

水深が浅くなる開水路加速流に関する実験的研究

九州工業大学大学院

学生員

○竹本憲充

九州工業大学工学部

正員

浦勝

秋山壽一郎

九州工業大学工学部

非会員

沖原竜哉

1. はじめに

流下方向に圧力勾配が減少する開水路加速流では、等流状態と比較して流速分布特性が大きく異なることが知られている。水深が流下方向に減少する開水路加速流の水路中央線上における測定で、等流と比較して乱れエネルギー分布が減少し、速度分布が一樣化する傾向があることを既に示したが、今回は加速流の横断面における水理諸量の測定を行い、その横断面内特性を示すとともに乱れエネルギーの流下方向変化の特性について述べる。

2. 実験装置および実験方法

実験に用いた水路は長さ 2050cm、幅 60cm、高さ 60cm の可変勾配式直線水路である(図-1)。上流端から 1200cm の地点から長さ $l=200\text{cm}$ の逆勾配区間を設置し、その下流側を 3cm 底上げした。加速部入り口に座標原点をとり、流下方向に x 軸、 x 軸に対して垂直上向きに y 軸、そして右岸から左岸

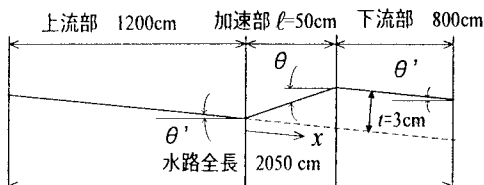


図-1 水路模式図

表-1 実験条件

x (cm)	x/l	h (cm)	Ar	U_m (cm/s)
-100	-0.5	10.71	5.60	34.49
10	0.05	10.94	5.48	36.15
50	0.25	10.22	5.87	37.10
100	0.5	9.53	6.23	41.31
150	0.75	8.62	6.96	44.28
300	1.5	7.28	8.24	54.23

に向かって z 軸をとる。表-1 に実験条件を示す。流量は上流部で水深が 10cm 程度の等流となるように 29.2 l/s とし、上流部の水路床勾配 $\sin \theta' = 1/3000$ 、加速部の水路床勾配 $\sin \theta = -1/68.2$ とした。測定は、右岸側横断面内の x 方向流速、 y 方向流速および z 方向流速を鉛直方向 22 点、水路幅方向 21 点、合計 1 断面に付き 462 点測定し、これを流下方向に 6 断面測定した。ここに $\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$ は瞬間流速、 U, V, W は時間平均流速、 u, v, w は変動成分を表す。サンプリング間隔 $\Delta t = 0.01\text{ sec}$ 、サンプリング時間 $T = 81.92\text{ sec}$ として測定した。

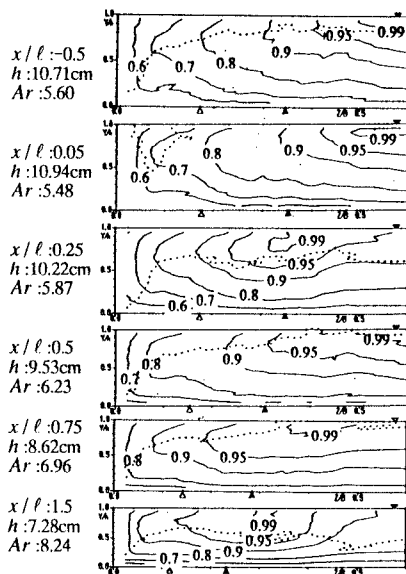


図-2 主流速分布図

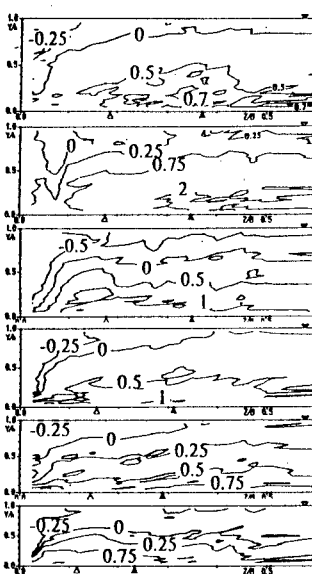


図-3 Reynolds 応力分布図

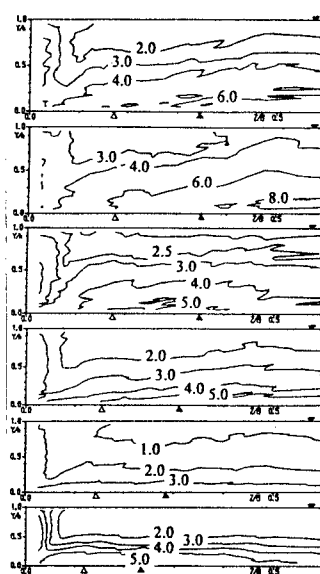


図-4 乱れエネルギー分布

3. 実験結果および考察

図-2 に横断面内最大主流 $U_{\max}$ で無次元化された主流速分布 $U/U_{\max}$ の等値線を示す。上流部 ($x/\ell = -0.5$) では、側壁付近で2次流の影響を受けて等値線が歪められており、 $y/h=0.5$ 付近では水路中央から側壁に向かって突き出し、 $z/h=0.6$ の点で押し上げられている。加速部では等流の分布と比較して加速に伴い断面内で流速が一様化し壁面近傍で大きな速度勾配をもつ分布になる事がわかる。

図-3 に水路中央摩擦速度で無次元化された Reynolds 応力 $-\overline{uv}/U^2$ の分布を示す。 $-\overline{uv}/U^2$ は水路中央の底面付近の領域で極大値を持つ。この領域は図-2 に見られる dU/dy が大きい領域と一致する。一般に平均流と乱れとの間のエネルギー変換は次式の様に Reynolds 応力と速度勾配の積で表され、この領域で乱れの生成率が大きいことがわかる。

$$G = -\overline{uu} \frac{\partial U}{\partial x} - \overline{uv} \frac{\partial U}{\partial y} - \overline{uw} \frac{\partial U}{\partial z} \quad (1)$$

$-\overline{uv}/U^2$ はいずれの断面においても側壁近傍の水面付近の領域で負の値をとる。 $-\overline{uv}/U^2=0$ の等値線を図-2 に点線で記入した。同図より、加速部後半部で $-\overline{uv}=0$ となる位置は $dU/dy=0$ となる位置と一致しており、ほぼ全域で $-\overline{uv} \cdot dU/dy > 0$ となるため、乱

れから平均流へのエネルギー輸送は $-\overline{uv} \cdot dU/dx < 0$ のみとなる。しかし加速部前半部の $x/\ell = 0.05$ と 0.25 の場合は両者の位置のずれが大きく、水路中央の水面近傍で $-\overline{uv} \cdot dU/dy < 0$ となる領域がある。従って乱れエネルギーから平均流へのエネルギー輸送は加速部前半部の方が比較的盛んであることがわかる。

図-4 に乱れエネルギー $k = (u'^2 + v'^2 + w'^2)/2$ を U で無次元化した k/U^2 の分布を示す。加速部では流下に伴い乱れエネルギーが減少する。また断面内で k/U^2 が一様化する傾向がある。これは主流の速度勾配が底面近傍を除く領域で減少することに対応している。図-5 に2次流ベクトルを示した。加速部前半部の $x/\ell = 0.05$ と 0.25 の断面では、互いに逆向きに回転し、 $y/h=0.5$ 付近で接する一対の渦が観察される。上方に位置する水面渦および下方に位置する底面渦の鉛直方向スケールはおよそ半水深規模を維持する。水面渦の水平方向スケールは加速部前半で水深の2倍程度であるが底面渦の水平スケールは水深規模から減少する傾向がある。水深の減少により鉛直方向の底面渦の発達に対する鉛直渦の抑制が大きいと考えられる。加速部後半では2次流強度が減少し明確な渦は確認できなくなる。2次流速の減少により加速部後半では k/U^2 が水路中央に輸送されなくなり、底面と水路中央で乱れエネルギーの不均一が生じる原因となっている。

4. おわりに

水深が浅くなる開水路加速流の乱れ諸量の横断面内分布、及びそれらの流下方向変化の特性について述べた。

参考文献

- 1) 富永晃宏, 江崎一博, 土木学会論文集, No.357/II-3, pp.81-88, 1985.
- 2) 浦 勝, 岡本智和, 秋山壽一郎, 鬼束幸樹, 竹本憲充, 水工学論文集, 第42巻, pp.871-876, 1998.
- 3) 祢津家久, 中川博次, 土木学会論文集, No.369/II-5, pp.89-98, 1986.

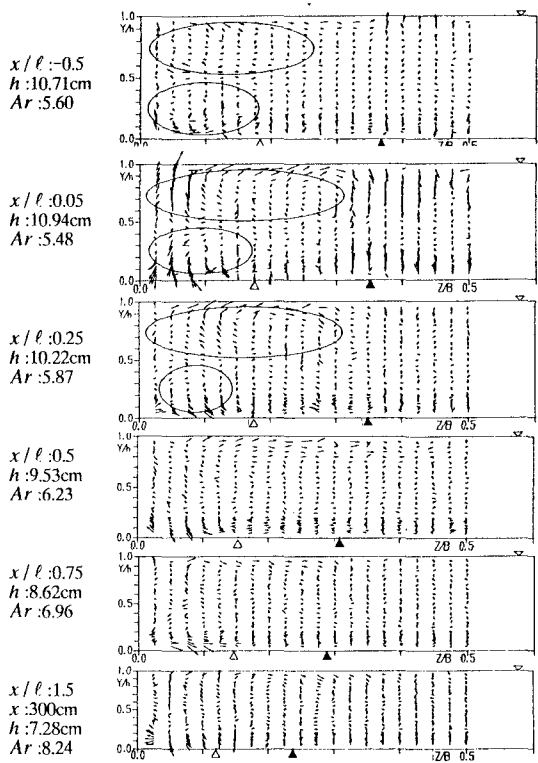


図-5 2次流ベクトル図