

河岸凹部の流れ構造に及ぼす上流側水制の影響に関する研究

指導教員 富永晃宏 教授

22117011 加藤智道

1. はじめに

新しい河川整備では、治水・利水・環境の多機能を同時に満足することが求められている。その中でもわんどは水辺の生物の生息の場として人工的に設置することがある。しかし近年特に平水時におけるわんど内の水質悪化や出水時における土砂堆積による機能の喪失が問題となっている。そこで本研究では、主流域からのわんど内への流入の活性化を図り、また土砂堆積を制御するためにわんど側の上流の角に水制工を設置することを試み、わんど内の水理特性の変化について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。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作成し、上流端の整流域から 3m の位置に解放区を設け、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、高さ $d=4.5\text{cm}$ 、幅 $b=1.0\text{cm}$ は同じで長さ $l=5.0, 3.0, 2.0\text{cm}$ の 3 種類のアクリル直方体を用いた。流量はインバータモーターにより調節し、水深を非越流時が 3.5cm(caseA)、越流時は 6.0cm(caseB)となるように流量を調節した。なお、実験条件を表-1、実験ケースを表-2、凹部と水制の位置関係を図-1 に示す。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 のシート状にしたレーザー光を開水路水平断面に照射した。レーザーシートの照射位置は、水平断面は非越流時には 5mm 間隔で 6 断面 ($z=5\sim 30\text{mm}$)、越流時には 5mm 間隔で 11 断面 ($z=5\sim 55\text{mm}$) 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 Flow Expert (カトウ光研株式会社) PIVシステム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

まず非越流のケース(caseA1~caseA10)についての考察を述べる。図-2(a)~(c)に水平断面 $z=2.0\text{cm}$ の caseA4, A6 および A8 の 16s 間平均流速ベクトルを示す。水制により水はねと背後の剥離領域が見られ、主流路流速が加速されているのがわかる。水制先端から剥離した水流は、一定の距離を経て水路の左岸側に再付着する。全ケースを比較して検討すると再付着点は水制長さの約 10 倍の位置にあることが推定された。また、凹部内の流れに注目すると、水制がない caseA1 では、凹部の

表-1 実験条件

	Q(l/s)	h(cm)	B(cm)	Um(cm/s)	Fr	I
caseA	0.87	3.50	20.0	12.4	0.21	1/2000
caseB	2.17	6.00	20.0	18.1	0.24	

表-2 実験ケース

case	水制長 l(cm)	水制距離 a(cm)
A1/B1	水制なし	水制なし
A2/B2	5	0
A3/B3		10
A4/B4		20
A5/B5	3	0
A6/B6		10
A7/B7		20
A8/B8	2	0
A9/B9		10
A10/B10		20

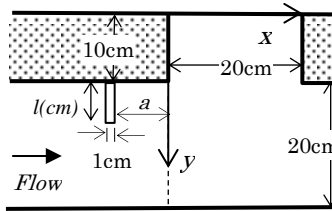


図-1 凹部と水制の位置関係

下流端から流入し反時計回りの再循環渦が形成される。しかし、水制長が 5cm の caseA4 では凹部入口境界で逆流が見られ、凹部内に時計回りの渦が発生している。caseA2~A5 ではこの流れパターンを示した。それ以外のケースでは基本的に caseA1 同様反時計回りの再循環渦が形成された。これは再付着点が凹部の下流端より上流側であるのか下流側であるのかで変化していると考えられる。caseA4 では再付着点が水制から約 50cm、すなわち凹部下流端より 10cm 下流のところ左岸にぶつかり、凹部の下流側で左岸に沿って逆流が発生し、この流れが凹部に達している。caseA5 では再付着点距離が約 30cm となるため、凹部下流側より 10cm 下流にあたる。caseA6 と caseA8 では再付着点が凹部のちょうど下流端にあり凹部内への流入が活発化し、凹部内の循環流が増大している。

図-3 に非越流の各ケースの凹部内の平均合成流速 U_{a1} を断面平均流速 U_m で除して無次元化したものを示す。このグラフで水制長さごと($a=5, 3, 2$)に注目するとそれぞれ caseA4, caseA6, caseA8 で最大になっている。これはどれも水制による再付着点が凹部の下流端のより近くであるからと考える。またすべてを比較したとき水制による再付着点の位置によって合成流速が異なることが分かった。再付着点が凹部上流端($x=0\text{cm}$)にある caseA10 では水制の水はねの影響がなくなり水制なしの caseA1 と同程度になっている。再付着点が凹部下流端より下流($x>20$)にある caseA2~A5 では先述のように凹部入り口付近で逆流となり渦構造が異なっている。再付着点が凹部下流端($x=20\text{cm}$)にある caseA6, A8 が最も大きくなっているが、凹部中央付近($x=10\text{cm}$)にある caseA7, A9 においても caseA1 より大きな値を示している。

次に越流(caseB1~caseB10)について述べる。越流によ

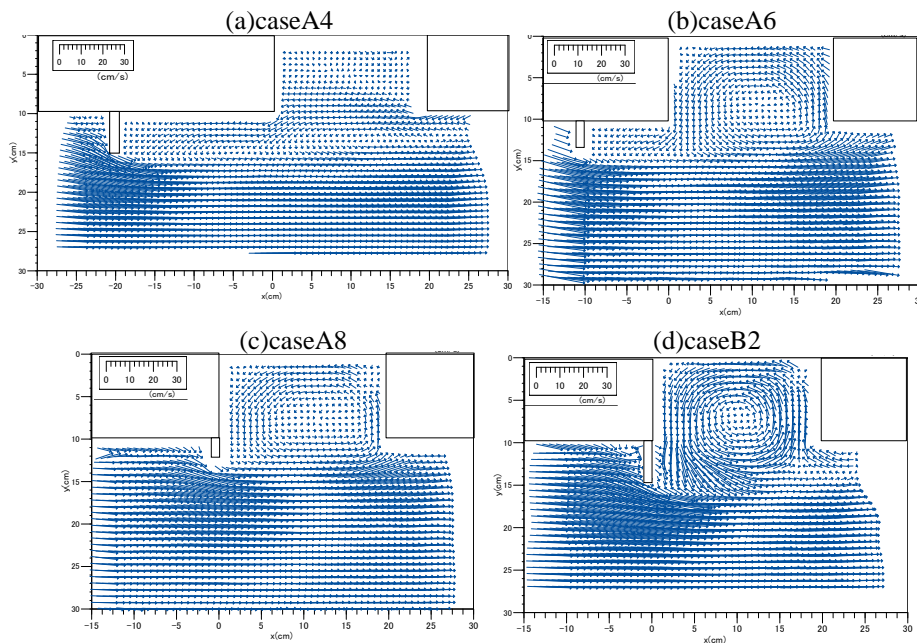


図-2 流速ベクトル

る再付着点の位置の特定はできないが非越流によるものよりは短くなる事が分かる。図-2(d)に示した caseB2 では凹部上流壁面と水制に沿って強い外向きの流れが見られ、凹部奥行長さと同水制長を一辺とする大規模な再循環流が形成されている。また凹部下流では下流からの流れ込みも見られる。caseA2 では凹部へ入り込む再循環流はほとんど形成されなかったことから水制を越流することにより、流れ構造が大きく変化したことが分かる。

今回の研究では土砂堆積に関する実験を行っていないため土砂堆積を制御するケースは直接的には分からないが、「土砂堆積は越流時わんど内で形成される平面渦が強くなるほど、土砂堆積量が増加する傾向にある」²⁾ という事実から、土砂堆積量を減らすには凹部内の平均流速の値が小さくまた、凹部内への流入が少なくなるケースが良いと考えた。

図-4 に越流の各ケースの凹部内の平均合成流速 U_{a2} を断面平均流速 U_m で除して無次元化したものを示す。このグラフで水制長さごと(a=5, 3, 2)に注目するとそれぞれ水制距離が長くなるにつれ小さい値となっている。次にそれぞれの水制長で水制距離を変えていったときの増減について考察する。a=5cm では水制距離を変えるにつれ減少率が最も大きい。流速ベクトル、平均流速分布により 水制距離 a=0cm(caseB2,B5,B8), 水制距離 a=10cm(caseB3,B6,B9), 水制距離 a=20cm(caseB4, B7, B10)で流れ構造の類似した渦構造が形成されたことが確認されたのでその違いを考察する。水制距離 0cm, 10cm の場合は水制長を短くすることにより合成流速が単調に減少するのに対し、水制距離 a=20cm の場合は水制長 l=10cm のとき(caseB7)に最大となっていることが分かる。

図-5 は越流時の凹部境界面(y=9.75cm)における横断方向流速の縦断分布である。水制距離 l=0cm の caseB2,

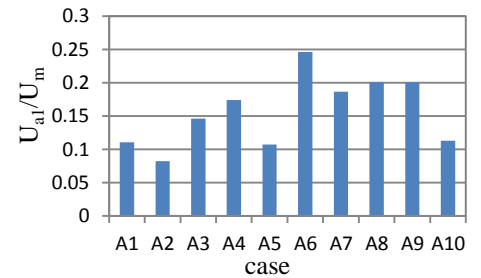


図-3 無次元凹部内平均流速(非越流)

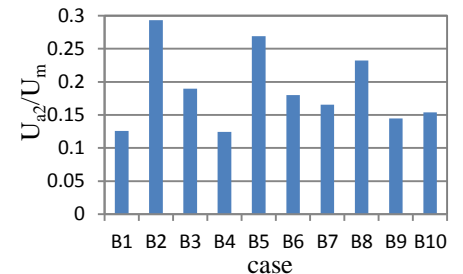


図-4 無次元凹部内平均流速(越流)

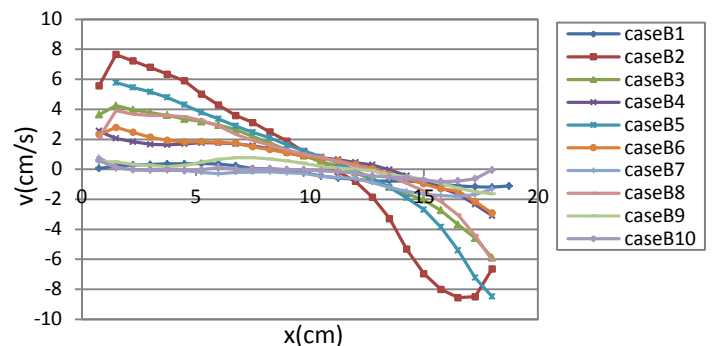


図-5 凹部境界における横断方向流速の縦断分布(越流時)

B5, B8 では境界における流入が大きい、水制距離の長いケースでは流入がほとんどなくなることが分かる。したがっての水制距離の長いケースでは土砂堆積は小さくなるものと推測される。

実際の河川では平水時における水質悪化と出水時における土砂堆積の抑制の二点を同時に満足しなければならない。そこで非越流での U_{a1}/U_m の値が大きく、越流での U_{a2}/U_m の値が小さいケースが最適なケースと考えられる。それは case6(水制長さ 3cm, 水制距離 10cm) または case9(水制長さ 2cm, 水制距離 10cm)が最適ではないかと考えられる。しかしこれはすべて水制なしの case1 と比べて U_{a2}/U_m が大きい値になってしまうため再度検討が必要である。

4. おわりに

本研究で、水制の長さや位置によって流れ構造が大きく変化し、水制の再付着点距離と凹部下流端の位置関係が重要であることが分かった。今回は土砂堆積についての議論があまり正確ではないので土砂堆積実験を行いどのケースが最適かを検討していきたい。

参考文献

- 1) 富永・谷川・久田, 人工わんどの水交換機構とその制御に関する研究, 水工学論文集, 第 46 巻, 571-576, 2002.
- 2) 富永・浦山, 開口部の杭群がわんど内の水交換に及ぼす影響, II-041, pp.161-162, 2011.