

開口部の杭群がわんど内の水交換に及ぼす影響

名古屋工業大学 学生会員 浦山泰樹 名古屋工業大学大学院 フェロー会員 富永晃宏

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、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、開口部に杭をさまざまに配置し、水交換について検討した。

2. 実験方法 流速計測実験と濁度計測実験の2種類の実験を行った。実験水路は長さ 6m、幅 30cm、勾配 1/1177 のアクリル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、奥行き 15cm の解放区を設け、アスペクト比 1.6 のわんど域とした。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。開口部の杭には、直径 0.3cm、高さ 5cm のアクリル円柱を用いた。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、電磁流速計による流速計測を行った。z=1.5cm の 1 断面についてサンプリング周波数 100Hz で、サンプリング数 4096 個のデータを処理して流速を算出した。流速計測点は、わんど域内を x=1.5cm、22.5cm と x=3~21cm を 3cm 間隔、y=1.5~15cm を 1.5cm 間隔で計測した。ただし、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、静止画像から RGB 値を取得するプログラムによる画像解析を行い、濁度経時変化と滞留時間を得た。

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 case も杭によりわんど内に入り込む流れが抑制された。これ

表-1 実験条件

流量 $Q(l/s)$	水深 $h(cm)$	平均流速 $U_m(cm/s)$	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	杭の本数	配置	a	b	c	d	e
1	0	なし	—	—	—	—	—
2	39	全面格子	4.1	1.6	1.6	0.45	—
3	39	全面格子	1.9	0.5	1.6	0.45	—
4	27	格子(下流 1/3 空き)	1.9	0.5	1.6	0.45(上流)	8.05(下流)
5	27	格子(上流 1/3 空き)	1.9	0.5	1.6	0.45(下流)	8.05(上流)
6	19	全面千鳥	1.9	0.5	3.5	0.45	2.35
7	37	全面千鳥	1.9	0.5	1.6	0.45	1.40

※ d:杭と壁の距離(狭), e:杭と壁の距離(広) 単位(cm)

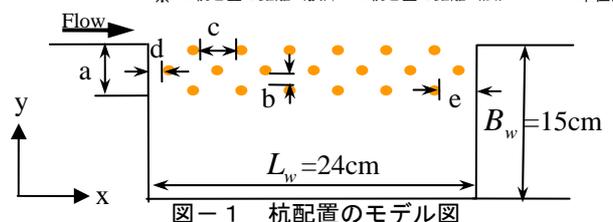


図-1 杭配置のモデル図

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、渦の中心とわんど上流側奥部が淀んでいることをビデオ画像からも確認することができた。ここで例として case6 の 85s 後の画像を図-3 に示す。本実験では杭の配置の違いによって、渦の中心位置が大きく変わることはなかった。主な流れとしては下流側から流入し、壁面に沿って流れが生じており、上流側から流出している。

case2, 3 を比較すると 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。これは case6, 7 を比較したときにも同様のことがいえる。しかし、水交換や土砂堆積を考慮すると、静穏域を確保するために杭の配置間隔を狭くすることが良いとは一概にいえない。

case3, 4, 5 を比較すると開口部に 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。

わんど内水交換について、平均濃度経時変化のグラフを図-4 に示す。まず、杭の有無が水交換に大きく影響していることがわかる。さらに、開口部を

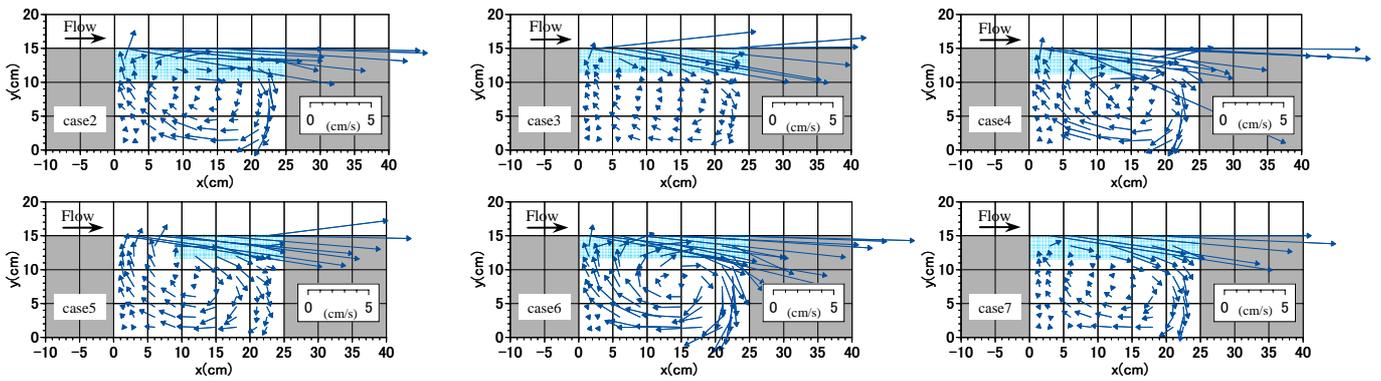


図-2 わんど内流速ベクトル

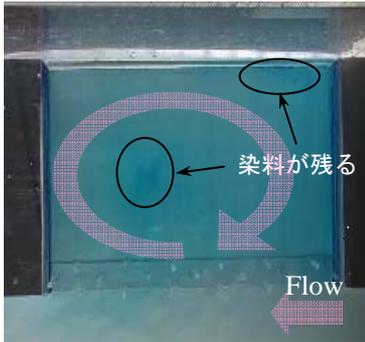


図-3 濁度変化画像 (case6 85s)

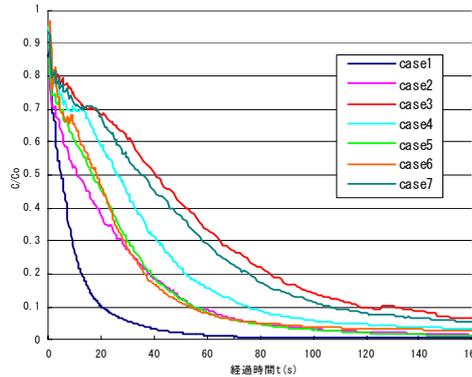


図-4 濁度経時変化

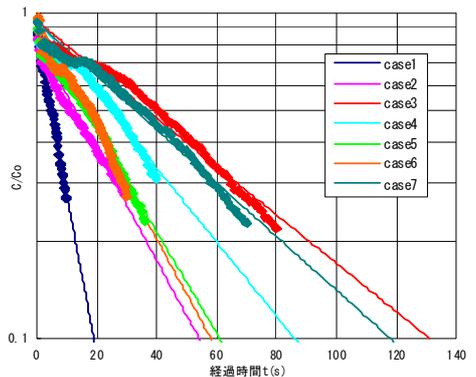


図-5 片対数グラフによる濁度経時変化

設けることで水交換が速くなり、杭の配置間隔を狭くするほど水交換が遅くなることわかる。

ここで、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が図-5であり、これに指数近似を適用する。これにより得られた傾きの逆数が τ である。滞留時間が短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。

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

(C:濃度 C_0 :最大濃度 t:経過時間 A:定数)

これから濃度交換係数 $K (= B_w / (U_m \tau))$ を定義し、図-6に示す。また、わんど内平均合成流速

$$V_a (= \sum_{i=1}^n \sqrt{U^2 + V^2} / n)$$

を図-7に示す。これより、平均合成流速が速い方が濃度交換係数も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、わんど奥部の流速はさほど弱められなかった。これは、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

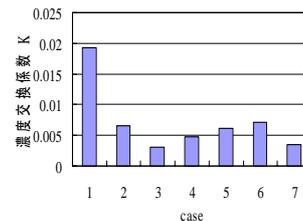


図-6 濃度交換係数

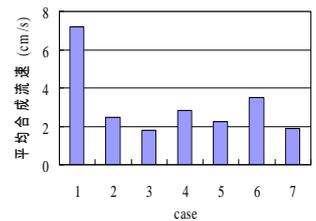


図-7 平均合成流速

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。

4. おわりに 杭の配置の仕方がわんど内の流れに変化を及ぼし、水交換に大きく影響していることがわかった。今後は、杭の配置の仕方が土砂堆積抑制にどのような効果を与えるのかを検討する必要がある。そして、水交換や静穏域と土砂堆積の観点から杭の効果的な配置の仕方について評価したい。

参考文献

富永晃宏, 堀部扶美, 榊卓也, わんどの開口部遮蔽による土砂堆積抑制効果, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.129-130, 2010