

京都大学工学部地球工学科

学生員 ○光成洋二

京都大学大学院工学研究科

フェロー会員

楠津家久

京都大学大学院工学研究科修士課程

学生員

矢野勝士

1. はじめに

近年、河川改修を行うにあたって、治水・利水効果はもとより環境面への影響が念頭に置かれるようになった。このような環境面における生態系への人工的助力の一例として、木曽川や淀川などで見られる「ワンド」と呼ばれる水制構造物の設置が挙げられる。このような水制流れ周辺での流れ特性を解明することは今後の河川改修工法への貢献という観点から重要である。ワンドを単純にモデル化すると側壁に凹部を有する開水路流れとなる。これまでに単体ワンド周辺の流れ場はある程度解明されてきた¹⁾。しかし、複数個が連続的に設置されたワンド周辺の流れ場に関する研究はほとんど行われていないのが現状である。本研究は、2つの連続的に設置されたワンドのうちの下流ワンド周辺の流れ場を計測対象とし、上流ワンドが下流ワンドに及ぼす水理的影響をPIVを用いて観察・検討したものである。

2. 実験装置および実験条件

表-1に実験条件を示す。本研究では水深 H 、凹部奥行き長さ B_w 、下流ワンドの開口部長さ L_d を固定し、上流ワンドの開口部長さ L_u を8.0、20.0、40.0cmの3通りに、ワンド設置間隔を凹部奥行き長さ B_w で無次元化した値 β を0、0.4、1.1、2.0の4通りに変化させ、計12通り系統的に実験を行った。粒径100 μm のナイロン12粒子を一樣に散布しレーザーライトシートを水路水平面内に照射し、トレーサの挙動を水路下方に設置されたCCDカメラにより1/30秒毎に70秒間レーザーディスクに録画した。こうして得られた可視化画像から相互相関法により瞬間流速を算出した。実験装置やPIV法に関しては文献1)を参照されたい。

3. 実験結果および考察

(1) 時間平均流速分布

図-2に単体ワンド周辺における平均流速ベクトル($U/U_{\max}$, $W/U_{\max}$)を示す。 $U_{\max}$ は流入部における最大主流速である。これより、ワンド内部の比較的下流付近に循環渦の存在が確認できる。また、 $x/B_w = 0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 1.9$ の5測線における $U/U_{\max}$ の値をプロットしたものを図-3に示す。なお、比較を容易にするため、 x/B_w の増加にしたがって $U/U_{\max}$ の値を1.0ずつ右にシフトさせ図示した。これより、 $x/B_w = 0.5, 1.0$ において $\beta = 0$ および0.4のケースのワンド内部の流速が大きくなっている様子が観察される。これは、 β が小さいケースほど循環渦におけるリターンフローが強くなっていることを定量的に示している。次に境界部における横断方向平均流速 $W/U_{\max}$ の値をプロットしたものを図-4に示す。これより、ワンド上流部では水跳ね効果及びリターンフローの影響によりワンドから流出する流れが卓

Main Flow →

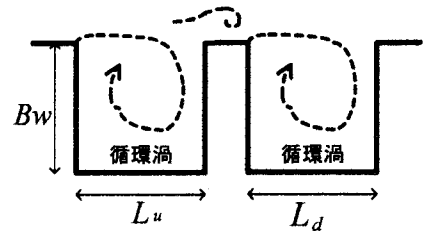


図-1 模式図

表-1 水理条件

CASE	Fr	H	B_w	L_u	L_d	β
$\alpha 22\phi 0$	0.27	4.0	4.0	8.0	8.0	0
$\alpha 22\phi 04$						0.4
$\alpha 22\phi 11$						1.1
$\alpha 22\phi 20$						2.0
$\alpha 52\phi 0$				20.0		0
$\alpha 52\phi 04$						0.4
$\alpha 52\phi 11$						1.1
$\alpha 52\phi 20$						2.0
$\alpha 102\phi 0$				40.0		0
$\alpha 102\phi 04$						0.4
$\alpha 102\phi 11$						1.1
$\alpha 102\phi 20$						2.0
$\alpha 02$				—	—	

$Fr = U_m / \sqrt{gH}$, H : 流入部平均水深(cm), B_w : 凹部奥行き長さ(cm), L : 開口部長さ(cm), β : ワンド設置間隔指数

越し、下流部ではワンド内部に流入する流れが卓越する様子が観察される。

(2) セン断層の位置の変化

レイノルズ応力が極大値をとる位置でせん断層を評価し、レイノルズ応力の等値線図からその極大値の位置の $(x/B_w, z/B_w)$ 座標を求め、各ケース間の比較を行った。この結果を図-5 に示す。これより上流ワンドのアスペクト比が大きくワンド設置間隔が小さいほど、せん断層の位置は主流部寄りかつ下流寄りにシフトする様子が観察される。

(3) 物質交換特性

初期条件としてワンド内に均等に仮想粒子が存在しているとした時、時間経過とともに仮想粒子がワンド外に流出していく割合を図-6 に示す。いずれのケースも、 β が小さいケースほど仮想粒子の主流部への流出が激しく、 β の増加に伴って単体ワンドにおける分布に近づいていく様子が観察された。また、このグラフの勾配は L_w が大きいケースほど急になる様子が観察されるが、これは主流部とワンド内部の間での物質交換が盛んに行われていることを示している。

4. まとめ

2 連続ワンドのうちの下流ワンド周辺の流れにおいて、上流ワンドのアスペクト比とワンド設置間隔を系統的に変化させて PIV 法を用いた乱流計測を行った。その結果以下のことが解明された。平均流特性に関して、境界部の流向の変化と、循環渦におけるリターンフローが増大することが確認された。これらの現象は、上流側ワンドのアスペクト比が大きくなりワンド設置間隔が近くなるにつれて顕著になった。また、せん断層の位置の変化に関して、上流側ワンドのアスペクト比が大きくなりワンド設置間隔が小さくなるにつれて、せん断層の位置は境界部より主流寄りにシフトし、その結果境界部ではせん断が弱まることが確認された。これは、上流側ワンドの下流端における水跳ね効果と、増大されたリターンフローの影響であると考えられる。また物質交換特性に関して、上流側ワンドのアスペクト比が大きくワンド設置間隔に近いほど物質交換性が高く、またワンド内の物質の流出が早められることが確認された。今回の研究では水平二次元を対象とした計測であったが、今後は三次元構造を解明していきたい。

参考文献

- 1) 棚津家久, 鬼東幸樹, 池谷和哉, 高橋俊介: わんど形状が河川に及ぼす影響に関する水理学的研究, 応用力学論文集, vol.3, pp.813-820, 2000.

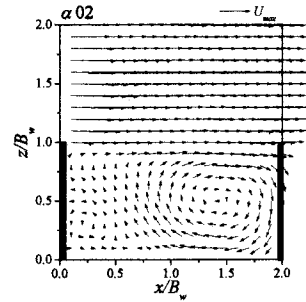


図-2 平均流速ベクトル (単体ワンド)

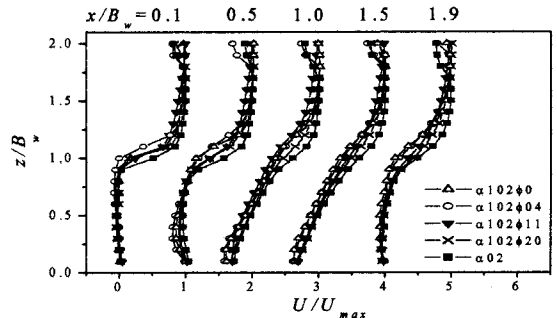


図-3 5 測線における平均流速 U の横断方向変化

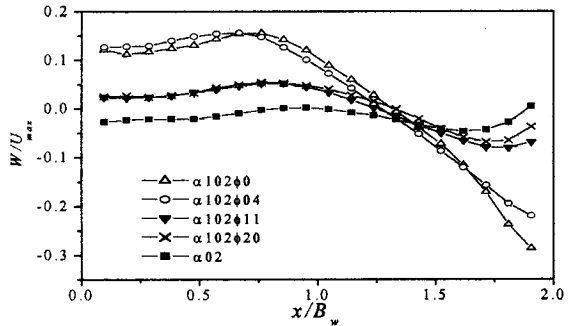


図-4 境界部における平均流速 W の下流方向変化

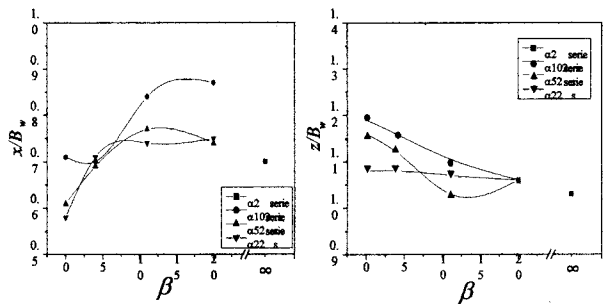


図-5 セン断層の位置の変化

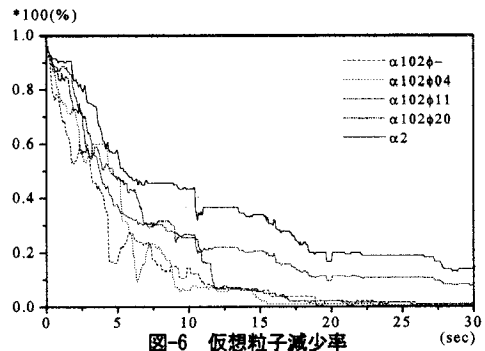


図-6 仮想粒子減少率