

富山県・西内川における VOF 法を用いた塩水楔の数値解析

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

密度流は密度の異なる二つの海水や河川、空気の間などで発生する流下・混合現象である。河川感潮域は一般に河道の河床勾配が緩やかなため海の潮汐の影響を強く受け、とても複雑である¹⁾。そのため、個々の河川感潮域について固有の流動・水質特性を詳細に把握することは重要である。

また、大規模で自由水表面を有する複雑な流れを解析することに対しては界面捕捉法が有利である。

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海面補足法の一つである 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。概略図を図-1 に示す。内川は下流の庄川河口と中流の奈呉ノ浦、上流の富山新港の3か所で海に接続し、海に並行して流れているということが特徴である。内川では流れがとて小さいために海水が滞留し水質汚濁や悪臭といった環境問題が発生している。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 m³/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。

奈呉ノ浦から西内川方向267 mに位置する藤見橋で観測を行った。また、潮位に応じて定期的に連続定点観測した。観測は2010年から行っており、約80日間の連続観測データを取得している。

3. 数値流体解析

本研究で構築した数値モデルを図-2 に示す。700m×3.5m×1mの海域と河川長700m×水深2m×幅2mの西内川が連結されているようなモデルを構築した。



図-1 内川の概略図

本モデルの支配方程式である連続式(1)と Navier-Stokes 方程式(2)、密度式(3)を示す。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{g} \quad (2)$$

$$\rho = \alpha \rho_w + (1 - \alpha) \rho_a \quad (3)$$

ここに、 ρ ：見かけの流体密度、 $\mathbf{u}$ ：流速、 p ：圧力、 μ ：粘性係数、 $\mathbf{g}$ ：重力加速度、 ρ_w, ρ_a ：水と空気の密度、 $0 < \alpha < 1$ ：水の体積分率である。

計算格子は西内川と海域の上層における $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ はそれぞれ 50(cm)×5(cm)×25(cm)、海域の下層は 50(cm)×150(cm)×25(cm)とした。これは観測結果が層厚 5cm であることと海域の格子をできるだけ大きくし計算時間を短縮するため、西内川と海域とで計算格子を変えた。

本研究の数値モデルは有限体積法に基づき計算セル界面のフラックスをベースに離散化した。移流項、拡散項、時間項のいずれにも2次精度の中心差分を採用している。また、乱流モデルはレイノルズ平均による RANS (Raynolds-Averaged Navier-Stokes) モデルを適用している。

西内川には淡水 ($\rho=1 \text{ kg/m}^3$)、海域に海水 ($\rho=1.025 \text{ kg/m}^3$)、無色の範囲は大気を初期条件とし

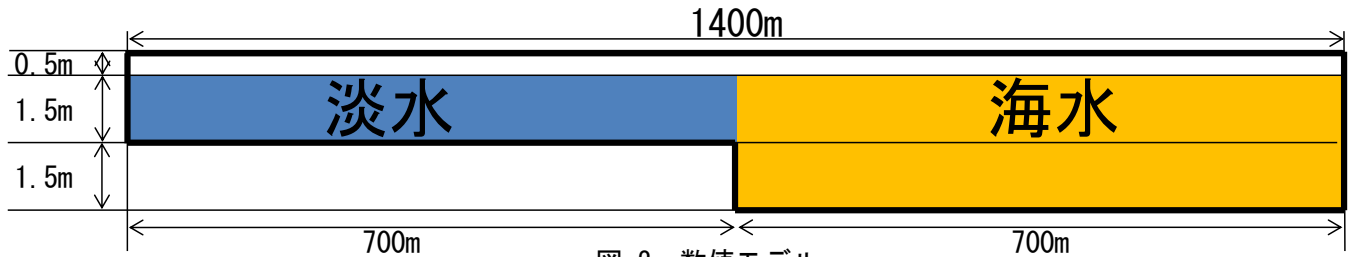


図-2 数値モデル

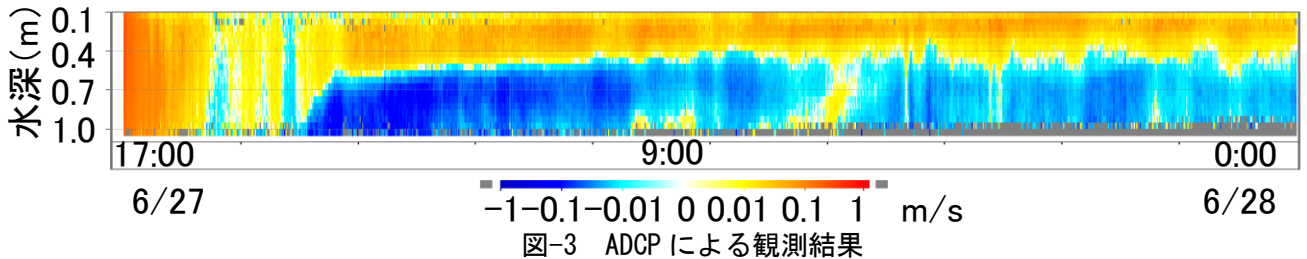


図-3 ADCPによる観測結果

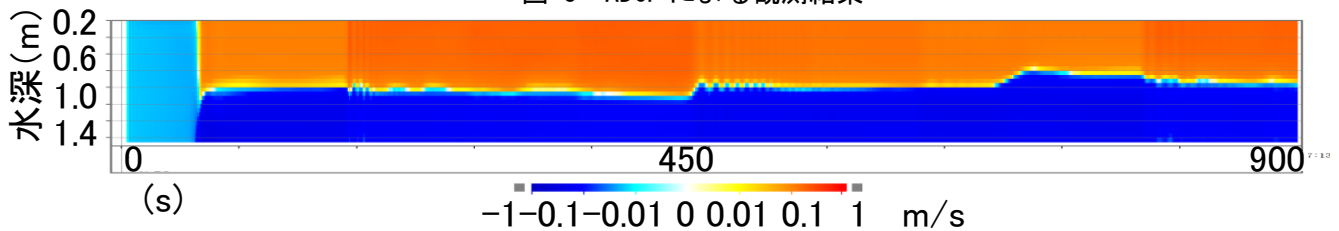


図-4 VOF法による数値解析結果

て適用した。壁面はすべて slip 条件とした。

図-2 の左の境界面から右方向に 0.2 m/s、海底から上方向に 0.0001 m/s の流速を与えた解析を行った。

4. ADCP による塩水楔の観測結果

本研究で対象とする西内川はこのポンプ揚水機場の影響を受ける。ポンプは騒音のため夜間は稼働せず、9時から17時までの稼働となっている。図-3はポンプ停止後から0時までの観測結果の流速コンター図である。横軸が時間、縦軸が水深、色で流速の大きさを表す図である。赤系色が庄川から奈呉ノ浦方向に流れる順流、青系色が奈呉ノ浦から庄川方向に流れる逆流を表し、流速は-1~1 m/s の範囲を示す。

5. 数値解析結果

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 900(秒)行った。図-4 に解析結果を示す。縦軸は水深、横軸は時間を示す。また、色はオレンジ系色が図-2 の左から右方向に流れる順流、青系色は右から左方向の逆流を示す。流速の範囲は-1~1 m/s である。この図から下層に海水が楔状に遡上していることがわかる。また、周期的に楔の高さが変動している。構築したモデルの固有振動によるものではないかと考えた。楔が浸入する前にも逆流が見られるが、これは楔が静止流

体を押しながら浸入するため、楔浸入前にも逆流が生じてしまったと考えた。

6. 観測結果と解析結果の比較

ADCP の観測結果より順流も逆流も全体的に流速が大きい。これは、実際の河川の壁面、河床を再現できていないためと考える。しかし、数値解析においても塩水が楔状で遡上するということが再現できた。また、観測でも確認された周期性が再現できた。

7. 結論

本数値解析において、ある程度塩水楔の形状を再現できた。しかし、本研究は自然な流動の解析であった。そのため、①ポンプ揚水、②海の潮汐変動、③河川の状態が再現できていない。西内川の塩水遡上を精密に再現するため、現在、解析を進めている。

参考文献

- 1) 嶋祐之, 推貝博美: 密度流の境界面の安定に関する実験, 水理講演論文集, 第4回, pp. 35-36, 1959.
- 2) 池永均, 山田正, 内島邦秀, 笠井雅広, 向山公人, 大束淳一: 塩水遡上の3次元数値解析と潮汐を考慮した塩水楔の破壊に関する研究, 水工学論文集, 第41巻, pp. 509-514, 1997.
- 3) 新谷哲也, 中山恵介: 網走川河口域で発生する塩水遡上に関する数値的検討, 水工学論文集, 第57巻, 2013.