>2)</sup>が層流域と乱流域の間にさうに2つの領域を実験的に認め、粗粒材の透水現象の四領域分類法を提唱している。

この報告は、ロックフィルダム材料の透水性を試験するために製作した大型透水試験機を用いて粗粒材の透水試験を行なった結果、代表粒径のとり方、安田らの透水現象の四領域分類法について検討したものである。

2. 試験機の概要 試料を充填するモールドは内径74.0 cm, 高さ100.0 cmの鋼製モールドであり、透水底盤の孔径は0.5 cm, その空ゲキ対全断面比は0.35である。水槽は縦150 cm, 横150 cm, 高さ150 cmの容器である。試料の締固めは、直径73 cmの振動板と回転数1450 rpmの振動モーター1台をもつ特製の振動締固め機で、総重量120 kgである。

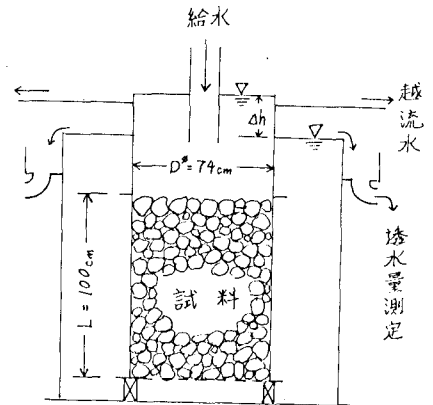


図-1 透水試験装置略図

3. 試験方法 試験は図-1に示す装置構成で定水位法で行なつた。試験条件は、乾燥密度( $\gamma_d$ )約1.7 g/cm<sup>3</sup>まで試料を締固めたもの(D)と、全く締固めないもの(L)の2種類の密度条件、および、粒径100~5 mmまでの試料(A)と粒径100~2 mmまでの試料(B)の2種類の粒度条件、すなわち、計4組の試験条件を選んだ。試験条件と試料の性質は表-1に示すとおりである。用いた試料はチャートであり、見掛け比重

表-1 試験条件一覧表

2.6, 間ゲキ率0.1%, 圧縮強度1000 kg/cm<sup>2</sup>の硬質緻密な岩石で、数mm~数cmの間隔で節理を有する。

#### 4. 試験結果および考察

##### 4-1. 動水傾度*i*と浸透流速*v*との関係;

粒子の間ゲキ率を考慮した浸透流速*v*と動水傾度

*i*の測定値を両対数関係で表わしたのが図-2である。この図より、間ゲキ比・粒度が一定のもとで、両者の間に直線関係が見られた。いま、*i*と*v*との関係を直線の傾きの係数*m'*を用いて式表示すると、

$$\log v = m' \log i + C \quad (1)$$

となる。(1)式は*m'*=1.0の時、ダルシーの法則を表わすことになる。図-2より各試験の傾き*m'*を求めると、A-Dで0.624、B-Lで0.817、B-Dで0.917となり、今回の試験はすべて乱流域であったと考えられる。

4-2. 粒径範囲の広い粗粒子の代表粒径について; 粒径の均一な砂では、Hazenの有効径( $D_{10}$ )で透水係数の算出ができると、一般に知られているが、粒径範囲の広い粗粒子の場合には、代表粒径に関する研究が少

なく、富永が均一球形粒子の切断個数の式に対応させて求めた等価直径 $\bar{D}$ が注目される。富永の等価直径 $\bar{D}$ はフルイ径 $d_i$ 上の試料が全体試料中に占める割合を $w_i$ とすることにより、

$$\bar{D} = \left[ \frac{1}{\sum \frac{w_i}{d_i^2}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

として表わしているが、今回の検討では、粒径加積曲線を10%ごとの加積率に対応する粒径 $d_i$ にもとづき等価直径 $\bar{D}$ を算出した。表-1にHazenの有効径 $D_{10}$ と等価直径 $\bar{D}$ を示した。両者を比較すると、等価直径 $\bar{D}$ が有効径 $D_{10}$ より大きく表わされた。

#### 4-3. レイノルズ数 $Re$ と抵抗係数 $\zeta$ との関係

均一球形粒子を管路に詰めした場合、抵抗係数 $\zeta$ 、および、レイノルズ数 $Re$ は次の式で表わされる。

$$\zeta = \frac{e}{6} \cdot \frac{2g \cdot d_m}{v^2} \cdot i' \quad (3)$$

$$Re = \frac{v \cdot d_m}{\nu} \quad (4)$$

ここで、 $d_m$ は粒子の直径、 $g$ は重力加速度、 $v$ は浸透流速、 $\nu$ は水の粘性係数である。この粒子直径を代表粒径に置き換えて抵抗係数 $\zeta$ 、レイノルズ数 $Re$ を求め、両対数にプロットしたのが図-3であり、両者の間に部分的ではあるが直線関係がみとめられる。安田はこの直線関係が均一粒径の場合、 $Re = 20, 200, 2000$ の3点を屈折点として、各区間の浸透流速 $v$ と動水傾度 $i'$ は一定の傾き $m'$ を持つ、としている。この安田の考察と今回の試験結果を比較して表-2に示した。これによると、<sup>条件</sup>B-L、<sup>条件</sup>A-Dはそれぞれ安田の層流・乱流に對比されるが、<sup>条件</sup>B-Dは層流域と層流域の中間の値を得たことから、 $m'$ が流れの状態によつて決まる一定の値をとるとする安田の考察に反し、層流域に近いところで条件によつては断片的に変化する場合もあると思われる。屈折点の生ずるレイノルズ数 $Re$ を安田の均一粒径の場合と今回の試験結果を比較した場合、等価直径 $\bar{D}$ で求めた $Re$ が安田の考察に近い値を得たことから、粗粒子の代表粒径はHazenの10%有効径 $D_{10}$ より比較的大きな粒径で表わされると考えられる。

5. ちすび 粗粒材の透水性は乱流域に及ぶため、間ゲキ比・粒度・浸透水の影響ばかりでなく、粒子の形状・材質にも影響を受けることが当然考えられる。今回は透水性の傾向について検討したが、今後これらの関係について検討したいと考えている。この研究にあたって、当研究所の藤原・岩橋・酒見の各位に御協力をいただいたことを感謝する。

#### 参考文献

- 1) 富永正照・坂本孝彦：礫の透水性について 土木学会第23回年次学術講演会概要 第Ⅱ部 昭和39年
- 2) 安田慎輔・藤原龍之：粗粒子層の透水性に関する研究(第1~7報) 土木学会第26~28回年次学術講演会概要 第Ⅱ部 昭和46~48年

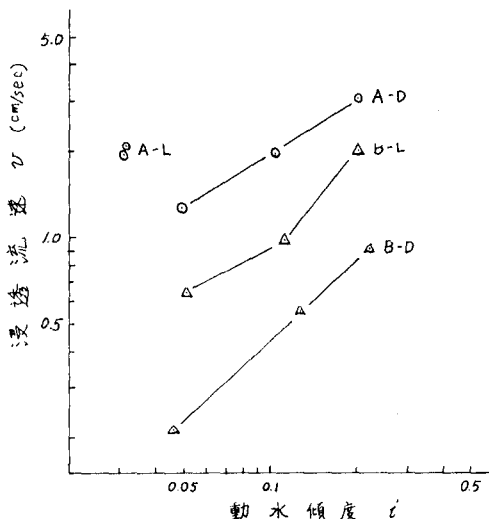


図-2 動水傾度 ~ 浸透流速

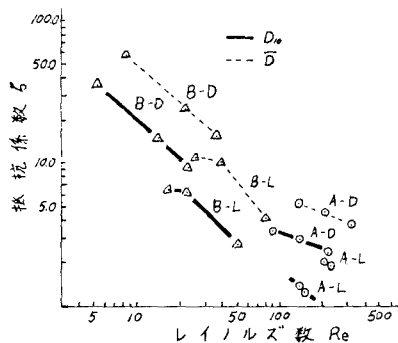


図-3 レイノルズ数 ~ 抵抗係数

表-2 試験結果と安田の考察との比較

| 安田の考察(均一粒径) |          |      | 試験結果 |                   |       |
|-------------|----------|------|------|-------------------|-------|
| 流れの状態       | $Re$     | $m'$ | 条件   | $Re^{(注)}$        | $m'$  |
| 層流域         | 20以下     | 1.0  | B-D  | 5~22<br>8~36      | 0.915 |
| 層流域         | 20~200   | 0.8  | B-L  | 16~50<br>26~80    | 0.817 |
| 乱流域         | 200~2000 | 0.6  | A-D  | 88~210<br>130~320 | 0.629 |
| 乱流域         | 2000以上   | 0.4  | A-L  |                   |       |

(注) 上段は $D_{10}$ により、下段は $\bar{D}$ により求めた数値