II-222　強混合河川における浸入塩分の一数値計算法

長崎大学工学部　正員　古本勝弘

1. まえがき

強混合河川感潮部における塩分濃度を予測することは原理的には移流分散方程式を潮汐とゝもに周期的に変化する流速，流積，縦分散係数などの非定常な水理条件を与えて解くことに帰される。しかし実河川について非定常係数をもつ分散方程式の解を求めるのが面倒であるため簡略な解法について多くの研究がなされてきた。

文献1）では潮汐の伝播速度が速く，水体が変形することなく河道を上下するような河川の分散問題は方程式の変数変換によりその取り扱いがかなり簡略化されることを示している。こゝでは筑後川を例にとり潮汐伝播に遅れがあり，河道中の水体に変形がある場合のその計算法の適用について示している。

2. 基礎式

強混合河川における海からの浸入塩分は鉛直，横断両方向にはその濃度が等しく，縦方向のみに分布しており，一次元分散方程式が解析手段とされる。

$$\partial c/\partial t + U\cdot \partial c/\partial x = (1/A)\cdot \partial/\partial x\,(A D_L\, \partial c/\partial x) \qquad \cdots\cdots (1)$$

こゝに C，U，A，D_L はそれぞれ塩分濃度，断面平均流速，流積，縦分散係数である。こゝで(1)式を次のように変形する。感潮部最上流端を原点に下流に向って x-軸をとり，x-断面までの感潮部水量を V とし，(2)式で定義する。連続の式から x-断面の平均流速 U は(3)式で与えられる。こゝに Q_0 は河川固有流量である。

$$V = \int_0^x A(x', t)\, dx' \qquad \cdots (2) \qquad\qquad U = \left(Q_0 - \frac{\partial V}{\partial t}\right)/A \qquad \cdots (3)$$

こゝで，独立変数 (x, t) を (V, t) に変換すると，

$$\left(\frac{\partial}{\partial t}\right)_x = \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial t}\cdot\frac{\partial}{\partial V} \qquad\qquad \left(\frac{\partial}{\partial x}\right)_t = \frac{\partial V}{\partial x}\cdot\frac{\partial}{\partial V} = A\frac{\partial}{\partial V} \qquad \cdots\cdots (4)$$

この関係から(1)式は次のように整理される。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + Q_0\frac{\partial c}{\partial V} = \frac{\partial}{\partial V}\left(A^2 D_L \frac{\partial c}{\partial V}\right) \qquad \cdots\cdots (5)$$

この式を基礎式とする場合の利点には次のような事柄をあげることができる。Q_0 が V の関数でないこと。特に，時間の関数でもなく，一定である場合には(5)式の数値計算は一段と簡略となる。また，A は (V, t) の関数であるが，一定な V を与える位置は潮汐とゝもに移動しており，ある V の値に対する A は時間的変化は小さく，A を V のみの関数と考え，近似的に一潮汐間の平均値を以って与えることができる。特に，一様断面形の傾斜水路に伝播速度が大の潮汐が入る場合には，A は V のみの関数になってしまう。径深 R についても A と同様のことが言える。

D_L は，Taylor の剪断流に関する縦分散の理論から，径深と摩擦速度の積に比例することが知られており，摩擦速度は粗度が変化しないとすれば，ほゞ流速に比例するので，D_L は径深と流速の積に比例すると置くことができる。(2)式において V を x，t で表現すると，V が一定な値をもつ位置の移動速度 $(dx/dt)_V$ は計算でき，ある V の位置に対する流速は $(Q_0/A) + (dx/dt)_V$ で与えられる。以上を合せて $A^2 D_L$ は V と t の関数で与えることができる。次に，(5)式を解く場合の境界条件についてであるが，海に放出される河川水は充分混合，稀釈されるので河口を少し海に出た地点の塩分濃度は不変と考えてよく，境界条件の一つは，この地理的固定点に海の塩分濃度を与えることになる。この時，(2)式で x を固定すると，V は t の関数となるので，時間的に変動する河口の V の値に対して海水濃度を与えなければならない。計算は(5)式をデュフォ・フランケルの差分式に直して行う。V，t を等間隔に分割し，$V = m\cdot\Delta V$，$t = n\cdot\Delta t$ における塩分を

$C_{m,n}$として，　$C_{m,n+1}(1+2K_{m,n}\lambda) = C_{m,n-1}(1-2K_{m,n}\lambda) + C_{m-1,n}\{(-K_{m+1,n}+K_{m-1,n}+4K_{m,n})\lambda/2 + Q_0\Delta t/\Delta V\}$

$$+ C_{m+1,n}\{(K_{m+1,n}-K_{m-1,n}+4K_{m,n})\lambda/2 - Q_0\Delta t/\Delta V\} \quad \cdots\cdots (6)$$

こゝに，$\lambda = \Delta t/\Delta V^2$，$K_{m,n} = (A^2 D_L)_{m,n}$　である。

3. 筑後川感潮部の塩分に関する計算

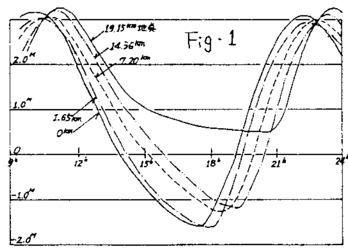
大きな潮位差の有明海に注ぐ筑後川は典型的な強混合型の塩分々布を示す。本河川における調査は建設省筑後川工事々務所の手によって過去に数回実施され，塩分をはじめ各種水理量の詳細な資料が得られている。こゝでは，1967年10月5日の資料をもとに前記の方法による計算について述べる。同日の水位の時間変化と水面形の時間変化をFig-1，2に示す。これによると潮汐伝播には遅れがあり，感潮部の水体はその形状を変えながら往復運動することがわかる。河口から24 km地点の堰より上流には満潮前後の短時間しか潮汐は入らないので，感潮部上流端をこの点にとり，水位資料と200 m毎の水位～河積図をもとに(2)式から各時刻における各地点の V を求める。各地点の V の時間変化をFig-3に，同じ V の値をもつ位置の時間的移動をFig-4に示す。Fig-3の各地点の V の変化をフーリエ級数で近似し，その各項の係数を位置 l（河口からの距離）の関数で近似すれば，V を x, t の関数で表現できることになる。この方法で次式を得て，境界条件を与える位置の V の変化，V に対する流速の算定，V に対する位置の決定に用いている。t は 11:00 を $t=0$ とした時刻である。

$$V(m^3) = [(311-29.6l+1.60l^2)+(179-17.8l+0.536l^2)\sin(\omega t+\delta_1) + (38-2.50l+0.049l^2)\sin(2\omega t+\delta_2)]\times 10^5 \quad \cdots (6)$$

$$\delta_1 = (2\pi/360)\exp(4.434-0.18l),\quad \delta_2 = (2\pi/360)\exp(4.828-0.031l)$$

こゝに l はKm単位。　同じ V の値をもつ位置における A の時間変化をFig-5に示しているが，固定した位置に対する A の変化に比して数段小さな変化である。従って，数種の V の値に対する A の時間変化を平均して，A を V のみの関数で近似する。R についても同様である。このような準備ののち(5)式で計算した結果をFig-6に示す。

筑後川では干潮時のFlushing作用が強いため，境界条件で海とする位置（L_0）を現実の河口よりかなり海に出さねばならない。L_0 と D_L の組合せにより現実の分布に近いものを探すことになる。どの値をとれば最良であるか決定的なことは言えないが計算法としては有効であろう。



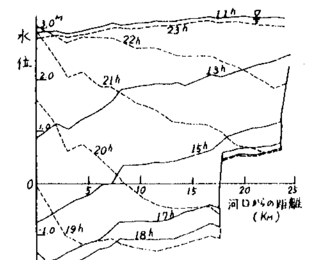
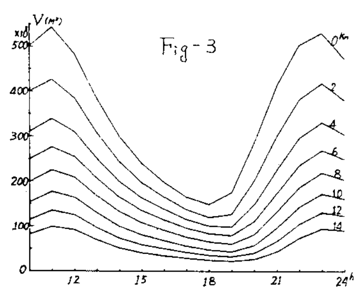
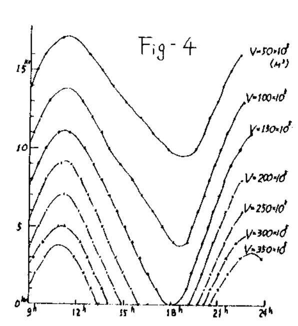
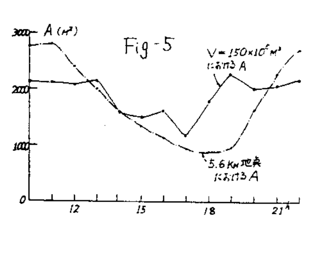
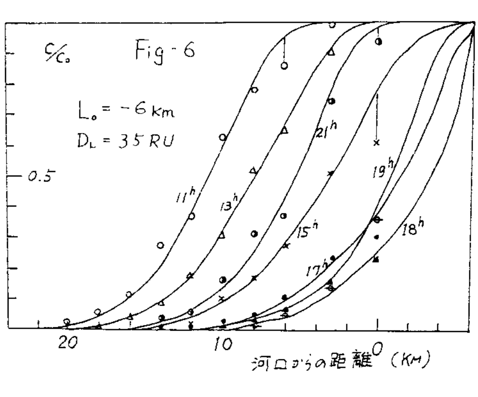


Fig-2









文献) Shinohara, Tsubaki et al. Proc. of 13th Congress of I.A.H.R. Vol 3 (c), pp165 ~172. 1969.