

II-190

相対水深の小さな開水路流に関する研究

九州工業大学工学部 学生員 ○千住司朗、山野智弘

同 上 正 員 秋山壽一郎

東亜建設技術(株) 山中泰信

1. 序論

礫床河川は、水深と粗度要素のスケールとの比が極めて小さな流れであるが、河床近傍の水利特性が相対水深の大きな場合と著しく異なる。そのため、抵抗則などの基本的水利特性量が未だ定量的に把握されていないのが現状である。本研究は、相対水深の小さな開水路流の流動特性について考察を加えたものである。

2. 実験

実験は、可変勾配開水路(20.5m)に粒径1.02cmおよび1.94cmの球状粗度を一層(約9m)に最密充填で敷き詰め、相対水深($H/d=2\sim 10$)およびレイノルズ数($R_* = 4600\sim 25200$)を普遍的に変化させ、等流状態で行った。測定はHot-film流速計を用い、サンプリング間隔および計測時間はそれぞれ0.005秒、40.96秒である。

3. 相対水深の小さな開水路流の流況

開水路乱流の流れの場は、内層と外層とに分けられる。底面近傍では、粗度要素から放出される剥離渦の存在が支配的な領域が発生する。つまり、粗度上の開水路流における内層は、対数則が成立する"対数則域"と対数則からの偏差が生じる"粗度域"とに区別される(図1)。

ここでは、粗度頂点より Δy 下方で仮想原点を考え、内層に対しては κ 定数を一定($\kappa=0.41$)とし、滑面对数則(式(1))に速度欠損(式(2))を考慮して理論的に導かれる式(3)に基づき、平均流速分布を考察した。また、外層での対数則からの偏差はColesのwake functionを用いて表現した。

ここで、式(3)における Δy と A_n は、粒子形状は一樣・球形、配列は一層・細密充填であるので、次元的考察により式(4)のような関係を持つものと予想される。

$$\frac{u_s}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{u_* (y + \Delta y)}{\nu} + A_s + W \left(\frac{y + \Delta y}{H} \right) \quad (1) \quad \frac{\Delta u}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln R_{*d} + (A_s - A_n) \quad (2)$$

$$\frac{u_R}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{y + \Delta y}{d} + A_R + W \left(\frac{y + \Delta y}{H} \right) \quad (3) \quad \Delta y/d, A_n = f(R_*, F_r, H/d) \quad (4)$$

ここに、 u_* =摩擦速度、 Δy =原点補正量、 R_{*d} =粒子レイノルズ数($u_* d/\nu$)、 A_s, A_n =滑面(5.29)および粗面对数則に対する定数、 $W((y+\Delta y)/H)$ =wake function、 Π =wake strength parameter、 H =水深、 R_* =レイノルズ数(UH/ν)、 F_r =フルート数($U/\sqrt{gH}$)、 H/d =相対水深、 U =断面平均流速、 g =重力加速度である。

4. 実験結果

- (1). 平均流速分布(u/u_*): $H/d=2$ の場合の平均流速分布を図2に示す。これより原点補正を行うことにより、平均流速分布を式(3)で近似的に表現できることが判る。
- (2). 摩擦損失係数(f): $f(=8(u_*/U)^2)$ は $Re, H/d$ に依存し(図3)、また、 $\kappa=0.41$ であることが認められる(図4)。
- (3). レイノルズ応力($-\overline{u'v'}$): 図5より $-\overline{u'v'}/u_*^2$ の鉛直方向分布は、粗度要素から放出される剥離渦の影響により、底面近傍で一様化されていることが認められる。
- (4). 積分スケール(L)と混合距離(l): 図6に式(5)、(6)による L の鉛直分布と式(7)の l との比較の一例を示す。 L -分布は、 l -分布と比べて平坦な分布をしており、対数則域では $\kappa=0.41$ が成立している。また、 $y/H=0$ で有限な混合距離長を有していることもわかる。

$$F(k) = 0.48 \epsilon^{2/3} k^{-5/3} \quad (5) \quad L = C q^{3/2} / \epsilon \quad (6)$$

$$l = \kappa y \sqrt{1 - y/H} \quad (7)$$

但し、 $F(k)$ =波数 k のエネルギー、 ϵ =散逸率、 $q=(u'^2 + v'^2 + w'^2)/2$ 、 u', v', w' =流下・鉛直・横断方向の変動速度成分(但し、 $w'=1.28v'$)、 C =係数(C は Re 数に依存せず、ほぼ0.18程度の値を取ることが認められた。)

参考文献

[1]山田・川端(1982) 土論 325号、[2]中川ら(1990) 土論 423号Ⅱ-14、[3]Zagni・Smith(1976), J. Hyd. Div., HY2、[4]Nezu・Rodi(1986), J. Hyd. Eng., Vol. 112、[5]山中ら(1994) 年講

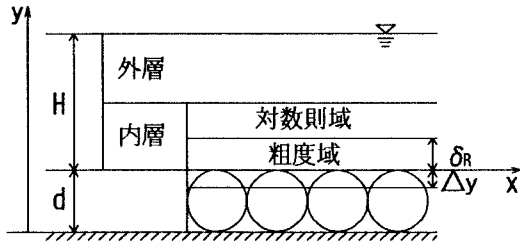


図1. 定義図

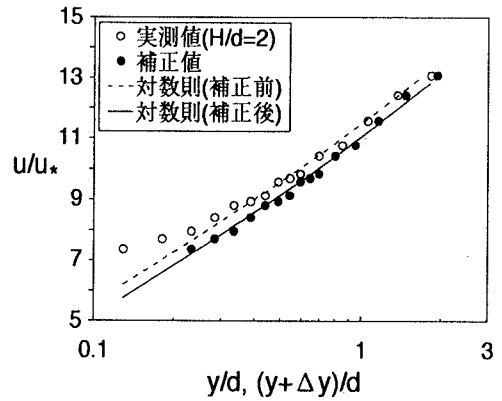


図2. u -分布 ($H/d=2$)

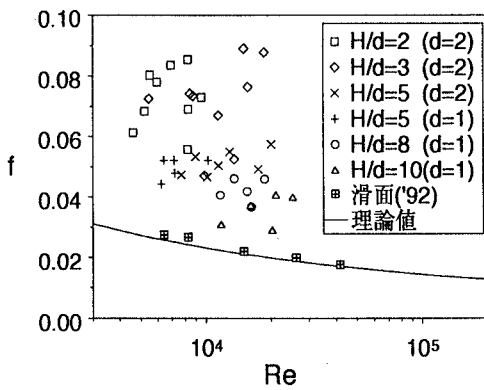


図3. $f \sim R_*$

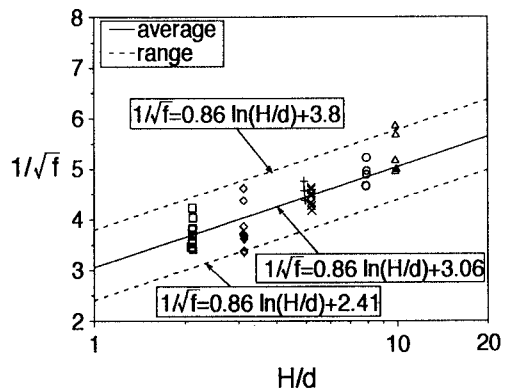


図4. $1/\sqrt{f} \sim H/d$

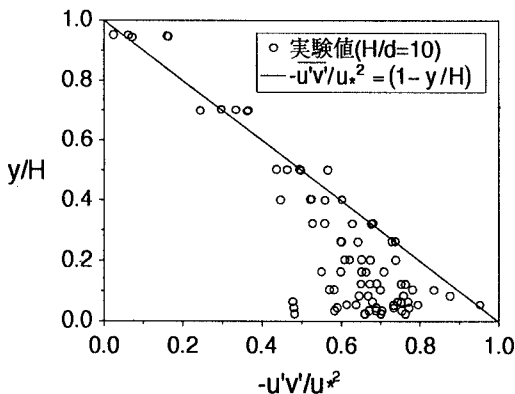


図5. $-u'v'/u_*^2 \sim y/H$

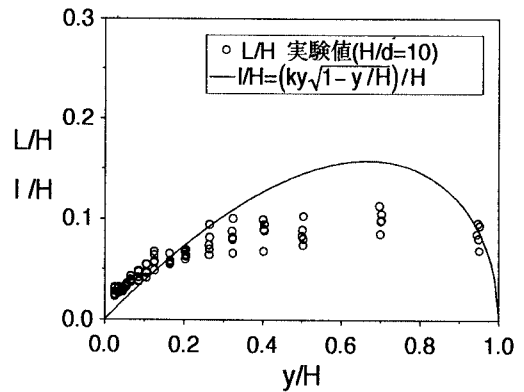


図6. L と l との比較