

# 石狩川における塩水楔の形状特性に関する研究

Study on shape-characteristics of salt wedge in the Ishikari river

室蘭工業大学大学院 ○学生員 山田昌義 (Masayoshi Yamada)  
室蘭工業大学 フェロー 藤間聡 (Satoshi Tohma)  
海面上昇化問題研究会

## 1. はじめに

比較的潮位差の小さい日本海側に位置する石狩川は、弱混合型の河川であることが知られている。弱混合型の河川では、塩水楔の進入距離が他の混合型に比べ長くなることが多く、海水が他の混合型に比べ薄まることなく河川上流に遡上するため、河川水を利用して各種用水に対して、他の混合型よりも大きな悪影響を及ぼすと考えられる。そのため、塩水楔の形状をできるだけ正確に把握することは重要な課題である。

また、地球温暖化によって海水面が上昇した場合、塩水楔の遡上距離や河川に対する総塩水流入量が増加することが予測され、塩水楔が河川水の流下を妨げることが懸念される。

本研究は、石狩川に存在する塩水楔の形状を正確に推定し、さらに、表層を流れる河川流が塩水楔によって水位上昇を生ずるかを明らかにすることを目的とする。

## 2. 塩水楔の遡上距離

図-1は、石狩川での塩水楔の実測データである。河口部から約26km上流にある新石狩大橋付近まで塩水楔が遡上している。塩水楔の遡上距離は運動方程式や連続式などから求めるのが一般的な手法であるが、石狩川についてこの方法を適用すると、図-1にも見られるように河口より約8km上流に狭窄部が存在するため、それによって遮られ、塩水楔の長さを推定する際に困難を伴う。そこで、本研究では実測の流量と塩水楔長の相関関係を用いて、流量から塩水楔長を求める。塩水楔遡上距離の限界は、海面の水位が河床高と一致する位置と河口との距離であり、石狩川では $L'=55km$ である。これを基準値として塩水楔長 $L$ を除いたものを無次元塩水楔長 $L_* = L/L'$ とする。また、実測において塩水が河川に遡上しない流量 $Q'$ を基準値として流量 $Q$ を除き、それを無次元流量 $Q_* = Q/Q'$ とする。図-2は実測の無次元流量 $Q_*$ 、無次元塩水楔長 $L_*$ を図示したものである。無次元塩水楔長 $L_*$ と無次元流量 $Q_*$ の関係の回帰式として次式を仮定する。

$$L_*^m + Q_*^n = (L/L')^m + (Q/Q')^n = 1 \quad (1)$$

ここに、 $m, n$ はパラメータであり、実測データを用いて最適同定すると、

$$m = 0.30, n = 1.05$$

となる。(1)式より、流量から塩水楔長を求めることができる。

## 3. 塩水楔の形状

本章では、塩水楔の形状を(1)式によって得られる塩水楔長 $L$ と河口部で生ずる限界水深 $hc$ を用いて推定する。

図-3に示す長方形断面を有する河川において、水面形は次式で与えられる<sup>1)</sup>。

$$\frac{dh_1}{dx} = f_i \frac{q_1^2}{\epsilon g h_1^3} \left( \frac{h}{h-h_1} \right) \left/ \left( 1 - \frac{q_1^2}{\epsilon g h_1^3} \right) \right. \quad (2)$$

ここに、下付き添字1は河川流に関する水理量を示す。 $f_i$ は摩擦損失係数、 $q_1$ は単位幅流量、 $g$ は重力加速度、 $h$ は河川水深、 $h_1$ は淡水深を示す。また、 $\epsilon = (\rho_2 - \rho_1) / \rho_2$ 。ただし、河川水の密度を $\rho_1$ 、海水の密度を $\rho_2$ とする。図-3のA点とB点はそれぞれ河口部、塩水楔先端部にあたる。A点では限界水深が生じ、これは(2)式の分母=0に相当する。一方、B点では $h-h_1=0$ となり、A、B点いずれにおいても水面勾配は無限大となる。塩水楔の形状を算定する場合には上記の条件を取り入れなければならない。B点において図-3のように $\xi, \eta$ をの局所座標系を設定し、条件を満たす式は下式で与えられる。

$$\alpha \eta^3 + \beta \eta^2 - \xi = 0 \quad (3)$$

$\alpha, \beta$ はA点とB点の座標値から求める。

(3)式から塩水楔の形状を算定すると、図-4のように

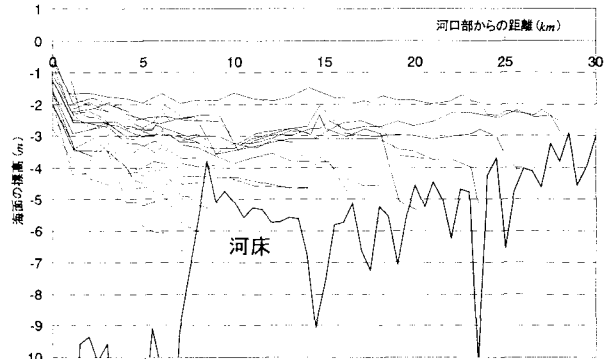


図-1 石狩川における塩水楔

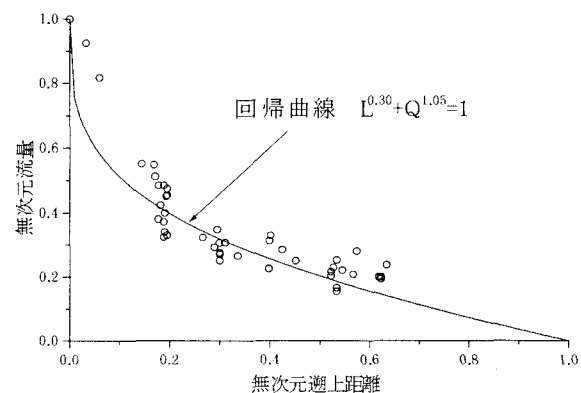


図-2  $L_*$ と $Q_*$ の相関関係

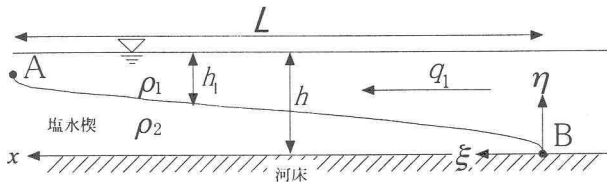


図-3 塩水楔の概念図

なる。なお、実測値は1997年7月24日のものである。計算値は変動成分までは表しきれないが、実測値とほぼ一致しているといえる。

#### 4. 石狩川の水深計算

図-4に示した塩水楔長28km、流量157m<sup>3</sup>/sの時の水面形を求める。

図-5に示す河口から7km地点の断面において、河川水の接する面は河川の両側面①、③と塩水との内部境界面②である。①、③では河川側面の粗度の影響を受けるのに対し、②では塩水との粗度の影響を受ける。

②の摩擦粗度として流体間摩擦損失係数 $f_i$ には実験式である金子式を用いる<sup>2)</sup>。

$$f_i = 0.2(\text{Re} \cdot \text{Fr}^2)^{-1/2} \quad (4)$$

ここに、 $\text{Re}$ は河川流のレイノルズ数、 $\text{Fr}$ は河川流の内部フルード数である。①、③の粗度にはマンニングの粗度係数 $n$ を用い、 $n=0.03$ とする。計算の基準となる河口部水深は、1997年7月24日の平均潮位を用いる。

#### 5. 計算結果と考察

河川の水面形を求めるため、1997年7月24日の観測流量157m<sup>3</sup>/sを使用する。また、比較のため流量300、450m<sup>3</sup>/sの計算をあわせて行う。一般に、流量の多いときほど水位は上昇すると考えられる。従って、上記各流量に対して塩水楔の形状を固定したまま河川流の不等流計算を行い、水面の位置の比較をする。この計算結果を図-6に示す。同図から河口から28km地点付近まで水面はほぼ水平であり、流量が増加しても水位は上昇しないことが認められる。これは塩水楔と河川流の間に生じる流体間摩擦が河床との摩擦に比べ、著しく小さいためであると考えられる。

図-7は上記各流量の流速分布を示す。同図中の流速差 $a, b, c$ の比は、 $b/a=0.88, c/a=0.89$ であり、両者はほぼ1に等しい。従って、塩水楔が存在する領域では、流量の比が速度の比とほぼ等しい。このことから、流量が増加するとき、同一断面では水位が流速が上昇するが、塩水楔の遡上した領域では流速のみが変化し、水位はほとんど変化しない。

#### 6. 結論

- 1). 塩水楔の形状は実測値から  $\alpha\eta^3 + \beta\eta^2 - \xi = 0$  を用いて推定することができる。
- 2). 塩水楔の上を流れる河川水の水深は、流量を変化させてもほぼ一定値になる。

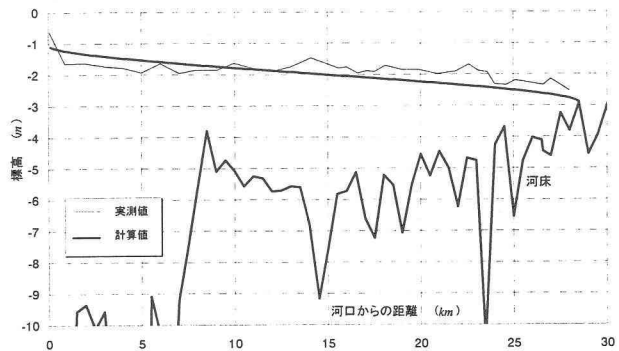


図-4 実測値と計算値の比較 (1997年7月24日)

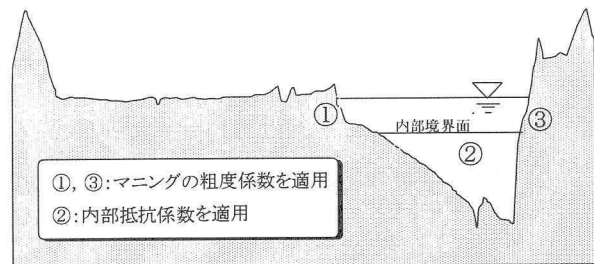


図-5 石狩川の断面図 (河口から7km)

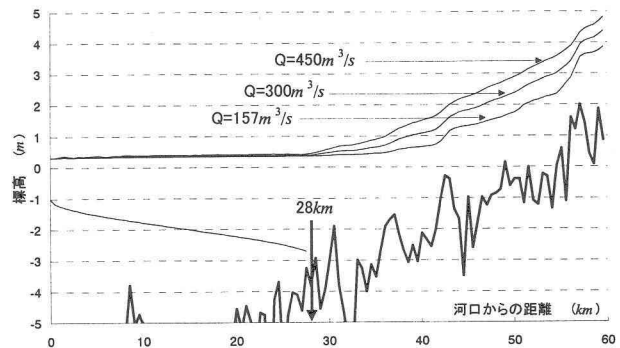


図-6 不等流計算結果

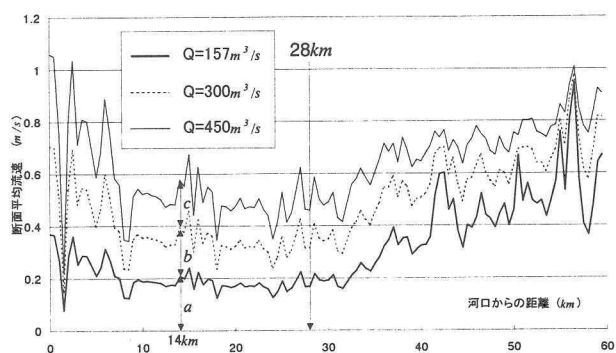


図-7 各流量での流速分布

#### 参考文献

- 1) 椿東一郎: 水理学Ⅱ, 基礎土木工学全書7, pp196-203, 1974.
- 2) 玉井信行: 新体系土木工学 22 密度流の水理, 土木学会編, pp127-144, 1980.