

旧淀川の塩分題上の解析

京都大学工学部 正 員 岩佐 義朗

京都大学大学院 学生員 溝口 宏樹

京都大学大学院 学生員○柳瀬 茂寿

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の樣にとり自由表面を含まない Control volume について基礎式を積分

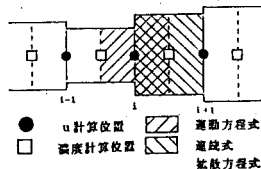


図-1 計算モデル

し、さらに離散化した式を示せば以下のようになる。

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

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

$$\text{連續式} \quad \frac{1}{\Delta x} \frac{1}{B_{i+1/2}} \{U_{i+1/2}^{n+3} B_{i+1}^{n+3} - U_{i+1/2}^{n+3} B_i^{n+3}\} + \frac{1}{\Delta x} \{w_{i+1/2}^{n+3} - w_{i+1/2}^{n+3}\} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{C_{i+1/2}^{n+1/2} - C_{i-1/2}^{n+1/2}}{2\Delta t} + \frac{1}{\Delta x} B_i \left[U_{i+1/2}^{n+1/2} - U_{i-1/2}^{n+1/2} \right] + \frac{1}{\Delta x} \left[W_{i+1/2}^{n+1/2} - W_{i-1/2}^{n+1/2} \right] - \frac{1}{\Delta x} B_i \left[D_{i+1/2}^{n+1/2} - D_{i-1/2}^{n+1/2} \right] - B_i \left[C_{i+1/2}^{n+1/2} - C_{i-1/2}^{n+1/2} \right] - \frac{1}{(\Delta x)^2} \left[C_{i+1/2}^{n+1/2} - 2C_{i+1/2}^{n+1/2} + C_{i-1/2}^{n+1/2} \right] = 0 \quad (9)$$

ここに、移流項の U や C に現れている a, b, c, d は Control volume の接合面の流速の正負により 0 または 1 の値をとる。 $B_{v,i}, B_{i+\frac{1}{2}}$ 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_d は運動量が実際に運ばれる際の (i) 断面における有効幅を表し、 $B_{i+\frac{1}{2}}$ と $B_{i+\frac{1}{2}}$ の小さい方の値を用いている。

3. 分合流部の取り扱い；合流部は図-2の様にモデル化

する。したがって連続式、拡散方程式については分合流部

以外の式に支川からの流出入を考慮するだけでよい。運動

方程式については、 $(g+\frac{1}{2})$ 断面の流速を以下のように定義する。 図-2 合流部の計算モデル

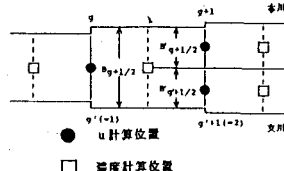


図-2 合流部の計算モデル

① 本川から合流部への流出入; $u_{2+1, 2+1}^{n+1} = \frac{1}{2} (u_{2+1, 2+1}^{n+1} + u_{2+1, 2+1}^{n+1})$

② 支川から合流部への流入； $u_{g, \frac{m}{2}, \frac{m}{2}}^{n+1} = \frac{1}{2} (u_{g, \frac{m}{2}, \frac{m}{2}}^{n+1} + u_{g, \frac{m}{2}, \frac{m}{2}}^{n+1})$ ただし、 $u_{g, \frac{m}{2}, \frac{m}{2}}^{n+1} = u_{g, \frac{m}{2}, \frac{m}{2}}^{n+1}$

この流速の正負により、本川と支川で別々に運動量の流出入を考える。なお、分流部についても同様の取り扱いを行う。

4. 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、 $\tau_b = A_m \frac{\partial u}{\partial z}$ 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 $A_z = A_{z0} e^{-1.5R_i}$ および $D_z = D_{z0} e^{-3.0R_i}$ で与える。³⁾ここで、Riについては、局所Richardson数を用い、 $A_{z0} = 80 \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $D_{z0} = 120 \text{ cm}^2/\text{s}$ とする。

5. 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10Km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、旧淀川では塩水遡上を抑制するために上流端の毛馬水門で、干潮時以外は一定流量を放流し、干潮時に多量の放流を行うフラッシング操作が行われるが、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。特に、旧淀川からの取水水の塩水化防止の意味から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(7.6Km)に注目している。なお、塩分遡上の先端位置は上水道の取水制限値であるCl⁻濃度200ppmの等濃度線の最上流端の位置を下流端からの距離で表している。

$$H(t) = H_0 + Q \sin \frac{\pi t}{6} \quad (5)$$

ただし H: 下流端水位
H₀: 下流端平均水位
Q: 小潮時0.4m 大潮時0.8m
t: 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

図-3に示すシミュレーションを行った。その結果を図-4に示す。これより大潮と小潮を比較すると、遡上距離、Cl⁻濃度ともに平均値には大差ないが、それらの変動量は大潮の方が大きいことがわかった。放流

日平均流量 QA	潮位	放流方法	放流パターン				
			TH	TL	QH	QL	QR/QL
40	大潮	一定放流	12		60		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
		一定放流	12		60		1.0
40	小潮	一定放流	12		60		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
		一定放流	12		60		1.0

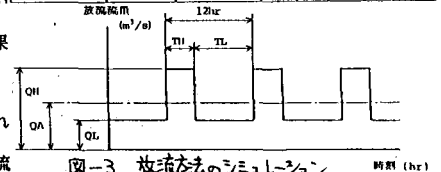


図-3 放流方法のシミュレーション

方法については、一定放流がもっとも遡上し、下げ潮時放流が最も抑えられることがわかる。取水施設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: 下げ潮時放流と現在行われている干潮時放流について図

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	190	348	8.8	8.2	8.55
上げ潮時	308	163	227	8.6	7.8	8.27	408	160	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	8.5	7.4	8.17	429	18	229	8.8	7.2	8.13

図-4 放流方法のシミュレーションの結果

一5に示す流量配分のシミュレーションを行った。

その結果を図-6に示す。これより、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

方がより効果的であり、さらにQLを小さくし、その分QHおよびTHを大きくするのが効果的であることがわかった。

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	QR/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
			2	10	90	30	3.0	Run402A
		干潮時	2	10	80	32	2.5	Run402B
			4	8	70	25	2.8	Run402C
			4	8	60	30	2.0	Run402D
			2	10	90	30	3.0	Run403A
			2	10	80	32	2.5	Run403B

図-5 流量配分のシミュレーション

く参考文献> 1) 溝口・井上・岩佐: 土木学会第41回年報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

ケース	塩素イオン濃度 (ppm)			先端位置 (km)		
	MAX.	MIN.	AVE.	MAX.	MIN.	AVE.
Run401A	461	32	207	8.6	7.4	8.02
Run401B	475	111	251	8.6	7.6	8.13
Run401C	496	0	203	8.8	7.2	7.97
Run401D	517	124	275	8.8	7.6	8.20
Run402A	397	36	225	8.4	7.4	8.10
Run402B	441	89	269	8.6	7.6	8.25
Run402C	420	18	220	8.6	7.2	8.13
Run402D	490	151	290	8.8	7.6	8.37

図-6 流量配分のシミュレーションの結果