

透過部を有する水制背後の流れ構造に関する研究

名古屋工業大学 学生会員 ○大柿 貴利
 名古屋工業大学 フェロー会員 富永 晃宏

1. はじめに 日本では古くから多くの河川の中に水制を建設してきた。河川の流速を弱め、流れの方向を変えることにより河岸や堤防の保護のために利用されてきた。近年は上記の目的に加え、河川景観改善や周辺の自然環境保全を目的とする「多自然川づくり」の考えが取り入れられている。水制は多様な流れを創出し、河川周辺の生態系にとって良好な環境を創造できるため注目されている。

種々の水制の中でも透過型水制は局所洗堀の抑制が見込まれ、背後の流れを減速することができるが、最適な設置方法は確立されていない。本研究では透過型水制として杭出し水制を採用し、杭出し水制の透過率や設置方法が水制背後の流れ構造に及ぼす影響について、PIV 計測により検討した。

2. 実験方法 実験水路は、長さ 7.5m、全幅 0.3m の可変勾配開水路を用いた。側面はガラス張りで、レーザーによる光の反射を防ぐために、全水路底及び設置構造物を黒く塗装した。実験は図-1 に示すように水制模型を設置した。水制の上流端は水路上流端から 386.5cm の位置に設置した。水制高さは 10.7cm とし、非越流条件下で実験を行った。実験条件は表-1 に示す。また、水制模型は表-2 に示すように水制長さが水路全幅の 4 分の 1 にあたる 75mm に設定した。杭の列が 1 列、2 列、杭の本数が 4 本、6 本、8 本、1 列目と 2 列目の間隔が 10 mm、20 mm、30 mm と変化させた。また、水制模型を用いずに行ったケース名を none とし、2 列目の杭を 1 列目の杭と杭の中央に置く千鳥配置のケース名の最後に c を付けた。また、投影透過率 T は水制を上流から見て、水制長 75 mm に対して杭のない空間の面積率とした。

PIV 計測の流れの可視化には、直径 80 ミクロン、比重 1.02 のナイロン樹脂粒子を用い、厚さ約 3mm のシート状にしたアルゴンレーザー光を開水路水平断面に照射した。レーザーシートの照射位置は、水平断面に 5mm 間隔で 8 断面($z=0.5\sim4\text{cm}$)設定した。この可視化画像は高速度カメラ(ディテクト)を用いて 1/200s で撮影した。PIV 解析ソフト FlowExpert (カトウ光研)を用いて相互相関法により画像を解析し、16 秒間で 3200 データの流速ベクトルを得て統計処理を行った。

3. 実験結果 今回の実験は 1 列の杭の本数 P 、杭の列数 $L(1, 2)$ 、1 列目と 2 列目の間隔 a 、2 列目の杭の配置方法(正面配置または千鳥配置)の 4 項目を

表-1 PIV 実験条件

$Q(L/s)$	$h(cm)$	$B(cm)$	$U_m(cm/s)$	Fr	I
3.0	4.0	30.0	25.1	0.4	1/1000

表-2 実験ケース

case	水制長 $l(mm)$	列数 $L(列)$	杭の本数 $P(本)$	投影率 $T(\%)$	列の間隔 $a(mm)$
L1P4	75	1	4	73	10
L1P6			6	60	
L1P8			8	47	
L2P4-10		2	8	73	20
L2P4-20			8		30
L2P4-30			8		10
L2P4-10c			7	53	10
L2P6-10			12	60	20
L2P6-20			12		30
L2P6-30			12		10
L2P6-10c			11	27	10
L2P8-10			16	47	20
L2P8-20			16		30
L2P8-30			16		10
L2P8-10c			15	0	10
none					

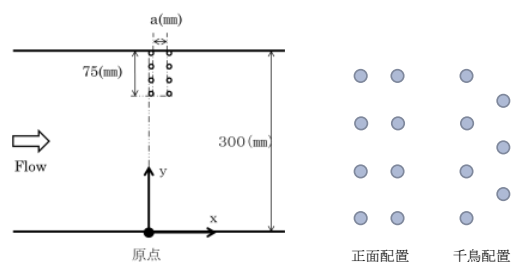
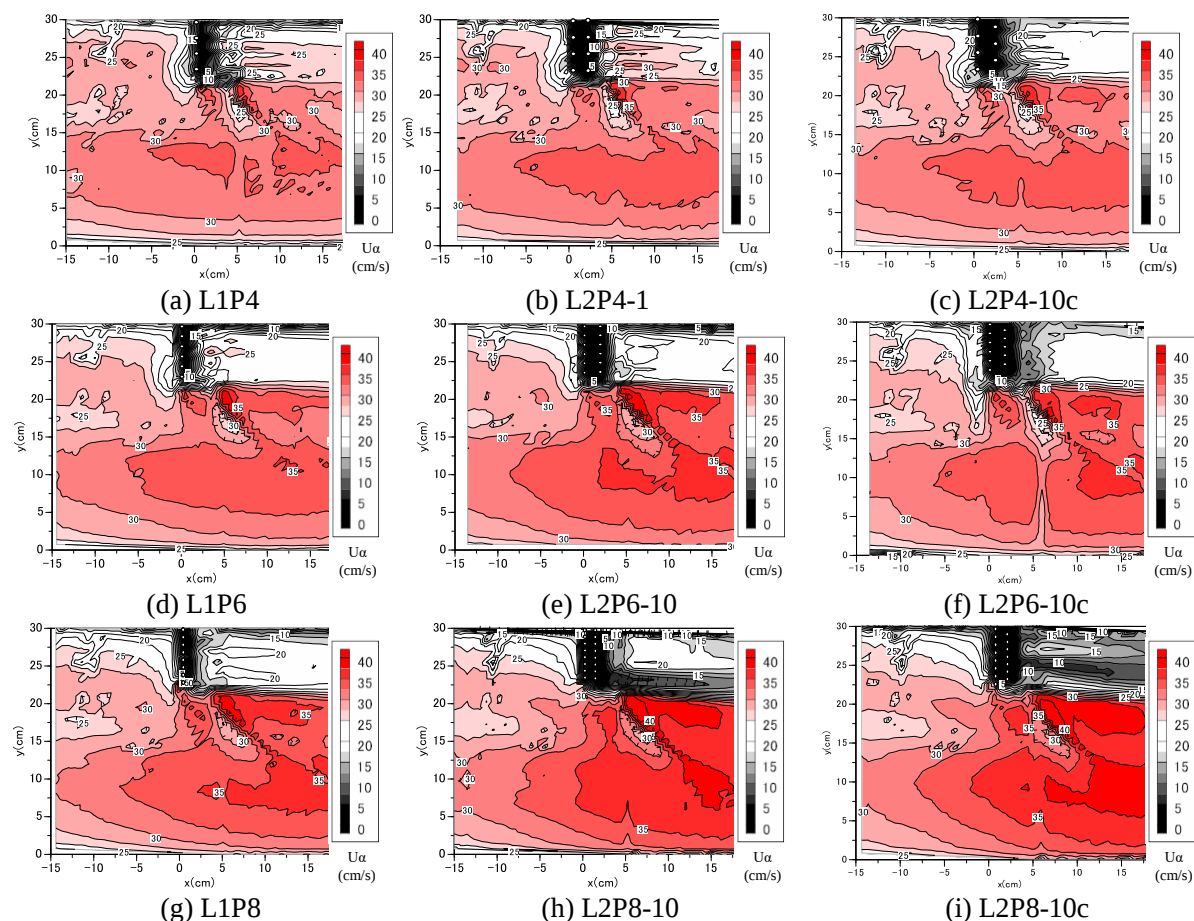


図-1 模型配置図および2列設置方法

変化させて行った。そのため、この4項目について実験結果を比較していく。図-2 に 1 列の杭の本数 P が 4 列、6 列、8 列のケースについて、それぞれ 1 列と 2 列で間隔 a が 10mm で正面配置および千鳥配置の $z=20\text{mm}$ における水平断面の合成流速コンターを示す。

(1) 杭 1 列の場合 杭出し水制では、透過流が存在するため水制背後に流下方向流れが存在する。図-2 の(a),(d),(g)を比較して、杭の本数が増加するにつれて、杭の間隔が狭くなることから透過流量が減少し、杭列背後の流速が低下する。また、水制上流側の流速は、杭の本数が増加するにつれて低下しているが、本数が 4 本、6 本の場合、水制先端付近が側壁付近より低速になっている。主流域は杭水制の設置により加速され、杭の本数の増加とともに最大流速が増加する。

(2) 杭 2 列の場合 杭 2 列で間隔が 10mm のケースである図-2 の(b),(e),(h)と 1 列のケースを比較すると、杭の列数の変化による水制背後の流れ挙動は杭の本

図-2 $z=20\text{mm}$ 水平断面の合成流速コンター

数により異なる。一般的には、杭の本数が増えれば抗力の増加により全体の抵抗が増加することから、2列の方が1列よりも水制背後の減速が大きくなるとともに、主流域の加速が大きくなる。しかし、杭が4本の場合は、水制背後の流速は2列の方が1列よりも大きくなっている。この理由については不明であり、今後詳細な検討を要する。杭が6本の場合は、水制背後の流速が低下し主流域の流速が増加する一般的特性を示す。杭が8本の場合は、水制先端付近下流の約1/3幅の領域の流速が著しく低下し、これより左岸側の水制後方50mm程度の位置から下流の領域で比較的大きな流速が現れている。この理由として、流水制透過率が小さくなったことにより、水制上流側で流線が主流方向に曲げられ、水制の先端に近づくほど主流速が減少して、右岸向きの横断方向流速が増大し、その結果、杭群の透過流速は先端に近いほど減少したのではないかと考えられる。

(3) 2列目の杭の配置方法による影響 2列目の杭の配置方法を千鳥配置にした図-2の(c),(f),(i)と正面配置したものとを比較すると、水制背後の流速がより一層低下することがわかる。これは1列目の杭群を透過した流れが2列目の杭群によって妨げられ減速されるためと考えられる。杭が8本の場合は、千鳥配置になると、正面配置で見られた水制先端付近

下流の約1/3幅の減速領域が左岸側に移動し、その両側に相対的に速度の大きい領域が現れる。これは水制2列目の杭群が左岸付近においても透過流の直進を妨げたことによると考えられるが、流れの3次元性も含めてさらに詳細な検討が必要である。

(4) 1列目と2列目の間隔 a の影響 これについては図に示していないが、実験の範囲では、間隔を広くするにつれて、水制背後の流速が低下する傾向にあった。1列目と2列目の間隔がある程度狭い場合、1列目の杭の減速域に2列目の杭が入り、2列の杭の抵抗が減少すると考えられるのに対し、間隔が一定程度広くなると、1列目の杭の減速域から回復した流れが2列目の杭で再び減速されるため、抵抗が増大すると考えられる。

4. おわりに 杭出し水制背後の流れ構造において、1列の杭の本数の増加すなわち投影透過率の減少に伴い、水制背後の流速は減少し、主流域の加速が大きくなる。杭を2列にした場合、1列の杭の本数により水制背後の流れが複雑に変化した。今回は杭群近傍のPIV解析の解像度が十分でなかったことから、さらに実験精度を向上させて、杭の配置により複雑に減速する要因を明確にするとともに、杭出し水制の設置方法の基準を提示できるように、詳細な水路実験と数値解析により流れ構造を解明していきたい。