

スルースゲートを用いた弾力的な塩水遡上の制御手法に関する基礎的研究

FLEXIBLE CONTROL OF DENSITY CURRENT MIGRATION
BY USING SLUICE GATE

赤堀良介¹・吉川泰弘²・安田浩保³

Ryosuke AKAHORI, Yasuhiro YOSHIKAWA and Hiroyasu YASUDA

¹ 正会員 Ph.D. 研究員 寒地土木研究所 寒地河川チーム (〒 062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1-34)

² 正会員 工修 研究員 寒地土木研究所 寒地河川チーム (〒 062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1-34)

³ 正会員 工博 新潟大学 災害復興科学センター (〒 950-2181 新潟市西区五十嵐二の町 8050)

Controlling adverse density currents has been an important issue on water quality and ecosystems of brackish water regions. This study proposes to apply sluice gate for flexible control of density current migration in open channels. Hydraulic characteristics of density flows around a sluice gate are investigated by flume experiments employing the Particle Image Velocimetry technique and numerical calculations by a Large Eddy Simulation model. The results show that the behavior of density front migration under a sluice gate is dominated by internal Froude number of both fresh water and salt water layers, and entrainment of salt water in a downstream region of a dike is influenced by evolution of instantaneous flow structures in a fresh water layer.

Key Words: density current, sluice gate, PIV, LES

1. はじめに

北海道東部に位置する網走湖を始め、河川等によって海域と接続された閉鎖性水域においては、海域から流入する塩水のもたらす環境への影響が問題視されている。このため、接続部における塩水遡上のコントロールが工学的に重要な課題となっているが、現状では河床設置型の水理構造物に依存した抑制を行っているに過ぎない。このような手法は塩水遡上の抑制に関してはある程度の成果を期待できる一方、環境への影響が大きいという問題点を有している。また高度な制御が必要な事態に備え起伏式やラバーゲート式のような可動型構造物を適用した場合には、維持コストが大きくなるという問題も生ずる。本研究では、河床に直接設置しないために環境への負荷が小さい上、流下能力の阻害も生じず、さらに維持コストを縮減可能なスルースゲートを用いた塩水遡上の制御手法を提案し、その基礎的な特性を検討する。この手法は、河床設置型の固定的な構造物と異なりゲート開度を自由に調節することが可能なため、従来までの塩水遡上対策がフロント侵入の抑制や阻止を目的としているのに対し、流入塩水層の高さや連行現象のコントロールといった、より弾力的な制御を実現する可能性を秘めている。

スルースゲートと密度流の関係に関しては、二成層場の下層からの選択的取水手法や¹⁾、海域に面した河口堰を急激に開放したケース²⁾などに関し先行する研

究例が存在する。これに対して本研究で取り扱う現象は、上層の淡水が順流状態にある開水路に下層塩水が逆流する現象に対してスルースゲートを適用するもので、現状ではこのような条件における流体现象そのものが十分に理解されていない。

本研究では、スルースゲートを用いた塩水遡上の制御手法の実用化に向け、工学的に重要となるスルースゲートの上流区間への塩水侵入の可否、およびゲートの下流側で生じる内部跳水による淡水と塩水の混合規模を把握することに焦点をおいた。これらの特性把握は水理実験と数値計算の両者の組み合わせにより行うことを試みた。水理実験については、実験条件の設定や制御および可視化が困難な密度流の実験をできるだけ簡便かつ省力的に実現可能な実験水路を考案するとともに、捕捉が困難な内部界面や流動の可視化手法を併せて提案し、これらから得られた結果に基づき議論を展開する。具体的には、ゲート周辺での内部界面形状の特性を Froude 数との関連から整理し、次に、上層水による下層水の連行現象について検討を行う。

このうち、内部跳水に伴って発生する連行現象の把握はゲートの下流区間の混合規模を把握する上で非常に重要となる。連行現象は乱流構造の影響を受けることから³⁾、乱流現象を十分に解像しつつ 3 次元の非定常問題を取り扱う上で有利な手法の一つとされる Large Eddy Simulation (LES) を用い、乱れや流れ場の組織構造と、連行速度の関連から考察を行う。

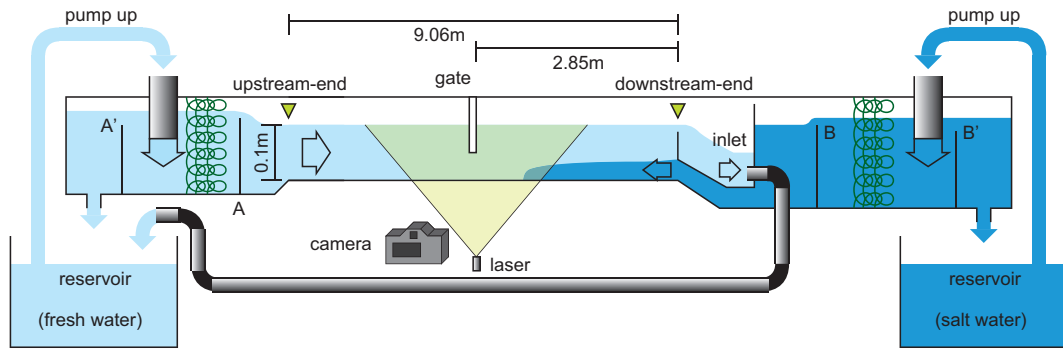


図-1 実験水路概略図

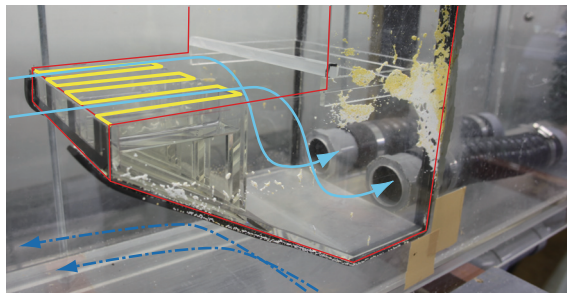


図-2 実験水路における下流側上層水取水部の様子

2. 実験水路の概要

実験水路の概要を図-1に示す。左側が上流側、右側が下流側である。水路は河床および側面がアクリル板で構成されている。実験区間の水路長は9.2m、幅は0.2m、水深は0.1mであり、水路床勾配を0とした。スルースゲートは、水路下流端からゲート下流側の面までの距離が2.85mとなるよう設置される。淡水は上流側貯水槽からポンプにより供給され、堰Aを越流する形で侵入し、水路内を流下した後下流端側の上層からの取水により再び貯水槽へと導水される。水路下流側の取水口を図-2に示す。図-2中、実線の矢印が上層水の動きを、鎖線の矢印が流入する塩水の動きを示し、黄色の実線が取水部の水が落ち込む部分のエッジを、赤の実線が取水口周辺の構造を示す。この下流側取水部は水路と独立しており、取水口高さの変更を可能としている。上層水は取水部黄色線を越流して取水口にたどり着くが、黄色線部分を櫛形に形成することで、限られた水路幅内で越流部の長さを延長し、流出端での水位変動の影響を押さえることを試みている。一方、塩水は下流端側の貯水槽から別のポンプにより下流側に供給され、堰Bを越流した後に図-2の鎖線の矢印に示すように水路下流端底面より実験水路内に導水される。

3. 塩水遡上実験

(1) 実験条件

実験条件として、網走湖河口域での現象を対象とした吉川ら⁴⁾の室内実験の値を参考とした。内部Froude相似則を満足させるために、浮力加速度($g' = \{(\rho_1 - \rho_2)/\rho_1\}g$,

ここで ρ_1 : 下層水の密度, ρ_2 : 上層水の密度, g : 重力加速度)を現地と同等になるように定め、下層の濃度を25.6 psuとなるよう調整している。また内部の界面が不安定領域にあるよう流量を定めている。本実験では、淡水のみ、塩水のみ通水した場合に対して、それぞれ流入流量が $0.0002\text{m}^3/\text{s}$, $0.00037\text{m}^3/\text{s}$ となるよう設定された。またスルースゲートの高さとして、水深に対して開口部の高さが50%となるケース(Case1)、および25%となるケース(Case2)の2ケースを設定した。

(2) 実験手法

実験水路の水位は、水路下流側の上層水の取水口部分の堰の高さを事前に調整することで、ほぼ0.1mを保つよう設定されている。実験では、先に順流の淡水のみを1時間程度循環させ、定常となった後に、下流から塩水を流入させている。 t は実験開始からの経過時間を示し、この塩水が下流端から侵入を始めた時刻を、 $t = 0\text{s}$ としている。 $t = 0\text{s}$ の水位は0.100mであるが、その後若干上昇し、Case1の下流端では0.103m程度、Case2の下流端においては0.104m程度でほぼ一定となった。

実験での観測項目は、塩分濃度計(KENEK製NK-403MSA, MKT-15-04L)による定点での塩分濃度の時系列変化、超音波水位計による上下流端での水位の時系列変化、流況の可視化およびPIV計測を目的としたデジタル一眼レフカメラ(Canon製EOS 5D Mark-II)による動画撮影(30fps)である。密度流現象に対するPIV計測の適用例としては新谷らによる解析⁵⁾が挙げられ、その有効性が確認されている。撮影対象は水路下面から照射されたレーザーシート上の鉛直断面上のトレーサー粒子である。レーザーシートから水路右岸までは0.05mの距離をとる。可視化の際には、上層の淡水はフルオレセインNaにより着色し、下層の塩水は無着色とした。またトレーサー粒子として上層は白色融解アルミナNo.1((社)日本粉体工業技術協会製、比重: 3.9 - 4.0, 粒径: $0.8\mu\text{m} - 5\mu\text{m}$)を、下層にはダイヤイオンHP20(三菱化学製、比重: 1.01, 粒径: $250\mu\text{m}$ 以上)を用いた。PIV計測に関しては、上層、下層ともに無着色とし、トレーサー粒子にはどちらにも比重が淡水と塩水の間位置するダイヤイオンHP20を用いた。

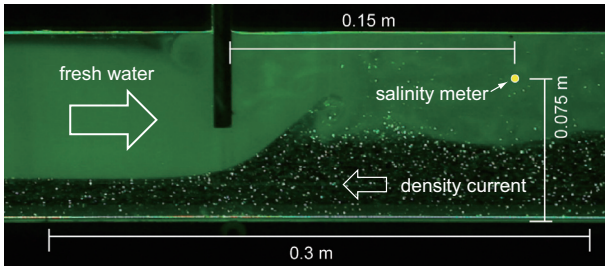


図-3 可視化のための予備実験の様子（ゲート開度 50%）

スルースゲートの厚みを 0.01m, ゲート開度を 50 % に設定した場合の可視化状況を図-3 に示す。ゲート下流側で剥離した渦によって塩水が巻き上げられている様子が確認される。測定領域は、この剥離渦の影響域を含むよう定めるものとする。塩分濃度計位置は図-3 により示し、左岸から 0.05m の位置に設置される。また PIV による計測領域は、ゲートを基準として上流側に 0.1m, 下流側に 0.2m とした。PIV 解析は相互相関法により行った。解析には市販のソフトウェア（Ditect 製 Dipp-Flow）を用いている。

4. 実験結果

(1) 内部界面の挙動

図-4 および図-5 は Case1（ゲート開度 50%）および Case2（ゲート開度 25%）の密度境界面の分布であり、目視された密度界面を破線によって強調している。それぞれ、前述の塩分濃度計が一旦定常な値を示した $t = 120\text{s}$ 前後と、再上昇を示した $t = 240\text{s}$ 前後の値で代表させる。これは、それぞれ巻き上げられた下層の塩水が混合しながら流下する時間帯と、下層水の巻き上げが直接水面に到達する時間帯に対応する。また以降 x は $x = 0.0\text{m}$ をゲート中央直下とする流下方向距離、 z は $z = 0.0\text{m}$ を水路床とする鉛直方向距離とする。この図より、Case1（開度 50%）では、スルースゲート下流側において密度境界面上昇を生じさせつつも密度フロントがゲート上流側に侵入し、下層に塩水層を形成していることが確認される。一方、Case2（開度 25%）では、密度フロントのゲート上流への侵入が完全に抑制されていることがわかる。図-6 は PIV 計測から得られたゲート中央直下（ $x = 0.0\text{m}$ ）における各ケースの流下方向流速の鉛直方向分布を示したものであるが、 $t = 120\text{s}$ からの 10s 間の時間平均値、 $t = 240\text{s}$ から 10s 間の時間平均値に加え、フロントの侵入直前の時点で 1s 間の時間平均値も同時に図示している。 $t = 120\text{s}$ および $t = 240\text{s}$ の結果から、ゲート直下を通過する平均流速の分布の傾向は時間帯によって大きく変化しないことが確認できる。

この現象に関し、内部 Froude 数による評価を行う。内部 Froude 数は、その 2 乗の逆数が密度成層の安定度を表す Richardson 数と等価であり、またその 3 乗の値が連行係数と線形の関係にある⁶⁾。本研究では、式 (1) に定義した上層の内部 Froude 数 (F_{d2}) を用いた。

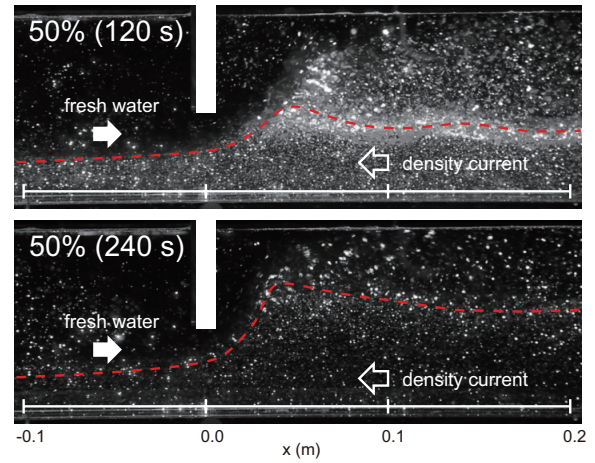


図-4 Case1（開度 50%），120s および 240s での密度界面

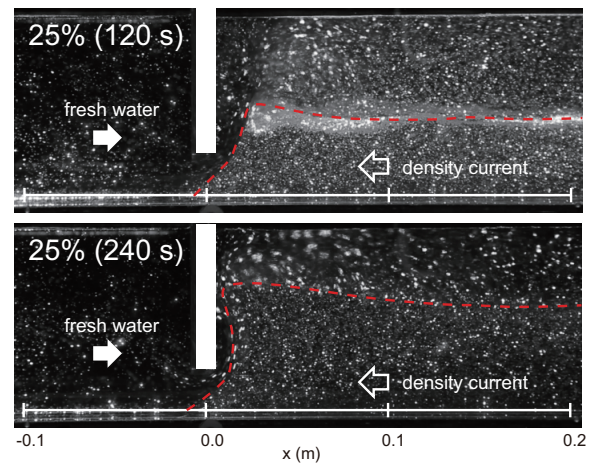


図-5 Case2（開度 25%），120s および 240s での密度界面

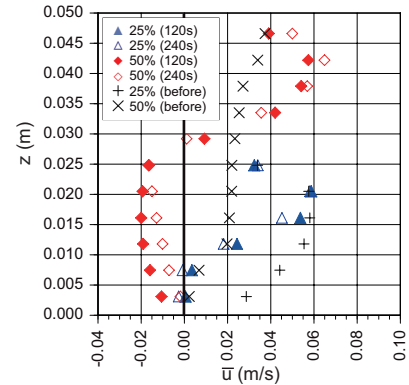


図-6 各 case のゲート直下における流下方向流速の鉛直分布

$$F_{d2} = \frac{|u_2|}{\sqrt{(\Delta\rho/\rho_2)gh_2}} \quad (1)$$

ここで添字 1 は下層、2 は上層における物理量を示す。また u_2 は流速の最大値とし、 ρ は密度、 $\Delta\rho$ は密度差 ($\Delta\rho = \rho_1 - \rho_2$)、 h は層の層厚を示す。図-6 に示されたゲート直下の Case1（開度 50%）120s の値から、上層の流速 (u_2) を最大値から 0.06m/s 程度とし、図-4 の目視から h_1 , h_2 をそれぞれ 0.033m, 0.017m とすると、式 (1) から上層の内部 Froude 数が $F_{d2} = 0.92$ となる。

この値が 1.0 に近いことから、Case1 のゲートの直下の
上層において上層は密度噴流領域 ($F_{d2} \geq 1.0$) に近く、
また内部界面に関して支配断面となっており、界面水
位の上昇が上流側に伝播せずスルースゲート下流に
限定されたと考えられる。

次に図-6 に示されたゲート直下の Case2 (開度 25%)
120s の値を用いた場合、上層の流速 (u_2) を最大値から
0.06m/s 程度とし、図-5 の目視から h_1 , h_2 をそれぞれ
0.008m, 0.017m とすると、式 (1) から上層の内部 Froude
数, $F_{d2} = 0.92$ を得る。これより、Case2 もゲート直下
で F_{d2} がほぼ 1.0 となり、支配断面に近い状態にあるこ
とが確認される。Case2 では開口部の高さが制限されて
いることから、Case1 との比較において上層が $F_{d2}=1.0$
となる際の h_1 の値が大きく低下し、塩水のゲート上流
への侵入層厚が小さく抑制され、密度噴流に近い上層
の流れがより底面に近い高さに存在していると考えら
れる。

また、吉川ら⁴⁾ は密度フロントの侵入を 1 次元数値
計算モデルで検討する際に、運動方程式中に密度界面
での抗力や底面での抗力他、式 (2) に定義された形状
抵抗による抗力の項, I_{f1} を導入し、フロント侵入速度
に関し計算精度の向上を果たしている。

$$I_{f1} = -\frac{if_1}{2gh_1} \frac{\Delta h_1}{\Delta x} (u_2 - u_1)|u_2 - u_1| \quad (2)$$

ここで if_1 は実験的に得られるフロントの形状抵抗係
数, $\Delta h_1/\Delta x$ は界面の局所的な勾配, h_1 は界面の局所的
勾配を得た箇所でのフロント層厚, $u_1 - u_2$ はフロント
界面における相対速度である。添字は、1 がフロント
を形成する塩水層, 2 がフロントの侵入していく淡水
領域を示す。本実験では、Case1 (開度 50%) の場合も
Case2 (開度 25%) の場合も、ゲート近傍に到達するま
での密度フロントの進行速度 (u_2 : 0.045m/s 程度)、層
厚 (h_1 : 0.02m 程度)、界面の勾配 ($\Delta h_1/\Delta x$: 1/1 以下)
共に、ほぼ同じ値を取ることが確認されており、式 (2)
に関しケース間で異なるのは、淡水の流下速度, u_2 の
値のみとなる。図-6 のフロント侵入直前の値の比較か
ら、Case1 においては $z=0.02$ m 付近で $u_2 - u_1 = 0.04$ m/s
程度、Case2 においては $u_2 - u_1 = 0.08$ m/s 程度となる。
実際にはこれらの値の 2 乗が抗力に比例することから、
ケース間での形状抵抗の差は大きいものと考えられる。
以上より、Case2 においてゲート近傍でのフロント周辺
の相対流速が上昇することで、フロントに働く形状抵
抗が上昇し、その侵入抑制に対し大きな影響を与えて
いることが推測される。

(2) 界面における連行

スルースゲートの下流側では、界面における組織構
造等によって下層から上層に塩水が連行され³⁾、これに
より水路に侵入した塩分が下流側に押し戻されている。
河道内に侵入した塩水の連行による排出は系内の塩分
量の収支上重要であり、連行現象に対するスルースゲ

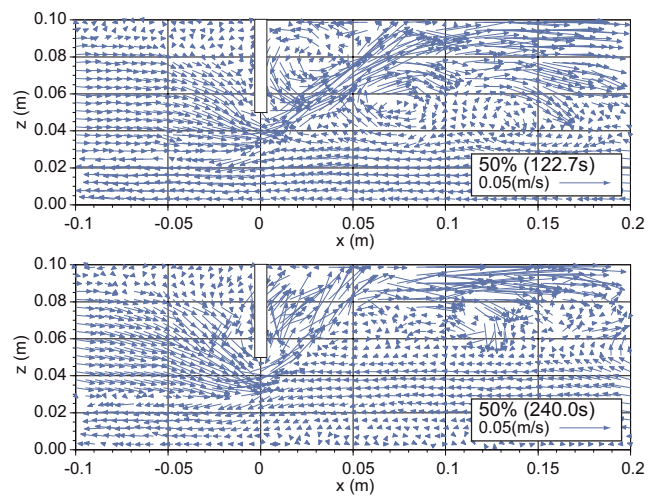


図-7 Case1 (開度 50%) における流下方向および鉛直方向流
速成分の瞬間ベクトル

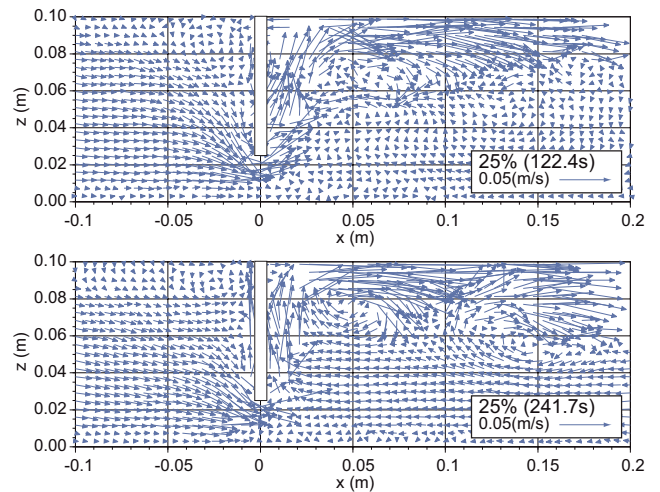


図-8 Case2 (開度 25%) における流下方向および鉛直方向流
速成分の瞬間ベクトル

トのもたらす影響の検討が必要とされる。このような
流れ場の構造による塩水遡上への影響の検討にあたり、
まず各ケースの鉛直縦断面における流下方向および鉛
直方向流速成分による瞬間的なベクトルを図-7 および
図-8 に示す。図-7 からは、Case1 (ゲート開度 50%) に
おいて、120s 前後ではゲート下から流れ出た上層水の
上流側と下流側に大きな渦が明確に生じていることが
確認出来る。渦の構造は界面上、流下方向に連続的に
存在している。また 240s 前後では、界面水位の上昇に
伴い、上層水のゲートからの吹き上げの角度が急にな
るほか、ゲート下流側近傍における渦の構造が 120s の
ものほど明瞭ではなくなっている。一方、図-8 の Case2
(ゲート開度 25%) の場合では、どちらの時間帯にお
いても上層水の吹き上げ角度は急であり、また下流側
近傍の渦の存在も Case1 の 120s の場合ほど明瞭では
ない。後述のスペクトル解析の結果とも合わせ、Case1 が
時間帯による乱れのスケールの変遷が大きいのに対し、
Case2 はどちらの時間帯も Case1 の 240s と近い傾向を

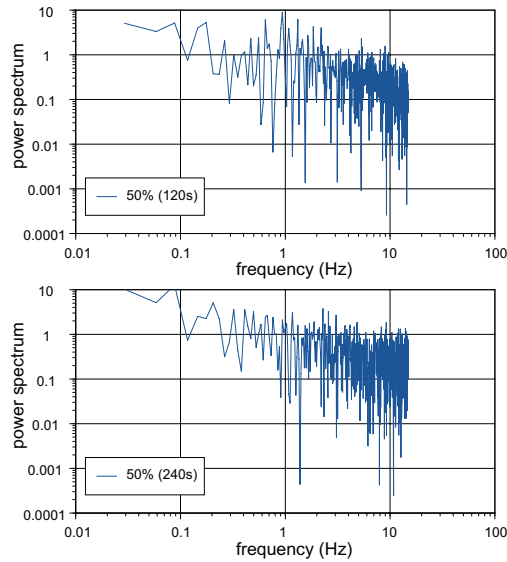


図-9 Case1（開度 50%）ゲート近傍の渦発生地点の流下方向流速変動成分に対するスペクトル解析

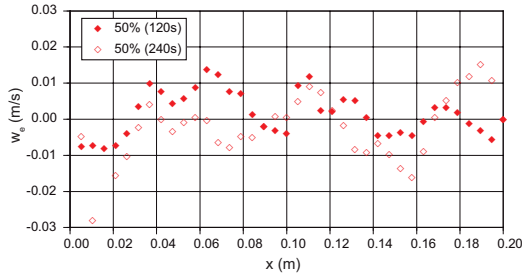


図-10 Case1（開度 50 %）での連行速度 w_e の流下方向分布

示したことから、以降は Case1 のみ取り上げて検討を行う。

図-9 は Case1 の 120s および 240s からの 10s 間の各時間帯における、ゲート最近傍の剥離渦近辺での u' に対するスペクトル解析結果である。結果から、時間が進むにつれてピークを有する周波数帯が、より高周波成分に移っていることが確認できる。図-7 の結果とも合わせ、Case1（ゲート開度 50%）の場合、スルースゲート近傍における下層水の連行に関わる乱れが、時間的、空間的に大きなスケールを持つものから、時間が経つにつれより小さなものに変化していることが示唆される。

連行現象を定量的に評価する際には、下層から上層に対する連行速度（ w_e ）が指標として用いられることが多い。本論では比較的大規模な流れ場の構造による連行を想定し、玉井⁷⁾により定義された連行速度から分子拡散の項を除いた式 (3) を用いてその評価を行う。

$$w_e = \frac{\partial h_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (U_2 h_2) \quad (3)$$

添字の 2 は上層を示し、 U は流下方向流速の鉛直平均値、 t は時間を表す。平滑化した流下方向流速の鉛直方向分布における変曲点を界面として、式 (3) を PIV の計測結果に対して数値的に用いる。得られた連行速度（ w_e ）を 10s 間の時間平均することで、Case1（ゲ

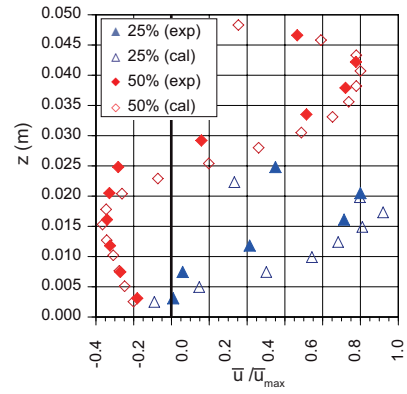


図-11 ゲート下における基準化された流下方向流速の鉛直分布に関する実験と計算の比較

ト開度 50%) に対して図-10 の結果を得た。この結果と図-7 の比較より、Case1 において大きな連行速度を有する領域が大規模な渦の存在する領域とほぼ重なることが確認できる。また 120s においてゲート最近傍の大規模な渦（ $x=0.05$ から 0.1m ）による連行が最大であったものが、240s においてはその強度が低下し、下流側での渦による連行が、相対的に重要となっていることが確認される。

5. 数値計算

ここでは、Case1（開度 50%）の実験結果に示されたゲート下流側乱流構造の開度や時間に応じた変遷の要因を定性的に検討するため、補足的に 3 次元 LES モデルによる数値解析を行った。モデルは、Boussinesq 型の浮力項を運動方程式に加えた LES モデルに、密度の移流拡散方程式を連立させたものである⁸⁾。計算では水路長のみ 8.0m に変更している。格子はゲート周辺の流下方向刻みを細かく取った（流下×横断×鉛直: $300 \times 40 \times 40$ ）。境界条件は、上流端から淡水を $0.0002\text{m}^3/\text{s}$ 流入させ、下流側では上層側を自由流出、下層側からは $0.0002\text{m}^3/\text{s}$ の塩水を流入させている（ゲート周辺の実験時の塩水流量が設定値より大幅に小さくなることから、適宜小さめの値を与えた）。

図-11 は、フロントのゲート到達から 60s 程度後の流下方向流速に関して、ゲート下の鉛直方向分布を実験と計算で比較したものである。ここで、流速は実験および計算の最大値（それぞれ 0.06m/s , 0.08m/s ）によって基準化されている。結果から、Case1（開度 50%）と Case2（開度 25%）での相対的な傾向などが再現されていることが確認される。定量的な再現性は現在のところ十分ではないが、これは流下方向の格子間隔の設定が一定でない点や、境界での流入、流出条件が、実験での複雑な状況を十分に反映出来ていない点などが原因として考えられる。

瞬間的な流れ場の構造を把握するにあたり、回転する渦の中心軸を圧力極小の等値面で可視化する λ_2 法⁹⁾を用いた。図-12 上図は計算結果における Case1（開

度 50%) のフロントのゲート到達 60s 後における λ_2 の等値面 ($\lambda_2 = -4.0$, 白色の等値面), 密度等値面 ($\rho = 1012.5\text{kg/m}^3$, 緑色の等値面), 鉛直断面での密度コンターを示し, 図-12 下図はそこから 70s 後の状況を示したものである. 上図においては, 特にゲート最近傍の剥離渦の軸が横断方向に一樣で 2 次元的な構造を有しているのに対し (図の赤枠内), 下図では横断方向の軸の形は奥行き方向の一樣性を失い (黄枠内), 2 次元的というよりは 3 次元的な様相を呈している.

図-13 は, 計算結果 (Case1: 50%) 中央縦断面における連行速度の流下方向分布の 10s 間の平均値を, ゲート到達後 60s と, そこから 70s 後について示したものである. 連行速度計算時の密度境界面の定義を, 密度 $1012.5(\text{kg/m}^3)$ で定義している. 図-10 との比較では, どちらも $x=0.05\text{m}$ から 0.1m にかけての連行速度が時間の経過とともに低下し, 相対的に下流側の連行速度が重要となる傾向が確認出来る. 図-12 との比較からは, ゲート到達後 60s における高い連行速度を有する $x=0.05\text{m}$ から 0.1m の領域が, 図-12 内の横断方向に一樣で 2 次元的な渦 (赤枠) とほぼ位置的に一致すること, またゲート到達後 130s では, 同じ領域での連行速度は低下しており, これは横断方向の一樣性を失った渦構造 (黄枠) と対応することが確認出来る.

これらより, Case1 (開度 50%) の 120s での下層水の連行が, 横断方向に一樣な軸を有する大規模な渦の構造に依存するのに対し, Case1 の 240s ではその渦が横断方向の一樣性を失い, 空間的, 時間的スケールが低下することで連行速度も低下したことが推測される.

6. まとめ

本研究では, 河口域での塩水遡上の制御を目的としたスルースゲートの利用を提案し, 室内実験によりその特性の検討を行った. 実験結果により, 密度フロントの進行が内部 Froude 数の影響を強く受けており, ゲートの開口部の調整によって, 下層水の層厚を押さえ, かつ上層の淡水層の内部 Froude 数が 1.0 を上回る状況を設定した場合, フロントの上流側への進行がほぼ抑制出来ることが確認された. すなわち, 塩水の遡上量に応じたゲート開度を設定することで, 弾力的な塩水遡上の制御が実現される可能性が示唆されたと考えられる.

またゲート下流側での界面に生じた渦による連行はゲートを通過した上層の流れの構造に依存し, 渦の空間的, 時間的スケールが大きい場合に, 連行速度が大きくなることが確認された.

参考文献

- 1) Jirka, G. H.: Supercritical withdrawal from two-layered fluid systems -Part 1: Two-dimensional skimmer wall, *J. Hyd. Res.*, Vol.17, No.1, pp.43-51, 1979.
- 2) 玉井信行, 廣沢佑輔, 福嶋祐介: 水門から侵入する非定常二層流について, 第 30 回年次学術講演会講演集, II, pp.442-443, 1975.

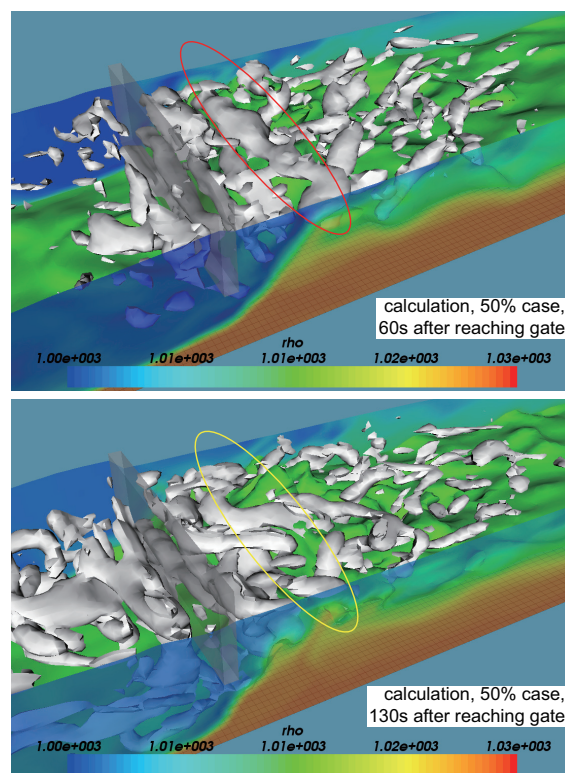


図-12 $\lambda_2 = -4.0$ の等値面 (白) で示された瞬間構造の回転軸, $\rho = 1012.5\text{kg/m}^3$ の等値面 (緑), および密度コンター

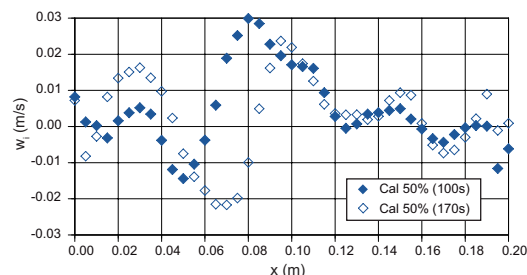


図-13 計算結果: Case1 (開度 50 %) の連行速度 w_e の流下方向分布

- 3) 浦 勝, 廣畑浩司: 二成層場の吹送流の乱流構造と連行現象, 第 31 回海岸工学講演会論文集, pp.650-654, 1984.
- 4) 吉川泰弘, 安田浩保, 渡邊康玄: 透過性構造物による塩水遡上抑制効果についての研究, 寒地土木研究所月報, No.657, pp.2-14, 2008.
- 5) 新谷哲也, 梅山元彦: PIV 法と画像処理を用いた成層水中の流動・混合解析, 水工学論文集, 第 48 巻, pp.1381-1386, 2004.
- 6) 有田正光 編著: 水圏の環境, 東京電気大学出版局, 1998.
- 7) 玉井信行: 連行概念の統一化と連行係数の評価法, 土木学会論文集, No.381/II-7, pp.1-11, 1987.
- 8) 赤堀良介: 密度フロント侵入抑止を目的とした堰周辺での 3 次元的な流れ場に対する検討, 水工学論文集, 第 54 巻, pp.1429-1434, 2010.
- 9) Jeong, J. and Hussain, F.: On the Identification of a Vortex, *J. Fluid Mech.*, Vol. 285, pp.69-94, 1995.

(2010.9.30 受付)