

II-200 複混合型の感潮河川における汚濁の解析 (そのII)

— 塩水くさばの発生率の決定に関する理論的考察 —

京都大学工学部 正員 末石富太郎, 佐友恒, 伊藤憲男

・はじめに

前報(そのI)の検討からわかるように、隅田川では上げ潮時にのみ、両国、白髭兩地点に塩水くさばがえ上し、下げ潮時にのみ、塩水くさばは消失し、混合されつつ流下していることが推定された。この上げ潮時の塩水くさばの表示法として、各セグメントに η を導入したが、その値の決定が問題となる。中間混合型としていろいろな型が考えられるので、非常に複雑な混合型の場合には、武行錯誤的に探るしかない。しかし隅田川のように上げ潮時に比較的に明確な塩水くさばの発生が認められる場合などは、ある程度理論的探索が可能であろう。以下その方法として複混合型の場合の対応を調べていく。

・理論的考察

複混合型の運動量、水量の連続式は、次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{上層流について} \quad & \begin{cases} \rho_1(u_1\eta_1) + \rho_2(u_2\eta_2) = -g \cos \theta \frac{\rho_1}{2} (\frac{1}{2}P_1\eta_1) - \tau_i + \rho_1 g \eta_1 \sin \theta \\ \rho_1 u_1 + \rho_2 u_2 = 0 \end{cases} \quad \text{--- ①} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{下層流について} \quad & \begin{cases} \rho_1(u_1\eta_1) + \rho_2(u_2\eta_2) = -g \cos \theta \frac{\rho_2}{2} (P_2\eta_2 + \frac{1}{2}P_1\eta_1) + \tau_i + \tau_b + \rho_2 g \eta_2 \sin \theta \\ \rho_1 u_1 + \rho_2 u_2 = 0 \end{cases} \quad \text{--- ②} \end{aligned}$$

ここで ρ, u, η は、それぞれ密度、流速、水深で、サフックス 1, 2 は上層、下層を表わす。 θ は河床勾配、 τ_i, τ_b は内部摩擦力、底面摩擦力、 τ はそれぞれ時間距離、 g は重力加速度を表わす。

また一般に τ_i, τ_b は、次の式に表わされる。

$$\tau_i = \rho g (u_1 - u_2)(u_1 - u_2)/4C_i^2 \quad \tau_b = \rho u_2^2/\kappa^2 \quad (C_i, \kappa \text{ はシェー、マニングの抵抗係数})$$

== ② 満潮時を、近似的に定常と見なしの式は次式となる。

$$\frac{1}{2}(\rho_1 u_1 \eta_1 - g \cos \theta \rho_1 \eta_1) \frac{d\eta_1}{dx} + (u_1 \eta_1 + \frac{1}{2} g \cos \theta \rho_1 \eta_1^2) \frac{d\eta_1}{dx} = \rho_1 g \eta_1 \sin \theta - \tau_i \quad \text{--- ③}$$

== ③ u_1 は order として 10^{-1} m/sec 位であるので $\rho_1 u_1 \eta_1$, $u_1 \eta_1$ は $g \cos \theta \rho_1 \eta_1^2$, $\frac{1}{2} g \cos \theta \rho_1 \eta_1^2$ に比べて order 的に無視できる。又 $\frac{d\eta_1}{dx}$ を order 的に無視して $\tau_i = \lambda \rho_1 u_1^2/2$ (λ ; 摩擦係数) を代入すると次式を得る。

$$\frac{d\eta_1}{dx} = -\frac{u_1^2}{g} \tan \theta - \frac{1}{2} \frac{g \cos \theta}{g} \eta_1^2 \sec \theta \quad \text{--- ④}$$

④式を積分して θ を 0 と見なし、 $\lambda = \eta_1 \eta_2$ を表わすと (== に η_1 は河道特性値) ⑤式となる。

$$2g(\eta_1^{1/2} - \eta_0^{1/2})/(\eta_1 - \eta_0) = \lambda - \eta_0 \quad \text{--- ⑤}$$

⑤式より、塩水くさばの概形を定める。 η_0 値については、全田、大塚らによる調査結果や佐友らによる塩水くさばの調査²⁾から $\eta_0 = 6$ と設定し得るものと考えらる。従って⑤式は ⑥式となる。

$$1/\eta_1 - 1/\eta_0 = \lambda g(\lambda - \eta_0)/g \quad \text{--- ⑥}$$

== ⑥ 河口部において ($\lambda = 0$) η_1 は 限界水深を取るのて

$$\eta_0 = (g/\varepsilon g)^{1/2} \quad \text{--- ⑦}$$

$$\varepsilon = (\rho_2 - \rho_1)/\rho_1 \approx 0.02$$

$$\eta_1 = \{1/\{(\varepsilon g/g)^{-1/2} + \lambda g x/g\}\}^{1/2} \quad \text{--- ⑧}$$

ところで右値としては、九頭竜川における需要予測調査に示れば図-1に示す結果を得ている。いま隅田川における上げ潮時の塩分と上に当、この図-1とほぼ同様に右値をとるものと見なせば、⑧式から、隅田川における落潮時の塩水くさばを図-2のように推定し得る。(隅田川における右値は、白髪地点における流量河幅値より $g_1 = 0.18 \text{ m}^3/\text{s}$ とした時の概形を示すものとする。) ここで図-2から求めた右値と干満水位から計算した右値を決定し得る。

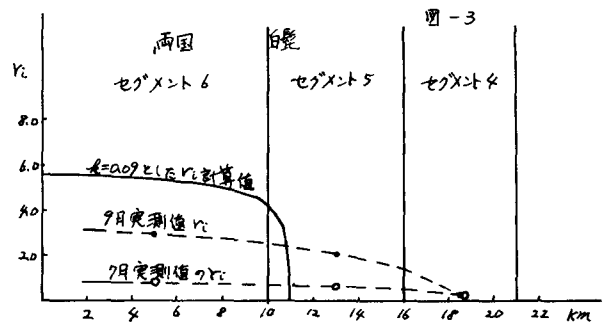
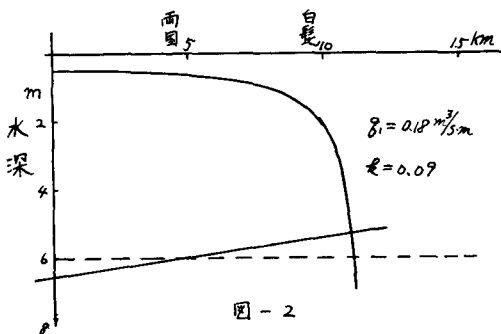
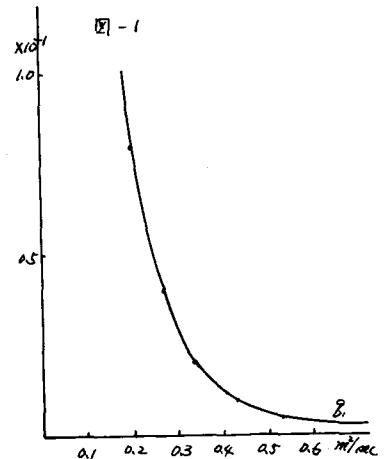
○実測右値と計算右値の比較

そこで前報(そのI)で実測値から求めた右値とここでの計算により求めた右値とを対比したのが図-3である。図-3の結果から判断する限り、隅田川のような混合型の感潮河川では弱混合型と見なして算定し得る塩水くさばの形状がやや変形されたものになっていることがわかる。つまり弱混合型定常解として求められる塩水の上がり、混合効果によってさらに上流域まで分散拡大され塩水の影響がより上流に及ぶのが特徴となる。その結果河口部での塩水くさばが、理論解よりは小さなものとなり、その量だけ上流側に影響が分散されていることが図-3よりわかる。

○まとめ

結局、理論的に各セグメントの右値を推定する一つの方法として次の手順が考えられる。

- 1) まず河道特性などを推定する。
- 2) 弱混合解として、塩水くさばの形状を推定する。
- 3) 上に求めた塩水くさばが、混合効果によって上流側に分散されていると見なす。
- 4) すなわち計算によるくさば形状が、量的に1/2〜1/3程度に小さくなっていると同時に、其上距離が2〜3倍上流側に及んでいるものを見なす。
- 5) このように混合効果も考慮して、計算によるくさば形状を補正した後各セグメントにおける右値が干満差水位の何容量に相当するかによって右値を決定すればよい。



- 参考文献 1) 大塚吉則「淡塩水混合域における用水取得に関する研究」京都大学修士論文、昭39
 2) 新日本技術コンサルタント、自反； 高井県臨海工業用水道計画取水可能量調査報告書、昭46
 3) 中村、土木学会第17回海岸工学講演会論文集、昭56