

漸拡長方形断面開水路流の横断面特性

九州工業大学 工学部 正 員 浦 勝 秋山 壽一郎

九州工業大学 大学院 学生員○川崎 淳一郎 鬼束 幸樹 和田 誠一

1. はじめに これまで筆者らは断面が直線的に拡がる流れを取り上げ、流下方向と直交する各横断面内の流速測定により得られた平均量及び乱れ量を用いて、水理特性を調べてきた¹⁾²⁾。今回、漸拡部入口より下流側355cmの横断面内の片側において、より詳細な測定を行い、若干の結果が得られたので報告する。

2. 実験方法 漸拡長方形断面開水路の実験水路については、既に述べたもの²⁾³⁾と同じである。流下方向の座標原点 $x=0$ は漸拡部入口とし、 y は水路床より上向き、 z は側壁より水路中央方向にとった。幅 B の増加率は $dB/dx=1/12.5$ 、水路床勾配: $I=1/10,000$ 、下流端水位: $H=13.4\text{cm}$ に固定した。流速測定は y 方向に20点、 z 方向に $z/B=0.6$ まで14点の計280点において、2方向X型ホットフィルム流速計(カマックス12 41-20W, 1246-60W)を用いた。表1に実験条件を示す。 H は水深、 Q は流量、 U_{mx} は断面最大流速、 R は径深、 u_*0 は水路中央の摩擦速度、 u_*s は側壁の平均摩擦速度である。

表1 実験条件

Exp. No.	1	2	3	4
x (cm)	355	355		
H (cm)	3.34	3.34		
B (cm)	46.3	46.3		
B/H	3.43	3.50		
Q (cm ³ /s)	9.44	9.25		
Q (lcc/s)	94.7	94.0		
U (cm/s)	3.35	3.35		
U_{mx} (cm/s)	28.20	28.10		
u_*0 (cm/s)	0.838	0.852		
u_*s (cm/s)	2.324	2.338		
Q (lcc/s)	97.24	99.7		
Q (cm ³ /s)	97.25	25.5		
U (cm/s)	14.21	18.43		
U_{mx} (cm/s)	27	1.74		

3. $x=355\text{cm}$ ($Ar=3.5$)における水理量の横断面内等値線図

図1に等流速線図を示す。図中の太実線は $U/U_{mx}=0.8$ 、細実線は0.1間隔である。点線は0.95、黒部分は0.99である。等値線が壁面と平行とならず、凹凸のある形状となっており、かなり強い二次流の存在が推定される。図2にReynolds応力 $-\overline{uv}/U_*0^2$ の分布を示す。 $-\overline{uv}/U_*0^2 > 1.0$ となる領域が底面から離れた所 ($y/H=0.2\sim 0.8$, $z/B=0.25\sim 0.5$) にあり、その最大値3.5を含む強い領域は流れの中央付近 ($y/H=0.4\sim 0.6$, $z/B=0.45\sim 0.55$) に存在している。図3にReynolds応力 $-\overline{uw}/U_*0^2$ を示す。 $-\overline{uw}/U_*0^2 > 2$ の大きい領域が側壁から離れた領域 ($y/H > 0.6$, $z/B=0.15\sim 0.35$) に存在する。このように、Reynolds応力の大きな領域が水路床や側壁から離れる現象は漸拡流の特徴といえる³⁾。図4に乱れ強度 u'/U_*0 の等値線図を示す。乱れが強い帯状の領域は図2、3に示したReynolds応力の大きい領域をあわせたものと一致している。

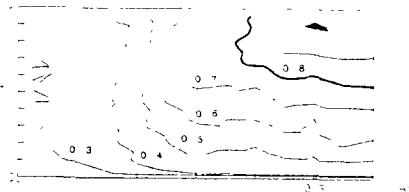
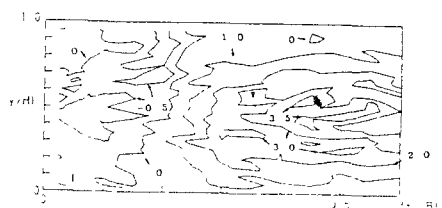
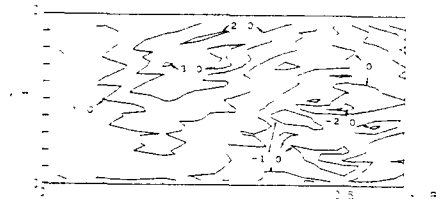


図1 等流速線図

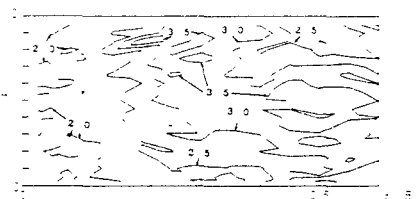
図2 Reynolds応力 $-\overline{uv}/U_*0^2$ の分布図3 Reynolds応力 $-\overline{uw}/U_*0^2$ の分布

4. 二次流 y , z 方向速度成分から二次流をベクトル表示したものが図5である。図5と図1を対応させると、等流速線図のはり出した所が二次流の方向と一致していることがわかる。

4. 混合距離と長さスケールの分布 混合距離 l はプラントルの運動量輸送理論により次式で計算できる。

$$l = \sqrt{-\overline{uv} / (dU/dy)}$$

図6(a)に $z/B=0.5$ (センターライン上)における l の鉛直方向分布を◇印で示した。 $y/H=0.4$ まではほぼ $l = \kappa y$ に従うがそれより上側ではほぼ一定値 $l/H=0.06$ とみられる。しかし、特徴的なのは $y/H=0.1, 0.3, 0.5, 0.85$ において◆印で示すように大きくなっていることである。この位置は図6(b)の

図4 乱れ強度 u'/U_*0

速度勾配が小さい部分と対応しており、漸拡流れのような逆圧力勾配流れでは比較的大きな渦が存在することがわかる。そこで、乱れスケールからこの特性を調べてみる。一点で測定した流速変動の不規則運動に含まれる情報から、凍結乱流の仮定により流れ方向の空間的な渦のスケールを計算することができる。今回は次の3つの方法で渦の長さスケールを計算した。

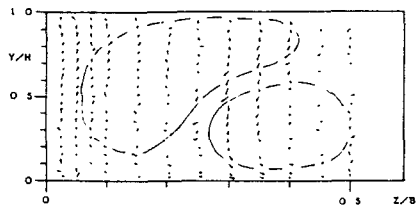
1) 積分長さスケール： $L_r = U \cdot \tau$ $\tau = \int_0^\infty R(\tau) d\tau$ $R(\tau)$: 自己相関係数

2) 空間的積分長さスケール： $L_{z0} = U \cdot E(0) / 4u'^2$

3) マクロスケール： $L_\varepsilon = 0.8 u'^3 / \varepsilon$ $E(f) = 0.48 U^{2/3} \varepsilon^{2/3} f^{-5/3} / (2\pi)^{2/3}$

ここに、 $E(0)$: u のエネルギースペクトル関数 $E(f)$ の $f=0$ Hz 値、 ε : エネルギー散逸率。

図6(a)の○、△、□はそれぞれ L_τ 、 L_{z0} 、 L_ε をプロットしたものである。これらの絶対値はそれぞれ異なるが、特徴としては、それぞれのスケールは $y/H=0 \sim 0.1$ までの間で大きくなり、それより上ではほぼ一定とみなせることである。さらに混合距離が大きい所、すなわち速度勾配の小さな所で、大きな渦が存在することである。特に L_τ で見ると水深方向の大部分で $L_\tau \approx H/2$ であるが、1の大きい位置では $L_\tau \approx B/4$ あるいは $L_\tau = H$ となっている。次に、図7に $y/H=0.5$ における長さスケールの幅方向分布を示す。これより $z/B=0.05, 0.25$ 及び 0.4 近傍でスケールが大きくなる。これらのことを図5と合わせ考えると、大きなスケールの乱れが、二次流によって運ばれてきたとみなせる。このことから漸拡流れの長さスケール分布と速度勾配は二次流と深く関わっていることがわかる。



最大ベクトル値：2.2cm/s

(平均流速 $U \sigma = 14.2$ cm)

図5 二次流のベクトル表示

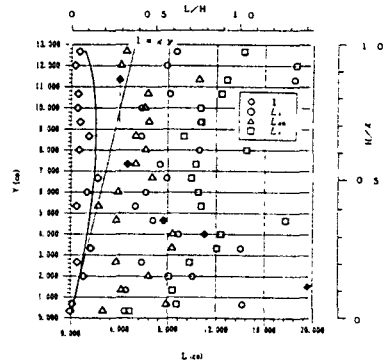


図6(a) $z/B=0.5$ 上の長さスケール鉛直分布

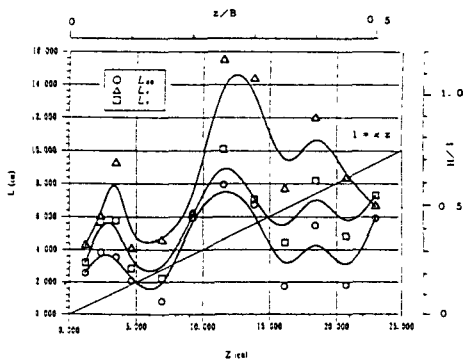


図7 $y/H=0.5$ 上の長さスケールの幅方向分布

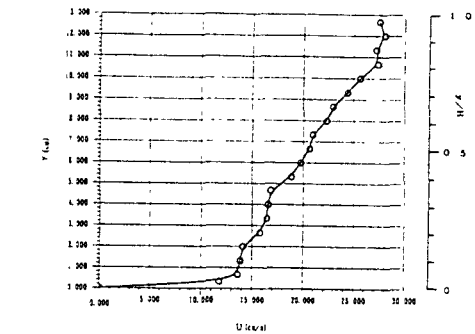


図6(b) $z/B=0.5$ 上の平均流速の鉛直分布

<参考文献>

- 1) 浦、秋山、久保、山本：漸拡長方形断面開水路流の乱れについて、水工学論文集、34、451-456、1990。
- 2) 川崎、浦、秋山：漸拡長方形断面開水路の乱れと2次流、土木学会 第46回年講II、516-517、1991。
- 3) 川崎、浦、秋山、鬼束：漸拡長方形断面開水路流の流速分布変化、土木学会 西部支部年講、1992。