

II-171

複断面開水路流の三次元乱流構造

群馬大学工学部 正 員 富永 晃宏
群馬大学工学部 正 員 江崎 一博
建設省 正 員 中村 悦由

1. まえがき 複断面流れは、低水路と高水敷の接合部において、運動量の交換が活発に行われ大きなせん断応力が発生している。その様相は、水面でみられる鉛直軸を持った大規模渦と接合部付近から間欠的に上昇する流れによって特徴づけられる¹⁾。実用面での関心は、低水路と高水敷の接合面に発生するせん断力の評価に向けられているが、これと複断面の渦構造との関係は明らかではない。そこで本研究は、複断面流れの二次流構造と乱流構造を詳細な点計測によって明らかにしたものである。

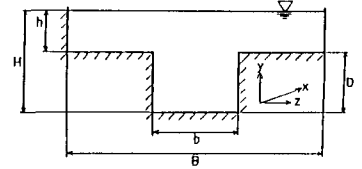


図-1 実験水路断面図

表-1 実験条件

CASE	Dis-charge Q (l/s)	Total flow depth H (cm)	Flood plain height D (cm)	Total width B (cm)	Main-channel width b (cm)	Mean velocity U _m (cm/s)	Maximum velocity U _{max} (cm/s)	Reynolds number Re	Froude number Fr
CH01	8.19	10.03	5.01	39.0	8.7	34.35	42.19	5.09×10^4	0.346
CH02	4.59	7.63	5.01	39.0	8.7	32.54	42.06	3.25×10^4	0.376
CH03	3.26	6.58	5.01	39.0	8.7	31.39	45.91	2.38×10^4	0.391
CH11	9.12	10.01	5.01	39.0	18.8	21.56	40.76	5.44×10^4	0.317
CH12	5.38	7.62	5.01	39.0	18.8	27.32	38.50	3.50×10^4	0.316
CH13	5.04	6.61	5.01	39.0	18.8	31.99	44.01	3.43×10^4	0.397

2. 実験装置および方法 実験水路は、幅40 cm、長さ12.5m の水路内に、幅10cm、高さ5cmの鋼製チャンネルと一辺5cm の正方形断面の鉄製ダクトを用いて、高水敷の幅が約10cmと5cmの二種類の図-1に示すような複断面水路を設定し、それぞれ水深を3通り変化させ、その

実験条件を表-1に示す。流速はx型ホットフィルム流速計を用いて計測し、サンプリング周波数50Hzで一測点につき2050個のデータを得た。

3. 実験結果とその考察

(1) 二次流速・・・図-2にそれぞれの二次流ベクトル図を示す。まず全体に共通する特徴として、低水路と高水敷の接合部から斜めに上昇流

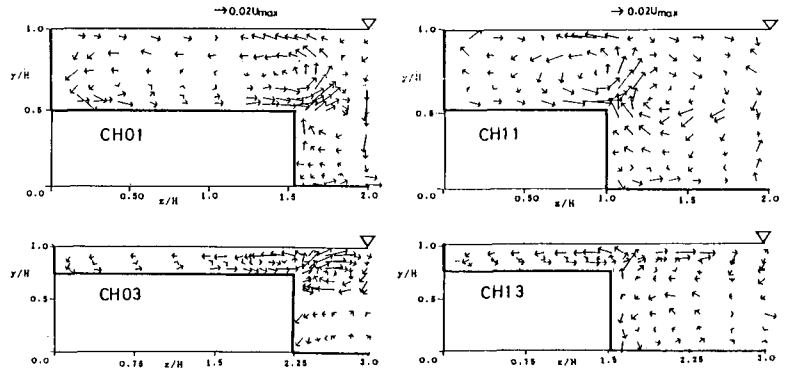


図-2 二次流ベクトル図

が存在し、高水敷全体に及ぶ渦、これより低水路側の渦および低水路コーナー近くの渦が認められ、複断面特有の二次流構造を形成している。この結果は、今本、久下の結果²⁾と傾向が一致している。二次流速の大きさは滑面の長方形断面の場合の2倍以上大きく、最大で U_{max} の3～3.5%程度に達している。水深が大きい場合、高水敷の側壁近傍に長方形断面でみられた水面縦渦³⁾が認められるが、水深の減少とともにみられなくなる。また、低水路幅の違いによる影響は本実験の範囲ではあまり顕著でないが、CH01では低水路側の渦が水面にまで達していない。

(2) 平均主流速・・・図-3に、平均主流速 U の等値線を示す。CH01では接合部付近の等値線が上方に張り出しこの領域が低速になり、この接合部より高水敷側および低水路下側で等値線が壁に張り出しこの領域が高速になる。このような特徴は先述

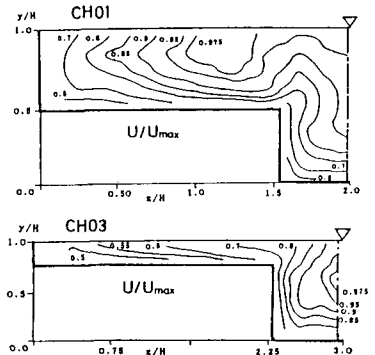


図-3 平均主流速の等値線

の二次流の構造とよく対応している。水深が小さいと低水路水面付近がかなり減速され、最大流速点が水面より下に現れる。また高水敷上が相対的にかなり低速となり、接合部付近で一旦減速する傾向が認められなくなる。

(3) 乱れエネルギー・・・乱れエネルギー $k = (u'^2 + v'^2 + w'^2)/2$ の等値線を図-4に示す。等値線の形は、主流速のものと同様の特徴が認められ、二次流との対応関係が明確である。すなわち、 k は接合部付近で増大する。また、 k の最小値はほぼ最大主流速の位置に現れていることがわかる。ただしCH03では、接合部付近で主流速の減速が認められなかったが、 u' はこの部分で極大値が現れている。

(4) レイノルズ応力・・・図-5、図-6にレイノルズ応力 $-\overline{uv}$ および $-\overline{uw}$ の等値線をそれぞれ示す。 $-\overline{uv}$ は、接合部より低水路側に負の領域が現れ、水深が小さいほど範囲が広がる。この領域はほぼ $\partial U/\partial y < 0$ となる領域と一致し、また低水路側の二次流の存在範囲に対応している。この負の領域より高水敷側に極大となる領域が存在し、これは水深が大きいほど顕著である。 $-\overline{uw}$ は水深が大きい場合に接合部付近の高水敷上に負の領域が現れるが、CH03ではみられず、これも $\partial U/\partial z$ との関係が認められる。また、接合部より低水路側には極大となる領域が存在している。

4. 横断方向の運動量輸送 流れに平行な鉛直面に働く見かけのせん断応力 τ_{av} は、二次流による輸送を考慮すると次のように表される。

$$\tau_{av}/\rho = (1/H') \int_0^{H'} (-\overline{uw}) dy + (1/H') \int_0^{H'} (-UW) dy \quad (1)$$

ここで H' は底面から水面までの距離であり、各項の分布を実験値から求めた結果を図7に示す。高水敷上の接合部付近で二次流によるせん断応力項が卓越し、低水路から高水敷への運動量輸送には二次流が大きな役割を果たしていることがわかる。接合部から低水路に入ったところで乱れによるせん断応力項が増大しピークを取り、二次流による項は急激に減少している。 τ_{av} のピークの値はCH01で平均せん断応力の約1倍、CH03では約3倍となっている。

5. あとがき 複断面開水路の二次流構造および乱流構造が実験によって明らかにされ、接合部付近において二次流の効果が大きいことが示された。今後はさらに断面形状の影響と、運動量輸送機構の定量的な検討を行いたい。最後に本研究は文部省科学研究費（奨励A、課題番号560360135530）の補助を受けたことを記して謝意を表します。＜参考文献＞1) 福岡ら：第30回水講、1986、2) 今本、久下：京大防災研年報第17号B、1974、3) 富永、江崎：土木学会論文集第357/II-3、1985。

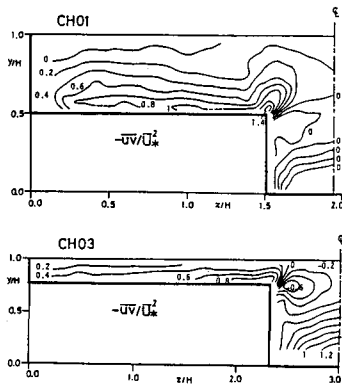


図-5

レイノルズ応力 $-\overline{uv}$ の等値線

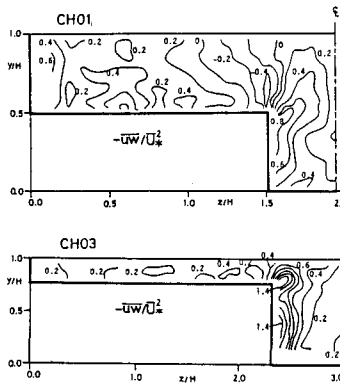


図-6

レイノルズ応力 $-\overline{uw}$ の等値線

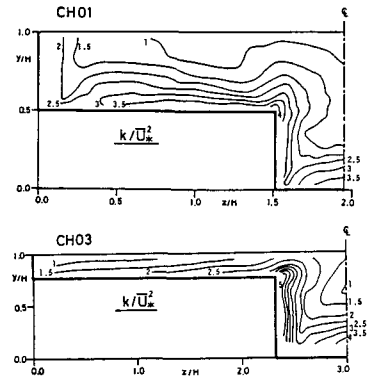


図-4 乱れエネルギーの等値線

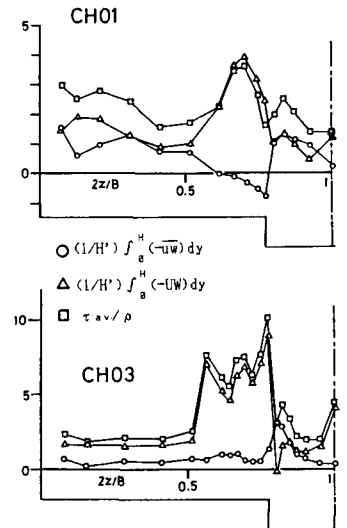


図-7

見かけのせん断応力の分布