

直線開水路の側壁凹部における流況特性に関する研究

徳山高専 学生会員 ○野中 樹
徳山高専 正会員 渡辺 勝利

1. 緒 論

日本国内では、充実した河川の治水対策の下、河川環境に配慮した川づくりが進められている。ワンドは川の本流とつながっており、河川構造物などに囲まれて池のようになっている地形のことである。魚類のような水生生物に安定した棲み処を与えると同時に、様々な植生が繁殖する場ともなっている。このワンド内の環境を保全するためには、ワンド内の流れ構造を理解する必要がある。

これまでに、側壁部に凹部を有する開水路流れについては様々な研究がされてきた。凹部の流れは実河川のワンドに代表されるが、そこで形成される流れがワンド内の水交換や土砂堆積とどのように関係してくるかに注目し、研究が進められている。河原らは、複断面開水路の高水敷の一部を切り取った水路において、電磁流速計を用いた流速計測を行い¹⁾、低水時及び高水時の平均流速分布特性を検討した。禰津らは、側壁に凹部を有する開水路において、LDA(Laser Doppler Anemometry)を用いた流速計測を行い、平均流及び乱れの分布特性を検討した²⁾。また、LES(Large Eddy Simulation)による数値計算を行い実験結果の再現を試みている。さらに、流れ場の組織構造についても検討している。山上らは、側壁に凹部を有する開水路において、PIV(Particle Image Velocimetry)による流速計測を行い、ワンド長を変化させた流れ場の特徴を検討している³⁾。また、ワンド内部の河床勾配の影響及び移動床流れの平均流、乱れの特性を検討している。

このように、ワンドの流れに関する様々な実験が進められているが、流れ場の流速分布特性については、顕著な循環流の形成や主流部との境界に顕著なせん断層と乱れの大きい領域が形成されることが明らかにされている。しかし、その知見は計測断面が半水深位置に限られた水平断面内のみの知見であり、流れ場全体を捉えたものとはなっておらずワンドの流れ構造の本質をとらえたとは言い難い。また、流れ支配要因である組織構造についても十分な知見が得られていない。

以上を踏まえ本研究では、側壁部に凹部を有する開水路流れの本質を理解するため、流れ場における詳細な流速計測を行うとともに、そこに形成される組織構造に注目し、その特徴を解明し、流れの概念モデルを作成することを目的とする。このために以下の3つの課題を遂行する。①流れ場の詳細な3次元の流速特性を明らかにする ②流れ場に形成される組織構造の時空間特性を明らかにする ③組織構造の挙動と流速分布の相互関係を明らかにする ④流れ場の概念モデルを作成する。

2. 実験装置および方法

本研究では、長さ10m、幅60cm、高さ15cmの総アクリル樹脂製の直線開水路を使用する。本水路の右岸側に幅15cm、高さ6cm、長さ1mの塩ビ樹脂製の板を敷き詰め、上流から5m地点において、長さ30cmの空間部を設けそれを凹部流れとした。図-1に実験水路の概観、図-2に水路凹部の概観を示す。

流速計測には、微細粒子を用いたPTV(Particle Tracking Velocimetry)を採用した。図-3には、可視化断面の位置をしており、断面数は縦断面が10cm、水平断面が8cmごとである。

流れの可視化には蛍光染料注入法を採用した。

キーワード side-cavity zone, shear layer, vortex structure, circulation flow, PTV, flow visualization

連絡先 〒743-0007 山口県光市室積7-5-1

T E L 090-5691-8180

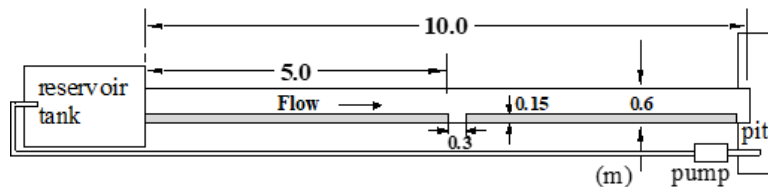


図-1 実験水路の概略（側面図）

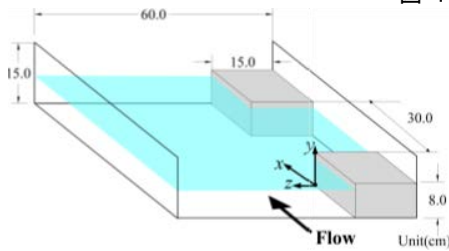


図-2 水路凹部概観

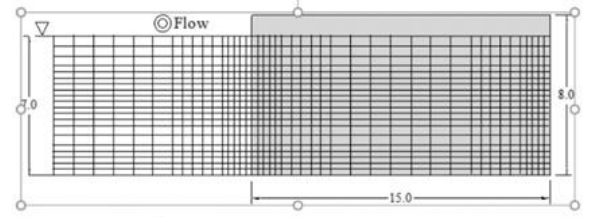


図-3 PTV 撮影断面位置

3. 実験結果および考察

図-4 から図-6 に PTV の計測結果を示す。図-5 の平均主流速分布 (U) からは、ワンド内は相対的に低速領域となりの側壁側には逆流域が確認される。また、高速域との境界には顕著なせん断層が形成されている。図-5 の流速ベクトル (U, W) からはワンド内には時計回りの循環流が形成されていることが明らかとなった。図-6 のレイノルズ応力分布 ($-uw$) では、側壁凹部と開水路の境界で正の領域を有しており、凹部下流側の隅部には負の領域が形成されているのが確認された。以上のことから、開水路の境界部には、顕著なせん断層の形成に伴う強いせん断応力領域が形成されていることが明らかとなった。

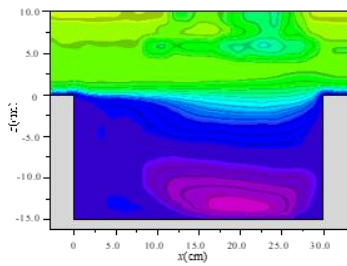
図-7 に水平断面視、図-8 に横断面視時の可視化結果を示す。図-7 において、赤破線で囲んで示したように、開水路との境界には、鉛直方向に回転軸を有する渦構造が観察され、それは下流方向にそのスケールが増大することが観察された。また、水表面に近づくに伴って全体のスケールが増大することが明らかである。さらに、この渦構造は、その時計方向の渦運動によって開水路側からワンド内部へ流体を輸送しており、それに伴い凹部内に時計右回りの循環流を形成していることが観察された。また、水表面に近づくにつれて上流側隅角部には、小規模の反時計回りの渦構造が観察された。図-8 では、主流部と側壁凹部の境界では、赤破線で囲んで示したように縦渦構造の断面形象が観察された。この渦構造はその渦運動によって開水路から凹部へあるいはその逆方向へ流体を輸送していることが観察された。この縦渦構造が水平断面視で確認された渦形象に相当している。さらに、この縦渦構造は、下流方向に伴い大規模になっていることが観察された。この縦渦構造は、開水路の側壁から剥離したせん断層の不安定によって生じた縦渦構造と推察される。

図-9 に開水路凹部流れの概念図を示している。本流れには開水路側壁下流端部には、鉛直方向のせん断層 du/dy と水平方向のせん断層 du/dz の2つのせん断層が形成され、この2つのせん断層の共存は縦渦構造の形成の必要条件*)である。これによって、その下流部には縦渦構造群が形成される。この縦渦構造は、下流方向に発達し凹部と開水路の境界領域における横断方向の流体輸送に重要な役割を果たす。この縦渦構造により、同境界領域における強い乱れ強度、高いレイノルズ応力の領域が形成される。また、開水路から凹部への流体輸送により、凹部の内部に時計方向の旋回流また、副次的な反時計方向の旋回流を生じさせている。

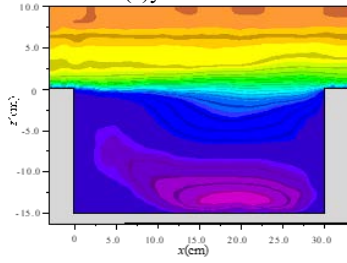
4. 結 論

側壁に凹部を有する開水路流れにおける流況特性と組織構造について、PTV による詳細な流速計測と流れの可視法を用いての検討した。以下に本研究によって得られた主要な結論を示す。

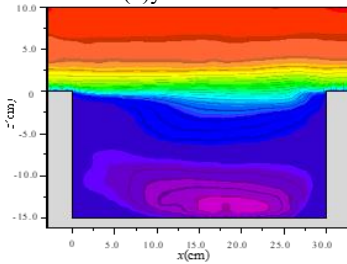
(1) 開水路の凹部は相対的に低速領域となり、内部には凹部を一巡する時計方向の循環流が形成される。表面近づくにつれて反時計方向に小規模な循環流が形成される。



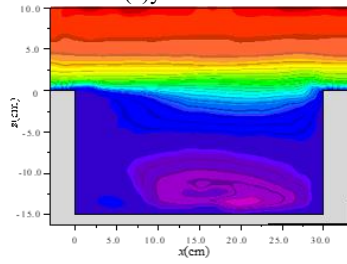
(a)y=0.9cm



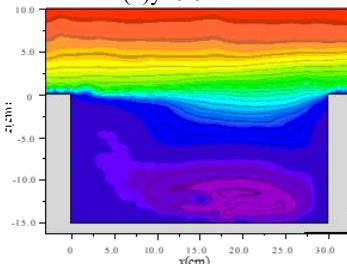
(b)y=2.5cm



(c)y=4.5cm



(d)y=5.5cm



(e)y=6.8cm

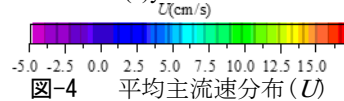
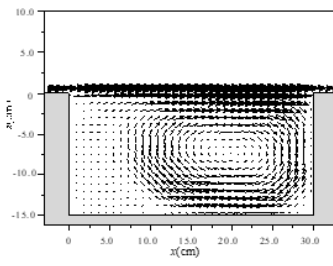
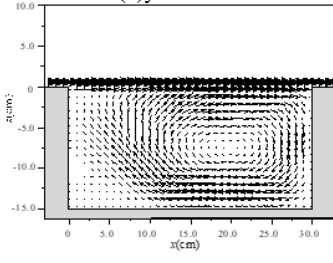


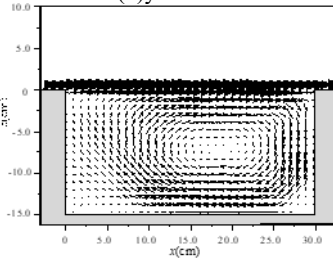
図-4 平均主流速分布 (U)



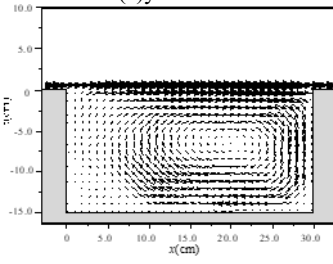
(a)y=0.9cm



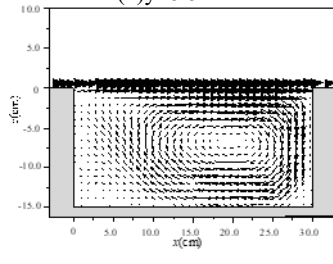
(b)y=2.5cm



(c)y=4.5cm



(d)y=5.5cm



(e)y=6.8cm

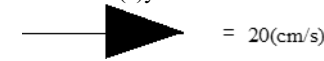
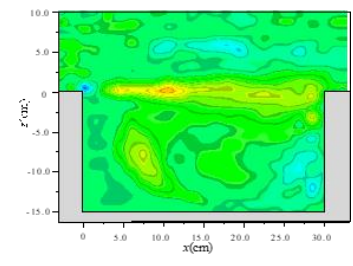
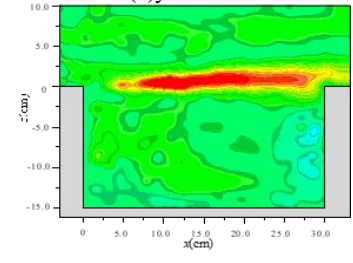


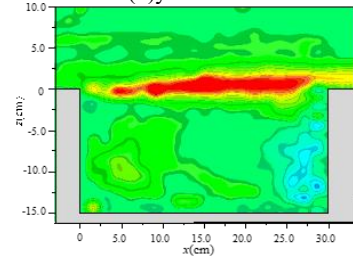
図-5 ワンド内の流速ベクトル (U, W)



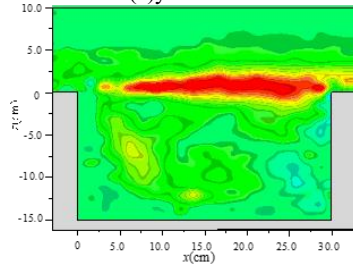
(a)y=0.9cm



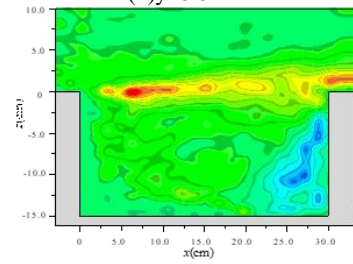
(b)y=2.5cm



(c)y=4.5cm



(d)y=5.5cm



(e)y=6.8cm

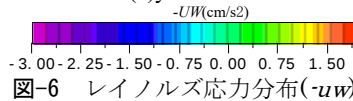


図-6 レイノルズ応力分布 ($-uw$)

(2) 開水路と凹部の境界領域には、顕著なせん断層が形成され、そこでは乱れ強度 (u_{rms} , w_{rms}) およびレイノルズ応力 ($-uw$) が高い領域となっていることが明らかとなった。

(3) 開水路と凹部の境界領域には、2つのせん断層の共存に伴う縦渦構造群が形成される。この縦渦構造群はその流体運動によって、強い乱れの生成および、開水路から凹部への流体輸送により、凹部の内部に大規模な循環流を形成させていることが推察された。

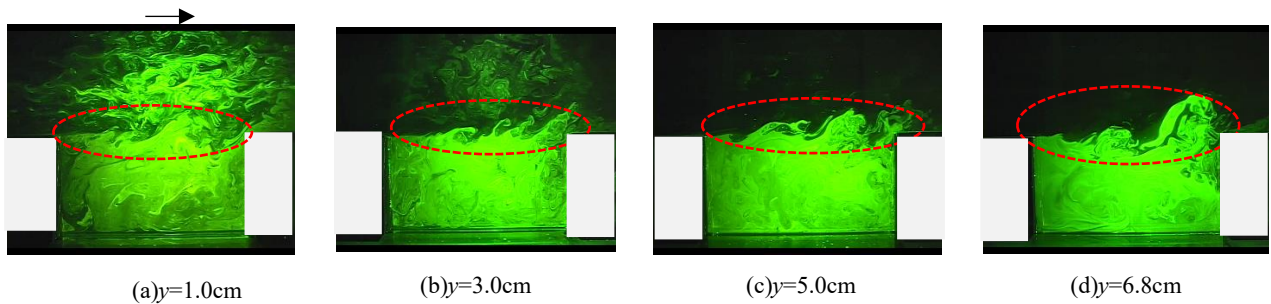


図-7 水平断面視

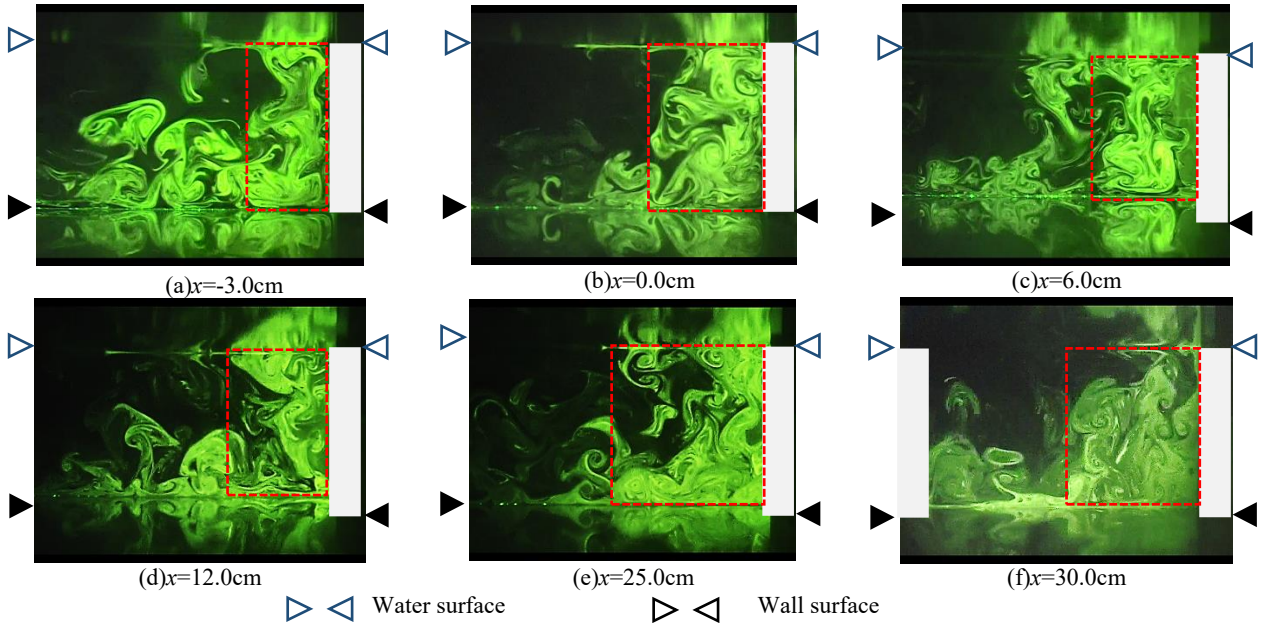


図-8 横断面視

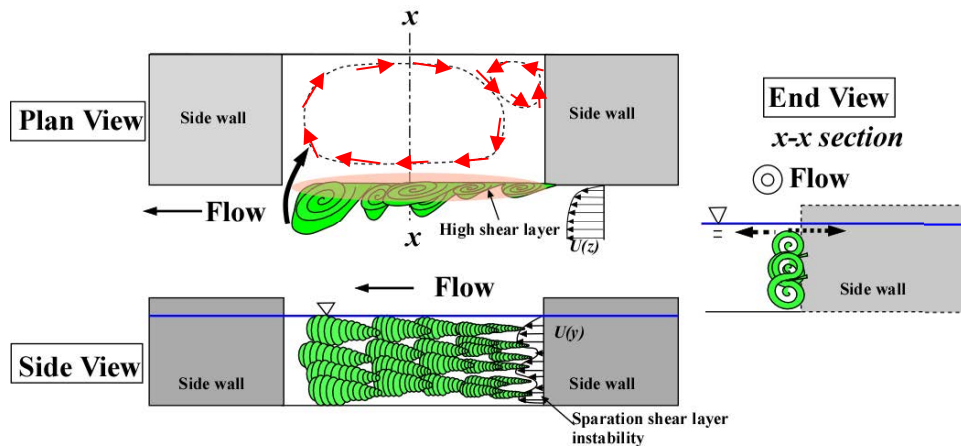


図-9 水路凹部における流れ概念図

参考文献

- 1) 河原能久, 中川研造, 玉井信之: ワンド内の水理特性に関する実験的研究, 水工学論文集, 第 39 巻, 1995.
- 2) 禰津家久, 矢野勝士: 開水路流れにおける側岸凹部流れの PIV 計測および LES 計算, 応用力学論文集, Vol17, 2004.
- 3) 山上路生, 池内三津喜, 金子泰洗ポール, 戸田圭一: 開水路における長方形ワンド内の循環流構造に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B1, Vol170, 2014.