

II - 171

逆圧力勾配を有する開水路流の流速分布特性について

九州工業大学大学院 学生員 ○松岡定和 鬼束幸樹
九州工業大学工学部 正 員 浦 勝 秋山壽一郎

1. はじめに

水深が流下方向に増加する開水路常流では、流速の減速と共に逆圧力勾配となる。本報告は、開水路における緩やかな逆圧力勾配を有する流れを対象として、流速分布に関する実験的な検討を行ったものである。

2. 実験方法

図-1 に実験装置を示す。実験用水路は長さ 2050cm、幅 $B=60\text{cm}$ の可変勾配水路に、アクリル製の上流部および漸変部を取り付けたもので、上流部は水路床から $t=3\text{cm}$ の底上げを行い、その後部に長さ ℓ (cm) の漸変部を接続した。漸変部入口から流下方向に X 軸、直角上向きに Y 軸をとり、漸変部の水路床勾配を $\sin\theta$ 、上流部および下流部の水路床勾配を $\sin\theta'$ 、水深を h とした。

表-1 に各実験条件を示す。流速測定は X 型 Hot-Film 流速計を使用し、 Y 軸方向に 12~13 点、 X 軸方向に 17~25 断面をとり、サンプリング間隔 0.01sec、サンプリング時間 40.96sec で行った。

3. 実験結果および考察

図-2 に C4-15 における水面形の測定結果を示す。一方、水深の変化を規定する基礎式は次式で表せる。

$$\frac{dh}{dx} = \left(\sin\theta - n^2 R^{-\frac{4}{3}} \left(\frac{Q}{Bh} \right)^2 \right) / \left(\cos\theta - \frac{\alpha Q^2}{gB^2 h^3} \right) \quad (1)$$

ここに、 R は径深、 α はエネルギー補正係数、 n は粗度係数である。式(1)には形状損失は含まれていないが、本実験における形状損失は摩擦損失と比較して小さいため、 $\alpha=1.0$ とし、 n に等流実験から得られた値を用いると、図-2 の太実線のようになり、水面形状を表現することができる。

図-3 に $\log$ 則を適用して最小二乗法で求めた水路中央摩擦速度 U_{*c} を○で表示し、粗度係数 n より求めた潤辺平均摩擦速度 $\bar{U}_*$ を実線で示した。また、 $\bar{U}_*$ から求めた水路中央摩擦速度 U_{*c} を△で示す。このとき U_{*c} の分布は大同¹⁾の与えた分布式を用いた。 U_{*c} と U_{*c} はおおよそ一致しており、粗度係数 n より求めた摩擦速度 U_{*c} が適切であることがわかる。

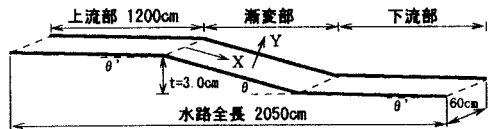


図-1 実験装置

表-1 実験条件

Exp. No.	ℓ (cm)	t (cm)	$\sin\theta'$	$\sin\theta$	h (cm)		Q (cc/s)
					$x=0$	$x=\ell$	
C1-25	100	3.0	1/2500	1/33	6.21	9.46	11500
C1-50	100	3.0	1/5000	1/33	6.44	9.55	8100
C1-75	100	3.0	1/7500	1/33	6.51	9.64	6700
C2-15	200	3.0	1/1500	1/64	6.17	9.62	14700
C2-25	200	3.0	1/2500	1/65	6.53	9.75	11500
C2-50	200	3.0	1/5000	1/66	6.71	9.77	8000
C2-75	200	3.0	1/7500	1/67	6.79	9.80	6600
C3-15	300	3.0	1/1500	1/94	6.01	9.66	14800
C3-25	300	3.0	1/2500	1/96	6.49	9.76	11200
C3-75	300	3.0	1/7500	1/99	6.72	9.80	6500
C4-15	400	3.0	1/1500	1/122	5.72	9.66	14500
C4-25	400	3.0	1/2500	1/127	6.04	9.63	11500
C4-50	400	3.0	1/5000	1/130	6.21	9.85	8100
C4-75	400	3.0	1/7500	1/131	6.35	9.70	6700

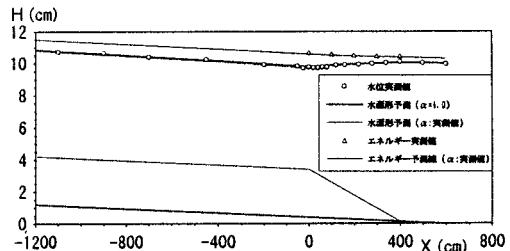


図-2 水面形 (C4-15)

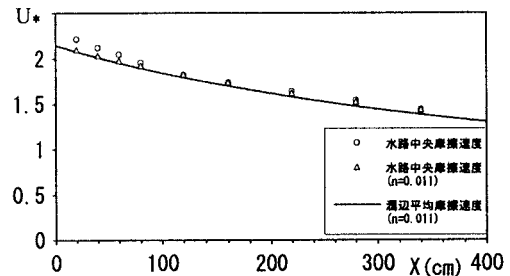


図-3 摩擦速度の流下方向変化 (C4-15)

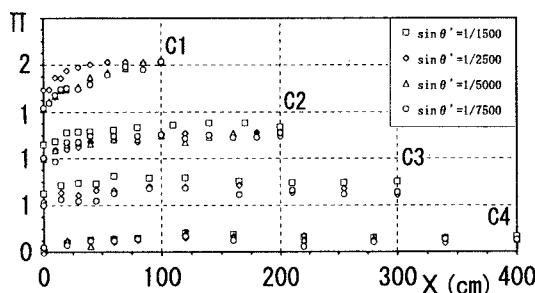


図-4 Πの流下方向変化

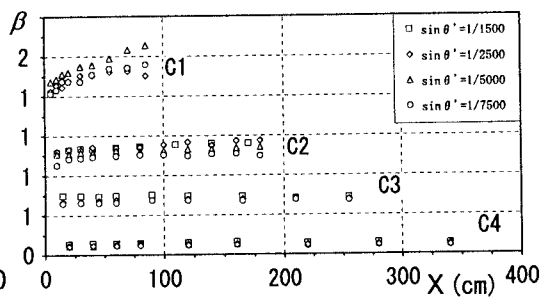


図-5 βの流下方向変化

図-4に log-wake 則を適用して算出した Wake strength parameter Π の流下方向変化を示す。同図は縦軸を1ずつシフトさせている。各シリーズとも Π は、 $0 < x < 80$ (cm)の範囲で内部境界層の発達に伴って増加する。その後、漸変部出口まではほぼ一定の値を取っており、流速分布形状が相似であることがわかる。

図-5に次式で示される無次元圧力勾配 β の流下方向変化を示す。

$$\beta = \frac{\delta_*}{\rho U_*^2} \frac{dp}{dx} = -\frac{g\delta_*}{U_*^2} \left(\sin\theta - \cos\theta \frac{dh}{dx} \right) \quad (2)$$

平衡境界層は流下方向について流速分布が相似で速度と長さスケールだけで決定されるような流れであり、式(3)の Rotta の平衡条件²⁾をみたすことで成立する。

$$\frac{U_*}{U_{\max}} = \text{const}, \quad \beta = \text{const}, \quad \frac{d(U_{\max} \delta_*/U_*)}{dx} = \text{const} \quad (3)$$

ここに、 $U_{\max}$ は最大流速、 δ_* は排除厚である。本実験においては、C2, C3, C4 シリーズの $80 \leq x < \ell$ (cm) の範囲で式(3)の条件をほぼみたしており、平衡状態であるといえる。

図-6に式(2)で示した無次元圧力勾配 β において排除厚 δ_* の代わりに水深 h を用いた β_t と Π の関係を示す。Kironoto³⁾は粗面上の不等流において β_t と Π に式(4)の関係が成り立つことを示した。

$$\Pi = 0.08\beta_t + 0.23 \quad (4)$$

各シリーズとも、式(4)によりほぼ近似できる。

図-7に粗度係数 n より求めた U_* と式(1)および式(2)から β_t を求め、さらに式(4)より算出した Π を用いて、平衡境界層における主流速分布を示す。縦軸は流下方向に10ずつシフトさせている。実験値を全く含まない主流速分布の予測値は、実測値とかなり一致していることがわかる。

4. おわりに

緩やかな逆圧力勾配($1.5 \leq \beta_t \leq 12$)を有する開水路流の流速分布は、平衡状態において粗度係数 n より求めた水路中央摩擦速度 U_* と水面形予測から求めた β_t より算出した Π を用いることで表現できる。

<参考文献> 1) 大同, JSCE, 1993 2) J. C. Rotta, 乱流, 1972 3) B. A. Kironoto, Doctoral Dissertation

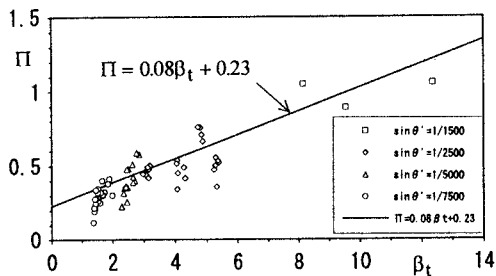
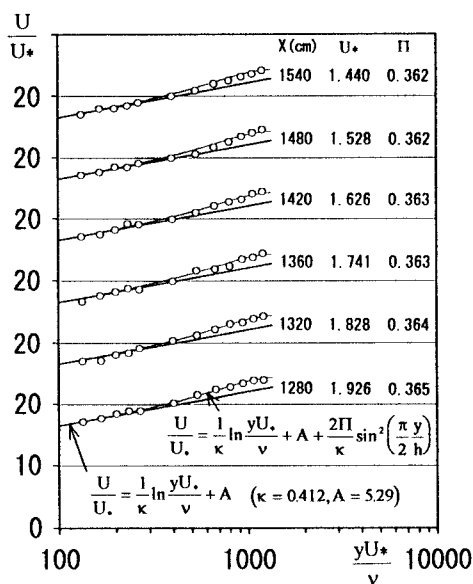
図-6 Πとβ_tの関係

図-7 主流速分布 (C4-15)