

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更し、河岸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、自然環境の保全など水制の設置目的は多様化している。

水制には内部が水が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、それぞれの用途に合った利用をされている。そこで、利用目的に合わせ不透過部分と透過部分の特徴を併せ持つハイブリッド水制の利用が期待される。本研究では、ハイブリッド水制の模型を用いたPIV計測と数値計算を行い、多様化する目的にあ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

実験は図-1に示す水制模型をそれぞれ1つずつ用いて7ケース行った。水制模型の大きさはすべて縦3.5cm、横7.5cm、高さ5cmである。不透過水制は直方体で水を通さないように(図-1(a))、透過水制は直径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(図-1(b))した。図-1(c)のハイブリッド水制は不透過部分を縦横3.5cmの直方体で、透過部分を透過水制と同様に作成し、その間を0.5cm設けた。ハイブリッド水制は図-1(d)のように透過部分の杭を千鳥配置にしたものと、図-1(e)～図-1(g)のように図-1(c)と図-1(d)の透過部分の杭の間を塞いだものも作成した。

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る。水制模型は水路の左岸側に図-1中で上側の部分が左岸に接するように図-2のように設置した。z軸は水路底面から鉛直上向きに定める。水制模型の高さは5cmであり、非越流条件下で実験を行う。実験条件は表-1のとおりを設定した。

流れの可視化には直径80μm、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に照射した。レーザーシートの照射位置は、水平断面に0.5cm間隔でz=0.5~3.5cm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)を用いて相互相関法により撮影画素数1024×1024ピクセルの画像を検査領域24×24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

図-3にcase1～3のx=15(cm)における水深平均の主流速Uの横断分布を示す。case1では水制によって大きく水はねされるため主流の加速は大きく、水制後方に

表-1 実験条件

流量 Q (L/s)	下流端水深 h (cm)	水路幅 B (cm)	平均流速 U_m (cm/s)	Froude数 Fr	水路勾配 I
2.1	4.0	30	17.4	0.28	1/1000

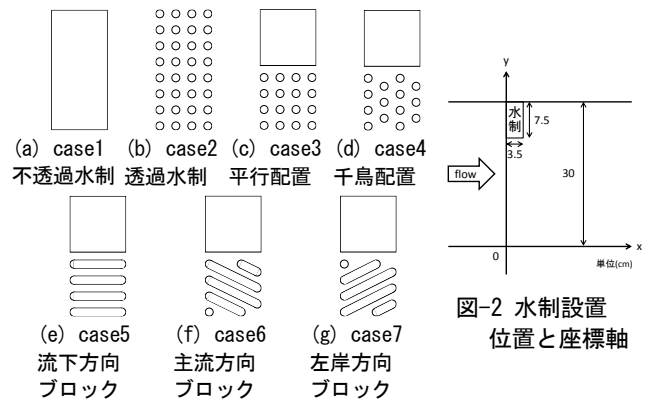


図-1 水制模型 (平面図)

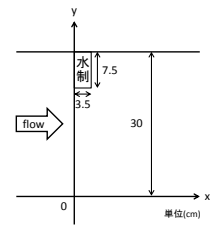


図-2 水制設置位置と座標軸

は逆流域が形成される。case2では水制後方で流速は減少するが、水制を通過する透過流が存在するために水制後方に逆流域が形成されない。また、主流の加速も小さくなる。ハイブリッド水制のcase3では不透過部分での流速が緩和され、側岸の逆流域が縮小するとともに透過部分に向かって滑らかに加速している。透過部分後方の流速はcase2の水制後方よりも大きくなり、不透過部分の存在によって透過部分を通過する流速が大きくなったと考えられる。したがってハイブリッドにしたことで、主流域の加速を抑えながら、水制後方に適度に減速域を形成できることがわかる。

図-4にcase3～7の透過部分y=24(cm)における水深平均の主流速Uの縦断分布を示す。杭の配置を変更したcase3とcase4を比較すると、水制前方での流速は概ね一致しているが、後方ではcase3が常にcase4の値を上回っている。x=10(cm)以降は両ケースともに流速が単調減少している。しかし、それ以前に関しては、case3では水制直後から緩やかに流速が増加するのに対し、case4では水制直後から流速が一度減少した後にx=10(cm)にかけて増加するという違いが見られ、千鳥配置の場合、下流の減速が大きくなる。case3と連続壁としたcase5を比較すると分布の傾向は似ているが、大部分でcase5がcase3よりも大きな流速となった。case5では透過部分を流下方向にしか通過できないが、case3では横断方向にも流れることができるためこのような差ができたと考えられる。case4と連続壁としたcase6を比較すると水制後方において流速はcase6のほうが小さくなった。これは連続壁としたほうがより流

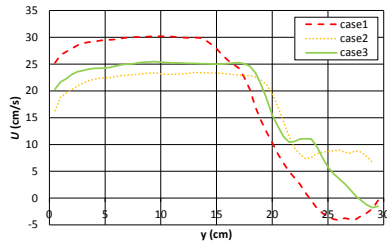


図-3 x=15 (cm)における主流速 U の横断分布 (case1~3)

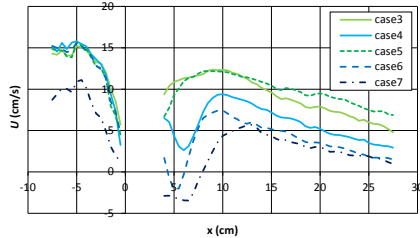


図-4 y=24 (cm)における主流速 U の縦断分布 (case3~7)

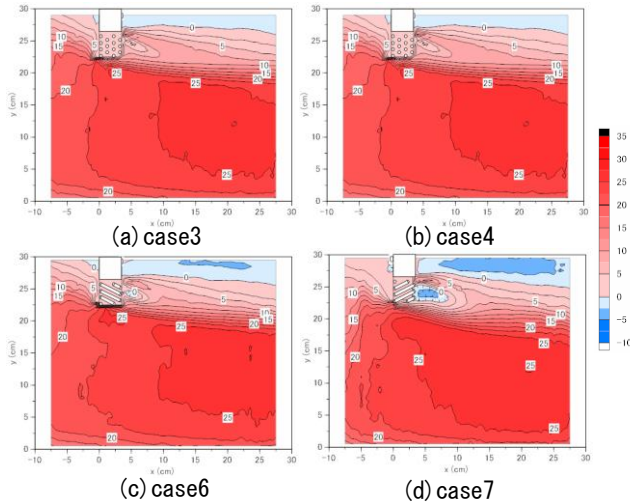


図-5 主流速 U コンター

向変化の効果が大きくなったためと考えられる. case7ではこれらと逆向きの流向を与えることになり, この2つのケースよりも低い値となった. case6とcase7では水制近傍に case4 では見られなかった逆流域が形成され, その大きさは case7 のほうが大きい.

図-5 に主流速 U コンターを示す. case3 では透過部分の最も主流側の杭の後方で流速が大きく減少する. 一方, case4 ではこの場所ではなく水制の中心付近で減少し, その減少量は小さい. case4 は case3 よりも透過部分後方で不透過部分後方に向かって緩やかに流速が減少している. 縦断分布から見て取れた透過部分後方の逆流域は case6 では透過部分中央付近にわずかに形成されるだけだが, case7 では主流側に大きく形成されている. また, case7 では不透過部分後方の流速が他と比較すると大きくなっており, 下流に向かうにつれて逆流域の幅が大きくなっている.

図-6 に各ケースの水制下流側 ($5 \leq x \leq 20$) における $0 < y < 22.5$, $22.5 \leq y \leq 26$, $26.5 \leq y < 30$ での主流速 U の平均 U_0 を平均流速 U_m で無次元化した値 U_0 / U_m を示す. 主流域の $0 < y < 22.5$ では case3 と case5 および case4, case6

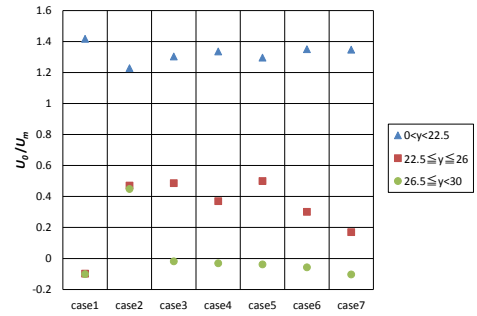


図-6 水制下流側における主流速 U の無次元化

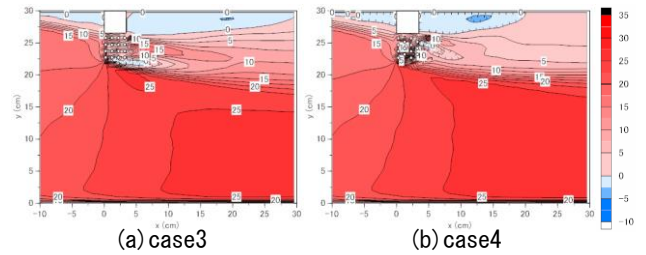


図-7 数値計算による主流速 U コンター

と case7 では同程度となっており, いずれも case1 より小さく, case2 より大きくなっている. このことからどのような形状でも主流側に透過部分を設けることで不透過水制よりも主流の加速を抑えられることがわかる. ハイブリッド水制の不透過部分に相当する $26.5 \leq y < 30$ では case3~6 の間あまり大きな差は見られないが, case7 では case1 に近い値となった. 透過部分に相当する $22.5 \leq y \leq 26$ に関しては千鳥配置および斜め連続壁の case4 と case6 は case2 を下回り, case7 はさらに減少した.

4. 数値計算

実験と同じ水理条件に設定し, ここでは個々の円柱杭を格子で遮蔽領域として与え粘性底層領域まで再現できる水深平均の低 Reynolds 数型 k- ϵ モデルの Launder-Sharma モデルを採用した数値計算を行った. 水制付近は x 軸, y 軸方向ともに 0.02cm 刻みで水制から離れるにつれて徐々に粗くなるメッシュを用いた. なお, 円の形に近くなるように複数の長方形を配置し円柱杭を正方形メッシュで表現した.

図-7 に case3 と case4 の数値計算によって得られた主流速 U のコンターを示す. 数値計算によって平行配置と千鳥配置の流れの違いはよく再現されている. しかし, 不透過部分後方で形成される逆流域の大きさは, case3, case4 とともに数値計算のほうが実験よりも小さくなっており, 剥離域の長さに違いが見られた.

5. おわりに

ハイブリッド水制を用いることで, 不透過水制のみや透過水制のみでは作り出すことのできない主流域からならぬ減速域を創出できることがわかった. また, ハイブリッド水制の透過部分の形状を変更することで特に透過部分の後方の流れを変えることができ, 土砂堆積の制御に役立てることが期待できる.