

数値計算を利用した内川西側感潮域の 塩水楔先端部に出現する逆流現象の再現

笹川 幸寛¹⁾ 手計 太一²⁾

¹⁾ 株式会社ハイドロシステム開発
(〒550-0022 大阪府大阪市西区本田3丁目2-18)

²⁾ 富山県立大学大学院工学研究科環境工学専攻
(〒939-0398 富山県射水市黒河5180)

富山県射水市新湊を流れる二級河川の内川は、流域の社会経済発展にともない流路が複雑化してきた。常に海水と淡水が複雑に交錯して流れており、多くの環境問題を抱えていることで知られている。2011年から継続的にADCPを用いた流速観測を行った結果、塩水楔が浸入する直前に全層で逆流する特異な現象を捉えている。この現象の流体力学要因を明らかにするために、VOF法を利用した数値解析を行った。その結果、観測結果とほぼ同様に、全層逆流現象を再現することができた。密度や圧力の計算結果によって、この逆流現象は、塩水遡上が淡水域を押し上げていくことに因るものであることがわかった。

キーワード：塩水楔、VOF法、数値実験、内川、富山

I. はじめに

河川感潮域とは上流から供給される淡水と潮汐によって遡上する海水が混合する領域である。河川感潮域は河床勾配が緩やかになることで潮汐の影響を受け易くなり、河川固有の流れと混ざり合うことで、流量や流速が非定常的に変動し、淡水と海水の密度差も起因して極めて複雑な水理現象を起こしている。また、河口付近には、海水とともに海生プランクトンや甲殻類、魚類が遡上してくるので多様な生態系が形成される。この様に生物生産が活発である一方、汚濁水が滞留・沈降しやすく、水質汚濁や貧酸素水塊、悪臭などの環境問題を潜在的に抱えやすい水域と言える。

河川感潮域における複雑な流動の一つとして塩水遡上現象は古くから多くの研究が実施され、一般に3種類(弱混合型、緩混合型、強混合型)に分けられている。強混合型、緩混合型は潮位差の大きい太平洋側、弱混合型は潮位差の小さい日本海側で多く確認されている。弱混合型は遡上した海水の上を淡水が流下し、その間に明瞭な境界面が存在する混合形態である。いわゆる、塩水楔である。この塩水楔

が下層を遡上することにより、その塩水を取水することにより、農作物に悪影響を与えたり工場の精密な機械に悪影響を与えたり、多くの取水問題がある。その塩淡水境界面が混合せず安定する条件としては、フルード数やレイノルズ数、塩淡水密度差など様々なパラメータが関与している(例えば、嶋・推貝, 1960)。そのため、個々の河川感潮域について固有の流動・水質特性を詳細に研究する必要がある。そのような研究事例として、感潮域における魚の大量斃死問題(二瓶ら, 2009)、広域地下水との相互作用(駒井ら, 2009)、実河川における成層密度流の水理特性に関する研究(大橋・Suharnoto, 1994)などが挙げられる。手計ら(2011)は富山県射水市新湊を流れる内川を対象に、感潮域における水環境や流動に関する調査を実施している。その結果、西内川においては人工的な流動のため、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。東内川においては、上下流が海と接続していることによる往復流が報告されており(大西, 2008)、その流速分布構造はADCP(超音波

ドップラー式多層流向流速計)を用いて明らかにされている(手計, 2012)。西内川では弱混合型の明瞭な楔状に塩水が浸入していること,そしてその塩水楔の浸入直前に全層で逆流現象が発生していることがわかった(笹川・手計, 2015)。本研究ではこの全層逆流について数値解析を用いて再現する。

このような自由水面を有する複雑な流れを把握することは重要であり,これまで数多くの数値解析手法が提案されている。その数値解析法として界面追跡法と界面捕捉法が挙げられ,大規模で複雑な自由水面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(例えば,重枝ら, 2008)。界面捕捉法の先駆的な手法としてVolume of Fluid法(VOF法)が挙げられる。河川感潮域における塩水遡上の数値シミュレーションは日本では1960年代から塩害防止などの目的で進められてきた。特に塩水楔については,古くから2層密度流の不等流として定式化され実務等にも応用されている(例えば, Arita and Jirka, 1987a; 1987b)。数値解析分野では,清水ら(1997)が網走川と網走湖の塩淡水二成層による環境問題解決のために,3次元の非定常流モデルを構築している。洪水のための非定常流だけでなく塩水密度流も表現できる精緻なモデルである。Ishikawa et al (2004)が,利根川を対象にSIMPLE法を利用して自由表面流れの数値モデルを構築している。水質モデル等とカップリングさせることで,河口域の環境を明らかにしようと試みている。工藤(2004)は内部境界条件を用いた2次元非粘性モデルを構築し,実河川の塩水流動に関する定式化するとともに $k-\epsilon$ モデルを組み込み利根川下流域に適用し塩分や流れ場の再現を行っている。新谷・中山(2013)は, Fantom3Dを用いて有限要素法と差分法の特徴を併せ持つ有限体積法を利用した数値モデルを構築し,網走川河口域の塩水遡上の再現を試み,いくつかの問題点を挙げ

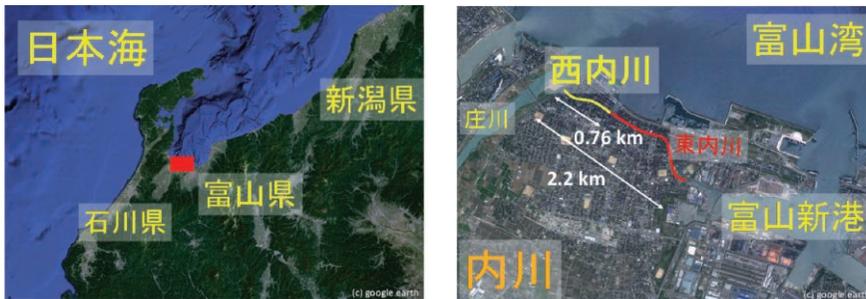
ながらも適切に再現している。さらに赤穂ら(2014)は,塩分動態に特化して移流分散モデルに傾圧を考慮したモデルを構築し,高瀬川に適用している。その結果,概ね観測値を再現できているとともに,新しいモデルの有効性を示している。さらに,本研究の研究対象河川である内川の塩水の混合形態である弱混合型と仮定した2層流モデルによる研究も行われてきた(池永ら, 1997)。

以上を鑑み,本研究では,不連続な現象および複雑な自由表面形状にも適用可能なVOF法を用いて,富山県射水市新湊を流れる西内川の塩水楔の直前に発生する全層逆流現象の再現可能性について検討した。

II. 研究対象

本研究は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した(以降,西内川とする)。内川は日本海に流れ込む庄川右支川の二級河川で,流路延長は2.2 kmである(図一1)。奈呉ノ浦から庄川河口までを西内川,奈呉ノ浦から富山新港までを東内川と呼称されている。西内川の流路延長は0.76 km,東内川の流路延長は1.5 kmである。それぞれの平均河床勾配は,西内川は1/544,東内川は1/1,214である。内川では1967年の乾田事業や1968年の富山新港の開発が進められたことにより,本川や支川の流れがほとんど生じない運河の様な状態となっている。また,富山新港の開発で内川上流が海に接続し,中流の奈呉ノ浦でも海に接続している。そのため,内川は下流の庄川河口と中流の奈呉ノ浦,上流の富山新港の全3か所で海に接続している。さらに,海と並行して流れているということが特徴である。

西内川では流速が非常に小さく,河床勾配も小さいため,海水が遡上し下層に滞留しやすい。また,



図一1 富山県と内川の概略図
Fig. 1 Map of Toyama and the Uchikawa River.

西内川の塩水遡上は潮汐の影響を強く受けるため流動はとても複雑で、水質汚濁や悪臭という環境問題が発生している。そのため、内川には生物がほとんどいない。1973年には水域類型Cに設定されるなど、水環境は極めて悪化していた。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 m³/sを送る揚水ポンプ場を設置した。しかし、騒音のため夜間は稼働できず、9時から17時の運転となっている。また、東内川にはポンプ揚水による人工流は届かず、両側の潮汐の影響により複雑な流動となっている。そのため、西内川・東内川ともに抜本的な改善には至っていないのが実情である。

III. 現地観測概要

1. 観測地点

西内川の奈呉ノ浦から西内川方向267.1 mに位置する藤見橋地点において流況の現地観測を行った(図-2)。西内川の河口の川幅は11.6 m、上流に従ってほぼ一定に縮小し、観測を行った藤見橋地点の川幅は6.28 mである。

2. 超音波ドップラー多層流向流速計

本研究ではTeledyne RD Instruments (TRDI) 社製の超音波ドップラー式多層流向流速計 (Acoustic Doppler Profiler ; ADCP) を用いた (図-4)。



図-2 西内川の概略図

Fig. 2 Map of the Nishi-Uchikawa River.

流速測定のカリブレーションが不要であることや、水温変化による補正が不要であること、長時間にわたっての観測が安定していること、流速の3方向成分の測定が可能であることなどの特徴がある。本研究の観測時のADCPの計測条件は以下のように設定した。計測モードはWM11(水深が浅く、流速が小さい水域での観測に適したコマンド)(橋田ら、2010)を採用し、アンサンプルタイム1.04 sec、観測層厚5 cmで計測した。ウォーターピング数、ボトムピング数ともに3とした。この設定の標準偏差は0.77 cm/sである。計測に際してはADCP内部の磁気コンパスの方位を利用した地球座標系を採用し、データ解析に際しては東西成分流速を用いている。観測方法は、ADCPを取り付けた専用の小型ボートを河川の中央部にワイヤで係留し定点観測した(図-3)。また、潮位に応じて定期的に連続定点観測した。観測は2010年から行い、88日間分の連続観測データを取得している。また、同時に水位、水温と電気伝導率の観測も行った。

IV. 観測結果

ADCPによる観測結果88日間分の一例として2012年6月26日の17時から24時までの流速の鉛直分布を図-4に示す。流速の範囲は-0.4 m/s~0.5 m/sを示し、0を中心値とし図のように目盛を指定した。マイナス値は-0.4, -0.2, -0.01 m/s、プラス値は0.1,



図-3 藤見橋地点でのADCPによる観測風景

Fig. 3 Photograph of ADCP observation system in Fujimi-bashi.

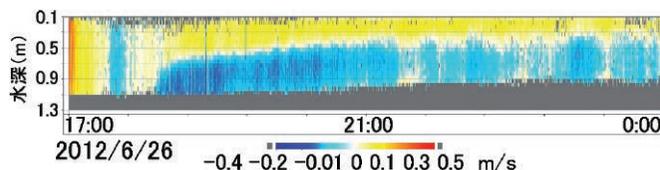


図-4 ADCP観測による流速鉛直分布の時系列(例2012年6月26日)

Fig. 4 Time series of vertical distribution of water velocity using ADCP (7 June, 2012).

0.3, 0.5 m/sである。範囲外の値は灰色で示し、赤系色は庄川分岐点から奈呉ノ浦へ流れる順流、青系色は奈呉ノ浦から庄川分岐点へ流れる逆流を示している。また、下層の灰色は河床以下を、上層の灰色はエラー値を示している。18時頃から下層に逆流が発生し、約-0.01 m/sの逆流速（水色）を示し、上層では約0.1 m/sの順流速（黄色）を示している。また、下層に楔状の逆流が発生する少し前（17時30分頃）に全層で逆流（水色）が発生している。17時から24時までの順流速と逆流速をそれぞれ抜き出し、それぞれ平均値を計算した。順流の平均流速は0.053 m/s、逆流の平均流速は0.037 m/sであった。なお、流速比（順流／逆流）は1.43である。この図からポンプが停止する17時から、塩水が楔状に遡上している。また、ポンプが稼働している時間の順流速は塩水楔が遡上する直前に、全層逆流が数分間発生している。西内川では観測した88日間の塩水遡上現象の半分以上でこの塩水楔直前の全層逆流が発生している。これまでの水質観測結果から、全層逆流は淡水であることがわかっている。しかし、このような全層逆流が発生する時間や流速は観測日ごとに異なり、未だ発生要因がわかっていない。そこで本研究では、数値実験を利用して発生メカニズムの解明を試みた。

V. 数値流体解析

1. 支配方程式

本研究では、塩淡2層密度流（全層逆流）の再現するためにVolume of Fluid法（VOF法）を採用した。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り、複数の流体が混在している現象の解析手法の一つである（例えば、ファム・パン・フック・長谷部, 2013）。支配方程式は以下の連続式(1)とNavier-Stokes方程式(2)により構成している。

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

$$\frac{\partial \rho \mathbf{U}}{\partial t} + \nabla \cdot \phi \mathbf{U} - \nabla \cdot \mu \nabla \mathbf{U} = -\nabla p \quad (2)$$

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

ここに、 ∇ は3次元領域におけるベクトル微分演算子、 u ：流速、 p ：圧力、 \mathbf{U} ：流速ベクトル、 μ ：粘性係数、 ϕ ：物体の物理量（ $\phi = \rho \mathbf{U}$ ）、 ρ_w 、 ρ_a ：水と空気の密度、 $0 < \alpha < 1$ ：水の体積分率で、 ρ は流体の

混在を考慮した見かけの流体密度である。支配方程式(14)と(15)の空間的離散化には有限体積法を用いた。流速と圧力の連成解法にはPISO（Pressure Implicit with Splitting of Operators）法を採用した。PISO法は主に非定常の流体解析に用いられる連成解法である。また、式の離散化には時間微分項は1次精度の前進差分、勾配項は2次精度の中心差分、発散項には1次精度の風上差分法を採用した。計算の時間刻み $\Delta t = 0.001 \text{ sec}$ とした。

2. 本数値解析モデルの概要

西内川の塩水遡上直前の全層逆流を再現する数値解析モデルは図-5のように構築した。西内川全体のモデル化は、大量の計算時間を要するため、楔前後の再現を検討したため図-8のような縮小モデルとした。X方向（縦断方向）は全長16 m、Y方向（鉛直方向）は西内川の最大水深1.5 m + 大気の層0.5 mの2 m、Z方向（川幅方向）は10 cmとした。格子の大きさは $\Delta X : \Delta Y : \Delta Z = 10 \text{ cm} : 5 \text{ cm} : 10 \text{ cm}$ とし、計算格子数は800である。

3. 初期条件

青色で示した範囲には淡水（ $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$ ）を、黄色で示した範囲には海水（ $\rho = 1.025 \text{ kg/m}^3$ ）を設定した。また、赤色の範囲は大気を初期条件として設定した。西内川と富山湾の境界である奈呉ノ浦では、淡水と塩水はこのような鉛直な境界面とはならない。しかし、本モデルの目的は海水が淡水の下層から遡上することと塩水楔直前の全層逆流の再現である。そのため、塩水遡上距離の確保や海水の供給等を考慮し、このような初期条件を設定した。

4. 境界条件

上面は大気が透過するようpatch条件とした。その他の壁面はnonslip条件とし、河床も同様にnonslip条件とした。庄川からのポンプ揚水流速を再現するため、左壁面に右側方向（順流方向）へ淡水を流入させた。流速は0.01～0.1 m/sまで0.01 m/s刻みの10

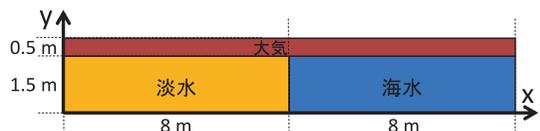


図-5 簡易的な数値流体解析モデル
Fig. 5 Simplified numerical simulation model.

通り与え、全層逆流の再現を試みた。これにより淡水に順流速を与え、図-4のような塩水楔と楔が入る以前の順流を再現する。また、海水部分は、実際にも潮位のみ変化するだけで、その潮位の大きさも小さいため、右側の壁には流速等の物理的な境界条件を与えず、海水と淡水との密度差によって海水が下層を遡上するものとした。

VI. 数値流体解析の結果

本モデルは前章で述べたように左壁の境界条件に与える順流速をパラメータとして、密度差による海水の遡上流速により全層逆流を再現する数値解析モデルである。本数値解析モデルの解析結果を示す。境界条件は表-1の通りである。

1. 流速の鉛直分布の時系列

表-1の境界条件を用いて数値実験を実施した。その結果、左壁面から順流方向に0.03 m/s, 0.04 m/s, 0.05 m/sを与えた3例の実験結果において、塩水楔直前に全層逆流が認められた。例として0.05 m/s (Case. 5) を与えた実験結果の流速の生データの時系列を図-6に示す。図-6は、計算開始から40秒までの流速の鉛直分布の時系列である。なお、データ出力は左壁面よりx軸方向30番目の鉛直方向の格子の流速 u_x 、圧力 p 、密度 ρ を出力した。これは、初期条件

と左壁の影響を考慮したためである。実際の西内川における観測地点の比率を用いて解析結果を出力する地点を決定すると、塩淡境界面に2 mに接近した状態となる。この場合、塩淡境界面の初期条件の影響を強く受ける。また、左壁からの反射の影響も考慮し、左壁から3 m、海水から5 mの地点の解析結果を出力した。観測結果を示した図-4と同様に、赤系色は順流 (図-6の右向)、青系色は逆流 (図-6の左向) を意味し、流速の表示範囲は-0.4 ~ 0.5 m/sである。また、水深は0 ~ 1.5 mである。本図より、下層に楔状の逆流が発生していることが認められる。さらに、塩水楔到達の直前に全層逆流が発生している。また、塩水楔が到達する前の0 ~ 20秒において、全体的に順流が発生している。以上のことから、実際に西内川で観測された流速の状況が再現できていると評価できる。しかし、観測結果の全層逆流発生時間が約30分なのに対し、数値解析結果では1秒間のみの発生となっている。これは数値解析モデルを縮小したことにより、解析秒数も短いためである。

図-7は順流速と逆流速の関係を明らかにするための平均流速を算出したエリアの概念図である。上図は観測データの解析エリア、下図は数値実験データの解析エリアを示している。塩水楔直前に全層逆流が観測された37例の観測データの流速比 (順流速①、②、③ / 逆流速④) について検討を行ったが、順流速①、②と逆流速④については有意な傾向が得られなかった。しかし、流速比 (順流速③ / 逆流速④) については、その値が0.7 ~ 0.9の間に頻度が集中していた。その平均値は0.797であった。一方、数値実験で全層逆流が得られた3例の流速比 (順流速③ / 逆流速④) はそれぞれ0.716, 0.717, 0.694であった。また、全層逆流が得られなかった7例は小さいもので平均0.647、大きいもので平均0.909となっている。以上から、流速比が0.7前後において、塩水楔到達直前の全層逆流現象が発生すると考えられる。

表-1 数値実験の境界条件

Table 1 Boundary condition for numerical simulation.

上面		透過
上面以外の全壁面		Wall (nonslip)
左壁面に与えた流速 (m/s)	Case.1	0.01
	Case.2	0.02
	Case.3	0.03
	Case.4	0.04
	Case.5	0.05
	Case.6	0.06
	Case.7	0.07
	Case.8	0.08
	Case.9	0.09
	Case.10	0.1

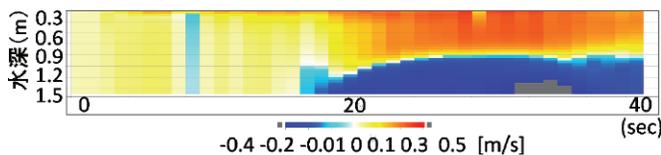


図-6 数値解析による流速鉛直分布の時系列 (Case.5)

Fig. 6 Numerical simulation result of vertical distribution of water velocity.

2. 鉛直密度分布の時系列

図-8に鉛直密度分布の時系列を示す。密度 $1.000 \sim 1.025 \text{ kg/m}^3$ を示すので赤色が淡水、青色が海水である。この図から、20秒後に下層に青色の楔状の海水が現れる。これは図-6でも述べたように海水が遡上していることを表している。図-6の流速分布と比較すると、20秒より少し前に逆流速が現れている。塩水楔が淡水を押しながら遡上し、塩水楔の先端に逆流が生じている。また、塩水侵入の直前の全

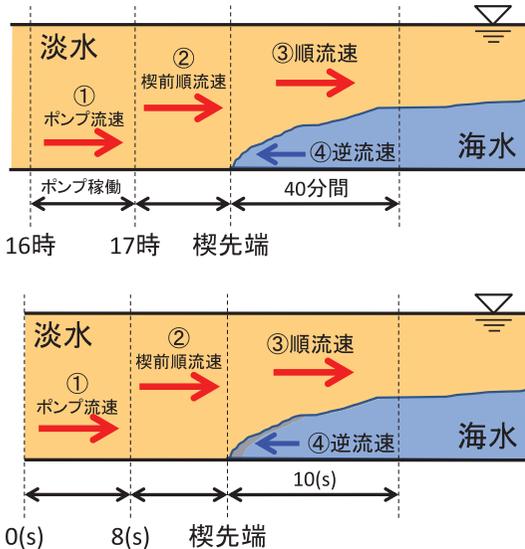


図-7 3種類の順流速(①~③)と楔先端の流速(④)の概念図(上図:観測データ,下図:数値実験データ)

Fig. 7 Schematic diagram of forward and backward velocities: upper, observation data; lower, numerical simulation data.

層逆流が発生していた時間は赤色を示しているもので、発生した全層逆流は淡水である。ここでも観測結果と同様の数値実験結果が得られている。

3. 鉛直圧力分布の時系列

図-9に圧力の鉛直分布の時系列を示す。圧力分布は $14.8 \sim 15.7 \times 10^3 \text{ Pa}$ を示しており、赤色ほど高い圧力を示す。図-6と比較すると、ちょうど全層逆流が発生している10秒付近から圧力が変化している。海水密度流が淡水を押ししていることを表していると考えられる。このことからこの塩水楔直前の全層逆流は塩水楔に押されることにより発生する現象ではないかと考えられる。

4. 流速, 圧力, 密度の鉛直プロファイル

全層逆流が認められる計算開始から10秒後における流速, 圧力, 密度の鉛直プロファイルを図-10に示す。流速と圧力は水面付近の大気の影響を受けている。流速はすべて負の値を示しており全層で逆流が発生している。圧力は水面から中層まで徐々に高くなり、中層から下層にかけて一定の値を示している。鉛直方向に密度は約 1 kg/m^3 で一定であることから淡水であることがわかる。

VII. 結論

著者らのグループでは、富山県射水市新湊に位置する内川西側感潮域においてADCPを用いた流速観測を長期的に行ってきた。その結果、ADCP観測による鉛直流速分布の時系列データから、塩水楔のフロントが到達する直前に全層で逆流する現象が得ら

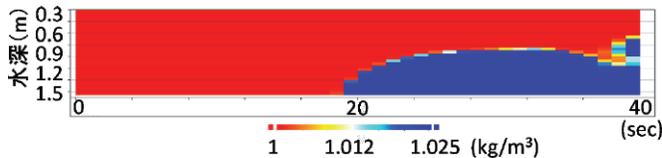


図-8 数値解析による密度の鉛直分布の時系列

Fig. 8 Numerical simulation result of vertical distribution of density.

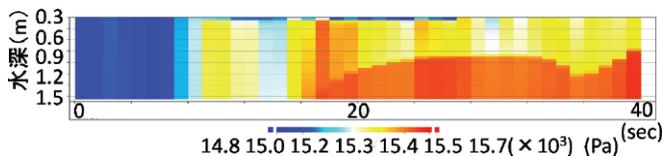


図-9 数値解析による圧力の鉛直分布の時系列

Fig. 9 Numerical simulation result of pressure distribution.

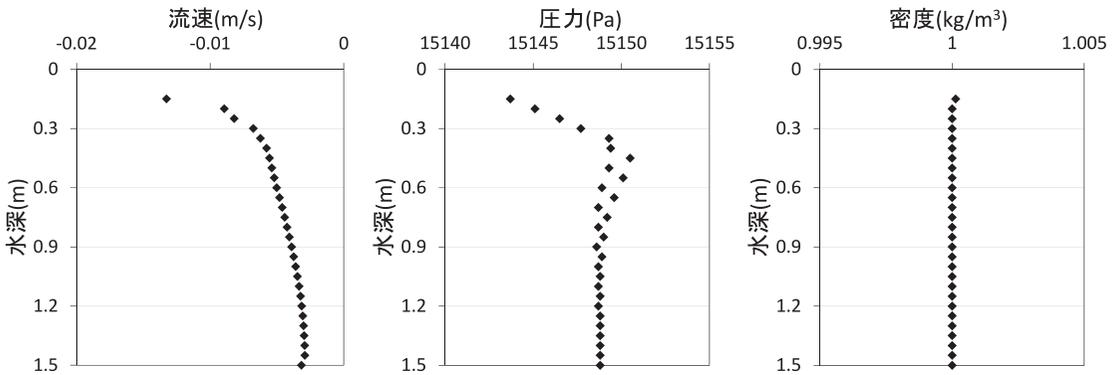


図-10 全層逆流が認められる計算開始から10秒後の流速、圧力、密度の鉛直方向プロファイル

Fig. 10 Vertical profiles of water velocity, pressure and density after 9 s.

れている。水温と電気伝導率の同時観測によって全層逆流時の水塊は淡水であることがわかった。このような全層逆流は、既往研究での観測報告はされていない。

この全層逆流現象の発生要因を解明するためVOF法を用いて数値流体解析を行った。その結果、観測結果と同様に塩水楔が到達する直前に生じる全層逆流現象を再現できた。また、全層逆流が淡水であるということも数値解析結果で再現した。観測では得られていない圧力分布からも、全層逆流の状況を推察することができた。さらに、全層逆流現象は、淡水と海水の流速比が0.7前後において発生すると考えられる。また、圧力分布結果から、全層逆流の発生要因の一つとして塩水楔に押されているということが考えられるが、塩水楔が楔状なのに対し全層逆流が鉛直方向一様に発生している。

今後、全層逆流の発生要因を詳細に検討するために数値モデルを拡張するとともに、潮位の影響を反映させる必要があると考える。

引用文献

赤穂良輔・石川忠晴・安河内美咲・鶴田泰士 2014. 高瀬川の塩分遡上に関する二次元分散モデルの開発. 土木学会論文集B1 (水工学) 70 (4) :I_877-I_882.
 Arita M, Jirka G. 1987. Two-layer model of saline wedge. I Entrainment and interfacial friction. *Journal of Hydraulic Engineering* 113: 1229-1248.
 Arita M, Jirka G. 1987. Two-layer model of saline wedge. II Prediction of mean properties. *Journal of Hydraulic Engineering* 113: 1249-1263.
 ファム・バン・フック・長谷部雅伸 2013. 三次元VOF法を用いた大規模津波シミュレーション. 清水建設研究報告 90:1-8.
 Ishikawa T, Suzuki T, Qian X. 2004. Hydraulic study of the onset of hypoxia in the Tone River estuary, *Journal of*

Environmental Engineering 130: 551-561.
 池永 均・山田 正・内島邦秀・笠井雅広・向山公人・大東淳一 1997. 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 41:509-514.
 橋田隆史・下田 力・疋田 真 2010. ADCPによる河川洪水観測の先進技術と観測に際しての基礎的な技法について: 河川流量観測の新時代 :19-24.
 駒井克昭・中下慎也・Touch Narong 2009. 河川感潮域における河床間隙水と広域地下水の循環機構に関する研究. 海岸工学論文集 56: 1156-1160.
 工藤健太郎 2004. 内部境界条件有限要素法による流体運動計算手法の開発. 東京工業大学博士論文; 111.
 二瓶泰雄・山口 紘・柏田 仁 2009. 魚大量斃死時における河川感潮域のDO環境特性. 海岸工学論文集 56: 1021-1025.
 大橋行三・Suharnoto Yuli 1994. 脇川感潮域における2成層密度流の水利特性-観測資料に基づく成層特性の解析. 農業土木学会論文集 174: 83-93.
 大西外明 2008. 水圏の水理学. 森北出版; 210-232.
 笹川幸寛・手計太一 2015. 富山県西内川感潮域において塩水楔先端部に発生する逆流現象. 土木学会論文集 (投稿中)
 重枝末玲・秋山壽一郎・中江邦昭 2008. 高解像度風上解法を用いた鉛直2次元自由表面流モデル. 水工学論文集 52: 1027-1032.
 新谷哲也・中山恵介 2013. 網走川河口域で発生する塩水遡上に関する数値的検討. 土木学会論文集B1 (水工学) 69 (4) :I_829-I_834.
 清水康行・藤田睦博・平野道夫・山田 正 1997. 網走湖および網走川における塩分密度流の計算. 水文・水資源学会誌 10 (1) : 44-55.
 嶋 祐之・推貝博美 1960. 密度流の境界面の安定に関する実験. 水理研究会講演会 4: 35-36.
 手計太一・奥川光治・坂本正樹・安田郁子 2011. 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 55: S_1663-S_1668.
 手計太一 2012. 内川感潮域における塩水遡上時の水利特性: 土木学会論文集B1 68 (4) :I_1327-I_1332.

(受付: 2015年1月13日, 受理: 2016年2月4日)
 この論文への討議・コメントを、2017年1月末日まで受け付けます。

Numerical Simulation for Saltwater Intrusion in the Western Uchikawa River

Yukihiro SASAKAWA ¹⁾ Taichi TEBAKARI ²⁾

¹⁾ Hydro Systems Development, Inc.

(3-2-18 honden Nishi-ku Osaka-shi Osaka ZIP:550-0022)

²⁾ Graduate school of engineering, Toyama Prefectural University

(5180 Kurokawa Imizu-shi Toyama ZIP:939-0398)

The Uchikawa River (UR), located in the Hokuriku region of Japan, has water pollution and odor annoyance caused by a density current. The UR connects to the Toyama Bay at three points. Therefore, almost no flow takes place in this river. Moreover, details of the flow mechanisms of the UR are poorly understood. The UR stream regime was observed using the Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), which has supported simulation of the UR current mechanism using computational fluid dynamics analysis. First, ADCP observations revealed a backward current of all layers immediately before a saline wedge run up in the Western UR (WUR). Second, a simulation model was produced using the three-dimensional volume of fluid (VOF) method. Numerical analysis results show partial reproduction of the backward current of all layers.

Key words : salt wedge, VOF method, numerical experiment, Uchikawa River, Toyama