

京都大学工学部 正 員 中川博次 京都大学工学部 正 員 橘津家久
京都大学大学院 学生員 佐伯賢一 京都大学大学院 学生員○阿部 崇

1.はじめに 複断面河道の流れは、単断面河道の流れと異なる特性を示し、その抵抗予測には複断面河道内の乱流特性を十分考慮する必要がある。本研究は、複断面流れを支配する低水路幅及び水深を系統的に変化させ、平均流速・乱れ強度、あるいは壁面せん断応力等の分布を求め、高水数と低水路の間の流れの相互作用を解析し、複断面河道に関するせん断抵抗力を考察するものである。特に、本研究は、高水数の水深が浅い場合を注目した。

2.実験概要 実験水路は、長さ8m、幅30cm、高さ20cmの亚克力板製の可変勾配型循環水路である。乱流計測は、KANOMAX-TSI社の2ビームレーザー・ドップラー流速計を用いて行い、実験水路の上流端から5mの所に設置した。座標系を図-1に示す。本実験の水理条件を表-1に示す。レーザー流速計の計測位置は、水路左岸方向より非対称複断面に関して各ケースとも測点を200~400点ほど設定した。測点のトラバースは格子状にし、高水数端部や各壁面近傍をとりわけ密に設定し、高精度に計測した。そして、

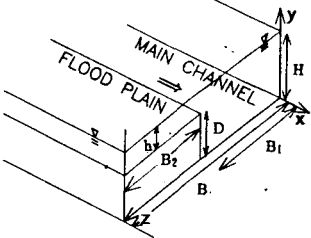


図-1 座標系

CASE	I_s	B	B_1	H	D	B_1/B	H/D	Q
B11	1/1000	300	100	60.00	50	0.3333	1.200	2.5213
B12				66.67			1.333	3.4870
B13				100.0			2.000	4.1519
B14			200	60.00		0.6667	1.200	4.0875
B15				66.67			1.333	4.3158
B16				100.0			2.000	4.5979

長さの単位は [mm]

表-1 水理条件表

得られたAD変換データを京都大学大型計算機センターに入力し、種々の乱流計算を遂行した。

3.平均流速成分 平均流速Uのコンターを、図-2に示す。各ケースとも等流速線が、高水数と低水路の接合部のエッジから自由水面に向かって突出した分布形状をなし、その両側で逆に壁に向かって突出していることがわかる。すなわち、接合部において流れが著しく混合し、減速されるが、それは従来の研究より指摘される斜昇流と呼ばれる2次流による低運動量の乱流輸送によるものである。この2次流が渦を形成し、壁に向かう流れが生じて、両側の突出特性を示すものと考えられる。高水数水深の浅い場合には、等流速線の上方向への突出はあまり見られなかった。次に、図-3に平均流速分布を低水路(Main Channel)と高水数(Flood Plain)とに区別して、片対数表示し、式(1)で表される対数則との適合性を検討した。

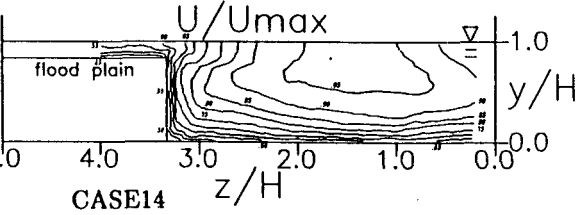


図-2 平均流速のコンター図

CASE11 Main Channel

z/B=0.327 $U_a = 1.78$
z/B=0.317 $U_a = 1.92$
z/B=0.300 $U_a = 2.05$
z/B=0.283 $U_a = 2.08$
z/B=0.267 $U_a = 2.05$
z/B=0.233 $U_a = 2.04$
z/B=0.200 $U_a = 2.12$
z/B=0.133 $U_a = 2.10$

Flood Plain

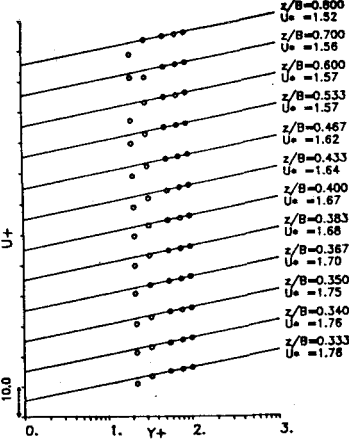


図-3 平均流速の対数測

$$\frac{U}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{y}{H} + A \quad (1)$$

ここで、カルマン定数 κ は、 $\kappa=0.41$ の普通定数である。¹⁾式(1)から摩擦速度 U_* が決定された。なお、高水数では高水数底面からの距離で y を計っている。図-3に示すように、低水路及び高水数とも対数則と良好な一致が見られたが、図-2のコンターにも見られたと同様に、接合部に近づくにつれて、流速が減速する傾向がよくわかる。

4. 乱れ強度分布 図-4に、乱れ強度のコンターを、図-5に鉛直方向の乱れ強度分布を示す。図中の実線は、橋津(1977)²⁾による次式の半理論曲線で、少なくとも乱流域では普遍関数表示されている。

$$\frac{u'}{U_*} = 2.3 \exp\left(-\frac{y}{\delta}\right) \quad (2)$$

ここで、境界層厚 δ として低水路水深 H を、あるいは高水数水深 h を採用した。低水路では、水路幅方向で接合部に近づくにつれて、乱れ強度の値が理論曲線より上方にずれていくのが見られる。

図-5 乱れ強度の普遍表示

5. 壁面せん断応力 各ケースの壁面せん断応力 $\tau = \rho U_*^2$ の分布の相違を図-6,7に比較する。ここで、 τ_m は、河床の平均値であり、 τ を無次元化している。低水路の高水数側の側壁付近で値が小さくなるのが共通して見られるが、これは隅角部における2次流の特性である。水深の浅い場合($h/H \rightarrow 0$)ほど、高水数から接合部に近づくにつれて、せん断応力が大きくなるのがわかる。実河川の洪水発生時において、高水数上へ水位が乗り上げた時の流水抵抗が、高水数上の接合部寄りに最も影響が及びやすく、水位が上がるにつれて、高水数上にまんべんなく影響を受けていくものと推測される。水深による比較では、水深の浅い場合において低水路と高水数間とで抵抗に大きな差があるのに対し、水深が大きくなるにつれてその差が縮まり、 $h/H=0.5$ になると、低水路と高水数間の抵抗にほぼ差がなくなることがわかった。

6. おわりに 複断面河道の高水数上の水深が浅い場合に注目して、その抵抗特性を述べてきたが、本研究は滑面の河道で行われており、今後、実河川なみに高水数上に粗度や植生をとりつけてその影響や2次流構造の解析を行っていきいたい所存である。

参考文献

- 1) Tominaga, A. and Nezu, I.: Turbulent Structure in Compound Open Channel Flows, J. Hydr., ASCE, Vol. 117, pp. 21-41, 1991
- 2) 橋津家久: 開水路乱流の乱れ強度に関する研究, 土木学会論文報告集, 第261号, pp. 67~76, 1977

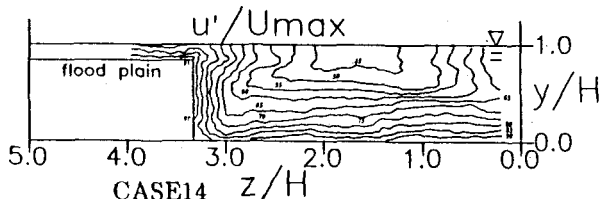
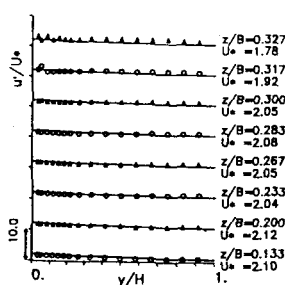


図-4 乱れ強度のコンター図

CASE11

Main Channel



Flood Plain

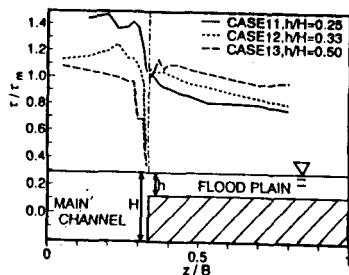
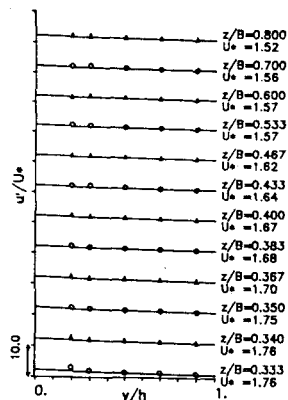


図-6 壁面せん断応力分布 ($B_1/B=0.3333$)

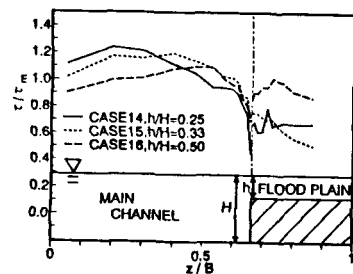


図-7 壁面せん断応力分布 ($B_1/B=0.6667$)