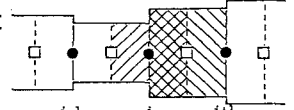


II-222

旧淀川の塩分遡上の解析

京都大学大学院 学生員 柳瀬 茂寿
 京都大学工学部 正 員 岩佐 義朗
 京都大学工学部 正 員 井上 和也
 京都大学大学院 学生員 溝口 宏樹

1. まえがき; 本報は、河口感潮域の例として旧淀川を取り上げ、その塩分遡上現象を解析し、塩害の防止法について考察することを目的としたものである。まず、分合流部を含み、河幅の変化を考慮した横断方向に積分された鉛直二次元モデルを構成する。これを旧淀川に適用し、流量減少時の塩害防止法の一つである上流端の放流操作を対象として、数値シミュレーションにより、より効果的な放流方法を検討する。



2. 離散式; 座標軸は河川縦断方向、横断方向、および鉛直方向にそれぞれ X , Y , および Z 軸をとる。なお、 X 軸は上流向きを正とし、圧力は静水圧分布を仮定する。計算モデルは図-1 のようにとり自由表面を含まない control volume について基礎式を積分し、さらに離散化した式を示せば以下のようである。¹⁾

$$\text{運動方程式 } X \text{ 方向: } \frac{U_{i+1/2}^{n+1} - U_{i-1/2}^{n+1}}{2\Delta t} + \frac{1}{\Delta x} \{ U_{i+1/2}^{n+1} U_{i+1/2}^{n+1} B_{i+1/2} - U_{i-1/2}^{n+1} U_{i-1/2}^{n+1} B_{i-1/2} \} + \frac{1}{\Delta z} \{ W_{i+1/2}^{n+1} U_{i+1/2}^{n+1} - W_{i-1/2}^{n+1} U_{i-1/2}^{n+1} \} + \frac{1}{\rho_{i+1/2}^{n+1} \Delta x B_{i+1/2}} \{ P_{i+1/2}^{n+1} B_{i+1/2} - P_{i-1/2}^{n+1} B_{i-1/2} \} - \frac{1}{\rho_{i+1/2}^{n+1} \Delta x B_{i+1/2}} \{ P_{i+1/2}^{n+1} B_{i+1/2} - P_{i-1/2}^{n+1} B_{i-1/2} \} - \frac{1}{\rho_{i+1/2}^{n+1} \Delta z} \{ \tau_{i+1/2}^{n+1} - \tau_{i-1/2}^{n+1} \} = 0 \quad (1)$$

$$Z \text{ 方向: } P_{i+1/2}^{n+1} = g \left\{ \sum_{k=1}^{K-1} \Delta z P_{i+1/2}^{n+1} - \frac{1}{2} \Delta z P_{i+1/2}^{n+1} \right\} + 2 P_{i+1/2}^{n+1} \quad (2)$$

$$\text{連続式} \quad \frac{1}{\Delta x} \{ U_{i+1/2}^{n+1} B_{i+1/2} - U_{i-1/2}^{n+1} B_{i-1/2} \} + \frac{1}{\Delta z} \{ W_{i+1/2}^{n+1} - W_{i-1/2}^{n+1} \} = 0 \quad (3)$$

$$\text{拡散方程式} \quad \frac{C_{i+1/2}^{n+1} - C_{i-1/2}^{n+1}}{2\Delta t} + \frac{1}{\Delta x} \{ U_{i+1/2}^{n+1} C_{i+1/2}^{n+1} B_{i+1/2} - U_{i-1/2}^{n+1} C_{i-1/2}^{n+1} B_{i-1/2} \} + \frac{1}{\Delta z} \{ W_{i+1/2}^{n+1} C_{i+1/2}^{n+1} - W_{i-1/2}^{n+1} C_{i-1/2}^{n+1} \} - \frac{1}{\Delta x} \{ D_{i+1/2}^{n+1} B_{i+1/2} - D_{i-1/2}^{n+1} B_{i-1/2} \} - \frac{1}{(\Delta z)^2} \{ C_{i+1/2}^{n+1} - 2 C_{i+1/2}^{n+1} + C_{i-1/2}^{n+1} \} = 0 \quad (4)$$

ここに、移流項の U や C に現れている a, b, c, d は control volume の接面の流速の正負により 0 または 1 の値をとる。 $B_{i+1/2}$, $B_{i-1/2}$ はそれぞれ運動方程式、連続式を適用する control volume の平均幅であり、 B_i は運動量が実際に運ばれる際の (i) 断面における有効幅で、 $B_{i+1/2}$ と $B_{i-1/2}$ の小さい方の値が用いられる。

3. せん断応力および拡散係数について; 自由表面のせん断応力は風の影響がないものとし、零とする。河床のせん断応力は、 $\frac{\tau_b}{\rho} = \gamma_b^2 u^2$, γ_b^2 : 抵抗係数 ($=0.0026$) で表し²⁾、河床にも自由表面にも接していない部分のせん断応力は、 $\frac{\tau_b}{\rho} = A_x \frac{\partial U}{\partial z}$ で表す。ここで、渦動粘性係数、渦動拡散係数は Richardson 数 Ri の関数とし、それぞれ $A_x = A_{zo} e^{-1.5Ri}$ および $D_x = D_{zo} e^{-3.0Ri}$ で与える³⁾。 Ri は、局所 Richardson 数を用い、 $A_{zo} = 80 \text{ cm}^2/\text{s}$, $D_{zo} = 120 \text{ cm}^2/\text{s}$ とする。

4. 放流操作のシミュレーション; 計算対象領域は旧淀川の下流端の安治川大橋から上流端の毛馬水門までの約 10 km をとり、分合流は堂島川と土佐堀川のみを考える。流量減少時、旧淀川では塩分遡上を抑制するために上流端の毛馬水門で、干潮時以外の流量を制限し、その分貯留された水を干潮時に一気に放流するフラッシング操作が行われる。ここでは、数値シミュレーションにより、より効果的な放流操作について検討する。塩分遡上に影響を与える要因としては潮位変動と河川流量を考え、前者については観測値より式(5)で近似する。計算では初期値設定の影響を除くため、塩分遡上がほぼ 12 時間周期の循環的挙動を示すようになる 3 日目の塩分遡上の先端位置および Cl^- 濃度の時間的な変化を見ることにする。ただし、 Cl^- 濃度には沿岸最下流の工業用水取水口である大阪臨海工水取水口地点 (7.6 km) の値に注目することにし、また塩分遡上の先端位置には Cl^- 濃度 200 ppm の等濃度線の最上流端の位置をとることにし、下流端からの距離によって表すことにする。

$$H(t) = H_0 + a \sin(\pi t/6) \quad (5) \quad \text{ただし} \quad H: \text{下流端水位} \quad H_0: \text{下流端平均水位} \\ a: \text{小潮時 } 0.4 \text{ m, 大潮時 } 0.8 \text{ m} \quad t: \text{計算開始後の時刻}$$

①放流方法のシミュレーション：まず放流方法

について表-1に示すシミュレーションを行った。その結果を表-2に示す。大潮時と小潮時の塩分遡上の先端位置を比較すると、大潮時の方が小潮時に比べて変動幅が大きいことがわかるが、平均的な遡上距離は小潮時と大潮時に大差はないようである。Cl⁻濃度の変動幅も大潮時の方が大きい、平均Cl⁻濃度は大潮時の方がやや大きくなっている。表-2、図-2より放流方法を比較すると、フラッシング操作を行わない一定放流が最も遡上しており、これよりフラッシング操作が塩分遡上の抑制に効果的であることがわかる。平均的に見ると下げ潮時放流が最も抑えられており、取水施設での滞留期間中の希釈を考えると、下げ潮時放流が有効であると考えられる。

②流量配分のシミュレーション：

河川の流量が少なく放流流量に制限がある場合、フラッシング操作時の放流流量をどのようにすれば、より効果的に塩分の抑制ができるかを検討するため、表-3に示す流量配分のシミュレーションを行った。その結果の図-3をみれば、フラッシング時間THが同じならば、フラッシング流量QHとフラッシングしない時の流量QLの比QH/QLが大きい方がより効果的なのである。また、Run401AとRun401Cとの比較などを合わせて考えると、QLはできるだけ小さくし、その分QHおよびTHを大きくするような放流流量の配分が効果的であることが知られる。<参考文献>1)溝口・井上・岩佐：土木学会第41回年講 II-118, 1986 2)堀江毅：“沿岸海域の水の流れと物質拡散に関する水理学的研究”，京都大学博士論文，1981 3)“Momentum and Mass transfer in Stratified Flow” Delft Hydraulics Lab. Report R880, Dec 1974

表-1 放流方法のシミュレーション

日平均流量 QA	潮位	放流方法	放流パターン				
			TH	TL	QH	QL	QH/QL
40	小潮	一定放流	12		40		1.0
		上げ潮時放流	4	8	70	25	2.8
		満潮時放流	4	8	70	25	2.8
		下げ潮時放流	4	8	70	25	2.8
		干潮時放流	4	8	70	25	2.8

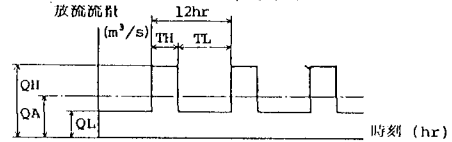


表-2 放流方法のシミュレーションの結果

放流方法	小潮						大潮					
	塩素イオン濃度(ppm)			先端位置 (km)			塩素イオン濃度(ppm)			先端位置 (km)		
	MAX.	MIN.	AVE.	MAX.	MIN.	AVE.	MAX.	MIN.	AVE.	MAX.	MIN.	AVE.
一定	414	228	312	8.8	8.4	8.60	525	198	348	8.8	8.2	8.55
上げ潮時	308	163	227	8.6	7.8	8.27	408	168	257	8.6	7.8	8.30
満潮時	307	132	204	8.6	7.8	8.12	407	111	249	8.6	8.0	8.18
下げ潮時	347	14	151	8.6	7.4	7.90	496	9	203	8.8	7.2	7.97
干潮時	307	45	201	8.6	7.4	8.17	429	18	229	8.6	7.2	8.13

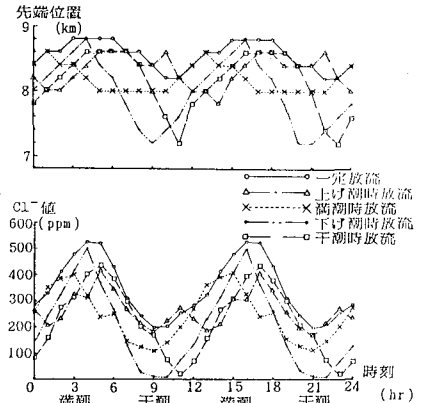


図-2 放流方法の比較(大潮時)

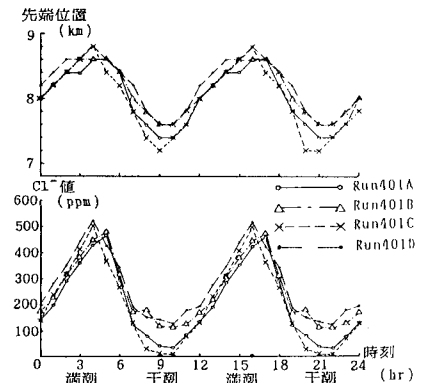


図-3 流量配分の比較

表-3 流量配分のシミュレーション

日平均流量 QA	潮位	放流方法	日当り放流パターン					ケース
			TH	TL	QH	QL	QH/QL	
40	大潮	下げ潮時	2	10	90	30	3.0	Run401A
			2	10	80	32	2.5	Run401B
			4	8	70	25	2.8	Run401C
			4	8	60	30	2.0	Run401D