

中央大学理工学部 学生員○野田 哲哉 中央大学大学院 学生員 高橋克人
中央大学理工学部 正 員 日比野 忠史 中央大学理工学部 正 員 山田 正

1. はじめに

北海道東部地方の網走湖は網走川の河口から約7 kmに位置する汽水湖である。著者らは昭和62年からこの湖の観測を行ってきた。観測結果からこの湖は湖面水位と潮位の差が小さく網走川を塩水が遡上することから湖内は上層に淡水、下層に塩水(無酸素水塊である)の二成層を形成し、近年その塩淡水境界位置は上昇している傾向がある¹⁾。現在までの観測から、この塩淡水境界位置の上昇は網走地方における降水量の減少による河川流量の変化が大きな原因の一つであることを指摘している²⁾。本研究は河川流量の減少に伴う塩水の遡上距離の増大に着目し、その第一段階として塩水遡上現象を定常状態における一次元数値計算で表現することを試み、観測値との比較検討を行ったものである。

2. 網走川における塩水楔遡上の観測

図1は1992/8/10～8/12と1992/10/17～10/19の2回の各観測地点(表1)における河床付近の塩分濃度変化である。この図より明らかに満潮時すなわち河川流量が減少するとともに塩水の遡上がおこり、その形状は楔型であることが分かる(図2)。ここで10月の観測では塩水は大曲橋まで明らかに遡上してきているが、8月の観測では前日に網走地方では(65.5mm/day)の降雨があったために河川流量が増加し、塩水が大曲橋まで遡上することはなかった。塩水の遡上は流量の変化に大きく依存していることが分かる。

3. 基礎式の導出と計算式

塩水楔の基礎方程式は図3に示す座標を設定し、密度の異なった2層の流れの場で上層、下層についてそれぞれ連続式・運動量方程式を用いて導いた(表2)。定常計算において上層流れのみを考慮し(1)式において $u_2=0$, $F_{12}=0$ とおき i_{11} を代入して(3)式が得られる。(3)式をルンゲ・クッタ法を用いて計算した。

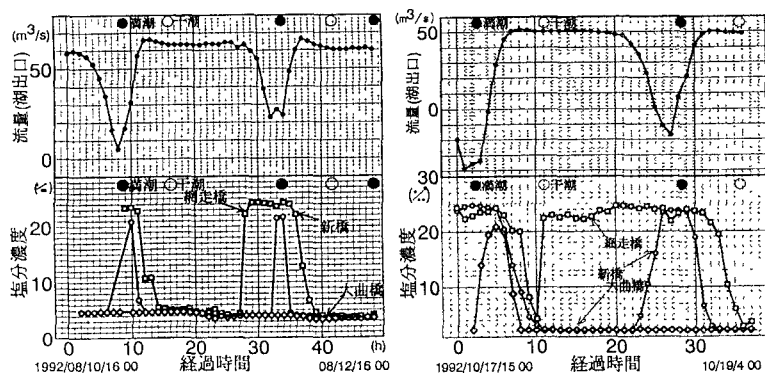


図1 大曲地点における流量と各橋の塩分濃度の時間変化

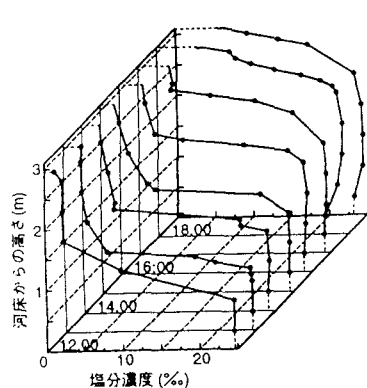


図2 網走橋での海水遡上(1992/10/18)

表1 観測地点

観測地点	河口からの距離(km)
網走橋	0.7
新橋	1.7
大曲橋	5.3
大曲地点	7.0

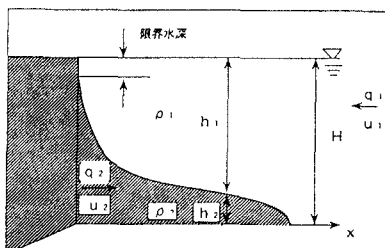


図3 塩水楔モデル図

水面勾配は境界面勾配に比べ非常に小さいため水面を水平とみなした。塩水流入域全体に渡って水深 H を網走川河口部における水深 4m とした。河床勾配は河口部において非常に小さいため 0 とした。淡水と塩水の密度を $\rho_1 = 1.00\text{g/cm}^3$ 、 $\rho_2 = 1.02\text{g/cm}^3$ とした。河口 ($x=0$) において淡水の水深は限界水深になると仮定し、初期条件として限界水深を与えた。なお本計算においては、連行及び各層の密度変化については考慮していない。

4. 計算結果及び考察

流量に対する塩水楔の侵入長は界面抵抗係数 f_i を変えることにより異なる。係数 f_i については現在まで多くの研究者により提案されているが、一般的に (4) 式で表されている。図4は塩水侵入長と湖出口 (河口から 7km) の単位幅流量との関係である。なお計算に用いた界面抵抗係数の a 、 n は表3に示されている。●は8月、■は10月の観測結果を示している。図中①、②は既存の f_i 値 (金子, 須賀) を用いた計算結果である。この抵抗値を用いると、網走川では塩水侵入長が過大に計算されていることが分かる。この他にも数パターンの既存の抵抗値を用いて計算を行ったが、いずれも網走川の場合には適さないことが分かった。そこで網走川の観測結果と一致するように界面抵抗係数の a 、 n の値を変えて計算した結果が図中③、④、⑤に実線である。 n の値を小さくすると抵抗係数の変化が急激になり、結果として実測にあってくる。しかし、湖出口付近での塩水の挙動について詳しく再現することが難しい。

5. まとめ

観測の結果より塩水楔の流入距離は流量の変化に大きく依存していると思われる。計算の結果より f_i の値のとり方により塩水くさびの流入距離は大きく変化することが分かる。観測値では塩水楔の到達距離に対して流量に多少の幅を生じるため、定常での表現にはさらに観測値を増やした検討が必要である。湖に流入する塩水量と湖からの流出水量を詳細に計算するには、上下流端の境界が時間的に変動する事が塩水楔の挙動が流量に敏感に反応することから、定常計算には限界がある。今後はさらに塩水くさびの遡上現象について非定常状態における数値解析を行っていく予定である。

参考文献: (1) 桑嶋知哉 平野道夫 宮島滋近 山田正: 北海道網走湖への海水流入に関する現地観測, 水文・水資源学会1993年研究発表会要旨集, pp. 128-129, 1993. (2) 高橋克人 平野道夫 山田正: 網走湖の長期変動傾向に関する研究, 水文・水資源学会1992年研究発表会要旨集, pp. 50-53, 1992.

表2 基礎方程式

$$\begin{aligned} \frac{dh_1}{dx} &= \frac{-F_{12}^2(1-i_{f1}) + \frac{1}{4}(i_{f2}-i_{f1})}{1-F_{11}^2-F_{12}^2+\epsilon F_{11}^2 F_{12}^2} \quad (1) \quad F_{11}^2 = \frac{q_1^2}{\epsilon g h_1^3} \quad \text{内部フルード数} \\ \frac{dh_2}{dx} &= \frac{-F_{11}^2(i-i_{f2}) + \frac{1}{4}(i_{f2}-i_{f1})}{1-F_{11}^2-F_{12}^2+\epsilon F_{11}^2 F_{12}^2} \quad (2) \quad F_{12}^2 = \frac{q_2^2}{\epsilon g h_2^3} \\ i_{f1} &= f_1 \frac{(u_1-u_2)|u_1-u_2|}{2gh_1} \quad \epsilon = \frac{\rho_2-\rho_1}{\rho_1} \\ i_{f2} &= f_2 \frac{u_2|u_2|}{2gh_2} - f_1 \frac{(u_1-u_2)|u_1-u_2|}{2gh_2} \quad \text{境界面における摩擦勾配} \\ f_b &: \text{水路床における抵抗係数} \quad u_1, u_2: \text{流速} \\ f_i &: \text{境界面における抵抗係数} \quad q_1, q_2: \text{単位幅流量} \\ & \quad h_1, h_2: \text{各層の水深} \\ \frac{dh_1}{dx} &= \frac{-f_i u_1^2 (\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2})}{2g(\epsilon - \frac{u_1^2}{gh_1^3})} \quad (3) \\ f_i &= a \Psi^{-n} \quad (4) \quad \Psi = R_e F_d^2 \quad R_e = \frac{q}{\nu} \quad F_d^2 = \frac{q_2}{\epsilon g h^3} \end{aligned}$$

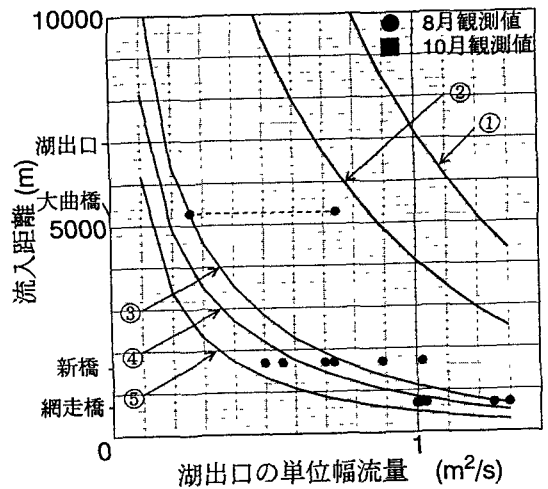


図4 大曲地点における単位幅流量と塩水楔流入距離の関係

表3 係数 a 、 n の値

	a	n
①	0.2	0.5
②	0.35	0.5
③	0.65	0.44
④	0.85	0.44
⑤	0.65	0.4