

河川感潮域における塩分侵入の調査と解析

長崎大学工学部

学生員 ○重松 栄児 佐藤 尚

正 員 古本 勝弘 一ノ瀬和雄

1. はじめに

河川感潮域には塩分の侵入があり、水利利用に支障を来すことがある。著者の一人は、強混合型とそれに近い緩混合型領域の塩分侵入を、移動座標(河道貯留水量)を用いた1次元移流分散方程式により解析する方法を提案し、筑後川・川内川¹⁾・六角川²⁾に適用している。しかし、感潮域における分散係数の表示式を確立するには河川データが不足と思われる、今回、菊池川で塩分等の調査を実施したので報告する。

2. 菊池川における塩分調査と結果

菊池川は熊本県北部を流れて、有明海に注ぐ流域面積996km²の一般河川である。観測は1995年7月15日・7月25日の2回実施した。水位は河口に設置した水位計で、3.2km(大浜橋・測点1)と5.6km(小島橋・測点2)地点で橋上から水面まで重鐘をつるして計測した。流速は測点1から流心と思われる1地点で流速計を下ろして0.5m間隔で鉛直分布を測った。塩分濃度は橋上から重鐘つきのロープに0.5m間隔で取り付け付けた採水ビンで採水し、現場で伝導度を測り、後で硝酸銀滴定法により電導度と塩素イオンの関係を求め換算した。塩分濃度の測定点は測点2の流心1地点と測点1では横断方向5(2回目は6)地点で鉛直分布を求めた。2回の観測とも計測の時間間隔は1時間で計13回である。観測結果は7月25日のものを以下に述べる。

図-1, 2は測点1流心における流速・塩分濃度の鉛直分布である。下げ潮で鉛直速度勾配が大で、上げ潮では鉛直方向にはほぼ一様な速度分布となる。満潮から下げ潮にかかる時間に下層に流れの停滞がおこる。これらは、下流向きの密度勾配の効果である。観測結果は7月25日のものを以下に述べる。塩分濃度の鉛直分布は、満潮から下げ潮にかけて表層に塩分濃度の低下があって成層する時間帯があるが、概して鉛直方向には一様である。図-3(a), (b)に上げ・下げ潮時における測点1の断面内の等濃度線を示す。上げ潮では上に凸、下げ潮で下に凸の形状で、横断方向の速度分布を反映している。すなわち、上げ潮では、濃度大なる水塊が流心に早く達し、流速の小さい両岸に低濃度水が残る。下げ潮では逆に、流心に低濃度水が早く達し、周辺に高濃度水が残るために図-3のような横断分布を示すと考えられる。

3. 一次元移流分散方程式による分散係数の評価

菊池川は下げ潮の1時期、弱い成層状態が現れるが、概して強混合タイプの塩分侵入であるので、断面平均濃度に関して1次元的扱いができるものと仮定する。感潮部最上流点を原点とし、下流向きにとったx地点までの水量 $V = \int A dx$ を独立変数とすると、塩分保存則は

$$\frac{\partial C}{\partial t} + Q_r \frac{\partial C}{\partial V} = \frac{\partial}{\partial V} \left[A \cdot D \cdot \frac{\partial C}{\partial V} \right] \quad (1)$$

ここに、 Q_r : 淡水流入量、 A : 流水断面積、 D : 分散係数である。ある値のVの位置は潮汐による水塊の移動とともに河道を移動する。このような移動座標の下では、 Q_r が一定であるとCは時間によらずほぼVのみの関数となるので、(1)式の非定常項を省略し次式を得る。

表-1 観測日における水理条件

	Q_r	ΔH	$\Delta \rho / \rho$	A	W	U^*	V_m	V_c	Riv	K
	m ³ /s	m		m ²	m	m/s	$\times 10^4$ m ³	$\times 10^4$ m ³		
7/15	36.1	3.80	0.022	1005	446	0.34	7.95	1.14	1.06	0.14
7/25	18.4	3.50	0.022	893	434	0.30	6.78	0.74	0.74	0.16

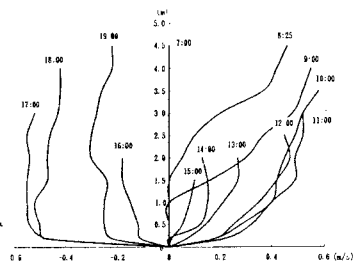
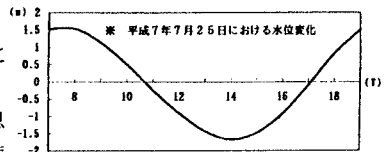


図-1 流速分布

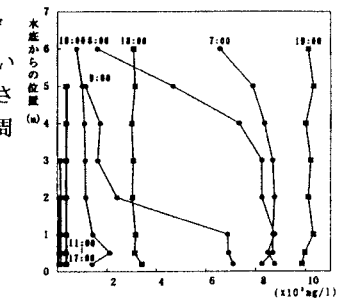


図-2 塩化物イオン濃度の鉛直分布

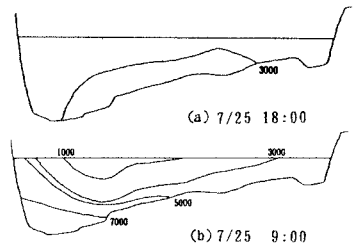


図-3 上げ潮・引き潮時における等濃度分布線

$$Q_r c = \frac{A^* D}{V_n} \cdot \frac{dc}{dv} \quad (2)$$

ここに、 $c = C/C_0$ 、 $v = V/V_n$ 、 C_0 :海水濃度、 V_n :満潮時の河口のVである。そこで、観測された c を v に対して描くことができればDの値を求めることができる。観測地点のVは時々刻々変わるので1地点の観測でもDの値を知り得るのはV座標を使うメリットであるが v の値を正確に求めることが問題となる。ここでは、河口の水位変化と上流端流量 Q_r を境界条件として、Two-step Lax-Wendroff法により不定流解析を行い、 v を求めた。観測された c と計算より得た v の関係は図-4となる。 $c \sim v$ の関係は一本の直線上にきちんと並んではいないが、平均的な曲線を描いて適当な v の値におけるDを(2)式から求めた。Dは m^2/s の単位で2桁の数値であるが、 v が小さい程大きい。

(1)式で塩分侵入を解析しようとするれば、Dの評価式が既知でなければならない。感潮域のような川幅の広い開水路往復流の分散係数は、理論的に $D/(W^2 U' / d) \propto (U_r / U')^2$ の関係が求められているので菊池川で求められる両者の関係を両対数用紙上にプロットし図-5を得る。ここに、W:河幅、 U_r :淡水流速(Q_r/A)、 U' :1潮汐間のrms流速、 d :平均水深($=A/W$)である。A、W、 U' は v の関数として1潮汐間平均値を求めておくことが必要であり、不定流計算で求めたものを使用した。図-5のプロット点を勾配2の直線でほぼ近似でき、理論結果を裏付けている。従って、Dは

$$D = K \frac{W^2 U_r^2}{d U'^2} \quad (3)$$

で表される。Kの値は河川によっても異なるし、同一河川でも水理条件により一定値とはならない。Kは密度流効果によって影響を受けると考えられるので、感潮域の成層度を表すリフトアップ数 Ri_v を(4)式で定義して、

$$Ri_v = \frac{Q_r T (\Delta \rho / \rho) g d}{(V_n - V_L) U'^2} \quad (4)$$

Kと Ri_v の関係を、過去に同様の解析で求められた他の河川のものとともに、図-6に示した。ここに、T:潮汐周期、 $\Delta \rho$:海水と淡水の密度差、 V_L :干潮時の河口におけるV、添え字 e は河口における1潮汐平均値を示す。結果的に、菊池川の2回の観測は Ri_v が近い値であったため、K及びDの評価式を確立するには効果的ではなかったが、他の河川の $K \sim Ri_v$ の関係に近いデータを増やすことができた。したがって、水理条件により Ri_v が与えられると図-6によりKを決めることができ、(3)式でDを評価することができる。図-6は Ri_v の増加、すなわち密度流効果の増加とともに、Kは減少し、(3)式からDも減少することを示すが、これは、図-3が示すように、横断方向の密度勾配が断面内の混合を促進するため、Dの減少につながるものと考えられる。Dを(3)式で与えると、(2)式を数値的に解いて $c \sim v$ 関係を求めることができる。 v の定義式から $v \sim (x, t)$ 関係が得られているので、これから $c \sim (x, t)$ 関係を定めることができる。

4 あとがき

菊池川の2回の塩分観測結果を v 座標による一次元移流分散方程式に用いて分散係数を求めた。感潮域における分散係数の評価式として(3)式が妥当な表示であることを示すことができた。ただし、(3)式のKの値が Ri_v に影響されることは、図-6の4河川のデータが示しているが、今回の2回の観測の Ri_v が近い値であったために、それほど有効なデータが得られたとは言えない。分散係数が密度流効果に影響されるメカニズムは理論的に検討すべき問題であろう。

参考文献

- 1) 古本、栗谷 : JHHE, Vol.5, No.2 PP.39-52, 1988
- 2) 清水、布他、古本:平成6年度土木学会西武支部講演概要集, PP.180-181

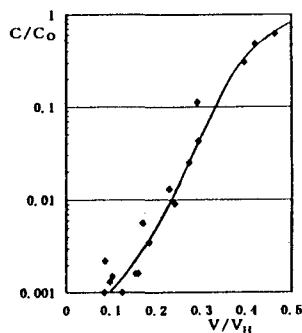


図-4 無次元の貯留水量

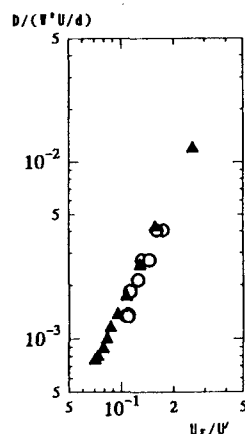


図-5 $D/(W^2 U_r^2 / d)$ と U_r/U' の関係

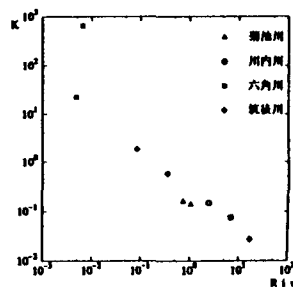


図-6 Kと Ri_v の関係