

海水交流の一解析法

中 村 充*・白 石 英 彦**・佐々木 泰 雄**

1. ま え が き

海水交流の問題はきわめて広い範囲の問題と応用部門をもっている。筆者らはこれまで干拓工事における汐止めの水理として現実には当面して来た。他方数年来沿岸漁業の改善、開発という行政上の必要性より老朽漁場の更新、新漁場の開発などが取りあげられた。これらにおけるおまな問題の一つに海水交流の問題が出て来た。すなわち漁場の生産性を規定する、水温、水質、微生物、溶存酸素、底質、有機物その他、水産環境の改善を計る有力な方法が漁場と外海の交流促進である。このための具体的方法は漁場、外海の交流口の拡大、縮小、新水道の開削、作滞、導流工、ポンプ利用などが考えられる。ここでは2つの水域が挟さく部で結ばれ、両水域に起こる交流について主として述べることにし、これまで筆者らが扱った事例について若干ふれることとする。

2. 交流口の水利特性

湾口、湖口、囲ぎょう(繞)築堤開口部などで区切られた2つの水域間の流況を求める場合、これら交流口の水利特性をあらかじめ求めておく必要がある。このような流出入口の水利特性はそれぞれの事例に応じて適当に扱われるべきであるが、ここでは計算法を統一的に表現するために流量係数で交流口の特性を表現する。すなわち、

$$q = CA\sqrt{2g\Delta h} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 q : 単位時間当たりの流量、 A : 交流口の通水断面積、 g : 重力加速度、 Δh : 内外水位差。

式(1)で流量を表現した場合の流量係数 C は摩擦、断面変化、流入出、曲がり、阻柱その他損失水頭を考慮して次式を得る。

$$C = \left[f_e \left(\frac{A}{A_e} \right)^2 + \sum f_w \left(\frac{A}{A_w} \right)^2 + \sum f_c \left(\frac{A}{A_c} \right)^2 + \sum f_b \left(\frac{A}{A_b} \right)^2 + \dots\dots + f_0 \left(\frac{A}{A_0} \right)^2 + \sum \frac{2gn^2 l}{R^{1/3}} \left(\frac{A}{A_l} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 f_e, f_w, f_c, f_b, f_0 : 流入、断面拡大、断面縮小、曲がり、流出の各損失係数、 A : 交流水道において基準にとった通水断面積(最小通水断面を基準にとる)、

$A_e, A_w, A_c, A_b, A_0, A_l$: 交流水道各位置における通水断面積、 l : 区間長、 n : 粗度。ただし各損失係数のうちあるものは水理学における実用式で上式に変形適用する。たとえば断面漸拡損失は

$$\Delta h_w = f_{ge} \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$$

ここに、 f_{ge} : 漸拡損失係数、 v_1 : 漸拡前の流速、 v_2 : 漸拡後の流速、であるから

$$f_w = f_{ge} \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 A_1 : 漸拡前の通水断面、 A_2 : 漸拡後の通水断面、である。

その他の損失においても

$$\Delta h_k = f_k \frac{v^2}{2g} = \frac{f_k}{2g} \left(\frac{A}{A_k} \right)^2 v^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

の形にまとめて式(2)中にとり入れればよい。

3. 潮せきによる海水交流流況

平面的拡がりやを考慮しなければならない水域間の交流現象を調べる場合には運動方程式、連続方程式を差分式になおして数値積分を行なうことが電子計算機の利用ということで行なわれている。しかし漁場問題としてあらわれる多くの場合、漁場内の流況分布を交流口における流況強度にくらべ省略して交流口の流況を計算し、つぎの段階として漁場内流況を調べることができる。

いま漁場の水面の linear scale が水深に比しせまく内水面が平面とみなし得るとき解析は容易となる。この静的成立条件は式(5)である。

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{\partial h}{\partial t} \right)_{\max} t_l &\equiv \varepsilon \ll \zeta \\ t_l = \int_l \frac{dl}{\sqrt{gd'}} &\ll T \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 h : 外海水位、 ζ : 外海潮差、 t_l : 交流口における水位変動の漁場最遠点に達するまでの時間、 l : 交流口より漁場内最遠点までの距離、 d' : 漁場内水深、 T : 外海水位変動周期(潮せき周期)。

つぎに内外水域の水位変動を正弦曲線で与えれば以下の展開ができる。

$$\left. \begin{aligned} h' &= \frac{\zeta'}{2} \sin \frac{2\pi}{T} (t - \Delta T) \\ h &= \frac{\zeta}{2} \sin \frac{2\pi}{T} t \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 h, h' : 内外水位、 ζ' : 内水域潮差、 ΔT : 内

* 正会員 農博 農林省農業土木試験場水理部

** 正会員 農林省農業土木試験場水理部

外水位変化の時差,

$$\Delta h = h - h' = \left[\left(\frac{\zeta}{2} - \frac{\zeta'}{2} \cos \frac{2\pi \Delta T}{T} \right)^2 + \left(\frac{\zeta'}{2} \sin \frac{2\pi \Delta T}{T} \right)^2 \right]^{1/2} \sin \frac{2\pi}{T} (t + \delta) \dots (7)$$

ここに,

$$\delta = \tan^{-1} \frac{\frac{\zeta'}{2} \sin \frac{2\pi \Delta T}{T}}{\frac{\zeta}{2} - \frac{\zeta'}{2} \cos \frac{2\pi \Delta T}{T}} \dots (8)$$

他方内外水位関係において、外水位の平均潮位点を時間起点にとり、内水位の最高となる時刻 t_1 は $(T/4) + \Delta T$ に相当するから式 (6) より

$$\begin{aligned} h_{t_1} &= \frac{\zeta}{2} \sin \frac{2\pi}{T} \left(\frac{T}{4} + \Delta T \right) \\ &= \frac{\zeta}{2} \cos \frac{2\pi \Delta T}{T} \\ h_{t_1}' &= \frac{\zeta'}{2} \end{aligned}$$

このとき内外水位曲線は交わるから $h_{t_1} = h_{t_1}'$

$$\therefore \cos \frac{2\pi \Delta T}{T} = \frac{\zeta'}{\zeta} \dots (9)$$

$$\sin \frac{2\pi \Delta T}{T} = \frac{\sqrt{\zeta^2 - \zeta'^2}}{\zeta} \dots (10)$$

また,

$$\Delta T = \frac{T}{2\pi} \cos^{-1} \frac{\zeta'}{\zeta} \dots (11)$$

である。

式 (12), (13) を式 (7), (8) に代入すると

$$\left. \begin{aligned} \Delta h &= \frac{\sqrt{\zeta^2 - \zeta'^2}}{2} \sin \frac{2\pi}{T} (t + \delta) \\ \delta &= \tan^{-1} \frac{2}{\sqrt{\zeta^2 - \zeta'^2}} = \frac{T}{4} - \frac{T}{2\pi} \cos^{-1} \frac{\zeta'}{\zeta} \end{aligned} \right\} \dots (12)$$

よって交流口における流速 v は

$$\begin{aligned} v &= \frac{q}{A} = C \sqrt{2g \Delta h} \\ &= C \left[g (\zeta^2 - \zeta'^2)^{1/2} \left[\sin \frac{2\pi}{T} (t + \delta) \right] \right]^{1/2} \end{aligned}$$

この時間平均流速 $\bar{v}$ は,

$$\bar{v} = \frac{4}{T} \int_{t_0}^{t_0 + T/4} v dt = C \beta g^{1/2} (\zeta^2 - \zeta'^2)^{1/4} \dots (13)$$

ここに, t_0 転流 ($v=0$) の時刻。

$$\beta = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} \sin^{1/2} \theta d\theta = 0.76 \dots (14)$$

である。他方一潮差によって流出入する水量 Q は S を内水面積として,

$$\left. \begin{aligned} Q &= S \zeta' \\ A \bar{v} \frac{T}{2} &= Q \end{aligned} \right\} \dots (15)$$

この式に式 (13) を代入し ζ' につき解けば

$$\left. \begin{aligned} \zeta' &= \alpha \sqrt{\sqrt{1 + 2 \left(\frac{\zeta}{\alpha} \right)^2} - 1} \\ \alpha &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{ATC \beta g^{1/2}}{2S} \right)^2 \end{aligned} \right\} \dots (16)$$

式 (16) より外海水位変動 ζ に対応する内域の水位変動 ζ' が求まれば次式より流速 $\bar{v}$, v が計算される。

$$\bar{v} = \frac{2S\zeta'}{AT} = \frac{2Q}{AT} \dots (17)$$

$$v = \frac{\bar{v}}{\beta} \sin^{1/2} \frac{2\pi}{T} \left(t + \frac{T}{4} - \frac{T}{2\pi} \cos^{-1} \frac{\zeta'}{\zeta} \right) \dots (18)$$

4. 新水路を開削する場合の流況

前項 3. で述べたところにより、外海水位変動に対応する内水域水位変動, 流速, 流出入水量, 時差などが計算される。漁場などで湾奥の水質を改善するために short cut 水路を設けることがある。このとき既存の交流口との関係において、新水道を開削することによって新水道および既存水道の流況を予知しなければならない。この計算はつぎのようにして行なわれる。

現況における流況を

$$q_0 = C_0 A_0 \sqrt{2g \Delta h_0} \dots (19)$$

でせば外海水位の変化 ζ , T に対する内水域への流況 ζ_0' , ΔT_0 , $\bar{v}_0$, Q_0 などは前項の式 (16), (11), (17), (18), (15) の諸式で求まる。

いまここに、流量係数 C_n , 通水断面積 A_n なる新水道が増設されれば既存水道と流量特性を一致して考えることによって開削後の様子を知ることができる。

すなわち既存水道を流量係数が新水道と同じで、しかも流量が現状と全く等しい水道に置きかえて考えるのである。式 (19) で

$$\left. \begin{aligned} q_0 &= C_n \left(\frac{C_0}{C_n} A_0 \right) \sqrt{2g \Delta h_0} = C_n \bar{A}_0 \sqrt{2g \Delta h_0} \\ \bar{A}_0 &= \frac{C_0 A_0}{C_n} \end{aligned} \right\} \dots (20)$$

この C_n なる流量係数を持ち、通水断面積 $\bar{A}_0$ なる水道をもとの水道 C_0 , A_0 の等価水道ということにする。

既存水道に置換すれば新水道 C_n , A_n を開削した後の流況は、流量係数 C_n , 通水断面積 $\bar{A}_0 + A_n$ として既述の 3. 項における諸式を適用すればよい。この値をそれぞれ $\bar{Q}_0$, $\bar{Q}_n$ などとすれば新水道, 既存水道の流量はそれぞれ,

$$\left. \begin{aligned} \bar{Q}_0 &= \bar{Q} \frac{\bar{A}_0}{\bar{A}_0 + A_n} \\ Q_n &= \bar{Q} \frac{A_n}{\bar{A}_0 + A_n} \end{aligned} \right\} \dots (21)$$

流速はそれぞれ上記 $\bar{Q}_0$, Q_n を式 (17), (18) に代入して得られる。新水道の開削による総交流量の増加は

$$\bar{Q} - Q_0$$

である。

数箇所の交流口をもつ湾や入江などの海水交流を議論する場合、これら数箇の交流口を前述の 1 箇の等交流水道に置換えて考えることができる。

総交流量を q とするとき,

$$q = \sum C_i A_i \sqrt{2g \Delta h_i}$$

$\Delta h_i = \text{const.}$ とみなせるとき

$$q = \sqrt{2g \Delta h} \sum C_i A_i = CA \sqrt{2g \Delta h} \dots\dots\dots (22)$$

として1個の水道となる。

5. 潮流による海水交流流況

前項 3., 4. では海面の水位変動によって起こる湾, 湖沼, 養漁池などの流出入時流況についての計算法を述べた。ここでは潮流流速が大きい海域に2個以上の流出入口をもつ水面を区切り, 転流期の小時間を除き, ほとんどの時間の流況が一方から流入し同時に他方から流出するような場合についてのべる。

内水域が数百ないし数千以下で同時に流入と流出が起こり外海潮流を漁場内に分流させるような流況が想定されるとき, 非定常項は他の項にくらべて省略され, 時々刻々に対応して, それぞれの時刻について独立に不等流として解析される。このような計算法の適用し得る条件は次式で与えることができる。

$$\frac{S^2}{2gC^2A^2} \left[\left(\frac{dh}{dt} \right)_{\max} \right]^2 \equiv \delta \ll \zeta \dots\dots\dots (23)$$

この条件は内外水位差が外海潮差に比してきわめて小であり, 内外水位変動の時差も小であることを示している。

内水域において満足すべき連続方程式は式 (24) である。

$$\int_S \frac{dh'}{dt} dS - \sum q = 0 \dots\dots\dots (24)$$

式 (23) が成り立つとき

$$\frac{dh'}{dt} \doteq \frac{dh}{dt} \dots\dots\dots (25)$$

として扱うことができ式 (24) は

$$S \frac{dh}{dt} - \sum q = 0 \dots\dots\dots (26)$$

式 (24), (26) における q は既述と同様に,

$$q = CA \sqrt{2g(h-h')}$$

である。

したがって式 (24) は非線型微分方程式であり, 式 (26) は微分項 dh/dt は未知のものでなく外海潮位条件として与えられるものであるから, その解の難易において式 (26) は式 (24) にくらべはるかに有利である。

いま2つの流出入口をもち一方より流入し, 他方より同時に流出する場合のある時刻における流況を述べる。

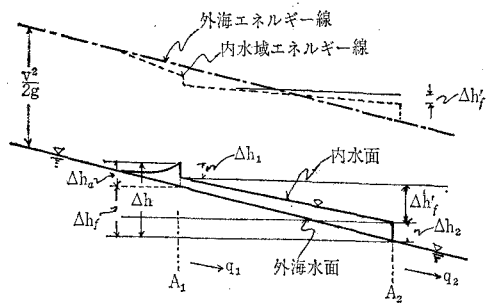
外海潮流の上流側にある流出入口 A_1 から流入し下流側にある流出入口 A_2 から流出するとき外海潮流と池内流との水面および流れの energy の関係は図-1 のようになる。

A_1, A_2 間の水位差 Δh は

$$\Delta h = \Delta h_a + \Delta h_f \dots\dots\dots (27)$$

ここに, Δh_a : 流入口前面での接近速度水頭, Δh_f : $A_1,$

図-1 内外水域の水面およびエネルギー線



A_2 間の摩擦損失水頭, でありそれぞれ,

$$\left. \begin{aligned} \Delta h_a &= \kappa \frac{v^2}{2g} \\ \kappa &= \frac{2v_1(v-v_1)}{v} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (28)$$

$$\Delta h_f = \frac{n^2 v^2 l}{d^{4/3}} \dots\dots\dots (29)$$

である。ここに, v : 潮流流速, v_1 : 流入口前面における流速, l : $A_1 A_2$ 間の流線に沿った距離, d : l なる区間の平均水深。

他方池内について

$$\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h'_f = \Delta h \dots\dots\dots (30)$$

ここに, $\Delta h_1, \Delta h_2$: それぞれ A_1, A_2 における上下流水位差, $\Delta h'_f$: 池内 $A_1 A_2$ 間の損失水頭。

ここに,

$$\left. \begin{aligned} \Delta h'_f &= \frac{n'^2 v'^2 l'^2}{d'^{4/3}} \\ v' &= \frac{q_1 + q_2}{A'} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (31)$$

池内の量であることをダッシュ'を付して示した。

流入量, 流出量は

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= C_1 A_1 \sqrt{2g \Delta h_1} \\ q_2 &= C_2 A_2 \sqrt{2g \Delta h_2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (32)$$

である。ある時点の潮流, 潮位に対して式 (27) より Δh は求まるから式 (30) で Δh_1 を仮定すれば式 (32) より q_1 が式 (26) より q_2 が求まる。つぎに式 (31), (32) より $\Delta h_2, \Delta h'_f$ が定まり, これらが式 (23) を満足するよう最初の仮定 Δh_1 をえらぶことによって池内流況が確定する。

6. 海水交換と漁場生産力

A, B なる海域が水道で結ばれ, A の水域から B の水域へまた B の水域から A の水域へ交互に水が流れるときの流況については前述のようであるが, ここでは A, B 水域の実質交換量と漁場生産力との関係について調べる。いま湾などにおいて外海の水質は一様で c_0 なる濃度の物質を溶存しており, 湾内でその溶存物質の一定消費 c_l がある場合, 湾内の終局濃度 c を求める。

ある時点の内水干潮時の濃度を c_n , つぎの満潮時の

濃度を c_n' 、つぎの干潮時濃度を c_{n+1} とする。この場合 c_n は内水域の平均濃度とし、 c_n' は外海からの流入量 Q のうち内水と混り合う水量 αQ のみを考えた平均濃度、下げ潮時に混り合うことなく出てしまう $(1-\alpha)Q$ なる水は除いた平均濃度とする。このように考えたとき c_n, c_{n+1} の関係は、

$$c_n' = \frac{c_n \left(V - \frac{Q}{2} \right) + c_0 \alpha Q - \frac{c_l T}{2}}{V + \frac{Q}{2} - (1-\alpha)Q}$$

$$c_{n+1} = \frac{c_n' \left\{ V + \frac{Q}{2} - (1-\alpha)Q \right\} - \frac{c_n' + c_{n+1}}{2} \alpha Q - \frac{c_l T}{2}}{V - \frac{Q}{2}}$$

c_n' を消去し c_{n+1} について解けば、

$$\left. \begin{aligned} c_{n+1} &= K_d c_n + K_l \\ K_d &= \frac{2r-1}{2(\alpha+r)-1} \\ K_l &= \frac{2c_0 \alpha}{2(\alpha+r)-1} - \frac{c_l T}{2} \left[\frac{1}{2(\alpha+r)-1} + \frac{1}{\alpha+2r-1} \right] \\ r &= \frac{V}{Q} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (33)$$

ここに、 V : 平均潮位面における湾内水容積、 T : 潮せき周期。

内水域を養魚その他に使用する以前(溶存物質の消費 c_l の 0 の場合) には、内外ともに c_0 であり、養魚その他によって c_l なる消費が始まってから n 回目の潮せきによる濃度 c_n は

$$c_n = c_0 K_d^n + \frac{K_l(1-K_d^{n-2})}{1-K_d} \dots\dots\dots (34)$$

よって、終局濃度 c は $n \rightarrow \infty$ として、

$$c = \frac{K_l}{1-K_d} \dots\dots\dots (35)$$

式 (35) より内水域の水産の生産力を求めることができる。たとえば溶存物質が酸素の場合、養魚の致死限界溶存酸素量の濃度を c_{cr} とすれば式 (35) で $c=c_{cr}$ とおき c_l につきとけば

$$c_l = \frac{2\alpha Q}{T} \times \frac{(c_0 - c_{cr})(\alpha + 2r - 1)}{3\alpha + 4r - 2} \dots\dots\dots (36)$$

ここで、内水域消費量 c_l は魚種により異なるが、ほぼ次式で示されている。

$$c_l = kW + m \dots\dots\dots (37)$$

W : 養魚の総重量、 k : 魚 1kg 当たりの酸素消費量、 m : プランクト

ン有機物などによる酸素消費量。

式 (36)、(37) より飼育量 W を求めることができる。上記計算における α は完全混合の場合 1 であり、まったく混り合わないで流入水が、つぎの落潮で流出する場合 0 である。

$$0 < \alpha \leq 1$$

流入した水がつぎの下げ潮時流出せずに残留する海水交換率 α_0 は式 (23) で示される。

$$\alpha_0 = \frac{V - \frac{\alpha Q}{2}}{V + \frac{\alpha Q}{2}} \alpha \dots\dots\dots (38)$$

一般に $\alpha_0 = 0.1 \sim 0.5$ 程度である。

7. 応 用 例

香川県観音寺養魚場の場合

図-2 に大要を示すように廃止塩田利用の築堤式養魚場である。式 (5) の条件は

$$t_l = \frac{l}{\sqrt{g d'}} = \frac{650}{\sqrt{7.8 \times 9.0}} = 69.4 \text{ sec} \ll 12 \text{ hr}$$

$$\epsilon = \frac{3.3}{6 \times 3600} \cdot \frac{\pi}{2} \times 69.4 = 0.0167 \text{ m} \ll 3.3 \text{ m}$$

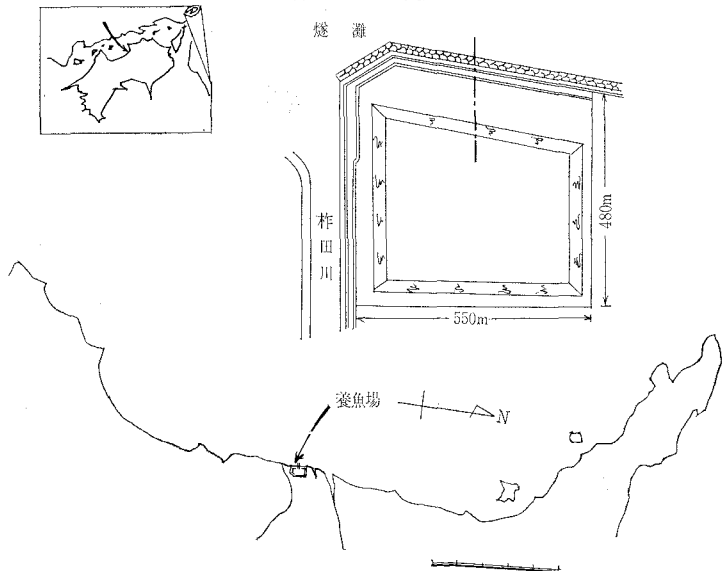
で十分成立ち 3. 項に述べた計算法が適用される。

計算条件は

$$\begin{aligned} \text{内水面積 } S &= 3 \times 10^5 \text{ m}^2 & \text{周期大潮 } T &= 12.67 \text{ hr} \\ \text{潮差大潮 } \zeta &= 3.30 \text{ m} & \text{小潮 } T &= 10.00 \text{ hr} \\ \text{小潮 } \zeta &= 1.40 \text{ m} \end{aligned}$$

流量係数は式 (2) で $f_e = 0.4$ 、 $f_0 = 1.0$ 、 $n = 0.02$ 、 $R = 1.7 \text{ m}$ 、 $l = 70 \text{ m}$ として $C = 0.7$ を得る。この計算の目的は経済的効果的な交流口の決定であるから通水断面積 A の変化による Q 、 $\bar{v}$ 、 v などが求まればよい。その結果 $A = 25 \text{ m}^2$ が適当でこれより大にしても流量は増加し

図-2 香川県観音寺養魚場略図



ない。計算結果を示すと図-3 になる。この池にハマチを蓄養する場合の許容放養量は式(36), (37)を適用して求める。これは小潮時に規定されるから小潮時の各値を図-3より求めて、

$$Q=4.10 \times 10^6 \text{ m}^3, T=10 \text{ hr}, V=1.7 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$r=4.14, \alpha=1 \text{ (実験結果)}, \alpha_0=0.8$$

溶存酸素については9月上旬の水温 28°C を対象として

$$c_0=4570 \text{ cc/m}^3, c_{cr}=3000 \text{ cc/m}^3$$

$$k=400 \text{ cc/hr/kg}, m=0 \sim 200 \text{ cc/hr/m}^3$$

以上の数値によるハマチ放養量は 153t である。

松島湾潜ヶ浦水道の開削による海水交流

図-4 に示す松島湾東部魚場は直接外海との流出入よりも南部の大きな瀬戸からの流出入が多く、これが順次回り込む傾向にある。したがって水質が悪化するばかりでなく、冬期の水温低下が水産の生産力を阻害している。このため潜ヶ浦水道を新開削して総交流流量を増すと同時に直接外海の水を導入することによって漁場環境の改善を計るものである。対象とする水域(図-4 影線部)はきわめて複雑で、その流況の解は水理模型実験あるいは水域を格子に組んで差分式を作り数値積分するなどの処理が必要であるが、ここでは4.項の方法により3.項の諸式を用いて計算する。

潜ヶ浦水道の開削計画はつぎのようである。

$$\text{平均通水断面積 } A_n = 30 \times 3 \text{ m} = 90 \text{ m}^2$$

$$\text{水路長 } L = 2000 \text{ m} \quad \text{粗度係数 } n = 0.02$$

$$\text{径 深 } R = 30 \times 3 / (30 + 3 \times 2) = 2.5 \text{ m}$$

式(2)において $f_e = 0.4, f_0 = 1.1$ とすれば $C_n = 0.413$

図-3 交流口断面積(A)と池内潮差(ζ), 1周期の間の流出入水量(Q), 平均流速($\bar{v}$)の関係

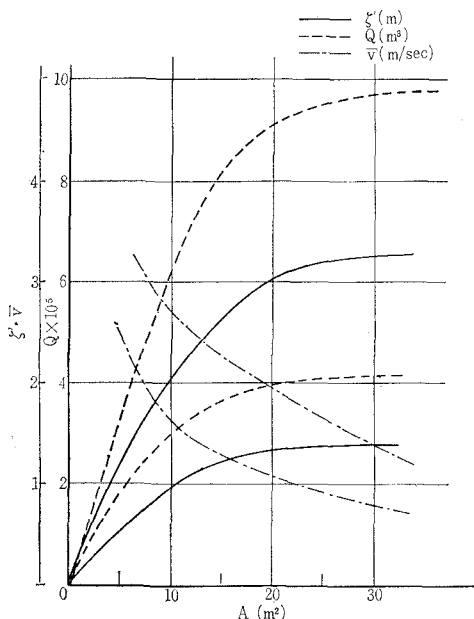
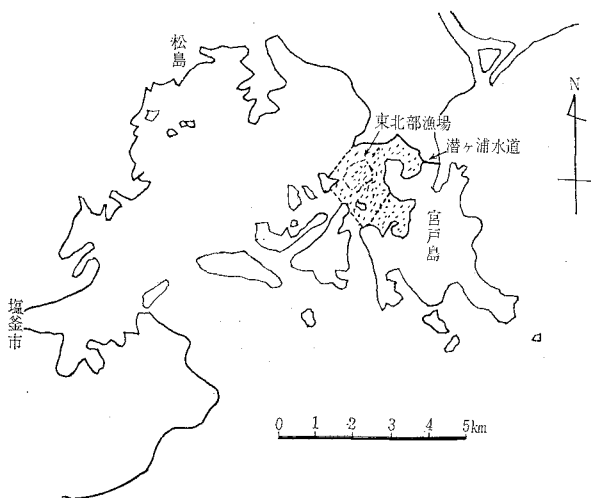


図-4 松島湾平面図



を得る。いま対象としている海域は数多くの水道流の影響を受けるが、潮流調査資料より、なるべく少数の交流口の流況が卓越するように区切る。この水域の潮位特性を1個の水道(等価水道)で示す。等価水道の流量係数 C を 0.413 にとり対象内水面積 $S = 3.6 \times 10^6 \text{ m}^2$, 潮位観測資料より外海潮差 $\zeta = 0.86 \text{ m}$ に対応する内水域潮差 $\zeta' = 0.72 \text{ m}$ であるから、式(13)より $\bar{v} = 0.674 \text{ m/sec}$, 式(15)より $\bar{A}_0 = 178 \text{ m}^2$ を得、すなわち、現況における交流流量は流量係数が 0.413 で、通水断面積 178 m^2 なる1個の水道で外海と結ばれているに等しい。したがって潜ヶ浦新水道開削後の交流流量は流量係数 0.413, 通水断面積 $\bar{A}_0 + A_n = 178 + 90 = 268 \text{ m}^2$ の水道で結ばれているものとして求めればよい。計算結果は潜ヶ浦水道の開削によって大潮時 790000 m^3 , 小潮時 60000 m^3 の交流流量の増大が期待され、潜ヶ浦水道の流速は大潮時 $\bar{v} = 0.80 \text{ m/sec}$, 小潮時 $\bar{v} = 0.30 \text{ m/sec}$ で大潮時最大流速は $v_{\max} = 1.04 \text{ m/sec}$ である。また開削規模 $30 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 以上としても工費の割に総交流流量は増加しないこともわかる。

3. あとがき

海水交流現象は適正な現地係数を用いて運動、連続の両方程式を満足させればよいが、運動方程式そのものも広い水域では $N-S$ 方程式であり、交流口では $q = CA \cdot \sqrt{2gh}$ であり、深さが大となればコリオリの力や密度流など平面的にあつかえなくなる。ここでは交流口近傍における流況を主に扱い、2次的に内部の流況を知る方法をとった。この問題についてはさらに研究を続ける予定であり、特に拡散、交換について調べるつもりである。直接当面している多くのこの種の実施上の問題に対し簡易な計算法とし実用に供する。ご批判を頂ければ幸いである。