

植生を有する複断面開水路における流れと物質輸送に関する実験的研究

広島大学院 学生会員 ○山本 拓也
広島大学院 学生会員 長谷川 史明
広島大学院 学生会員 Jahra Fatima
広島大学院 フェロー会員 河原 能久
広島大学院 正会員 椿 涼太

1. 序論

我が国の大河川の中下流部では複断面河道が多く採用されている¹⁾。また、高水敷上では樹木などの植生が繁茂していることが多い。河道内の植生は、治水面からみると洪水時に流れの抵抗となり、水位を上昇させ、洪水氾濫の危険性を増すといった不利な点がある。しかし、水生生物の生息場や、貴重な動植物の保全、良好な景観や周辺住民にとっての憩いの場などの自然空間として機能するなど、環境面においては多くの利点を有している。そのため、植生と流れの相互関係を解明することは河川管理上重要である。

植生を有する開水路流れの研究は、現在までに数多くなされている。富永・長尾ら^{2,3)}は樹木群の設置幅・配列を変化させた研究や、比較的短い区間の高水敷植生群を片岸、両岸に有する河道について、実験や解析を行い、植生の配置が流れに及ぼす影響の議論を行った。また、著者ら⁴⁾は高水敷上の植生域の大きさや配置が流れに及ぼす影響を実験と数値解析により検討してきた。しかし複断面水路の流れは3次元性が強く複雑である上に、植生の存在によってその流れは変化するため、植生の流れに及ぼす影響を統一的に説明できる状況に至っていない。また、植生が物質輸送にどのように影響を及ぼすかについても不明な点が多い。

そこで本研究では、我複断面河道の片側の高水敷上に繁茂する植生域の存在が洪水流や物質輸送に及ぼす影響を実験的に明らかにすることを目的にした。

2. 実験概要

2.1 実験水路

図-1、図-2に実験水路の平面図と横断面図を示す。全長18m、幅1.82m、底勾配1/500の水路内に複断面

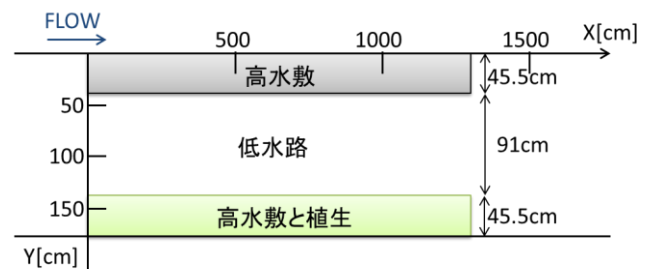
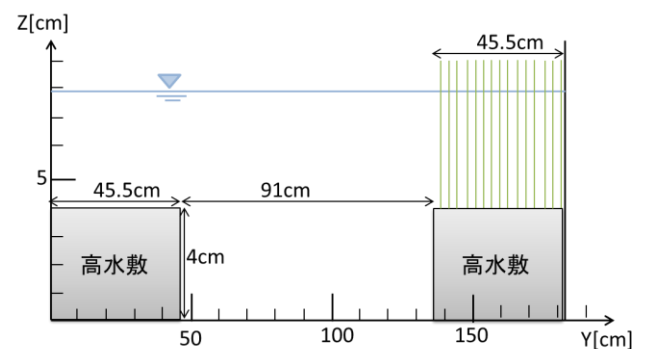
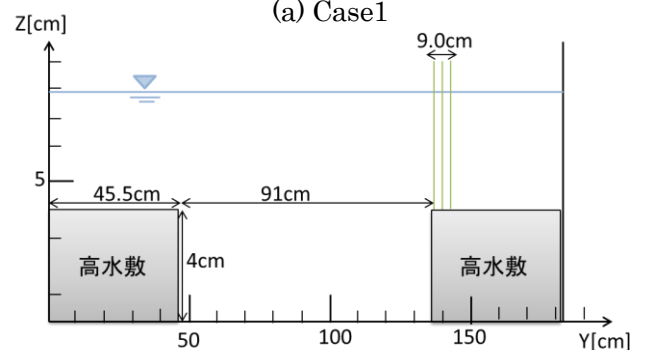


図-1 水路平面図と座標系



(a) Case1



(b) Case2

図-2 複断面水路の横断面図と植生の配置

水路を設置した。片側の右岸高水敷上のみ植生を配置し、植生の配置は2パターン変化させた。すなわち、Case1では、右岸高水敷上の区間12.8mに渡り全幅に植生を配置した。また、Case2では、植生を低水路と高水敷の境界上に集中的に配置した。具体的には、右岸高水敷上の区間12.8mに渡って幅9.0cmの植生配

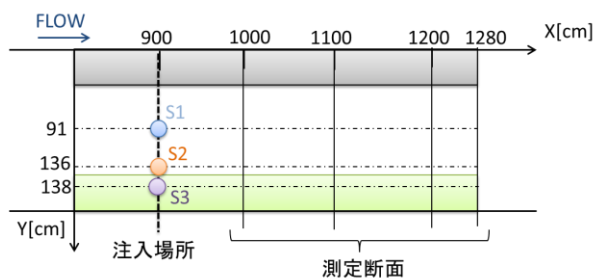


図-3 塩水の注入地点

表-1 塩水注入の実験条件

Case	水深 [cm]	注入条件 [ml/s]	注入場所		
			X[cm]	Y[cm]	Z[cm]
S1	8.0	3.0	900	91	7.9
S2		2.0		136	
S3				138	

置した．図-1 に示すように，座標系として上流端を原点として流下方向に X 軸，左岸から右岸への横断方向に Y 軸，河床から鉛直上向きに Z 軸と設定した．

植生モデルは直径 3mm，高さ 5cm の竹串で作成し， X ， Y 方向にそれぞれ 3cm の間隔で配置した．両ケースとも流量を 30l/s とし，植生は非水没状態とした．

2.2 実験内容

流れの特徴を把握するためアニリンブルーと白い粉を用いて流れの可視化を行った．また，本実験の計測項目として，流速 3 成分 (2 成分電磁流速計を使用) と水位 (サーボ式水位計を使用) であり，10Hz で 2 分間計測した．

物質がどのように輸送されるかを把握するため塩分濃度分布を計測した．図-3，表-1 に実験条件を示す． $X=9m$ の水面からアルコールで比重調整した濃度 1% の塩水を注入し，塩分濃度を $X=10m$ ， $11m$ ， $12m$ ， $12.8m$ の 4 断面で計測した．

3. 実験結果と考察

3.1 植生による流れの抵抗

両ケースにおける流量は 30l/s であり，Case1 に比べ Case2 における植生の量は 1/5 である．しかし，等流水深は同じになった．どのような流速分布中に植生が置かれたのかにより，植生が流れに及ぼす抵抗が大

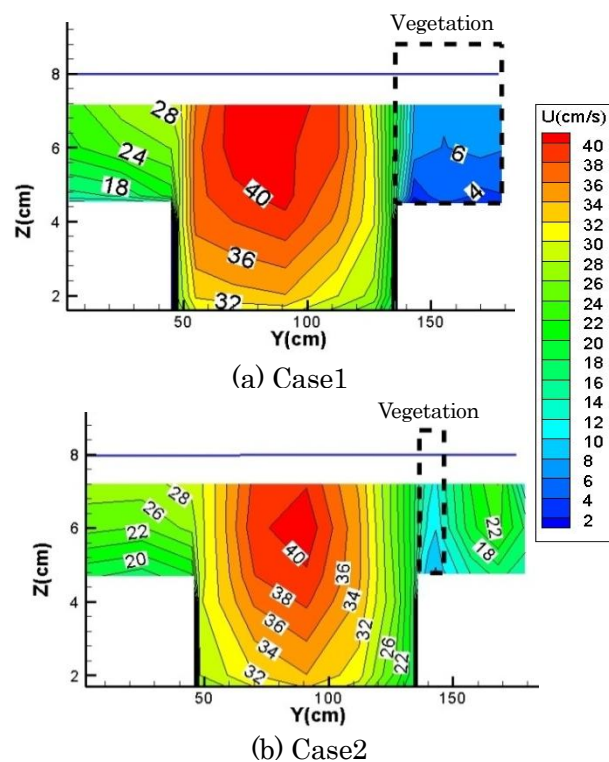


図-4 主流速のコンター [$X=1000cm$]

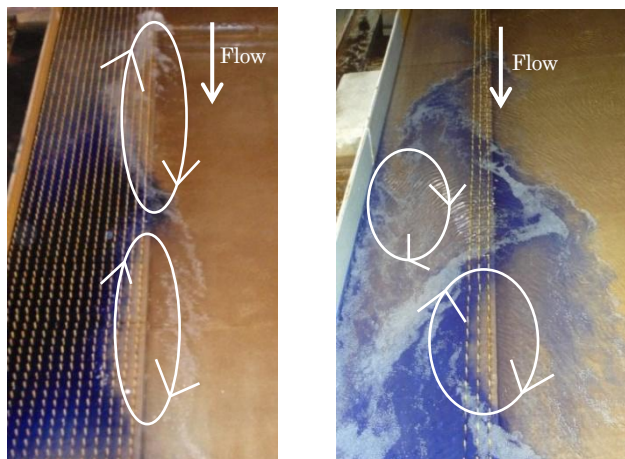
きく異なることを典型的に示している．このことより高水敷上での植生の伐採に関しては注意深い検討が必要なが分かる．

3.2 主流速分布

図-4 は，流れが十分に発達した $X=1000cm$ における主流速分布をそれぞれ示している．両ケースを比較すると，植生が配置されていない左岸高水敷上では大きな流速の差異がみられない．しかし，低水路内では植生域の小さい Case2 において，流速が顕著に低下し，最大流速が水面下に発生している．また，植生を有する高水敷上では，植生域内では植生の抵抗により主流速は低下している．植生域内の主流速は，Case1 は Case2 と比べ低下している．特に，Case2 の高水敷上で植生域から離れて最大流速が発生しており，Case1 に比べて高水敷上を流下する流量は遙かに大きい．このことは Case2 の低水路を流れる流量が Case1 と比較して大きく減少していることを意味する．

3.3 大規模渦の形成

写真-1 に流れの可視化の様子を示す．これより，それぞれに大規模渦が植生域と低水路内の境界に発生し



(a) Case1

(a) Case2

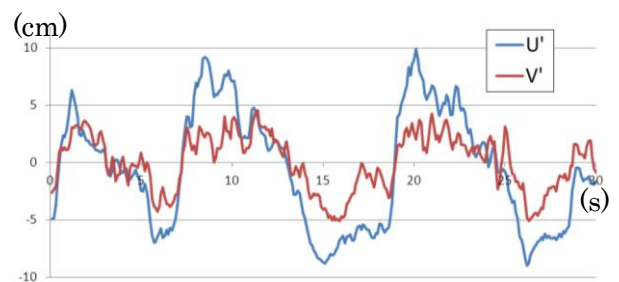
写真-1 可視化された流れ

ていることが確認できる。また、Case1と比較するとCase2では水平渦が主流方向に小さく、横断方向に大きくなっている。

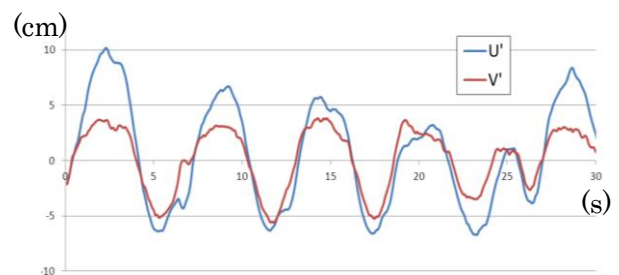
図-5に、 $X=1000\text{cm}$, $Y=137\text{cm}$, $Z=6\text{cm}$ におけるCase1とCase2の u' , v' の変動を示す。Case1, Case2ともに主流速と横断方向の流速は同一の位相で変動しており、高い相関を有していることが確認できる。また、横断方向流速の計測結果をFFTを用いてスペクトル解析をした。その結果、Case1の $Y=137\text{cm}$ では周期が約8秒、Case2の $Y=137\text{cm}$ では周期6~7秒にスペクトルのピークが検出された。これより、植生の寸法や間隔が同一であるにもかかわらず、配置の違いによって水平渦の周期は異なることが分かる。

3.4 乱流剪断応力分布

図-6は、 $X=1000\text{cm}$, $Z=6\text{cm}$ における横断方向レイノルズ応力の分布($-\overline{u'v'}$)を示す。植生境界における横断方向レイノルズ応力は流下するごとに大きくなり、流れが十分に発達すると一定となる。 $-\overline{u'v'}$ は、両ケースにおいて、左岸高水敷の先端部では大きな差異はなく正の値を、低水路と右岸高水敷の境界($Y=137\text{cm}$)では大きな負の値を示している。また、Case2では植生域の右側境界($Y=146\text{cm}$)においても正のやや大きな値を示し、主流速が側壁に向かい増加していることと対応している。植生域の周辺での乱れはCase2の方がCase1よりも大きくなっていることが推測される。



(a) Case1



(b) Case2

図-5 主流、横断方向の流速変
[$X=1000\text{cm}$, $Y=137\text{cm}$]

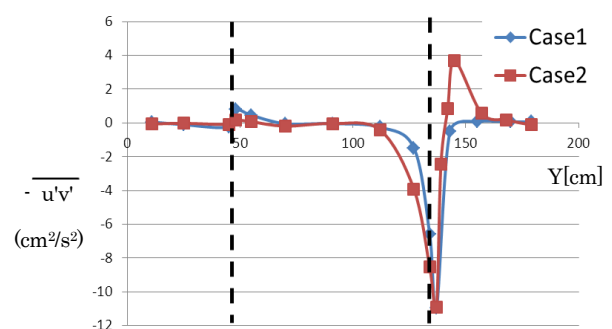


図-6 レイノルズ応力の横断分布
[$X=1000\text{cm}$, $Z=6\text{cm}$]

3.5 横断方向の運動量輸送

$Y=137\text{cm}$, $Z=6\text{cm}$ における縦断方向への運動量フラックスの縦断方向変化を図-7に示す。図-6よりCase1における $X=1000\text{cm}$, $Y=137\text{cm}$ においてレイノルズ応力($-\overline{u'v'}$)は-10程度である。したがって、移流フラックス(UV)が10~15程度であることが分かる。これより、移流とレイノルズ応力が同程度の大きさをもつこと、移流による運動量輸送は低水路から高水敷に向かって行われていることが知られる。また、Case2における $X=1000\text{cm}$, $Y=137\text{cm}$ においてレイノルズ応力が-10程度と評価すると、移流フラックス(UV)が-5~0程度である。このことから運動量輸送量にお

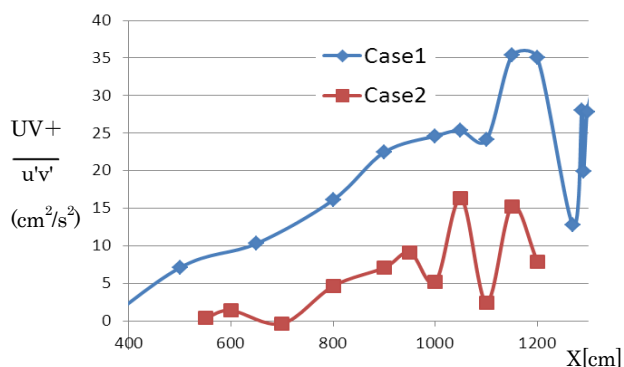


図-7 横断方向への運動量輸送の横断分布
[Y=137cm, Z=6cm]

いてレイノルズ応力の方が重要な役割を同程度の大きさをもつこと、移流によって植生内の遅い流速が低水路内に輸送されていることが理解される。

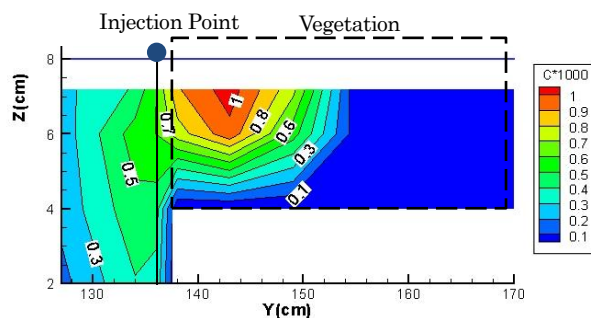
3.6 塩分濃度分布

Case1, Case2 における Y=136cm 地点から塩水を注入した場合 (S2) の、注入点より 1m 下流に位置する X=1000cm の濃度分布を図-8 に示す。Case1, Case2 のどちらにおいても高濃度の場所が低水路から植生のある高水敷へ移動しているのが分かる。また、Case2 は Case1 に比べ濃度のピークの値が小さくなっており、濃度が高水敷側に大きく広がっていることが分かる。これは Case1 では低水路から高水敷に向かう移流が存在すること、Case2 の方が高水敷上での移流や乱流拡散が盛んであることにより濃度が大きく広がったと考えられる。実際、Y=140~150cm, Z=6cm におけるレイノルズ応力 ($\overline{v'^2}$) を比較すると、Case2 では $4 \sim 6(\text{cm}^2/\text{s}^2)$ と大きいものに対し、Case1 ではほぼ 0 であった。

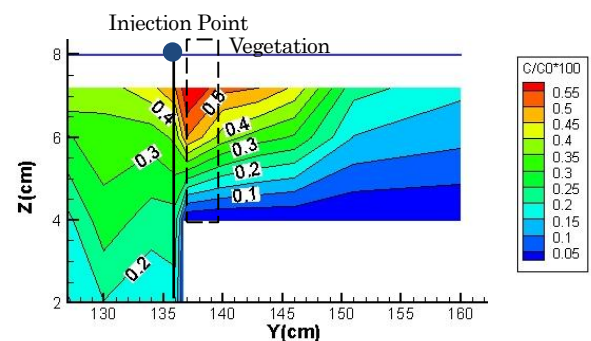
4. 結論

本研究では高水敷に一面に植生を配置している場合と植生域の配置を低水路と高水敷に集中的に配置した場合について実験を行い、流れと塩分濃度を測定した。以下に得られた知見を示す。

- 同じ流量に対して植生域を狭くしても水位は減少しなかった。植生の配置によって低水路の流れが減速される機構が異なる可能性が示された。また、植生の配置によって水平渦の大きさや周期は変化する。
- 高水敷一面に植生が存在する場合には、低水路と高水敷の境界面において、低水路から高水敷に向かう移流



(a) Case1



(b) Case2

図-8 S2 における濃度コンター[X=1000cm]

が存在する。一方、植生が高水敷先端部に存在する場合には、境界面での2次流は高水敷から低水路に向かい、主流の流速を低下させる。

- 植生域の近傍では乱流剪断応力は大きな値をとり、横断方向への運動量輸送に重要な役割を果たす。
- 低水路から高水敷への塩分輸送は、境界部の2次流と乱れの強さに依存する。植生域が狭い条件では、高水敷上での2次流や乱れが強く、低水路から供給される塩分は高水敷上でより広く拡がる。

参考文献

- 1) 建設省河川局監修：建設省河川砂防技術基準（案）同解説 計画編，山海堂，1993。
- 2) 富永晃宏，長尾正志，劉建，鈴木徹也：洪水流の抵抗と流れ構造に及ぼす高水敷樹木群配置の影響，水工学論文集，第39巻，pp.477-482, 1995。
- 3) 富永晃宏，長尾正志：河道内樹木群流れの横断混合に及ぼす高水敷高さの影響，水工学論文集，第42巻，1998。
- 4) 山本浩之，長谷川史明，Jahra Fatima，河原能久：部分的に植生域を有する複断面河道における流れの三次元数値解析，応用力学論文集，Vol.13，pp.725-733, 2010。