

第II部門

開水路植生流れの組織乱流構造の数値解析について

京都大学

学生員

○岡本隆明

京都大学

正会員

山上路生

京都大学

フェロー

瀬津家久

1. はじめに

河床に繁茂する植生群は、これまで洪水の疎通能力を阻害するため伐採されてきたが、最近では多くの水生生物の生息域であることや河床侵食を防止するなど環境面への配慮から植生を保全する動きが高まっている。植生域を維持および管理していく上で、底面植生帯を有する開水路流れの水力乱流構造を解明することは非常に重要である。しかしながら、LDA や PIV 計測では植生流れのような複雑な流れ場における流速3成分の同時計測は難しい。そこで本研究では高精度な数値シミュレーションを導入し、瀬津らの LDA 計測結果¹⁾と比較することで植生流れの組織乱流構造の解明を試みた。

2. 実験方法と水力条件

本研究の計算条件は前報の開水路植生流れを乱流計測した水力条件¹⁾に合わせた。表-1 に水力条件を示す。ここで植生密度 λ は単位面積当たりの植生要素の遮蔽面積(frontal area)で定義した。図-1(a)および(b)に計算領域と座標系を示す。 H は等流水深、 h は植生の高さである。 B_v 、 L_v はそれぞれ横断方向、流下方向の植生配置間隔である。また図-1(b)に示すように植生背後領域を wake 領域、植生と植生の間の領域を non-wake 領域と定義する。計算グリッドは不等間隔で、特に植生要素近傍を細かく設定した。植生要素表面で non-slip 条件を与えることで植生要素を計算領域内に厳密に計算している。ここで計算領域の全格子数は流下方向に 140、鉛直方向に 48、横断方向に 36 である。本研究では植生流れの組織乱流構造を再現するために LES を適用し、標準 Smagorinsky モデルで計算した。フィルターをかけた N-S 方程式と圧力のボアソン方程式を MAC 解法で収束計算し、瞬間流速分布を算出した。移流項スキームは3次精度風上差分、時間微分項には2次精度 Adams-Bashforth 法を用いた。壁面および自由水面境界には流速の3成分とも No-Slip 条件を与え、組織渦を発達させるために流下方向及び横断方向に周期境界条件を与えた。

3. 結果と考察

図-2 は平面平均した時間平均主流速分布 $\langle U \rangle$ の鉛直分布を実験値と比較したものである。結果は植生先端($y=h$)における主流速の平面平均値 $\langle U_h \rangle$ で無次元化している。計算結果は実験結果と同様に植生層内部で流速分布が大きく低減しており、計算値は実験値で見られる植生先端部でのせん断不安定性を良好に再現している。

図-3 に流速分布のせん断不安定性が現れる植生先端における時間平均主流速 U の水平面コンターを示す。

結果は図-2 と同様に $\langle U_h \rangle$ で無次元化している。比較のために著者らによる PIV 計測の結果も併示した。

表-1 計算条件

λ	Q (l/s)	U_m (cm/s)	H (cm)	h (cm)	Re	Fr
1.56	6.05	12.0	15.0	5	18000	0.10

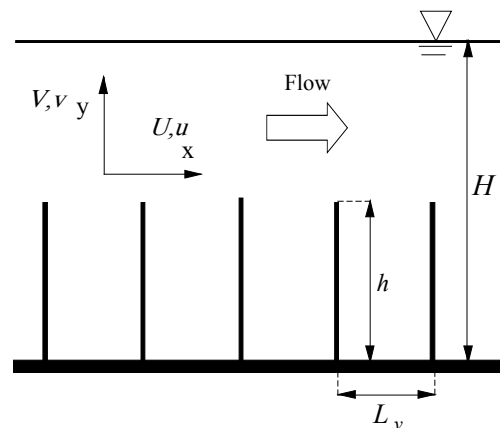


図-1(a) 計算領域 (縦断面図)

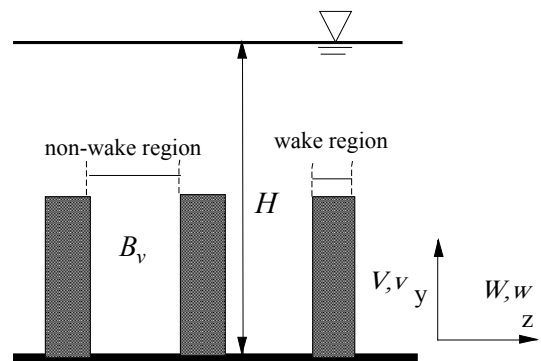


図-1(b) 計算領域 (横断面図)

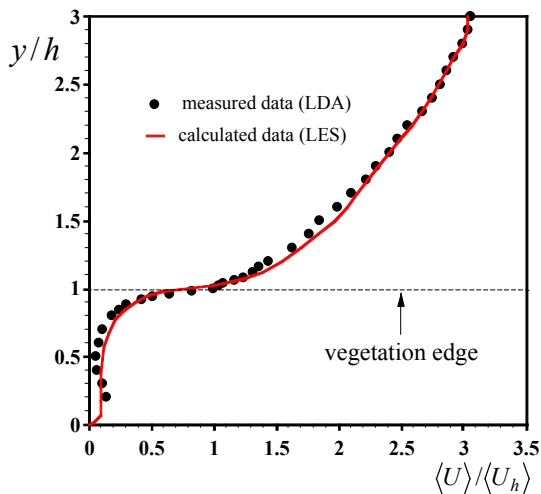


図-2 平面平均した主流速鉛直分布の比較

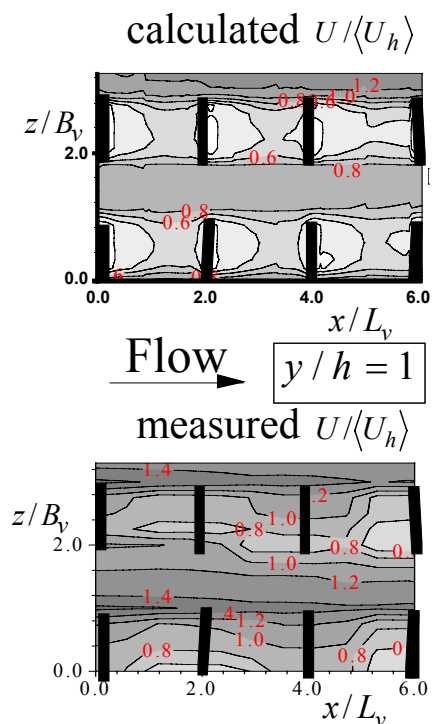


図-3 主流速水平面分布の比較

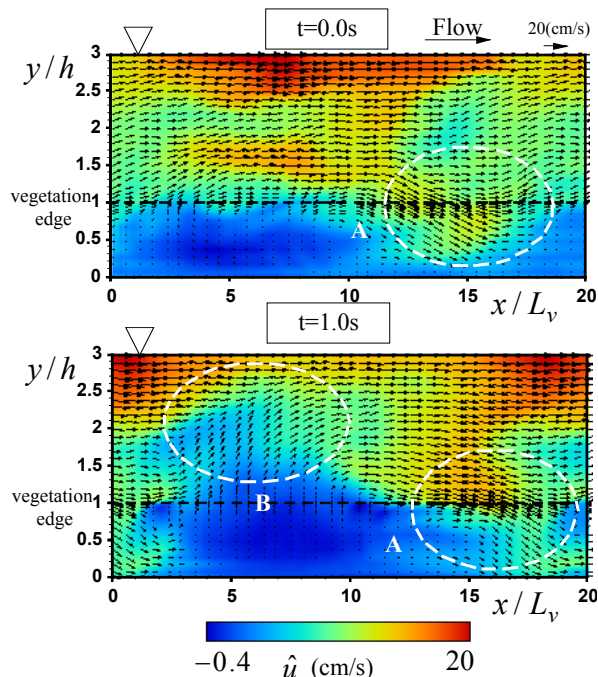


図-4 時間平均流速の水平面コンター

wake 領域では植生要素のシェルター効果によって流速分布が低減し、植生要素の極近傍の上下流域において流速分布の局所的な落ち込みがみられる。一方、non-wake 領域では流速分布の局所変化は小さく、流下方向に筋状の分布となっており、実験結果と同様の傾向である。また主流速の局所的な分布特性もほぼ一致しており、本 LES 計算モデルが植生流れを現象解明するのに十分な精度を有していることがわかる。

図-4 に non-wake 領域における瞬間流速ベクトル分布 ($\tilde{u}, \tilde{v}$) の一例を $t=0.0$ (s) から $t=1.0$ (s) まで時系列表示した。カラーコンターは瞬間主流速 $\hat{u}$ の分布である。 $t=0.0$ (s) において植生先端で高速流体塊を植生内部に輸送する下降ベクトル sweep(図中 A)が発生している。

$t=1.0$ (s) では sweep(A)が時間とともに流下方向に移流され、その上流側には低速流体塊を植生先端付近から植生層外部に浮上させる上昇ベクトル ejection(図中 B)が発生している。これは他時刻の瞬間ベクトルにおいても観察され、ejection と sweep が交互に発生しているがわかる。これらの結果から本計算でも植生流れの植生先端付近での大規模な sweep, ejection による運動量交換や周期的な渦の変動特性を定性的に再現できたと考えられる。

おわりに

本研究は開水路植生流れを対象に LES 解析を行い、植生群によって発生する組織乱流構造の解明を試みた。主流速の鉛直分布と水平面分布から数値計算の精度を検証し、瞬間ベクトル分布から開水路植生流れには運動量交換を促進する周期的な組織変動サイクルが存在することがわかった。

参考文献

- 1) 棚津家久・山上路生・岡本隆明：植生キャノピー開水路流れの乱流構造とディスペルシブ効果に関する実験的研究，水工学論文集第 50 巻，土木学会，pp.1135-1140，2006。