

神通川河口の塩水くさびについて

中 村 宏*・稲 松 敏 夫**

1. ま え が き

わが国では一般に潮差の小さい日本海に流入する河川の河口では、弱混合型の河口密度流（河口二層流）を生じ、また潮差の比較的大きい太平洋に流入する河川の河口では、緩混合型ないしは強混合型の河口密度流を生ずる。

近年、河川感潮部からの工業用水あるいは農業用水の取水に関連して、各地で河口密度流の調査が行なわれているが、その多くは太平洋側の緩混合型ないしは強混合型の密度流についてのもので、日本海側の河川の弱混合型の密度流についての調査は石狩川など二、三の河川を除いてあまり行なわれていないようである。

富山湾に流入する神通川の河口 左岸には、北陸電力 K K の富山火力発電所が作られている。すでに 1, 2 号機は営業運転をしているが、さらに 3, 4 号機が完成すれば総出力 752 000 kW となる。富山火力発電所の復水器冷却水は河口より約 680 m 上流左岸で取水し、冷却水として使用され

た後は、神通川西方の古川沿いに設けられた放水路を経て富山湾に放水される。冷却水の使用量は現在のところ最大約 10 m³/sec であるが、3, 4 号機が完成すれば、最大 24.1 m³/sec となる。富山火力発電所の冷却水取水口とは異なり、河口部に設けられ、かつその呑口数は

通常、淡・塩水境界面より低いところにあるため、河海両水を取水している。このため、発電所の運転および保守上の資料を得る目的で、昭和 37 年以来神通川の水質調査および塩水くさび調査を行なっているので、これまでの調査結果をとりまとめて報告する。

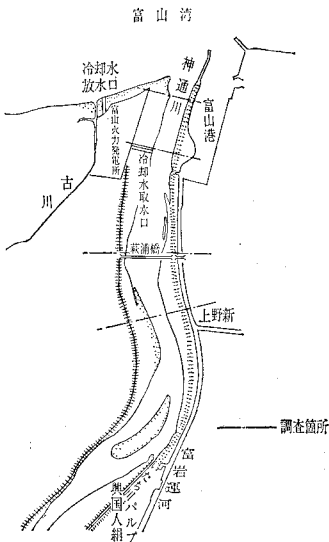
2. 神通川の河口について

神通川は富山平野の中央部を流れ、富山湾に注ぐ北陸有数の河川であって、その河口の右岸には富山港がある。神通川の河口部の幅は約 220 m、水深は最大約 6 m 程度であるが、河口外には、河川の延長線上に「あいがめ」とよばれる海谷があり、海底は急に深くなっている。河口より約 700 m 沖で水深は約 100 m に達している。河口右岸は富山港の西突堤であるが、河口左岸には砂洲

表—1 神通大橋流量観測所の記録

	最大流量 (m ³ /sec)	豊水量 (m ³ /sec)	平水量 (m ³ /sec)	低水量 (m ³ /sec)	渴水量 (m ³ /sec)	最小流量 (m ³ /sec)	年平均流量 (m ³ /sec)
昭和 33 年	3 896.0	277.9	194.3	119.5	49.3	19.6	236.0
34 年	2 962.8	269.4	187.7	144.3	77.6	60.4	235.4
35 年	2 601.2	200.4	145.4	95.8	59.8	40.9	165.1

図—1 神通川河口付近平面図



が張り出していて、これは冬から春にかけて長くなり、春から秋にかけて短くなる。

神通川河口部の流量は、河口から約 7.7 km 上流にある建設省の神通大橋流量観測所の記録によれば、表—1 のとおりである。

富山湾の潮位は、富山港における観測結果によれば、表—2 のとおりであって潮差はきわめて小さい。

表—2 富山港潮位

既往最高潮位	+0.980 m
略最高潮位	+0.440
大潮平均高潮位	+0.320
小潮平均高潮位	+0.280
平均水位	+0.220
小潮平均低潮位	+0.160
大潮平均低潮位	+0.120
基本水準面	±0.000
東京湾中等潮位	-0.020

3. 塩水くさびの実測結果

(1) 河川流量の測定と流速分布

河川流量は実測結果を整理する場合、基本量となるものである。エックマン・メルツ流速計によって流速分布を測定して求めた。流量測定は調査の初期には富山火力発電所冷却水取水口付近で行なったが、後には河口から 2 350 m 上流の上野新において行なった。

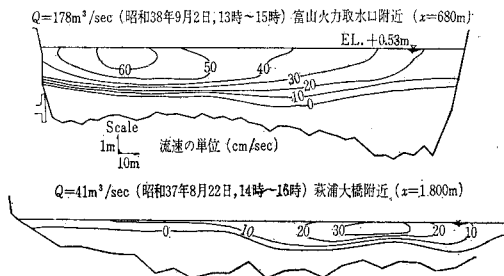
流速分布測定結果の一例を示すと、図—2 のとおりで

* 正会員 財団法人 電力中央研究所

** 正会員 北陸電力 K K

あって、富山火力取水口付近では平時、水面下 2~3 m に流速が 0 となるところがあり、これは淡・塩水境界面にほぼ一致している。

図-2 流速分布測定例

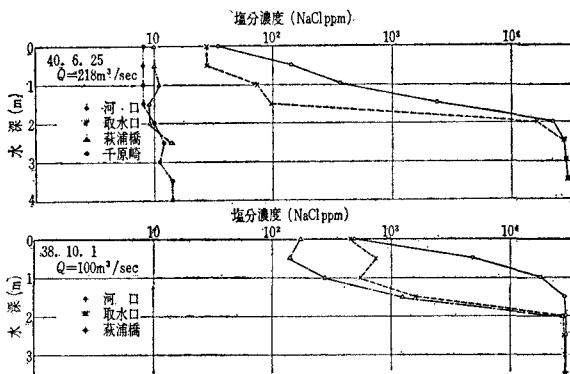


(2) 塩分濃度分布

塩分濃度の測定は河口、富山火力取水口地点、荻浦大橋地点(河口から 1800 m)、千原崎(河口から 2800 m)、いたち川合流点(河口から 3300 m)の五地点で行なった。塩分濃度は採水した試料を硝酸銀滴定法によって分析して求めた。また電気伝導度の測定を併用した。

塩分濃度の測定結果の例を示すと図-3のとおりであって、淡水・塩水は成層をなしていて、両層の間には密度勾配の大きな遷移層が形成されている。淡水層の塩分濃度は河川流量が小さくなるほど、また河口に近くなるほど大きくなる。

図-3 塩分濃度鉛直分布測定例



(3) 水温分布

富山火力発電所冷却水取水口付近の水温の鉛直分布を季節別に示すと図-4のようになる。春は淡水層・塩水層の水温がほぼ等しいが、他の季節は塩水層の方が水温が高く、塩分濃度分布と水温分布とはよく似た分布形状をなしている。昭和 37 年から昭和 40 年までの 3 年間の測定結果から水温の年間変化を求めると図-5になる。図-5は大略の傾向を示すものであるが、淡・塩二層の水温差が最も大きくなるのは 10 月~12 月で、その値は 7~8°C である。

図-4 富山火力冷却水取水口付近における水温の鉛直分布

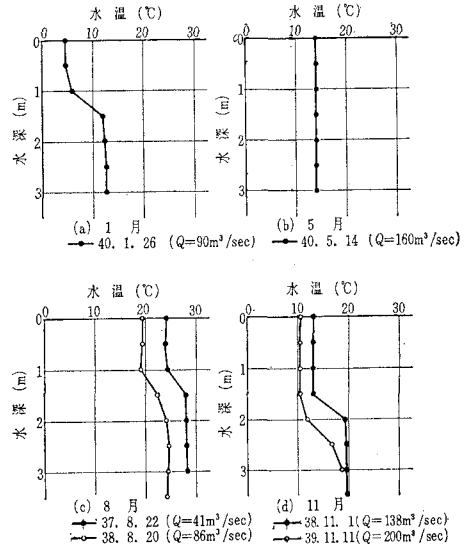


図-5 富山火力冷却水取水口付近河川水温の年間変化

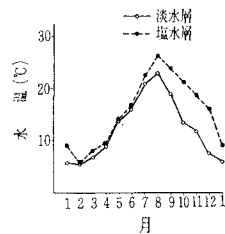
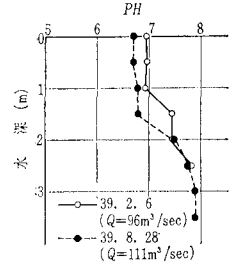


図-6 富山火力冷却水取水口付近河川水 pH の鉛直分布



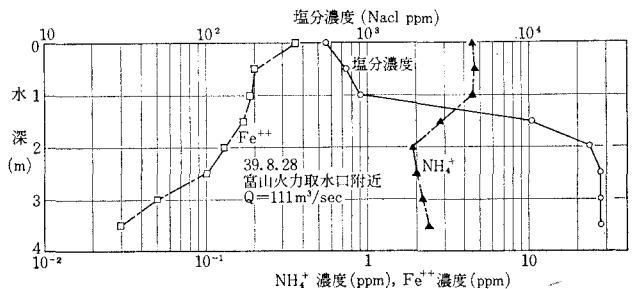
(4) pH の分布

水温の鉛直分布と同様に、pH の鉛直分布も塩分濃度の鉛直分布とよく対応している。pH の測定結果の一例を示すと図-6のとおりであって、一般に淡水層は塩水層より pH の値が小さい。

(5) その他

NH_4^+ および Fe^{++} の鉛直分布の測定結果の一例は図-7のとおりである。 NH_4^+ の分布は塩分濃度分布とよく対応している。

図-7 塩分濃度その他鉛直分布の測定例



4. 二層境界面の抵抗係数

塩水くさびの形状・長さを求めるには淡水・塩水境界面の抵抗係数を知る必要があり、抵抗係数の評価を誤れば、計算によって得られる塩水くさびの形状・長さは実際とは異なったものとなる。

二層境界面の抵抗係数は

$$\tau_i = \rho k_i |u_1 - u_2| (u_1 - u_2) \quad \dots\dots\dots (1)$$

によって定義されている。

ここで、 τ_i ：二層間せん断力、 k_i ：抵抗係数、 u_1 ：淡水層の平均流速、 u_2 ：塩水層の平均流速、 $\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$ 、 ρ_1 ：淡水密度、 ρ_2 ：塩水密度である。

抵抗係数は二層境界面の安定性に関係する無次元数、クーリガン数 $\theta = \frac{1}{R_e F_{ri}^3}$ の関数と考えられている。ここで $R_e = \frac{u_1 h_1}{\nu}$ ：淡水層のレイノルズ数、 $F_{ri} = \frac{u_1}{\sqrt{g h_1}}$ ：淡水層の内部フルード数、 h_1 ：淡水層水深、 g ：重力加速度、 ν ：動粘性係数、 $\epsilon = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2}$ である。

岩崎博士は二層流体の実験結果から、抵抗係数とクーリガン数との関係を求め、

$$k_i = 3.940 \left(\frac{1}{\theta} \right)^{-0.8356} \quad \dots\dots\dots (2)$$

なる実験式を提案している¹⁾。また椎貝博士は、抵抗係数は二層境界面に生ずる内部波によって影響を受けると考えて、抵抗係数とクーリガン数との関係を理論的に求め、

$$k_i = 6\theta \quad \dots\dots\dots (3)$$

なる理論式を提案している²⁾。

実際の河口内では塩水層と淡水層の間には密度勾配の大きい遷移層を生じ、この部分は密度の異なる流れが層状に重なって、境界面の状態が複雑となる。このような実際の河口内での境界面抵抗係数がどのような値にな

るかについて神通川塩水くさびの実測結果から算定を行なった。

塩水くさびを定常的なものと考え、かつ塩水層は静止しているものとみなして、抵抗係数の値を、浜田博士の得た³⁾

$$k_i = \frac{-\left(1 - \frac{u_1^2}{\epsilon g h_1}\right)}{\frac{u_1^2}{\epsilon g h_1} \frac{H}{H - h_1}} \frac{\partial h_1}{\partial x} \quad \dots\dots\dots (4)$$

によって求めた。

淡水層の厚さ h_1 は鉛直方向の流速分布、塩分分布、水温分布等から推定した。淡水層と塩水層との中間には密度勾配の大きい遷移層が形成されるが、 h_1 の値としては、流速が 0 となるまでの深さ、塩分濃度が海水の塩分濃度となるまでの深さ、および温度勾配が 0 となって一定の海水水温となるまでの深さをとった。 $\partial h_1 / \partial x$ は二地点の淡水層水深の差を地点間距離で除した値を用いることとし、抵抗係数を求める地点の上下流について $\partial h_1 / \partial x$ の値を求め、その平均値をその地点の $\partial h_1 / \partial x$ とした。ただし富山火力取水口付近の場合は下流の測定点が河口であって、河口は限界水深を生ずる特異な地点であるから、抵抗係数を求める際の $\partial h_1 / \partial x$ の値として富山火力取水口付近——荻浦大橋付近間の $\partial h_1 / \partial x$ を用いた。複雑な断面形を有する実河川で全水深 H をどのようにとったらよいかが問題となるが、ここでは H の値としてその地点の平均水深をとった。また u_1 を求める際の河川幅としては水面幅をとった。

以上のようにして求めた抵抗係数 k_i の値をクーリガン数 θ に対してプロットすると 図-8 のようになる。図-8 には既往の実測値および実験値も併記した。神通川塩水くさびの二層間抵抗係数は $10^{-4} \sim 10^{-2}$ の範囲にあり、石狩川塩水くさびの二層間抵抗係数 $8 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-4}$ よりかなり大きい。

最小自乗法によって抵抗係数とクーリガン数との関係を求めると、

$$k_i = 2.114 \theta^{0.7117} \quad \dots\dots\dots (5)$$

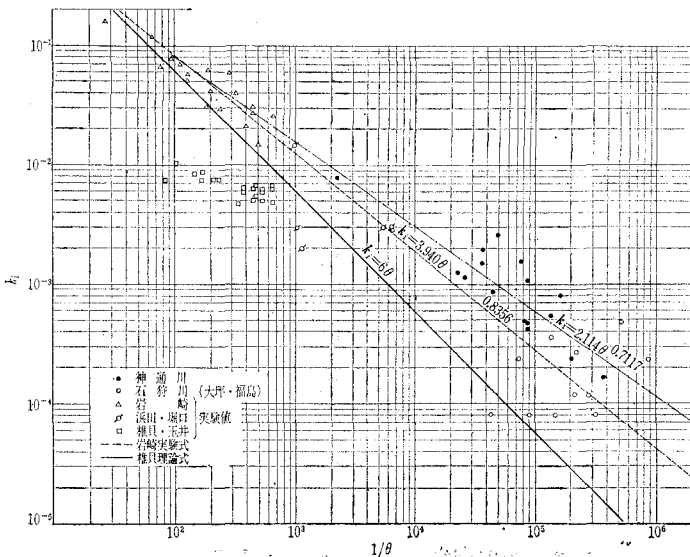
となる。

5. 河口の限界水深

二層流の形成される水路で、河口のように、水路の断面が急激に拡大するところでは、段波状の内部波がそこに静止し、流れがある一つの条件を満足するように制御される。この条件は内部フルード数 $F_{ri} = u_1 / \sqrt{g h_1}$ がほぼ 1 に等しいということであるとされている。

この条件は Stommel らが誘導したものであるが、これは二次元流について求められたもので、一様な長方形断面水路の場合

図-8 クーリガン数と抵抗係数との関係



には成立するが、複雑な断面形を有する実河川の河口においては、これは近似的に成り立つ条件である。

一様な一般断面形水路について、河口において成立する条件を求めると以下に示すようになる。

定常化した二層流体の運動方程式および連続の式は、

$$\left. \begin{aligned} \frac{dh_1}{dx} + \frac{dh_2}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\frac{\alpha u_1^2}{2g} \right) + (i_1 - i_b) &= 0 \\ (1-\epsilon) \frac{dh_1}{dx} + \frac{dh_2}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\frac{\alpha u_2^2}{2g} \right) &+ (i_2 - i_b) = 0 \\ Q_1 &= u_1 A_1 \\ Q_2 &= u_2 A_2 \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

ここで、 $i_1 = \frac{\tau_i}{\rho_1 g h_1}$, $i_2 = \frac{\tau_b - \tau_i}{\rho_2 g h_2}$, τ_i : 境界面のせん断力, τ_b : 河床のせん断力, i_b : 河床勾配, α : 流速補正係数, Q_1 : 上層流量,

Q_2 : 下層流量, A_1 :

上層流水断面積,

A_2 : 下層流水断面積

である。

式(6)の第3式,

第4式を第1式, 第

2式に代入して, 速

度水頭の項を消去し, かつ $\alpha = 1.0$ とし, さらに一様な水路では, $A_1 = f_1(h_1, h_2)$, $A_2 = f_2(h_2)$ と表わすことができることを考慮すると,

$$\left. \begin{aligned} \left(1 - \frac{Q_1^2}{g A_1^3} \frac{\partial A_1}{\partial h_1} \right) \frac{dh_1}{dx} &+ \left(1 - \frac{Q_1^2}{g A_1^3} \frac{\partial A_1}{\partial h_2} \right) \frac{dh_2}{dx} = i_b - i_1 \\ (1-\epsilon) \frac{dh_1}{dx} &+ \left(1 - \frac{Q_2^2}{g A_2^3} \frac{\partial A_2}{\partial h_2} \right) \frac{dh_2}{dx} = i_b - i_2 \end{aligned} \right\} \dots (7)$$

が得られる。

水面幅を T , 二層境界面の幅を T_i とすれば,

$$\frac{\partial A_1}{\partial h_1} = T$$

$$\frac{\partial A_1}{\partial h_2} = T - T_i$$

$$\frac{dA_2}{dh_2} = T_i$$

である。

一般断面形水路の

一様流体の流れについて行なわれているように, 上層水深 D_1 および下層水深 D_2 を,

$$D_1 = \frac{A_1}{T}, \quad D_2 = \frac{A_2}{T_i}$$

とし, 上層のフルード数, 下層のフルード数をそれぞれ

$$Fr_1 = \frac{u_1}{\sqrt{g D_1}}, \quad Fr_2 = \frac{u_2}{\sqrt{g D_2}}$$

で表わせば, 式(7)は,

$$\left. \begin{aligned} (1 - Fr_1^2) \frac{dh_1}{dx} + \left\{ 1 - Fr_1^2 \left(1 - \frac{T_i}{T} \right) \right\} \cdot \frac{dh_2}{dx} &= i_b - i_1 \\ (1 - \epsilon) \frac{dh_1}{dx} + \left\{ 1 - Fr_2^2 \right\} \frac{dh_2}{dx} &= i_b - i_2 \end{aligned} \right\} \dots (8)$$

となる。

式(8)の x についての微分項の係数によって作られる行列式が0となること, すなわち

$$\begin{vmatrix} 1 - Fr_1^2, & 1 - Fr_1^2 \left(1 - \frac{T_i}{T} \right) \\ 1 - \epsilon, & 1 - Fr_2^2 \end{vmatrix} = 0 \dots \dots \dots (9)$$

が河口で成立する条件である。

上層の内部フルード数, 下層の内部フルード数をそれぞれ

$$Fr_{r1} = \frac{u_1}{\sqrt{\epsilon g D_1}}, \quad Fr_{r2} = \frac{u_2}{\sqrt{\epsilon g D_2}}$$

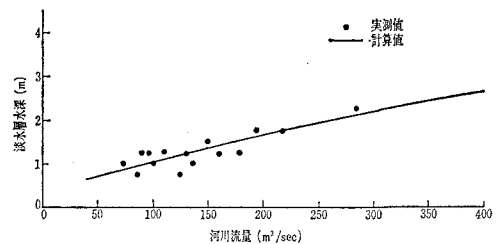
と表わし, かつ $Fr_{r2} = 0$ とおけば, 式(9)は

$$Fr_{r1} = \left\{ \epsilon + (1 - \epsilon) \frac{T_i}{T} \right\}^{-1/2} \dots \dots \dots (10)$$

となり, これが一様な一般断面形水路の河口の水利条件を与える式である。

神通川の河口について, 式(10)によって求めた限界水深と実測によって得られた河口限界水深とを比較すると, 図-11 のようになり, 計算値と実測値とはよく一致している。

図-11 河口限界水深

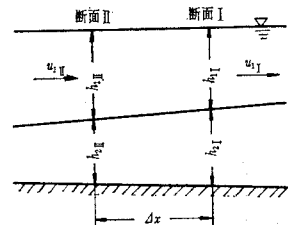


6. 塩水くさびの形状

式(6)より

$$\epsilon \frac{dh_1}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\frac{\alpha u_1^2}{2g} \right) + (i_1 - i_2) = 0 \dots \dots \dots (11)$$

図-12



Δx はなれた二断面における量に添字 I, II をつけて, 式(11)を階差の形で表わせば,

$$\left(\varepsilon h_{1I} + \frac{u_{1I}^2}{2g}\right) - \left(\varepsilon h_{1II} + \frac{u_{1II}^2}{2g}\right) = (i_1 - i_2) \Delta x \quad \dots\dots\dots(12)$$

となる。ただし $\alpha=1.0$ とした。

実河川では淡水層水深が大きくなると、淡水層の接する側岸、河床の影響をも考慮しなければならない。この場合は

$$i_1 = \frac{k}{gR_1} u_{1I}^2, \quad i_2 = -\frac{k_i}{gR_2} u_{1II}^2$$

ただし、 R_1 ：淡水層の径深、 R_2 ：塩水層の径深、 k ：二層境界面の抵抗係数と側岸および河床の抵抗係数との平均抵抗係数である。

Pavlovsky, Mühlhofer, Einstein および Banks らの方法によって k を求めれば、

$$k = k_i \frac{P_i}{P_b + P_i} + \frac{n^2 g}{R_1^{1/3}} \cdot \frac{P_b}{P_b + P_i} \quad \dots\dots\dots(13)$$

図-13 神通川塩水くさびの形状

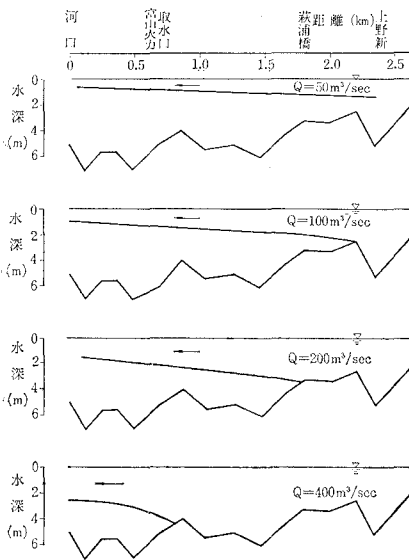
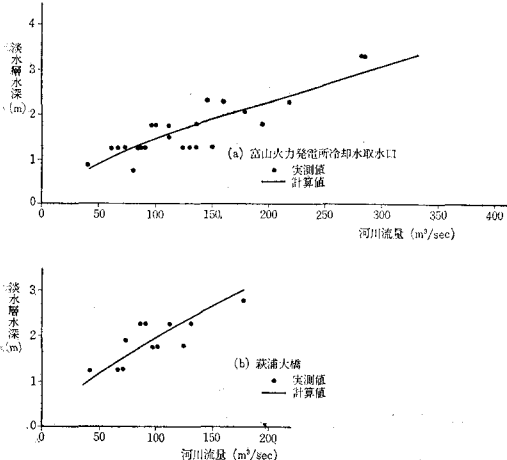


図-14 河川流量と淡水層水深との関係



ただし、 P_i ：二層境界面の長さ、 P_b ：淡水層の接する側岸および河床の長さ、 n ：側岸および河床の Manning の粗度係数である。

したがって、

$$i_1 - i_2 = \frac{K(R_1 + R_2)}{gR_1R_2} u_{1I}^2 \quad \dots\dots\dots(14)$$

ただし、

$$K = \frac{k_i R_1 + \left(k_i \frac{P_i}{P_b + P_i} + \frac{n^2 g}{R_1^{1/3}} \cdot \frac{P_b}{P_b + P_i} \right) R_2}{R_1 + R_2} \quad \dots\dots\dots(15)$$

式 (12) の $(i_1 - i_2)$ には断面 I における値と断面 II における値の平均をとれば、

$$(i_1 - i_2)_{I \sim II} = \frac{1}{2g} \left\{ \frac{K_I (R_{1I} + R_{2I})}{R_{1I} R_{2I}} u_{1I}^2 + \frac{K_{II} (R_{1II} + R_{2II})}{R_{1II} R_{2II}} u_{1II}^2 \right\} \quad \dots\dots\dots(16)$$

式 (16) を式 (12) に代入すれば、

$$\begin{aligned} \varepsilon h_{1I} + \frac{Q_{1I}^2}{2gA_{1I}^2} \left\{ 1 - \frac{K_I (R_{1I} + R_{2I})}{R_{1I} R_{2I}} \Delta x \right\} \\ = \varepsilon h_{1II} + \frac{Q_{1II}^2}{2gA_{1II}^2} \left\{ 1 + \frac{K_{II} (R_{1II} + R_{2II})}{R_{1II} R_{2II}} \Delta x \right\} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(17)$$

となる。

河口の淡水層水深を式 (10) によって求め、式 (17) を用いて求めた神通川塩水くさびの形状は 図-13 のとおりである。ただし、二層境界面の抵抗係数は式(5)によって求めた。神通川河口部の河床の粗度係数としては $n=0.025$ を採用した。また $\varepsilon=0.02$ とした。

富山火力発電所冷却水取水口付近および荻浦大橋における淡水層水深の実測値（塩分濃度が約 10 000 NaCl ppm となる水深）と計算値とを比較したのが 図-14 で、両者は比較的よく一致している。

7. 淡水層の塩分濃度

河口内に二層流を生ずる場合、ある一地点の淡水層平均塩分濃度は、河川流量、風速、潮汐がこの順に影響し、特に河川流量の影響が大きいいとわれている⁴⁾。ここでは淡水層平均塩分濃度によぼす河川流量の影響について検討してみる。

下層塩水の層上層淡水への混入は二層境界面の安定性に関係があり、Keulegan は下層塩水が上層淡水へ混入してゆく速度 U_m について、つぎの実験式を提案している。

$$U_m = c(U_1 - 1.15 U_c) \quad \dots\dots\dots(18)$$

ただし、 U_1 ：淡水層平均流速、 U_c ：二層境界面が不安定となる淡水層限界流速、 $c = 3.5 \times 10^{-4}$ ：混合量係数である。

大坪博士・福島博士は式 (18) が実際の河口内でも成立すると仮定して、淡水層の塩分濃度の変化を表わす式

として、

$$\frac{S_{2x}-S_{1x}}{S_{20}-S_{10}} = \exp \left\{ - \int_{x_0}^x \left(\frac{c}{h_1} \right) dx \right\} \dots\dots\dots (19)$$

を求めている⁵⁾。

ここで、 S_{1x} : 点 x における淡水層の塩分濃度

S_{2x} : 点 x における塩水層の塩分濃度

S_{10} : 点 x_0 における淡水層の塩分濃度

S_{20} : 点 x_0 における塩水層の塩分濃度

h_1 : 淡水層水深

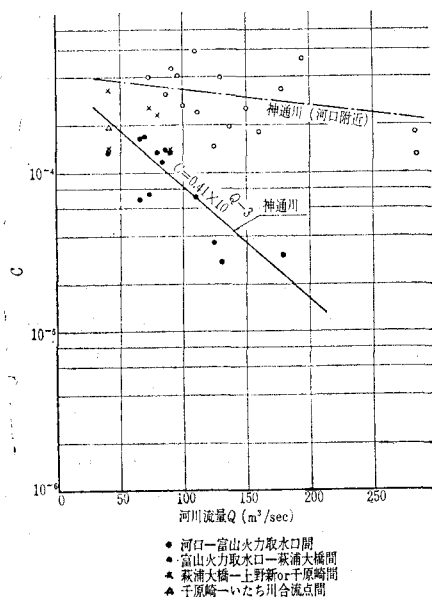
である。

石狩川における実測結果から式 (19) によって求めた c の値は Keulegan の得た実験値 3.5×10^{-4} の約 1/20 で、河川流量や河口からの距離によって異なった値になると報告されている。

式 (19) によって塩分濃度測定結果から c の値を計算する場合に、水面下何 m までを淡水層とするかが問題となる。密度がほぼ一定の淡水層と塩水層との中間には密度勾配の大きな遷移層が形成されている。この遷移層をも淡水層に含めるかどうかによって計算の結果得られる c の値も異なってくるが、実用上は遷移層を淡水層に含めて取り扱ってさしつかえないであろう。

神通川河口内での塩分濃度測定結果から式 (19) によって c の値を求め、河川流量 Q に対してプロットすると、図-15 のようになり、河口付近とその他の場所では異なった値となる。

図-15 河川流量と混合量係数との関係



河口付近で c の値が大きくなるのは内部ジャンプによって塩水が淡水層へ活発に混合するためではないかと考えられる。河川流量が減少するにつれて河口付近の c の値と河口から離れた地点での c の値との差は小さくなるが、これは河川流量が小さくなると、河口に生ずる内部

ジャンプの規模も小さくなり、河口付近の二層境界面の状態が河口から離れた地点の二層境界面の状態に近くなるからであろう。

石狩川においては河口からの距離によって同一河川流量でも c の値は異なるが、神通川においては河口からの距離による相違は認められない。これは神通川の塩水くさびの長さが短いため (最大約 3.5 km)、河口からの距離による相違が、はっきりと現われないのであろう。

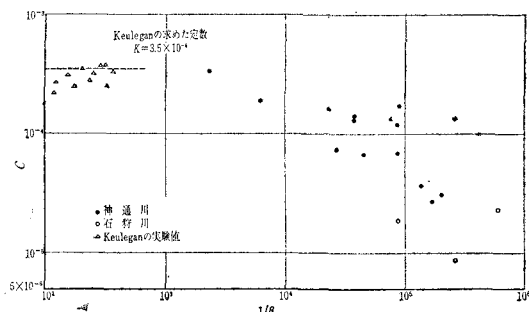
神通川における河川流量 Q と $\log c$ の値との相関係数を求めると、河口付近を除けば、 $r = -0.77$ となる。また Q と $\log c$ との関係は直線で表わされると仮定して、最小自乗法によって関係式を求めると、

$$\log c = -0.007 Q - 3.380 \dots\dots\dots (20)$$

となる。

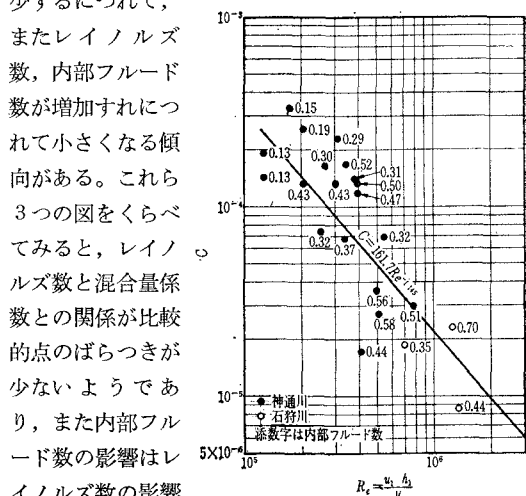
混合量係数を一般的に表現するためには無次元表示をする必要があるが、下層塩水の上層淡水への混入に影響する無次元数としては、クーリガン数、レイノルズ数、内部フルード数が考えられる。実測結果から得られた混合量係数 c と上記の 3 つの無次元数との関係は、図-16、図-17 および 図-18 のようになる (ただし河口付近の値を除いてある)。図から明らかなように c の値は、

図-16 クーリガン数と混合量係数との関係



クーリガン数が減少するにつれて、またレイノルズ数、内部フルード数が増加するにつれて小さくなる傾向がある。これら 3 つの図をくらべてみると、レイノ

図-17 レイノルズ数と混合量係数との関係



ルズ数と混合量係数との関係が比較的点のばらつきが少なくようであり、また内部フルード数の影響はレイノルズ数の影響

より小さいようである。混合量係数 c は近似的にレイノルズ数の関数であると考え、両者の関係式を最小自乗法によって求めると、

$$c = 161.7 \cdot R_e^{-1.145} \dots \dots \dots (21)$$

となる。

実用上は、神通川河口内では河川流量と混合量係数との間に式 (20) の関係があるので、河川流量、淡水層水深、およびある一地点の淡水層平均塩分濃度がわかれば式 (19) および式 (20) を用いて他の地点の淡水層の平均塩分濃度を求めることができる。

河口、富山火力発電所冷却水取水口付近の二地点は実測資料が多いので、この二地点について河川流量と淡水層平均塩分濃度との関係を示すと 図-19 のようになる。

各地点における河川流量 Q と淡水層平均塩分濃度 S の相関係数および Q と $\log S$ の関係を直線と考えた場

図-18 内部フルード数と混合量係数との関係

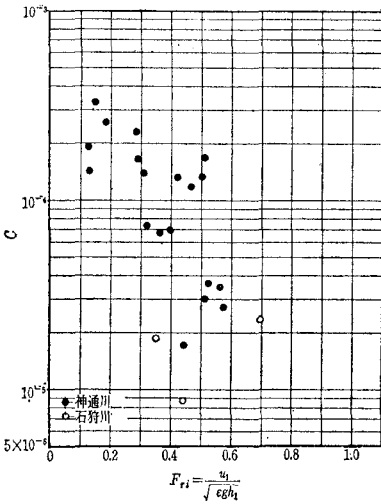
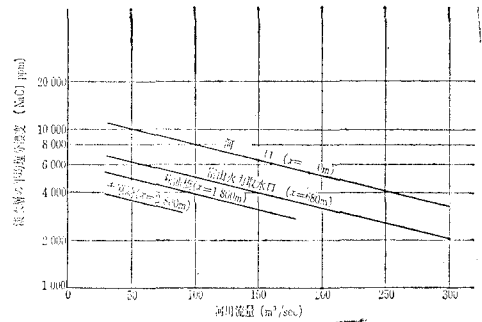


図-20 河川流量、河口からの距離と淡水層平均塩分濃度との関係



合の関係式はつぎのようになる。

① 河口

相関係数 $r = -0.71$

関係式 $\log S = -0.002 Q + 4.10$

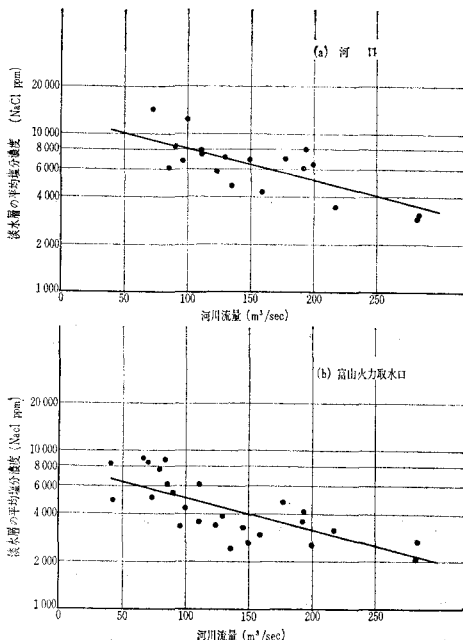
② 富山火力取水口付近

相関係数 $r = -0.69$

関係式 $\log S = -0.002 Q + 3.90$

実測結果の少ない荻浦大橋および千原崎については、富山火力取水口付近の淡水層平均塩分濃度から式 (19)、式 (20) によって各地点の淡水層平均塩分濃度を求め、 $(S_{2x} = S_{20} = 27,000 \text{ NaCl ppm})$ とした、さらに実測結果をも参照して河川流量と淡水層平均塩分濃度との関係を推定した。実測結果および式 (19)、式 (20) による計算結果をまとめて、河川流量、河口からの距離による淡水層平均塩分濃度の変化 (年間の平均的な状態) を示すと 図-20 のようになる。

図-19 河川流量と淡水層平均塩分濃度との関係



8. む す び

昭和 37 年以来行ってきた神通川塩水くさびの調査結果は以上のとおりであるが、調査は現在も続けており、 Cl^- に敏感な中性子水分計による塩分濃度の測定など新しい試みも行なっているため、これらについては後日改めて報告したいと考えている。

なお本研究は、測定は北陸電力 K K において行ない、測定結果の解析は電力中央研究所において行なったものであることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 岩崎・岸田・富岡：二成層流における密度混合について、第 17 回土木学会年次学術講演会 (1962)。
- 2) Shi-igai, H.: On the resistance coefficient at the interface between salt and fresh water, 土木学会論文 No. 123, (1965)。
- 3) 浜田・堀口：塩水楔の性質について、第 7 回海岸工学講演会講演集 (1960)。
- 4) 堂腰：石狩川河口の密度流 (3) 表層塩分濃度に及ぼす風の影響、第 4 回水理講演会 (1959)。
- 5) Otsubo, K. & Fukushima, H.: Density currents in a river mouth with a small tidal range, I.A.H.R. 8th Congress (1959)。