

京都大学  
京都大学  
京都大学

学生員 ○前川卓耶  
フェロー 棚津家久  
学生員 片山愛来

## 1. はじめに

実河川において植生は群落を形成し河川生態系を構成している．このような植生帯を有する流れでは、典型的な混合層が形成されるとともに大規模組織渦が発生し、植生層内外におけるスカラー輸送や運動量交換が促進される．そのため、開水路植生流れについては環境水理学的な立場から多くの研究がなされている．近年では、patch 状の植生帯を有する流れ場の研究<sup>1)</sup>や流下方向に不連続な植生帯を有する流れ場の乱流構造に関しても鋭意研究が進められている<sup>2)</sup>．しかしながら、植生流れの流下方向の発達過程を計測した例は少なく未解明点が多い．そこで本研究では流下方向に計測位置を変化させて PIV 計測を行い、開水路植生流れにおける混合層の発達過程を実験的に解明した．

## 2. 実験手法および水理条件

本研究で用いた水路は、全長 10m、幅 40cm、高さ 50cm の可変勾配型直線水路である．計測システムを図-1 に示す．等流状態になるように水路勾配を変化させている．座標系は流下方向に  $x$  軸、鉛直方向に  $y$  軸、横断方向に  $z$  軸を設定し、鉛直方向の原点は水路底面、流下方向の原点は植生群落上流端である．水路底面には計測部を含めて 5m の区間にわたって植生モデルを正方格子状に配置した． $U, V$  および  $W$  は各方向における時間平均流速、 $u, v$  および  $w$  はそれぞれ瞬間流速の時間平均流速からの偏差を示す． $H$  は全水深、 $h$  は植生高さ、 $b$  は植生幅である．本研究で用いた植生モデルは流れによって変形しない剛体植生で、高さ 50mm、幅 8mm、厚さ 1mm のアクリル板で作成した．流速計測には PIV 法を用いた．3W の Ar-ion レーザーを光源として水路上方から厚さ 2mm のレーザーライトシート (LLS) を照射し、側方に設置した高速度 CMOS カメラ (1024×1024 pixel) でデジタル撮影した．LLS の照射位置は non-wake zone である．トレーサーには粒径 100  $\mu$ m、比重 1.02 のポリスチレン粒子を用いた．カメラに 30Hz の外部トリガーを与えて、500Hz のフレームレートで 2 枚の連続画像のペアを 70 秒間計測した．また本研究では、高速カメラを流下方向に移動させて  $x$  方向の計測位置を変化させた．計測位置の間隔は  $x = -20\sim 200$ cm では 10cm、 $x = 200\sim 400$ cm では 20cm である．表-1 は水理条件を示す．本研究では植生密度  $\Phi (=ab : a$  は単位体積あたりの

表-1 実験条件

|        | 植生密度 $\Phi$ | $H$ (cm) | $h$ (cm) | $H/h$ | $U_m$ (cm) | Re    | Fr   |
|--------|-------------|----------|----------|-------|------------|-------|------|
| Case 1 | 0.137       | 15.0     | 5.0      | 3.0   | 20.0       | 30000 | 0.16 |
| Case 2 | 0.061       | 15.0     | 5.0      | 3.0   | 20.0       | 30000 | 0.16 |
| Case 3 | 0.015       | 15.0     | 5.0      | 3.0   | 20.0       | 30000 | 0.16 |

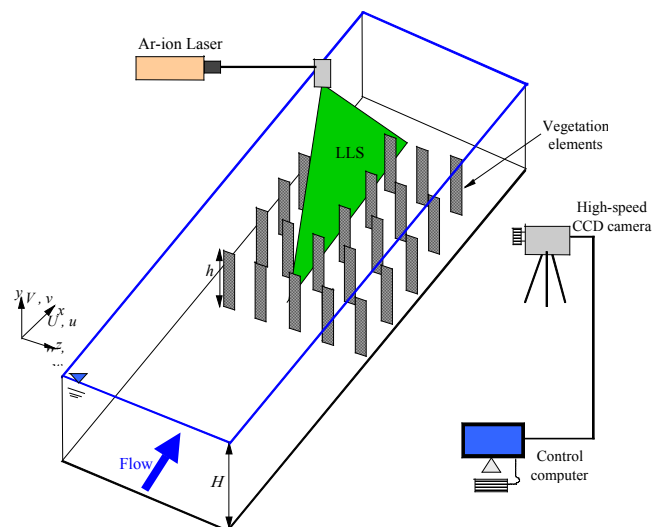


図-1 実験装置

植生の遮蔽面積、 $b$  は植生要素の横幅)を系統変化させ合計 3 タイプ設定した．また、断面平均流速は  $U_m$ 、レイノルズ数は  $Re \equiv U_m h / \nu$ 、フルード数は  $Fr \equiv U_m / \sqrt{gH}$  である．

## 3. 実験結果と考察

図-2 は、 $\Phi = 0.137, 0.015$  のケースにおける  $x = 10, 50, 100, 200$ (cm)での時間平均流速分布を示した図である．値は  $U$  は断面平均流速  $U_m$  で、 $y$  は植生高さ  $h$  で無次元化している．植生密度の大きいケース ( $\Phi = 0.137$ )では  $x = 10$ (cm)において植生内部 ( $y/h \leq 1.0$ )で流速の低減が見受けられるが、植生密度の小さなケース ( $\Phi = 0.015$ )では  $x = 10$ (cm)において植生内部 ( $y/h \leq 1.0$ )で流速の低減は小さい．したがって、植生密度が小さなケースでは植生群落上流では植生の影響は小さく滑面流れの特徴が残っていると考えられる． $x = 50, 100, 200$ (cm)では、各ケースとも植生内部で植生抗力を受け流速が低減され、植生先端付近 ( $y/h = 1.0 \sim 1.5$ )に流速分布の変曲点が現れるのが観察される．

図-3 は植生内部と植生外部の代表高さ ( $y/h = 0.4, 2.0$ )における平均流速値  $U$  の流下方向分布を植生密度別 ( $\Phi = 0.137, 0.061, 0.015$ )に比較した図である．値は  $U$  は断面平均流速  $U_m$  で、 $y$  は植生

高さ  $h$  で無次元化している。各ケースとも  $x=0-100(\text{cm})$  で植生内部における流速減衰が大きく、 $x=150-400(\text{cm})$  で流速減衰は緩やかになる。また、植生密度が大きくなるほど流速値の減衰が大きくなるのがみられ植生内部での流速は小さくなる。これに対して、植生外部では  $x=0-100(\text{cm})$  で流速は流下方向に進むにしたがって増加しているが、これは植生内部で流速が減速し植生により妨げられた流れが植生外部に流れ込むためであると考えられる。また、植生密度の最も大きなケース ( $\Phi = 0.137$ ) では、流速の減衰が早く短い距離で流速が安定するため流れ場が十分に発達するまでの距離が小さくなると推測される。

図-4 は  $\Phi = 0.137, 0.015$  のケースにおける  $x=10, 50, 100, 200(\text{cm})$  で  $-\overline{uv}$  は断面平均流速  $U_m$  で、 $y$  は植生高さ  $h$  で無次元化している。各ケースとも植生先端付近 ( $y/h=1.0-1.5$ ) でピーク値をもち、流下方向に進むにつれて値が大きくなり、レイノルズ応力分布の鉛直方向の広がりも大きくなる。また、植生密度が大きいほど値が増加する。

図-5 はレイノルズ応力のピーク値の流下方向変化を示した図である。流下方向に進むにつれてピーク値は増加し植生密度が大きいほどピーク値は大きい。植生密度が大きいケース ( $\Phi = 0.137, 0.061$ ) では  $x=0-150(\text{cm})$  でピーク値が急激に増加し  $x=150(\text{cm})$  より下流では変化が緩やかになる。植生密度が小さなケース ( $\Phi = 0.015$ ) では  $x=220(\text{cm})$  あたりまで緩やかに増加していき、これより下流ではほぼ一定値をとる。しかし、植生密度が大きなケースでは十分下流でも緩やかに増加し続けることも観察されレイノルズ応力が十分に発達し安定するまでに要する距離は長いと思われる。

したがって、時間平均統計量と乱流統計量では十分に発達し安定するまでの距離は異なり平均統計量の方が短い距離で十分に発達し安定するといえる。

#### 4. おわりに

本研究では発達途上にある植生流れを対象に計測位置を流下方向に 4m トラバースさせて PIV 計測を行い植生流れの発達メカニズムについて考察した。

#### 参考文献

- 1) Andrew M.Folkard : Hydrodynamics of model Posidonia oceanica patches in shallow water(2005), *Limnol.Oceanogr*, Vol.50(5), pp.1592-1600
- 2) Maltese.A, Cox.E, Folkard,A.M., Ciruolo.G,Loggia G.L. and Lombardo,G : Laboratory measurements of flow and turbulence in discontinuous distributions of ligulate seagrass(2007), *J.of Hydraulic Eng*, Vol.133, pp.750-760.

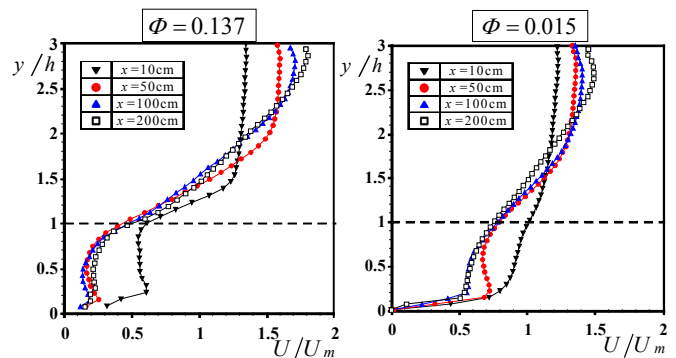


図-2 時間平均流速分布

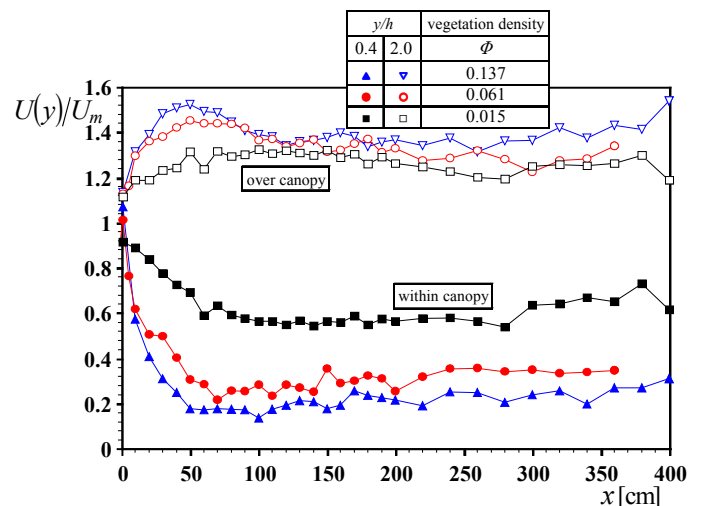


図-3 代表高さにおける主流速の流下方向変化

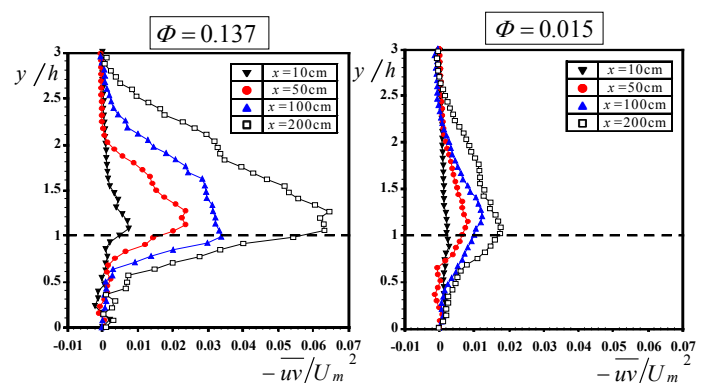


図-4 レイノルズ応力分布

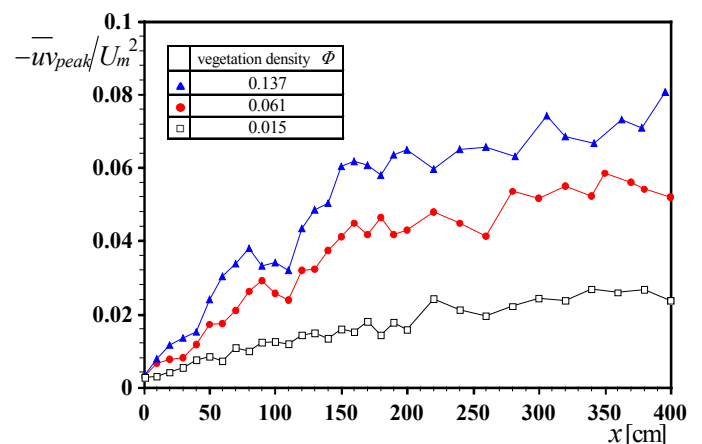


図-5 レイノルズ応力ピーク値の流下方向変化