

京都大学 学生員 ○板井幸太
 京都大学 フェロー 榎津家久
 京都大学 正会員 山上路生

1. はじめに

実河川の高水敷には多様な樹木群が形成されている^{1),2)}。特に低水路と高水敷の境界部では一般に群生密度が大きい。高水時には境界部の樹木群によって極端に大きな抵抗が発生し、主流速分布は低水路と高水敷のそれぞれにピークをもつ2極構造になり、従来の単一変曲点をもつ混合層的な流れとはその様相は大きく異なる。そこで本研究では、この流れ場の乱流渦構造や低水路と高水敷の間の物質交換特性を明らかにするために、粒子画像流速計測法(PIV)を用い計測を行った。

表-1 水理条件

case	U_m (cm/s)	H (cm)	D (cm)	HD	B_m (cm)	B_f (cm)	Re	$\alpha=dL$	instrument
present-1	15	40	20	2	60	150	60000	0(non-tree)	PIV
present-2								1/25(tree)	
present-3								1/15(tree)	
present-4								1/5(tree)	

2. 実験手法および水理条件

図-1 は本実験の装置図である。本計測で用いた水路は全長 9m, 幅 150cm の循環式大型直線水路である。水路の左岸側にアクリル製のボックス(全長 60cm, 高さ 20cm, 幅 30cm)を 3 列に並べ、これを高水敷とし、複断面水路を再現した。図-1 中の B_m , B_f , D および H は、それぞれ低水路幅, 高水敷幅, 高水敷高さ, 低水路水深である。それぞれ $B_m = 60\text{cm}$, $B_f = 90\text{cm}$, $D = 20\text{cm}$, $H = 40\text{cm}$ である。 x , y および z をそれぞれ流下方向, 鉛直方向および横断方向とし、底面を $y = 0$, 高水敷と低水路の境界を $z = 0$ とする。計測は水路上流端より約 6m 下流で行われた。樹木モデルとしてプラスチック製の中空の円柱を単列に設置した。円柱の直径 $d = 2\text{cm}$ であり、円柱間隔 L を 3 パターン変化させた。出力 3W の連続アルゴンイオンレーザーを光強度減衰が小さい光ファイバーケーブルによって水路側方まで導光し、シリンドリカルレンズでシート状(Laser light sheet, LLS)にした。この LLS を低水路側の側壁ガラスより水路底に平行に水平照射した。高さは $y = 38\text{cm}$ に固定した。計測台車の上方に高速度カメラを設置し、LLS を撮影した。1 ケースあたり約 60 秒間計測した。このカメラはパルスジェネレータによって外部トリガー制御が可能である。30Hz の外部 TTL 信号によって連続 2 時刻の画像を 100Hz のフレームレートで撮影した。得られたペア画像から直接相互相関法によって流下方向と横断方向の瞬間流速成分(U , W)を 30Hz のサンプリング間隔で求めた。表-1 に水理条件を示す。全てのケースで流速と水深を一定とし、樹木間隔のみを変化させ、樹木なしケースを含め 4 ケースの計測を行った。

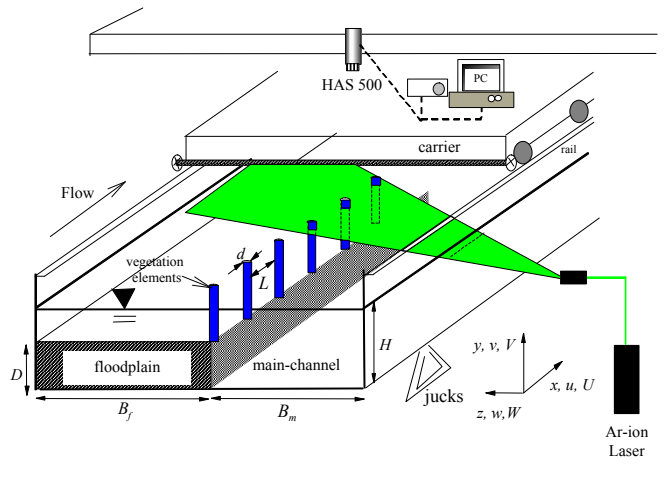


図-1 実験装置

3. 実験結果および考察

図-2 は Chong(1991)³⁾が示した Δ 法により求めた Δ 値をコンターで、瞬間ベクトル($\tilde{w}, \tilde{u} - U_s$)をベクトルで示している。(a)が $L/d = 15$ のケースで (b)が $L/d = 5$ のケースである。瞬間ベクトルで渦判定を行う場合、基準速度には主観が入り一般的ではない。 Δ 法は基準速度の問題はなく、渦摘出において重要な指標である。 Δ 法では Δ 値が負となる領域が渦領域を示している。両ケースともに樹木近傍で渦が発生し時間経過とともに流下方向に移動している。渦によって低水路方向と高水敷き方向のどちらに移流されるかは違う。 $L/d = 15$ のケースでは、上流部には多く渦が存在するが下流に進むにつれて減少していく。これは、樹木近傍で発生した渦が時間とともに拡散したり合体するためと考えられる。瞬間ベクトルも Δ 法の結果とよく一致している。よって本研究では瞬間ベクトルも渦判定に有効な方法である。瞬間ベクトルより時計・半時計周りの渦が存在している。それぞれの渦は流下方向にず

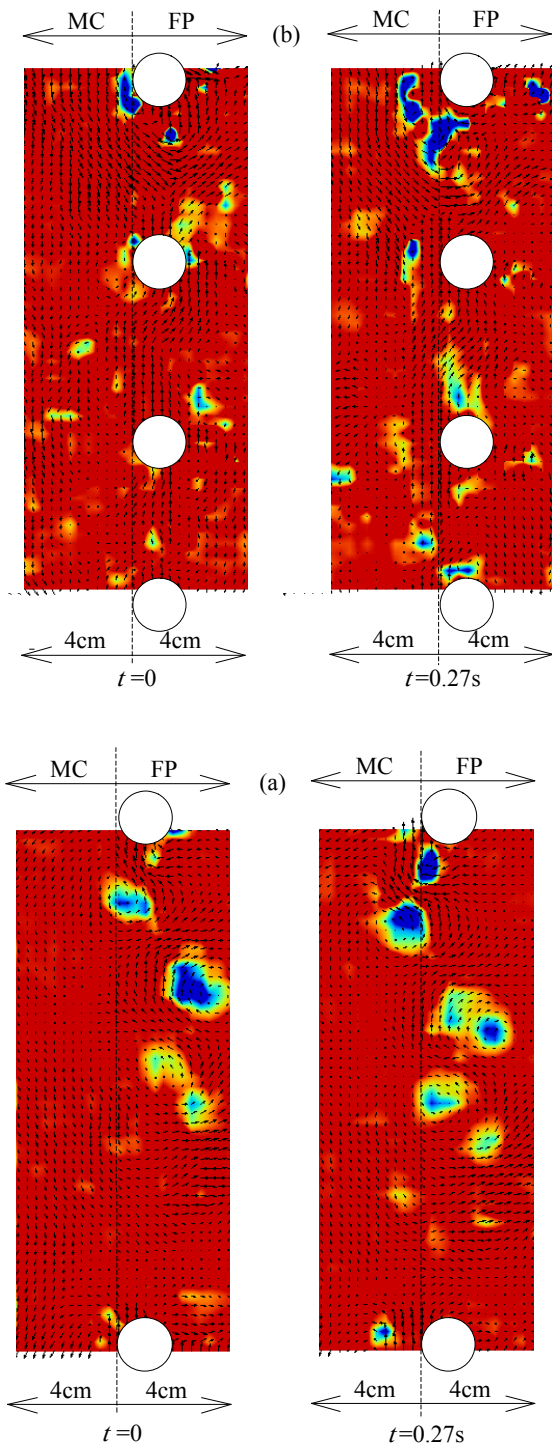


図-2 Δ値 (a) $L/d=15$, (b) $L/d=5$

れているため渦同士が打ち消しあっているわけではない。よってこのカルマン渦の存在により低水路・高水敷間の物質交換が促進されると可能性がある。そこで次に交換率と樹木有無および密度の関係について考察を行う。

図-3 は横断方向の乱れ統計量 w' により評価した乱れによる交換率 T_w の横断方向変動のケース間比較である。 T_w は以下の式で表される。

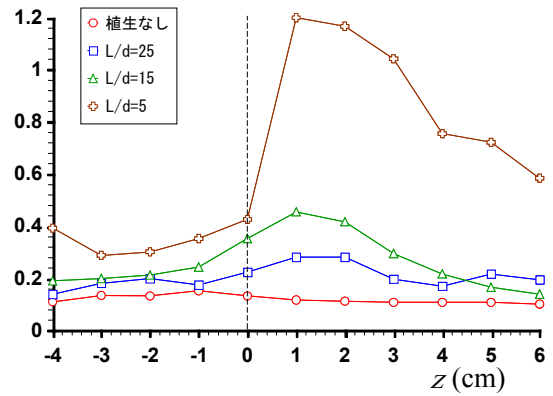


図-3 乱れによる交換率 T_w

$$T_w = \frac{1}{L} \int_0^L w' / U_m dx \quad (1)$$

樹木なしケースでは $x=-1\text{cm}$ で最大値となるが、横断方向にほぼ一定の分布となっている。樹木ケースでは、どのケースでも円柱の中心である $z=1\text{cm}$ で最大値をとる分布となっている。境界近傍では樹木密度が増加するほど値が大きくなっている。これは樹木間隔に占めるカルマン渦の影響範囲が、樹木密度が増加するほど大きくなるからである。樹木なしケースと比較しても境界近傍で樹木ケースの交換率は大きくなっており、境界部の樹木の存在により交換が促進されることが分かった。

4. おわりに

樹木ケースにおけるPIV計測を行い、瞬間流速分布や統計量の分布から低水路/高水敷の物質交換特性を明らかにした。以下に得られた結果をまとめて示す。

- 1) 樹木近傍でカルマン渦が発生し、流下方向へ移流されていく。移流されたカルマン渦はだんだん拡散していきやがて消失する。このため下流にいくほど樹木間では渦が少なくなる。
- 2) 物質交換は樹木密度が増加するほど促進される。これは樹木間隔に占めるカルマン渦の影響範囲が、樹木密度が増加するほど大きくなるからである。

参考文献

- 1) Sun, X., Shiono, K.(2009). Flow resistance of one-line emergent vegetation along the floodplain edge of a compound open channel. *Advances in Water Resources*, 32,430-438.
- 2) Shiono K., Ishigaki, T., Kawanaka, R., Heatlie, F. (2009). Influence of one line vegetation on stage-discharge rating curves in compound channel. *Proc. 33, IAHR Congress, Vancouver*, 8pages on CD-ROM
- 3) Chong, M.S., Perry, A.E., Cantwell, B.J. (1991). A general classification of three-dimensional flow fields. *Psys. Fluids A*, 2(5).