

(14) 石狩川河口の密度流—1. 定常塩水楔と河水石の塩分濃度

北大工学部 正員 工博 O 大坪 喜久太郎
北大工学部 正員 工博 岸 力

1. 石狩川の塩水楔と調査の目的 石狩川の海水侵入の型は日本海の潮汐が小さいため H. Stommel のいう典型的な弱混合型塩水楔である。石狩川河口に海水が侵入する限界流量は筆者らの調査で約 500 m³/s と見積られた。これは石狩河口では1年のうち200日以上海水が侵入することを意味する。特に北海道では梅雨がないから6~8月のかんがい期に流量が少なく、石狩川下流農地ではしばしば塩害をうけている。本文では塩害対策を考える基礎資料として(1)塩水楔の侵入距離および形と河川流量との関係、(2)河水石の塩分濃度の距離的变化を調べた。

2. 塩水楔の侵入距離および形と河川流量との関係 弱混合型の塩水楔では楔表面に働く剪断力が求まれば侵入距離と形がきまる。J. Schijf & J. Schönfeld は Chézy 型まきつ係数 C_i を用い剪断力 τ_i を次式であらわした。

$$(1) \quad \tau_i = \rho_m g u_i^2 / 4 C_i^2 \quad ; \quad \rho_m = \frac{1}{2}(\rho_1 + \rho_2), \quad \rho_1 = \text{河水石の密度}, \quad \rho_2 = \text{海水石の密度}, \quad u_i = \text{河水石の流速}$$

(1) 式を用いれば定常塩水楔の運動の式は

$$(2) \quad \varepsilon g \frac{dh_1}{dx} + u_i \frac{du_i}{dx} + \frac{g u_i^2 D}{4 C_i^2 h_1 (D - h_1)} \quad ; \quad \varepsilon = (\rho_2 - \rho_1) / \rho_2, \quad h_1 = \text{河水石の水深}, \quad D = \text{全水深}$$

(2) 式を連続の式を用いて書きかえらるゝ

$$(3) \quad dh_1/dx = \left[1 / \left(\varepsilon g - \frac{q^2}{B^2 h_1^3} \right) \right] \left[\frac{q^2}{B^3 h_1^2} \frac{dB}{dx} - \frac{g q^2 D}{4 C_i^2 B^2 h_1^3 (D - h_1)} \right]$$

こゝに $B = \text{川巾}$, $q = \text{河川流量}$

石狩川における福島観測結果を用いて C_i および τ_i を(5)式から計算した一例を表-1に示す。

$q = 283 \text{ m}^3/\text{s}$ 表-1 石狩川における C_i および τ_i の一例

河口からの距離(km)	11.5	11.0	10.5	10.0	9.5	9.0	8.5	8.0	7.5	7.0	6.5	6.0
$C_i^2 \times 10^{-4} (\text{m/s}^2)$	3.0	3.0	2.0	3.0	2.0	1.0	3.0	3.0	0.68	0.90	0.50	1.0
$\tau_i \text{ (dyne/cm}^2\text{)}$	0.15	0.15	0.23	0.16	0.25	0.51	0.18	0.18	0.84	0.66	1.22	0.66

表-1 によれば C_i および τ_i は一つの

楔についても一変値ではないが河口近くを除いた前半部では比較的一定値に近い。本文の調査目的からすれば楔の前半部の形に実用があるのであるから、流量毎に C_i あるいは τ_i に一変値を与えてもよさそうである。そのような場合には楔形の計算には(3)式によるよりは H. Farmer & G. Morgan の方法を用いるのが便利である。これは一断面の水路で楔表面の剪断力を一変として、楔形を次式で与えるものである。

$$(4) \quad \alpha \cdot C \cdot \frac{x}{D} = \frac{1}{6} n_{20}^2 (3 - 2n_{20}) - \alpha \left\{ n_{20} / (1 - n_{20}) + \ln (1 - n_{20}) \right\}$$

こゝに $\alpha = q^2 / (\varepsilon g B^2 D^3)$, $C = \tau_i / \rho_2 (q^2 / B^2 D^2)$, $n_{20} = h_2 / D$, $h_2 = \text{海水石の水深}$, $D = \text{全水深}$

$x = \text{楔の先端から下流向きに測った距離}$

表-2 石狩川における C の値

$q (\text{m}^3/\text{s})$	270	283	288	293	355
$\alpha \times 10^2$	4.12	4.73	4.90	5.08	7.11
$C \times 10^4$	0.69	1.01	1.43	3.42	7.10

石狩川では $B = 200 \text{ m}$, $D = 6 \text{ m}$ とした時の C の値は表-2 のようになった。観測楔形と(4)式による計算値とを比較して図-1に示す。河口近くを除いた楔の前半部は表-2 の C の値でかなりよくあらわされることがわかる。

また図-1において流量が $300 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下であれば河水の水深 h_1 の距離的変化は極めて緩慢で、(2)式の左辺の3項のうち $D/(D-h_1)$ はほぼ一定値とみられる。したがって(2)式の左辺の3項を $(9U_1^2/C_f^2 h_1)$ とおけば楔形は(5)式で与えられる

$$(5) \quad -x = \frac{C_f^2}{g} h_1 \left[\frac{1}{4} \left(\frac{h_1}{h_c} \right)^3 - 1 + \frac{3}{4} \left(\frac{h_1}{h_c} \right)^{-1} \right] \\ = \frac{C_f^2}{g} h_1 \cdot F \left(\frac{h_1}{h_c} \right)$$

(5)式中 h_c は河口の表層水深で $h_c = \sqrt[3]{q^2/\varepsilon g B^2}$ である。(5)式の楔形と実測値とを比較して図-2に示した。流量が小さいときの楔形は(5)式でも算定できることがわかる。(5)式では全水深 D を必要としない利点がある。

3. 河水の塩分濃度 塩水楔の上を河水が流下するときごく僅か乍ら下層の海水が混入する。農業用水としての許容塩分量は作物の種類、季節によって異なるが稲に対しては1‰前後とされている。G. H. Keulegan は下層海水の混入速度 v を次式で与えている。

$$(6) \quad v \approx KU_1 = 3.5 \times 10^{-4} \cdot U_1$$

2層流体の質量および体積保存の式と

(6)式とから(7)式が得られる。

$$(7) \quad \varepsilon = \varepsilon_0 \exp \left[-\int_{x_0}^x (K/h_1) dx \right], \quad \varepsilon_0 = x_0 \text{ での } \varepsilon$$

(7)式の関係を用いて石狩川の観測結果から K の値を計算すると表-3のようになる。 K の表-3 海水の混入速度係数 K の値 ($x: \text{km}$) 値は河口からの距離について指数的に変化するとともに

$q (\text{m}^3/\text{s})$	250	300	350
$K \times 10^5$	$1.18e^{-0.22x}$	$5.12e^{-0.22x}$	$2.80e^{-0.22x}$

流量によっても変るこことがわかった。また石狩川の K の値は(6)式に示した Keulegan の実験値よりかなり小さい結果となった。

4. 石狩川の異常塩分濃度 筆者らは実測値と前述の解析結果とをあわせて石狩川の表層塩分濃度図、図-3を得た。図-3によれば石狩川の塩分濃度に關し次の結論が得られる。

- (1) $q < 480 \text{ m}^3/\text{s}$: 海水が楔状に河川内に入る
- (2) $q < 360 \text{ m}^3/\text{s}$: 生振揚水場(8.2km)の底層の塩分濃度が25‰をこえる。
- (3) $q < 240 \text{ m}^3/\text{s}$: 生振揚水場の河水層の塩分濃度が1‰をこえる。

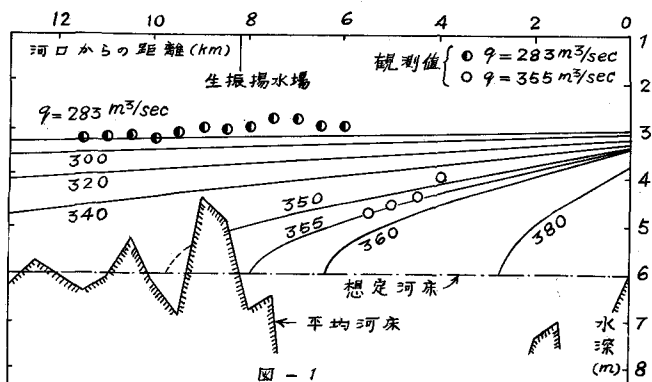


図-1

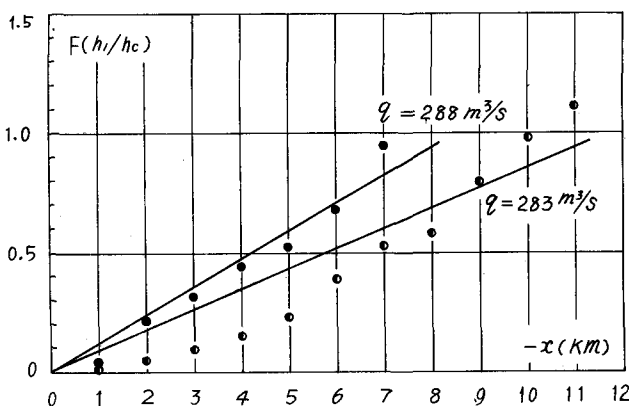


図-2

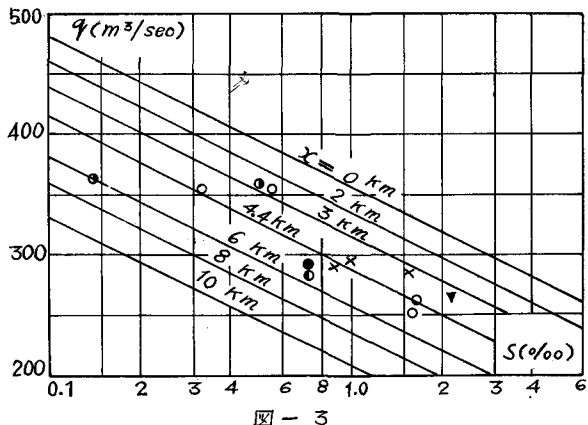


図-3