

長崎大学工学部 正員 古本勝弘
長崎大学工学部 正員 武政剛弘

1. まえがき

塩水楔の挙動を調べる目的で行った山口県萩市の松本川における観測結果の概略を述べ、当河川の塩水楔に対し従来の解析法を用いる場合の問題について二、三の考察を行った。

2. 観測およびその結果

流路延長 8.2 km, 流域面積 638 km² をもつ阿武川はそのデルタに達する地味に松本川と橋本川に分岐し日本海に注ぐ。観測の対象とした松本川河口部の平面図を Fig-1 に示す。姥倉運河は萩漁港との連絡水路であり淡水の流下はない。また、新塩川は市街地の排水路として機能しており降雨時以外には殆んど淡水の流下はない。Fig-1 に示した断面における平均水位以下の横断形状と概略の楔界面位置を Fig-2 に示す。河道形状の特徴は河口部狭窄が著しいこと、S-4 より上流に右岸より土砂の堆積が見られることであり、塩水楔の一次元解析を行う場合には流積の変化および上層流に対する河床抵抗をも考慮する必要がある。

観測は昨年7月14, 15日(大潮)と同9月6, 7日(小潮)に実施された。両時期とも河川流量は安定しており $Q_0 = 20.6 \text{ m}^3/\text{sec}$ (7月14日), $20.7 \text{ m}^3/\text{sec}$ (9月6日) であった。河口部では水面はほぼ水平に昇降するものと考え、Point 3 に量水標を設け水位変化を読んだ。潮位差は大潮時 70 cm, 小潮時 15 cm 程度であった。塩水楔の開状挙動を捕えるため、Fig-1 に示した 6 地味において電気伝導度の鉛直分布を測定し塩素濃度に換算した。この観測は一隻のボートで川を上下し上記 6 地味に順次停止し測定する方法を採った。同一地の観測週期は 45~50 分、二地味間の観測時刻のずれは 5~7 分であった。6 地味の同時刻における塩分分布を知るためには、その前後の時刻の測定値から所定の時刻の濃度を内挿した。以下、塩水楔の動きについて大潮時の観測資料を中心に述べる。各地味の鉛直塩分分布の一例を Fig-3 に示す。Point 6 を除けば観測層厚は 40~50 cm であり界面は極めて明瞭である。Point 5 付近は下層に全く稀釈されていない海水の侵入がある。Point 6 の分布が特異であるが、これは 1.25 km 地味の浅瀬を潮位が高い一時期に塩水が越流する形で侵入するためと考えられ、越流塩水そのものが高濃度でないこと、越流時の混合により図のような分布が形成され、滞留しているものであろう。

上下層の境界を塩素濃度 10‰ の位置とし、縦方向の界面形状の一例を Fig-4 に示す。また、各地味の界面位の時間的変化を Fig-5 に示す。両図によると、水表面の変化が 70 cm 程度であるのに対し、界面位の変動は 100 cm 程度とかなり大きい。また、各地味の界面の昇降には時間的ずれが若干見られる。海に近い Point-1 の界面は潮汐波が少し早く昇降する。つまり満潮位に到る以前に界面は低下し始め、最低水位に到る以前に上昇を始める。この傾向は上流地味ほど遅れるようである。界面勾配は上げ潮時に大きく、

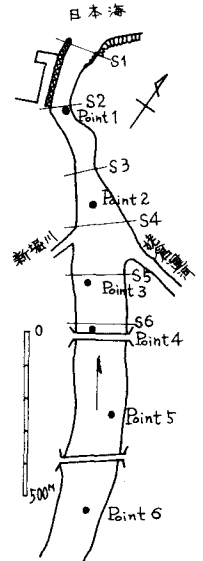


Fig-1

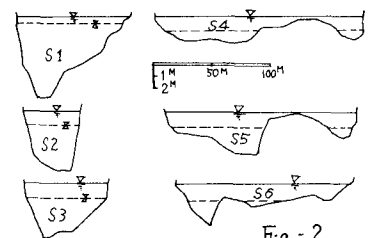


Fig-2

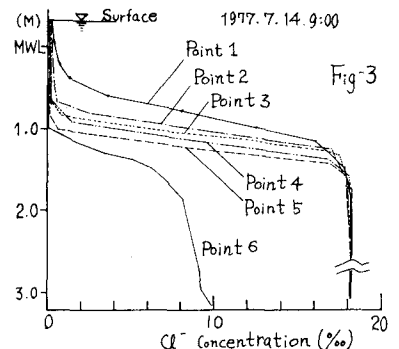


Fig-3

下げ潮で小さく、部分的に逆勾配が現われる。550 mより上流の下層塩水の潮位による進退には河床抵抗、下層水路の狭まりが大きく影響するため、界面変動の位相差となって現われるのであろう。

Fig-4には小潮時に観測された界面形状を破線で記入している。小潮時の界面変動は図4に示された破線の下10 cmの範囲内であって塩水楔の動きは非常に小さいことが認められた。

3. 定常塩水楔に関する計算

松本川の小潮時の塩水楔は河川流量が一定であれば殆んど静止していると考えてよい。定常の楔の形状に影響する要素の中で、松

本川の場合、Fig-1, 2から推察できるように流れ方向の流積の変化と上層流の河床での抵抗は無視できない。中村らはそれらの影響を評価した式を誘導し定河川に適用した。ここではそれとは少し異なった方法を用いて試算してみた。

静止塩水楔に対する平均流の運動方程式は、流れを一次元漸変流とみると上、下層について、²⁾

$$d(\rho U^2/2g)/dx + dH/dx + I_1 + I_2 = 0 \quad \dots (1) \quad d[(1-\epsilon)H + \epsilon H_i]/dx + I_3 = 0 \quad \dots (2)$$

ここに、 $\epsilon = (B - \beta)/B$, $I_1 = \tau_b B_i / \rho g A_1$, $I_2 = \tau_b (T_s - T_i) / \rho g A_1$, $I_3 = -\tau_b B_i / \rho g A_2$, 座標軸は水平下流向きに x , 鉛直上向きに z , H, H_i : 水表面、界面の z 座標, B, T : 添字で示す高さの水路幅、河辺長, 添字 s, i : 水面、界面の位置を表示。二層流の理論展開には従属変数として一般に上下層厚が用いられるが、ここでは H, H_i を用いた。これは河川測量図から作図される $z \sim A, B, T$ 曲線を読みながら計算を進めるのに便利である。 $A_1 = \int_{H_i}^H B dz$ であるから $d(\rho U^2/2g)/dx = -(\rho Q^2/gA_1^3) [B_s(dH/dx) - B_i(dH_i/dx) + \int_{H_i}^H (dB/dx) dz]$ とおいて、(1),(2)式を $(dH/dx)(dH_i/dx)$ で解くと、

$$dH/dx = [-I_1 - I_2 + I_3(B_i/B_s)F_{ii}^2 + I_4]/\Phi \quad \dots (3), \quad dH_i/dx = [(I_1 + I_2 - I_3)\epsilon - (I_1 + I_2 - I_3F_{ii}^2 - I_4)]/\Phi \quad \dots (4)$$

ここに、 $I_4 = (\rho Q^2/gA_1^3) \int_{H_i}^H (dB/dx) dz$, $F_{ii}^2 = \beta_i (Q/A_1)^2 / (\epsilon g A_1/B_s)$, $\Phi = 1 - [\epsilon + (1-\epsilon)(B_i/B_s)] F_{ii}^2 \quad \dots (5)$

Q_1 および τ_b の算定式が与えられるならば (3)(4)式右辺は H, H_i の関数となるため、この H, H_i に関する連立常微分方程式を数値的に解いて楔の形状を得る。境界条件は河口で与えられる。河口では流積が急激に変化するため限界流となり、 $dH/dx, dH_i/dx$ が非常に大きな値をもつ。すなわち $\Phi = 0$ が河口で成立する。この条件式の妥当性は中村らにより神通川河口での実測から確認されている。

H, H_i を求める計算は河口において潮位から H 、河口条件式から H_i を決め、(3)(4)式を用いて逐次上流に向けて進められる。ただし、河口では理論的には (3)(4)式が ∞ となり、 Δx 上流の H, H_i を求める計算にこの式は用い得ず、(1)(2)式を階差式に直して、その式の等号が成立するような H, H_i を試行錯誤により探さねばならない。これより上流については (3)(4)式は有限な値をもつので Euler-Gauss の予測子修正子法を用いて H, H_i を計算できる。松本川の小潮時の塩水楔に対してお計算は次の式と値を用いて行い、結果を Fig-4 に示している。

$\epsilon = 0.026$, $\tau_b = \rho R U^2$, $\tau_b = \rho (9n^2/R^3) U^2$, マニング粗度係数 $n = 0.025$, $\beta_i = 1.0$ 界面抵抗係数 R については、実測の界面形状を (4)式に用いて逆算したところ金子³⁾提案による式 $R = 0.1 \Psi^{-0.5}$ に近い値であったのでこの式を用いた。 $\Psi = F_{ii}^2 R \epsilon$ である。実測から逆算された松本川の (R, Ψ) の値は $(5.8 \times 10^{-4}, 5.0 \times 10^{-4}), (4.7 \times 10^{-4}, 4.9 \times 10^{-4}), (2.6 \times 10^{-4}, 5.0 \times 10^{-4})$ 等であった。実河川でのこの様な計算では、水路中の急変により生ずる死水域、上層流の受ける界面と河床の抵抗の差による分布流速を平均流速で全て置換している。この影響は抵抗係数 R の評価につながる問題であり検討が必要であろう。

参考文献 1) 中村、阿部; 電研技研報告 No.66074 2) 古本; 52年度西部5部 p223, 3) 金子; 第13回海岸工学講 p263

