

開水路漸縮流の水路中央水理特性

九州工業大学工学部 学生員 ○堀越公博

九州工業大学工学部 正会員 浦 勝 秋山壽一郎

九州工業大学大学院 学生員 坂本 真 鬼束幸樹

1. はじめに

本報告は開水路不等流の内、水路幅が流下方向に狭まる開水路漸縮流をとりあげ、水路中央線上において、主流速分布、乱れ強度分布および Reynolds 応力分布を測定し、考察を加えたものである。

2. 実験装置および実験条件

実験用水路は長さ 2000cm、幅 60cm、高さ 60cm の可変勾配水路に、図-1 に示すように長さ $l=220$ cm、漸縮角 $2\theta=10^\circ$ の漸縮部とその下流側に長さ 600cm、幅 21.0cm の下流部を設置したものである。以下、漸縮部より上流側の区間を「上流部」、漸縮部より下流側の区間を「下流部」と呼ぶ。実験条件は下流部において、水深 8.0cm の等流となるように水路床勾配を 1/610、流量を 7.84 l/s とした。測定は、X 型 Hot-Film 流速計を用いてサンプリング間隔 0.01sec、サンプリング時間 40.96sec として水路中央線上における主流方向流速の鉛直分布を流下方向の 11 断面について行った。なお、座標系としては、漸縮部入口より流下方向に X 軸を、X 軸と垂直上向き方向に Y 軸をとり、それぞれの時間平均流速を U 、 V 、乱れ強さを u' 、 v' とした。

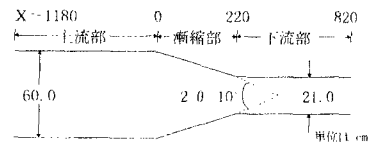


図-1 実験用水路の平面図

表-1 水理諸量

X (cm)	X/l	B (cm)	h (cm)	Re (-)	Fr (-)
-110	-0.50	60.0	8.09	42200	0.14
-55	0.25	60.0	8.17	41700	0.13
0	0.00	60.0	8.23	40800	0.13
44	0.20	51.2	8.27	44600	0.14
88	0.40	42.4	8.28	50500	0.16
132	0.60	34.8	8.29	62000	0.20
176	0.80	27.3	8.15	76400	0.25
220	1.00	21.0	7.75	101200	0.34
275	1.25	21.0	7.64	99600	0.34
330	1.50	21.0	7.68	99300	0.34
440	2.00	21.0	7.82	99400	0.33

3. 実験結果および考察

表-1 に水理諸量を示す。ここに、 B は水路幅、 h は水深、 $Re = 4R\bar{U}/\nu$ は Reynolds 数、 $Fr = \bar{U}/\sqrt{gh}$ は Froude 数、 R は径深、 $\bar{U}$ は断面平均流速、 ν は動粘性係数、 g は重力加速度である。図-2 に片対数表示による主流速分布の実測値を○印で、式(1)の log 則を直線で示す。ただし、縦軸は、それぞれの断面について 10 ずつシフトさせてある。

$$\frac{U}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{YU_*}{\nu} + A \quad (\kappa = 0.412, A = 5.29) \quad (1)$$

ここに U_* は内層 ($50 \leq YU_*/\nu, Y/h \leq 0.2$) において式(1)より求めた摩擦速度、 $\kappa=0.412^{1)}$ は Karman 定数、 $A=5.29^{1)}$ は積分定数である。上流部・漸縮部および下流部における内層の主流速分布が log 則によつてほぼ表現できることが分かる。ところが、漸縮部および下流部における外層 ($Y/h > 0.2$) の主流速分布は log 則より低速側にずれを生じている。このずれを次式の log-wake 則に適應させ^{1), 2)}、図-2 中に曲線で示した。

$$\frac{U}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{YU_*}{\nu} + A + \frac{2\Pi}{\kappa} \sin^2 \left(\frac{\pi Y}{2h} \right) \quad (2)$$

ここに、 π は円周率、 Π は wake strength parameter である。外層での主流速分布が式(2)の log-wake 則でほぼ表示できるといえる。

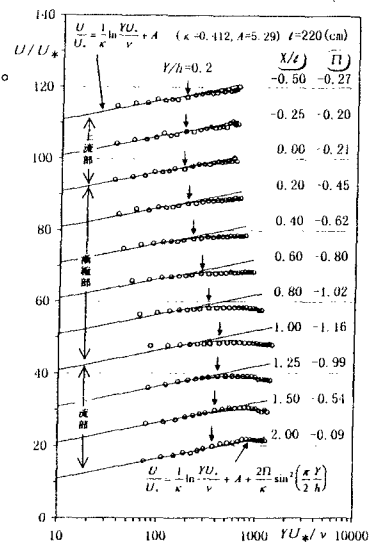


図-2 主流速分布の流下方向変化

図-3に Π の流下方向変化を示す。上流部では Π はほぼ一定であるが、漸縮部では、 Π は減少していき漸縮部出口($X/\ell=1.0$)付近で最小となる。瀬津ら³⁾によって、開水路加速流では Π は負の値をとり、減速流では正の値をとることが示されている。漸縮部では加速されるために Π は減少して負の値を示している。下流部では流下に伴い Π は徐々に増加し、開水路等流での値($\Pi=0\sim 0.2$)¹⁾に近づいていく。

図-4に乱れ強度分布 u'/U_* の実測値を○印で、式(3)で求められる開水路等流における乱れ強度分布の経験式を曲線で示す。

$$\frac{u'}{U_*} = 2.26 \exp\left(-0.88 \frac{Y}{h}\right) \quad (3)$$

ただし、図中の縦軸は各断面について2ずつシフトさせてある。上流部における乱れ強度分布は、ほぼ等流の分布と一致するが、漸縮部では徐々に減少していき、底面付近を除き一様化され、漸縮部出口($X/\ell=1.0$)でその傾向は最も顕著となる。開水路加速流において乱れ強度が抑制される現象は、Cardoso⁴⁾や瀬津ら³⁾によっても観察されている。下流部では底面から水面に向かって徐々に等流での分布に漸近していく。

図-5に Reynolds 応力分布 $-\overline{uv}/U_*^2$ の実測値を○印で、開水路等流での分布($-\overline{uv}/U_*^2 = 1 - Y/h$)を直線で示す。乱れ強度と同様に、上流部では等流での分布とほぼ一致し、漸縮部では徐々に減少し、下流部では再び等流における分布に漸近していく。

4. おわりに

開水路漸縮流の水路中央線上における主流速分布、乱れ強度分布および Reynolds 応力が測定され、以下のことが示された。主流速分布は内層では log 則で、外層では log-wake 則によって表現できる。wake strength parameter Π は流下に伴い減少し、負の値をとる。乱れ強度分布および Reynolds 応力分布は流下に伴い減少し、一様化する。

参考文献

- 1) Nezu, I. and Rodi, W. : Open-channel flow measurements with a laser doppler anemometer, *J. Hyd. Engineering*, vol.112, pp.335-355, 1986.
- 2) Coles, D. : The law of the wake in the turbulent boundary layer, *Journal of Fluid Mechanics*, vol.1, pp.211-229, 1956.
- 3) 瀬津家久, 門田章宏, 戸田孝史, 中川博次 : 加速流および減速流の解析法とその乱流特性, 土木学会論文集 No.509/II-30, pp.89-97, 1995.
- 4) Cardoso, A. H., Graf, W. H. and Gust, G. : Steady gradually accelerating flow in a smooth open channel, *Journal of Hydraulic Research*, vol.29, pp.525-542, 1991.

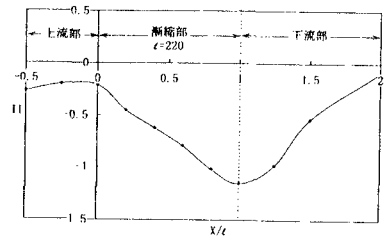


図-3 Π の流下方向変化

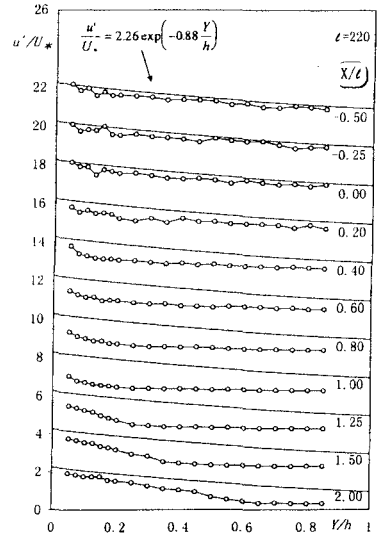


図-4 乱れ強度分布の流下方向変化

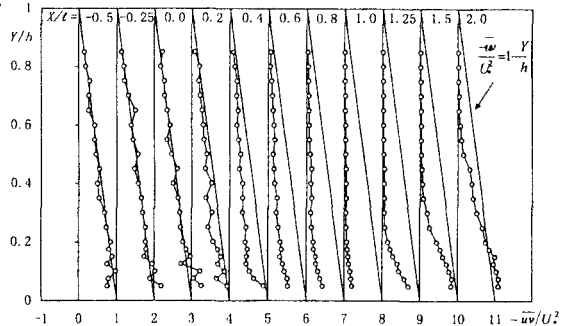


図-5 Reynolds 応力分布の流下方向変化