

京都大学工学部 正 員 棚津家久

鴻池組 正 員 〇志村拓也

京都大学大学院 学生員 上矢博之

1. はじめに 実河川の高水敷においては樹木など植生や構造物等が存在している。これら高水敷上の障害物により、複断面開水路流れの乱流構造は複雑化される。特に高水敷・低水路間の境界部における斜昇流とよばれる二次流が卓越する。そこで高水敷上に二種類の粗度を設置し、粗度が複断面開水路の流体混合現象に及ぼす影響を、FLDA 流速計を用いた計測と代数応力モデルによる数値計算を用いて検討する。

2. 実験方法および実験条件 後方散乱型FLDA流速計を用いて上方と側壁方向からの流れの三次元計測を行った。粗度の種類としてはケース名R1シリーズとして厚さ2mmの鉄板上に粒径1mmの砂粒($k_s=0.1\text{cm}$)を、R2シリーズとして直径12.5mmのビー玉($k_s=1.25\text{cm}$)を配置した。この粗面を高水敷上に設置して、高水敷粗度を形成した。実験条件表を表1に示す。

表1 実験条件表

TYPE	S	H(cm)	B/B	b/H	$k_s(\text{cm})$	Q(V/s)	$U_m(\text{cm/s})$	$U_{max}(\text{cm/s})$	Re	Fr
S-A	1/5000	10.0	0.5	0.5	0.0	2.6	8.37	11.16	4255	0.085
R1-A	1/4000	10.0	0.5	0.5	0.1	2.6	8.47	11.61	4196	0.085
R2-A	1/3000	10.0	0.5	0.5	1.25	2.6	8.50	13.02	4205	0.086

3. 平均流速の分布特性 図1に各ケースにおける二次流(V, W)を U_{max} で無次元化してベクトル表示したものを示す。同時に数値計算による解析結果も示す。滑面の場合と比較すると低水路側へと斜昇流が伸びており、さらに粗度により斜昇流の強度に変化が生じている。低水路内での下降流が卓越する領域が、粗度により低水路側の壁側へと移行している傾向が見られる。

図2に平均主流速 U のコンターを示す。上述の二次流の特性と一致した形状を示している。しかし数値計算値とは最大流速点の位置が若干異なっている。粗度による影響で、低水路での分布形状はほとんど単断面開水路流れにおける分布と類似している。これより高水敷と低水路での流速差が増大することがよく現れている。粗度による影響は最大流速点の位置とも相関があるように思われ、粗度の大きさにより流速点の位置が低水路側壁側へ、またより底面側へと変化している。また高水敷上の水面近傍の分布に凹部が見られず、高水敷上の最大流速点の降下現象が現れない。これにより主流速の横断勾配が滑面時とはまったく異なる性質を示している。

4. せん断応力分布特性 図3は流速分布に対数則を適用して求めた摩擦速度 U_τ から底面せん断応力 $\tau_w = \rho U_\tau^2$ の横断分布である。粗度がついた場合においても計算値と実験値との良好な一致が見られる。 $k_s=1.25\text{cm}$ の時には境界部付近でせん断力が急増していること

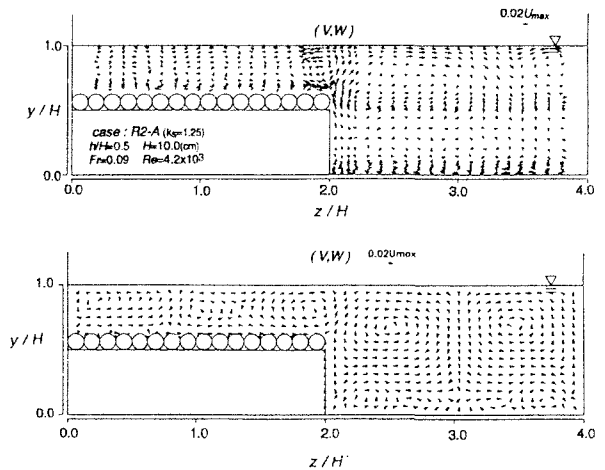
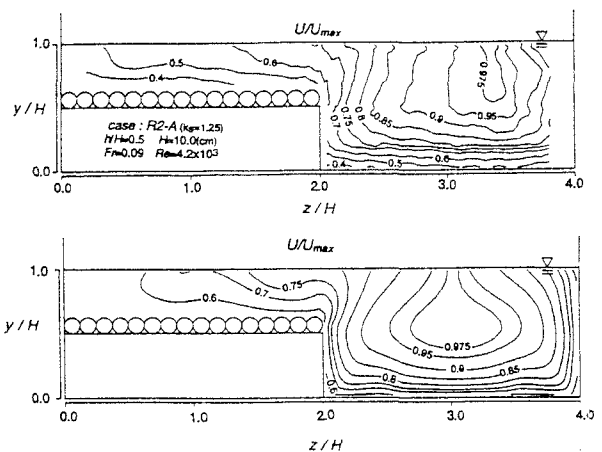


図1 2次流ベクトル図(上:実験値, 下:計算値)

図2 主流速 U のコンター(上:実験値, 下:計算値)

がわかる。このせん断応力の急増するという現象は富永(1993)¹⁾でも報告されている。このことから粗度が高水敷に様に付いても、境界部において通常予想される平均的なせん断応力の値よりも非常に大きな力が働くことを表している。

5. レイノルズ応力の分布特性 横断方向のレイノルズ応力 $-\overline{uw}$ であるが、境界部からの正の高レイノルズ応力値が、低水路側へと大きく伸びている(図4)。また高水敷上での広がりも大きい。これにより低水路側壁での負の領域が小さくなっている。境界部での負の領域は粗度により低減している。このことから高水敷からの影響が低水路側へと及びやすい傾向を示している。横断方向のレイノルズ応力の絶対値が大きくなっていることから、低水路内での乱れの発生率が增大しているものと考えられる。また計算値では今回の実験値のように大きく高水敷側から張り出した傾向が表されていない。

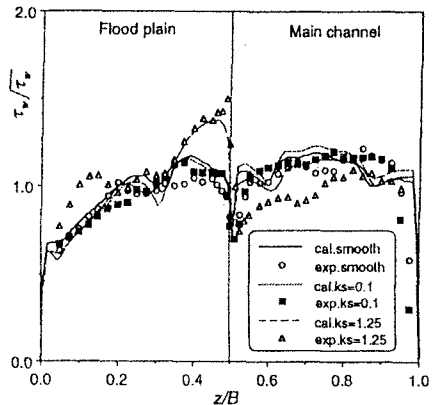


図3 底面せん断応力分布

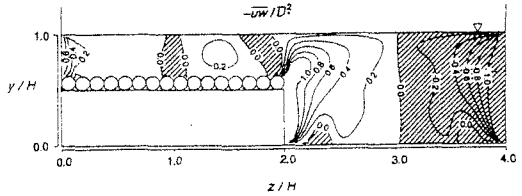
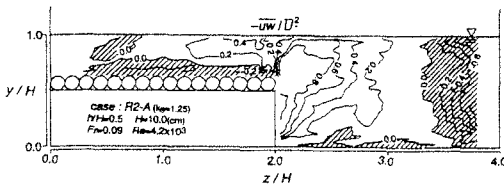


図4 横断方向レイノルズ応力 $-\overline{uw}$ のコンター(左:実験値, 右:計算値)

6. 乱れと非等方性に関する検討 乱れの垂直応力差のコンターラインを図5に示す。粗度により負の領域が境界部から低水路側と境界部上方に広がることがわかる。また水面付近ではコンターラインの間隔が密である。境界部と水面付近で非等方性が大きくなっている傾向が見られる。

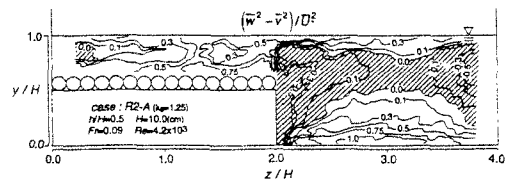


図5 垂直応力差 $(\overline{w^2} - \overline{u^2})$ のコンター

7. 流速勾配と渦動粘性モデルの適用 滑面における渦動粘性モデルの検討では欄津・阿部ら(1995)²⁾で報告されており、モデルの適用性についての妥当性が示されている。またここで主流速勾配(シェアー) $\partial U / \partial z$ を示す(図6)。粗度が大きくなることにより、流速が低水路から高水敷へと単調増加することより、高水敷上で負の領域が現れない傾向がこのコンターでも示されている。またレイノルズ応力 $-\overline{uw}$ のコンターとも比較すると、負の領域の出現する領域やその特性はほぼ一致している。したがって粗面においても渦動粘性モデルの適用は近似的に可能であることがわかる。

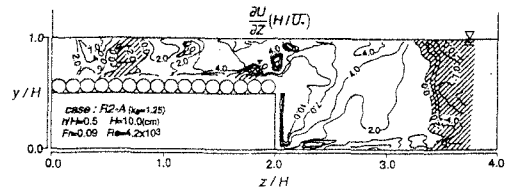


図6 主流速勾配 $\partial U / \partial z$ のコンター

8. おわりに 本論文では高水敷上の粗度の影響を論じた。滑面との相違としては高水敷と低水路間の流速差が増大することにより、特にせん断応力やレイノルズ応力に大きな差違が見られた。また既存の数値計算にはこのような特徴が完全には現れておらず、今後この影響を含むようなさらに再現性の高い数値計算モデルの開発が望まれる。

参考文献

- 1) 富永晃宏：複断面水路流れの乱流構造に及ぼす高水敷粗度の影響，水工論文集，pp587-592,1993
- 2) 欄津家久・阿部崇・中川博次：複断面開水路流れの乱流構造と二次流に関する実験および数値計算，水工論文集，第39巻，pp747-752,1995