

京都大学 学生員 ○岡本隆明
 京都大学 フェロー 榊津家久
 京都大学 正会員 山上路生

1. はじめに

実河川の植生は柔軟性を有し、流れに対して変形、揺動する。柔軟植生場は剛体植生場に比べると流れ場が複雑で計測が困難であるため、未解明点が数多く存在する。そこで本研究では柔軟植生が組織的に揺動する‘藻波(Monami)現象’に着目して実験的研究を行い、藻波が流れ場に与える影響について考察する。

2. 実験方法と水理条件

図-1 は柔軟植生の実験装置図を示す。実験に用いた水路は全長 10m, 幅 40cm, 高さ 50cm の可変勾配型直線水路である。図のように計測部を含めて 8m の区間にわたって柔軟植生モデルを正方向格子状に配置した。柔軟植生モデルは OHP シートを幅 8mm, 長さ 70mm, 厚さ 1mm の短冊状に切ってレゴブロックに貼り付けたものである。本研究では柔軟植生の直立高さを h , 抗力で折れ曲がったときの高さを h_d とする。

流体計測には PIV システムを用いた。上方から図-1 に示すように LLS を照射して、水路側方から高速度カメラでデジタル撮影した。なお、撮影領域を x 方向に広くとるために 2 台の高速カメラを同期させ、広領域が撮影可能に工夫した。カメラに 40Hz 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 55 秒間計測した。撮影領域は 56cm×30cm 領域である。LLS の照射位置は植生の wake 領域と non-wake 領域の境界部とした。

表-1 に実験条件を示す。ここでケース名は植生密度 a , 全水深 H , 断面平均流速 U_m を表している。水理条件は 2 通りの植生密度について水深 H を非水没植生から全水没植生のケースまで系統変化させ、C-H14U20 のケースについては断面平均流速 U_m の効果をみるために平均流速 U_m を 3 通りに変化させた。水理条件は全 18 ケースである。表中の右端の欄は植生の揺動状態 (S, M はそれぞれ *Swaying*(個々に揺動する), *Monami*(群体的に揺動)を表す) を示している。

3. 結果と考察

図-2 (a) に柔軟植生と剛体植生¹⁾ ($H/h=2.0$)の時間平均主流速鉛直分布を比較した。ただし記号 $\langle \rangle$ は流下方向の空間平均値を表す。レイノルズ数が大きいケース ($Re=28000$) は藻波が発生しているが、レイノルズ数が小さいケース ($Re=11200, 18000$) は藻波が発生していないケースである。全ケースにおいて流速シアが最大となる変曲点がみられる。図-2 (b) に柔軟植生のケースの主流速分布の変曲点位置 h_f をまとめた。レイノ

表-1 実験条件

case	H (cm)	h (cm)	U_m (cm/s)	Re	Fr	a(1/m)	植生の揺動状態	
DH7U20	7.0	7.0	20.0	14000	0.24	3.8	S	
DH8.75U20	8.75			17500	0.22			
DH10.5U20	10.5			21000	0.20			
DH14U20	14.0			28000	0.17			
DH17.5U20	17.5			35000	0.15			
DH21U20	21.0			42000	0.14			
DH24.5U20	24.5			49000	0.13	7.6	M	
DH28U20	28.0			56000	0.12			
CH7U20	7.0			14000	0.24			
CH8.75U20	8.75			17500	0.22			
CH10.5U20	10.5			21000	0.20			
CH14U20	14.0			28000	0.17			
CH17.5U20	17.5	35000	0.15	7.6	M			
CH21U20	21.0	42000	0.14					
CH24.5U20	24.5	49000	0.13					
CH28U20	28.0	56000	0.12					
CH14U8	14.0	8.0	11200			0.07	7.6	S
CH14U13		13.0	18200			0.11		

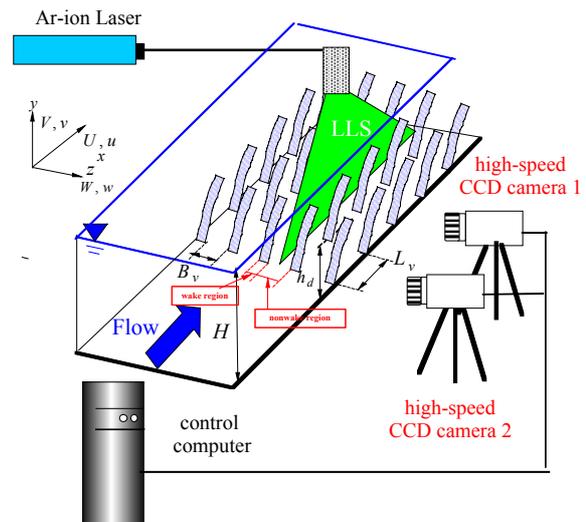


図-1 実験装置図

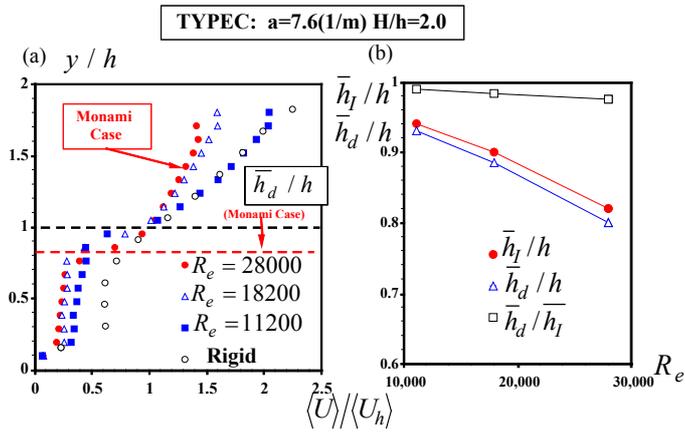


図-2 主流速鉛直分布の比較

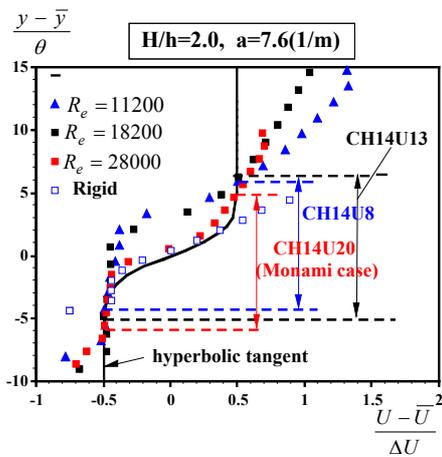


図-3 tanh 型流速分布との比較

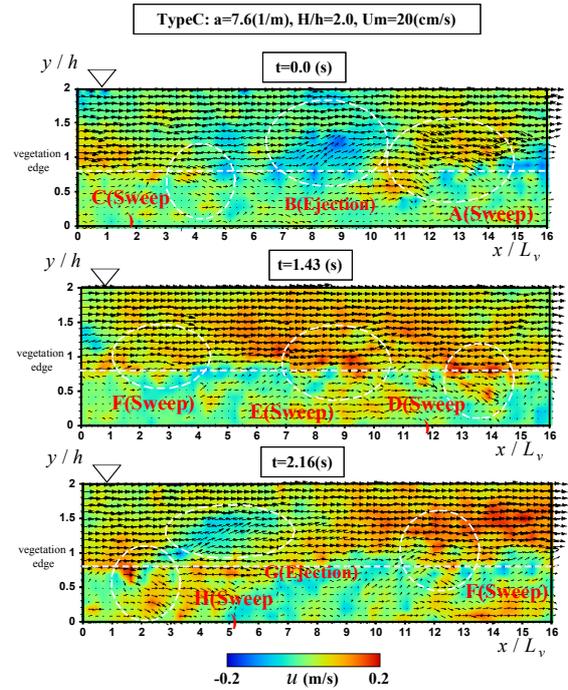


図-4 瞬間ベクトル分布

ルズ数が大きくなるにつれて変曲点位置が下方に移動しているのがわかるが、植生の折れ曲がり平均高さ ($y = \bar{h}_d$) よりも上方に現れている。

図-3 に柔軟植生と剛体植生¹⁾のケース ($H/h=2.0$) について混合層で成立する hyperbolic tangent 型の流速分布と比較した。柔軟植生のケースでは流速が遅く藻波の発生しないケースよりも藻波の発生するケース ($Re=28000$) の方が混合層型流速分布と一致する。

これより藻波現象は混合層のせん断不安定性 (K-H 不安定性) によって発生する渦と関係があることが推測される。また剛体植生は藻波の発生するケースと同様に混合層型の流速分布に一致することが最近解明されている¹⁾。

図-4 に藻波が発生するケース ($a=7.6(1/m)$, $H/h=2.0$) における瞬間流速ベクトル (\vec{u}, \vec{v}) 分布の一例を $t=0.0$ (s) から $t=2.16$ (s) まで時系列表示した。カラーコンターは乱れ変動成分 u の分布である。 $t=0.0$ (s) において破線部 A の領域で $u > 0$ となり、高速流の下降ベクトルである sweep が発生している。破線部 B では低速流の上昇ベクトルである ejection ($u < 0, v > 0$) が発生しているのがわかる。破線部 B の ejection の上流側で新しく sweep (破線部 C) が発生している。 $t=1.43$ (s) では前時刻 ($t=0$ (s)) の sweep と ejection (破線部 A, B, C) がともに移流されて、その上流側の領域に新たな sweep (破線部 D, E, F) が発生している。 $t=2.16$ (s) で sweep (破線部 F) が移流されて上流側に新しく ejection (破線部 G) と sweep (破線部 H) が発生している。これらのことから柔軟植生流れの組織構造は ejection と sweep が交互に発生するような組織変動サイクルをもつことがわかった。

4. おわりに

本研究は柔軟植生流れを対象に PIV 計測を行い、藻波現象が流れ場に与える影響について考察した。主流速分布を tanh 型流速分布と比較することで混合層との類似性を検討し、瞬間ベクトル分布から柔軟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

岡本隆明・禰津家久・山上路生(2008)：植生開水路流れの組織乱流構造に及ぼすかぶり水深の影響に関する研究，水工学論文集第52巻，土木学会，pp.739-744