

わんど開口部長さが水交換速度に与える影響に関する数値的検討

名古屋工業大学

○高田晋良

名古屋工業大学大学院 学生員 久田陽史

名古屋工業大学大学院 学生員 田本典秀

名古屋工業大学 正会員 富永晃宏

1. はじめに

わんどは、多様な生態系を保全する水域の一つである。わんどがその生態学的役割を維持するために解決しなければならない様々な水理的課題の一つとして、平水時における水質悪化の防止が挙げられる。一般的にわんどはその一部が本川とつながっており、また下流側に開口部があるケースが多い。このようなわんどにおいて平水時に、本流とわんど内で適切な水交換が行われているかを検討することは重要である。本研究では、わんど開口部長さが水交換に与える影響を数値的に検討した。

2. 数値解析の方法

本研究で用いた水深平均の連続式および開水路浅水方程式は以下のとおりである。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Uh}{\partial x} + \frac{\partial Vh}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial UU}{\partial x} + \frac{\partial UV}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial UV}{\partial x} + \frac{\partial VV}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} \quad (3)$$

ここに h は水深, U, V はそれぞれ主流, 横断方向水深平均流速, H は水位である。 τ_{bx}, τ_{by} はそれぞれ, 主流, 横断方向の底面せん断応力であり, マニングの粗度係数を用いて次式で表わされる。

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho} = \frac{gn^2}{3h} U \sqrt{U^2 + V^2}, \frac{\tau_{by}}{\rho} = \frac{gn^2}{3h} V \sqrt{U^2 + V^2} \quad (4)$$

$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ は水深平均レイノルズ応力であり, 渦動粘性係数 ν_t を用いて次式で表される。

$$\frac{\tau_{xx}}{\rho} = 2\nu_t \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right) - \frac{2}{3}\kappa \quad \frac{\tau_{xy}}{\rho} = \nu_t \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \quad \frac{\tau_{yy}}{\rho} = 2\nu_t \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right) - \frac{2}{3}\kappa \quad (5)$$

$$\nu_t = C_\mu \frac{\kappa^2}{\varepsilon} \quad (6)$$

C_μ はモデル定数, κ は乱れエネルギー, ε は乱れエネルギーの逸散率であり, 運動量と同様の輸送方程式で与えられるが, ここでは省略する。また同じ条件において, わんど域内に一定濃度を与え, その濃度変化について以下の二次元の拡散方程式を数値解析した。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (Uc) + \frac{\partial}{\partial y} (Vc) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_t} \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_t} \frac{\partial c}{\partial y} \right) \quad (7)$$

ここで σ_t は乱流シュミット数であり, 運動量の拡散係数と, 質量の拡散係数の比を表す値である。本研究では 0.25

表-1 数値解析条件表

Q(cm ³ /s)	h(cm)	Fr	Re	Um(cm/s)
2×10 ³	2	0.4	10000	25

wb	w3	w6	w9	w12

図-1 数値解析ケース図

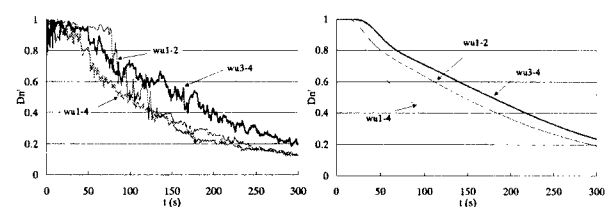


図-2 濁度経時変化の比較 (左: 実験, 右: 数値計算)

とした。運動方程式の離散化には有限体積法を用い, ハイブリッド法を採用し, 時間項には完全陰解法を用いている。計算格子にはスタカード格子を用い, 計算格子間隔は実験値の比較においては数値計算ではわんど開口部で最小値の 5mm, わんど内部はほぼ 10mm の等間隔であり, 表-2 に示すケースではわんど内部においてほぼ 3mm の等間隔としている。数値解析条件を表-1 に, 開口部長さの変化に関する数値解析ケースを図-1 に示す。

3. 計算結果と実験との比較

数値計算との比較に用いた実験のわんど形状はわんどの開口部長と奥行き幅の比 (アスペクト比) が 1.5:1 のものであり, 流量は 4l/s で実験を行った。開口部を杭粗度により 3cm 間隔で上流端から開口部長の 1/4, 1/2, 3/4 の範囲に設置したケースをそれぞれ wu-1/4, wu-1/2, wu-3/4 としている。わんどの水交換を捉える目的で, わんど域内をいったん遮蔽してから染液で染色し, 濁度計による染液の濃度変化の計測を行った。なお計測点は図-1 に示した①のポイントにあたる。図-2 に①での濁度経時変化の実験値と定常計算との比較を示す。ここで実験値の D_n' は清水時の濁度の計測値 D_0 と得られた時系列データ D_n , さらに各計測点の時系列データ D_n 中の最大値 D_{max} により以下の式から求めている。

$$D_n' = \frac{D_n - D_0}{D_{max} - D_0} \quad (8)$$

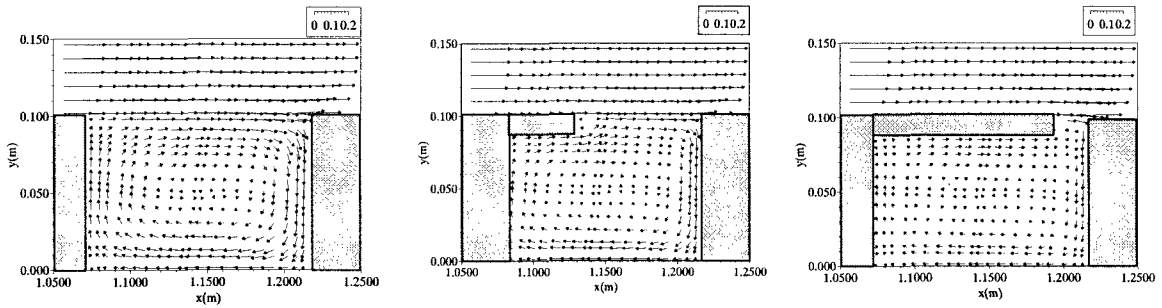


図-3 時間平均流速ベクトル (左:wb, 中:w6, 右:w12)

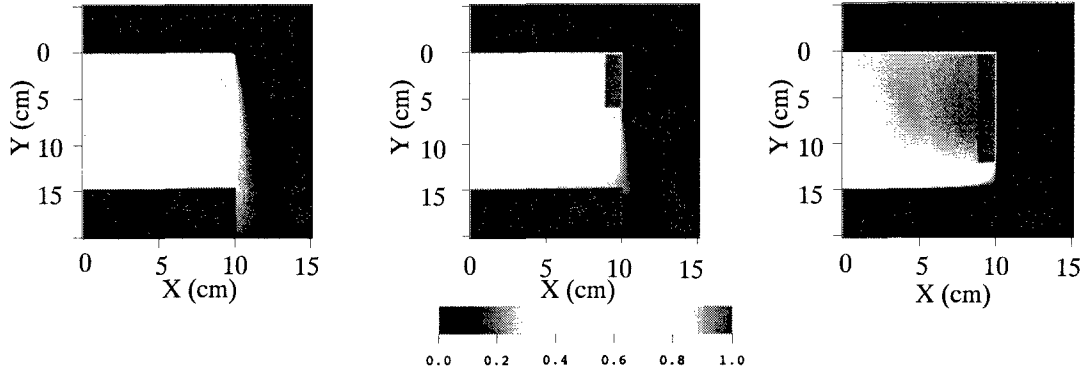


図-4 濁度コンター (左:wb, 中:w6, 右:w12)

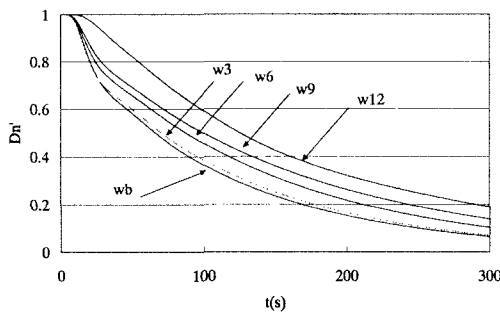


図-5 濁度の経時変化

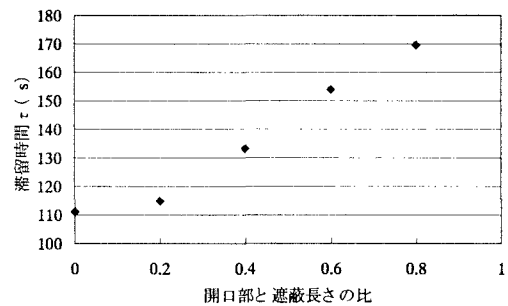


図-6 滞留時間と開口部と遮蔽長さ比との関係

数値計算の D_n は初期濃度を 1 としている。図より杭の設置長さが大きくなるにつれ濃度の減少が遅れることがわかる。数値計算結果においても同様の傾向がみられることより、わんど内に生じる平均的な渦によりおおまかな濁度変化を再現できると考えられる。これより数値解析による検討を行うことにする。

4. 数値解析結果と考察

図-3 に wb, w6, w12 の平均流速ベクトル図を示す。遮蔽の長さの影響によりわんど内に流入する流れが弱まり、わんど内に形成される循環渦は小さくなることわかる。次に、わんど内の拡散の様子を見るために図-4 に $t=45s$ 後にあたる wb, w6, w12 の濁度コンター図を示す。わんど全体の変化を見ると、わんど開口部に配置した遮蔽の影響により、遮蔽の背後においてわんど内の拡散が遅くなることが分かる。図-5 に図-1 の①における濁度の経時変化を示す。図より、どのケースにおいてもポイントがわんど奥部にあたるため、初期遅れがあるが、時間変化に従い、指数関数的に減少している。w3 のケースでは

wb と大きな変化はみられないが、w6, w9, w12 のケースについては開口部長さが小さくなるにつれ濃度の減少速度が遅いことが分かる。図-5 において D_n' を対数表示したときの直線を、次式のように近似する。

$$D_n' = \exp(-t/\tau) \quad (9)$$

ここで τ を滞留時間と定義する。滞留時間とわんど開口部長と遮蔽長さの比との関係を求めたものを図-6 に示す。滞留時間と開口部と遮蔽長さ比の関係に比例関係がみられることがわかる。

5. おわりに わんど開口部長さが平水時における水交換に与える影響を数値解により検討した。数値計算によりわんどの開口部長さがわんどの水交換に与える影響が大きかった。今後は流量の変化による違いや開口部上流をあけたケースについても検討していきたい。

参考文献 1) わんどの水交換機構に関する数値的検討, 土木学会第 57 回年次講演会概要集, 第 II 部, 2002