

植生群落を伴う開水路流れにおける運動量輸送特性

熊本大学大学院 学生員 ○田中 寿幸
 熊本大学大学院 学生員 田中 貴幸
 熊本大学大学院 正 員 大本 照憲

1. はじめに

多自然型河川工法の急速な広まりにより、植生群落が生かされる機会はますます増えつつある。植生の揺動や水面変動は植生帯境界を通して運動量・物質の交換を促進し、植生帯周辺における乱流構造を変化させることが予想され、河床変動や土砂輸送にも影響することが考えられる。植生帯を伴う流れの構造についてはこれまで多くの研究がなされているが、中小河川の中央部に帯状に連なった比較的浅い流れに見られる沈水性の植物群落を対象にした研究事例は少ない。そこで、本研究では水路中央部に設置した植生帯を横断する流れに注目し、遮断板を用い植生帯境界における法線方向の流れを抑制することで、流れ場に与える水面変動や運動量輸送について検討を行なった。

2. 実験装置及び実験方法

実験は長さ 10m、幅 40cm、高さ 20cm のアクリル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 5cm×30cm×0.3cm のプラスチック板に水流の流れに追従して撓む 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 $H_v=5.5\text{cm}$ の高さに揃え、0.5cm 間隔で貼り付けたものを模擬植生帯とした。模擬植生帯は水路上流端より 350cm の位置から 510cm に渡って水路中央に設置した。座標系は植生帯先端の水路中央部底面を原点とし、流下方向に x 軸、横断方向に y 軸、鉛直上方に 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。遮断板はアクリル製で、厚さ 2mm のものを全植生帯左岸側に垂直に立て、上下端とも固定し、流れに対して変形しないようにした。実験水路概要を図 - 1 に示す。また、表 - 1 のように計 4 ケースについて境界条件を設けた。実験での流速の単点の計測には電磁流速計を用い、流速の多点同時計測には面的な範囲で測定が可能である PIV (Particle Image Velocimetry) 法を用いて行なった。

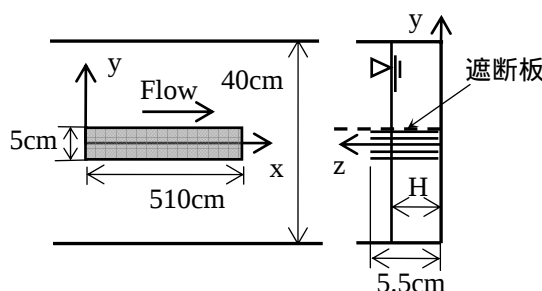


図 - 1 実験水路概要

3. 実験結果

(1) 主流速 U/U_m の横断方向変化

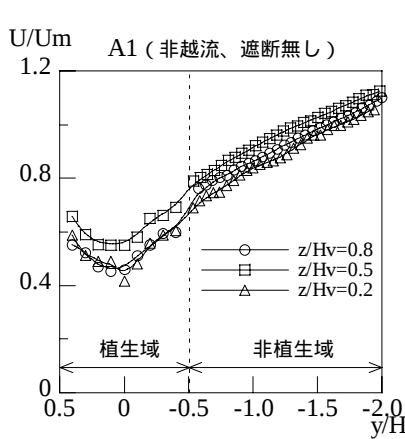
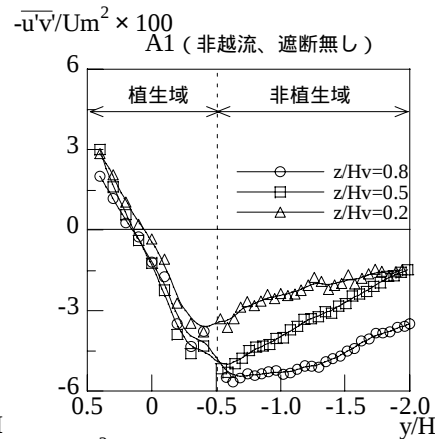
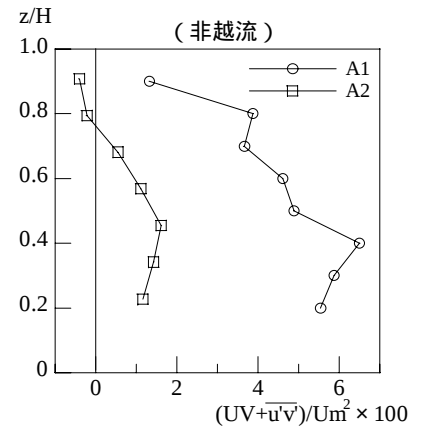
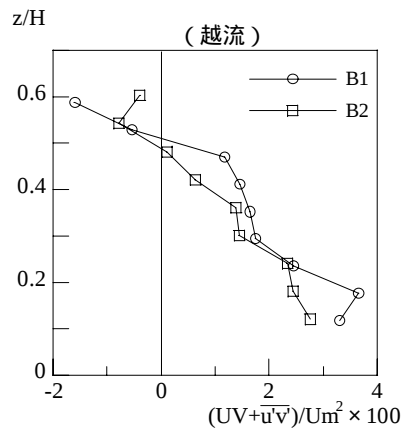
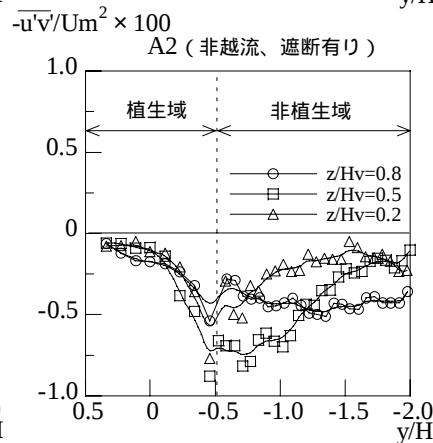
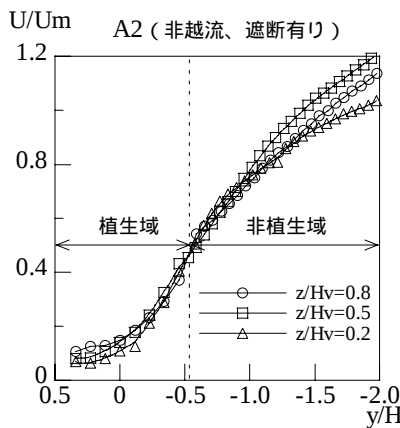
図 - 2 は左岸側植生帯境界から主流部における主流速 U/U_m の横断方向変化で、植生帯高さ H_v の 20%（底面付近）、50%（半水深付近）、80%（水面付近）の 3 断面を示している。植生帯内は I 型電磁流速計で、主流部は PIV での計測である。A1, A2 のどちらにおいても植生帯内において主流速は急激に抑えられていることが認められる。今回の実験では全てのケースにおいて植生帯境界で変曲点を持つことが確認された。A1 に比べ A2 では植生帯境界の変曲点における傾きが大きく、植生帯境界付近で流速が急激に変化していると考えられる。

(2) レイノルズ応力の横断方向変化

図 - 3 は左岸側植生帯境界から主流部におけるレイノルズ応力 $-\overline{u'v'}/U_m^2$ の横断方向変化である。まず、いずれも植生帯境界で負の極値を取り、この位置で運動量の交換が強く行われていることを示している。遮断板を設けた A2 では A1 と比較して右岸側植生帯境界部のレイノルズ応力の極値が約 80% も減少していることが伺える。これにより遮断板は、非植生域と植生域との運動量輸送を抑制していることが示唆される。このレイノルズ応力 $-\overline{u'v'}/U_m^2$ が最大値をとる地点は、図 - 2 で観察されるように主流速の横断方向の勾配 $\partial U/\partial y$ が大きい領域と対応している。つまり、植生の存在によって植生内部の流速が低減され、主流部との流速差によって発生する横断方向のせん断力のためにレイノルズ応力 $-\overline{u'v'}/U_m^2$ は増加しているものと考えられる。すなわち、この領

表 - 1 実験条件

	A1	A2	B1	B2
流量 $Q(\text{l/s})$	5.6	5.6	12.4	12.4
水深 $H(\text{cm})$	5	4.4	8.5	8.3
断面平均流速 $U_m(\text{cm/s})$	28.0	31.8	36.5	37.3
遮断板の有無	無し	有り	無し	有り
水路勾配 I	1/1000	1/1000	1/1000	1/1000
植生帯高さ $H_v(\text{cm})$	5.5	5.5	5.5	5.5
植生直径 $d(\text{mm})$	0.242	0.242	0.242	0.242
Fr 数	0.40	0.48	0.40	0.41
Re 数	12000	12000	27000	27000

図-2 主流速 U/U_m の横断方向変化図-3 レイノルズ応力 $-u'v'/U_m^2$ の横断方向変化図-4 運動量輸送 $(UV + u'v')/U_m^2$ の鉛直方向変化

域では激しい運動量交換が生じていることになる。

(3) 植生帯境界における運動量輸送

植生の揺動に伴う乱れによって運動量・物質の交換を促進することが予想される。ここで横断方向の運動量輸送を次式で与える。

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

図-4 は植生帯境界における移流による運動量輸送と、流速変動による運動量輸送を合計した全運動量輸送 $(UV + \overline{u'v'})/U_m^2$ の鉛直方向変化である。まず非越流型では、運動量輸送は遮断板を用いていない A1 の方が大きく、いずれも底面付近から増加しながら半水深付近で最大値を取り水面付近に向かって減少していく。正の値を取っているため運動量は主流部から植生帯へと運び込まれている。しかし、遮断板を用いた A2 では水面付近で負の値を取っているため運動量は植生帯から主流部へと運び込まれている。越流型においても、底面付近から水面付近に向かって運動量輸送は減少していき、遮断板を用いることによって減少するが非越流型ほど顕著ではない。

4. おわりに

本研究で得られた知見を列挙すると以下のとおりで

ある。

- (1) 植生帯が水路中央に設置された開水路流れにおいて、遮断板を設けると、非越流型ではレイノルズ応力が約80%減少していることが伺える。これにより遮断板を設けることで非植生域と植生域との運動量輸送を抑制していることが示唆される。
- (2) 植生帯を横断する流れを遮断すると、特に非越流型において運動量輸送に大きな影響を与えることが認められた。

参考文献

- 1) 橋津家久, 鬼束幸樹, 池谷和也: 植生開水路流れにおける水面変動と流速変動との相関, 水工学論文集, 第44巻, pp.783-788, 2000.
- 2) 宮本仁志, 神田徹, 大江和正: 画像解析による水面変動・流速変動の同時計測法と開水路凹部流れへの適用, 水工学論文集, 第45巻, pp.511-516, 2001.
- 3) 大本照憲, 福井洋幸, 林俊一郎: 水生植物を伴う流れの3次元構造について, 水工学論文集, 第42巻, pp.427-432, 2000.
- 4) 大本照憲, 岡本隆之: 水生植物群落を伴う開水路流れの水面変動と運動量輸送, 水工学論文集, 第47巻, pp.991-996, 2003.