

1. まえがき 開水路の断面形には種々の形状が存在し、しかも壁面粗度が一樣でない場合もあり、三次元的な複雑な流速分布を示す。最も単純な長方形断面の場合も、水路幅水深比 B/H が小さいときは、水路中央の最大流速の位置が水面より下に現われ、この原因は側壁による二次流によるものと推測されているが、未だに明らかではない。一方、長方形断面のダクト流の隅角部の二次流は、隅角の二等分線に沿って隅角部へ向かい、底面および側壁に沿って隅角部から離れる一対の渦を形成することが明らかにされているが¹⁾、これが開水路流にも適用されるとすると先述の最大流速点の降下が説明できず、管路と開水路では本質的な違いがあることが示唆される。そこで本研究では、長方形断面開水路の二次流構造および乱流構造を計測し、また底面と側壁の粗度が異なる場合について検討した。

2. 実験装置および方法 実験水路は、長さ12m、幅40cmで側面がガラス、底面がペンキ塗装鉄板である。実験は、全潤辺滑面 (Case S シリーズ)、底面のみ粗面 (Case RA シリーズ)、および側壁のみ粗面 (Case RB シリーズ) を行ない、水深を約5cmと10cmの二通り変えた。粗度としては、直径12mmのガラス球を用い密に敷き詰めた。実験条件を表-1に示す。ただし、RB05は左岸のみを粗面としている。計測はX型ホットフィルム流速計によって (u, v) 、 (u, w) のペアを別々に測定した。

CASE	B (cm)	H (cm)	U_m (cm/s)	U_{max} (cm/s)	R (cm)	Re ($\times 10^4$)	Fr	Le ($\times 10^{-3}$)	U_* (cm/s)
S 05	40.0	5.08	42.87	52.07	4.05	6.39	0.677	1.178	2.162
RA05	40.0	5.31	41.38	55.95	4.20	6.20	0.732	3.981	4.048
RB05	35.3	5.20	46.59	64.53	4.02	6.32	0.741	2.047	2.840
S 10	40.0	10.24	18.89	23.48	6.77	4.93	0.229	0.146	0.983
RA10	40.0	10.32	20.34	27.62	6.81	5.14	0.238	0.399	1.632

表-1 実験条件表

3. 二次流速分布

二次流速 (V, W) のベクトル図を図-1に示す。ただし、この値は、 $V = \hat{V} - \frac{2}{3} \int_0^H \hat{V} dz$ 、 $W = \hat{W} - \hat{W}_E - \frac{1}{H} \int_0^H (\hat{W} - \hat{W}_E) dz$ ($\hat{V}$ は生の値、 $\hat{W}_E$ は中央断面の値) による修正を施したものである。空気流に比べてばらつきが大きい (S05については顕著なパターンが認められなかった) が、二次流の概形は把握できる。ダクト流の結果と著しく異なり、隅角へ斜めに向かう流れが消失し、側壁側の渦が発達し、底面側の渦は底面付近に小さく残っているだけである。これは、自由水面の影響によるものと思われる。開水路では自由水面の効果が支配的な要素となると考えられる。これによって最大流速点の降下が説明できることになる。また、二次流の大きさは最大主流速の2%~4%で、大きい渦の横の広がりにはRB05以外は、ほぼ水深の1.5倍程度で、RB05では非対称性もあってか、水路中央付近にまで達している。

4. 平均主流速分布

U/U_{max} のコンタを図-3に示す。ここで側壁の効果を表わすパラメータとして、側壁に働く全せん断力と全体のせん断力との比 S_s/S を用いることとする。 S_s/S の値は、後に述べるように対数則から評価された U_* から求めたもので表-2に示すよう

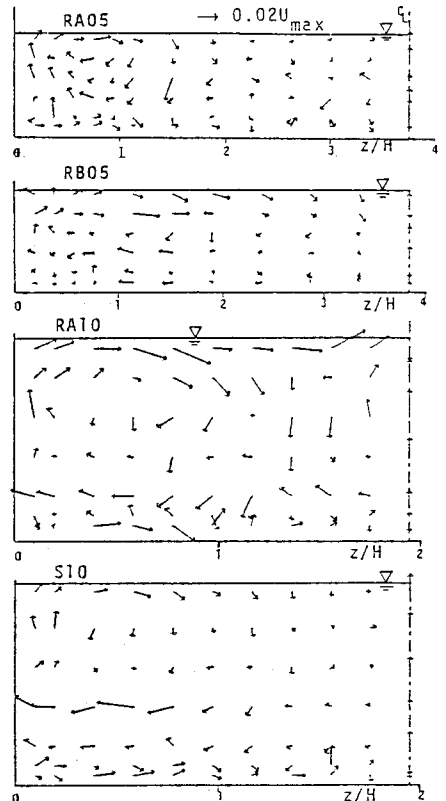


図-1 二次流ベクトル図

りである。 S_s/S が大きいほど、側壁の影響による減速作用が大きく、三次元領域が広がっている。二次流の影響についてみると、どのケースも側壁に向かって凸形状を示し、水面付近が減速されており、これは S_s/S が大きいほど顕著である。これは、水面付近の側壁から中央へ向かう流れが、側壁近傍の速い流体を輸送することによって考えられる。したがって、等流速線の凹側から凸側へ向かう二次流が発生するという仮定は、必ずしも成立しないことがわかる。

5. 乱れ強度およびレイノルズ応力分布

U/U_{MAX} および $-\overline{uv}/U_{MAX}^2$ のコンタを図-3 および図-4に示す。 U は粗面近傍で大きな値をとるが、

CASE	S_s/S
S 05	0.160
RA05	0.050
RB05	0.420
S 10	0.300
RA10	0.134

表-2

主流速と同様に S_s/S が大きいほど分布の三次元性が強くなる。また、側壁に向かっての凸形状が見られ、二次流の影響が認められるが、その影響は主流速分布に比べて弱いようである。 $-\overline{uv}$ は S_s/S が大きいほど側壁での減少が大きく、負の領域が広がっている。この $-\overline{uv}$ が負となる領域は、 U の y 方向の勾配が負となる領域とほぼ一致している。 $-\overline{uv}$ は、側壁近くで大きな値をとり、急激に減少しているが、中央領域ではばらつきが大きかった。

6. 局所的摩擦速度

主流速 U は底面および側壁に対してある一定の距離までは対数則に従

がうことから、対数則によって局所的摩擦速度 $U_\star$ を評価した。このとき、粗面上の座標原点は粗度頂部より粒径の1/4下方に

とり、 $k_s=12\text{mm}$ としている。

カルマン定数 $K=0.4$ でどこでも一定と仮定し、得られた $U_\star$ の底面および側壁上の分布を図-5に示す。これらは、底面の平均値 $\overline{U}_{\star b}$ および側壁の平均値 $\overline{U}_{\star s}$ によって無次元化されている。また、全体の平均の $\overline{U}_\star$ はエネルギー勾配より求められた値

と最大10%程度の誤差があった。

底面の分布を見ると、 S_s/S が小さいほど、 z/H が2以下の側壁領域の値が相対的に大きく、 z/H が2以上の中央領域ではその逆となる。RB05では中央領域まで単調に増加し、RA05では、下降流が顕著な $z/H=1.5\sim 1.6$ 付近でピークをとっている。また、側壁の分布を見るといずれも底面から水面に向かって増大し、 $z/H=0.6\sim 0.7$ 付近で最大となり再び水面に向かって減少している。

なお、以上の点について、粗度の効果を明らかにするには、今後さらに検討が必要であろう。《参考文献》中川ら、第27回水講、1983

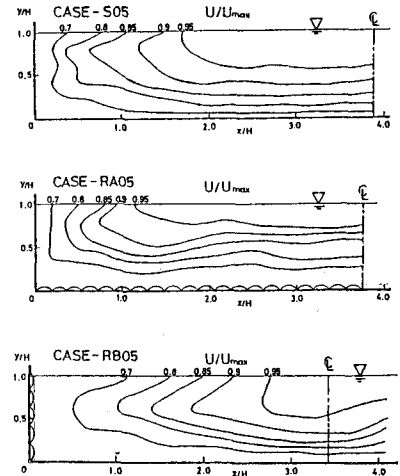


図-2 主流速コンタ

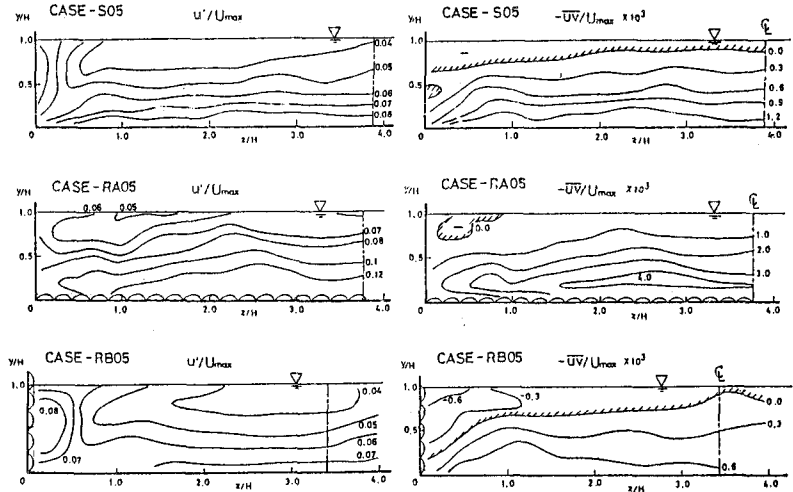


図-3 乱れ強度コンタ

図-4 レイノルズ応力コンタ

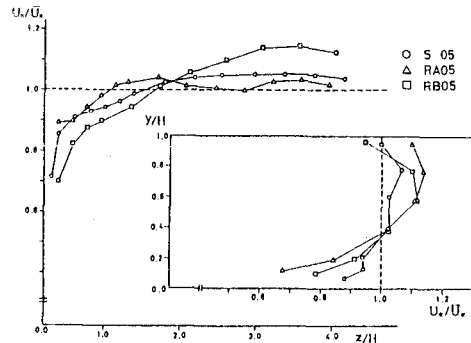


図-5 局所的摩擦速度分布