

わんど開口部の杭群が水交換と土砂堆積に及ぼす影響

指導教員 富永晃宏 教授

19117013 浦山泰樹

1. はじめに

近年、自然環境や生態系を配慮した多自然川づくりを基本とする河川管理が行われている。その一環で、生物多様性をもたらす要素として「わんど」の整備が行われている。わんどの水理的課題に水質悪化や土砂堆積が挙げられ、従来の研究により、わんど開口部の杭群が水交換の面から優れているわりには土砂堆積抑制に効果があることが示唆された。本研究では、杭の配置の仕方がどのような効果を与えるのかを評価するために、わんど開口部に杭をさまざまに配置し、水交換と土砂堆積について検討した。

2. 実験方法

流速計測と濁度計測と土砂堆積の3種類の実験を行った。実験水路は長さ6m、幅30cm、勾配1/1177の亚克力製長方形断面水路を用いた。高水敷として水路右岸に幅15cm、高さ4.2cmの塩ビ板を設置し、上流から4mの位置に開口部長さ24cm、奥行15cmの解放区を設け、わんど域とした。本実験では、土砂堆積が発生すると考えられる中規模出水時を想定している。杭には、直径 $D=0.3\text{cm}$ 、高さ5cmの亚克力円柱を用いた。なお、実験条件を表-1、実験ケースと例としてcase6の配置図をそれぞれ表-2、図-1に示す。

流速計測実験では、I型2成分電磁流速計による流速計測を $z=1.5\text{cm}$ の1断面について行った。わんど域内の流速計測を行っているが、流速計測点に杭がある場合は計測を行っていない。

濁度計測実験では、わんどと主流域の境界上を遮蔽してわんど域内を染料（ウォータブルー）により着色し、濃度が均一になった状態で遮蔽物を取り除き、主流域とわんど域との拡散を開始する。染料が十分なくなるまでビデオ撮影し、動画から切り出した静止画像のRGB値を取得するプログラムにより画像解析を行い、濁度経時変化と滞留時間を得た。

土砂堆積実験では、平均粒径 0.13mm の珪砂を用い、貯水槽に250lの水と6kgの砂を入れ攪拌した状態でポンプにより2時間循環させた。全ケースの堆積形状を写真およびレーザー変位計により計測し、わんど内の流砂堆積量を測定した。

3. 実験結果と考察

case2~7の流速ベクトルを図-2に示す。杭の無いcase1と比べるとどのケースも杭によりわんど内に入り込む流れが抑制された。これは、後に示すわんど内平均合成流速からもわかる。わんど全域に反時計回りの渦が形成され、渦の中心とわんどの上流側奥部が淀んでいる。主な流れとしては、主流域からわんど域内へ

表-1 実験条件

流量 $Q(\text{l/s})$	水深 $h(\text{cm})$	平均流速 $U_m(\text{cm/s})$	フルード数 Fr	レイノルズ数 Re
1.38	3.0	30.73	0.57	8755

表-2 実験ケース

case	杭(本)	配置	a	b	c	d	e	杭密度 $\lambda(1/\text{cm})$
1	0	なし	—	—	—	—	—	—
2	39	全面格子	4.1	1.6	1.6	0.45	—	0.083
3	39	全面格子	1.9	0.5	1.6	0.45	—	0.197
4	27	格子(下流1/3空き)	1.9	0.5	1.6	0.45(上流)	8.05(下流)	0.197
5	27	格子(上流1/3空き)	1.9	0.5	1.6	0.45(下流)	8.05(上流)	0.197
6	19	全面千鳥	1.9	0.5	3.5	0.45	2.35	0.099
7	37	全面千鳥	1.9	0.5	1.6	0.45	1.40	0.197

※ d:杭と壁の距離(狭), e:杭と壁の距離(広) 単位(cm) $\lambda=D/(b+D)(c+D)$

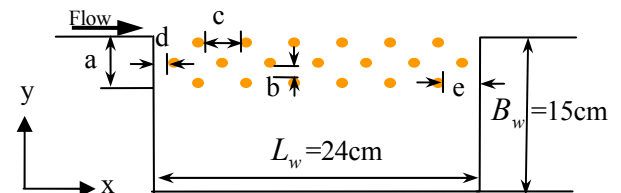


図-1 杭配置のモデル図(case6)

わんど下流側から流入し、壁面に沿って流れが生じており、わんど上流側から流出している。

case2, 3を比較するとcase2よりcase3の方がわんど内流速が遅く、杭の配置間隔が狭い方が静穏域を確保することができると考えられる。これはcase6, 7を比較したときにも同様のことがいえる。

case3, 4, 5を比較すると杭の配置に1/3程度空きを設けることで、わんど内流速が速くなることがわかる。空きを設ける位置によって、わんど内流速に違いが見られ、流れ構造が変化したことが明らかとなった。

わんど内水交換について、滞留時間 τ を以下のように定義する。濁度経時変化の片対数グラフに指数近似を適用し、これにより得られた傾きの逆数が τ である。

$$\ln(C/C_0) = -t/\tau + A \quad (1)$$

(C :濃度 C_0 :最大濃度 t :経過時間 A :定数)
さらに、濃度交換係数 K を以下のように定義する。

$$K = B_w / (U_m \tau) \quad (2)$$

(B_w :わんど奥行 U_m :断面平均流速)

濃度交換係数の値が大きいほど濁度変化は速くなるため、水交換が活発であることを示す値となる。また、わんど内平均合成流速 V_a は以下の式から求めることができる。

$$V_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{u^2 + v^2} \quad (3)$$

(u :平均主流速 v :平均横断流速 n :計測点数)
濃度交換係数とわんど内平均合成流速の関係を図-3

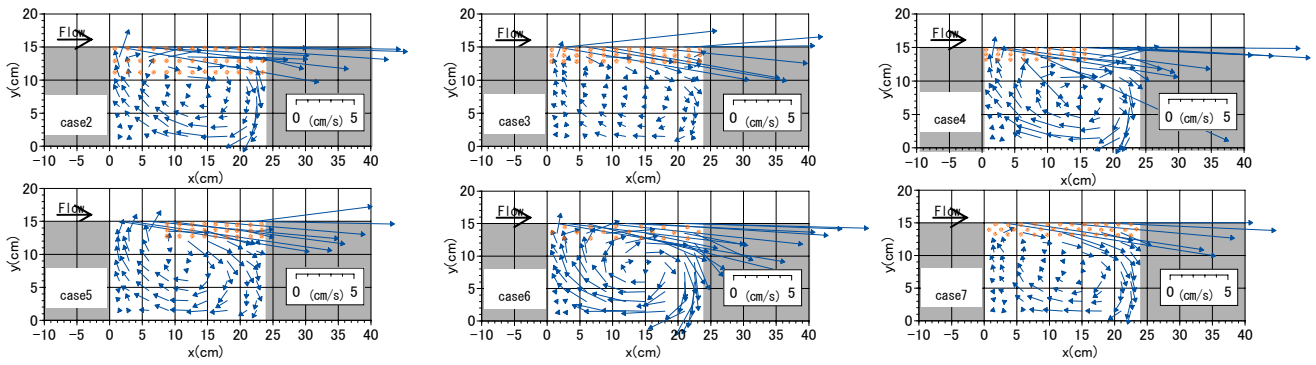


図-2 流速ベクトル

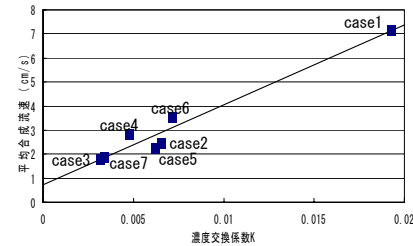


図-3 平均合成流速と濃度交換係数

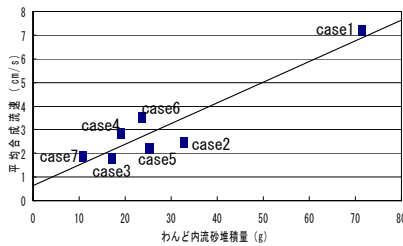


図-4 平均合成流速と流砂堆積量

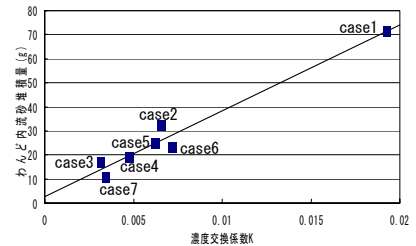


図-5 流砂堆積量と濃度交換係数

に示す。これより、平均合成流速が速い方が濃度交換係数が大きい傾向があるといえる。これらを回帰分析した結果、決定係数は 0.957 となりかなり強い相関関係があることがわかった。しかし、case4 を見てみると平均合成流速が 3 番目に速いが、濃度交換係数は 5 番目に大きいという結果になった。これは、上流側に杭があることで case5 と比べてやや流出が弱められ、水交換が悪くなったためだと考えられる。case4 と比べて case5 の流入は弱い、わんど奥部での流速はさほど弱められなかった。これは、わんど下流側からだけでなく上流側からもわんど内に入り込む流れがあるからである。平均合成流速が速ければ濃度交換係数が必ずしも大きくなるわけではなく、わんどと主流の境界における流れ構造によって濃度交換係数が変化すると考えられる。すなわち、わんど内の循環流は主流の流入と境界せん断によって形成されることからわんど内流速が水交換の指標となるが、境界部の形態が水交換に影響を及ぼすことを示していると考えられる。

土砂堆積について、流砂堆積量とわんど内平均合成流速の関係を図-4 に示す。杭により土砂堆積が大きく抑制されていることがわかる。この 2 つの関係性を見るために回帰分析を行ったところ、決定係数が 0.877 となり強い相関関係があることがわかった。したがって、平均合成流速が大きいほど堆積量が多くなる傾向があるといえる。しかし、case2 や case5 は平均合成流速が case4 や case6 よりも小さいにもかかわらず、堆積量が多くなっている。case3 についても case7 よりやや平均合成流速が小さいだけであるが、堆積量はかなり

多くなっている。これより、濃度交換係数と平均合成流速の関係と同様に、平均合成流速が大きければ堆積量が多くなるというわけではなく、わんどと主流の境界における流れ構造によって土砂輸送が変化すると考えられる。

水交換と土砂堆積の関係性を見るために、濃度交換係数とわんど内流砂堆積量の関係を図-5 に示す。これらを回帰分析した結果、決定係数は 0.961 となりかなり強い相関関係があることがわかった。これより、濃度交換係数またはわんど内流砂堆積量のどちらか一方がわかれば、もう一方を推測できると考えられる。また、回帰直線よりも下に分布するほど土砂堆積抑制効果があり、水交換も良い杭の配置であると相対的にいえる。しかし、濃度交換係数が小さすぎると水交換が良くない。したがって、case6 が土砂堆積と水交換の両面において最も優れた配置であると考えられる。

4. おわりに

今回の実験結果より、土砂堆積において、杭密度が高いと土砂堆積の抑制は大きくなるが、杭密度が低くても土砂堆積を十分抑制できたと考えられる。水交換において、杭密度が高いと水交換は悪くなるが、低ければ水交換はそれほど悪くないと考えられる。また、杭の配置に空きを設けることで、水交換が良くなるわりには土砂堆積量はそれほど増加しないことがわかった。

今後は、空きを設ける位置や長さなどを変化させ、水交換と土砂堆積にどのような影響を及ぼすか検討していきたい。