

開水路加速流に関する基礎的研究

九州工業大学工学部 学生員 ○木下敦之
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 岡本智和 鬼束幸樹

1. はじめに

圧力勾配を有する流れ場においては、定常等流時と比較して乱流統計量の分布特性が大きく異なり、それらを解明することは重要である。本研究は、順圧力勾配を有する開水路流を対象として、流速分布、Reynolds応力分布などの測定を行い、検討を加えたものである。

2. 実験装置および実験条件

実験に用いた水路は長さ2050cm、水路幅60cm、高さ60cmの可変勾配水路である。図-1に示すように、長さ800cmにわたる下流部について水路床から $t=3\text{cm}$ の底上げをしており、そこからさらに上流側に長さ $\ell=50\text{cm}$ の加速部を設置した。水路の底面および側壁はすべてアクリル製である。実験条件は上流部において、水深が10cmの等流になるように流量を $10.7\ell/\text{s}$ 、上流部および下流部の水路床勾配を $\sin\theta'=1/10000$ 、加速部の水路床勾配を $\sin\theta=-1/17$ とした。流速測定は、X型Hot-film流速計を用いてサンプリング間隔を0.01sec、サンプリング時間を40.96secとして水路中央線上に8断面、鉛直方向に16点について行った。なお、座標系としては、加速部入口より流下方向に x 軸を、 x 軸と垂直上向きに y 軸をとり、それぞれの時間平均流速を U 、 V 、変動成分を u 、 v とした。

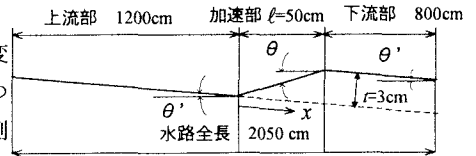


図-1 実験装置

表-1 水理諸量

x (cm)	x/ℓ (-)	h (cm)	U_m (cm/s)	F_r (-)
-25	-0.5	9.37	19.1	0.18
0	0.0	9.35	19.2	0.19
8	0.2	8.89	20.2	0.19
20	0.4	8.15	22.0	0.21
30	0.6	7.49	23.9	0.23
40	0.8	6.74	26.6	0.27
50	1.0	6.08	29.5	0.31
100	2.0	6.20	28.9	0.29

3. 実験結果および考察

表-1に水理諸量を示す。ここに h は水深、 U_m は断面平均流速、 $F_r = U_m/\sqrt{gh}$ はFroude数、 g は重力加速度である。

図-2に主流速分布の流下方向変化を示す。図中の●印は内層($50 < yU_* / \nu, y/h \leq 0.2$)、○印は外層($y/h > 0.2$)における分布を示し、実線は式(1)のlog則である。

$$\frac{U}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{yU_*}{\nu} + A \quad (\kappa=0.41, A=5.3) \quad (1)$$

ここに、 $\kappa=0.41$ はKarman定数、 $A=5.3$ は積分定数、 U_* は内層の主流速分布にlog則を適用して最小自乗法で算出した摩擦速度であり、図-2の縦軸は各断面ごとに5ずつシフトして表示している。主流速分布は、上流部ではlog則に良好な一致を示すが、加速部においてはlog則からズレを生じ、一様化していることが観察される。このような現象は祢津ら¹⁾の開水路加速流の結果と一致し、順圧力勾配の影響によるものと考えられる。一方、下流部においては、主流速分布はlog則に近づいていく傾向がある。

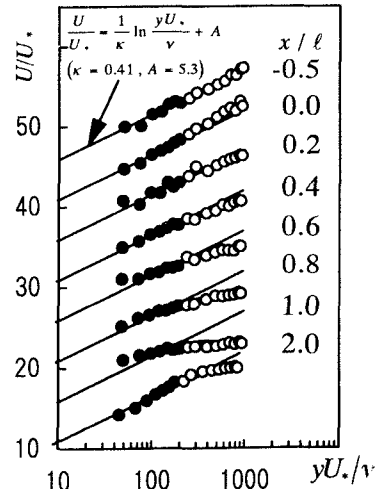


図-2 主流速分布の流下方向変化

図-3にReynolds応力分布の流下方向変化を示す。◆印は上流部、○印は加速部、▲印は下流部での分布を示し、実線は等流で成立する普遍分布($-\overline{uv}/U^2 = 1 - y/h$)を表す。Reynolds応力分布は、上流部ではほぼ等流の分布に従い、加速部では等流の分布から徐々に減少していく。これは、橋津ら³⁾による開水路加速流の結果に類似している。下流部では底面より再び等流の分布に漸近していく。

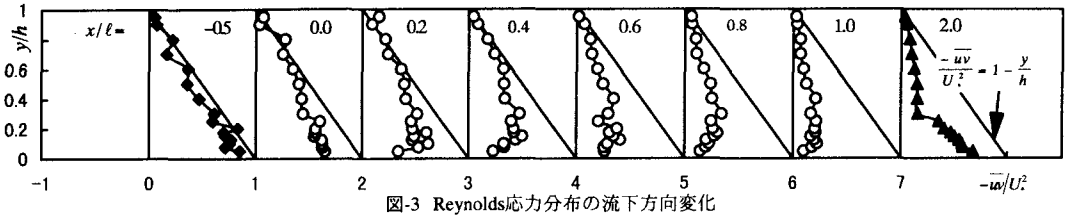


図-3 Reynolds応力分布の流下方向変化

図-4に乱れエネルギー k/U^2 の実測値をプロットで示し、式(2)で表される等流の分布を曲線で示す。ここに、 $k = (\overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2})/2$ で図-4中において縦軸は4ずつシフトしてある。

$$\frac{k}{U^2} = \frac{1}{2} \left\{ D_u^2 \exp\left(-2\lambda_u \frac{y}{h}\right) + D_v^2 \exp\left(-2\lambda_v \frac{y}{h}\right) + D_w^2 \exp\left(-2\lambda_w \frac{y}{h}\right) \right\} \quad (2)$$

ここに、 $D_u=2.26$, $D_v=1.23$, $D_w=1.63$, $\lambda_u=0.88$, $\lambda_v=0.67$, $\lambda_w=1.0$ は、開水路等流において得られた経験値である^{3),4)}。また、横断方向乱れ強度 $\sqrt{\overline{w^2}}/U$ は式(3)により算出した。

$$\frac{\sqrt{\overline{w^2}}}{U} = \frac{D_w}{D_u} \exp\left\{-\left(\lambda_w - \lambda_u\right) \frac{y}{h}\right\} \frac{\sqrt{\overline{u^2}}}{U} \quad (3)$$

乱れエネルギー分布は上流部ではほぼ式(2)に適合している。加速部では流下に伴い乱れエネルギーが減少し、特に底面近傍を除いた領域で一様化を示す。下流部では再び式(2)に漸近していく。このように加速された流れにおける乱れエネルギーが等流の分布より減少する理由として、図-2に示されるように内層における速度勾配が減少し、さらに図-3に示されるようにReynolds応力も減少したことが考えられる。

4. おわりに

順圧力勾配を有する開水路流の流速分布はlog則よりズレを生じ、内層において速度勾配が減少する。また、Reynolds応力も等流の分布より減少するので、乱れの生成量が等流のものよりも減少する。よって乱れエネルギーは等流の分布より減少し一様化する。

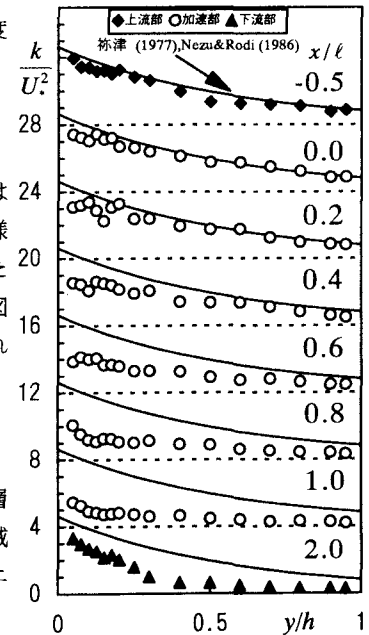


図-4 乱れエネルギー分布

参考文献

- 1) 祢津家久, 門田章宏, 戸田孝史: 定常開水路における加速・減速流の乱流構造に関する実験的研究, 水工学論文集, 第40巻, pp.755-760, 1996.
- 2) 橋津家久, 門田章宏, 戸田孝史, 中川博次: 加速流および減速流の解析手法とその乱流特性, 土木学会論文集, 509/II-30, pp.89-97, 1995.
- 3) 祢津家久: 開水路乱流の乱れ強度に関する研究, 土木学会論文集, 第261号, pp.67-76, 1977.
- 4) Nezu, I. and Rodi, W.: Open-channel flow measurements with a laser Doppler anemometer, *Journal of Hyd.Engineering*, vol.112, pp.335-355, 1986.