

II-201

大きな粗度上の開水路流 II

九州工業大学 工学部 学生員 ○山中泰信、鬼束幸樹
正員 秋山壽一郎、浦 勝

1. 序論

山地河川にみられるような礫床河川は、粗度要素の大きさと水深との比が極めて小さな流れであるが、河床近傍における水理特性が相対水深の大きな場合と著しく異なるため、平均流速分布ですら定量的に把握されていないのが現状である。そのため、抵抗則、流砂量、水質交換などの様々な水理学的な諸問題に対してなお多くの不明な点を残している。本研究は、大きな粗度上の開水路流の平均流特性等の水理特性量と相対水深、レイノルズ数との関係について若干の考察を加えたものである。

2. 実験

実験は、全長20.5m、幅60cmの可変勾配水路に粒径 $d=3.96\text{cm}$ (発泡スチロール球)および粒径 $d=1.94\text{cm}$ (ガラスビーズ)の球状粗度を最密充填で長さ9.0mにわたって敷き詰め、等流状態で行い、境界層用X-型熱線流速計を用いて計測した。サンプリング間隔は0.005秒で計測時間は40.96秒である。

3. 大きな粗度上の開水路流れの流況

一般に開水路乱流の流れの場は、内層と外層とに分けられるが、粗度要素近傍では、粗度要素から放出される剝離渦の存在が支配的な領域が発生し、通常の対数則からのズレを生じる。つまり、粗度上の開水路乱流では、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"とに区分される。このような流れの場に対して、平均流速分布型を決定する方法は次の二つに大別される。"立場Ⅰ"は仮想原点を考え、原点補正量を導入することによって粗度域を含む内層を対数則で表現するものである。一方、"立場Ⅱ"は、粗度近傍の流れ場においては対数則は成立しないものとして、これに代わる流速分布を導入するものである。

本研究では、立場Ⅰに立脚し、粗度頂点より Δy (=粗度頂点を原点としたときの原点補正量)下方で仮想原点を考え、内層に対してはカルマン定数は一定($\kappa=0.41$)とし、滑面对数則(式(1))に速度欠損(式(2))を考慮し、理論的に導かれる式(3)に基づき平均流速分布を考察する。

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

$$\frac{u_R}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{y + \Delta y}{d} + A_R + W\left(\frac{y + \Delta y}{H}\right) \quad (3)$$

ところで、壁面が粗か滑かは壁面近傍の流れの場である内層に対して影響を与えるが、壁面から離れた外層は壁面の状態とは無関係と考えられるので、外層での対数則からのズレは壁面の状態に関わらず、Colesのwake functionで表示できると思われる。ここに、 u_* =摩擦速度； R_{ed} =粒子レイノルズ数($=u_* d/\nu$)； A_s 、 A_R =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($=(2\Pi/\kappa)\sin^2(\pi y/2H)$)； Π =wake strength parameter； H =水深。

式(3)において Δy と A_R は次元解析により、一様粒径、球形形状、最密充填配列の場合は式(4)のような関係があると予想される。

$$\Delta y/d, A_R = f(R_e, F_r, H/d) \quad (4)$$

ここに、 R_e =レイノルズ数($=UH/\nu$)； F_r =フルード数($=U/\sqrt{gH}$)； H/d =相対水深。

4. 実験結果

表-1. 実験条件

表-1に示す範囲で F_r 、 R_e 、 H/d を系統的に変化させ、流れの特性量に対する H/d 、 R_e および F_r の影響を調べた。ここに、表中の記号は図中のものと同一である。

記号	H/d	Re	Fr
○	1	6020~10680	0.230~0.398
□	2	5780~17830	0.259~0.846
◇	3	5730~13430	0.086~0.296
×	5	8580~29100	0.092~0.241

(1). 平均流速分布：図-2に本実験で得られた平均流速分布($H/d=3.0$)を示す。この図より、原点補正を行うことにより平均流速分布を式(3)で表現できることが判る。図中において○は測定値、●は原点補正を行ったデータ、実線は式(3)である。

(2). 速度欠損 $\Delta u/u_*$ ： $\Delta u/u_*$ は各 H/d ごとにみると R_{ed} の増加とともに減少する傾向を示しており、式(2)によって表現できるものと思われる(図-3)。

(3). 無次元原点補正量 $\Delta y/d$ ： $\Delta y/d$ は H/d に対して明確な傾向はなく、ほぼ一定値であると考えられる(図-4)。

(4). 粗面对数則に対する定数 A_R ： A_R は H/d の増加にともない減少する傾向を示しており、 H/d をさらに大きくした場合には完全粗面の定数 $A_R=8.5$ に近づくものと予想される(図-5)。

(5). 摩擦損失係数 f ： f ($=8(u_*^2/U^2)$)は R_e の増加にともなって増加傾向を示し、 H/d の増加に対して右側にシフトする傾向が見られる(図-6)。ここに、 u_* は内層のデータを用いて式(3)より決定し、 U は式(3)を水深方向に積分して求めた。このような傾向は、相対水深

がより大きな場合に対してZagni・Smith(1974)(透過・不透過性層上の流れ)および Lovera・Kennedy(1969)(砂粒粗度の移動床上の流れ)が見出したものとかかなり類似している。

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]Lovera・Kennedy(1969), J. Hyd. Div., HY4、[5]Nezu・Rodi(1986), J. Hyd. Eng., Vol. 112.

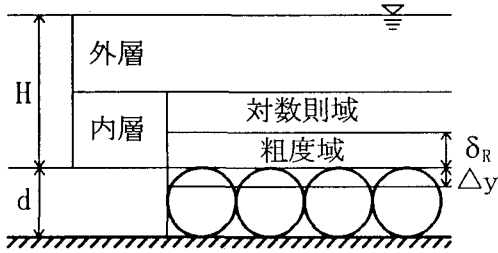


図-1. 定義図

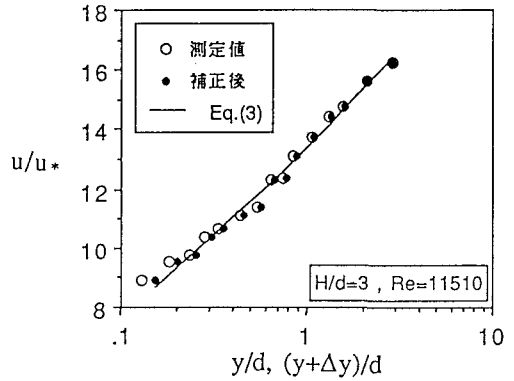


図-2. 平均流速分布

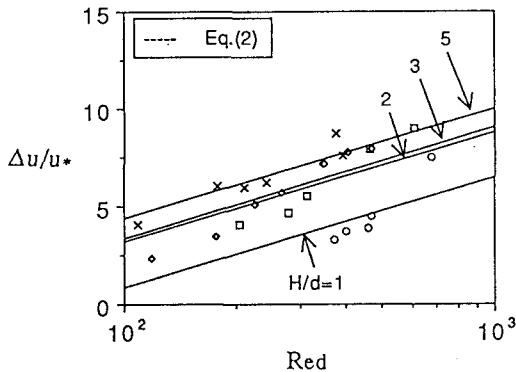


図-3. $\Delta u/u_*$ と Re_d の関係

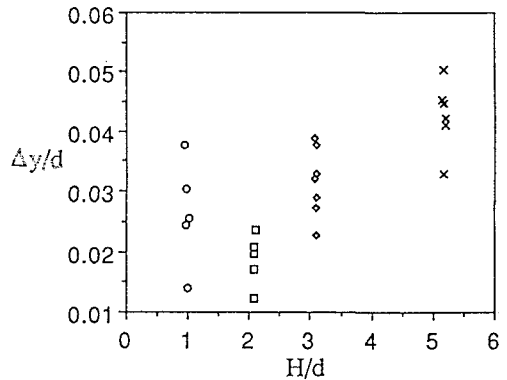


図-4. $\Delta y/d$ と H/d の関係

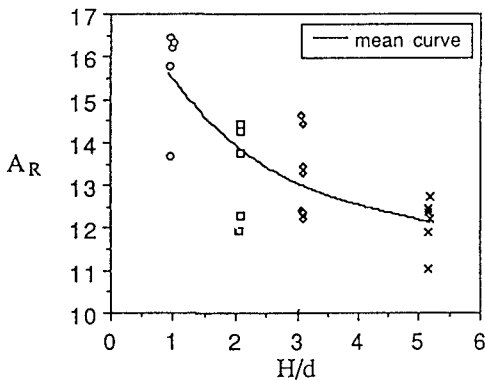


図-5. A_R と H/d の関係

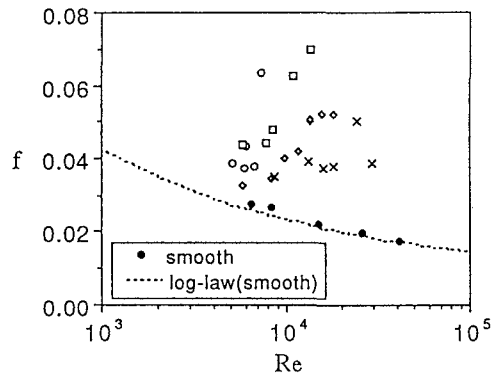


図-6. f と Re の関係