

第II部門 植生型水制工近傍の組織渦構造に関する実験的研究

京都大学 学生員 ○岡崎拓海
 京都大学 正会員 岡本隆明
 京都大学 学生員 竹中将人
 京都大学 フェロー会員 戸田圭一

1. はじめに

急流河川では河川浸食や土砂流出が激しい。そこで従来は非超越型のコンクリートブロック型水制工で出水時の流れを制御してきた。しかしこの方法では上流側の流れに淀みが形成され土砂が堆積し、植生が繁殖する。すると平水時の流路が縮小し砂州の固定化が進行し、その結果、一部では植生が繁茂する一方で、対岸側では侵食による河床の低下が起こるといふ二極化が進行してしまう。また河川は本来人々の憩いの場という一面で、景観保全、生態系の保護という観点からも問題が考えられる。そこで、本研究では、図-1に示したような透過型水制工と不透過型水制工を組み合わせた植生型水制工 (vegetated groyne) の提案を試みる。この植生型水制工のメリットとしては水制工の上部に植生型の杭群を設置したもので透過性を持ち水位上昇を抑えることができる。また、河川の生態系への影響が少なく済み、景観を美しく保持できるといったことが挙げられる。しかしながら現在まで行われている研究が少ないこと、また不透過型水制工に比べて護岸効果が小さくなる懸念される。そこで本研究では、植生型水制工を設置して水路実験を行い、透過率の変化による流れ構造の変化について各ケースを詳細に調べる。

2. 実験方法・水理条件

本研究では水平面 PIV 計測と鉛直面 PIV 計測の結果を用いて植生型水制工近傍での流れ構造の変化と馬蹄渦との関係について考察する。

図-1に水平面 PIV 計測装置を示す。3.0W の YAG レーザーを光源として水路側方から厚さ 2.0mm のレーザーライトシート(LLS)を照射し、水路上方に設置した高速度 CCD カメラ (1024×1024 pixel) でデジタル撮影した。本実験は流速の大きい水理条件のため、水面変動の影響をなくすために水路下方から撮影している。水平面 PIV 計測結果から水平面の瞬間流速ベクトル(\tilde{u}, \tilde{w})を算出した。LLS の鉛直方向照射位置は $y/h=0.2$ (底面付近)とした。図-2に鉛直面の PIV 計測装置を示す。水路上方からレーザーシートを照

表-1 水理条件

P	$L(\text{cm})$	$h(\text{cm})$	$h_v(\text{cm})$	$h_w(\text{cm})$	$H(\text{cm})$	$U_m(\text{cm/s})$	Fr	Re
0	10	2.5	0.0	5.0	5.0	20	0.286	10000
0.256	10	2.5	2.0	3.0	5.0	20	0.286	10000
0.396	10	2.5	3.0	2.0	5.0	20	0.286	10000
0.514	10	2.5	4.0	1.0	5.0	20	0.286	10000

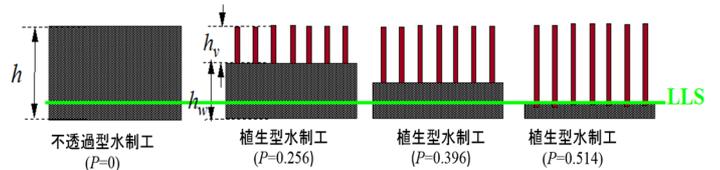


図-1 植生型水制工模型図

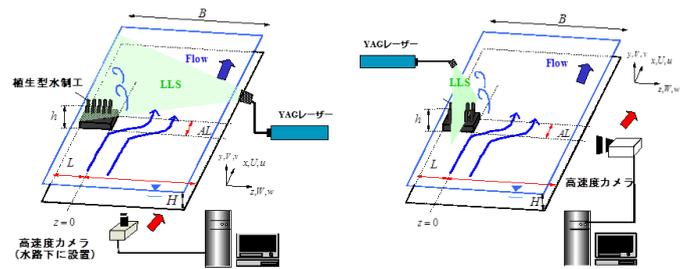


図-2 水平面PIV計測装置 図-3 鉛直面PIV計測位置

射し、水路側方に設置した高速カメラでデジタル撮影した。鉛直面 PIV 計測結果から鉛直面の瞬間流速ベクトル(\tilde{u}, \tilde{v})を算出した。撮影領域のサイズは 20×20cm 領域である。横断方向の馬蹄渦構造の変化について詳細に調べるために水制工の上流側($x<0$)で $z/L=-0.5, 0.0$ の 2 ラインを LLS の鉛直方向照射位置とした。

表-1に水理条件を示す。 H は水深、 h は水制工の全高であり、かぶり水深比 $H/h = 1.0$ 、断面平均流速 $U_m = 20(\text{cm/s})$ 、は全ケースで同じである。本研究では水制工模型として不透過型水制工($P=0$)、植生型水制工を用いた。植生水制工については切り下げたコンクリートブロック部の高さ h_w と杭群の本数を変化させて水制工の透過率 P を系統変化させた ($P=0, 0.256, 0.396, 0.514$)。

3. 実験結果

図-4 に不透過型水制工と植生型水制工のケースの時間平均主流速 U の x - z 水平面コンターである。流速ベクトルは時間平均流速ベクトル (U, W) である。LLS の鉛直方向照射位置は $y/h=0.2$ (底面付近) である。流速値は断面平均流速 U_m で無次元化している。 x 軸と z 軸は水制工の横断方向の長さ L で無次元化している。不透過型水制工のケースでは水制工による流速低減効果 (護岸効果) が大きい。水制工背後には流速の負値域 ($U<0$) がみられる。これに対して、植生型水制工のケースでも水制工背後で流速が低減しており、ある程度の護岸効果を有していることがわかる。植生型水制工 ($P=0.256, 0.396, 0.514$) の全てのケースで水制工背後で流速の負値領域が見られた。流速の負値域は透過度 P が大きくなるにつれて小さくなっていることが観察される。図-5 は不透過型水制工 ($P=0$) と植生型水制工 ($P=0.256, 0.396, 0.514$) における再付着点距離 S_L を比較した。水制工背後の止水域の境界は時間平均主流速横断方向分布の最小値 $U_{min}(x)$ が負から 0 に転じる点としその点を再付着点とした。不透過型水制工 ($P=0$) のケースでは $S_L/L=13.1$ となった。これは Azinfer&Kells(2009)¹⁾の結果と一致している。植生型水制工 $P=0.256$ では $S_L/L=1.57$ となり、水制工を 60%まで切り下げると止水域の大きさは急激に減少することがわかった。また残りの植生型水制工 $P=0.396$ では $S_L/L=1.25$, $P=0.514$ では $S_L/L=0.0$ となった。透過度が大きくなるにつれて再付着点距離 S_L は小さくなる傾向がみられる。

水制工の上流側の馬蹄渦構造について考察する。図-6 は不透過水制工 ($P=0$) と植生型水制工 ($P=0.256$) のケースの時間平均鉛直流速 V の x - y 鉛直面コンターである。流速ベクトルは時間平均流速ベクトル (U, V) である。LLS の横断方向照射位置は $z/L=-0.5$ (水制工の中央ライン) である。不透過型水制工の上流側においては底面付近で鉛直流速が負 ($V<0$) となっている。 $x/L=-0.2-0.0$ で渦状のベクトル分布がみられ、馬蹄渦が発生している。瞬間ベクトル分布で確認しても渦中心位置は時間経過によってあまり変化せず、ほぼ一定であった。馬蹄渦発生領域では図には示

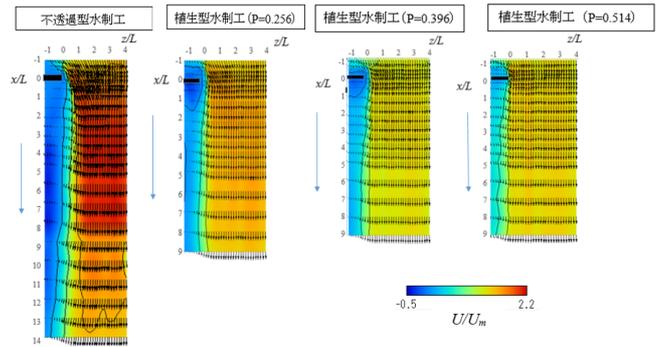


図-4 時間平均主流速 U の x - z 水平面コンター

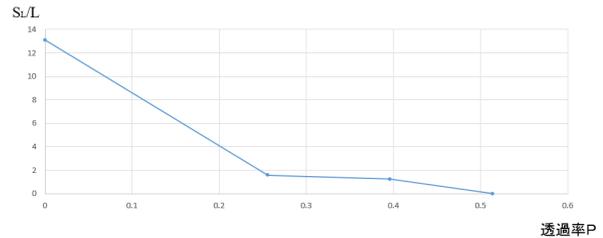


図-5 再付着点距離

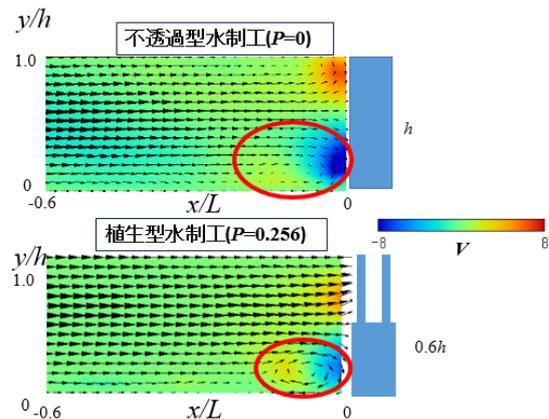


図-6 時間平均鉛直流速 V の x - y 鉛直面コンター

していないが渦度の正值コンターも大きくなっている。上流側では馬蹄渦による土砂の洗掘があると推測される。

4. おわりに

不透過型水制工と植生型水制工とともに上流側で馬蹄渦がみられた。コンクリートブロック工の高さを減少させると下降流は小さくなり、馬蹄渦の強度は小さくなる傾向がみられた。今後の課題として移動床実験を行い、河床変化に与える影響も研究していきたい。

参考文献

- 1) 1) Azinfar, H., and Kells, J. A. 2009. Flow resistance due to a single spur dike in an open channel. Journal of Hydraulic research, pp. 755-763.