

長方形断面開水路における棧粗度上の流れ特性

長崎大学工学部 正 員 古 本 勝 弘

学生員 今 田 伸

学生員 松 永 史 仁

1. まえがき

開水路の流れは一様断面の直線部においても側壁の存在や粗度の非一様性など境界条件に応じた2次流が形成される。この2次流は主流速に比較すると微流速ではあるが、定常的に運動量を輸送して主流速の分布を歪ませるなど流れの3次元性を生み出す。滑面の長方形開水路流れの3次元構造については、禰津ら¹⁾の研究がある。本報告は棧粗度のある長方形開水路流れの2次流を中心とした計測結果を述べるものである。

2. 実験装置と方法

実験水路は長さ6m、幅10cm、高さ30cm、勾配 1.26×10^{-3} の直線開水路で、側面は7カリム製、底面は鋼製である。棧粗度は塩ビ板(2mm厚)を5x100mm幅に裁断したものをビニールテープに接着し、水路床に敷いた。流入端にはメッシュリソを置いて充分整流した。計測断面は流入端より4.2m下流である。流速測定には2チャンネルのFLV(カマックス社製)を用い、シードインク剤としてホスターカラー(シバー)を水に溶いて2m上流から注入した。流速計はレーザー光交差点を通過する粒子の速度 u (流下方向 x)、 w (垂直上向き z)を計測するシステムであるため、データの連続時系列としては得られない。1測点で流速信号1000個を取り込み、平均流速(U, W)、乱れ強度(u', w')、レイノルズ応力($-\overline{u'w'}$)を計算した。

3. 実験結果

実験の条件を表-1に示す。実験条件の主な差異は、No. 1は粗度無し、7x5x10mmの比(B/H)=2、No. 2は粗度有り、7x5x10mmの比=2、No. 3は粗度有り、7x5x10mmの比=4である。図-2に平均流 U の断面内分布、図-3に2次流のベクトル図を示す。ベクトル図の始点が測定点である。ベクトル図は計測された W から、連続式の積分($V = - \int_0^y (\partial W / \partial z) dy$)により V (横断方向流速)を計算し描いた。ただし、 $(\partial W / \partial z)$ は W の測定値を z 方向に5次多項式で最適近似しこれを微分した。また、測定点配置が粗であり、これで計算される V には y 方向に誤差が累積されるので、セクターラインに対し流れは対称として、 $y=B/2$ で $V=0$ の条件から誤差は按分した。ベクトル図で特徴的な点は ①側壁近傍の強い上昇流、②水面近傍の中央に向かう流れ、③粗度有り(No. 2, 3)では粗度なし(No. 1)に比べ渦の位置が水面に近ずき、2次流速が相対的に大である。水面近傍の流れは流速の小さな水体を中央に運び、 $z/H=5 \sim 6$ の側壁に向かう流れはより速い中央よりの水体を側壁側に送る。このために図-2の等流速線が水面に低速部、6割水深に高速部が張り出す形となるのであろう。図-4は鉛直線の U の分布を、No. 1は滑面の、No. 2は粗面の対数則に従って表示したものである。測定位置の底面摩擦速度 U_* は、底面近傍の流れは対数則に従うとして $z/H < 2$ における測定流速が次の式

$$U/U_* = 5.5 + 5.75 \log(U_* z / \nu) \quad (\text{滑面}) \quad (1), \quad U/U_* = 8.5 + 5.75 \log(z / k_s) \quad (\text{粗面}) \quad (2)$$

に最適に一致するように決めた。相当粗度 k_s はNo. 2, 3でそれぞれ19, 17mmであった。図-4で、水路床近くの内部層ではほぼ対数則に乗ると言えるが、隅角部近傍および外部層では単純ではない。No. 1では、 $y/H > 0.4$ における外部層で対数則より高速側にずれ、 $y/H < 0.3$ では側壁の影響により全水深で低速側にずれる。No. 2では全体として対数則より低速側にずれる。図-5(a)には、局所的底面摩擦応力を $\tau_b = \rho U_*^2$ で評価し、底面平均値 $\bar{\tau}_b$ との比で分布を示した。(b)には、側壁における摩擦応力 τ_s を壁近傍の U の水平分布から同様の方法でもとめて τ_s の分布を示した。 τ_s の複雑な変化は底面近くの2次流の影響と思われる。図-6に水路中央における乱れ強度の鉛直分布をその地点の U との比で示した。同図の実線は2次元流れにおいて禰津²⁾が求めた実験曲線である。No. 1について2次元流に比べ u' は小さく、 w' は大きく出ている。No. 2では全体的に小さい。この差異の原因はまだつかめていない。図-7に水路中央におけるレイノルズ応力の鉛直分布を示す。

4. まとめ

長方形断面開水路流れの流速を詳細に計測し2次流の様子を調べた。棧粗度が滑面の流れより2次流を強めると言えるようであるが、7x5x10mmの広い範囲の実験、測定点密度の高い実験がさらに必要である。

参考文献： 1) 禰津，中川：土木学会論文集，369/II-5，1986。 2) 禰津：土木学会論文集，261，1977。

表-1 実験条件

	H cm	B/H	Q l/s	U _m cm/s	U _{max} cm/s	U _* cm/s	l 10 ⁻³	Re	Fr
No.1(粗度無)	5.0	2.0	2.1	42	56	2.0	1.69	37000	0.60
No.2(粗度有)	5.0	2.0	2.0	40	51	2.2	1.93	34000	0.57
No.3(粗度有)	2.5	4.0	0.4	16	25	1.7	0.84	9500	0.33

$$U_* = \sqrt{g R l}$$

$$Re = U_m \cdot 4R/\nu$$

$$Fr = U_m/\sqrt{g H}$$

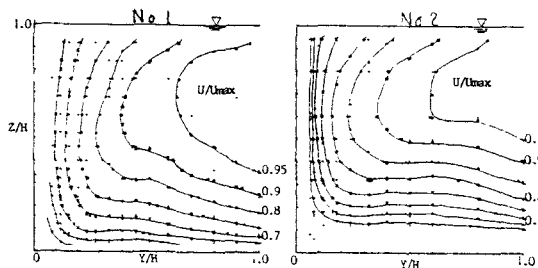
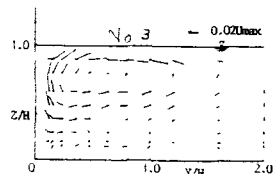


図-2

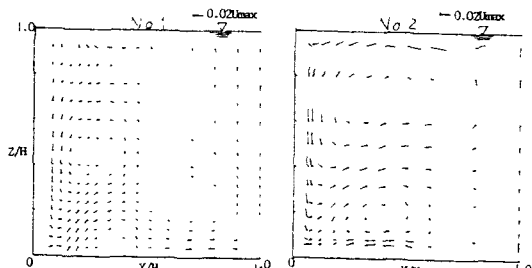


図-3

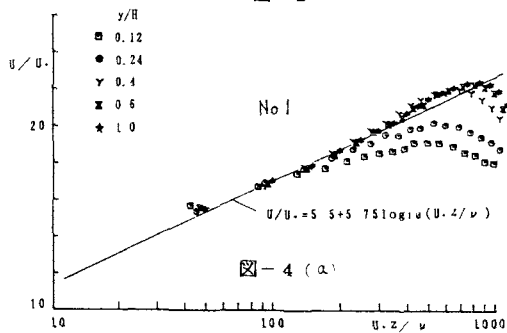


図-4 (a)

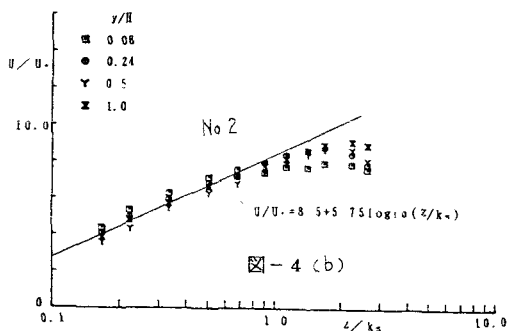


図-4 (b)

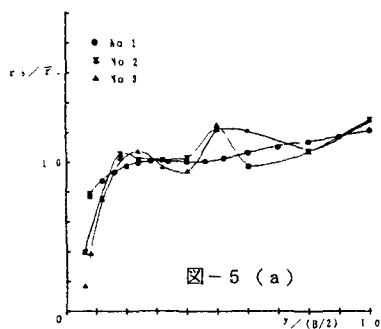


図-5 (a)

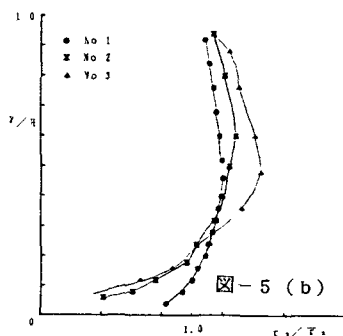


図-5 (b)

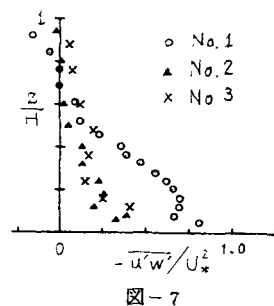


図-7

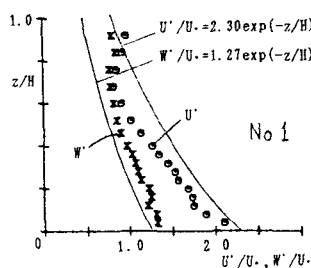


図-6 (a)

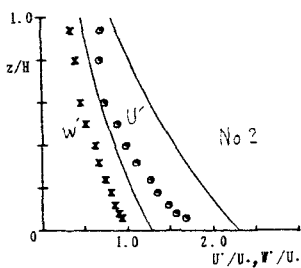


図-6 (b)

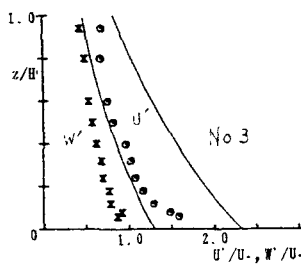


図-6 (c)

図-6