名古屋工業大学大学院 学生員 久田 陽史 名古屋工業大学 正会員

愛知県

正会員 谷川 幸男

冨永 晃宏

1.はじめに 河川の生態系に良好な環境を提供する場 としてわんどが注目されているが,その機能を維持し ていくためには水質が良好に保たれることが必要とな る.水質維持にはわんど内と主流域との水交換が必要 であり,わんど内に生じる循環渦とわんど域と主流域 の境界上に生じるせん断不安定に起因する渦がこの水 交換に大きく影響する¹⁾.本研究では,わんど内の水交 換機構について,わんどの開口部に杭粗度を配置させ た場合も併せて、従来のハイブリッド法を用いた定常 計算と比較的粗い格子でも組織渦を再現可能と考えら れる中心差分による非定常計算を行い,実験値との比 較検討を行った.

2.実験装置及び実験方法 室内実験については,長 さ13m,幅59.3cmの長方形断面水路の右岸側壁に遮蔽 物を設け一区間を開放することでわんどとした.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 のものを用いた. 杭粗度模型として直径 5mm, 長さ 15cmの木棒を用いて開口部上に 9cm 間隔で 4本配置し た 水路勾配は 1/2000 である 座標軸は X を流下方向, Y を横断方向とし,水路右岸壁面のわんど上流端を原 点としている.わんど入口をいったん遮蔽し,過マン ガン酸カリウムを染料に用いてわんど域内を着色した 後,入口を開放してからの濃度変化を濁度計(東京計 測製)によりサンプリング周波数 20Hz で 5 分間計測し た.わんど形状と濁度の計測点を図-1 に,実験条件表 を表-1 にそれぞれ示す.わんど開口部に杭粗度を配置 したケースを Wt9,配置していないケースを Wb とする. 3.数値解析の手法 組織渦構造を再現する数値計算 法としては, 灘岡・八木のモデル2)や木村・細田3)の計 算があるが,ここでは簡易な水深平均のゼロ方程式モ デルを用いた基礎式をSIMPLE法によって解く計算法 を拡張して,組織渦の再現が可能かを検討した.本研 究で用いた水深平均の連続式および開水路浅水流方程 式は以下のとおりである.

 $\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Uh}{\partial x} + \frac{\partial Vh}{\partial y} = 0$ (1) $\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial UU}{\partial x} + \frac{\partial UV}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{\mathbf{t}_{xx}}{\mathbf{r}} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{\mathbf{t}_{xy}}{\mathbf{r}} - \frac{\mathbf{t}_{bx}}{\mathbf{r}} (2)$ $+\frac{\partial UV}{\partial x} + \frac{\partial VV}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{t_{xy}}{r} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{t_{yy}}{r} - \frac{t_{by}}{r}$ (3)

表-1.実験条件表 29.3cm $O(cm^3/s)$ 4×10^{-1} 6.0 h(cm) 30.0cm 0.297 Fr Re 8496 22.753 Im(cm/s 45.0cm

図-1.わんど形状および計測点

底面せん断応力は,マニングの粗度係数を用いて, $\frac{\boldsymbol{t}_{bx}}{\boldsymbol{r}} = \frac{bn^2}{\sqrt[3]{h}} U \sqrt{U^2 + V^2}, \quad \frac{\boldsymbol{t}_{by}}{\boldsymbol{r}} = \frac{bn^2}{\sqrt[3]{h}} V \sqrt{U^2 + V^2}$ (4)とし,水深平均レイノルズ応力は, $\boldsymbol{t}_{x} = \boldsymbol{r}\boldsymbol{n}_{t} \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial x} \right) \boldsymbol{t}_{y} = \boldsymbol{r}\boldsymbol{n}_{t} \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \boldsymbol{t}_{yy} = \boldsymbol{r}\boldsymbol{n}_{t} \left(\frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial y} \right) (5)$ と表す.ここで n, は水深平均の渦動粘性係数であり, $\boldsymbol{n}_{t} = \boldsymbol{e}_{0} u_{*} h$ と表現し,定数項 \boldsymbol{e}_{0} は0.05としている. また室内実験に合わせて、わんど域内に一定濃度を与 え,その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.

 $\frac{\partial}{\partial t}c + \frac{\partial}{\partial x}(Uc) + \frac{\partial}{\partial y}(Vc) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\mathbf{n}_{t}}{\mathbf{s}_{t}}\frac{\partial c}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\mathbf{n}_{t}}{\mathbf{s}_{t}}\frac{\partial c}{\partial y}\right)$ (6)

ここで s, は乱流シュミット数であり, 0.25 とした. 方 程式の離散化には有限体積法を,時間項には完全陰解 法を用いている.計算格子にはスタッカード格子を用 い,計算格子間隔は定常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, 非定常計算では水路全体を3mmの等間隔格子を用いて いる.ハイブリッド法を用いて定常解を得た後,中心 差分法に切り換えて,時間間隔0.01sで,90秒間計算を 行った 濁度の計算は解析開始 10 秒後から行っている. 4.計算結果と実験結果の比較検討 室内実験による WbとWt9の時間平均流速ベクトルをそれぞれ図-2,図 -3 に示す. 杭粗度の影響により, 開口部上流側からの 加速が抑えられ、循環流が弱くなっていることが分か る.非定常計算における t=20s から 61s の瞬間流速の平 均をとり求めた平均流速ベクトルを図-4 に示す、図-2 と比較するとわんど内の循環流の流速が大きく計算さ れており,再現性についてさらに検討を要するといえ

名古屋工業大学工学部社会開発工学 Tel. 052-735-5490

キーワード:わんど,水交換,数値計算 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町



る.次にわんど域の濁度変化の再現性を検討するため, 写真-1に濁度の拡散の様子を撮影した静止画像を、図-5 に Wb の t=12s における非定常計算による濁度コンター をそれぞれ示す.室内実験での拡散の様子が良好に再 現されているといえるため,各計測点において濁度の 経時変化を検討することにする.図-1の,, に おける Wb の濁度経時変化を図-6,図-7,図-8 にそれぞ れ示す.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.

$$D_{n}' = \frac{D_{n} - D_{0}}{D_{\max} - D_{0}}$$
(7)

数値計算の Dn'は初期濃度を1としている.図-7ではせ ん断層に近いため,乱れが大きく現れている.定常計 算,非定常計算ともに実験値に近い値を示しており再 現性は良好である.図-7 では乱れは比較的小さく,濁 度変化の時間遅れがみられる.これは乱れがわんど内 を循環することにより、小さくなるためだと考えられ る.再現性は定常計算で減少が若干早いが,傾向は表 せているといえる.図-8 では非定常計算はよく再現さ れているが,定常計算による値が大きく実験値と異な る.これは定常計算では、わんど境界上にせん断渦が 形成されないために、わんど中央部の濁度の拡散が遅 く,実験値よりも交換が遅くなると考えられる.次に 杭粗度を有する Wt9のケースを検討する.図-10 に図-6 と同時刻の t=12s における Wt9 の非定常計算による濁 度コンターを,図-10にわんど中央部での濁度経時変化 をそれぞれ示す.図-9 より開口部の杭粗度による乱れ が生じており, Wb に比べて濁度変化が遅れているのが 見てとれる.図-10より図-8の実験値と比較すると濁度



図-10. 濁度の経時変化(Wt9)

変化の遅れが確認できる.非定常計算は実験値よりも 減少が早くなっている.

<u>5, あわりに</u>わんどの水交換機構の再現をハイブリッド法による数値計算と中心差分による非定常計算を 行うことで試みた.わんどの循環域の濁度変化に関し ては,定常計算でもほぼ再現性があることが分かった が,浮遊砂や,水質交換を考えた場合に重要となるわ んどの中央部の停水域となる部分などの再現には,非 定常計算による検討が必要であることが示唆された. わんど内部の循環流と併せて杭粗度の影響をさらに検 討する必要があるといえる.今後は非定常計算による 組織渦の再現性が比較的良好であったことより,わん ど形状や杭粗度の配置について幅広い条件のもとで検 討していきたい.

参考文献)

 1) 冨永晃宏・谷川幸男:人工わんどの水交換機構とその制御法に関する研究,水工学論文集 第46巻2002,p571-576
2)灘岡和夫・八木宏:浅い水域の水平混合現象に関する数値計算モデルの開発と沿岸流場への適用,土木学会論文集, No.473/ -24,pp35-44,1993

3)木村一郎・細田尚・友近文志:開水路流れ混合層における せん断不安定波動の空間的増幅特性,土木学会論文集,No509/ -30,pp99-110,1995