

PIV を用いた植生群落の柔軟性による平均流・乱流構造への影響の解明  
 Investigation of Mean and Turbulent Flow Structures  
 around Rigid and Flexible Vegetation Patches using PIV

○高田 真志・松本 知将・岡本 隆明・山上 路生

○Masashi TAKADA, Kazumasa MATSUMOTO, Takaaki OKAMOTO, Michio SANJOU

In this study, PIV measurements are conducted for partially vegetated open-channel flows with rigid and flexible vegetation canopies to investigate the mean and turbulent flow structures near the vegetated area. The flow measurement results show that, for the rigid vegetation case, depth-scale secondary flow cells are generated in the vegetated region and main-channel and that a canopy height-scale secondary flow cell are formed in the near-junction region. In contrast, the vegetation deflection creates a secondary flow cell around the lateral patch edge for the flexible vegetation case. The cross-sectional distribution of turbulent statistics revealed that vertical and horizontal mixing layers develop around the top and lateral canopy edges, respectively, and that the spatial patterns of the turbulence structure are different between the rigid and flexible vegetation cases. Thus, the secondary flows and three-dimensional coherent structures play key roles in mass and momentum exchange. (143 words)

### 1. はじめに

河道の樹林化は、河川管理上の問題を引き起こすことが知られている。植生群落周辺の流速低減や物質輸送過程について明らかにするため、群落近傍の流れ場の構造を解明する必要がある。

河道内に水没植生群落が偏在する場合、群落近傍で大規模な混合層と二次流が生成されることは知られている。しかし、既往研究で実施された流速計測の計測断面は限定的で、流れ場の三次元的構造は未解明な点が多い。特に柔軟植生近傍の二次流構造を対象とした研究は少なく、植生の柔軟性が群落近傍の流れ場に及ぼす影響は解明すべき点が多く残されている。そこで本研究では、剛体・柔軟植生群落近傍における流れ場構造の違いについて水路実験を通じて考察する。

### 2. 実験方法・水理条件

本研究では全長 10 m, 幅  $B = 0.4$  m, 高さ 0.5 m の可変勾配型水路を用いた。  $x, y$  および  $z$  はそれぞれ流下方向, 鉛直方向および横断方向座標であ

り, 原点は群落上流端 ( $x = 0$ ), 水路底面 ( $y = 0$ ) および右岸側水路壁 ( $z = 0$ ) とした。各方向の瞬間流速 ( $\tilde{u}, \tilde{v}$  および  $\tilde{w}$ ) は時間平均流速 ( $U, V$  および  $W$ ) と瞬間流速変動 ( $u, v$  および  $w$ ) に分解される。植生群落として水路右岸側に植生要素を正方格子状に配置した。剛体植生要素は高さ  $h = 70$  mm, 厚さ  $t_v = 2$  mm のアクリル製, 柔軟植生要素は直立高さ 10 cm, 厚さ  $t_v = 0.188$  mm の PET 製とした。幅  $b_v = 8$  mm は両ケースで一定とした。  $x, z$  方向の植生間隔  $L_v, B_v$  はいずれも 32 mm で, 植生密度  $a(\equiv b_v/(B_v L_v)) = 7.8 \text{ m}^{-1}$  である。  $x, z$  方向の群落長さはそれぞれ  $L_p = 2.754$  m および  $B_p = 0.252$  m とした。流速計測には PIV を用いた。3.0 W の YAG レーザーを光源として厚さ 2 mm のレーザーライトシート (LLS) を照射し, 高速カメラでデジタル撮影した。

表-1 に本実験の水理条件を示す。水深  $H$  および断面平均流速  $U_m$  は両ケースで一定とした。ここで  $\bar{h}_d$  は群落下流 ( $x = 17H < L_p$ ) における柔軟植生の時間平均倒伏高さである。

表-1 実験条件

|     | $H$<br>[m] | $U_m$<br>[m/s] | $Re$   | $Fr$ | $H/h, H/\bar{h}_d$ | 植生形態 |
|-----|------------|----------------|--------|------|--------------------|------|
| R25 | 0.15       | 0.25           | 37,500 | 0.21 | 2.14               | 剛体   |
| F25 | 0.15       | 0.25           | 37,500 | 0.21 | 1.74               | 柔軟   |

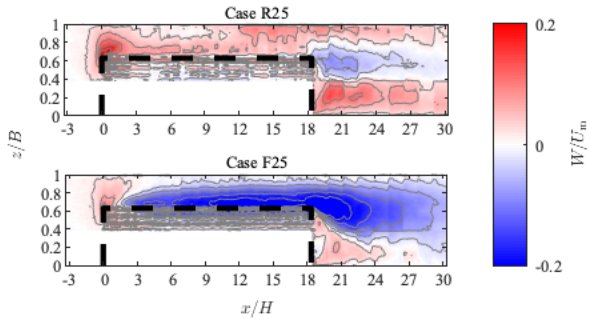


図-1 時間平均横断流速  $W$  水平面コンター

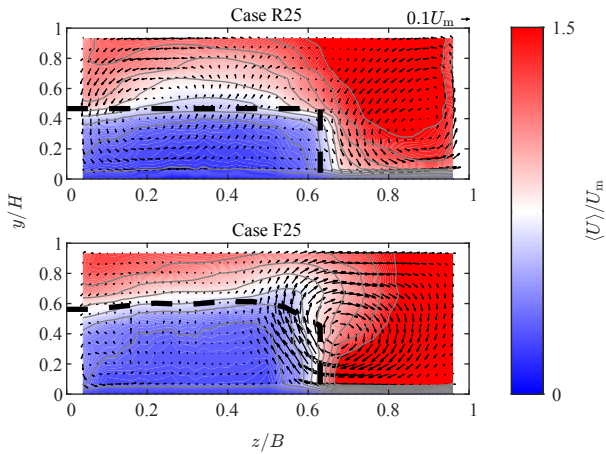


図-2 二重平均主流速  $\langle U \rangle$  横断面コンター

### 3. 実験結果および考察

植生の柔軟性が流れ場に及ぼす影響を調べるため、同程度の植生高さ ( $h \approx \bar{h}_d$ ) の剛体・柔軟植生で比較した。図-1 に時間平均横断流速  $W$  の水平面コンターを示す。計測断面は植生高さの半分程度 ( $y = 0.43h$ ) とした。Case R25 では、植生境界で群落内から主流域に押し出される流れ ( $W > 0$ ) がみられる一方で、Case F25 では群落域に入り込む流れ ( $W < 0$ ) がみられる。このような横断方向流速分布の違いから、2 ケースで二次流構造が異なることが示唆された。また群落下流 ( $15H < x < 18H$ ) で等値線が流下方向に一様になっており、流れが十分に発達しているとみなした。

植生群落近傍の二次流構造を調べるため、計測断面を細かく設定して鉛直面 PIV・水平面 PIV を

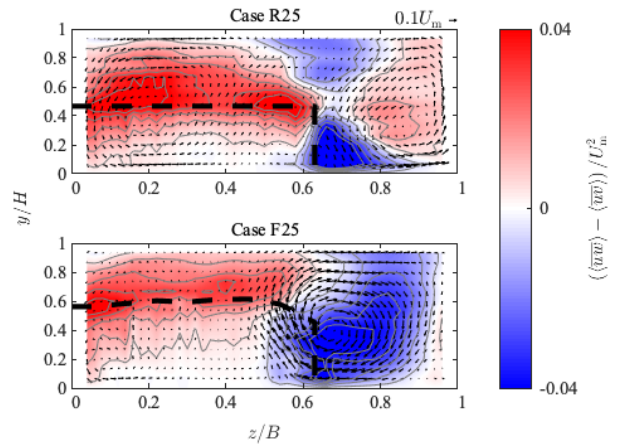


図-3 レイノルズ応力の鉛直・水平成分の差  $(\langle \overline{uw} \rangle - \langle \overline{uv} \rangle)$  の横断面コンター

行った。図-2 に二重平均主流速  $\langle U \rangle$  の横断面コンターおよび二次流ベクトル ( $\langle W \rangle, \langle V \rangle$ ) を示す。計測断面は、流れが十分発達していると考えられる群落下流 ( $x = 17H < L_p$ ) である。ここで二重平均とは時間平均 (レイノルズ平均) の後、植生要素間隔スケールで空間平均を施すことである。ベクトル線から、Case R25 では主流域および植生域における反時計回りの渦状二次流と植生境界部における時計回りの渦状二次流がみられる。一方で Case F25 では、主流域から植生境界部にかけてみられる時計回りの渦状二次流が顕著である。このような二次流により主流速の等値線に歪みが生じている。特に Case F25 の群落側方境界では主流速の鉛直勾配が負になっている ( $\partial U / \partial y < 0$ )。

群落近傍の乱流構造について検討するため、図-3 にレイノルズ応力の鉛直・水平成分の差  $\langle \overline{uw} \rangle - \langle \overline{uv} \rangle$  の横断面コンターを示す。鉛直・水平渦がそれぞれ群落の上端 ( $y \approx h, \bar{h}_d$ ) および側端 ( $z \approx B_p$ ) 付近で発達していることがわかる。鉛直・水平渦の卓越領域が鉛直・横断流速と対応しており、運動量輸送および二次流の形成と相互に関係していることが示唆される。

### 4. おわりに

剛体・柔軟植生群落流れに対する PIV 計測により、植生の柔軟性が群落近傍の二次流および乱流構造に影響を及ぼすことが示唆された。今後は二次流の形成機構をより詳細に検討したい。