

第Ⅱ部門

洪水高水敷流を伴う蛇行流れの水利特性に関する実験的研究

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○HoangDuc Quang
 京都大学大学院工学研究科 フェロー会員 禰津 家久
 京都大学大学院工学研究科 正会員 山上 路生
 京都大学大学院工学研究科 学生員 土井 智礼

1. はじめに

洪水時の蛇行河川の多くは高水敷のある複断面蛇行流れとなり、単断面蛇行流れと異なって、かぶり高水敷上流れが低水路内に流入する。その結果、流れ場は複雑な3次元構造となる。このような流れの水利特性を解明することは河川工学上および水防災学上重要である。そこで本研究では、かぶり流れの影響を大きく受ける低水路内を対象にして電磁流速計を用いて詳細な3次元計測を行うことにより高水敷を有する蛇行開水路流れにおける基礎水利特性を明らかにした。特に、直線から蛇行への形状変化が流れに与える効果や低水路内流れと高水敷上の流れの相互作用を考慮しながら、複断面蛇行流れにおける2次流の流下方向変化をはじめとして、主流速と底面せん断応力分布の関係などを考察した。

2. 実験方法と水利条件

本実験では、都市内河川のように高水敷が比較的整備されている蛇行河川を想定して低水路の底面は平均粒径2.0mmのビーズを貼り付けて粗面とし、高水敷は滑面とした。表-1に水利条件を示す。Dは高水敷高さ、 B_m 、 B_{fl} 、 B_{fr} はそれぞれ直線部における低水路幅、左岸高水敷幅および右岸高水敷幅である(図-1)。Hは低水路河床からの水深、Qは流量、 U_m は直線部での断面平均流速、Sは低水路の蛇行度、 k_s は等価砂粗度である。図-1に計測区間を示す。水路の全幅は1mであり、この中に幅 $B_m = 20\text{cm}$ の低水路を設置した。なお、低水路の中心線はサインカーブとなるように設定した。流下方向の21断面を計測対象とした。これらの断面位置はサインカーブの位相 ϕ で定義する。yは鉛直座標で路床が粗面であるため、粗度頂部から $\delta = k_s/4$ 下方を仮想原点($y=0$)とした。zは横断方向座標で左岸高水敷の側壁左端を原点($z=0$)とする。z'は各計測面に沿う横断方向座標で、低水路と左岸高水敷の境界部を原点($z'=0$)とし、低水路内においてはこれに直交するようにとった。また、本研究では直径4mmのI型およびL型プローブの電磁流速計を用いて流速3成分u、vおよびwを乱流計測した。

表-1 水利条件

Q (l/s)	U_m (cm/s)	D (cm)	B_m (cm)	B_{fl} (cm)	B_{fr} (cm)	H (cm)	H/D	S	k_s (mm)
7.51	25.5	4.75	20.0	20.0	60.0	6.75	1.42	1.09	0.20

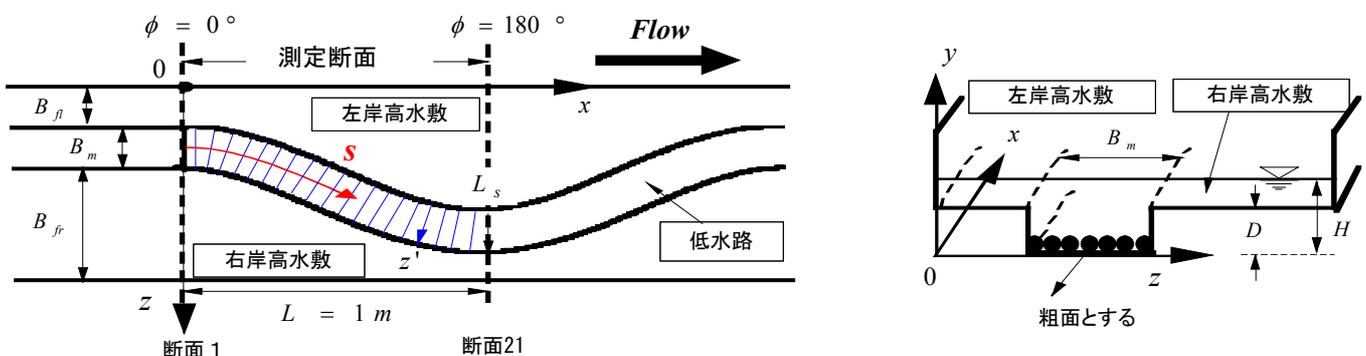


図-1 実験水路

3. 実験結果と考察

低水路領域の主流速分布を図-2に示す。図は横軸を ϕ にして座標変換して表示してある。図からわかるように底面付近($y/D=0.2$)では蛇行の内岸側に高速領域が存在する。これは後述する2次流によるものであり、内岸側に高速の運動量が輸送されるためである。かぶり領域($y/D=1.21$)ではこのような2次流の影響は小さく、蛇行頂点における横断方向の分布の偏りは少ない。一方 $\phi=90^\circ$ を中心に低速分布が広がっているが、これは高水敷上の流れと交差するためである。

図-3に蛇行部の断面ごとの2次流ベクトル分布を示す。高水敷流れと低水路流れのクロス影響が現れ始める $\phi=54^\circ$ 付近では、反時計回りの渦が見られる。この渦は単断面蛇行流れに見られる遠心力に起因する2次流とは逆の回転方向を有する。これはShiono & Muto¹⁾と同様の結果である。この渦は流下に従ってスケールアップしながら発達し、蛇行頂点部($\phi=180^\circ$)では低水路の中央まで領域を拡大することがわかる。 $\phi=45^\circ$ からの領域は高水敷上のかぶり流れが低水路内に流入する効果が顕著となり、その結果、外岸向きの強いせん断が生じるためである。これらの2次流構造の特性は洪水流を伴う蛇行複断面流れに特有のものである²⁾。

図-4は、低水路内の底面せん断応力 τ_w の分布を示す。底面せん断応力は、その最大値 $\tau_{w,max}$ で無次元化している。なお、 τ_w は対数則から評価した。図から明らかに、底面付近の主流速と同様に低水路内では内岸側から内岸側に結ぶように、 τ_w の大きな領域が現れ、既往研究と同じ結果を得た。これは流入口付近では、底面近傍では蛇行形状によって、流れが外岸壁に衝突し、内岸側より流速が小さくなるためである。一方、蛇行頂点付近($\phi=180^\circ$)では発達した2次流によって内岸側に高速流が集中した結果、 τ_w が大きくなることを考える。このような τ_w が大きくなる場所は洗掘が起こりやすい領域となり、河川工学的には危険な領域といえる。

4. おわりに

本実験の結果から複断面蛇行流れにおける2次流および底面せん断応力分布の流下方向の変化特性を明らかにした。今後はPIVを用いて水平渦と2次流の関連特性と移動床場における洗掘特性と流れ場の関係について解明していきたい。

参考文献 1) Shiono and Muto *J. Fluid Mech.*, Vol.376, pp.221-261, 1998.

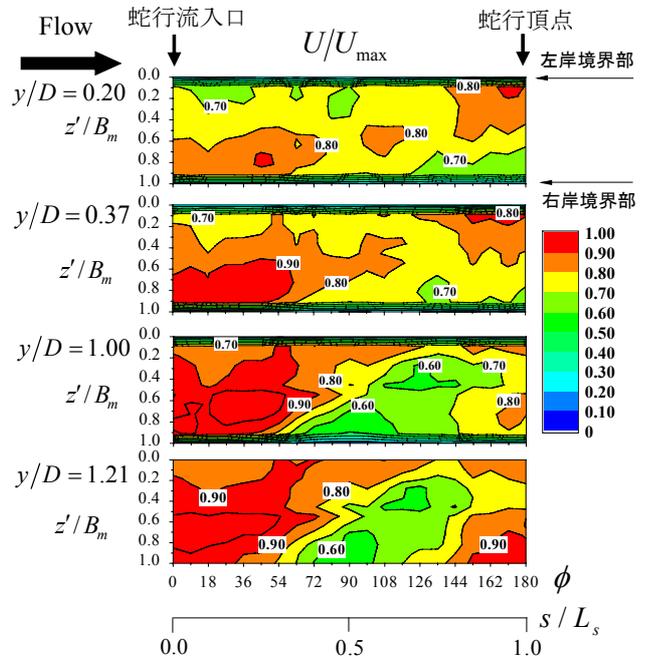


図-2 主流速分布のコンター

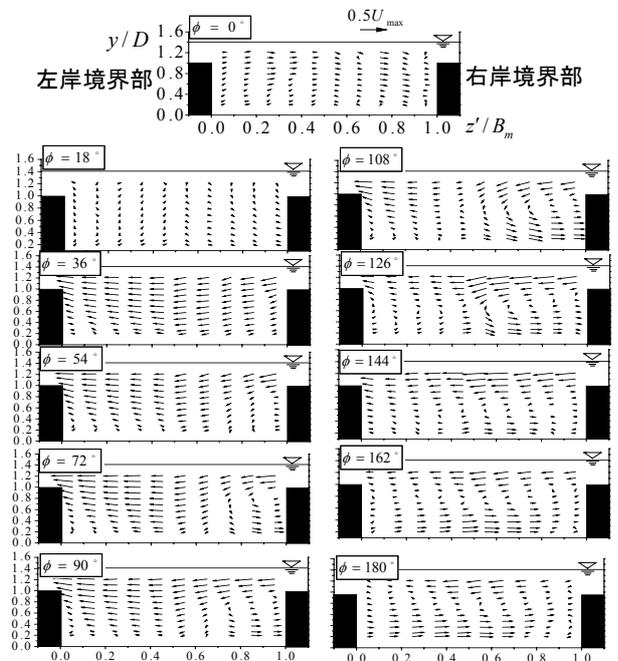


図-3 2次流ベクトル分布

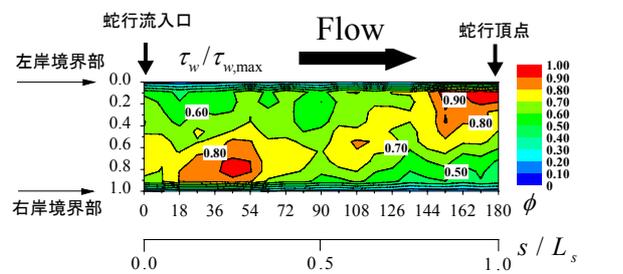


図-4 底面せん断応力分布

2) 禰津家久, 山上路生, 若元洋樹, 土井智礼, 土木学会論文集, 2005年5月号, (印刷中)