## 水門の開閉による塩水遡上制御に関する数値解析

鳥取大学大学院 正会員 松原 雄平 黒岩 正光 鳥取大学大学院 学生会員 田中 宏和

## 1.はじめに

鳥取県東部の湖山池と日本海を結ぶ湖山川では下流に設置されている水門を操作し河川に海水が流入するのを調節している.淡水と海水では密度差により密度流が発生し,また潮汐の影響による海水流入もある. 適切な水門操作を行い,水域周辺の環境を保つ必要があるが,そのためには水門周辺水域の流動場,密度場 をよく理解する必要がある.

しかしながら実際の現地スケールにおける観測や測定は極めて困難であり,また水門による影響も考慮しなければならない.そこで空間スケールが広範囲であっても比較的短時間かつ経済的に流動場と密度場を知ることが可能である数値シミュレーションの開発が必要不可欠となってくる.そこで本研究では,2次元多層レベルモデルを用いて鉛直2次元における潮汐流と塩素量による密度流計算を試みた.

#### **2.数値モデル**<sup>1)</sup>

本モデルの支配方程式は,連続式および2次元N-S方程式から導かれる.海水を非圧縮性粘性流体とした とき,水平方向に比べ鉛直方向の運動が十分小さいとして圧力を静水圧近似し,また浮力項でのみ密度変化 を考える Boussinesq 近時を適用し N-S 方程式を変形させたものを基礎式とした.状態方程式としては Knudsen の式を用いた.数値計算法として空間的には食い違い格子,時間的には陽解法を適用する.本手法 は,水平方向の微分項の離散化には有限差分法を,鉛直方向の微分項の離散化にも同様に有限差分法を適用 する.水平方向に有限差分法を適用することで複雑な固定境界(防波堤や水門の形状)が容易に認定可能で ある.また鉛直方向計算は水深に関わらず等分割として行うことが容易である.境界条件には,海底・海面・ 側方の境界条件を加えた.今回は差分において境界では中央差分をとることとし,それ以外の場合では上流 差分をとる.また熱収支を考慮せず,水温を一定とし,風による表面吹送流ならびにコリオリカはないもの とした.

# <u>3.湖山川のモデル地形による検証</u>

湖山川水門周辺と類似した地形モデルで塩水遡上の シミュレーションを行った.境界条件は両側方を開境 界とし,1つ手前の格子と同様の塩素量および流速を 与える.また左端開境界からは潮汐波を与え,周期12 時間の M2分潮のみを考えた正弦関数による水位変 動を与えた.その他の計算条件は表-1に示す通りであ る.本計算では水門の開閉度合いを変化させ4ケース 計算を行い,それぞれ塩水遡上の様子を考察する. Case1では水門が河川底より0.2m,Case2では0.5m, Case3 では0.8m まで開門しているとし,Case4 では 水門が全開しているとして計算を行った.

表-1 計算条件

項目	值
水平·鉛直方向格子数	151×41 (個)
水平方向格子幅∶dx	50 (m)
鉛直方向格子幅∶dz	0.1 (m)
刻み時間∶dt	0.1 (sec)
<b>水平渦動粘性係数</b> : h	0.1 (m <sup>2</sup> /sec)
鉛直渦動粘性係数: z	0.00001 (m <sup>2</sup> /sec)
水平拡散係数∶Kx	0.01 (m <sup>2</sup> /sec)
鉛直拡散係数∶Kz	0.00001 (m <sup>2</sup> /sec)
海底摩擦係数: b	0.001
振幅	0.35 (m)
潮汐周期	12 (時間)
初期水温∶T	15 ( )
初期塩素量∶S	0.0 (‰) (淡水)
総計算ステップ	3,456,000step (96時間)

図 1(a)~(d)は各ケースにおける計算開始90時間後(上げ潮時)の流れ場と塩素濃度の空間分布を示したものである.これらの図から,密度流および潮汐の影響を受けすべてのケースにおいて水門下層付近の流速は河川流入方向となっている.また流速の大きさは水門の開度により異なりCase1のように水門の開度が小さいと流速は大きくなり逆にCase3のように水門の開度が大きいと流速は小さくなることが分かる.満潮時でも上げ潮時とほぼ類似した結果となった.



図-1 計算開始 90 時間後(上げ潮時)における流れ場と塩素濃度分布

なお,下げ潮時ではすべてのケースにおいて水門下層付近の流速は河川流出方向となっていること,上げ潮時同様に,流速の大きさは水門の開度により異なり水門の開度が小さいと流速は大きくなり,水門の開度が大きいと流速は小さくなることが確認されている.時間の経過とともに,密度場においては潮汐の影響を受け湖山池方向へと塩水が流入する様子が確認された.そして時間が進行するにつれて湖山池では徐々に塩素量濃度が高くなっていくことも確認できた.最後に,図-2は計算開始90時間後の水門開閉度と塩素到達距離との関係を示したもので,到達距離は塩素濃度が15‰の先端を到達距離としている.この図から,明らかに水門の開閉度が大きくなるにつれて到達距離は長くなっていることがわかる.

以上の結果より,今回の計算条件では,密度流に比べ潮汐による影響の方が大きいと推察することができる.そして塩素量分布および流速分布は×,z方向の渦動粘性係数および拡散係数の値が特に影響を与えており,今後は湖山川に適した渦動粘性係数および拡散係数の値を推測し数値計算を行う必要がある.

## <u>4.おわりに</u>

本研究では鉛直2次元での数値計算を行ったが,現地ス ケールでのより正確な流動場,密度場を把握するためには 本モデルを3次元に拡張し,それに加え今回の数値計算で は考慮していない熱収支による影響,風の影響,密度場に 影響を及ぼす湖山池からの淡水流入等を考慮した潮流計算, また水門の開閉を刻み時間毎に計算可能なプログラムを組 み込むことにより,実際の現象を正確に再現することがで き,本モデルがより有意義となり,実用可能になっていく と考えている次第である.



図-2 水門開閉度と塩分到達距離との関係(90時間後)

<参考文献>

1) 横山長之(1993),海洋環境シミュレーション 水の流れと生物 ,白亜書房, pp.85~103