

様々な植生繁茂条件における開水路流の抵抗特性と流動機構

豊田工業高等専門学校 学生会員 ○田中良尚
豊田工業高等専門学校 正会員 田中貴幸

1. はじめに

近年主流となっている多自然川づくりを行う上で、豊かな河川環境を創出するという事は非常に重要である。その中で、植生や樹木は生物の生息・生育環境および良好な景観の提供など、様々な役割がある。一方、河道内の植生は洪水時に流水抵抗を増大させるといった治水安全度上のマイナス面を持つ。特に小河川においては、植生が河道内全面にわたり繁茂している様子が多々見られる。このため、適切な植生管理を行う必要がある。

植生を有する開水路流の流動機構に関しては、基礎実験や数値解析により様々な知見が得られている。しかし、種々の植生配置パターンや植生密度の違いによる抵抗特性については十分な検討がなされていない。そこで、本研究では植生群落の配置や密度の違いによる抵抗特性および流動機構について検討を行う。

2. 実験条件

実験は全長 4m, 幅 20 cm, 高さ 25 cm からなる循環式可変勾配水路を用いて行った。実験条件を表-1 に示す。植生帯の模型にはプラスチック板に水流に従って撓む 6.10 ナイロンブリュスル(直径 0.242 mm, 曲げ剛性 $EI=1.45 \times 10^4 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$) を 5.5 cm の高さに揃え貼り付けたものを使用した。模擬植生は水路上流 20 cm から下流へ 360 cm に渡って配置した。配置パターンを図-1 に示す。D1P1, D2P1, D3P1 および D4P1 は水路全面配置であり、各ケースの単位面積当たりの植生本数を表-1 のように設定した。流下方向、横断方向共に D2P1 と同じ植生本数に設定した

表-1 実験条件

Case	単位面積当たりの植生本数 λ (本/cm ²)	勾配 I		植生高 H_v (cm)	植生直径 d (mm)
		1/500 流量 Q (l/s)	1/1,000 流量 Q (l/s)		
D1P1	4.0				
D2P1	2.0				
D3P1	1.0	1.0~6.0	1.0~6.0	5.5	0.242
D4P1	0.5				
D2P2~D2P4	2.0				

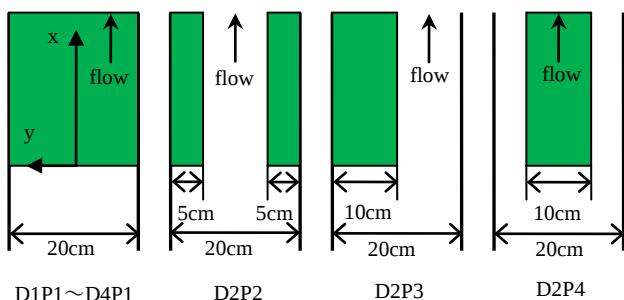


図-1 水路実験概要

水路両岸配置を D2P2, 水路片岸配置を D2P3, 水路中央配置を D2P4 とした。流量は $Q=1.0 \text{ l/s} \sim 6.0 \text{ l/s}$ において 0.5 l/s 間隔で変化させ、水路勾配は $I=1/500$ および $1/1,000$ に設定し、擬似等流場を形成して実験を行った。流動機構の検討の際、流速の点計測は I, L 型電磁流速計を用い計測した。

3. 抵抗特性

3.1 流量と水深の関係

図-2 に流量と水深の関係を示す。縦軸は水深 H を植生高 H_v で除して無次元化した。Clear は植生帯を配置していない滑面状態を示す。水路全面に植生を配置している D1P1 は何れの流量においても植生の無い Clear の約 2 倍の水深を示す。また、流下方向および横断方向共に植生本数が同じである D2P1~D2P4 は片岸配置、両岸配置、水路中央配置および全面配置の順で流れの抵抗が大きくなることが明らかになった¹⁾。さらに、水路全面に配置している D1P1, D2P1, D3P1 および D4P1 は、流量 $Q=3.0 \text{ l/s}$ で傾きが変わることが認められた。D3P1 においては、 $Q=3.0 \text{ l/s}$ を境に、水路幅よりも狭い有限幅の植生を有するケースとの大小関係が変化することが確認できた。また、有限幅の植生を有する配置に比べ、植生帯全体の密度を小さくしていくとある密度から流れの抵抗が小さくなることが確認された。

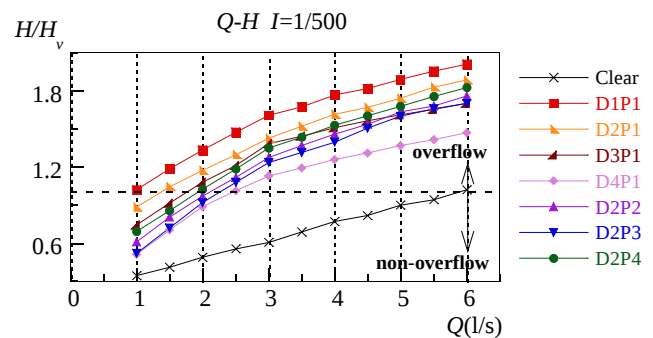


図-2 流量と水深の関係

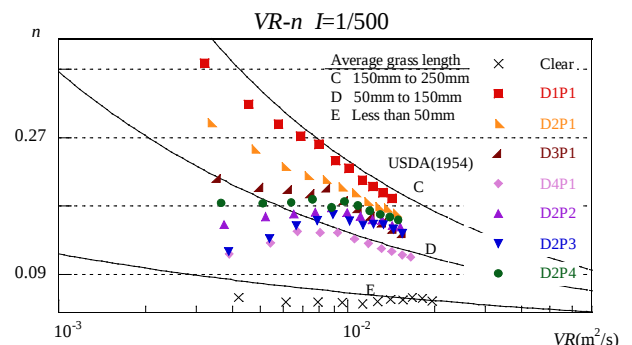


図-3 n -VR 曲線

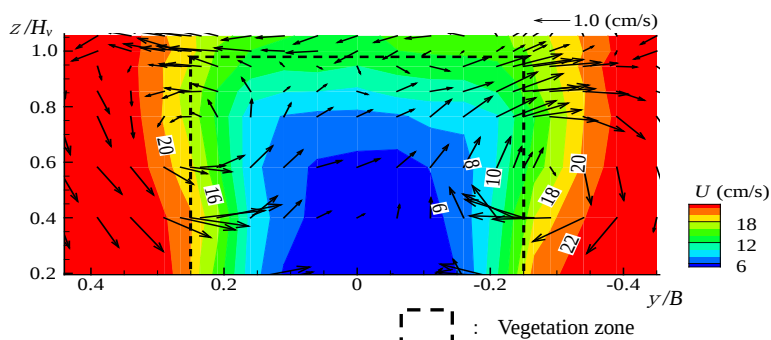
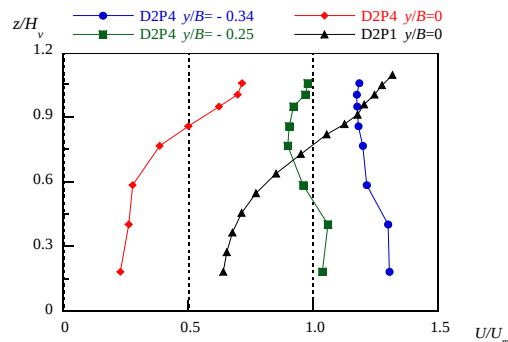
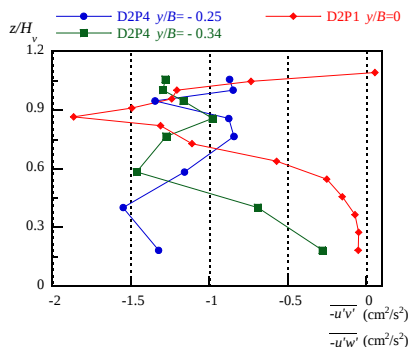
図-4 主流速 U の等値線および二次流ベクトル図-5 主流速 U/U_m の鉛直方向変化

図-6 レイノルズ応力の鉛直方向変化

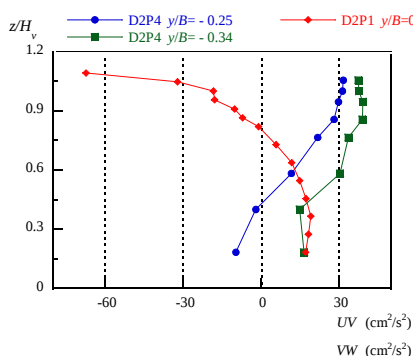


図-7 移流による運動量輸送の鉛直方向変化

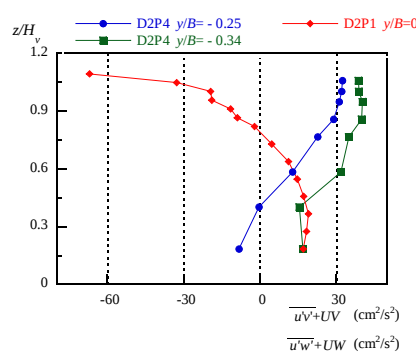


図-8 全運動量輸送の鉛直方向変化

3.2 n -VR 曲線

図-3に水路勾配 $I=1/500$ における、平均流速 V と径深 R の積 VR と Manning の粗度係数 n で表された n -VR 曲線を示す。アメリカ農務省 (USDA) ²⁾ の実験結果も併せて表す。何れのケースにおいても非越流状態では、 VR の増加に伴い粗度係数 n は増加傾向を示すものの、越流状態では VR の増加に伴い粗度係数 n は減少傾向を示し、USDA による n -VR 曲線と類似の曲線を描くことが伺えた。また、本実験で用いた模擬植生は USDA の分類では D に分類され、ほぼ類似の分布傾向が見られた。

4. 流動機構

植生帯の密度および配置の違いによる流れの抵抗特性に影響を及ぼす要因を明らかにするために、流動機構の検討を行う。今回は D2P1 および D2P4 の流動機構について検討した。

図-4は D2P4 における時間平均した主流速 U の等値線および二次流ベクトルを示す。まず主流速に注目すると、植生帯内は極端に小さい値を示すことが読み取れる。また二次流ベクトルを見ると、植生帯内は上昇流が生じ、そして植生帯付近を中心に循環していることが明らかになった。

図-5では D2P1 の水路中央 $y/B=0$ および D2P4 の水路中央 $y/B=0$ 、植生帯境界 $y/B=-0.25$ 、主流部中央 $y/B=-0.34$ の主流速 U/U_m の鉛直方向変化を示す。何れも水路中央では底面から水面に向かうにつれて、主流速が増加していることが読み取れる。しかし、D2P4 よりも流れの抵抗が大きい D2P1 の主流速が D2P4 よりも大きくなっている。これは、D2P4 の主流部中央の主流速が卓越しているためと考えられる。

図-6にレイノルズ応力の鉛直方向変化を示す。

D2P1 では鉛直方向、D2P4 では横断方向のレイノルズ応力や運動量輸送が卓越していると考えられるため、それらの検討を行う。D2P4 の植生帯境界および主流部中央に注目すると、底面から鉛直方向に向かうに従ってレイノルズ応力は増大するが、やがて減少し、また増大することが観察できた。さらに、これらの正負の極値をとる位置と、植生帯から流入する二次流ベクトルが強まる位置とが一致することが明らかになった。このことから、二次流は流れの抵抗特性に影響をもたらしていることが推測できる。

図-7では、移流による運動量輸送の鉛直方向変化と、図-8では、全運動量輸送の鉛直方向変化を示す。図-7および図-8において、何れも同様の分布傾向を示していることが見て取れる。このことから、流れの抵抗に影響を与える要因として、乱れよりも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。

5. おわりに

本研究により、植生の密度や配置の変化に伴う流れの抵抗特性および流動機構を明らかにした。さらに、二次流および移流による運動量輸送が流れの抵抗特性に大きく影響を及ぼすことが明らかになった。

【参考文献】

- 1) 大本照憲, 田中貴幸, 矢北孝一: 植生群落の配置が開水路流れの抵抗に与える影響, 水工学論文集, 第 50 巻, pp.1141-1146, 2006.
- 2) U.S.Department of Agriculture(USDA): Handbook of channel design for soil and water conservation, Technical Paper TP-61, Washington, DC, 1954.