

側岸凹部を有する植生開水路流れの抵抗特性と流動機構

熊本大学大学院 学生会員 田中貴幸 熊本大学工学部 学生会員 瓜生勇太
 熊本大学大学院 正会員 大本照憲

1. はじめに

河川における植生は豊かな生態環境を育み、親しみやすい水辺環境を醸成することから、河道設計・整備において植生の在り方が重要視されている。実河川において植生は流下方向に連なって群落を形成している様子が多々みられるが、河川の多様性や生態系の連続性、植生群落内が死水域になることによる水質悪化の懸念など、諸問題を考慮すると主流部と流れの交換が促進されるような領域を設けることが望ましい。植生管理上においても流下方向に不連続的植生群落を有する開水路流れの抵抗特性や流動機構について検討する必要がある。そこで、本研究では流下方向において、植生群落間に非植生域である凹部を有する流れに関して、その凹部のアスペクト比（凹部の流下方向長さ/凹部幅）を変化させた時の流れの抵抗特性と流動機構について検討を行った。また、植生群落の密度が高い状態では不透過性の側岸凹部流れとみなすことが出来ることから、透過性の植生群落を有する側岸凹部流れと高密度を仮定した不透過性の側岸凹部流れとの抵抗特性や流動機構の違いについても検討を行った。

2. 実験装置及び実験方法

実験は全長 10m、幅 $B=40\text{cm}$ 、高さ 20cm の循環式可変勾配水路を用いて行った。植生帯の模型にはプラスチック板に水流に追随して撓む 6.10 ナイロンブリュウスル（直径 0.242mm、曲げ剛性 $EI=1.45 \times 10^4 \text{g} \cdot \text{cm}^2$ ）を 5.5cm の高さに揃え、0.5cm 間隔で貼り付けたものを使用し、左岸側壁面に沿って植生帯を設置した。不透過性の側岸凹部流れに関しては、水路左岸側にステンレス板によって遮断物を設置して側岸凹部を形成した。配置パターンは図-1 のように設定した。植生帯および遮断物の幅は $B_v=10\text{cm}$ とし、流下方向長さは $L_v=30\text{cm}$ に設定した。凹部の流下方向長さを L_c 、凹部幅を B_c とし、この凹部の流下方向長さとして変化する $L_c/B_c=0\sim 5.0$ と流量一定という条件の下で変化させていく。実験条件は表-1 のように設定した。座標系は植生帯および遮断物先端における水路中央の底面を原点とし、流下方向に x 軸、横断方向に y 軸、鉛直方向に z 軸をとり右手系とする。また、それぞれの流速成分を u, v, w 平均値を U, V, W 変動成分を u', v', w' と表す。水深計測にはポイントゲージを用いた。流動機構の検討においては超音波水位計による水面変

表-1 実験条件

Cavity width B_c (cm)	10
Ratio of cavity length and cavity width L_c/B_c	0~5.0
Vegetation and blocker width B_v (cm)	10
Vegetation and blocker length L_v (cm)	30
Vegetation and blocker height H_v (cm)	5.5
Flow discharge Q (l/s)	5, 6
Bed slope I	1/500

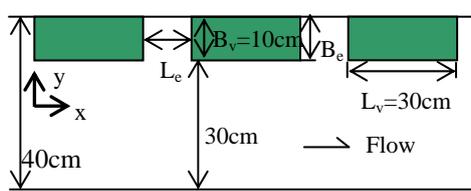


図-1 実験水路概要

動の計測、PIV (Particle Image Velocimetry)法により流速の多点同時計測を行った。

3. 抵抗特性

図-2 は凹部のアスペクト比の変化に伴う流れの抵抗特性を粗度係数 n を用いて評価したものである。透過性である植生および不透過性である遮断物を有する流れのそれぞれにおいて、いずれの流量においても凹部のアスペクト比と粗度係数 n の関係は同様の傾向を示す。植生群落を有する流れにおいて粗度係数 n が最大値を示した $L_c/B_c=2.2$ では $L_c/B_c=0$ における粗度係数 n よりも、11%程度上昇していることが認められる。このことから、植生管理を行う上で、ただ単に植生を伐採すれば流下能力が向上するというのではなく、植生群落と非植生域の幅や流下方向長さなどの比率について考慮した上で河道整備を行う必要があることが示唆された。次に不透過性の側岸凹部流れの抵抗特性について議論する。 $L_c/B_c=0$ に比べ最大値を示した $L_c/B_c=2.5$ における粗度係数 n よりも 12%程度上昇していることが認められる。 $L_c/B_c=3.5$ よりも小さなアスペクト比では不透過性の遮断物を有する流れに比べ、植生群落を有する流れの抵抗が大きくなることが認められる。また、 $L_c/B_c=4.0$ より大きい状態ではその関係が逆転することが確認できる。このことから $L_c/B_c=3.5$ 以下のアスペクト比においては不透過の遮断物にも関わらず、流れの抵抗は小さくなることが明らかになった。この要因としては透過性の植生群落を伴う流れにおいては、主流部との水交換が不透過状態に比べ活発となるためなどが考えられる。そこで、まず透過性である植生および不透過性である遮断物を有する流れの基本的流れ構造を知るために、流量 $Q=6\text{l/s}$ の下、同程度の粗度係数 n をとった $L_c/B_c=1.0$ に関して流動機構の検討を行う。

4. 流動機構

1) 平均流速分布

図-3 に凹部のアスペクト比 $L_c/B_c=1.0$ における透過性の植生群落を伴う流れと不透過性の遮断物を有する流れの平均流速ベクトルを示す。凹部域 ($x'/L_c=0\sim 1$) について見てみるといずれのケースにおいても凹部上流側で凹部に流入、凹部下流側では凹部から流出する流れが確認できる。また、透過性の凹部流れにおいて、凹部に流入、凹部から流出する流れは水路中央付近まで存在することが伺える。不透過性の凹部流れにおいては凹

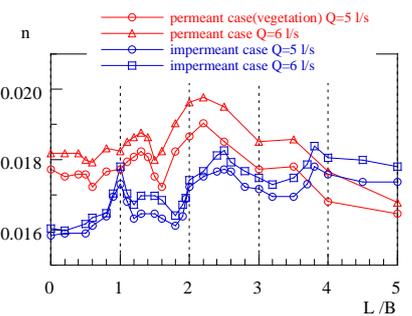
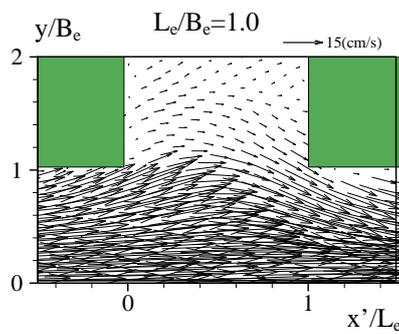
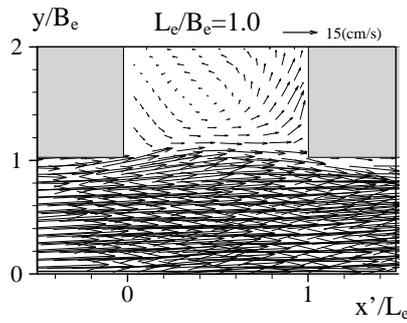


図-2 アスペクト比と粗度係数 n の関係

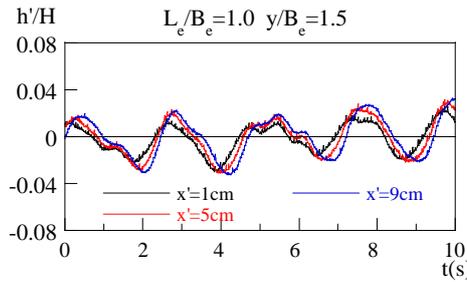


(a) 透過性 (植生)

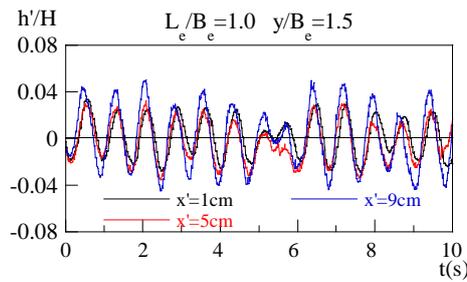


(b) 不透過性

図-3 平均流速ベクトル

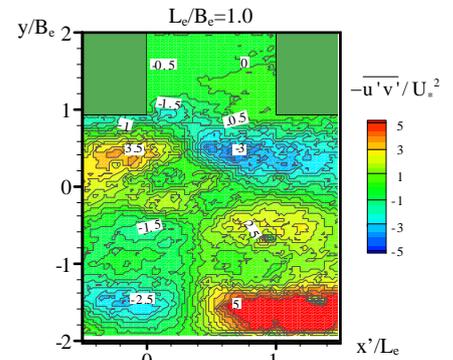


(a) 透過性 (植生)

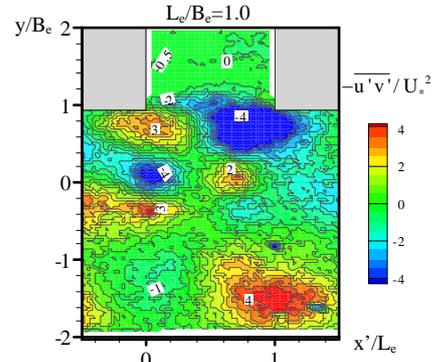


(b) 不透過性

図-4 流下方向水面変動の時系列



(a) 透過性 (植生)



(b) 不透過性

図-5 レイノルズ応力の等値線

部中央を中心とした循環流が凹部形状と同等のスケールで明瞭に形成されている様子が伺える。このことから、透過性の凹部流れにおいては不透過性に比べ主流部との水交換が活発となることが認められた。

2)水面変動特性

図-4は $L_e/B_e=1.0$ における透過性および不透過性の凹部流れに関して、流下方向に同時計測を行った凹部内の水面変動時系列データを示す。計測位置は凹部内中央 $y/B_e=1.5$ において流下方向に凹部上下流端から1cm離れた位置およびその中央位置の3点である。いずれのケースについても水面変動の振幅は同程度の値を示しているものの、透過性の凹部流れに比べ不透過性の凹部流れでは水面変動の周期が短い様子が見てとれる。これは不透過性の凹部流れでは透過性に比べ凹部内の閉鎖性が強いからだと考えられる。また、不透過性の凹部流れでは、主流が凹部下流端に衝突する影響から、いずれのケースも凹部下流端における水面変動がその他の計測位置に比べ振幅が大きくなる様子が伺える。各ケースにおける水面変動における位相についてみると、いずれの計測点においても水面変動は同位相を示し、振幅も同程度であることから凹部内において水面変動は同じ挙動を示し、流下方向の振動(縦振動)でなく横断方向における振動(横振動)が発生していると考えられる。

3)水平面におけるレイノルズ応力分布

図-5に水平面におけるレイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ の等値線を示す。レイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ は摩擦速度 U_* を用いて無次元化している。まず、凹部域周辺に関して見てみると、いずれもレイノルズ応力は負の値を示しており、凹部内ではほぼ0に近い値を示す。このことから、凹部と主流部の境界においては乱れによる運動量は主流部から凹部内に運ばれている様子が伺える。透過性

の凹部流れに注目すると、凹部および植生帯から少し離れた位置 $y/B_e=0.5$ 付近においては凹部上流側でレイノルズ応力は正の値を、凹部下流側で負の値を示すことが見てとれる。これは凹部上流域では凹部に流入する向きの流れが強くなるため、また、凹部下流域では凹部内の遅い流れが主流部に流出して流速の低減を引き起こすためだと考えられる。水路右岸側においても凹部域ではレイノルズ応力が凹部上流域で負、凹部下流域で正の値をとっており、これも凹部の影響によるものと考えられる。不透過性の凹部流れにおいても同様の分布傾向を示すものの、凹部上流域では横断方向に $y/B_e=1.0$ 付近でレイノルズ応力は負、 $y/B_e=0.8$ 付近で正、水路中央付近で負、 $y/B_e=0.5$ 付近で正の値をとるといった複雑な分布傾向をとる。このように、凹部を有する流れにおいては凹部の影響が水路全体に大きく影響を及ぼしていることが明らかになった。

5. おわりに

本研究では流下方向において、植生群落間に非植生域である凹部を有する流れに関して、その凹部のアスペクト比 L_e/B_e を変化させたときの流れの抵抗特性と流動機構について検討および植生群落の密生度が高い状態とみなす不透過性の側岸凹部流れとの抵抗特性や流動機構の違いに関して検討を行った。アスペクト比の変化に伴う流れの抵抗特性を明らかにし、これにより、水路全体の植生および遮断物の割合は減少しても側岸凹部の影響により流れの抵抗が増大することが明らかになった。平均流速分布により透過性の凹部流れにおいては不透過性に比べ主流部との水交換が活発となることが認められた。レイノルズ応力分布により凹部を有する流れにおいては凹部の影響が水路全体に大きく影響を及ぼしていることが明らかになった。