

京都大学 学生員 ○池内三津喜
 京都大学 正会員 山上路生
 京都大学 フェロー 榎津家久

1. 序論

これまで河川は治水機能を重視した整備・管理がなされてきたが、近年では自然と生態系の重要な部分を担うことが認識されはじめ、環境にも考慮した整備・管理手法への転換が行われている。特に多自然川づくりという考えが普及し、生態系保全の重要性の認識とともに自然や生態に配慮した河川整備のあり方が模索されている。本研究では中でも水制のエコ機能にスポットをあてる。水制の本来の目的は護岸効果であるが、一方で水制領域内は多種多様な生物にとって格好の生息および繁殖場となる。ただし平水時には閉鎖的であるため水質環境の悪化が問題となる。本研究では、水制周辺の乱流渦とそれらによる交換機構を解明するために乱流計測と物質濃度計測を行なった。具体的には連続水制群を実験水路に再現し、PIV 計測と LIF 計測を行った。流下方向と水深方向に PIV 計測位置を変化させて流れ統計量を解析し、LIF 濃度計測により物質交換特性を定量評価した。

2. 水理条件と計測手法

計測で用いた水路は、全長 10m、全幅 40cm の循環式大型直線水路である。水路上流端より約 5m 下流から水路左岸にアルミ製 L 字型の足の付いたアクリル板を 9 つ等間隔で設置し連続水制流れ場を再現した。x, y および z をそれぞれ流下方向、鉛直方向および横断方向とし、水制各上端を x = 0, 底面を y = 0, 水制右端を z = 0 とする。x, y および z 方向の瞬間流速を \tilde{u} , \tilde{v} および \tilde{w} , 時間平均流速を U, V および W そして乱れ変動成分を u, v および w とする。PIV の計測システムを図-1 に、LIF の計測システムを図-2 に示す。水深 H=5.3cm, 断面平均流速 $U_m=12\text{cm/s}$, フルード数 Fr は 0.166, レイノルズ数 Re は 6360 である。表中に示した B, B_s, L_s および D_s はそれぞれ主水路幅, 水制幅, 水制間距離, 水制厚さである。水制部のアスペクト比(水制間距離/水制幅) $L_s / B_s = 3$ とした。以下ではランクナンバーを添え字に使用して、水制を上流側から

表-1 計測条件

U_m (cm/s)	H (cm)	B (cm)	B_s (cm)	L_s (cm)	Fr
12	5.3	35	5	15	0.166

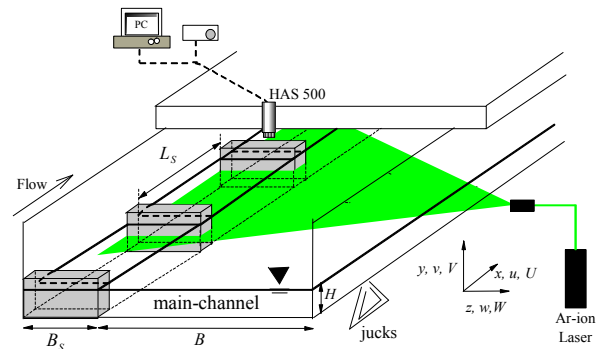


図-1 PIV 計測図

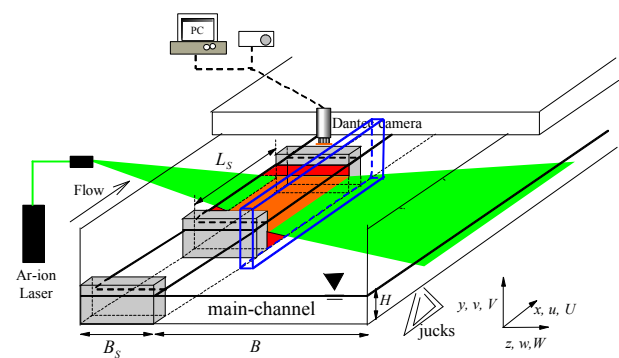


図-2 LIF 計測図

S_1, S_2, \dots, S_9 とし、各水制間の領域を $S_{1-2}, S_{2-3}, \dots, S_{8-9}$ と呼ぶこととする。

3. 結果と考察

3.1 流れ場特性

図-3 に各領域での平均流速図を示す。Uijtewaalaら(2001)¹⁾や Weitbrecht ら(2007)²⁾は、この条件下では水制間に 2 種類の逆回転渦が発生するとしている。本研究でも既往研究と同様に、どの領域においても 2 渦構造となっている。2 種類の渦のうち、下流側の渦は Primary Gyre(PG), 上流側渦は Secondary Gyre(SG)と呼ばれる^{2), 3)}。PG は主流によって誘起され、SG は PG の回転によって 2 次誘起されるもの

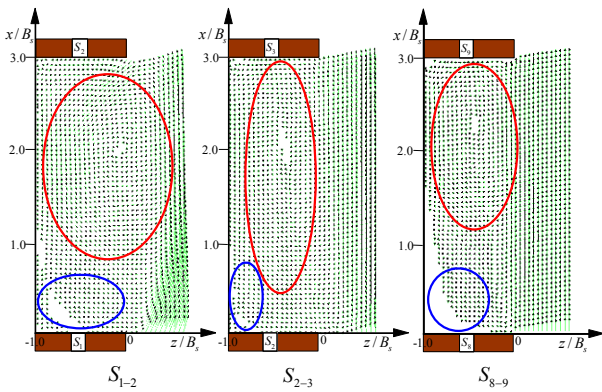


図-3 平均流速図

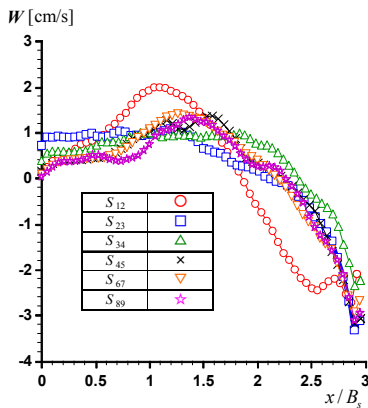


図-4 平均流速 W 領域間比較 ($x/B_s = -0.5$ $y = 2.5\text{cm}$)

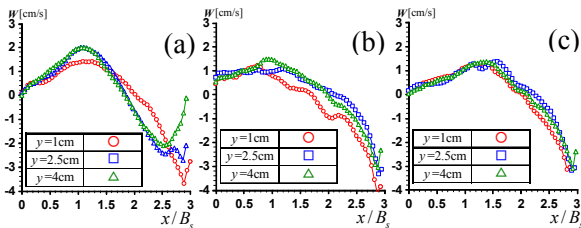


図-5 平均流速 W 水深方向比較 ($x/B_s = -0.5$)

である。図中の赤の楕円が PG で、青の楕円が SG である。 S_{1-2} の PG は他の領域よりも横断方向に大きくなっており水制領域からはみ出しており、また回転速度が大きくなっている。それにより誘起された SG も横断方向に大きくなっている。特徴的なのは S_2 先端部付近の主流側から逆流 ($U < 0$, $W < 0$) が発生していることである。この水制領域への流れ込みにより、 S_{2-3} からの流入が考えられる。次に S_{2-3} では PG が主流方向に伸び、大きくなっており、この PG と壁面により SG の横断方向幅がかなり小さくなっている。図-4 は、横断

方向流速 W の領域間比較である。 S_{4-5} から下流ではほとんど値が一致しており、流れが安定していると考えられる。図-5(a) ~ (c) は S_{1-2} , S_{2-3} , S_{4-5} での横断方向流速 W の水深方向比較である。流れが安定した領域では水深方向への変化が小さくなる事が分かる。

3.2 物質交換特性

図-6 は各領域の濃度交換係数 k の水深方向変化をプロットしたものである。 S_{1-2} では上述の逆流により S_{2-3} からの流入が考えられるため、 S_{2-3} にも染料を注入し、他の領域については輝度値を算出する領域にのみ染料を注入し、計測を行った。 S_{4-5} から下流では、ほぼ同じ値をとっており、このデータからも流れが安定していると考えられる。また、 S_{1-2} と S_{2-3} では水深方向に全く逆の結果となっている。このことから S_1 の先端で発生した剥離渦は S_{1-2} 領域内に流入しなかった場合 S_{2-3} の物質交換に寄与すると考えられる。

4. 結論

- 1) 本研究の水理条件ではどの領域においても下流側の比較的大きな反時計回りの PG と上流側の時計回りの SG からなる 2 渦構造が形成される。これは、同じアスペクト比の既往研究と同様の結果である。
- 2) PIV 計測と LIF 計測のどちらにおいても、 S_{4-5} から下流ではほとんど値が一致しており、流れが安定していると考えられる。
- 3) 流れが安定するまでは水深方向の流れの変化が大きく、流れが安定すると水深方向の変化は小さくなる
- 4) 流れが安定すると k 値は小さくなる。よってこの領域では水質の悪化の可能性が高く、対策の必要がある。

参考文献

- 1) Uijtewaal, W.S.J., D. Lehmann, A.van Mazijk, : Exchange processes between a river and its groyne fields: Model experiments, J.H.E, ASCE, 1273(11), pp.928-936, 2001.
- 2) Weitbrecht, V., Socolofsky,S.A., Jirka, G.H. : Experiments on Mass Exchange between Groin Fields and Main Stream in Rivers, J.H.E, ASCE, 134(2), pp.173-183, 2007.