

II-350

横断方向粗度不均一によるせん断流れの特性

群馬大学大学院 学生員 角田吉章
名古屋工業大学 正 員 富永晃宏
長野県庁 藤井隆男

1. まえがき 河道の横断方向に水深や粗度が変化する場合、横断方向の流速差や二次流によって付加的な抵抗が生じる。その代表的な複断面開水路の流れにおいては、高水敷流と低水路流の流速差によって高いせん断層が発生し、鉛直軸を持つ渦だけでなく流下方向の軸を持つ二次流が存在する^{1), 2)}。さらに高水敷上は一般に粗度が大きいため、横方向の粗度の変化の影響を解明することも水工学上重要である。本研究ではまず基本的な流れとして片側を滑面、片側を粗面とした長方形断面の実験水路を用いてその流れを計測し、底面高さがほぼ同一で横断方向に強いせん断のある流れの特性を検討したものである。

2. 実験装置及び方法 実験水路は図1に示すように幅40cm、長さ12.5mの長方形断面開水路で、その中に下流に向かって左側に断面が5×5mm、長さが20cmの塩ビ製の棧型粗度を設置し片側滑面、片側粗面とした。流速計にはレーザードップラー流速計を用い、サンプリング周波数100Hzで計測時間は1点につき41秒とし、計測断面はx軸と垂直に粗度と粗度の中央にとった。また実験条件は表1のようであり、相対棧間隔(L/k)を4と8の2通り、水深をそれぞれ3通り変化させた。

3. 実験結果とその考察 (1)二次流構造 図2に水深Hが8cmの場合の二次流ベクトル図を示す。まず両ケースとも滑面上で時計回りの渦構造が認められ、粗滑境界では鉛直下向きの下降流が顕著である。 $L/k=8$ の場合、粗面上の $z/H=3.5$ 付近で強い上昇流がありその右側に縦渦が認められるが、これと対をなす左側の渦構造は不明確である。 $L/k=4$ では粗面側で $L/k=8$ のときにみられた上昇流がみられなくなり、縦渦の輪郭はいっそう不明確なものとなり、全断面にわたる時計回りの大きな渦が背景に存在しているようである。このような二次流構造は間欠的な大規模渦運動の平均された結果であり、粗面上ではかなり不安定な挙動を示していると考えられる。水深H=6cmの場合も同様の二次流が認められたが、H=4cmでは二次流が計測できなかった。

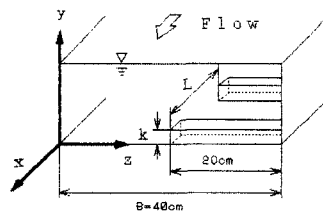


図-1 水路断面図

表-1 実験条件表

ケース	水深 H(cm)	平均流速 U_m (cm/s)	最大流速 U_{max} (cm/s)	摩擦速度 U_* (cm/s)	相対棧間隔 L/k	レイノルズ数 $Re(=4RU_m/\nu)$
HRC11	9.92	19.24	28.72	2.07	8	23900
HRC12	6.09	24.91	35.43	1.94	8	44300
HRC13	7.95	25.45	34.11	2.01	8	55300
HRC21	4.13	19.11	27.06	2.02	4	22700
HRC22	6.02	24.16	32.10	2.38	4	41300
HRC23	8.08	24.78	33.20	2.22	4	53500

わたり不安定な挙動を示していると考えられる。水深H=6cmの場合も同様の二次流が認められたが、H=4cmでは二次流が計測できなかった。

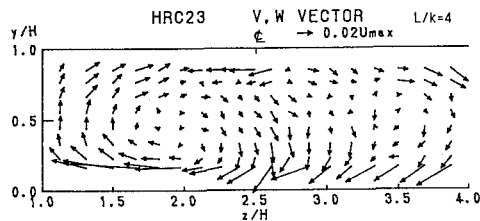
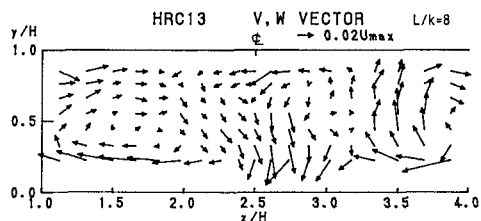


図-2 二次流ベクトル図

(2)平均主流速の構造 図3に U_{max} で無次元化された主流速コンターを示す。水路中央付近の流速等値線は粗面と滑面の大きな流速差により、Z軸に垂直なせん断層を生じるようなかたちとなっている。ここで流速が変化するせん断層幅を b 、水深平均流速の粗面と滑面での差を ΔU とすると、 $L/k=8$ では $b \approx 14$ cm、 $\Delta U \approx 16$ cm/s、 $L/k=4$ では $b \approx 11$ cm、 $\Delta U \approx 10$ cm/s程度で水深による変化は小さかった。 $L/k=8$ の方が $L/k=4$ より抵抗

が大きいことから³⁾、 $L/k=8$ の方がよりせん断が強くなっている。また $H \geq 6\text{cm}$ では二次流による運動量輸送の影響が等値線形状に認められるが、 $H=4\text{cm}$ ではこれがみられなかった。

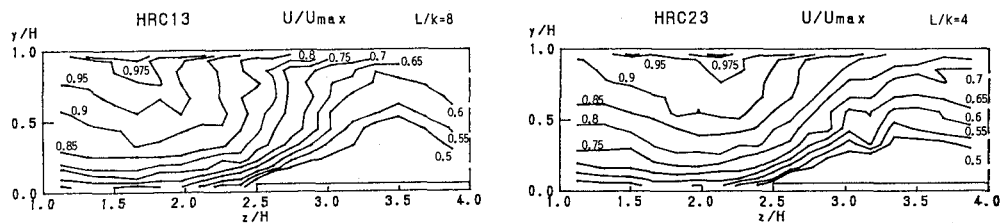


図-3 主流速コンター

(3)壁面せん断応力分布 図4に壁面せん断応力 τ の横断分布を示す。

今回、対数則を用いて U_* を決定し、 $\tau = \rho U_*^2$ からせん断応力を求めた。分布は滑面側でほぼ一定値をとり、接合部から粗面に向かって狭い範囲で急激に増大する。水路中央よりやや粗面側で極大値をとる点が特徴的であり、これは境界部の下降流の効果と考えられる。また粗面側では極大値から徐々に減少し一定値に近づく。

(4)乱れ特性 図5にレイノルズ応力 $-\overline{uv}$ 、 $-\overline{uw}$ のコンターを示す。 $-\overline{uv}$ の分布は境界部より少し粗面側の底面で最大値をとり、これは先述のせん断応力のピークに一致している。 $-\overline{uw}$ の分布は水路中央付近で負のピークをとり、接合部を中心にほぼ対称に分布している。図6に乱れ

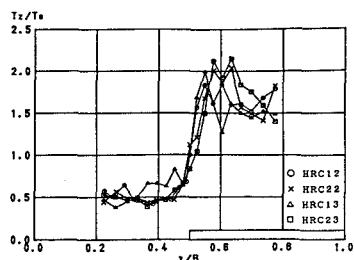


図-4 壁面せん断応力分布図

強度 u' 、 v' 、 w' のコンター

を示す。乱れ強度はいずれの成分も粗面上で大きな値をとるが、

$-\overline{uv}$ と同様に境界部より少し粗面側でピークをとる。このことから横方向のせん断が乱れ発生に寄与していることがわかる。 w' の分布は滑面側の水面付近で大きな値をとる傾向にありこの付近で激しい横方向の変動があることを示唆している。

(5)横方向渦動粘性係数分布 平均横方向渦動粘性係数 ε_{xz} を $\langle -\overline{uw} \rangle = \varepsilon_{xz} \cdot d\langle U \rangle / dz$ の式で定義する。ここに $\langle \rangle$ は水深平均値を意味する。実測の $-\overline{uw}$ と U のから計算された ε_{xz} は、せん断層内ではほぼ一定値をとり、先述の ΔU と b で無次元化すると $\varepsilon_{xz} / (\Delta U \cdot b) \approx 0.02 \sim 0.03$ となり、山崎らの結果⁴⁾とほぼ一致している。

4. あとがき 粗面と滑面の境界部では、複断面とは逆に下降する二次流が存在することが明らかにされた。今後、流れは間欠的に大きく変動していることから可視化と流速信号の解析から大規模渦の構造の解明が必要と考えられる。

[参考文献]

- 1) 富永、江崎、小葉竹：土木学会論文集、417、1989。
- 2) 富永、江崎、角田：土木学会第45回年講、1990。
- 3) 根岸、富永、阿部：土木学会第18回関東支部技術研究発表会、1991。
- 4) 山崎、石川、金丸：土木学会第39回年講、1984。

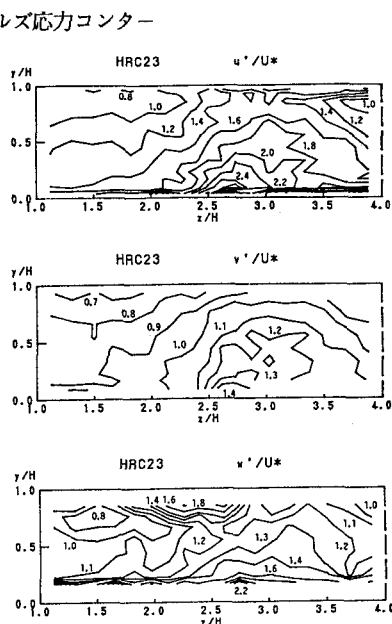


図-6 乱れ強度コンター