

神戸大学工学部 正 員 神 田 徹
日立造船(株) 正 員 〇土 井 和 吉

1. まえがき

開水路流れにおいて水路床粗度による抵抗特性を明らかにするためには、従来流速分布の測定や等流状態の水面勾配(水路床勾配)から床面せん断力を間接的に求めることが多い。しかしながら、粗度要素の高さに比べて水深が十分に大きくない流れでは流速分布の対数則は成り立たず、また得られるせん断力は個々の粗度要素に作用する抗力と床面摩擦力の合力であって、両者の割合は不明である。本研究では、せん断力計を用いて滑面および粗面に作用するせん断力を直接測定し、抗力と底面摩擦力の分離を試み、その特性をしらべた。

2. 実験水路および粗度要素の配列

水路床に図-1のような配列(配列-1は千鳥型, 配列-2は整列型)で直径 12.4mm のガラス球を付着し、流れが等流状態とみなせる断面で床面せん断力、水深などを測定した。図のような配列の場合のshear plate(8×8cm²)に作用するせん断力とshear plate上の粗度球のみを取り除いた場合のせん断力を測定し、両者から粗度球1個に作用する抗力と床面摩擦力を求めた。図においてCは粗度密度を示す。¹⁾

3. 滑面のせん断力と水路幅の影響

等流状態に対しては、床面せん断力は(1)式で、また近似的には(2)式で与えられる。

$$\tau = wRS \quad (1) \quad \tau = whS \quad (2)$$

ここに、 $w = \rho g$, R : 径深, h : 水深, S : 勾配

実測の τ と(1)式および(2)式の右辺の値との比を水路幅との関係で示せば図-2のようである(B : 水路幅)。プレストン管によりせん断力を測った他の研究者の結果^{2), 3)}も併示している。本実験では、 $B/h > 60$ では流れは層流で、 $B/h < 35$ では乱流である。図より、 B/h が10程度以下であれば(2)式でせん断力を求めると過大な値となり、 $B/h > 20$ であればこの式ではほぼ近似できる。これに対して以下に述べる粗面の場合は、径深 R が

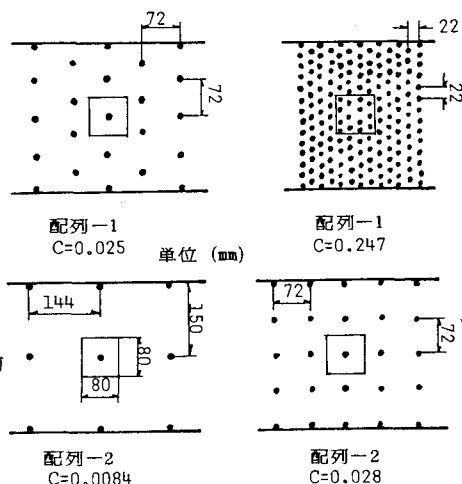


図-1 粗度要素の配列

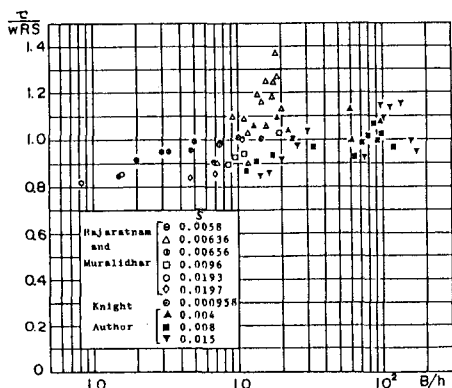


図-2(a) $\tau/(wRS) \sim B/h$

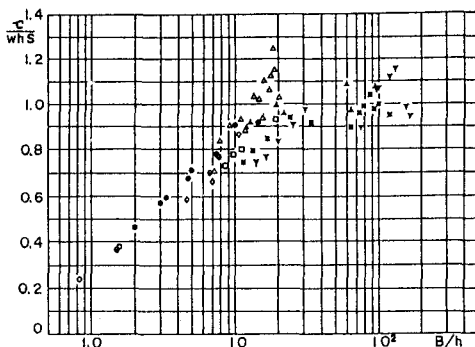


図-2(b) $\tau/(whS) \sim B/h$

算定しにくいので (1) 式の代りに (2) 式を用いたいのであるが、 B/h が大きくなれば (浅い流れ) $\tau/(whs)$ は 1 よりかなり小さい値となるのが大きな相異であり、よってせん断力の厳密な値が間接的には容易に求まらないのである。

4. 粗面のせん断力と抵抗係数

図-1 のような粗面に作用するせん断力 τ は、粗度球のまわりの床面に働く摩擦力 τ_s と粗度球の形状抵抗 (抗力) によるもの τ_r との和である。

$$\tau = \tau_s + \tau_r \quad (3)$$

上式の τ_r は粗度球の抗力 F 、粗度密度 C 、球の床面への投影面積 Ar によって次式で与えられる。

$$\tau_r = CF/Ar \quad (4)$$

τ_r/τ の実測値と相対水深 h/d (d : 粗度球の直径) の関係を図-3 に示す。 h/d の増加とともに τ_s/τ は急減し、 h/d が 1 以上になればほぼ一定の値になる。 $C=0.025, 0.028$ で $\tau_s/\tau=0.1\sim 0.3$ であり、 C がさらに大きくなれば、他の研究結果; $C=0.05$ で $\tau_s/\tau \approx 0.1$, $C=0.2$ で $\tau_s/\tau \approx 0$ に近づくと考えられる。

いま、(3) 式を書きかえると

$$(1/8)f\rho U^2 = (1/8)f_s\rho U^2 + \tau_r$$

上式の抵抗係数 f 、摩擦係数 f_s 、および球の抗力に関する係数 $f_r = f - f_s$ とレイノルズ数との関係を図-4 に示す。Darcy-Weisbach の定義式によって流量と水深から $f' = 8gsh^3/q^3$ で求めた抵抗係数 f' と図の f の値を比べると $f' > f$ である (前述の 3. 参照)。これは、 f' が実測値の f と等しくなるためには、粗度密度が大きく浅い流れでは、水深の基準面を適当な高さにとらねばならぬことを意味している。

床面摩擦係数 f_s だけをとり出して示せば図-5 のようである。 f_s は、全床面が滑面の場合のように層流から乱流への遷移によって値が急激に変化することはなく、 Re の増加とともに徐々に減少する。

しかし、いずれの粗度密度 C でも乱流領域では Blasius の式に近い値をとっており、つまり粗度要素の存在がその間の床面の摩擦にそれほど大きな影響を及ぼさないことを示している。したがって、粗度密度の値が小さい領域では、粗度密度の変化による抵抗係数 f の変化はほぼ抗力の変化に依存すると考えてよい。

参考文献

- 1) 神田 徹・土井和吉: 粗面開水路における浅い流れの抵抗則, 第25回水理講演会論文集, 1981.
- 2) Rajaratnam, N. and D. Muralidhar: Boundary Shear Stress Distribution in Rectangular Open Channels, La Houille Blanche, 1969.
- 3) Knight, D.W.: Boundary Shear in Smooth and Rough Channels, ASCE, 1981.

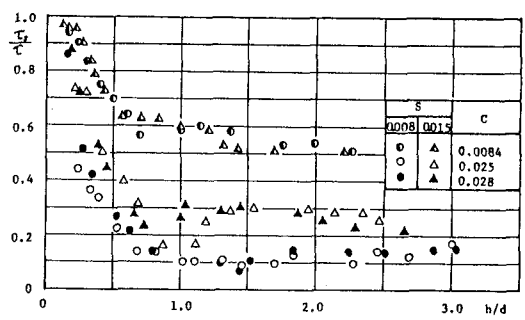


図-3 $\tau_s/\tau \sim h/d$

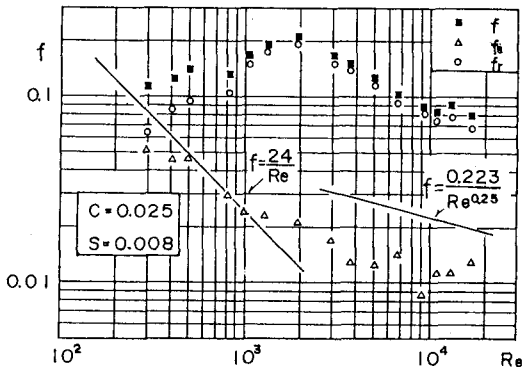


図-4 $f, f_s, f_r \sim Re$

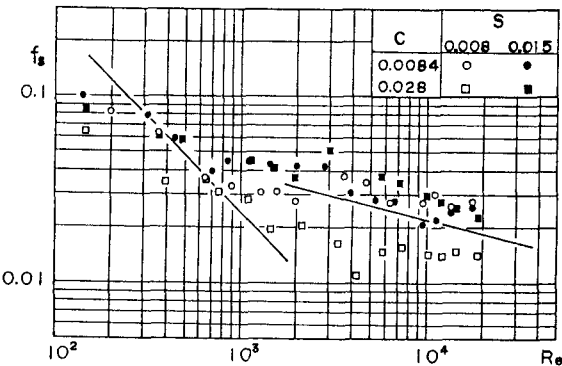


図-5 床面摩擦係数 f_s