

低水深における 1/4 円形高水敷を有する複断面開水路流れの流速分布特性

徳山工業高等専門学校 環境建設工学専攻 学生会員 ○片岡 航大
徳山工業高等専門学校 正会員 渡辺 勝利
徳山工業高等専門学校 正会員 佐賀 孝徳

1. はじめに

複断面流れには、水平渦や斜昇流と呼ばれる複断面流れ固有の現象が発生し、これらは洪水時に高水敷先端部の破壊、河床の洗掘、堆積などの災害が発生させることで知られている。これらの現象の解明のためにこれまでに多くの研究が行われてきた。

例えば、石垣、今本は、可視化法を用いて片複断面開水路流れの内部構造について検討し、斜昇流が縦渦を生成することを示唆した¹⁾。筆者らも、高水敷先端部の形状が直角²⁾および傾斜³⁾した流れの内部構造について検討してきたが、曲面のものについてはこれまで研究例がなく、その流れの内部構造は解明されていない。筆者らは、これまでに水深 8cm における 1/4 円形高水敷を有する流れの流速分布特性や縦渦構造について検討し、二次流の大きさが直角高水敷に比べ小さくなっていることや縦渦構造の水表面への到達が間欠的であることを解明した⁴⁾。本研究では、水深が低い場合(水深 5cm)の流れ場に注目し、それに伴う平均流速分布および縦渦構造について検討した。

2. 実験装置及び実験方法

図-1は、本研究で用いた水路の断面形状および座標系を示している。実験には、水路勾配を1/1000に設定した、長さ10m、幅60cm、高さ15cmの透明アクリル樹脂板製の滑面直線開水路の右岸側の側面に、高水敷先端部を半径4cmの1/4円形に加工した幅15cm、高さ4cmの塩ビ樹脂板を上流端から8mにわたって設置した。

本水路の上流から5m付近の地点において、PTV法による流速計測および内部流況の可視化を行った。流速計測では、トレーサーである粒子の流動状況をハイスピードカメラで撮影した。その粒子画像をコンピュータに取り込み、「Flow PTV」((株)ライブラリ)を用いて瞬時流速成分を求め、それらの統計処理を行い、平均流速分布等を求めた。

キーワード 1/4 円形高水敷, 斜昇流, 水平渦

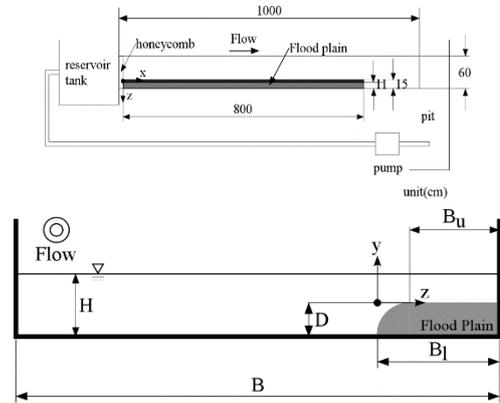


図-1 実験装置及び座標系

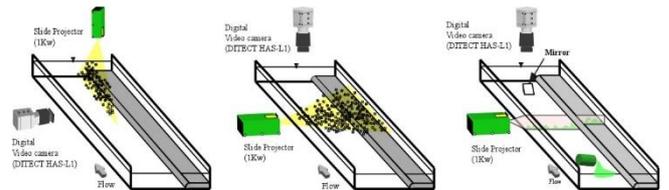


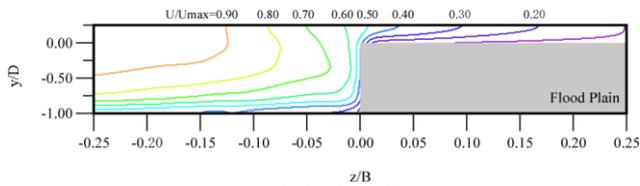
図-2 PTV及び流れの可視化法概略

組織構造の可視化では、トレーサーを上流から注入し、流れの各断面における流況をビデオカメラで撮影した。なお、両実験の水深(H)の条件は、これまでの筆者らの研究成果²⁾と比較するため、 $H=5\text{cm}$ とした。図-2は、PTV及び流れの可視化法概略を示している。

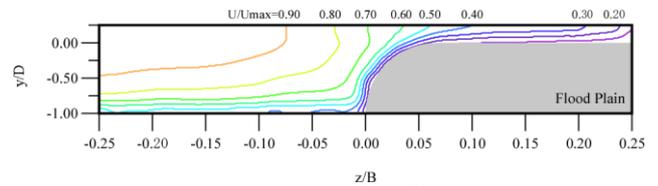
3. 実験結果および考察

(1) 平均流速分布特性

図-3は、高水敷先端部形状が直角の場合(以下、直角高水敷と呼ぶ)と高水敷先端部形状が1/4円形の場合(以下、1/4円形高水敷と呼ぶ)における、主流速(U)の等値線図を示している。流速は計測値の最大値 U_{max} で無次元化して表示している。この図より、 $U/U_{max}=0.9$ に注目すると、直角高水敷流れでは、高水敷先端部から $z=-0.12$ 付近に位置しているが、1/4円形高水敷流れでは、 $z=-0.075$ 付近まで近づいていることが明らかである。また、両流れ場の高水敷上の流速の等値線に注目すると、

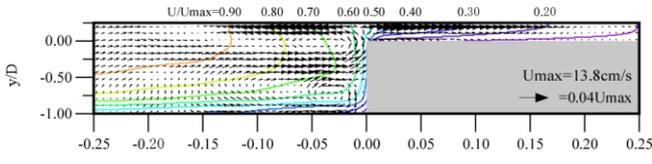


(a)直角高水敷

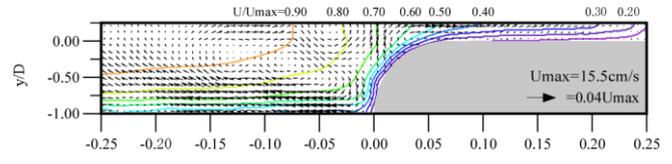


(b)1/4 円形高水敷

図-3 平均主流速(U)分布

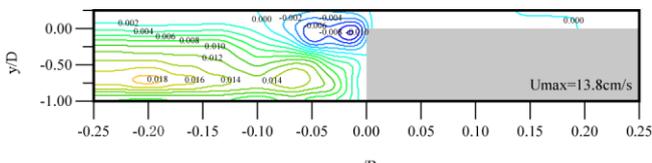


(a)直角高水敷

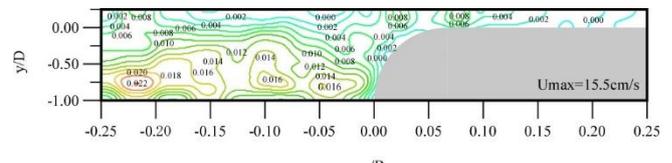


(b)1/4 円形高水敷

図-4 平均主流速(U)分布および二次流(V, W)分布図

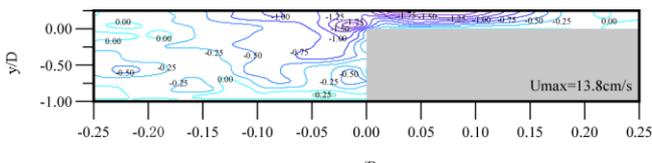


(a)直角高水敷

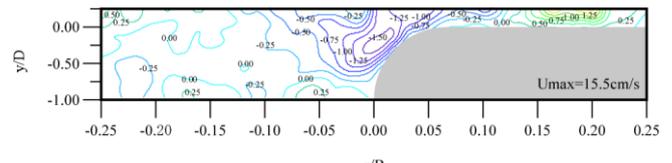


(b)1/4 円形高水敷

図-5 鉛直方向レイノルズ応力分布 $(-\overline{u'v'})/U_{max}^2 \times 10$



(a)直角高水敷



(b)1/4 円形高水敷

図-6 水平方向レイノルズ応力分布 $(-\overline{u'w'})/U_{max}^2 \times 10^3$

1/4円形高水敷では、直角高水敷に比べて高速となっていることが認められる。

図-4は、両流れ場における主流速(U)の等値線と二次流(V, W)の重合図を示している。直角高水敷流れでは、高水敷先端部に時計、反時計方向の対を成す旋回流が形成されており、その旋回流は横方向に扁平な形状を呈している。一方、1/4円形高水敷の流れでも、曲面上に時計、反時計方向の旋回流が形成されているが、直角高水敷の場合と比べ小規模となっており、強さについても1/4円形高水敷の方が小さくなっている。特に、反時計方向の旋回流についてはより小規模となり、それに応じて底面付近の渦構造が大きくなっていることが認められる。

図-7は、両流れ場における鉛直方向レイノルズ応力 $(-\overline{u'v'})/U_{max}^2 \times 10$ の等値分布を示している。直角高水敷流れでは、高水敷先端部に負のレイノルズ応力の大きい値が生じている。また、底壁付近にも比較的大きな正の値も生じている。一方、1/4円形高水敷流れでは、

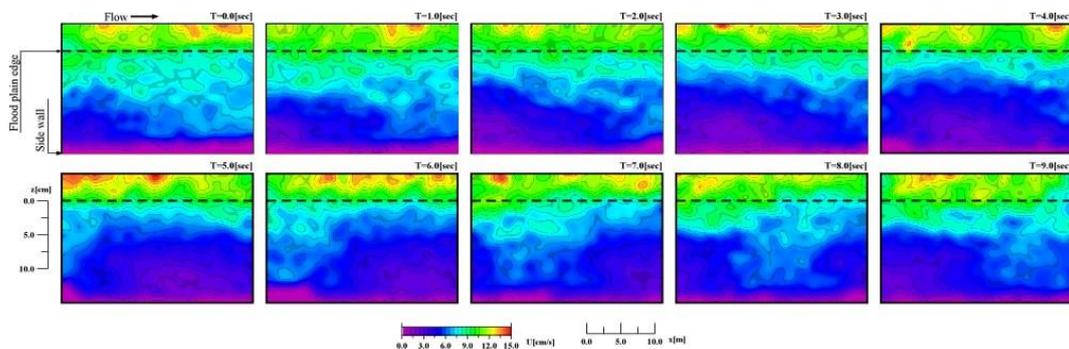
底壁付近に比較的大きな値の領域が形成されていることが認められるが、直角高水敷の流れのように負の大きな領域の形成は認められない。

図-8は、両流れ場における水平方向のレイノルズ応力 $(-\overline{u'w'})/U_{max}^2 \times 10^3$ 分布を示している。直角高水敷流れにおいては、高水敷先端部および高水敷上の水面付近において負の大きな値が生じている。一方、1/4円形高水敷流れにおいては、高水敷先端部の曲面上で負の大きな値が生じている。

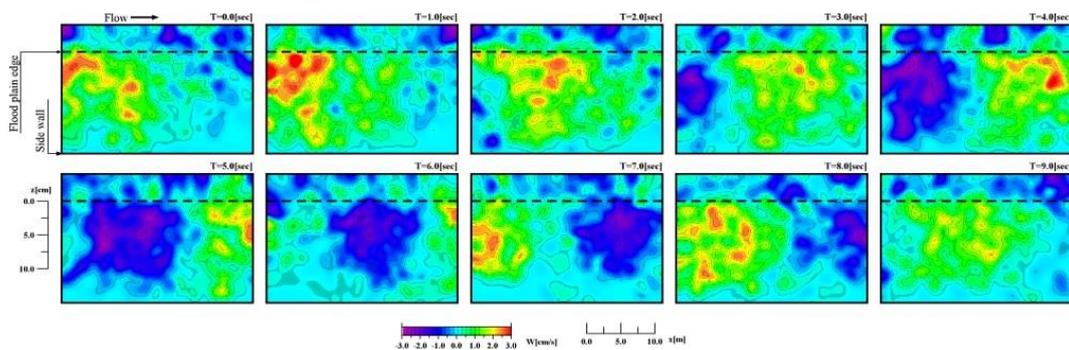
(2) 瞬時流速分布特性

ここでは、水平断面の瞬時流速分布の経時変化から、平均流速分布の特徴の成因を検討する。

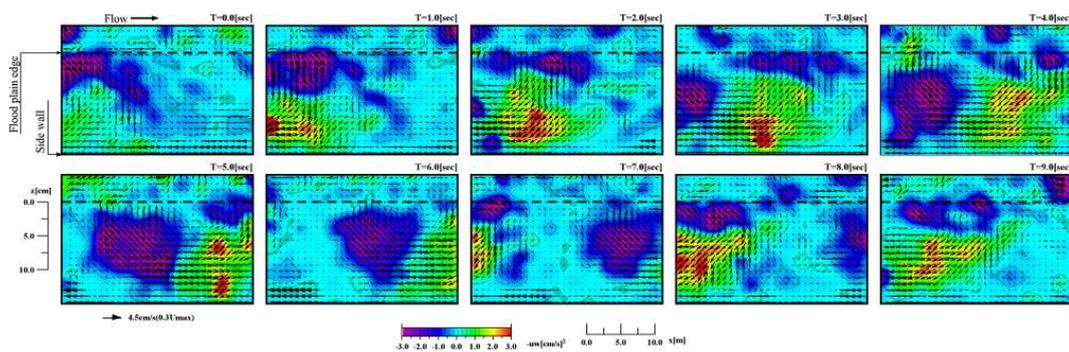
図-7、図-8には、直角高水敷および1/4円形高水敷の瞬時主流速分布、横断方向分布、瞬時レイノルズ応力分布の1秒毎の経時変化を示している。(a)の主流速分布においては、直角高水敷流れでは、低速領域が高水敷上に形成され、それが連続的に流下している様子が観察された。一方、1/4円高水敷の流れでは、高水敷上に低速域



(a)主流速分布



(b)横断方向流速分布



(c)水平方向レイノルズ応力分布

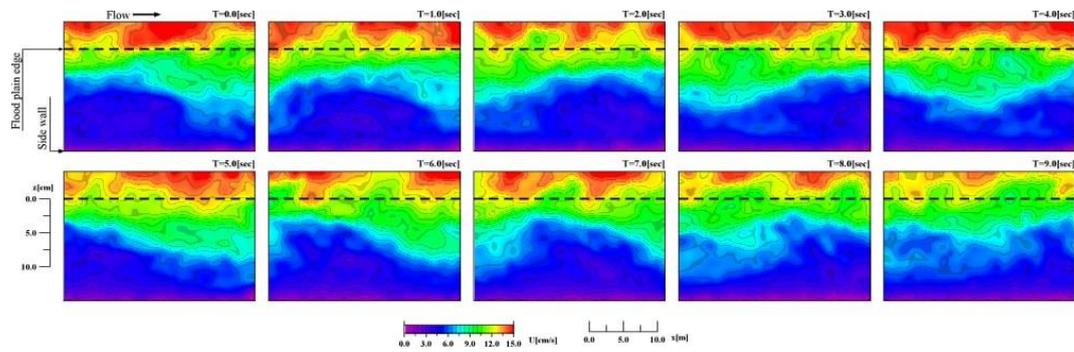
図-7 直角高水敷における水平断面瞬時流速分布

は形成されているが、直角高水敷と比較してその流速は高速であることが明らかである。また、形成領域の大きさも小規模で一様な分布のように認められる。(b)の横断方向流速分布においては、横断方向流速の正值(暖色)は高水敷方向、負値(寒色)は低水路方向に相当している。直角高水敷流れでは、上記の低速領域の通過に伴い、強い横断方向の流れが生じていることが明らかである。一方、1/4円高水敷流れでは、直角高水敷の場合と比べ、正值の形成が多いことが観察される。これは、上記で述べた高水敷上が高速となっていることが要因であると考えられる。(c)には、瞬時レイノルズ応力分布(- uw)および変動ベクトル(u, w)を重ねて示している。変動速度は、瞬時流速から平均流速および平均横断方向流速を差し引いて求めた。また、この変動速度の積を瞬

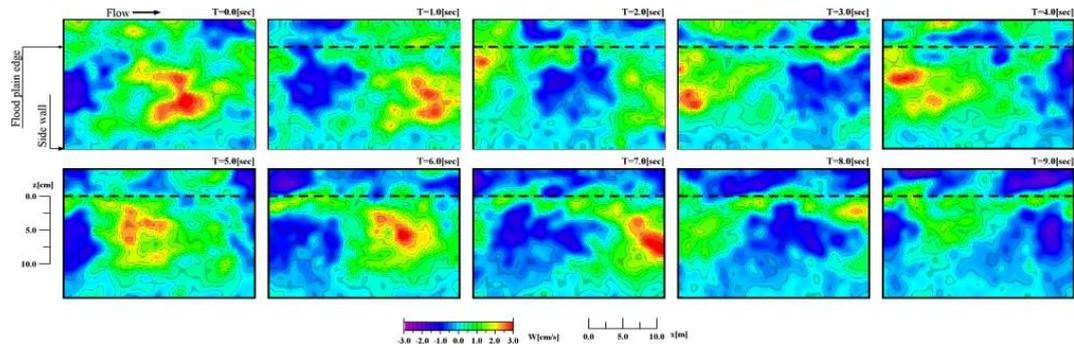
時レイノルズ応力として求めた。直角高水敷流れでは、正值と負値が交互に形成されているのに対し、1/4円高水敷流れでは負の大きな値が常に形成されていることが観察された。変動速度分布では、直角高水敷では水平渦の形成が多く観察されたのに対し、1/4円高水敷では、直角高水敷と比べ、渦構造の形成が少ないことが観察された。

4. おわりに

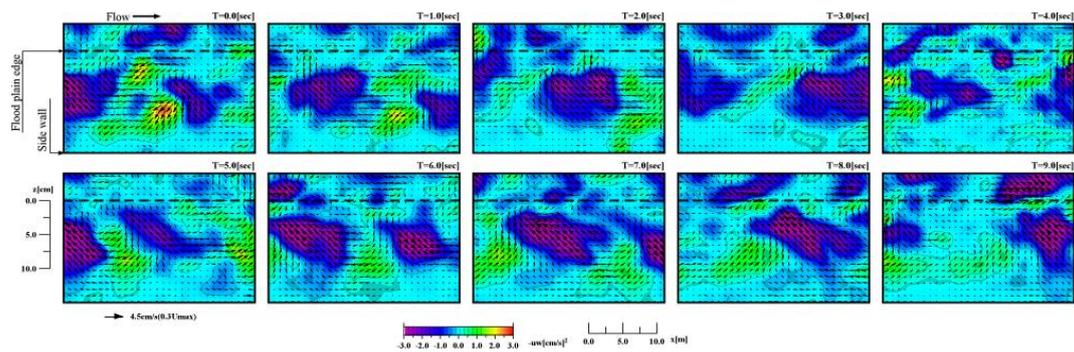
本研究では、低水深における1/4円高水敷を有する複断面開水路流れの特徴を流速計測法と流れの可視化法を用いて検討し、直角高水敷の流れ場との相違を明らかにした。以下に、本研究において得られた主要な結論を示す。



(a)主流速分布



(b)横断方向流速分布



(c)水平方向レイノルズ応力分布

図-8 1/4円形高水敷における水平断面瞬時流速分布

(1) 主流速分布では、1/4円形高水敷流れでは、水路中央付近の高速域が、直角高水敷流れと比べてより接近し、高水敷上もより高速となる。

(2) 二次流分布では、直角高水敷流れで扁平で大規模な対を成す旋回流が形成されるのに対し、1/4円形高水敷流れでは、斜昇流と小規模な旋回流の形成が認められた。特に、反時計方向の旋回流が小規模になり、それに応じて底面付近の時針方向の旋回流の規模が大きくなっていることが観察された。

(3) レイノルズ応力分布では、直角高水敷流れでは、高水敷先端部及び水表面付近に負の水平方向レイノルズ応力が形成されているのに対し、1/4円形高水敷流れでは、曲面上に負の水平方向レイノルズ応力が形成されることが明らかとなった。

参考文献

- (1)石垣泰輔，今本博健：可視化法による複断面開水路流れの3次元構造に関する研究，土木学会論文集，No. 515/II-31，pp.45-54，1995.
- (2)渡辺勝利，徳光洋輔，佐賀孝徳：片複断面開水路流れに形成された水平渦の内部構造，水工学論文集，第53巻，2009.
- (3) 渡辺勝利，河村優太，木山和俊，佐賀孝徳：低水路側壁が傾斜した複断面開水路流れにおける二次流れと組織構造の特徴，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.69，No. 4，I_907-I_912，2013.
- (4)片岡航大：高水敷先端部の形状変化に伴う複断面開水路流れの流速分布特性，平成29年度 徳山高専土木建築工学科卒業論文集，CD-ROM，2016.