

II-143 開水路流れの抵抗特性および乱れ特性に関する実験的研究

京 都 大 学 大 学 院 学 生 員 幸 道 隆 治
 京 都 大 学 防 災 研 究 所 正 員 今 本 博 健
 京 都 大 学 大 学 院 学 生 員 浅 野 富 夫

1. は じ め に

2次元開水路流れの外部領域では水深 H および摩擦速度 U_f が長さおよび速度の代表尺度となることはよく知られており、これらを適確に評価することはこの領域の流れの取扱いにおける基本であるが、実際の取扱いで用いられる U_f の種々の評価法は必ずしも同じ結果を与えとは限らず、不明の点が多い。本報告は、流れの2次元性、定常性および等流性について十分な注意を払った実験より、平均速度および乱れ特性量の鉛直分布について再検討を行ったものである。なお、実験には長さ13m、幅40cm、深さ20cmの長方形一様断面水路が使用されており、速度計測にはホットフィルム流速計が用いられている。

2. 抵 抗 特 性

放流状態の開水路流れの平均速度分布の表示には経験的な指数則あるいは半理論的な対数則がよく用いられるが、いま後者を採用すると、次のようである。すなわち、

$$\frac{U}{U_f} = A_s + \frac{1}{\kappa} \ln \frac{U_f z}{\nu} \quad \left(\frac{U_f z}{\nu} < 5 \right) \quad (1) \quad \frac{U}{U_f} = A_r + \frac{1}{\kappa} \ln \frac{z}{k_B} \quad \left(\frac{U_f k_B}{\nu} > 70 \right) \quad (2)$$

ここに、 U は路床面からの距離 z における平均速度、 $U_f = \sqrt{g H I_b}$ は摩擦速度、 k_B は砂粒粗度高、 ν は動粘性係数、 κ はカルマン定数、 A_s および A_r はそれぞれ滑面および粗面における積分定数である。

図-1~4は、種々の水理条件のもとで計測された平均速度分布¹⁾について、相対水深が $0.2 < z/H < 0.8$ のものを対象に、最小自乗法により κ および A_s あるいは A_r を算定した結果を示したものであるが、 κ は滑面および粗面のいずれについてもフルード数 Fr 、レイノルズ数 Re あるいは粗度高 k_B にはあまり関係なくほぼ一定となっており、開水路流れにおいては $\kappa = 0.33$ と推定され A_s および A_r についても、 κ と同様に、 $A_s = 2.2$ および $A_r = 8.3$ と推定されることが知れる。なお、以上の傾向は、 $\kappa = 0.4$ として A_s , A_r の特性を検討した岩垣²⁾の結果、あるいは $A_r = 8.5$ として κ の特性を検討した福岡ら³⁾の結果と若干異なっているが、著者らの実験が水路幅・水深比の大きな2次元開水路流れを対象としたことによるものと考えられる。

3. 乱 れ 特 性

著者らは、従来より、 $\kappa = 0.4$ として平均速度分布より U_f を評価してきたが、2.の結果を考慮して、本研究では $\sqrt{g H I_b}$ (g : 重力加速度、 H : 水深、 I_b : 路床勾配) より U_f を評価して、乱れ特性量の普遍関数式を決定し直すこととする。なお、乱れ特性量の評価は先に提案した方法⁴⁾を用いている。すなわち、平均スケール T_E は自己相関係数における second mild maximum の発生遅れ時間、乱れ強さ u は平均値評価時間を T_E の10倍程度としたときの r.m.s およびエネルギー逸散率 ε は慣性領域のスペクトルに Kolmogorov の $-5/3$ 乗則を適用してそれぞれ評価している。

図-5~7は、 u 、 T_E および ε をそれぞれレイノルズ数相似則より導かれる方法⁵⁾によって無次元化して示したものであって、図より次の普遍関数形が

$$0.1 < z/H \leq 0.6$$

$$\frac{u'}{U_f(U/U_f)^{1/3}} = 0.42(z/H)^{-1/3} \quad (3)$$

$$\frac{T_E}{H/U_f} = 0.115 \quad (4)$$

$$\frac{\varepsilon}{U_f^3/H} = 1.1(z/H)^{-1} \quad (5)$$

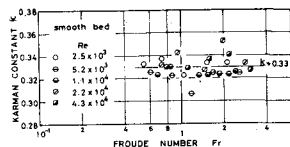


図-1

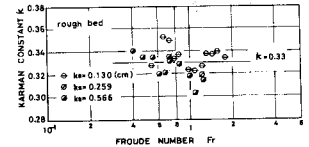


図-2

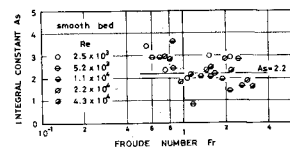


図-3

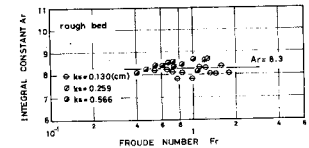


図-4

$$0.6 < z/H < 0.9$$

$$\frac{u'}{U_F(U/U_F)^{1/3}} = 0.35(z/H)^{-2/3} \quad (6)$$

$$\frac{\varepsilon}{U_F^3/H} = 0.63(z/H)^{-2} \quad (7)$$

$$\frac{T}{H/U_F} = 0.115 \quad (8)$$

なお、 u' 、 T_B および ε の間には次式が成立する。

$$\varepsilon = 1.7 \frac{u'^3}{UT_B} \quad (9)$$

以上の u' 、 T_B および ε を用いるとその他の乱れ特性量、たとえばTaylorの逸散スケール λ 、Kolmogorovの局所的スケール l 、ラグランジュ的平均スケール T_L および乱流拡散係数 D は次のように表されることが知れる。すなわち、

$$\lambda = (15 \frac{u'^2}{\varepsilon})^{1/2} \quad (10)$$

$$l = (\frac{u'^3}{\varepsilon})^{1/4} \quad (11)$$

$$T_L = \alpha \frac{U}{u'} T_B \quad (12)$$

$$D = u'^2 T_L \quad (13)$$

であるから、(10)~(13)式に(3)~(8)式を用いると次のようになる。

$$0.1 < z/H \leq 0.6 \quad \frac{\lambda}{H(U_F H/\nu)^{-1/2}(U/U_F)^{1/3}} = 1.55(z/H)^{1/6} \quad (14)$$

$$\frac{l}{H(U_F H/\nu)^{-3/4}} = 1.00(z/H)^{1/4} \quad (15)$$

$$\frac{T_L}{(H/U_F)(U/U_F)^{2/3}} = 0.120(z/H)^{1/3} \quad (16)$$

$$\frac{D}{U_F H(U/U_F)^{4/3}} = 0.022(z/H)^{1/3} \quad (17)$$

$$0.6 < z/H < 0.9$$

$$\frac{\lambda}{H(U_F H/\nu)^{-1/2}(U/U_F)^{1/3}} = 1.71(z/H)^{1/3} \quad (18)$$

$$\frac{l}{H(U_F H/\nu)^{-3/4}} = 1.12(z/H)^{1/2} \quad (19)$$

$$\frac{T_L}{(H/U_F)(U/U_F)^{2/3}} = 0.145(z/H)^{2/3} \quad (20)$$

$$\frac{D}{U_F H(U/U_F)^{4/3}} = 0.018(z/H)^{-2/3} \quad (21)$$

ここにオイラー・ラグランジュ間の比例定数 $\alpha=0.45$ が用いられている。

(14)~(21)と実測値と比較すると図8~11のようになり、それぞれの適用性が確かめられる。

4. おわりに

以上のように、開水路流れにおける抵抗特性および乱れ特性が定量的にもかなり明らかにされたが、実験定数についてはさらに詳細に検討する必要がある。

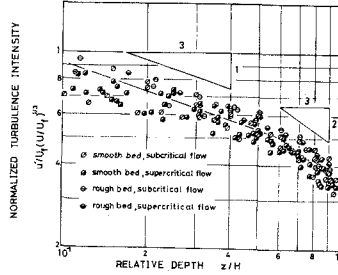


図-5

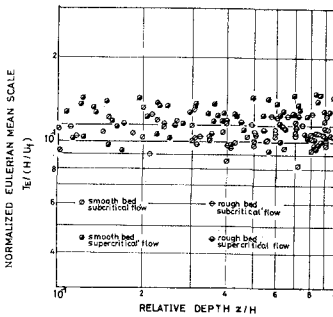


図-6

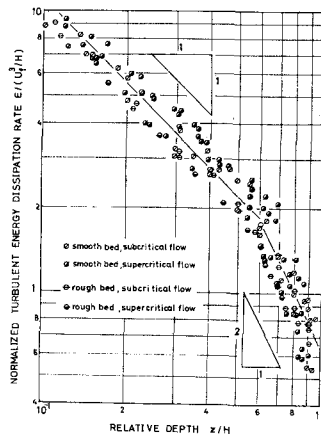


図-7

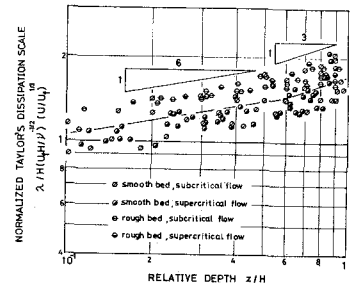


図-8

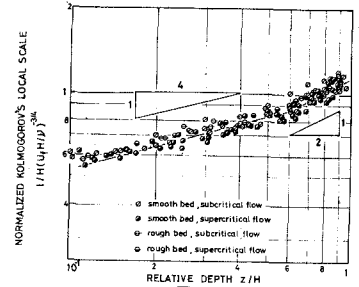


図-9

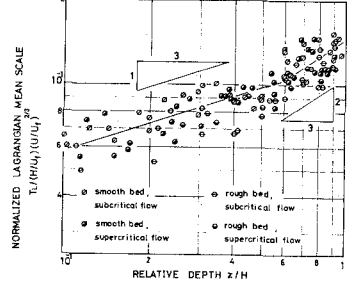


図-10

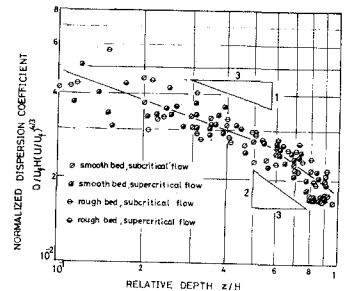


図-11

参考文献

- 1) 今本・浅野・石垣・今西：京大防災研年報，1977，(印刷中)。
- 2) 岩垣：土木学会論文集，16，1953。
- 3) 福岡・吉川：東工大土木工学科研究報告，10，1971。
- 4) 今本：土木学会論文集，197，1972。
- 5) 今本・浅野・佐々木：第30回年講，1975。