

透過・不透過性の側岸凹部流れの抵抗特性と流動機構

豊田工業高等専門学校 正会員 ○田中貴幸
熊本大学大学院 正会員 大本照憲

1. はじめに

河道内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、河川の高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。また、植生の高密度度を仮定するとわんど流れに類似した側岸凹部流れと捉えることができる。そこで、本研究では流下方向において、植生群落および遮断物間に側岸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し、両者の比較検討を行った。

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従して撓む 6.10 ナイロンブリュスル（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 $B_e=10\text{cm}$ 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_e とし、この凹部の流下方向長さと植生帯幅の比を $L_e/B_e=0 \sim 5.0$ 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 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 $L_e/B_e=2.2$ では $L_e/B_e=0$ 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。 $L_e/B_e=0$ に比べ極大値を示した $L_e/B_e=2.5$ 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。 $L_e/B_e=3.5$ 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、 $L_e/B_e=4.0$ 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 $L_e/B_e=3.5$ 以下のアスペクト比においては不透過の遮断物に関わらず、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 $L_e/B_e=1.0$ 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 $L_e/B_e=1.0$ 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 ($x'/L_e=0 \sim 1$) 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部中央を中心とした循環流が凹部形状と同等のスケ

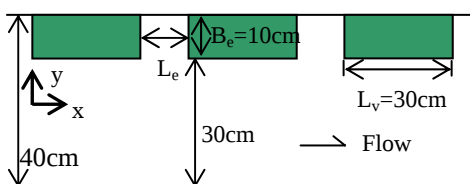
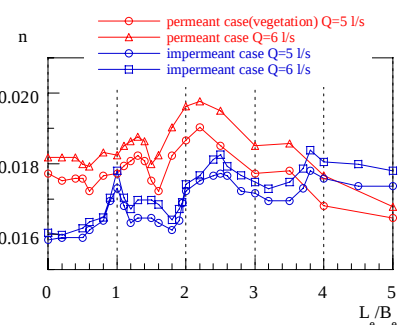


図-1 実験水路概要

表-1 実験条件

Cavity width B_e (cm)	10
Ratio of cavity length and cavity width L_e/B_e	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-2 アスペクト比と粗度係数 n の関係

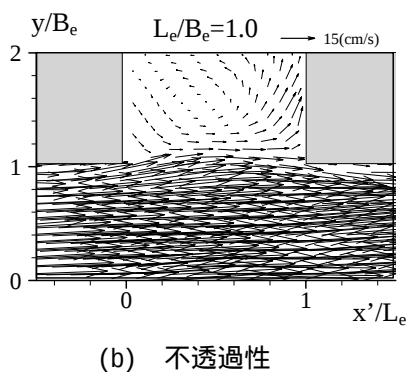
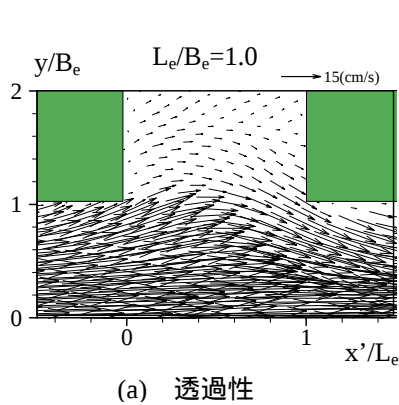


図-3 平均流速ベクトル

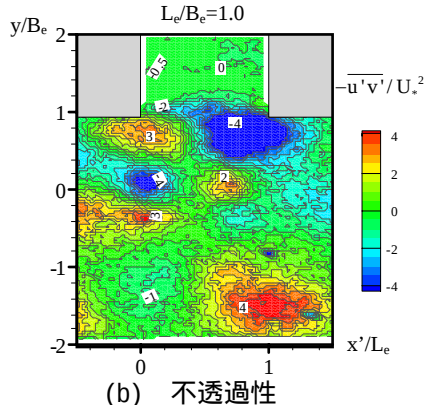
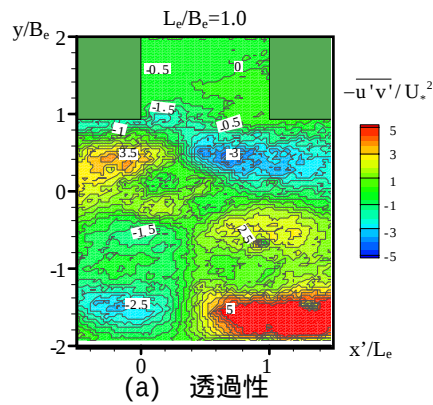
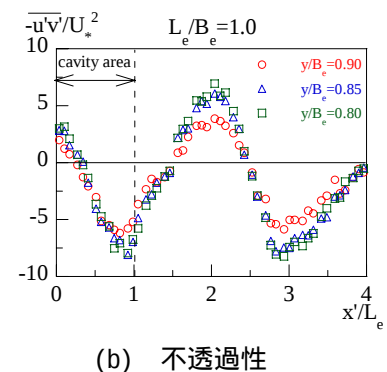
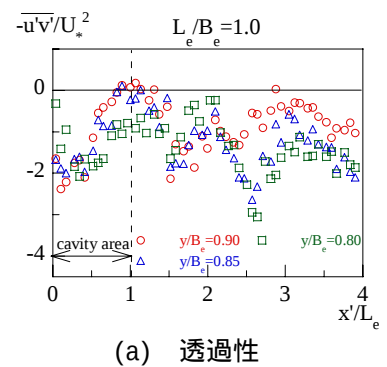


図-4 レイノルズ応力の等値線

図-5 境界周辺における
レイノルズ応力分布

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透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) 水平面におけるレイノルズ応力分布

図-4 は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．不透透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う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．

3) 境界周辺におけるレイノルズ応力分布

図-5 に主流部と凹部および植生帯，遮断物との境界付近におけるレイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ の流下方向分布を示

す．まず，透過性の凹部流れについてしてみると，いずれにおいてもレイノルズ応力はほぼ負の値を示し，乱れによる運動量輸送は主流部から凹部および植生帯内に運び込まれている様子が伺える．不透透性の凹部流れについてしてみると，透過性の凹部流れとは異なり，レイノルズ応力は規則的に正負の値を交互にとる様子が見てとれる．これは，透過性の凹部流れにおいても確認できるものの，植生帯内において流れを許容するため主流部と比べ流速の小さい領域が不透透性の凹部流れよりも広い範囲となり，これにより $y/B_e=0.8$ 付近まではレイノルズ応力が流下方向に負の値をとるものと考えられる．また，凹部下流においては凹部から流出する流れにより主流速が減少するため u' と v' が正の相関をとり，レイノルズ応力は負の値を示す．遮断物域においても流れが蛇行することで同様の挙動を示している．

5. おわりに

本研究では流下方向において，植生群落および遮断物間に側岸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い，両者の比較検討を行った．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透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．