

中央大学理工学部 正 員 池永 均 中央大学理工学部 正 員 山田 正
 北見工業大学工学部 正 員 内島 邦秀 中央大学大学院 学生員 大島 伸介
 中央大学大学院 学生員 向山 公人 中央大学理工学部 学生員○近藤 浩一

1. はじめに：網走湖は、網走川の河口（オホーツク海）から約7km上流の感潮域に位置する湖である。この湖は上層が淡水、下層が塩水（無酸素水塊）の二成層を形成し、近年界面（塩淡水境界）位置が上昇傾向にある。著者らは、塩淡水境界位置の上昇が網走地方の降雨量の減少に起因していることを明らかにしてきた¹⁾。そこで、本研究では塩水が湖へ流入する際に湖からの淡水流出量が塩水遡上距離に及ぼす影響を調べるため実地形を取り込んだ塩水楔の定常計算をおこなった。

2. 計算条件：座標軸は図1のように設定し、基礎式は下層部の流速 $v_2=0$ としてベルヌーイの式と連続式から得られた(1)式である。地形データは大正3年と昭和42年のデータを用いた。この二つのデータの大きな相違点は下流の分岐部分の有無である（図2参照）。実地形の取り込み方は縦断、横断方向ともに200mごとの既存のデータをもとにした。前者においては最深河床縦断形状から近似式を求め、後者においてはデジタイザーを用いて水位に対する断面積 A 、径深 R 、川幅 B をそれぞれ求め近似式として利用した。界面抵抗係数に関する経験式は表1に示す式を用いて計算した。河床粗度係数 n_b は大正3年の実地形では分岐部分を0.03その他の部分を0.02とし、昭和42年の実地形では全て0.02を用いた。河口における境界条件は、内部フルード数を0.98として用いている。ただし、流量は網走川の満潮時のデータの範囲($1 \sim 10 \text{ m}^3/\text{s}$)を用いている。

3. 計算結果：図3, 4は湖からの淡水流出量と最大塩水遡上距離を示したものである。それぞれを比較すると曲線の形状がほぼ同一であるため実地形の影響は無いものと考えられる。また①、②の曲線では湖からの淡水流出量が増加すると最大塩水遡上距離は減少する。これに対し③、④の曲線では湖からの淡水流出量が増加すると最大塩水遡上距離は増加するという不合理な結果となっている。すなわち界面抵抗係数に関する経験式 $f_i = a\psi^{-n}$ の n の値が $2/3$ 以下の場合（須賀・高橋の式、金子の式）では満潮時の実現象が再現できたが、 n の値が $2/3$ より大きい場合（岩崎の式、椎貝の式）には満潮時の実現象は実現できなかったといえる。

4. 界面抵抗係数の一考察：界面抵抗係数に関する経験式は一般に(2)式で表される。ここに a 、 n は定数である。(3)式の ψ はレイノルズ数 R と内部フルード数の二乗 F_r^2 をかけ合わせたものであり無次元数である。ここで(3)式を単位幅流量 q を用いて表すと(4)式となる。 ψ は q の変化に対して淡水部分の水

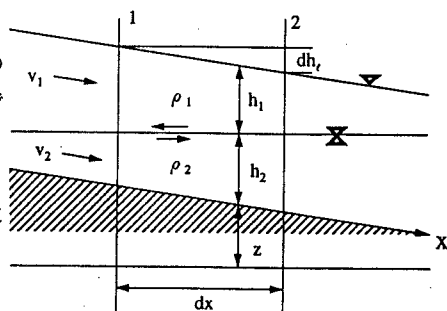


図1座標軸の設定

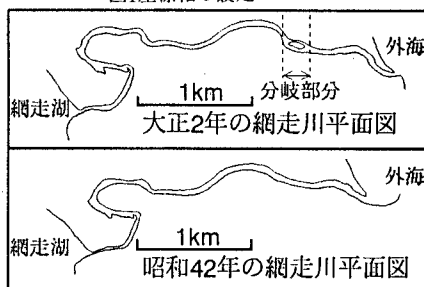


図2 網走川における河道の変化

$$\epsilon \frac{dh_1}{dx} - \alpha \frac{Q^2}{2g} \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{A_1^3} \right) + (f_{f1} - f_{f2}) = 0 \quad (1)$$

Q : 河川流量 h_1 : 上層水深
 f_{f1}, f_{f2} : 摩擦勾配 A_1 : 上層の断面積

$$f_i = a\psi^{-n} \quad (2)$$

$$\psi = Re Fr^2 \quad (3)$$

$$\psi = \frac{q^3}{\nu \epsilon g h^3} \quad (4)$$

$$\psi \propto q^3 \quad (5)$$

$$f_i \propto q^{-3n} \quad (6)$$

$$\tau = \frac{\rho f_i}{2} \left(\frac{q}{h} \right)^2 \quad (7)$$

$$\tau \propto f_i q^2 = q^{2-3n} \quad (8)$$

深 h の変化は小さく τ は q のみに依存するとして(5)式の関係を得る。(5)式を(3)式に導入すると(6)式のように書くことができる。一方、境界面に働くせん断力 τ を単位幅流量 q を用いてあらわすと(7)式となる。ここで、 τ が f_i と q に依存すると考えることができるので、(8)式となる。一般に流量が増加するほど、境界面に働くせん断力が増加すると考えられるので、(8)式の q に関するべき乗の項が正の値を取らなければならない。したがって、 n のとりうる値は $n < 2/3$ の範囲である。ゆえに、界面抵抗係数に関する経験式 $f_i = a \phi^{-n}$ の n の値は $2/3$ 以下を満たさなければならない。また、界面抵抗係数に関する経験式 $f_i = a \phi^{-n}$ の n の値を $2/3$ とすれば τ が一定となるので、最大塩水遡上距離は界面抵抗係数に関する経験式($f_i = a \phi^{-n}$)の n の値が $2/3$ 以下の場合と比べ、単位幅流量の変化に対して変動が小さく、ほぼ一定の値となる。このことは椎貝、澤本らによって明らかにされている通りの結果と一致する⁴⁾。ただし n の値が $2/3$ より大きい岩崎の式及び椎貝の式は式の導出過程において前者はジェットの実験、後者は内部波のエネルギー消散から得られた式であり、上記の仮定は適用できず、比較するには不適当である。

表1 界面抵抗係数に関する経験式

$f_i = a \phi^{-n}$	著者
$f_i = 1.29 \psi^{-2/3}$	須賀・高橋
$f_i = 0.2 \psi^{-0.5}$	金子
$f_i = 7.88 \psi^{-0.8356}$	岩崎
$f_i = 12 \psi^{-1}$	椎貝

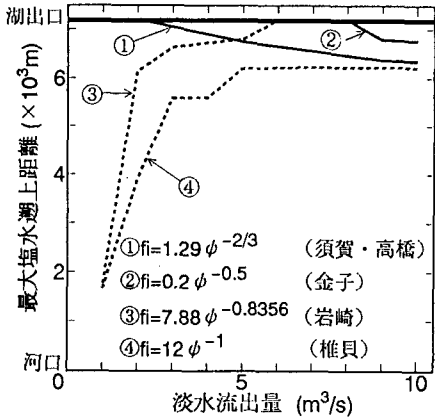


図3 湖からの淡水流出量と大正3年の最深河床縦断面形状と横断面を用いた塩水遡上距離

- ①では $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下で湖に侵入
- ②では $8.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下で湖に侵入
- ③では $6.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上で湖に侵入

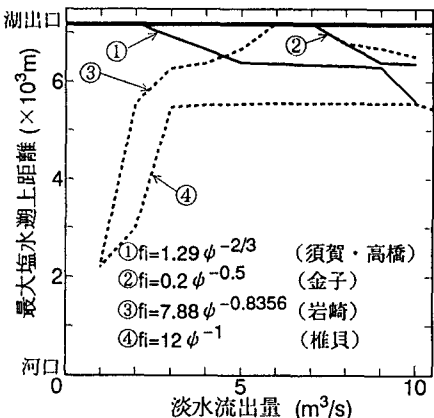


図4 湖からの淡水流出量と昭和42年の最深河床縦断面形状と横断面を用いた塩水遡上距離

- ①では $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 以内で湖に侵入
- ②では $7.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 以内で湖に侵入
- ③では $6.0 \sim 7.2 \text{ m}^3/\text{s}$ で湖に侵入

5. まとめ: 1)大正3年と昭和42年の実地形を用いた定常の計算結果では同一流量に対し、最大塩水遡上距離はほぼ同一であり、下流の分岐の有無は塩水遡上距離に影響を及ぼさない。2)網走川において、界面抵抗係数に関する経験式($f_i = a \phi^{-n}$)の n の値が0より大きく $2/3$ 以下の範囲内にあるときに、実現象を再現できる。3)界面抵抗係数に関する経験式 $f_i = a \phi^{-n}$ の n の値が $2/3$ のとき、最大塩水遡上距離は界面抵抗係数に関する経験式($f_i = a \phi^{-n}$)の n の値が $2/3$ 以下の場合と比べ、単位幅流量の変化に対して変動が小さく、ほぼ一定の値となる。

謝辞:本研究は、文部省科学研究費(試験研究(b))(1)、研究代表者 山田 正)の補助を受けて行われた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献:1)桑嶋知哉・高橋克人・宮島滋近・平野道夫・山田正:塩淡水成層を形成している網走湖の塩水の流出入に関する研究,水工学論文集第37巻,pp. 305~312, 1993. 2)金子安雄:二層流境界面抵抗係数の一例,第13回海岸工学講演会論文集, pp263~pp267, 1966. 3)須賀堯三・高橋晃:塩水楔に関する大型水路実験による二・三の考察,第26回年次学術講演会論文集Ⅱ, pp137~140, 1971. 4)Hiroyosi SIIGAI, Masaki SAWAMOTO: Experimental and Theoretical Modeling of Saline Wedges, pp. c4-1~c4-8, IAHR13th, 1969.