

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と運動量輸送

熊本大学大学院 学生会員 田中 貴幸 田中 寿幸

熊本大学工学部 学生会員 田之頭 昇 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と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、植生は流水抵抗増大の要因となることから、自然繁茂した植生をどのように伐採すればいいかなど、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、その凹部の流下方向長さ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を行った。

2. 実験装置および実験方法

実験は全長10m, 幅 $B=40\text{cm}$, 高さ20cmの亚克力樹脂からなる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。植生帯幅は $B_v=10\text{cm}$ とし、植生帯の流下方向長さは $L_v=30\text{cm}$ に設定した。図-1のように非植生域である凹部の流下方向長さを L_c とし、この凹部の流下方向長さと植生帯の幅の比を $L_c/B_v=0\sim 5.0$ 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。水深の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は凹部の流下方向長さの変化に伴う水深変化について表したものである。凹部長さ L_c は植生帯幅 B_v で、水深 H は植生高さ H_v で無次元化している。図-3は凹部長さ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。

植生帯が流下方向に連なった状態である $L_c/B_v=0$ から流下方向に非植生域を設け、その非植生域である凹部長さを長くしていく。始めのうちは、同様な水深を示しているが、 $L_c/B_v=0.9$ 付近から水深が徐々に上昇していき、 $L_c/B_v=1.3$ で一度ピーク値をとる。その後水深は $L_c/B_v=1.6$ まで減少傾向を示すが、さらに凹部長さを長くすると再度水深は上昇していき、 $L_c/B_v=2.2$ において水深が最大値をとる。このときの水深は $L_c/B_v=0$ における水深よりも高い値を示しており、粗度係数 n は10%程度上昇していることが認められる。これは $L_c/B_v=0$ に比べ $L_c/B_v=2.2$ では水路全体における植生の割合が減少しているにもかかわらず、流れの抵抗は増大していることを示している。さらに凹部長さを長くすると水深は減少していき、 $L_c/B_v=4.0$ 以降では $L_c/B_v=0$ よりも流れの抵抗が明らかに小さくなっていくことが確認できる。このような流れの抵抗特性から、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ことではなく、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しっかりと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。

表-1 実験条件

植生帯幅 $B_v(\text{cm})$	凹部の流下方向長さ と植生帯幅の比 L_c/B_v	植生帯の流下方向 長さ $L_v(\text{cm})$	流量 $Q(\text{l/s})$	水路勾配 I	植生高さ $H_v(\text{cm})$	植生直径 $d(\text{mm})$
10	0~5.0	30	5,6	1/500	5.5	0.242

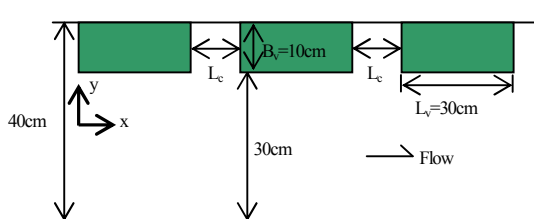


図-1 実験水路概要

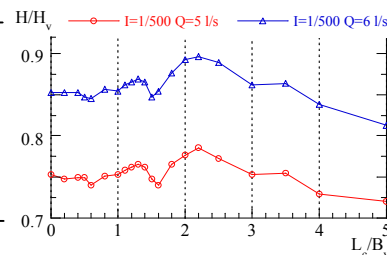


図-2 凹部の流下方向長さの変化に伴う水深変化

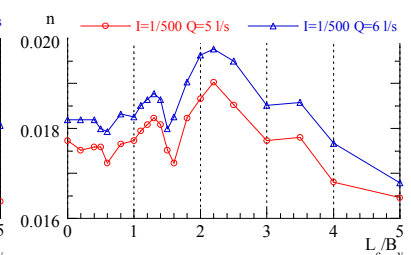


図-3 粗度係数 n

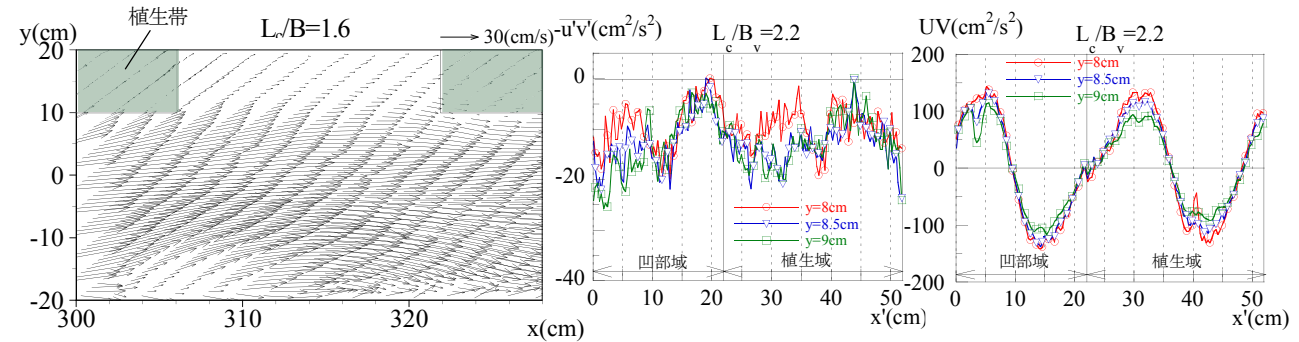
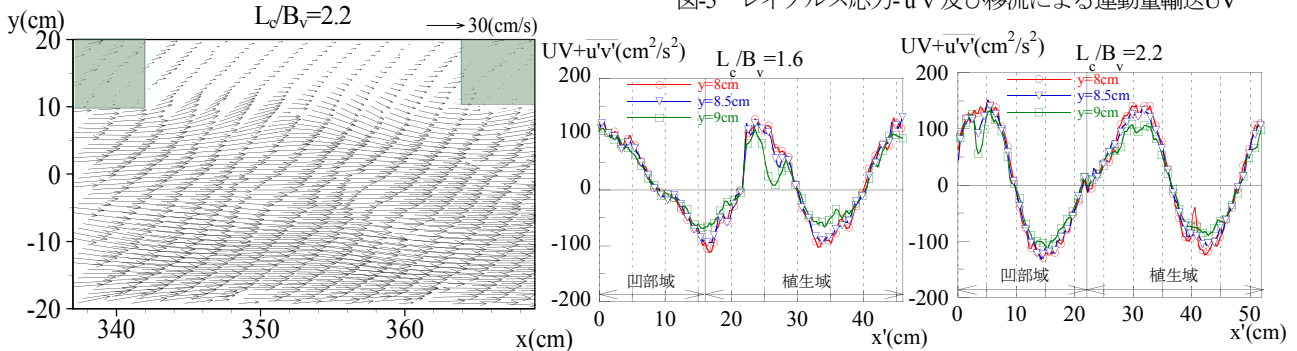
図-5 レイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ 及び移流による運動量輸送 UV 図-6 全運動量輸送 $UV + \overline{u'v'}$

図-4 平均流速ベクトル

4. 流動機構

(1) 平均流速分布

図-4に $L_c/B_v=1.6$ および 2.2 における時間平均した流速ベクトルを示す。各ケースとも凹部上流側では主に主流部から凹部内へ向かう流れが確認されるが、 $L_c/B_v=1.6$ では凹部長さが短いことから凹部内における流速が発達せず、主流部との水交換が $L_c/B_v=2.2$ に比べあまり活発でない様子が見取れる。また $L_c/B_v=2.2$ においては、植生帯および凹部と主流部との境界付近において、凹部中央付近を境に流れが主流部および凹部内を蛇行して流下する様子がはっきりと伺える。

(2) 乱れ特性及び移流特性

図-5に $L_c/B_v=2.2$ についての、植生帯および凹部と主流部との境界付近におけるレイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ の流下方向変化及び移流による運動量輸送 UV を示す。移流による運動量輸送量の絶対値は、乱れによるものと比べ明らかに大きな値を示していることが確認できる。これにより、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おいては、乱れによる運動量輸送に比べ、移流による運動量輸送が卓越することが明らかになった。また、植生域では上流側で主流部から植生帯内へ、下流側で植生帯内から主流部へ同程度の運動量の交換が行われていることが確認できる。これにより、凹部および植生帯と主流部との境界付近を中心として流れが規則的に蛇行して出入りを繰り返していることが明らかになり、この規則的運動量交換が流れの抵抗を大きくした一つの要因であると考えられる。

(3) 全運動量輸送

横断方向の運動量輸送を次式で与える。

$$\overline{uv} = \overline{(U + u')(V + v')} = UV + \overline{u'v'} \quad (1)$$

この移流による運動量輸送 UV と乱れによる運動量輸送 $\overline{u'v'}$ を足し合わせた全運動量輸送により凹部および植生帯と主流部との境界における運動量輸送特性について検討を試みる。

図-6に各ケースにおける全運動量輸送 $UV + \overline{u'v'}$ を示す。いずれのケースにおいても乱れによる運動量輸送に比べ移流による運動量輸送が卓越していることから、全運動量輸送の流下方向変化は移流による運動量輸送と同様の挙動を示すことが認められる。水深が最大値をとった $L_c/B_v=2.2$ では移流に関する運動量輸送と同様に、規則的に運動量交換がなされており、さらに運動量輸送量の極値はその他のケースに比べ大きくなるが見てとれる。これにより、凹部および植生帯と主流部との境界付近において全運動量輸送量が大きくなるようなケースにおいて、流れの抵抗が最も大きくな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、凹部の流下方向長さ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を行った。流下方向に不連続な植生帯を有する流れでは、乱れによる運動量輸送に比べ、移流による運動量輸送が卓越することが明らかになった。また、水深が最大値をとった $L_c/B_v=2.2$ では、凹部および植生帯と主流部との境界付近を中心として流れが規則的に蛇行して出入りを繰り返していることが明らかになり、この規則的運動量交換が流れの抵抗を大きくした一つの要因であることが示唆された。

参考文献

- 1) 田中貴幸, 大本照憲, 田中寿幸: 沈水状態の植生群落を伴う開水路流れの抵抗特性と流動機構, 水工学論文集, 第51巻, pp.703-708, 2007.