

II-137 台形断面開水路流の三次元特性について

群馬大学 学生員 中村悦由
 群馬大学 正員 富永晃宏
 前田建設工業 青木 淳

1. まえがき プリズムティックな開水路流では、側壁の存在によって三次元的となるが、ここで発生する二次流が流れの三次元構造に重要な役割を果たしている。長方形では図1に示すように、主流速 U が水面近くで減速されるのが特徴であり、これは図中に示したような二次流によって起こることが示されている¹⁾。河川では、台形断面のものがより一般的であり、堤防の洗掘や護岸や根固めなどの設計上の観点から重要と思われる。ここでは側壁の傾斜角を3通り変化させて、主流速および二次流の構造と壁面せん断応力分布の傾斜角による変化過程を調べた。(ただし、傾斜角 $\theta = 45^\circ$ については文献²⁾に発表済み)

2. 実験装置および方法 実験水路は、長さ12.5m、幅40cmの水路内に塩ビ製の傾斜側壁を設置して台形断面とした。側壁傾斜角は、 43.8° 、 59.8° および 32.2° の3通りで、それぞれTS0、TS1、TS2シリーズとし、TS0、TS1では水深を3通り、TS2では2通り変化させた。いずれも平均流速が35cm/s前後になるようにした。計測には、X型ホットフィルム流速計を用い、出力電圧はAD変換され一測点につき2048個のデータがパソコンで処理された。

3. 実験結果とその考察

(1) 主流速分布 図2は3種類の角度における主流速 U の等値線を底面幅と水深の比が約2となるものを(a)~(c)に、約4となる $\theta = 45^\circ$ のものを(d)に示す。長方形は $\theta = 90^\circ$ とみなし傾斜角による変化過程をみる。(a)の $\theta = 60^\circ$ では、 $\theta = 90^\circ$ でみられた水面での減速が存在しているが、減速の範囲は小さく側壁近くではほとんどなくなる。底面近くの分布は横方向の変化が小さく $\theta = 90^\circ$ とよく似ている。(b)の $\theta = 45^\circ$ になると水面での減速領域が存在しなくなる。等値線はコーナー近くの底面に向かって突出し、水路中央で上に凸となり横方向の変化が激しくなる。(c)の $\theta = 30^\circ$ では、 $\theta = 45^\circ$ の場合とほとんど同様の分布を示す。また、幅が広い(d)では水路中央付近が再び高速になり周期的な分布を示している。台形の場合はコーナー付近の流速が長方形に比べて大きくなるのがわかる。また、このような特性はIppenらの結果³⁾にも現れている。

(2) 二次流構造 図3は図2と同じケースの二次流ベクトル図を示したもので、わかりやすくするために二次流の概略のパターンを示し、A、B、C、Dと記号を付した。(a)の $\theta = 60^\circ$ では、側壁と水面の間に、水面で側壁に向かい側壁に沿って下降する $\theta = 90^\circ$ の水面縦渦とは逆向きの渦(B渦)が新たに発生する。コーナーから中央寄りには水面近くに水面縦渦に相当する渦(C渦)が存在している。底面近くに底面縦渦に相当する渦(A渦)が存在しているが、コーナーに向かって流れ込む特性が強くなるようである。(b)の $\theta = 45^\circ$ では、A渦が水面にまで達する水深規模の渦に発達し、コーナーへの

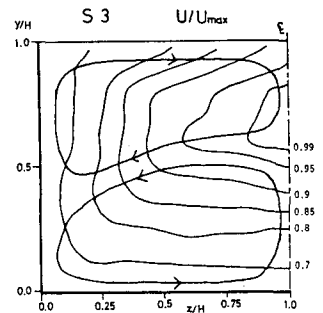


図1 Uの等値線(長方形)

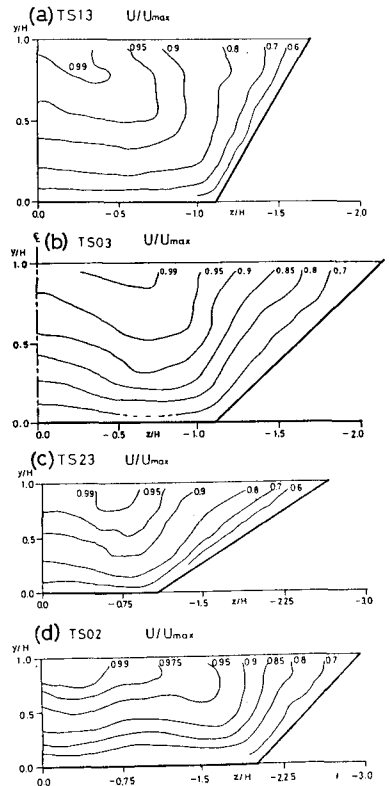


図2 Uの等値線(台形)

流れ込みと水路中央での上昇流が顕著になる。C渦は急激に減衰しA渦とB渦に挟まれた領域に存在するのみである。このことから主流速の水面での減速の消滅とコーナーから中央への変動が説明される。

(c) の $\theta = 30^\circ$ では $\theta = 45^\circ$ とほぼ同様であるがB渦がさらに発達している。(d) の幅の広い場合には $z/H > -1.0$ の中央領域に並列らせん流が認められ、これは $\theta = 90^\circ$ では明確でなかったものである。台形と長方形では二次流速の大きさは最大で約 $0.015U_{max}$ と同程度であるが台形ではVが大きくなったために、並列らせん流が発生しやすくなったものと推測される。

(3) 壁面せん断応力分布 局所的壁面せん断応力は、壁面に垂直な方向の壁面近傍の対数則から摩擦速度 U_* を評価しこれから求めた。底面、側壁、全潤辺の平均値およびエネルギー勾配による平均値をそれぞれ $\bar{\tau}_b$ 、 $\bar{\tau}_w$ 、 $\bar{\tau}_s$ 、 $\bar{\tau}_\theta$ としこの $\bar{\tau}$ より計算された Manning の粗度係数 n' とともに表1に示す。 $\bar{\tau}_\theta$ と $\bar{\tau}$ はおおむね一致する。 $\bar{\tau}_w/\bar{\tau}_b$ は、傾斜角による変化よりむしろ水深による変化が大きい。また n' は傾斜角が小さくなるほど小さくなる傾向にある。

次に、図4に長方形の図5に台形の潤辺に沿ったせん断応力分布を示す。ここにLは側壁の長さであり、図中の鉛直線がコーナーの位置を示す。B/H \equiv 2の底面上の分布をみると、傾斜角が小さくなるにつれてA渦の発達によってコーナー近くの数が増大し中央領域で減少して、コーナー近くにピークが現れる。このことは河道計画上十分に注意する必要がある。B/H \equiv 4ではD渦の発生によって中央付近が再び増大し周期的な分布となる。池田は

4) 移動床実験によって二次流による縦筋の形成を示したが、これと対応している。

側壁上の分布は、台形では底面近くにピークが現れ、傾斜角が小さくなるにつれてコーナー近くの数が増大するようである。底面から水面に向かっては始めは緩やかに減少した後水面近くで急激に減少する。

《参考文献》1) 冨永、江崎：土木学会論文集第317号/II-3、1985、2) 冨永、江崎：第30回水理講演会論文集、1986、3) Ippen, A. T. & Drinker, P. A. : ASC E, HY5, 1962, 4) Ikeda, S. : ASCE, HY4, 1981

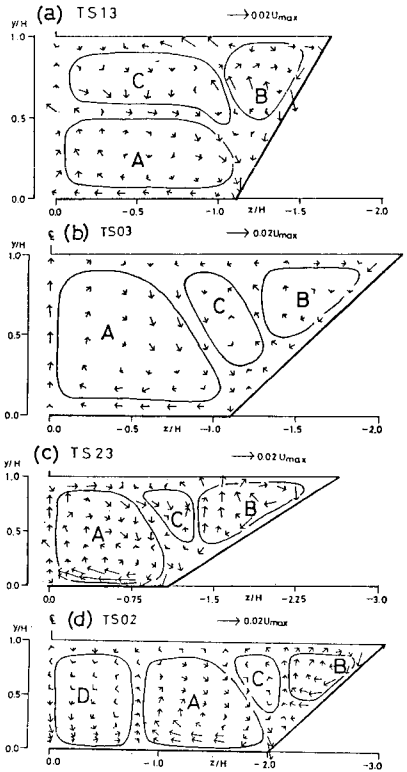


図3 二次流ベクトル図

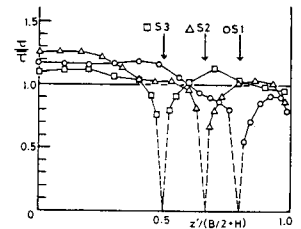


図4 壁面せん断応力分布 (長方形)

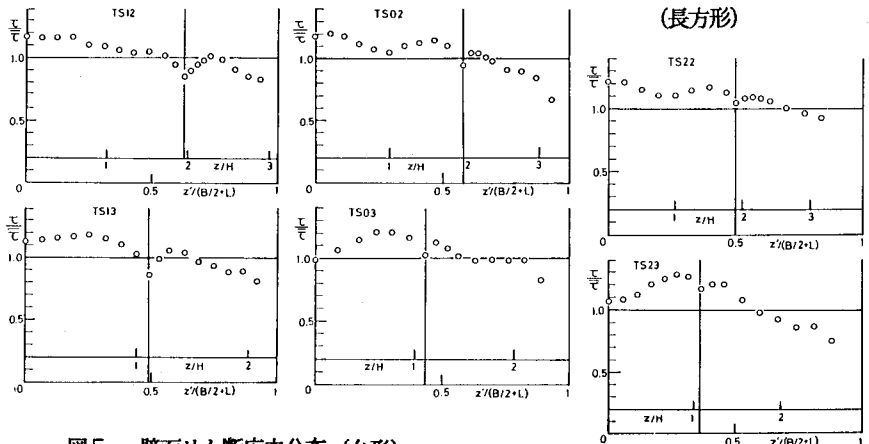


図5 壁面せん断応力分布 (台形)

表1 平均せん断応力

	H (cm)	τ_θ ($\times 10^3$)	$\bar{\tau}$ ($\times 10^3$)	$\bar{\tau}_w$ ($\times 10^3$)	$\bar{\tau}_s$ ($\times 10^3$)	$\bar{\tau}_\theta/\bar{\tau}$	n'
TS11	3.13	—	3.246	3.499	2.378	0.680	0.0096
TS12	6.36	3.075	3.322	3.639	2.787	0.766	0.0099
TS13	11.00	2.691	2.415	2.735	2.109	0.771	0.0105
TS01	3.36	3.672	3.496	3.868	2.720	0.706	0.0092
TS02	5.01	3.668	3.487	3.917	2.893	0.739	0.0092
TS03	9.05	3.428	3.103	3.513	2.790	0.794	0.0093
TS22	4.00	—	3.300	3.779	2.815	0.745	0.0085
TS23	7.12	2.856	2.325	2.762	2.076	0.752	0.0088