

1. はじめに

近年、環境への意識の高まりから河川管理においても自然環境保全、復元の取り組みとして多自然川づくりが注目されるようになり、わんどのような河岸凹部は水辺の生物の生息域として保全されたり人工的に設置されたりしている。河岸凹部は河道の急拡の影響による土砂の堆積やその結果として水質悪化などが問題となっている。そこで本研究では、本川に水制を置いた場合における凹部の流れに与える影響について考える。水制によって本川の流れ構造、流速を変化させた時の凹部域内での水理特性に関して PIV 計測により検討した。

2. 実験方法

実験水路は、長さ 7.5m、全幅 0.3m の勾配可変開水路を用いた。側面はガラス張りで、レーザー光の反射を防ぐために、全水路底に黒く塗った塩化ビニル板を敷いている。水路勾配は水路下流 6m 地点にある自動昇降装置により調節した。これらの実験条件を表-1 に示す。左岸側を奥行き 10cm、高さ 6.3cm の塩ビ板を設置することで高水敷をつくり、上流端の整流域から 3m の位置に開放区を設け、開口部長さ 20cm、奥行き 10cm アスペクト比 2.0 の凹部域とした。水制モデルは、長さ  $l=5.0\text{cm}$ 、高さ  $d=4.0\text{cm}$ 、幅  $b=1.0\text{cm}$  のアクリル直方体を用いた。なお、水制モデルの配置例として case2 の配置図を図-1、各実験ケースの水制配置条件を表-2 に示す。

流量はインバータモーターにより調節している。また、水深は非越流時が 3.5cm、越流時は 6.0cm となるよう流量と下流の堰上げを調節した。PIV 計測の流れの可視化には、直径 80 ミクロン、比重 1.02 のナイロン樹脂粒子を用い厚さ約 3mm のシート状にしたアルゴンレーザー光を開水路水平断面および鉛直断面に照射した。

レーザーシートの照射位置は、水平断面は非越流時には 0.5cm 間隔で 6 断面 ( $z=0.5 \sim 3.0\text{cm}$ )、越流時には 0.5cm 間隔で 11 断面 ( $z=0.5 \sim 5.5\text{cm}$ )、鉛直断面として 10 断面 (右岸から 4.0, 7.0, 11.0, 14.0, 17.0, 22.0, 26.0, 28.0cm) を設定した。この可視化画像は高速度カメラ (ライブラリー) を用いて 1/200s で撮影した。画像計測には FlowExpert (カトウ光研株式会社) PIV ソフトを用いて相互相関法により流速計測を行い、3200 データ 16 秒間平均値を流速ベクトルデータとした。

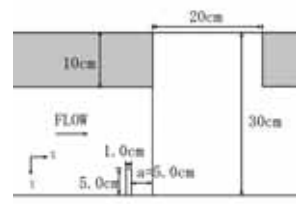
3. 実験結果と考察

図-2 に水深  $h=6.0\text{cm}$  の越流時、水平断面  $z=2.0\text{cm}$  の case5、6 および 8 の 16s 間平均流速ベクトルを示す。水制により

	Q (l/s)	h (cm)	B (cm)	Um (cm/s)	Fr	I
非越流時	0.82	3.50	20.0	11.7	0.20	1/2000
越流時	2.10	6.00	20.0	17.5	0.23	

表-1 実験条件

表-2 実験ケース



case	水制間隔 a(cm)	水深 h(cm)
1	水制なし	3.5
2	5	
3	15	
4	25	
5	水制なし	
6	5	6.0
7	15	
8	25	

図-1 水制配置図

水はねと背後のはく離

領域が見られ、凹部域の主水路流速が加速されているのがわかる。この領域の流れには水制の位置により違いが見られ、上流 5cm に設置した case6 では、水制による加速流が発達段階にあり、凹部に向かう横断流速が見られるのに対し、上流 25cm に設置した case8 では、流れが横断方向に発達しており、ほぼ流下方向に平行な流れになっている。

凹部内では中心を  $x=13.0\text{cm}$ 、 $y=5.0\text{cm}$  付近に持つ反時計回りの大きな水平渦がすべてのケースで見られる。水平渦の中心は下流側に偏っており、水平渦壁面近くで流速が速くなり、中心では遅くなる。凹部内上流側では case5 は淀みが出来ているが、case6 では水平渦が凹部全体に及んでいることが分かる。水制を設置したケースでは主流の凹部内への入り込みが大きく、特に case6 では、横断流速が大きいことから、この傾向が強く表れている。このように主流域の加速により凹部内の再循環流は水制がない場合に比べて非常に強くなっている。

次に凹部境界 ( $y=9.75\text{cm}$ ) の鉛直断面の横断方向流速  $v$  のコンターを図-3 に示す。凹部境界では主に下流から流入して上流から流出していく様子がわかる。case6 で最も流出、流入ともに速くなっているのが分かる。また、流れ構造も上層では上流側からも流入が確認でき、流出は下層で強くなっていることがわかる。case8 では流出が中層から上層にかけて強くなっており、流入は下層で最も強くなっている。このように水制距離  $a$  によって凹部への水交換の流れ構造が変化することがわかる。

主流方向流速  $u$  の水平断面コンター ( $z=2.0\text{cm}$ ) を図-4 に示す。凹部内では左岸側の壁面で逆流が見られる。越流のケースでは水制距離  $a$  が短いほど壁面での速い流速の逆流がみられ凹部上流側まで達している傾向があった。

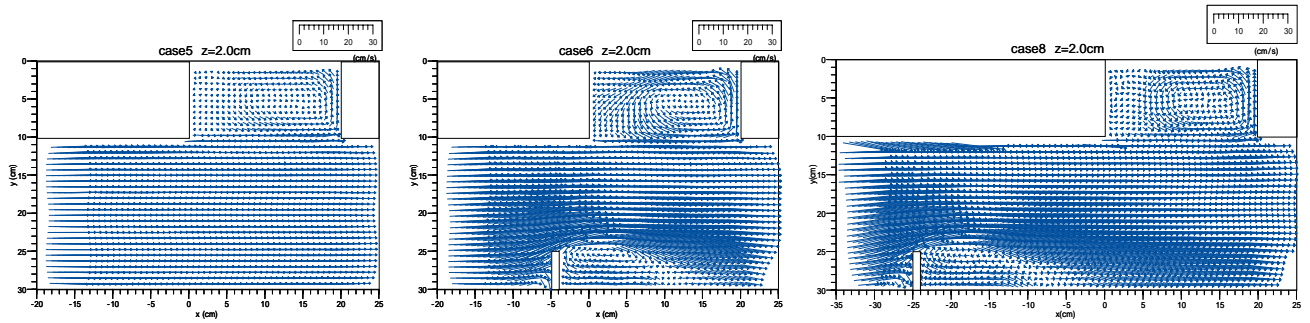


図-2 平面流速ベクトル図(z=2.0cm)

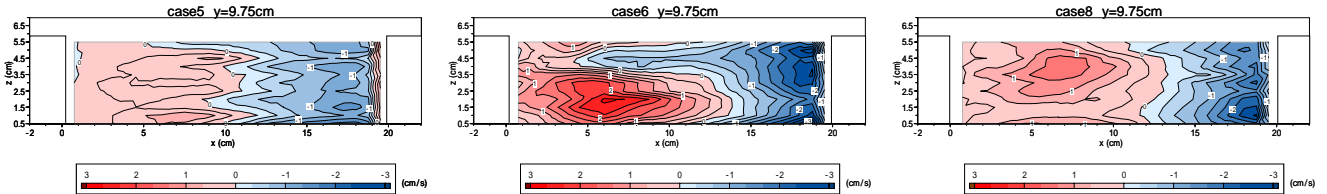


図-3 鉛直断面横断方向流速コンター(y=9.75cm)

横断方向流速  $v$  の水平断面コンター( $z=2.0\text{cm}$ )を図-5に示す．凹部上流で強い流出，下流側で強い流入する流れが見られる．case6 では強い流出が境界付近で見られ，case8 では凹部の中央で強い流出が見られる．また，水制の水はねによる横断流速を見てみると case6 では凹部域内の主水路で凹部に向かう流速が見られる．case8 では水制と凹部が離れているためか水はねの影響は凹部域内では確認することができない．

凹部上流端付近の主水路( $x=0.75\text{cm}, y=11.25 \sim 15.75\text{cm}$ )での主流方向流速を平均化した  $u_s$  を図-6に示す．非越流および越流のケースで水制を設置することにより水制がないケースより非常に流速が速くなっている．非越流のケースを見ると水制距離  $a$  が長いほど流速  $u_s$  が大きくなることわかる．非越流のケースでは越流に比べて水制のはく離領域が長いいため水制距離  $a$  が短いケースでは水制の水はねした流れの加速が凹部域の主路上流端ではまだ発達段階にあるためと考えられる．一方，越流のケースを見ると case6,7 が同程度の流速が見られ速くなっている．越流のケースでははく離領域が短い流れの発達が早く，case8 ではピークを過ぎて case6,7 より流速が遅くなったと考えられる．

凹部内の合成流速  $u_a$  と主路上流端での主流方向流速  $u_s$  との関係を図-7に示す．越流ケース，非越流ケースともに正の相関関係が認められる．これにより主水路での流速が速いほど凹部内の流速が速くなる傾向があると考えられる．非越流では水制距離  $a$  が最も長い case4，越流では水制距離  $a$  が最も短い case6 が凹部内の合成流速が最も速くなることわかる．

#### 4. おわりに

水制の配置の仕方により凹部域内の流れ構造，循環流の強さについて知ることができた．水制の配置位置により凹部の流入，流出の流れ構造が変わり，非越流の場合

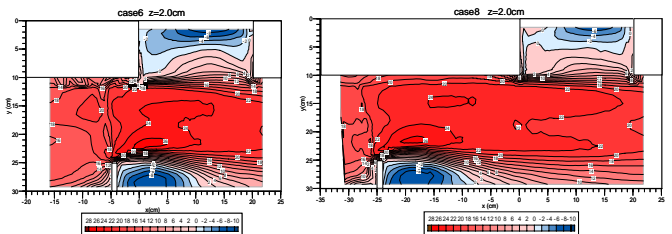


図-4 水平断面主流方向流速コンター(z=2.0cm)

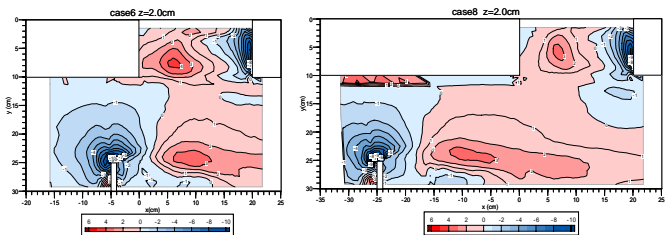


図-5 水平断面横断方向流速コンター(z=2.0cm)

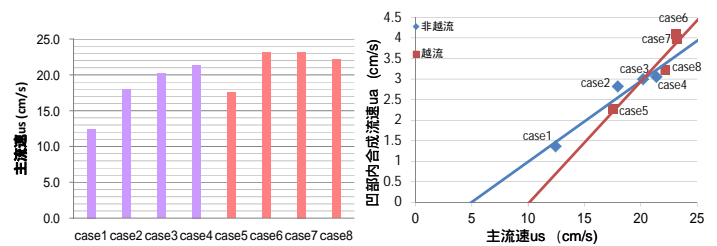


図-6 凹部上流端の主流方向流速  $u_s$

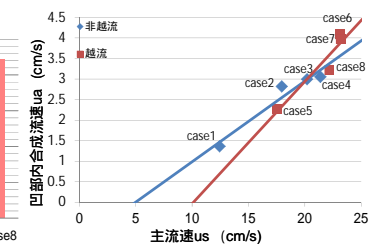


図-7 凹部内の合成流速  $u_a$  と  $u_s$  の関係

は水制距離を長く，越流では短くすることにより凹部内の循環流が強くなった．今後は，異なった凹部の形状での適用や土砂堆積実験を行い水制の影響を検討していきたい．