

西内川感潮域における塩水楔の数値解析

富山県立大学大学院 学生会員 ○笹川 幸寛
富山県立大学 正会員 手計 太一

1. はじめに

河川感潮域は一般に河道の河床勾配が緩やかになるため海の潮汐の影響を強く受け、複雑である。また、河川水の流量や流速、河川水と海水の密度差も起因するためより複雑な流動となる。

このため個々の河川感潮域について固有の流動・水質特性を詳細に調査する必要がある。

手計ら⁽¹⁾は富山県射水市新湊を流れる内川には生物がほとんどいない環境になっていることを明らかにしている。また、夜間のポンプ停止中における水質悪化や悪臭の発生を報告している。さらに、著者ら⁽²⁾は西内川における塩水遡上の特性について明らかにしている。

以上を鑑み、本研究では富山県射水市新湊を流れる西内川の塩水楔の特徴や特性について VOF 法を用いて明らかにすることを目的としている。

2. 研究対象

本研究は北陸の富山県西部に位置する射水市新湊の中心部を東西に流れる内川の西側感潮域を対象とする。内川は日本海に流れ込む庄川右支川の二級河川の一つである。図-1 は内川の概略図である。内川は 1967 年の乾田事業や 1968 年の富山新港の開発にともない内川本川や支川の流れがほとんどなくなった。内川は下流の庄川河口付近と中流の奈呉ノ浦、上流の富山新港の全 3 か所で海に接続し、さらに、海に並行して流れているということが特徴である。

このような環境問題の改善のため 1980 年に内川浄化対策事業が実施され、1981 年に庄川の水 $2 \text{ m}^2/\text{s}$ を送る揚水ポンプ場を設置するが、抜本的な改善には至っていないのが実情である。

3. 数値流体解析

VOF 法は流れ場の流速から体積占有率を表す界面関数を移流させることにより、自由表面位置を決定させる手法である。OpenCFD 社よりオープンソー



図-1 内川の概略図

ス CFD ツールボックスとして提供されている OpenFOAM (Open Source Field Operation and Manipulation) の VOF 法ソルバを用いた。OpenFOAM は有限体積法による流体解析ソフトウェアであり、プログラムはオブジェクト指向型言語である C++ によって構成される。

本研究は OpenFOAM の非圧縮性ソルバである multiphaseInterFoam を用いた。この非圧縮性ソルバでは非圧縮性流体の Navier-Stokes 方程式(1)を用いて計算する。

$$\frac{\partial \rho U}{\partial t} + \nabla \cdot \phi U - \nabla \cdot \mu \nabla U = -\nabla p \quad (1)$$

西内川における数値モデルは図-2 のように構築した。西内川の延長は実際の約 700 m、水深は 1.5 m とし、海は計算時間等の関係により延長 700 m、水深を 3.0 m とした。図-2 の左側の壁が庄川と接続する揚水機場、淡水と海水の境界面地点が奈呉ノ浦である。また、西内川には淡水(密度 $\sigma = 1$)、海水の密度は $\sigma = 1.25$ とし、水面より 50 cm に空気の層を設定した。2Case モデルを構築した。Case1 の川幅は 1 m で、メッシュ大きさは $x, y, z = 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ とした。Case2 の川幅は 10 m とし、メッシュ大きさは $x, y, z = 50 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ とした。この 2Case で密度差による密度流現象を解析した。

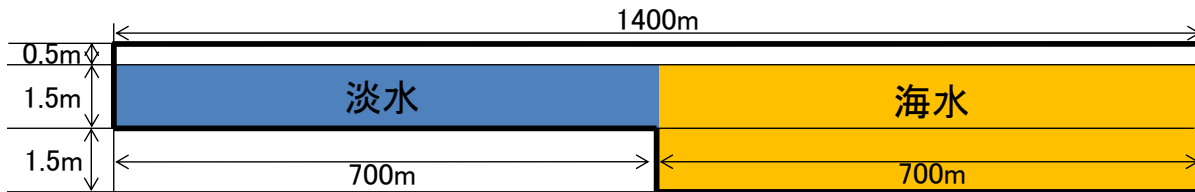


図-2 西内川の数値モデル

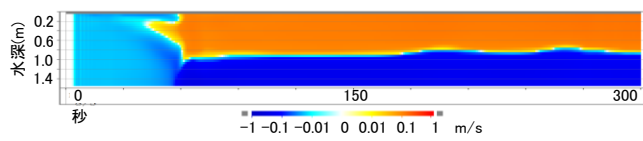


図-3 Case1における塩水楔の解析結果

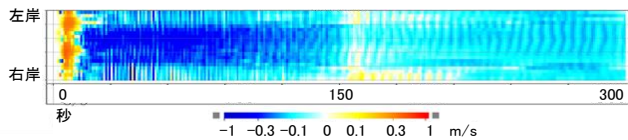


図-5 Case2における塩水楔の解析結果

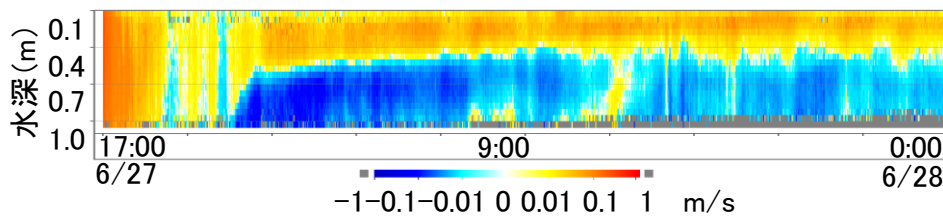


図-7 ADCPによる塩水楔の観測結果

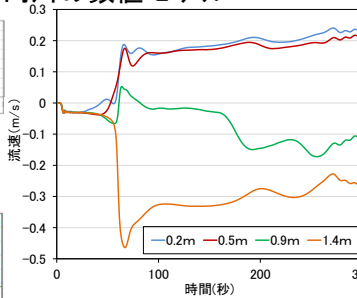


図-4 Case1の水深別流速変化

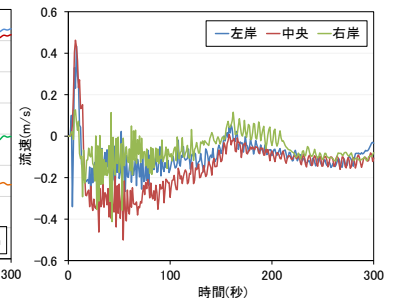


図-6 Case2の川幅方向の流速変化

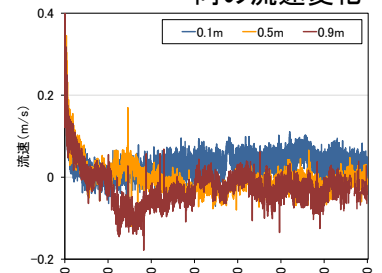


図-8 観測結果の水深別流速

4. 解析結果

3章で示した数値モデルをVOF法を用いて西内川を対象に数値解析を行った。解析は300秒間行った。Case1の解析結果の奈呉ノ浦から西内川方向に約100m地点の流速コンター図を示す(図-3)。縦軸は水深、横軸は時間、色は流速を示す。赤系色は海へと流れる順流、青系色は遡上方向の逆流を示す。解析開始から約60s後に楔状の逆流が確認された。楔の高さは約60cmで、200秒と250秒には楔の高さが少し上昇していることが確認できる。図-4は図-3と同地点の水深別流速の時系列である。縦軸が流速、横軸が経過時間を表す。このグラフから楔先端の流速が最も大きく、楔高さが上昇するときに上層、下層の流速がともに大きくなっていることが確認できる。図-7はADCPによる観測結果である。観測結果からも楔先端の流速が早いこと、楔高さが変化することが確認できる。また、解析結果では楔が到達する前から全層で青系色が確認できる。今回の解析では全領域で流体が停滞している状態からの解析を行ったため、淡水と海水の境界面に近い地点では海水に押され逆流が確認されたと考える。

次にCase2の下層の解析結果を図-5に示す。縦軸

は川幅方向、横軸は経過時間、色は図-3と同様である。青色の濃い河川中央の流速が早いことがわかる。これは実河川と同じ現象である。また、図-6は図-5の同地点の川幅方向別流速の時系列である。このグラフからも河川中央を表す赤色が逆流の流速が大きいことがわかる。図-8は観測結果の水深別流速変化である。下層は赤色で示す。図-6と図-8を比較すると、楔先端の流速が大きいこと、流速が小刻みに変動している、つまり、ゆらゆらしていることが再現できていることがわかる。

以上から、本数値解析の結果、概ね西内川感潮域の流動を再現できた。しかし、解析時間が短いため解析結果の地点と観測地点が異なること、流体が停滞している状態からの解析であること、さらに実際の河床の状態を反映していないため、さらに数値解析を進めている。

参考文献

- 1)手計太一, 奥川光治, 坂本正樹, 安田郁子: 海水と浄化揚水が複雑に交錯する内川の水環境に関する基礎的研究, 水工学論文集, 第55巻, pp. S 1663-S 1668, 2011.
- 2)笹川幸寛, 手計太一: 内川の西側感潮域における塩淡水2層密度流の水理特性, 土木学会関東支部, 第40回, II-3.