302—4　　強混合型河川における塩分濃度分布の一計算法　　955.2

長崎大学工学部　正員　古本勝弘
〃　学生員　○藤沢弘明
〃　〃　喜多和彦

1．まえがき

強混合型に分類される河口部の塩分濃度は，潮汐運動から生じる乱れが非常に強いため 水深方向に殆んど濃度差はなく，流下方向の位置のみの関数となっている。 この型の河口部への塩分侵入状況を解析することは原理的には一次元の拡散方程式を適当な境界条件の下に解くことに帰着する。 この種の問題に関しては 古くから Ketchum, Arons・Stammel, Ippen・Harleman 等によって多くの研究がなされて来ている。
こゝでは，我国の強混合型の代表的河川である筑後川を対象に，水理条件のモデル化を行ない，Arons・Stommel の潮汐混合理論から決まる塩分々布と潮汐による移流効果を組み合わせて 塩分濃度分布の追跡がどの程度可能であるかを検討している。

2．理論解析

感潮部最上流端を原点とし下流向きに x 軸をとる。 河口部の長さが潮汐の波長に比較して非常に短かく，また潮汐波の伝播に遅れがなく，水面の昇降は同時に起るものとし，河積 $A(x,t)$ は (1) 式で与えられるものとする。

$$A(x,t)=\bar{A}(x)+\eta(t)\cdot\bar{B}(x) \qquad (1) \qquad\qquad \bar{A}(x)=A_0e^{\alpha x} \qquad (2)$$

こゝに，$\eta(t)$；平均潮位からの水位上昇高，$\bar{B}(x)$；河幅（水位により変化しないと仮定），$\bar{A}(x)$；平均潮位下の河積であり，河道特性として $\bar{A}(x)$は (2) 式で表わされるものとする。 また $\bar{A}(x) \gg \eta\bar{B}$ とする。 次に，最干潮時を $t=0$，潮汐振幅を η_0 とし，水位変化を (3) 式で与える。

$$\eta_{(t)}=-\eta_0\cos\omega t \qquad (3) \qquad\qquad \frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(Q_0+Q_T)=0 \qquad (4)$$

連続の式は (4) 式であるが，河川流量 $Q_0=Const.$，潮流量 $Q_T=\bar{A}\cdot U_T$ とし，(1),(2),(3)式を (4) 式に代入すると，潮流々速 $U_T(x,t)$ を支配する式は (5)式となる。

$$\frac{\partial U_T}{\partial x}+\alpha U_T=-\eta_0\,\omega\left(\frac{\bar{B}}{\bar{A}}\right)\sin\omega t \qquad (5)$$

$\bar{A}/\bar{B}=\bar{R}$ とおき，近似的に $\bar{R}=Const.$ とすれば潮流々速として次式を得る。

$$\therefore U_T=\bar{U}_T\sin\omega t \quad , \qquad \bar{U}_T=\frac{\eta_0\omega}{\alpha\bar{R}}\left(e^{-\alpha x}-1\right) \qquad (6)$$

ところで，河積が漸変する河口部の塩分々布を支配する一次元の拡散方程式は (7)式で与えられる。

$$\frac{\partial S}{\partial t}+(U_T+U_0)\frac{\partial S}{\partial x}=\frac{1}{A}\frac{\partial}{\partial x}\left(A D_x\frac{\partial S}{\partial x}\right) \quad \cdots(7)$$

こゝに，潮流々速を $U_T(x,t)$ とし，淡水流速を $U_0(x)$ とする。

潮汐流と河川固有流を分離して考えると，$U_T=0$ となる停潮時の塩分々布は河川流による塩分輸送と混合拡散による塩分輸送とが平衡し，長期間の潮汐を経て形成されると考えられ，任意の潮時における塩分々布は停潮時の塩分々布が潮汐流に乗って移流された結果であると考える。 すなはち，塩分々布の形成に要する時間と比較して，一潮周期程度の短時間では混合拡散の効果は少ないとして無視する。 従って先づ，停潮時，とりわけ干潮時の塩分々布を求める。 この時，(7) 式で非定常項はなく，$U_T=0$ で，AD_x は時間の関数ではないとして，一潮時の平均値を用いて解く。 すなわち

$$U_0\frac{\partial S}{\partial x}=\frac{1}{A}\frac{\partial}{\partial x}\left(A D_x\frac{\partial S}{\partial x}\right) \quad \cdot\ (8)$$

潮汐による周期流は，混合拡散に寄与する一種の乱れと考えられ，拡散係数 D_x を支配する重要な要素である。一潮時の平均として，D_x は，Arons・Stommel が提案しているように，潮流々速の振幅 $\overline{U_T}$ と潮汐による水塊移動距離（ストローク）ξ（$\equiv \overline{U_T}/\omega$）との積に比例するとして次のようにおく。こゝに K は定数である。

$$D_x = K\,\overline{U_T}\cdot\xi = K\left[\frac{\omega\eta_0}{\alpha R}\left(e^{-\alpha x}-1\right)\right]^2/\omega \qquad (9)$$

これらの仮定を用いて，停潮時の塩分々布として，(8) 式の解を求める。境界条件は $x=0$ で $S=0$，$dS/dx=0$ および $x=L$（河口）で $S=S_0$（海水濃度）である。

$$\frac{S}{S_0} = \exp\left[F\left\{\coth\left(\frac{\alpha L}{2}\right)-\coth\left(\frac{\alpha x}{2}\right)\right\}\right] \qquad (10) \qquad \text{たゞし}\left(F=\frac{\alpha\overline{R}^2Q_0}{2K\omega\eta_0^2A_0}\right)$$

次に，潮汐による移流を考える。この時，拡散は無視しているので (7) 式は次のように簡略化される。

$$\frac{\partial S}{\partial t} + U_T\frac{\partial S}{\partial x} = 0 \qquad (11)$$

U_T として (6) 式を用いると (11) 式の一般解は次のようである。

$$\frac{S}{S_0} = f\left[\left(e^{\alpha x}-1\right)e^{-\frac{\eta}{R}\cos\omega t}\right] \qquad (12)$$

干潮時 $t=0$ において，x_ℓ 地点に存在した水塊は $t=t$ では x 地点に移流している筈であるから

$$\left(e^{\alpha x_\ell}-1\right)e^{-\frac{\eta_0}{R}} = \left(e^{\alpha x}-1\right)e^{-\frac{\eta_0}{R}\cos\omega t} \qquad \therefore\ x_\ell = \frac{1}{\alpha}\ln\left[1+\left(e^{\alpha x}-1\right)e^{\frac{\eta_0}{R}(1-\cos\omega t)}\right] \qquad (13)$$

この x_ℓ を (10) 式の x に代入すれば，$t=0$ における塩分々布が t 時刻を経て移流された時の分布式を得る。

$$\frac{S(x,t)}{S_0} = \exp\left[F\left\{\coth\left(\frac{\alpha L}{2}\right)-\coth\left(\frac{1}{2}\ln\left[1+\left(e^{\alpha x}-1\right)e^{\frac{\eta_0}{R}(1-\cos\omega t)}\right]\right)\right\}\right] \cdots (14)$$

3．筑後川感潮部の塩分々布に関する計算

昭和41年8月19日（大潮）の筑後川の資料に基づいて，(14)式の塩分濃度分布の理論式と実際との比較を行った。まずH－T曲線から $\eta_0=2.2$(m) を取り，次に平均潮位に対する河積 $\overline{A}$ は図1のようであり，$\alpha=0.0652$ (1/km) を取る。たゞし，図1の中の距離は河口からの距離である。また，$R=A/S$ より $R=4$(m) を取った。これらの数値を使って，実際の分布に近い F と L の値を求めた結果，$F=2.7$，$L=29.5$(m) となり，この計算値と実際値の比較を図-2に示した。たゞし L は地理的河口までの距離ではなく実際の河口より海側の仮想河口までの距離である。

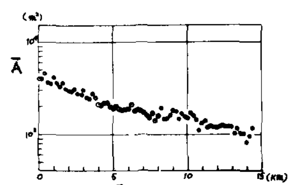

図 1.

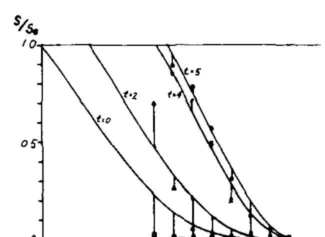

図 2.

理論式の問題点は　1．潮汐変化を (3) 式で与えた事。

2．海側に仮想的河道を L の点まで延長した事。

3．拡散係数 D_x を (9) 式で与えた事。

4．河積を (2) 式で単純に与えた事。

等である

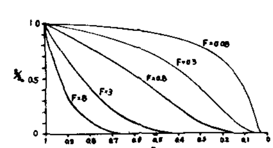

図3

参考文献

Arons, A.B. and H.Stommel, A mixing length theory of tidal flushing Trans. of A.G.U 32, 1951

Ippen, A.T and D.R.F. Harleman Estudry and Coastline Hydrodynamics Mc Graw-Hill 1966