

不連続高水敷を有する複断面開水路流れの流況特性に関する研究

徳山高専 学生会員 ○手山堅心
 徳山高専 正会員 渡辺勝利

1. 結 論

ワンドとは河道に設置した水制に土砂が堆積し淀み部となったものである。ワンド内では流速が小さいために多様な生物にとって格好の生息、繁殖、避難場所となっている。また、様々な植生も見られ、自然豊かな水系環境が創出されている。人工ワンドは河川の複断面状の高水敷を一部掘り込んで造成されるものである。このワンド内の環境を保全するためには、土砂堆積や水循環を管理する必要がある。このためにはワンド内の流れ構造を理解する必要がある。とくに洪水時にはワンドは水没し、不連続な高水敷を有する複断面流れとなり、ワンド内の土砂堆積に大きな変化を生じることから、このような流れの詳細な解明が必要となる。

これまでに、複断面開水路流れに関する研究については、本流れ場固有の流れ構造である斜昇流や水平渦が高水敷上に形成された縦渦構造がその形成因であることを明らかにされている^{1), 2)}。不連続な高水敷を有する複断面水路については、中川, 川原, 玉井ら³⁾が、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、低水時及び高水時の平均流速分布特性を検討している。しかし、これ以外には不連続な高水敷を有する複断面流れに関する知見は十分に見出されていない。

そこで本研究では、洪水時のワンド流れの構造を検討するために、高水敷の一部に切り欠きが存在する複断面流れの対象として、その内部流況の特徴を流速計測法と流れの可視化法を用いて検討する。このために本研究では、流れ場の詳細な三次元の流速特性、流れ場に形成される組織構造の時空間特性、組織構造の挙動と流速分布の相互関係を明らかにし、流れ場の概念モデルを作成することを目的とする。

2. 実験装置および方法

本研究では、長さ 10m, 幅 60 cm, 高さ 15 cm の総アクリル樹脂板製の直線開水路を用いる。本水路の右岸側に長さ 1m, 幅 15 cm, 高さ 4 cm の塩ビ樹脂製の板を敷き詰める。その際、上流から 5m 地点において、長さ 30 cm の空間部を設け、それを高水敷の切り欠き部とする。実験水路の概観は図-1 に、切り欠き部については、図-2 に示すとおりである。

実験方法として、流速計測にはPTV(Particle Tracking Velocimetry)を採用した。トレーサーには微細粒子(リルサンパウダー粒径 $100\mu\text{m}$)、照明にはレーザースリット光膜(カトウ光研G100)を用いた。粒子流動状況の撮影には4Kデジタルビデオカメラ(Sony PXY-Z280)を使用した。図-3にはレーザースリット光膜の照射位置を示しており、断面数は鉛直方向43断面、水平方向23断面とした。流れの内部流況の可視化には、蛍光染料注入法を用いた。

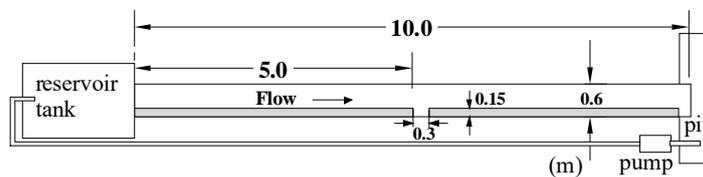


図-1 実験水路概観

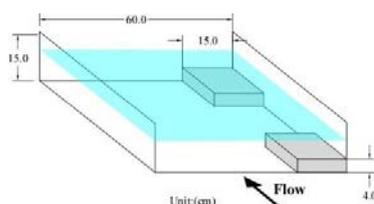


図-2 観測領域概要

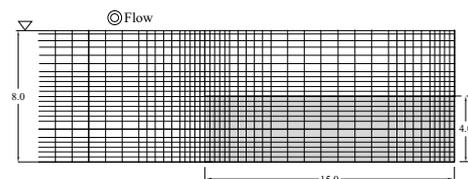


図-3 PTV計測断面位置

Key Words : compound open channel flow with discontinuous flood plain, embayment, three dimensional turbulent flow, PTV

連絡先 〒745-8585 山口県周南市学園台 3538 番地

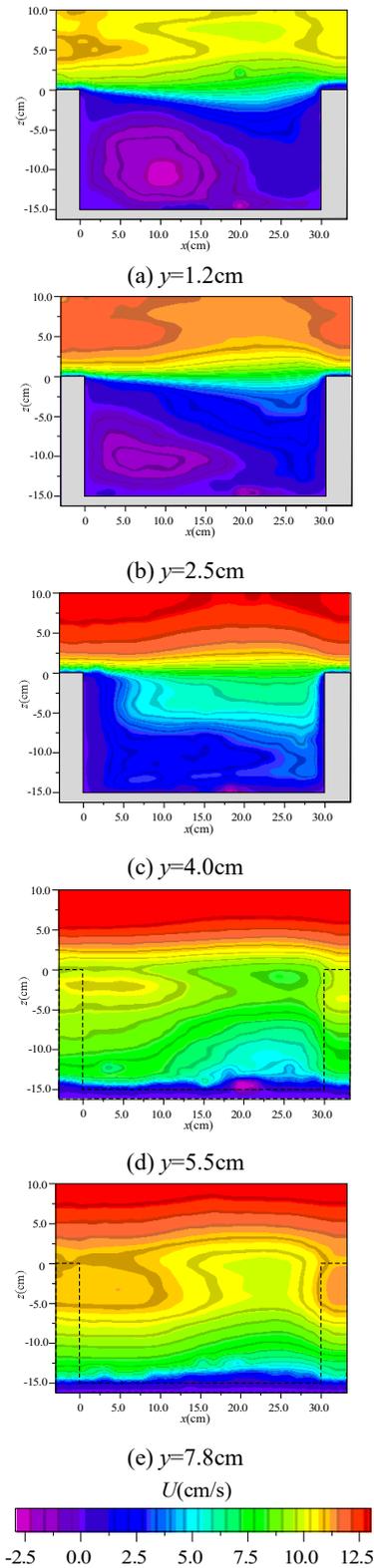


図-4 平均主流速分布 (U)

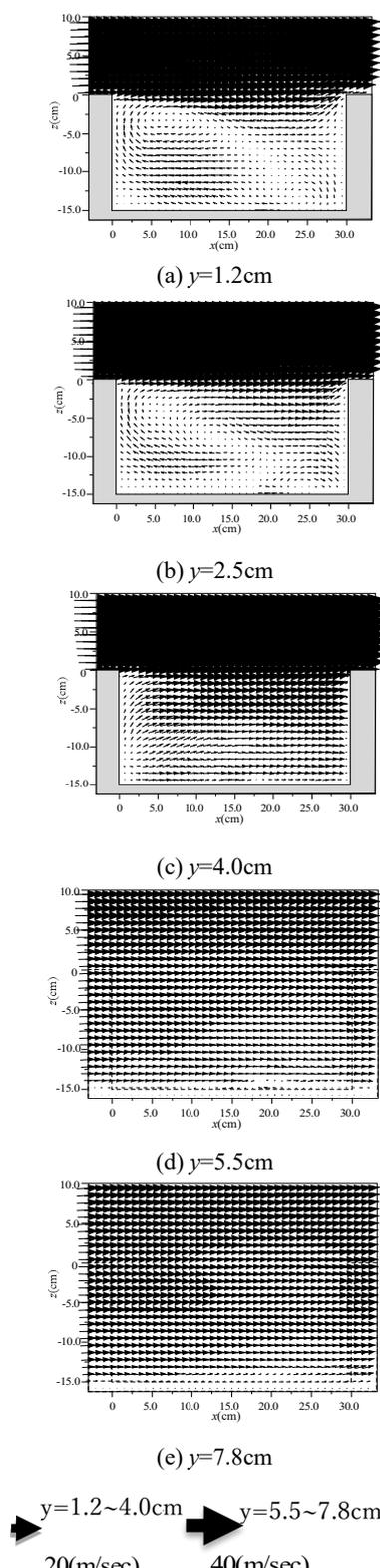


図-5 流速分布ベクトル (U, W)

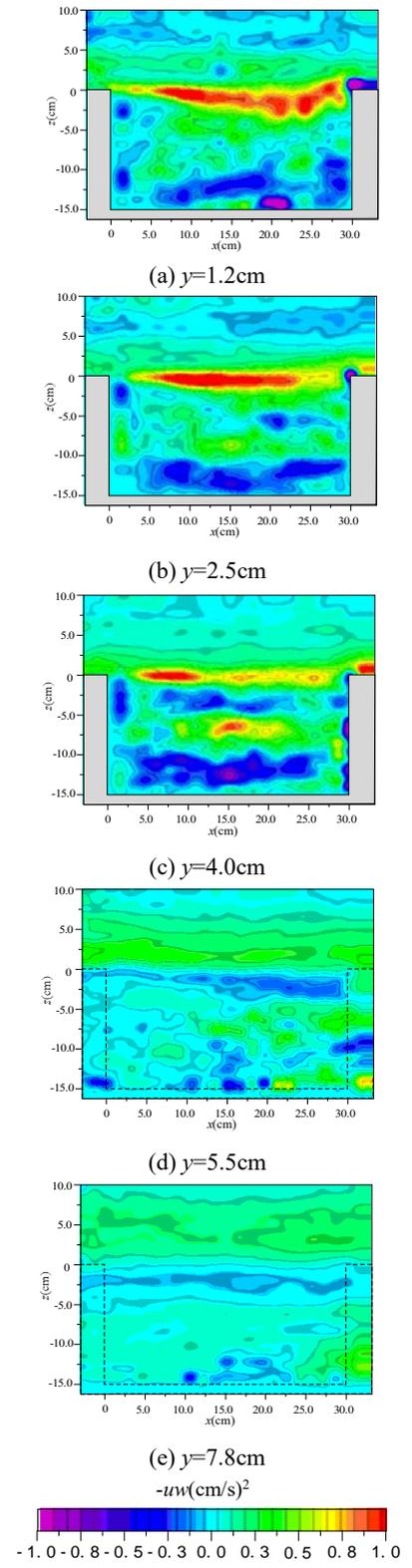


図-6 レイノルズ応力分布 ($-uw$)

3. 実験結果および考察

図-4 は、平均主流速分布 (U) を示している。 $y=1.2\sim 4.0\text{cm}$ では、高水敷の切り欠き内部では、主流側に比べ、切り欠き内部は相対的に低速であり、側壁付近では逆流が生じている。 $y=5.5\sim 7.8\text{cm}$ では、切り欠き下流端部付近が低速になっていることが注目される。 図-5 は、流速ベクトルを示している。 $y=2.5\text{cm}$ までは、上流側に時計方向に旋回流の形成が認められる。 図-6 は、レイノルズ応力分布 ($-uw$) を示している。 $y=1.2\text{cm}$ から $y=4.0\text{cm}$ までは、切り欠き部と低水路との境界が大きくなっている。 また、側壁付近には、負の領域がみられる。 また、 $y=5.5\text{cm}$ から 7.8cm の切り欠き部と低水路の境界領域には、正と負のレイノルズ応力の分布が並列して形成されている。

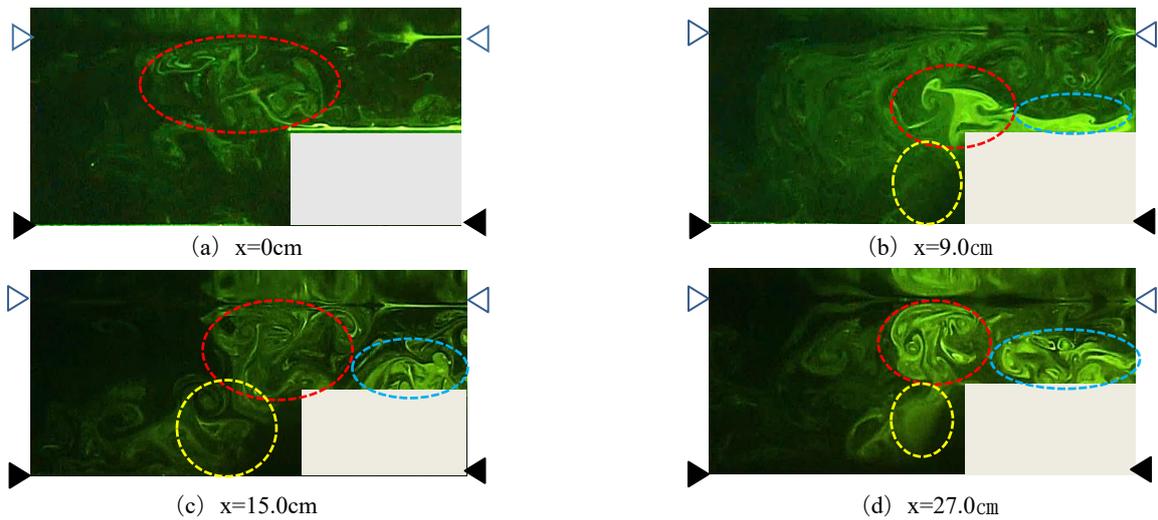


図-7 横断面視結果

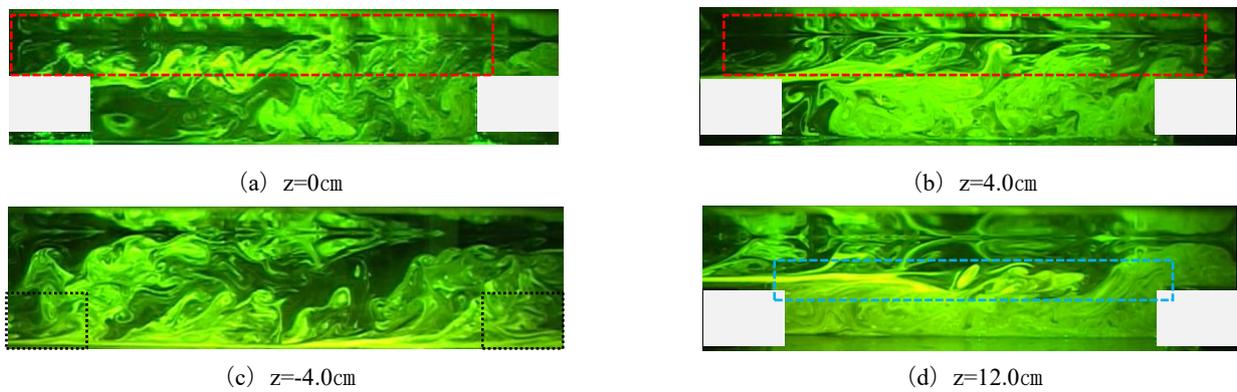


図-8 縦断面視結果

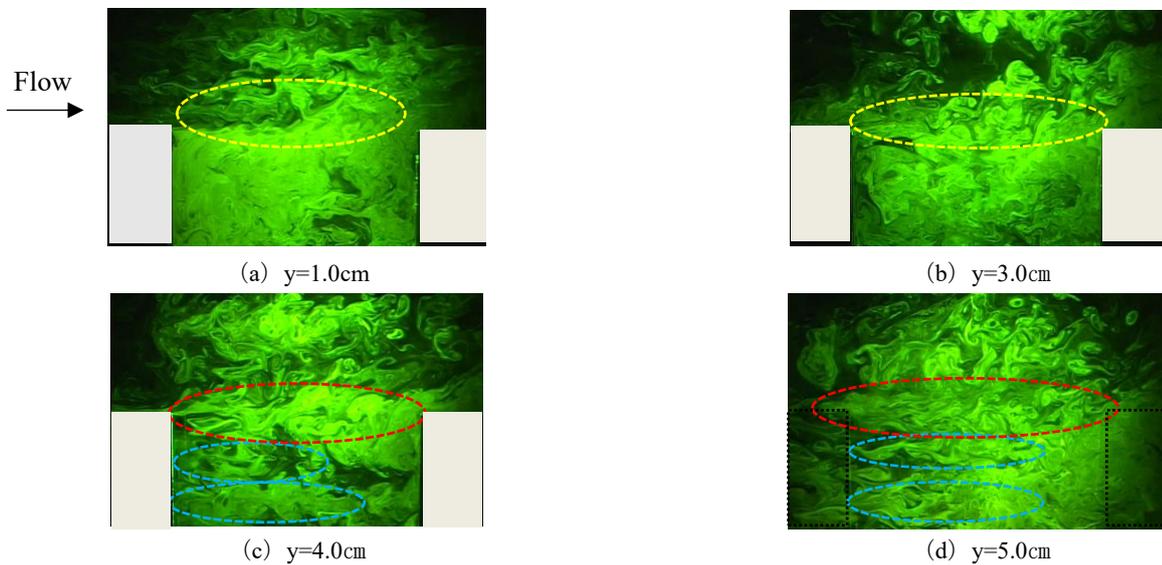


図-9 水平断面視結果

図-7, 図-8, 図-9には, 横断面視, 縦断面視, 水平断面視結果をそれぞれ示している. これらの流れの可視化の結果から, 本流れ場には3つの縦渦構造が形成されていることが明らかとなった. その1つは, 切り欠き部上流の高水敷先端部に形成された縦渦構造が, 切り欠き部においても, 高水敷先端部位置に形成されることである. その横断面視は, 図-7において赤破線で囲んだ領域に相当する. この縦渦構造の存在は渡辺ら²⁾によって明らかにされており, 高水敷先端部に定常的に形成され斜昇流や乱れの形成因になっていることが解明されている. 図-8の $z=0\text{cm}$, $z=4.0\text{cm}$ において赤破線で囲んで示した下流方向に発達する渦形象はこの縦渦構造に相当している. また, 図-9の赤破線で示した領域も高水敷先端部位置に形成された縦渦構造の水平断面形象に相当する.

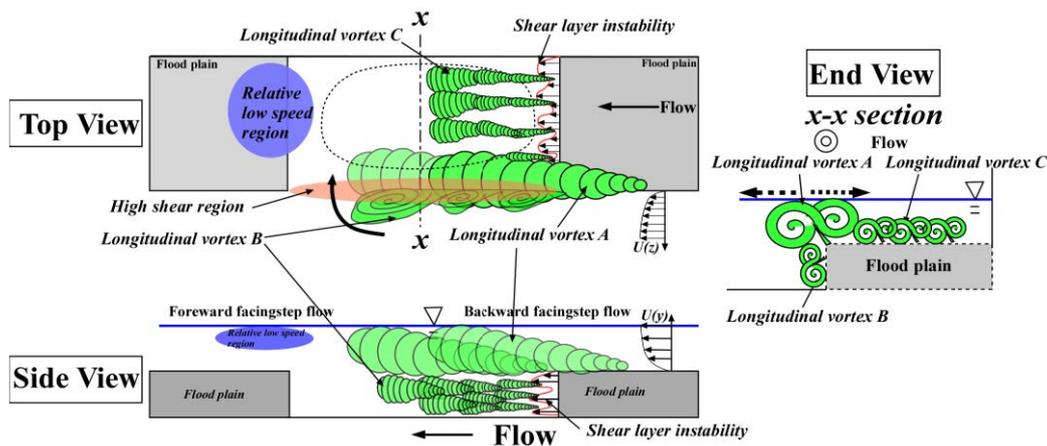


図-10 不連続高水敷を有する複断面流れの概念モデル

2つ目は、高水敷側面下流に形成される縦渦構造群である。それは図-7の黄色破線で囲んで示した領域に相当する。この縦渦構造の水平断面形象は図-9の黄色破線で囲んだ領域に相当する。

3つ目は、上流の高水敷上流端から下流に形成される縦渦構造群である。その横断面形象は図-7の青破線で囲んで示している。また、その縦断面形象は図-8の $z=12.0\text{cm}$ の青破線で囲んで示している。この渦構造は下流端で高水敷を乗り越えていることが認められる。この縦渦構造の水平断面形象は図-9の青破線で囲んだ領域に相当している。

4. 流れの概念モデル

図-10に不連続高水敷を有する複断面開水路流れの概念モデルを示す。本流れ場を支配しているのは、高水敷先端部 (Longitudinal vortex A)、上流の高水敷側面の下流 (Longitudinal vortex B) および上流の高水敷上面流 (Longitudinal vortex C) にそれぞれ形成される縦渦構造である。これらが、主要な流れ場の流速分布の特徴に主要な役割を果たしていると考えられる。Longitudinal vortex Aは、切り欠き部と低水路との境界において、渦運動に伴う流体輸送によって、 $y=4.0\text{cm}$ 以上の正負の高レイノルズ応力 ($-uw$) 領域を形成すると考えられる。Longitudinal vortex Bは、高水敷側面下流の剥離せん断層の不安定と2つのせん断層の共存によって形成される縦渦構造群である。これは、Longitudinal vortex A同様、切り欠き部と低水路の境界におけるレイノルズ応力 ($-uw$) 領域を形成すると考えられる。Longitudinal vortex Cは上流の高水敷上面から下流に形成される縦渦構造群であり、Longitudinal vortex Bと同じく剥離せん断層の不安定性と2つの速度せん断の共存によって生成される。これは、高水敷高さ付近の乱れの生成に寄与している。

5. 結論

本研究では、不連続高水敷を有する複断面開水路流れの内部構造の特徴を流速計測法、流れの可視化法を用いて検討した。以下に、本研究において得られた結論を示す。

- (1) 切り欠き部の高水敷上面以下では、時計方向の大規模な旋回流が形成される。また、切り欠き部下流端付近では相対的な低速領域が形成される。
- (2) 切り欠き部と低水路の境界領域で正負の高レイノルズ応力 ($-uw$) 領域となる。また、高水敷上面の高さ付近では乱れ強度 (u_{rms} , w_{rms}) が顕著な領域で形成される。
- (3) この流れ場において、高水敷先端部、高水敷側面下流、高水敷上面下流に縦渦構造が認められた。これらの縦渦構造の渦運動によって乱れの生成や旋回流の形成に重要な役割を果たすことが推察された。
- (4) 本流れ場の特徴を踏まえ、内部構造に関する概念図が示された。

参考文献

- 1) 渡辺勝利, 森山拓士, 佐賀孝徳: 低レイノルズ数の片複断面開水路流れに形成される斜昇流の内部構造, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.67, No.2, 41-53, 2011.
- 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, pp.931-936, 2009.
- 3) 中川研造, 川原能久, 玉井信行: ワンド内の流れの水理特性に関する実験的研究, 水工学論文集, 第39巻, pp.595-600, 1995.