

神戸大学工学部 正 員 神田 徹
鉄建建設K.K 正 員 喜久里政宏
神戸大学大学院 学生員 伊藤昭一郎

1. まえがき

薄層流の抵抗則に関しては、種々の水路床粗度に対する実験結果が報告され、抵抗則の統一的な表現が検討されつつある。本研究は、水深方向の流速分布に注目し、流速分布形から算出される抵抗係数と実測の抵抗係数との比較を行ったものである。実験装置、実験条件、実験方法は既報¹⁾と同様であり、粗度要素として3種類の粒径、 $d=1.12, 4.2, 12.4\text{mm}$ のガラス球を用いた。

2. 流速分布

3種の粒径について表-1の実験諸元に対して流速分布の例を示せば、図-1のようである。ここに、 C は集中度(床面積に占める粗度要素の面積比率)、 S は水路床勾配、 h は水深、 $Re=q/\nu$ (q は単位幅流量)。

$d=1.12\text{mm}$ の場合には、 $S=0.004\sim 0.04$ 、 $Re=800\sim 5500$ の

実験範囲において、流速分布は水面から粗度要素頂点付近まで次式の対数分布で表わされる。

$$u/u_* = A_r + 5.75 \text{Log}(y/d) \quad (1)$$

ここに、 $u_* = \sqrt{gh_0 S}$ (h_0 は幾何学的基準面を用いた水深)、 u は水位 y (幾何学的基準面を用いた水位)での流速である。 A_r の値は F_r 数が小さいほど減少するという傾向は見られるが、明確な相関関係はない。

一方、 $d=12.4\text{mm}$ の場合には、Rouseによる次式の後流層内流速分布式が水面から水路床までかなりよい近似で適用できる。

$$\frac{u_r}{u_*} = \left\{ 1 - 0.313 \left(\frac{C_d d}{C_2 x} \right)^{1/2} (r^{3/2} - 1)^2 \right\} \frac{V_1}{u_*} \quad (2)$$

ここに、 u_r は $y=rw$ での流速

($0 \leq r \leq 1$)、 w は後流層厚、 y/d

V_1 は後流層上端の流速、 C_2 は

混合距離を $l=C_2(dC_d x)^{1/2}$ で

表わしたときの係数、 x は粗度要素下流端からの距離。

$d=4.2\text{mm}$ の場合には、水面付近のみ(1)式の対数分布式に従い、深いところでは(2)の

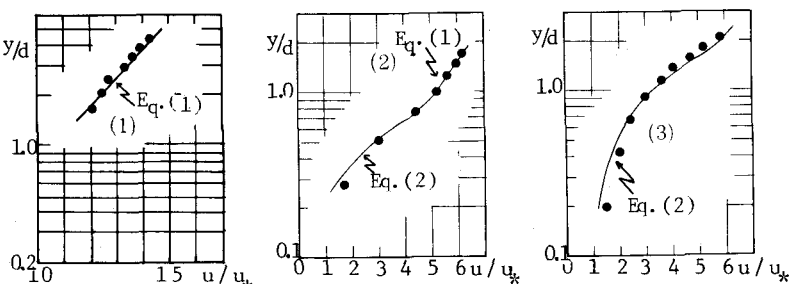


図-1 流速分布

流速分布式に従う。上述の通り、粒径に対する相対水深が小さい(大粒径の場合)、流速分布が対数的に変化せず、粗度要素による後流層内の流速分布となることが薄層流の流速分布形の特徴である。

3. 抗力係数

$d=4.2\text{mm}$ の場合について、(2)式の抗力係数 C_d の特性は以下の通りである。図-2は C_d と C との関係を示したもので、 $C \leq 0.1$ では C_d の値は単一球($C=0$)に対する抗力係数 $C_{d0} \doteq 0.45$ と同程度であるが、 $C \geq 0.2$ では C の増加とともに流れに対する粗度球相互のしゃへい効果が増して C_d は減少し、 $C=0.6$ では C_d は C_{d0} の約4%程度に減ずる。また C_d と S との相関は明確に認められないが、相対水深 h/d の増加とともに C_d の値は減少する。次に、水路床単位面積当りの粗度球に作用する抗力を比較するために、 CC_d の値を示せば

図-3 のようである。CC_dはC=0.2~0.3で最大値をとり、この集中度で水路床は水理学的に最も粗な面となる。

4. 抵抗係数

Darcy-Weisbachの式で定義される抵抗係数*f*'の値は、上述の流速分布から以下のである。

d=1.12mmの場合は(1)式の流速分布から、

$$\sqrt{8/f'}=A_r-2.5+\text{Log}(h_0/d) \tag{3}$$

d=4.2, 12.4mmの場合は、抵抗力を粗度要素に作用する抗力と水路床面に作用する摩擦抵抗の和として求めると、抵抗係数は次式で与えられる。

$$f'=4CC_d+f_B \tag{4}$$

ここに、摩擦抵抗係数*f*_BとしてBlasiusの式を用いる。*f*_B=0.223/Re^{1/4}。

一方、等流実験から次式で求められる抵抗係数を*f*とする。

$$f=8gSh^3/q^2 \tag{5}$$

図-4 は(3)式による*f*'と*f*の値を比較したものであり、両者は良好な一致を示している。d=4.2mmの場合の、(4)式による*f*'と*f*の関係は図-5 のようになり、両者はかなり良好な対応を示している。しかし、d=12.4mmの場合には、*f*'>*f*の傾向があり、抗力係数を過大評価している。これは、粗度要素の大きさに比して熱線流速計感受部の幅が小さい(4.5mm)ため、測点の位置が影響しているものと考えられる。

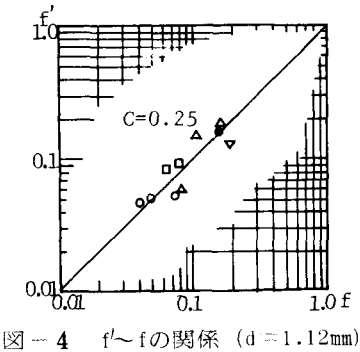


図-4 *f*'~*f*の関係 (d=1.12mm)

5. あとがき

粗度要素近傍の流れは、開水路流と浸透流の特性を合せ持つため、水理条件の微小な変化によって流況は鋭敏に、かつ大きく変化する。本研究では水深方向の流速分布に着目し2次元的な取扱いを行ったが、本文でも述べた通り流速の面的な分布も影響するので、今後さらに詳細な検討が必要である。

終りに本研究において有益な御助言を賜った神戸大学工学部、篁源亮教授に謝意を表します。
参考文献 1) 神田 徹・喜久里政宏：粗面上の薄層流の抵抗則に関する実験的研究,第23回水理講演会論文集,1979年2月。

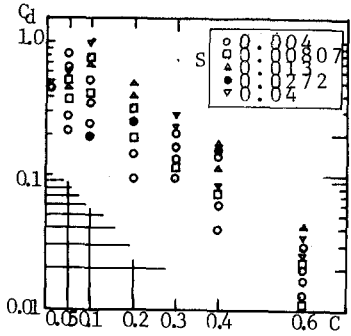


図-2 C_d~Cの関係

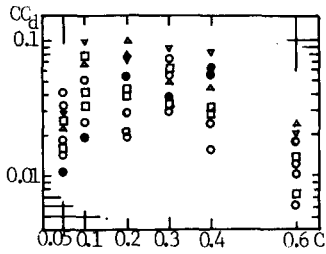


図-3 CC_d~Cの関係

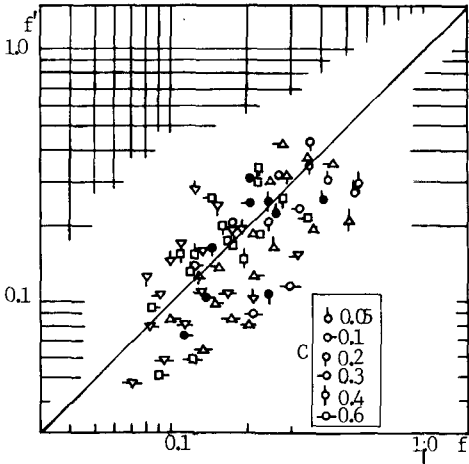


図-5 *f*'~*f*の関係 (d=4.2mm)