

愛媛大学大学院	学生会員	○小笠原奨太
愛媛大学大学院	学生会員	増本瑛也
愛媛大学大学院	正会員	伊福 誠

1. はじめに

現在、河川を取り巻く状況は、人間活動面からの多様な要請に加え、生物の生息・生育空間として生物の多様性を保全することが求められている。すなわち、人間活動と環境とをいかに調和させつつ、持続可能な利用を図るかといった視点で捉えることが重要となっている。植生は高水敷上の低流速域と低水路の高流速域との運動交換を通じて低水路の流れにも影響を及ぼす。従って、高水敷上の樹木や茂みが複断面水路における混合や輸送過程に及ぼす影響について調べることは重要である。

複断面水路における水平渦の3次元構造を明らかにしようとする既性の研究は室内実験によるものがほとんどである。さらに、数値シミュレータによる研究は平面2次元を対象としたものであり、3次元の数値シミュレータによる解析はほとんどない。こうしたことから、本研究では開発した3次元 Large Eddy Simulation (LES) を用いて、英国の Flood Channel Facility (FCF-UK) での実験シリーズに基づいた解析を行い、複断面水路の高水敷上に敷設した植生境界層周辺の乱流構造を明らかにしようとしたものである。

2. 数値解析法

(1) 実験データ

解析で使用する実験データは、FCF-UK で行われた実験シリーズ 07 によるものである。実験水路の規模は、長さ 60m であり、高水敷の幅 2.3m、高水敷から低水路における斜路の幅 0.15m、斜路の勾配 45 度で、低水路の幅 1.5m であり、最大流量 $1.1\text{m}^3/\text{s}$ まで流すことができる。なお、実験は、棒を備えた高水敷からなる直線低水路で行われた。高水敷には直径 0.025m の棒が 1m^2 当たり 12 本敷設されている。縦断方向の河床勾配は 1.024×10^{-3} である。流速および底面せん断応力は、それぞれ 10 台の小型プロペラ流速計およびプレストン・チューブを用いて測定された。

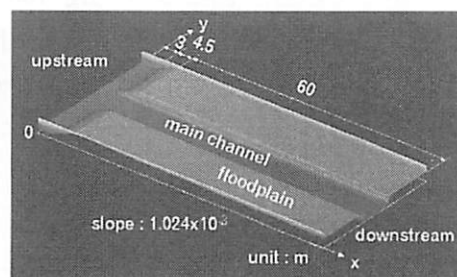


図1 解析水路

(2) 解析に用いる水路

解析に用いる水路は、図1に示すように全長が 67.5m とし、流入境界付近における横断面に若干工夫をした。すなわち、流入境界において水路横断面は矩形とし、3m の区間は同一断面とする。そこから、7.5m までは FCF の実験で用いた複断面形状になるように斜路を設けて河床形状が徐々に変化するようにした。

3. 数値解析結果

(1) 縦断方向流速

図2は070701の $x=32\text{m}$ の地点における縦断方向流速を示したものである。なお、図中の赤丸は最大流速が生ずる位置である。なお、平均時間は30sである。

等値線は斜面の法尻付近では、水路床から水面に向かって舌状に伸びていることがわかる。これは2次流の影響によって発生しているものである。高水敷および低水路の水深が増大するとこの傾向がさらに顕著になることから2次流の影響が強くなっている。

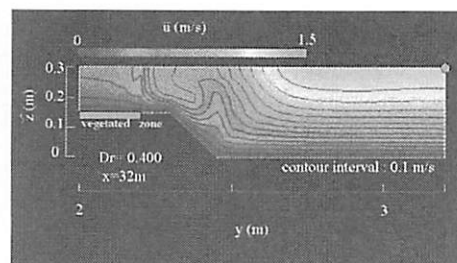


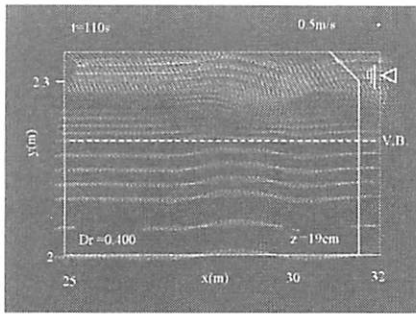
図2 縦断方向流速分布

(z : 低水路の水路床からの高さ)

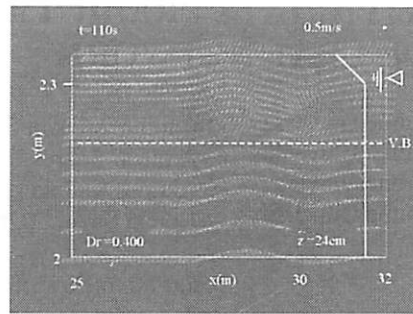
(2) 流速ベクトル($u-u_m, v$)の空間分布

図3(a)および(b)は、070701の $x=25\sim 32\text{m}$ 、 $y=2\sim 2.35\text{m}$ の領域における $z=19\text{cm}$ および $z=24\text{cm}$ での流速ベクトルを示したものである。なお、 u および v は、それぞれ縦断方向および横断方向の瞬間流速、 u_m は、それぞれ解析領域内の縦断方向の平均流速を示す。

(a)をみると、 $x=28.4\text{m}$ および $y=2.24\text{m}$ の地点に中心をもつ時計回りの渦が形成されている。渦の直径は約0.9mである。(b)をみると、 $x=29.9\text{m}$ および $y=2.2\text{m}$ の地点に中心をもつ時計回りの渦が形成されている。渦の直径は約2.1mであり、(a)よりもその規模は大きい。このことより、渦は水路床からの高さが増大するにつれ規模を拡大しつつ植生層境界に近づきつつ移流しているのがわかる。このことは070501および070601のデータについても同じ傾向がある。



(a) $\tilde{z} = 19\text{cm}$



(b) $\tilde{z} = 24\text{cm}$

図3 流速ベクトル($u - u_m, v$)の空間分布

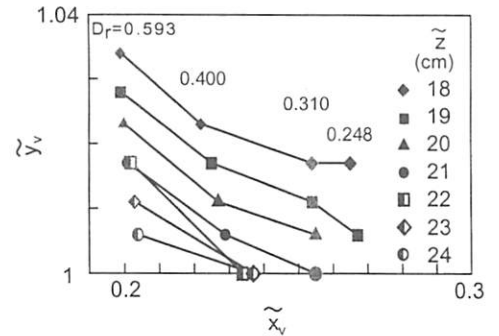


図4 渦の中心位置の変化

図4は渦の発生高さおよび渦の中心の移流を示したものである。なお、 $\tilde{x}_v$ および $\tilde{y}_v$ は、それぞれ $x/(c \cdot t^*)$ および y/y_{VB} で表される無次元量である。ここに、 x は上流境界から渦の中心までの距離、 c は $c = \sqrt{gR}$ で表される流速 (R : 径深) である。 t^* は渦の発生位置を求めた時間である。また、 y は側壁から渦の中心までの距離を表し、 y_{VB} は植生層幅である。

池田ら(1994)および瀬津ら(2000)も複断面水路における境界部付近に前述した渦が形成されることを水槽実験で得ており、彼等の実験結果と傾向を同じくする。しかしながら、水面に近づくと、高水敷から低水路に向けての横断方向流速ベクトルが増大し、明瞭な渦の形成までには至らない。さらに、低水路の水深 h と高水敷の高さ d との比 (h/d) が増大するにつれて、明瞭な渦の存在が確認され、水深帯が広がる。瀬津らは、 h/d がほぼ同一の実験から h/d の増大に関わらず、渦度の分布が余り変化せずに移流していることを得ている。本解析では、明瞭な渦が確認される水深帯が狭くなることを除けば瀬津らの実験結果と似た傾向を示す。また、070201、070301 および 070401 では渦が形成されなかったのは、乱れによるエネルギーの損失が大きいためであると考えられる。

(3) 流速ベクトル ($\bar{v}, \bar{w}$) の空間分布

図5(a)および(b)は、070201 および 070701 の $x=32\text{m}$ における時間平均した流速ベクトル ($\bar{v}, \bar{w}$) の空間分布を示す。なお、 $\bar{v}$ および $\bar{w}$ は時間平均流速である。

(a)より、斜路上の水面付近および斜路の法肩から斜路中央にかけて横断方向流速が大きく、斜路上の $z=0.14\text{m}$ の高さに中心をもつ反時計回りの渦が形成されている。なお、斜路に沿った渦の直径は約 0.2m である。

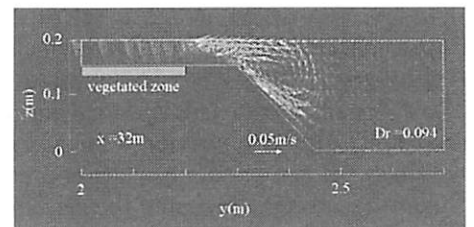
(b)より、植生の影響により植生境界層より左岸側では横断方向流速がほぼゼロである。また、斜路上の水面付近および斜路の法肩から斜路中央にかけて横断方向流速が大きく、斜路上の $z=0.19\text{m}$ の高さに中心をもつ渦が形成されている。なお、斜路に沿った渦の直径は約 0.3m である。低水路および高水敷の水深が増大するにつれて、高水敷上の横断方向流速は減少し、斜面上に形成される渦の中心は水面に近づくとともに植生境界層の方へ移動する。

(4) Reynolds 応力分布

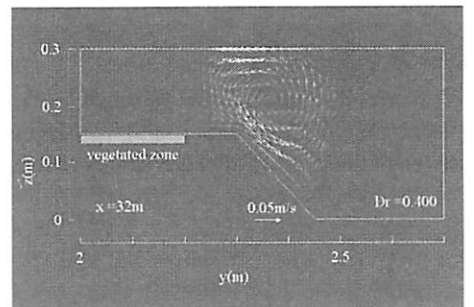
図6は070701の $x=32\text{m}$ の地点における Reynolds 応力 $-\overline{u'v'}$ の分布を示したものである。なお、平均時間は 30s である。

斜路の法肩の水面近傍で Reynolds 応力が極大となっている。これは、低水路と高水敷との間の水面付近に発生する水平渦に起因するものであると考える。さらに、高水敷上の植生層内部においても、Reynolds 応力は比較的大きい値を示すことから、斜路付近に生ずる水平渦の影響は高水敷の植生層内部まで及んでいることがわかる。また、斜路の法肩の水面近傍での Reynolds 応力および高水敷上の植生層内部での Reynolds 応力は流量が増大し、高水敷上の水深が増大する程減少している。また他のケースでも同じ傾向があった。

こうした傾向は、植生の有無の違いはあるものの瀬津らがファイバースコープ流速計を用いた乱流計測から得た結果と似た傾向を示す。



(a) 70201



(b) 70701

図5 流速ベクトル ($\bar{v}, \bar{w}$) の空間分布

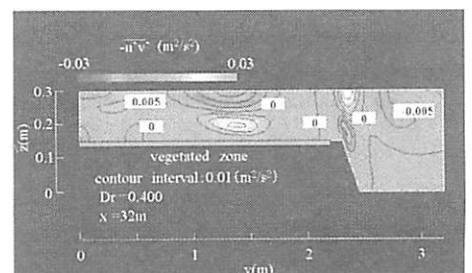


図6 Reynolds 応力分布