

河川感潮部における侵入塩分の数値計算と分散係数について

長崎大学工学部 正 古本勝弘, 正 橋東一郎
長崎大学工学部 学 浜口憲康, 学 森山哲也

1. はじめに

強混合型の感潮河川における塩分侵入状況を予測するためには一次元拡散方程式を適当な境界条件と流速, 河積, 分散係数などの水理量を与えて解かねばならない。実河川についてはこの計算がかなり面倒であり, 分散係数の値もまだ明確にはなっていない。本報告は拡散方程式の簡略な数値解法とこれを筑後川と川内川に適用した結果及び分散係数について述べるものである。

2. 基礎式

強混合型河川における塩分(C)の輸送については次の一次元拡散方程式が解析手段とされる。

$$\partial C / \partial t + u \cdot \partial C / \partial x = (1/A) \partial / \partial x (AD \cdot \partial C / \partial x) \quad \cdots \cdots (1)$$

こゝに, u, A, D はそれぞれ断面平均流速, 河積, 縦分散係数である。これらの水理量は潮汐とともに変動するので, 時刻 t , 位置 x で与えて(1)を解くことはかなり面倒な作業である。そこで計算を簡略にするために(1)を次のように変形する。感潮部最上流端を原点として下流向きに x 軸をとり, x 断面までの感潮部の水量 V を(2)で定義する。連続の式から u は(3)で表わされる。

$$V = \int_0^x A(x', t) dx' \quad \cdots \cdots (2)$$

$$u = (Q_f - \partial V / \partial t) / A \quad \cdots \cdots (3)$$

こゝに, Q_f は河川固有流量である。こゝで独立変数を (x, t) から (V, t) に変換すると(1)は次式となる。

$$\partial C / \partial t + Q_f \cdot \partial C / \partial V = \partial / \partial V (A^2 D \partial C / \partial V) \quad \cdots \cdots (4)$$

数値計算を行うためには(4)を差分式になおす。 V, t を等間隔 $\Delta V, \Delta t$ で切り, $V = m \Delta V, t = n \Delta t$ (m, n は整数)における塩分を $C_{m,n}$ とすると, $\Delta V, \Delta t$ に関する高次項を省略して

$$C_{m,n+1} = C_{m,n} \{1 - 2(A^2 D)_{m,n} \cdot (\Delta t / \Delta V^2)\} + (C_{m-1,n} + C_{m+1,n}) \cdot (A^2 D)_{m,n} \cdot (\Delta t / \Delta V^2) \quad \cdots (5)$$

$$m' = m - [(n+1) Q_f \cdot \Delta t / \Delta V] + [n Q_f \cdot \Delta t / \Delta V] \quad \cdots (6)$$

こゝに, $[\cdots]$ は Gauss の整数記号である。(4)を用いる利点は次のようなところにある。 Q_f が V によらない常数であるから固有流量による輸送項は(5), (6)のように拡散計算により求められる塩分を V 軸上を平行移動させることにより計算される。このことは計算が容易であるばかりでなく, 濃度分布に大きな曲率を生じる部分に常套的な差分式を用いて誤差を生むことを避け得る。また, 分散係数は Fisher によると流速, 河幅, 径深に関係するが, V が一定な点は潮汐とともに河道を移動するため, V のある点における河積, 河幅, 径深の時間的变化は小さく, $A^2 D$ に一潮汐間の平均値を用いることも許されるであろう。

3. 川内川および筑後川の塩分に関する計算

両河川の調査は建設省の手により過去数回実施され, 塩分をはじめ各種水理量の詳細な資料が得られている。これらの中から川内川は2ケース, 筑後川は4ケースの資料を基に塩分分布のシミュレーションを行い, 分散係数と後述の海側境界条件を与える位置の水理量との関係を探ることを試みた。

計算を行った河川の諸元は表-1に示す通りである。両河川とも感潮部の十数地点で同時水位が測られており, 200m毎の位置で水位(H)と河積(A)図をもとに, 先づ(2)より各位置 x における各時刻 t の $V(x, t)$ を求める。これを $\Delta V = Q_f \times \Delta t$ で分割し, 各分割点 ($m \Delta V$) の時刻 t ($n \Delta t$) における位置 x , 河積 A , 河幅 W , 流速 U を求めて, これらを(5)の計算に用いた。分散係数 D の関係式は実河川に対して Fisher が提案した(7)を, 水深 $d = A/W$, 摩擦速度 u_* の U として, (8)と置いた。

$$D = 0.011 \cdot \frac{U_*^2 W^2}{d u_*} \quad \cdots \cdots (7)$$

$$D = K \frac{U W^3}{A} \quad \cdots \cdots (8)$$

感潮河川における分散係数は密度流や潮汐による各流の効果のために(7)のみでは表現され得ないため、(8)に導入した常数 K は一定値とはならない。このために、実測の塩分分布に計算結果が最も良く一致する K

表-1

	固有流量 Q_i	潮位差 H	最高塩分 C_m	ρ_s/ρ_f	自乗平均流速 U_T	河幅 W	潮周期 T	K	河口延長 L	$\frac{\Delta \rho}{\rho_f} \frac{Q_f}{W U_T^2}$	$\frac{L}{2} U_T$	図-2,3 の記号
川内川 (48.9.26)	69.0	2.73	17.60	.02553	(0-2).311 (2-4).368	573 ^m 456	hr 12.5	.006	3.0	1.002 .760	.429	△
川内川 (55.10.29)	85.0	2.00	20.76	.03014	(0-2).236 (2-4).214	624 459	12.5	.005	4.0	3.045 5.527	.753	▲
筑後川 (41.8.18)	95.0	4.69	14.94	.02167	(0-2).515 (4-6).573	1019 527	11.5	.002	11.0	.145 .203	1.023	⊕
筑後川 (42.9.1)	24.4	3.53	16.10	.02337	(0-2).379 (6-8).393	973 388	12.3	.0025	8.0	.109 .238	.953	○
筑後川 (41.9.23)	111.0	1.73	16.05	.02330	(0-2).170 (3-5).185	987 613	12.5	.0150	4.0	5.227 6.530	1.046	●
筑後川 (42.10.5)	34.5	4.78	17.70	.02569	(0-2).536 (6-8).563	1011 399	12.0	.0025	9.0	.056 .123	.777	⊙

の値を探索し、この値の水理量依存性を調うと、感潮部にも適用できる分散係数の表現式を得ることができよう。

次に、計算を実行するに当り、もう一つの重要な問題は境界条件の与え方である。潮汐の大きさにもよるが、両河川に測定された河口の塩分は、干潮附近では海水塩分よりかなり低く、満潮となっても海水塩分を示すことはない。このことから、常時海水濃度が存在する地点は河口外かなりの距離にあることが予想され、また、二次元的な拡がりをもつはずである。河口

外の塩分分布を1次元拡散方程式で計算することは不可能であるが、便宜的な対処法として、河道内の塩分分布には現実と同じような効果をもつ仮想的な河道がある距離 L だけ海に延長させ、その先端の仮想河口に海水濃度を与えることとした。

計算の手順は、先づ、 K 、 L 及び適当な初期濃度分布(例えは、河道中で $C=0$ 、仮想河口で $C=C_0$ (海水塩分))を与え、同一潮汐が繰り返されるものとして、初期条件の影響が消滅して、同一潮時に同一塩分分布を示すまで計算を繰り返す。計算結果の一例を図-1に示す。最も実測分布と合致度の良い K としは各ケースについて表-1に示している。

川内川と筑後川の干潮時には緩混合型の塩分分布を示し、密度流効果を多分に受けた流れてある。そこで計算から得られた K と L とを Fisher²⁾ が定義した密度効果を示す変

次元パラメーター(Estuary Richardson 数) $Rie = \Delta \rho Q_f / \rho_f W U_T^3$ (U_T : 潮流流速の r.m.s) で整理し、図-2, 3 に示した。 K に関してはほぼ $1/2$ 勾配でプロット点は並ぶようであり、密度勾配が存在する感潮部の分散係数は Rie にも関係することになった。

L については点の散らばりが大きく、明瞭な傾向は認められなかった。しかし、Ippen³⁾ の実験は Rie との関係を示しており、 L の Rie 依存性を示唆している。その他、 L には河口近傍の地形、沿岸流等の関与も想像され、普遍的な表現式を得るには多くの河川について調べる必要がある。

- 参考文献 (1) Fisher, H.B. "Mixing in Inland and Coastal Water", Academic Press, 1979
(2) Fisher, H.B., J.F.M. 53, pp 671~687
(3) Ippen, A.T. & Harleman, D.R.F., U.S.A.C.E. Technical Bull. No.5, 1961

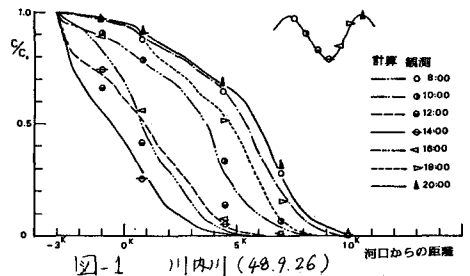


図-1 川内川 (48.9.26)

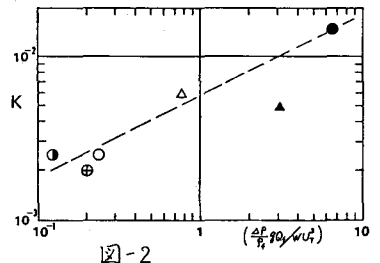


図-2

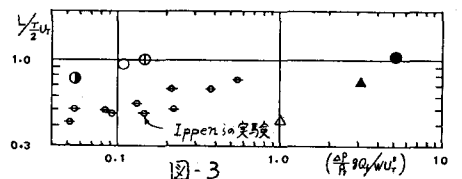


図-3