

1. はじめに

水制とは河川を流れる水の流速や流れの方向を変えらることにより河岸や堤防を浸食から守る構造物である。現在では多自然川づくりの考えが導入され、河川周辺の生態系にとって良好な環境を創出するなど水制の設置目的は多様化している。

水制には内部が水を通ることのできない不透過水制と、通ることのできる透過水制の2種類があり、それぞれ検討が進められ、用途に合った利用をされている。不透過部分と透過部分を併せ持つハイブリッド水制は多様な流れ場を創出できると考えられ、その利用が期待される。そこで、鉛直方向に不透過部と透過部が混在する鉛直型ハイブリッド水制を対象とし、不透過部と透過部の鉛直方向の構成の違い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。多様化する目的に合ったより合理的な水制の設置についての指針を得ることを研究の目的とする。

2. 実験条件

実験水路には長さ 7.5m、幅 0.3m の長方形断面可変勾配開水路を用いた。水制模型は図-1 に示すように水路の左岸に接するように 1 つ設置した。x 軸は水制前面を基準に流下方向を正にとり、y 軸は右岸を基準にして左岸に向かって垂直にとり、z 軸は水路底面から鉛直上向きとした。水制模型の高さは 5cm であり、非越流条件下で実験を行った。実験条件は表-1 のとおりである。

水制模型は図-2 に示すように不透過部と透過部を組み合わせたものとし、大きさはすべて縦 3.5cm、横 7.5cm、高さ 5cm とした。透過部は図-2 (b) のように直径 0.5cm の円柱杭を 0.5cm 間隔で配置し杭の間を水が通るようにした。ハイブリッド水制は鉛直方向に不透過部と透過部の割合を変化させた。図-2 (c) に示すように上部を透過にした上部透過型と下部を透過にした下部透過型の 2 種類を設定した。実験ケースを表-2 に示す。

流れの可視化には直径 80 μ m、比重 1.02 のナイロン樹脂を用い厚さ約 3mm のシート状にしたグリーンレーザー光を開水路水平断面および鉛直断面に照射した。水路の側面はガラス張りであり、レーザーによる光の反射を防ぐために水路底面と水制模型は黒く塗装した。レーザーシートの照射位置は、水平断面に 5mm 間隔で $z=0.5\sim 3.5$ cm の 7 断面を、鉛直断面に 20mm 間隔で $y=16.0\sim 28.0$ cm の 7 断面を設定した。可視化画像は高速度カメラ (Ditect HAS-U1) を用いて 1/200s で撮影した。PIV 解析ソフト FlowExpert (カトウ光研) を用いて相互関係法により撮影画素数 1024 \times 1024 ピクセルの画

表-1 PIV 実験条件

流量 Q (cm/s)	下流端水深 h (cm)	平均流速 U_m (cm/s)	水路勾配 i	水路幅 B (cm)
2.1	4.0	17.4	1/1000	30

表-2 実験ケース

ケース名	水制高H(mm)	不透過部の高さ(mm)	透過部の高さ(mm)	水制長L(mm)	水制幅b(mm)
caseNP	50	50		75	35
caseAP		50			
case1-3		10	40		
case2-2		20	30		
case3-1		30	20		
case1-3R		40	10		
case2-2R		30	20		
case3-1R		20	30		

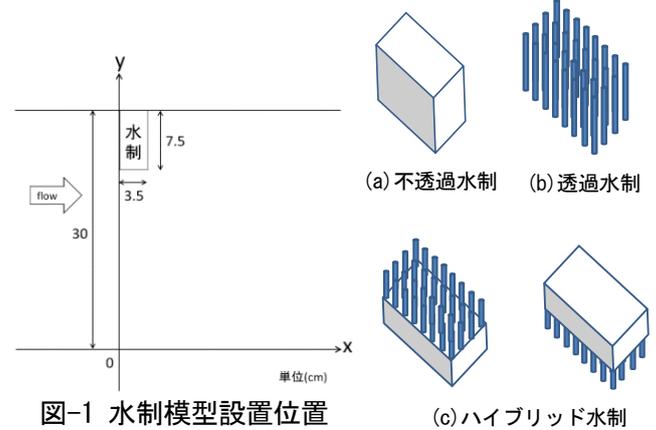


図-1 水制模型設置位置と座標軸

図-2 水制模型図

像を検査領域 24 \times 24 ピクセルで解析し、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

まず代表的な特性を見るために caseNP、caseAP の 2 ケースと透過部分と不透過部分の割合が等しい case2-2 と case2-2R、case3-1 と case1-3R の 4 ケースについて比較する。図-3 に平均主流速で無次元化した底面付近の流下方向流速のコンター・ベクトル図を示す。caseAP では、杭の間を水が抜けていき、水制の背後に逆流域は発生しなかった。杭群先端での加速は確認できるが、主流域での加速は比較的小さく、全体的に流速差は小さい。caseNP では、不透過水制によって大きく水はねされるため水制の先端部から後方にかけて広く逆流域ができ、下流に行くほど逆流の流速は大きくなる。また、遮へい効果によって主流の流速は大きく増加している。case2-2 では、下部 2cm を不透過とすることで水制先端から背後に回り込む流れが生じ、水制背後に逆流域が発生していることが確認できる。また、水制後方で広く低速域が分布している。caseNP に比べ逆流域は水制直下流に限られ、また、主流域での流速の加速は小さい。case2-2R では、下部 2cm を透過とすることで杭の間を水が抜けていき、水制後方に caseAP より高速な透過流が認められる。しかし、これ

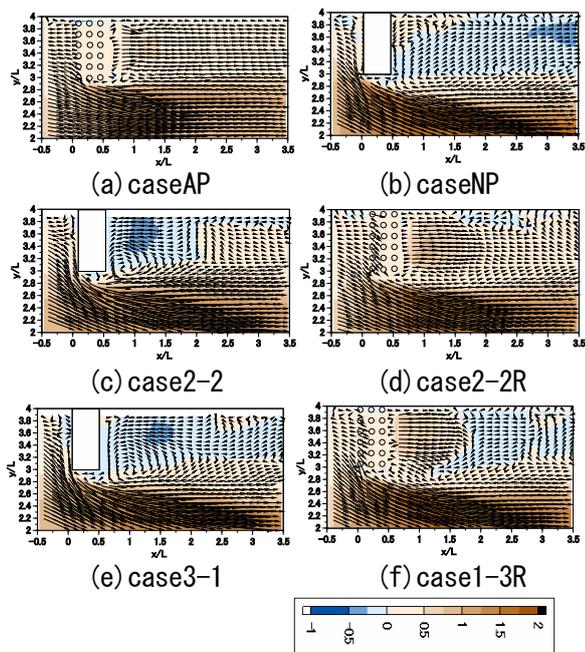


図-3 流下方向の無次元流速コンター・ベクトル図 ($z=0.5\text{cm}$)

より下流では caseAP より低い値になっている。また、水制後方の透過流が卓越し、主流域からの流れ込みは確認できなかった。case3-1 ではハイブリッド水制によって水はねされるため水制の先端部から後方にかけて広く逆流域ができる。また、水制先端から背後への流れ込みが確認でき、これにより水制直下での逆流の流速が大きくなっている。case1-3R では、下部 1cm を透過とすることで杭の間を水が抜けていき、水制後方に caseAP, case2-2R より高速な透過流が認められる。しかし、これより下流では逆流域が広がっている。また、主流域での加速は case2-2R より大きい。

次に、図-4 に水制背後域の平均流速 U_b を平均主流速 U_m で無次元化した値の縦断分布を示す。底面近傍の $z=0.5\text{cm}$ では下部が不透過である case1-3, case2-2, case3-1 では水制直下流において負の値をとり、不透過部高さが高くなるにつれて負の値が大きくなり下流側へシフトしている。下部が透過のケースの水制直下流においては case1-3R では全透過の caseAP と同程度の流速であるが、case2-2R, case3-1R では caseAP より大きな値をとる。このような水制直下流の局所的な流れは流下とともに急激に緩和され、 $x/L=3$ 以降では透過部の割合に応じた値に収束していることがわかる。水面近傍の $z=3.5\text{cm}$ でも同様のことが言えるが、下流部で不透過部と透過部の流速が逆転しており、流れ構造の違いが示唆される。そこで、図-5 に水制中央にあたる $y=26.0\text{cm}$ における鉛直断面コンター・ベクトル図を示す。下部が透過の場合、水制直下で下降流が発生し、その下流で上昇流が発生しているのが上部の流速が大きくなった要因と考えられる。case3-1R では、

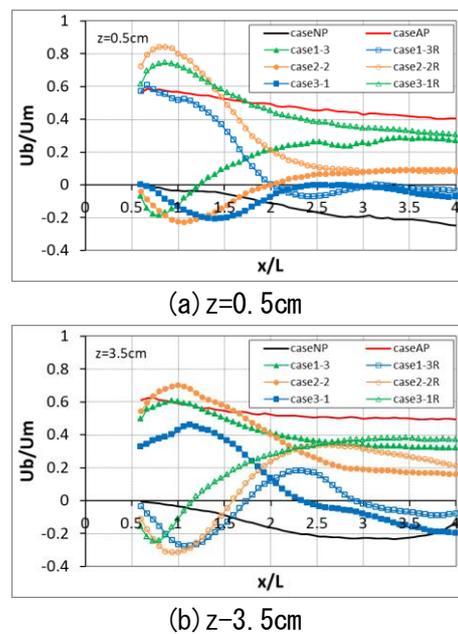


図-4 水制背後域平均主流速の縦断分布

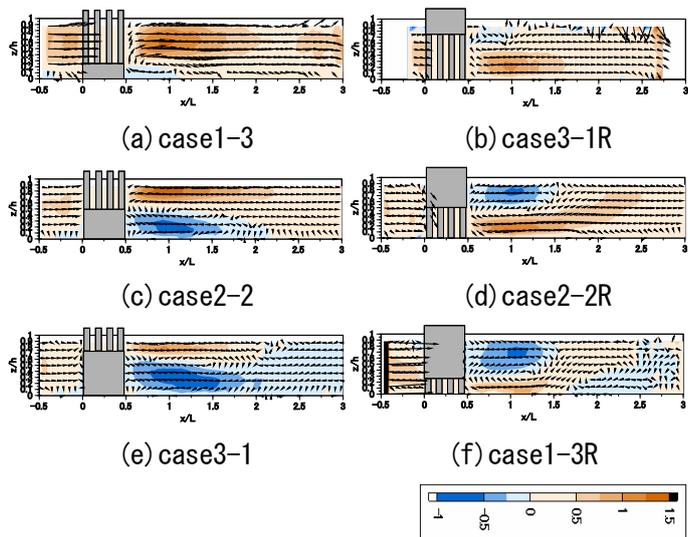


図-5 鉛直断面コンター・ベクトル図 ($y=26.0\text{cm}$)

case2-2R, case1-3R に比べその傾向は弱い。

4. おわりに

ハイブリッド水制を用いた場合、底面付近において、不透過型よりも主流の流速の増加を抑えることができる。また、上部透過型では逆流域を、下部透過型では低速域を水制後方に確保できることがわかった。また、底面付近および水面付近においては、ハイブリッド水制による流れ場への影響は水制長の 3 倍程度下流まで現れ、それ以降は透過部の割合によってある程度の流速に収まることがわかった。

また、水平方向だけではなく、鉛直方向の流れによる影響もあり、複雑な流れ構造になっていることがわかった。今後は河岸の保護や生態系にとって良好な環境の創出等、多様な目的に合ったハイブリッド水制の設置の指標づくりを行っていきたい。