

浅い流れにおける粗度要素の抗力と床面摩擦力の特性

神戸大学工学部 正 員 神田 徹
神戸市 正 員 ○鈴木 勝士

1. まえがき 粗度高さが水深と同程度の浅い流れでは、従来確立されている水深の十分大きな開水路流れの抵抗則は成立しない。そこで本研究は、水路床に作用する剪断力と床面摩擦力と粗度要素の抗力に分離して実測を行い、各々の特性をしらべることによ、て浅い流れの抵抗則を解明しようとするものである。

2. 粗面開水路の抵抗係数 長方形断面を持つ粗面開水路流れにおいて、側壁の効果が無視できるとすれば、抵抗係数 f は床面摩擦係数 f_s と粗度要素の抗力係数 C_d によ、て次のように表される。

$$f = f_s + 4\theta C_d \quad (\theta = N A_d / A) \quad (1)$$

ここに、 N は面積 A の水路床に存在する粗度要素の数、 A_d は粗度要素1個の流れに垂直な面に投影した面積である。 f 、 f_s 、 C_d は断面全剪断力 τ 、床面摩擦力 τ_s 、1個の粗度要素に作用する抗力 F と式(2)の断面平均流速 U によ、て次のように定義された係数である。

$$U = Q / B(h - N V / A) \quad (2) \quad f = 8\tau / \rho U^2 \quad (3)$$

$$f_s = 8\tau_s / \rho U^2 \quad (4) \quad C_d = Z F / A_d \rho U^2 \quad (5)$$

ここに、 Q は流量、 B は水路幅、 h は水路床よりの水深、 V は粗度要素1個の水没部の体積である。また、レイノルズ数 Re 、 Red を次のように定義する。

$$Re = U h / \nu \quad (6) \quad Red = U d / \nu \quad (7)$$

ここに、 d は粗度高さである。

3. 実験方法 粗度要素として直径 $d = 1.24 \text{ cm}$ のガラス球を所定の粗度密度 C で十島格子状に水路床へ接着した。粗度要素の配置例を図-1に示す。流れが等流とみなせる箇所 $Shear plate$ を用いて剪断力を測定した。

式(1)と(2)に分離するため、まず $Shear plate$ に粗度要素を接着して測定し、次に薄い金属板によ、て粗度要素を上方より支持して τ_s のみを得た。 F は前者の値から後者の値と差し引くことによ、て求められる。

4. 床面摩擦係数 $h/d = 1$ の条件の下に f_s と Re の関係を示したものが図-2である。 f_s は、Blasiusの式と平行に Re の増加とともに f_s は減少し、粗度密度 C の増加とともに上昇する。つまり $h/d = 1$ における床面摩擦係数 f_s^* は次の式

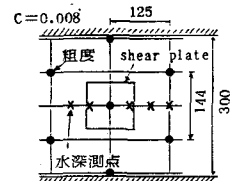


図-1 粗度要素の配置例 (単位: mm)

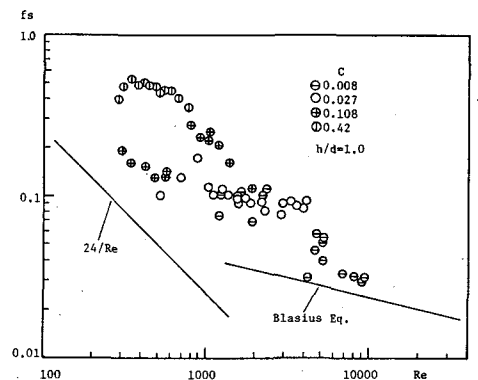


図-2 $f_s \sim Re$

で表される。

$$f_s^* = \alpha / Re^{0.25} \quad (\alpha = 2.68 C^{0.4}) \quad (8)$$

このように f_s が滑面の値より大くなる根拠としては、大規模粗度によって繰り返される流速分布の一致化と境界層の発達を考慮される。 $h/d < 1$ の領域に対する f_s は粗度要素による乱れに関係するパラメータもこの替りに用いると、式(8)によって統一的に表現される。図-3は $h/d \geq 1$ の領域に対して、 Re -一定の条件の下に $1/\sqrt{f_s}$ と h/d の関係を示したものである。この図より両者の関係は次の式で表される。

$$1/\sqrt{f_s} = 1/\sqrt{f_s^*} + \beta \log(h/d) \quad (9)$$

ここに、 β は粗度密度 C と Re の関数で $Re \approx 3000$ に対しては、 $\beta = 14.9 C^{0.38}$ である。

5. 粗度要素の抗力係数

$h/d = 1$ の条件の下に C_d と Re の関係を示したものが図-4である。図中の曲線はGarde⁵⁾が傾斜面を転がる球の抗力係数とレイノルズ数の関係である。粗度要素として用いた球の C_d は、 $h/d = 1$ では流れの相互干渉や、自由水面が存在するにもかかわらず、この曲線とはほぼ一致し、粗度密度 C の増加による C_d の低下は認められず、遮蔽効果は存在しないと言える。図-5は $h/d \geq 1$ の領域に対して C_d と h/d の関係を示したものである。 h/d の増加

とともに C_d は低下し、この傾向は粗度密度 C が大きいほど顕著である。そこで、 $h/d \geq 1$ の領域では、 C_d と遮蔽係数 K を用いて次のように表す。

$$C_d = K C_d^* \quad (10)$$

ここに、 C_d^* は $h/d = 1$ の C_d である。また、 K は h/d と粗度密度 C の関数で、次の式で表される。

$$K = (h/d)^{\gamma} \quad (\gamma = -4.4 C^{0.3}) \quad (11)$$

参考文献

- 1) Garde, R. J., and S. Sethuraman : Variation of the Drag Coefficient of a Sphere Rolling along a Boundary, La Houille Balance, No 7, 1969.
- 2) 神田 徹・土井知吾 : 粗面開水路における浅い流れの抵抗則, 第21回水理講演会論文集, 1981.

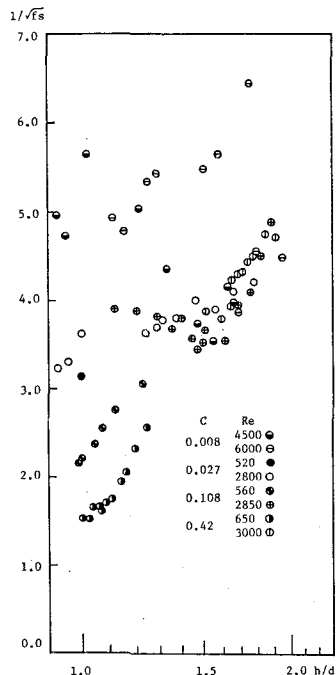


図-3 $f_s \sim h/d$

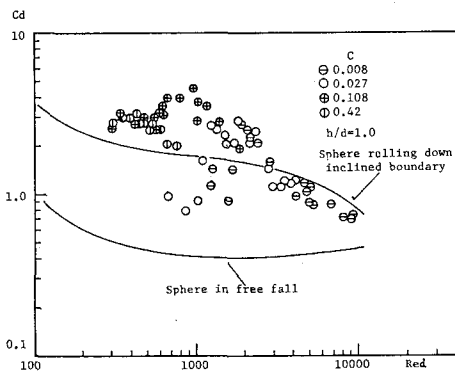


図-4 $C_d \sim Re$

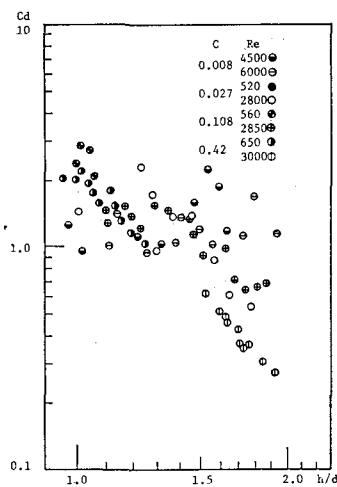


図-5 $C_d \sim h/d$