

群馬大学工学部 正員 冨永 晃宏
 群馬大学工学部 正員 江崎 一博
 群馬大学大学院 学生員 中村 悦由

1. まえがき 長方形断面の開水路流においては、側壁近傍に二次流が発生し、これが流れの三次元構造に重要な影響を及ぼしている。着者は全潤辺が滑面の場合と粗面の場合について二次流構造を調べ、側壁近傍に水面渦と底面渦が形成されることを明らかにし、粗面の場合はこれらによつて水路中央部にまで及ぶ並列らせん流が誘起されることを示した¹⁾。この二次流は、水平方向と鉛直方向の乱れ強さ w' および u' の分布によって決定されると考えられるため、粗度によつて乱れ強さの空間分布が変化すれば二次流も影響を受けると予想される。そこで実験問題として多いと思われる、底面と側壁の粗度が異なる場合について二次流構造および流れの三次元構造を調べ、粗度の効果について検討した。

2. 実験方法 実験水路および計測方法については、文献¹⁾と同じである。今回の実験条件を表-1に示す。ケースR201, 202は底面が粗面で側壁が滑面、R301, 302はその逆であり、アスペクト比をおよそ4と8の二通りとした。なお粗度としては直径 $\phi 2\text{ cm}$ のガラス球を用いた。

3. 実験結果とその考察

3.1 二次流速分布 二次流速ベクトルと W により計算された流れ関数の等値線を同時に図-1に示す。側壁近傍の二次流パターンは、一様な場合(ケース SH およびR1シリーズ)¹⁾と同様に、 $y/H=0.5\sim 0.6$ 付近で中央から側壁へ向かう流れと水面および底面す側壁から中央へ向かう流れがあり、水面渦と底面渦の存在が認められる。しかし、境界粗度条件の違いによる相違は明確である。底面が粗面の場合、底面渦は底面付近の流速がかなり小さく、その幅も一様な場合(水深程度)に比べて小さい。また水面渦の幅も、一様では水深の2倍程度であったのに対して、 1.5 倍程度と小さくなっている。R201においては中央領域に並列らせん流の存在が認められるが、この配列は一様粗面のR101と異なっている(R101では $z/H=2$ で下降に対し、R201では上昇である)。次に側壁が粗面の場合、底面渦・水面渦ともにその横方向の広がりが増し、底面渦では水深の $1.2\sim 1.5$ 倍、水面渦ではR301で水深の3倍程度にまで達している。また水面渦の中心が水路中央側へ寄っている。

3.2 主流速分布 平均主流速 U の等値線を図-2に

表-1 実験条件表

CASE	H (cm)	B (cm)	Ar (=B/H)	Um (cm/s)	Umax (cm/s)	Ie ($\times 10^{-3}$)	Re ($\times 10^4$)	Fr	Ks (cm) (bed) (side)
R201	5.00	40.0	8.00	35.32	46.87	4.386	5.05	0.505	1.2 0
R202	10.10	40.0	3.96	34.63	50.06	1.059	7.93	0.348	1.2 0
R301	4.02	31.6	7.86	32.90	45.80	1.581	3.65	0.524	0 1.2
R302	7.91	31.6	3.99	35.56	46.85	1.350	6.34	0.404	0 1.2

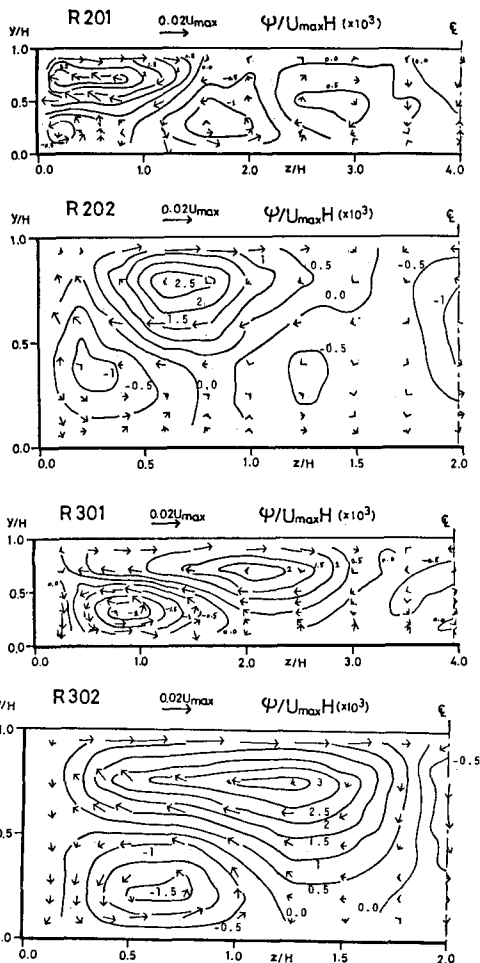


図-1 二次流ベクトルと流れ関数

示す。両ケースとも開水路流の特徴である側壁近くの水面下の減速がみられるが、底面が粗面の場合はこの領域が小さく、 $z/H = 1.5$ 付近までである。これは先述の二次流の水面渦の幅の減少と対応している。アスペクト比が4のR202では水路中央でも最大流速の水面よりの降下がみられない。R201では $z/H = 1.5$ 付近が加速され、 $z/H = 2$ 付近が減速されており並列らせん流の影響が認められる。側壁が粗面の場合、アスペクト比が4のR302では水面の減速が水路中央に及び、一様な場合(R102)とほぼ同様な分布である。R301ではこの水面の減速が $z/H = 3$ 付近にまで達しており、これも水面渦の幅の広がりによく一致している。このように側壁が粗面の場合には三次元領域が広範囲に及ぶ。

3.3 摩擦速度分布 底面および側壁の近傍では滑面および粗面とも主流速分布は対数則に従う領域が存在し、カルマン定数 $K = 0.4$ としてよいことが確かめられた(定数項は滑面が5.5, 粗面が8.5)。この対数則に一致するように決定された摩擦速度 U_* の底面上の分布を図-3に示す。一般に底面渦の上昇に伴って変曲点あるいは極小値が現われ、この特徴は同様に認められるが、底面が粗面の場合、底面渦が小さいため側壁ごく近傍に現われている。R201では、この他に極大値2つと極小値1つがあり、これは並列らせん流の影響を示しているが、この極大極小の位置は同一アスペクト比の一樣粗面(R101)とは異なっている。側壁が粗面の場合、平均値に対する変動の割合が大きく側壁から中央へ向かって急に増大する。R301でも極大値が中央近くに現われている。次に側壁上の分布は、一様な場合と同様に $y/H = 0.6 \sim 0.7$ 付近でピークをとる分布となっているが、ここでは底面が粗面の場合の方が変動の割合が大きい。

3.4 乱れ強度と二次流の発生機構について 流下方向の渦度 ξ の方程式は粘性項を無視して次のようになる。

$$V \frac{\partial \xi}{\partial y} + W \frac{\partial \xi}{\partial z} = \left(\frac{\partial^2}{\partial y^2} - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) (-v'w') - \frac{\partial^2}{\partial y \partial z} (\bar{w}^2 - \bar{v}^2) \quad (1)$$

ここで右辺第2項が二次流の発生原因と考えられる²⁾。開水路では側壁近くで水面付近の W' が増大するのに対し V' は減少するという特徴がみられる³⁾。この傾向は特に側壁が粗面の場合に大きかった。図-4に $\bar{w}^2 - \bar{v}^2$ の y 方向分布を示す。粗度の配置の違いにより、図のような相違がみられ、この差が異なる二次流を発生させたものと考えられるが、詳細な検討は今後の課題としたい。

<参考文献> 1) 富永・江崎, 第29回水理講演会論文集, 1985, 2) Parkins, H.J., JFM, vol. 44, part 4, 1970 など, 3) 富永・江崎, 土木学会論文報告集Ⅱ, 投稿中

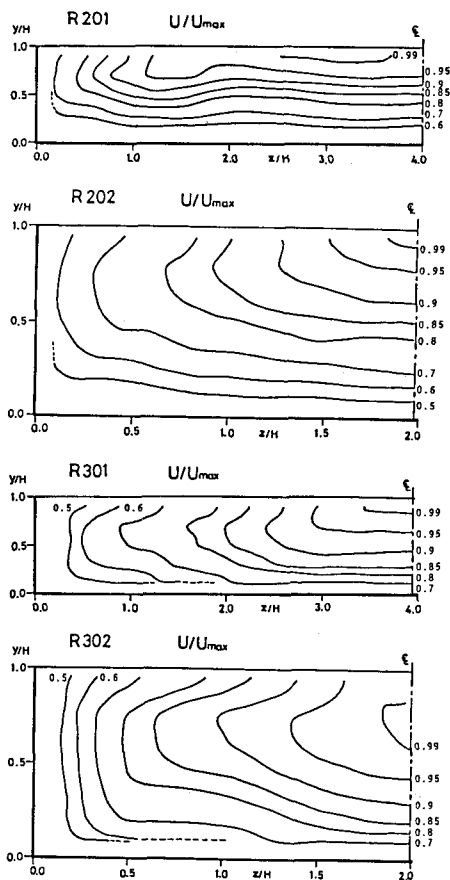


図-2 平均主流速の等値線

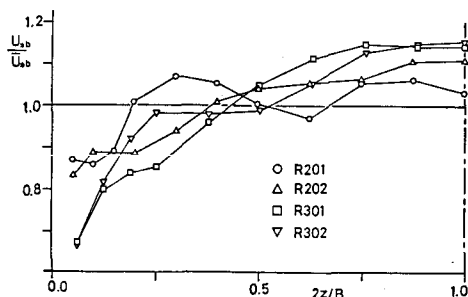


図-3 底面摩擦速度 U_* の分布

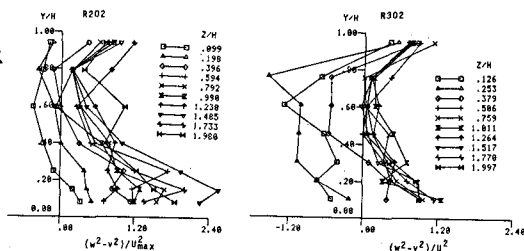


図-4 $\bar{w}^2 - \bar{v}^2$ の分布