

京都大学
京都大学
京都大学

学生員 ○池内三津喜
フェロー 榎津家久
正会員 山上路生

1. はじめに

近年の多自然型川づくりの観点から、人工ワンドの設置プロジェクトが全国的に進められている。ワンドは、多種多様の生物にとって好都合の生息・繁殖の場である。特に様々な植生の繁茂もみられるため、水生緑地としての高い機能を有している。しかしながら、平水時には閉鎖的になるため、適切な水交換による水質の維持が重要課題である。これを解決するためには、まずワンド内の3次元流れ構造を詳しく知る必要がある。またワンドには洪水後に土砂が堆積されやすく、河床形状が流れに与える影響も考慮しなければならない。そこで本研究では、系統的に路床形状を変化させた水理条件の下で PIV 計測を行い、ワンド内の流れ構造を実験的に考察した。

2. 実験手法および水理条件

図-1 に本研究における PIV 計測に用いた実験装置図を示す。本計測で用いた水路は、水路長 10m、水路幅 40cm の可変勾配循環式直線水路である。水路側面から 10cm の位置に水路全長にわたって（ワンド部分を除く）仕切り版を設置し、単一ワンド流れ場を再現した。水路側壁および底面計測部は強化ガラス製で可視化観察できる。図-1 中の B , B_w , L_w および H は、それぞれ主流部幅、ワンド幅、ワンド開口部長および水深である。それぞれ $B=30\text{cm}$, $B_w=10\text{cm}$, $L_w=30\text{cm}$, $H=40\text{cm}$ である。断面平均主流速は 12cm/s とした。座標系は、直交座標の x 軸を流下方向、 y 軸を鉛直方向、 z 軸を横断方向とし、底面を $y=0$ 、ワンドと主流部の境界を $z=0$ 、流速の各方向成分の時間平均値を U , V および W 、それらに対する乱れ成分を u , v および w とする。本実験では比重 1.02、粒形 $100\ \mu\text{m}$ のポリスチレントレーサーを十分攪拌した後に水路に注入し、出力 2W の水冷アルゴンイオンレーザー (Coherent 社製) を光ファイバー経由でシリンダリカルレンズによって厚さ約 2mm のシート状にしたもの (Laser Light Sheet, LLS) を計測面に照射した。そして、ワンド上部に高速度カメラを設置し、外部トリガからのダブルパルス信号を用いてフレームレート 100Hz・サンプリ

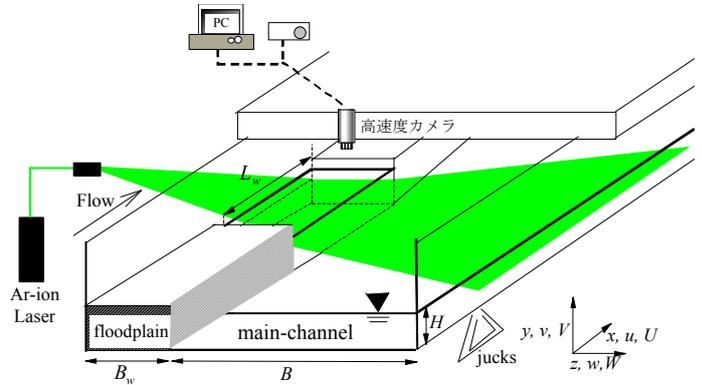


図-1 実験装置

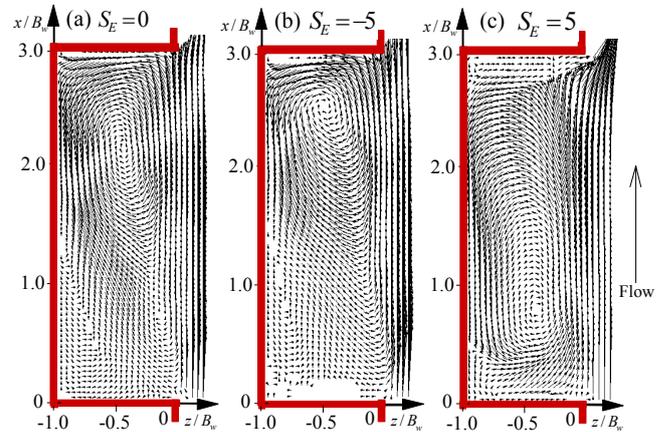


図-2 時間平均流速ベクトル分布(U,W)

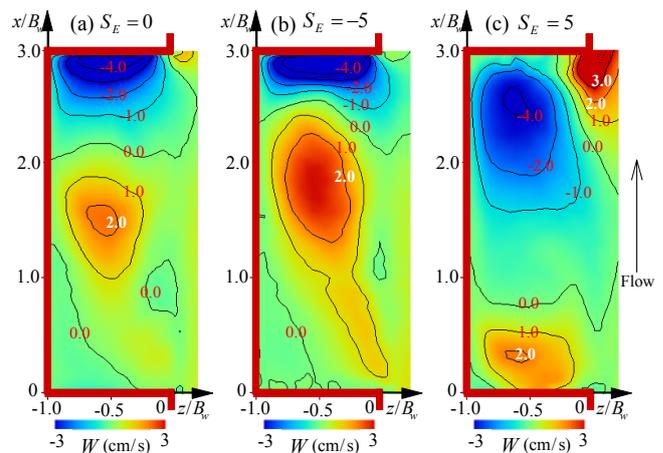


図-3 横断方向流速 W コンター図

ングレート 30Hz で撮影を行った。計測時間は約 2 分間である。

本研究では土砂堆積を想定して、高さ 5cm のス

ロープを用いて下流側を高くするケース ($S_E=-5$), 上流側を高くするケース ($S_E=5$), スロープ無しの場合 ($S_E=0$) の3ケースで行った。

3. 実験結果および考察

図-2 に各ケースの水面付近 ($y=5$) での時間平均流速図を示す。 $S_E=0$ ケースと $S_E=-5$ ケースでは、ワンドの上流側と下流側に循環渦が1つずつ存在しており、2つの渦構造が形成されていることがわかる。2種類の循環渦のうち比較的大きな下流側渦は Primary Gyre(PG), 上流側渦は Secondary Gyre(SG)と呼ばれ、PGは主流によって直接的に誘起され、SGはPGの回転によって2次誘起されるものである。一方、 $S_E=5$ ケースでは $S_E=0, -5$ ケースと大きく異なり、PG領域がワンド全体に及びSG領域はワンド側壁側上流部に小さく位置している。ここには示していないが、瞬間の流れ場をみると $S_E=0, -5$ ケースでは、ワンド下流端付近からのワンド内への流入が主であり、流れ込んだ流体塊は楕円軌道を描いてワンド中央部から吐き出されているのに対し、 $S_E=5$ ケースではワンド中央部からの流入が主で、流体塊は大きな楕円軌道を描いてワンド上流端付近から吐き出されていた。図-3の横断方向流速 W のコンター図からも、 $S_E=0$ および-5 ケースでは、ワンド下流端付近からの流入とワンド中央部での流出があり、 $S_E=5$ ケースではワンド中央部からの流出とワンド上流端での流出があることがわかる。

図-4 に各ケースの水面付近における時間平均渦度分布を示す。これをみると、 $S_E=0, -5$ ケースには類似の分布をもつことがわかる。渦度正值の領域は反時計回り、負値の領域は時計回りの回転を表している。平均流速図でみたように、 $S_E=0, -5$ ケースではワンド下流側に PG 領域があり、ワンド上流の側壁部に SG 領域があったが、それがこの渦度分布からもみてとれる。一方、 $S_E=5$ ケースでは渦度正值の領域がワンド全体に及んでおり、他の2ケースとは大きく異なった分布をしている。平均流速図でみたように、PG 領域がワンド全体に及び、SG 領域がワンド上流端の側壁側にシフトすることがわかる。ここで、渦度分布では、せん断領域のような流速シアが卓越する場においても渦域と判定されてしまうという問題がある。そこで本研究では、研究者の主観を伴わない渦判定手法である Δ 値も導入して組織水平渦の抽出を行った¹⁾。このように渦度(回転方向の判定)と Δ 値(渦領域の判定)を組み合わせて、各ケースの PG・SG 領域のワンド内に占める面積割合の水深方向変化プロットしたものが図-4である。これをみると、水面付近におい

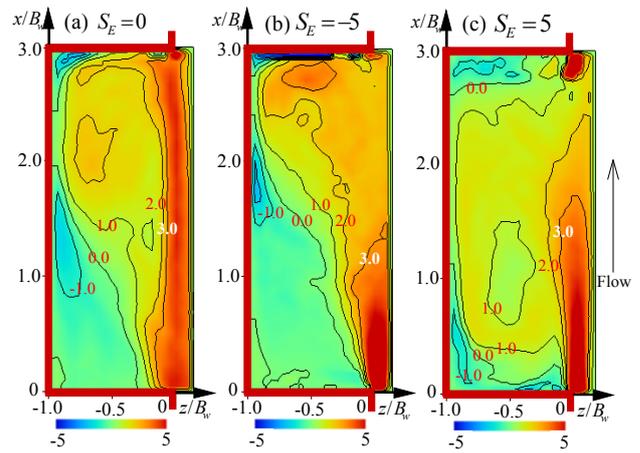


図-4 渦度分布

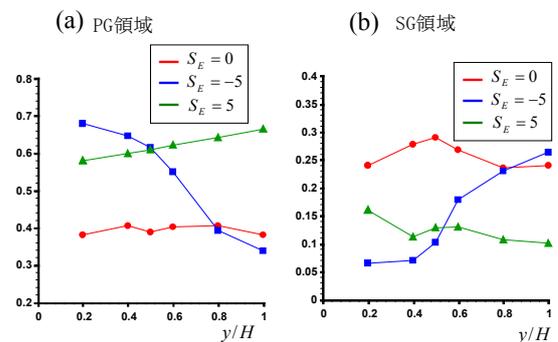


図-5 PG・SG 領域の水深方向変化

て、 $S_E=0, -5$ ケースで PG・SG 領域がともに約 30%となり、 $S_E=5$ ケースにおいて 70%近くとなる。また、SG 領域は、 $S_E=0, -5$ ケースで 25%となることに対し、 $S_E=5$ ケースでは約 10%であった。また $S_E=0$ ケースで PG 領域の水深方向変化はほとんどないが、SG 領域は半水深付近で大きくなった。

4. おわりに

本研究では系統的に河床形状を変化させたワンド流れを対象にPIV計測を行い、実験的に流れ構造の解明を試みた。平坦河床ケースと下降スロープケースでは水面近傍で似た流れ構造となっていたが、上昇スロープケースでは大きく異なっていた。また、下降スロープにおいて流入・流出ともに最も強くなっており、水交換が活発であることが示唆された。

参考文献

- 1) 山上路生・瀬津家久・土井智礼・Hoang Quang : 多断層スキニング PIV による蛇行複断面流れにおける水平組織渦に関する実験的研究, 土木学会論文集 B, Vol.62, No.4, pp.406-418, 2006.