

第II部門

ワンドを有する複断面屈曲河道の水平面の流況特性と水深平均流速の横断分布に関する研究

関西大学環境都市工学部 学生会員 ○樫原 義信

関西大学大学院理工学研究科 学生会員 米倉 翔

関西大学環境都市工学部 正会員 石垣 泰輔

関西大学環境都市工学部 正会員 島田 広昭

1. はじめに

全国的な環境への意識の高まりから 1997 年の河川法改正を機会に、河川管理において治水・利水に加え、環境保全・復元の取り組みが重要視されるようになってきている。その一例としてワンドが注目されている。ワンドとは低水路と隣接している死水域の部分を目指す。ワンド内は流れが遅いために土砂が堆積し、植物が繁茂して水生生物の住処となるような機能を持つ。一方で、ワンド内の流れは複雑な構造を有しており、洪水時において流水抵抗となることが考えられる。過去のワンドに関する研究では、直線水路における水平面の流況特性について多く行われてきた。しかし、屈曲部における水平面の流況特性や、水深平均流速の横断分布に関してはあまり検討されていない。本研究ではワンドを有する複断面屈曲河道の水平面の流況特性と水深平均流速の横断分布について検討を行った。

2. 実験装置及び方法

本研究で用いた水路は長さ14m、幅0.5m、水路勾配1/1000である。流量はインバータでポンプの回転数を制御することにより調節し、下流にある堰で等流状態を設定した。上流部には右岸側のみに、下流部には左岸側のみに高水敷を設けている。測定部は図-1に示すように低水路を屈曲させた複断面屈曲水路となっている。屈曲部の左岸側にワンドを設けている。水深平均流速を求める測線上では右岸高水敷幅 $Y_1=0.12\text{m}$ 、低水路幅 $Y_2=0.15\text{m}$ 、左岸高水敷幅

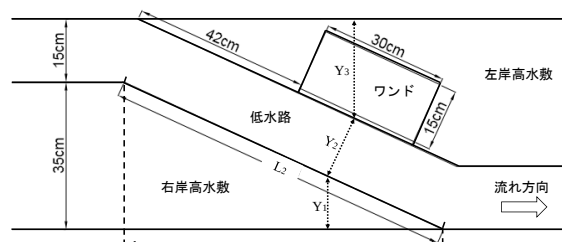


図-1 測定部平面図

$Y_3=0.24\text{m}$ としている。高水敷高さは $h=0.082\text{m}$ である。蛇行度は $1.1 (=L_2/L_1)$ である。ワンドは深さ 0.082m 、幅 0.30m 、奥行き 0.15m とし、低水路側の開口部には高さ 0.06m 、幅 0.30m 、奥行き 0.003m のガラス製の頭部水制を設けている。

実験方法は、まず水路にトレーサーとして、粒径 0.08mm 、比重 1.5 、湿潤状態の塩化ビニル粒子を流し、LLS (Laser Light Sheet) を用いてワンド内とその周辺の流れの水平面流況を可視化した。そしてビデオカメラを用いてサンプリング周波数 30Hz で3分間の撮影を行った。撮影した動画をPIVソフト (Flow Expert 2D) を用いて解析を行い、水平面内の流速ベクトルを算出した。計測高さ z は各ケース低水路水深 H_0 を10等分する間の9平面とした。また図-1に示す測線において、9平面の流速を水深平均し、水深平均流速の横断分布を算出した。

本研究で対象とした実験条件は、相対水深 $Dr (= \text{高水敷上水深} (H_0 - h) / \text{低水路水深} H_0)$ が $0(\text{Bankfull})$, 0.16 , 0.42 の3ケースである。それぞれワンドがある場合とない場合の流れを対象とした。

3. 実験結果及び考察 ($Dr=0.42$)

水面付近と高水敷底面付近の流速ベクトルを図-2 i), ii) に示す。注目したい点は2つある。第1点は左右岸の高水敷上で流速差がみられること。もう1点はワンドの最も上流側の角から最も下流側の角にかけて流れの遅いところがみられることである。前者の流況は、右岸高水敷で上流から高水敷上を流れて測定部まで到達するために流速が遅くなっていること。そして左岸高水敷では測定部の直上流で速い低水路流れが屈曲部を通して流れてくるために高水敷上に速い流れが乗り上げて流速が速くなっていることで説明される。後者の流況は、高水敷上流れとワンド内の低速流体との複雑な流体混合によって発生している下層からの上昇流によるものと説明される。

ワンド内の上層と下層の流速ベクトルを図-2 iii), iv) に示す。ワンド内上層では左岸側壁付近と低水路側から下流側壁に向けて速い流速がみられる。ワンド内下層では中央付近に上流方向の速い流速がみられる。またワンド内上流側を中心とした時計回りの循環流が生じている。ワンド内の上層と下層における発散分布を図-3 i), ii) に示す。

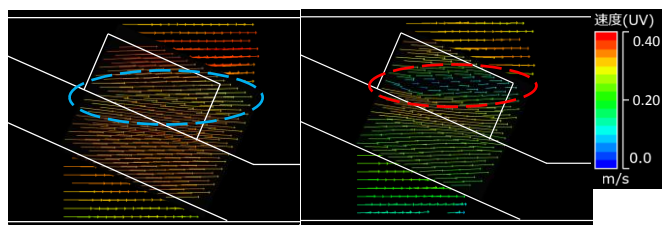
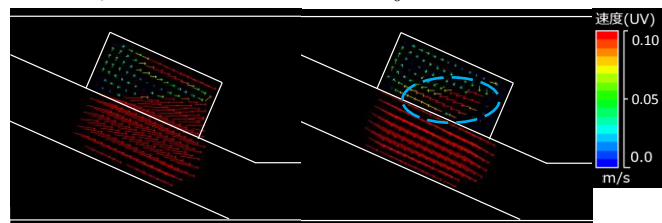

 i) $z/H_0=0.9(z=0.127\text{m})$ ii) $z/H_0=0.6(z=0.085\text{m})$

 iii) $z/H_0=0.5(z=0.071\text{m})$ iv) $z/H_0=0.1(z=0.014\text{m})$

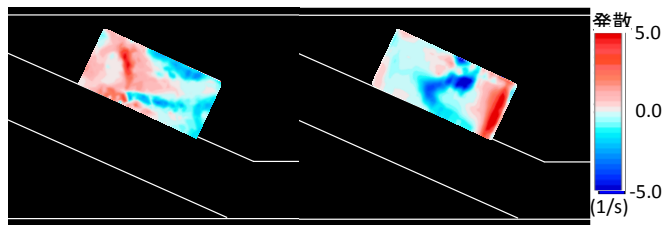
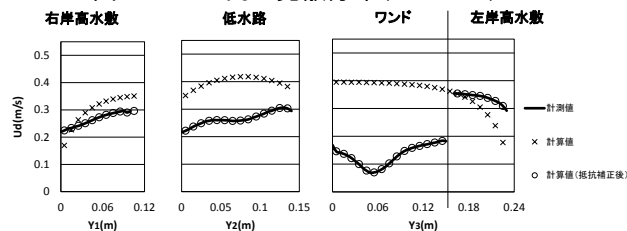
 図-2 水平面の流速ベクトル ($Dr=0.42$)

 i) $z/H_0=0.5(z=0.071\text{m})$ ii) $z/H_0=0.1(z=0.014\text{m})$

 図-3 ワンド内の発散分布 ($Dr=0.42$)

 図-4 水深平均流速分布 ($Dr=0.42$)

ワンド内上層では速い流速がみられた場所で流れが下降しており、ワンド内上流側で弱い上昇流が確認できる。ワンド内下層では上流方向の速い流速が見られた場所で流れが強く下降しており、下流側壁付近で流れが上昇していることが確認できる。つまりワンドには低水路側と高水敷上からの流入が生じ、2つの流れはワンドの下流端の左岸側のコーナー付近で合流し、下層に潜り込んで上流方向の流れとなり、ワンド内における流体混合の末に上流側の上層に弱い上昇流となって浮上してくるような流況となっている。

本研究では水深平均流速の横断分布を計測値によって求めた。さらに同じ測線において SK 法¹⁾ (Shiono Knight Method) を用いても水深平均流速の横断分布の計算を行った。SK 法とはイギリス国内の河川の水位-流量計算を行っている CAES (Conveyance Afflux Estimation System) 内で水深平均流速分布を計算するのに使われている方法である。SK 法では以下に示すような直線水路の一樣流を仮定した水深平均運動方程式を用いて計算を行っている。

$$\rho \frac{\partial H(UV)_d}{\partial y} = \rho g H S_0 + \frac{\partial H \bar{\tau}_{yx}}{\partial y} - \tau_b \left(1 + \frac{1}{S_2}\right)^{1/2} + S_x H \quad \dots (1)$$

ここに、 H : 水深、 x : 縦断方向、 y : 横断方向、 U : 縦断流速、 V : 横断流速、 ρ : 流体密度、 g : 重力、 S_0 : 底面勾配、 s : 側面勾配、 $\bar{\tau}_{yx}$: 水深平均レイノルズ応力、 τ_b : 底面せん断応力、 S_x : 植生等による抗力である。

計測値と計算値の水深平均流速分布を図-4 に示す。計測値(—)をみると、低水路では、水深平均流速が右岸側と左岸側で差が出ている。これは上流で水路左岸側を流れてきた水が、屈曲部を通して流入してくる影響と異方向の高水敷上流れの影響が反映されている。ワンドでは、全体的に水深平均流速が遅くなっている。これはワンド内で発生している上昇流や下層で生じている上流方向の流れが反映されていると考えられる。高水敷では、左右岸の高水敷で流速に差が出ている。これは水平面の流況から考察した流況特性が反映されていると考えられる。

SK 法による計算結果(x)を検討する。計測値との差は、前述した流況特性を考察すると低水路と左右岸高水敷上を流れる流体にかかる慣性力、ワンド内の複雑な流れによる抵抗が SK 法で考慮されていないと考えられる。そこで、この差をそれぞれ SK 法の運動方程式内における移流項 ((1)式左辺) と摩擦損失係数 f の付加抵抗として考えることで抵抗を補正することを試みた。補正後の計算結果 (○) も同じく図-4 に示している。その結果、低水路と左右岸高水敷の流体にかかる慣性力、ワンド内の複雑な流れによる抵抗を誤差なく補正できていることから、屈曲部の流況を考察することにより流速分布を算定できる可能性が示された。

4. おわりに

本研究ではワンドを有する複断面屈曲河道の水平面の流況特性と水深平均流速の横断分布について検討を行った。結果として、ワンド内では複雑な流体混合が生じており、水深平均流速の横断分布形状に大きな変化を及ぼしていた。今後さらに実河川の地形特徴を捉えた実験的な流況観察を行っていきたい。

参考文献: 1) Shiono・Knight: Turbulent open-channel flows with variable depth across the channel, J. Fluid Mech, vol. 222, p.617-646, 1991.