

那珂川河口域における塩水遡上の特性について

九州大学大学院 学生員○高橋大吉 正会員 安達貴浩 フェロー 小松利光
 学生員 橋本彰博 正会員 北野真宏

1. はじめに 茨城県のほぼ中央部を流れ太平洋に注ぐ那珂川において、ここ最近洪水による災害が頻発し、河道の浚渫や流水阻害率の大きい橋脚の改修などの対策が災害復旧事業と並行して急ピッチに進められている。このような那珂川の河口域において、これまでも塩水侵入の増大によりしばしば取水障害が発生しているが、上記のような洪水対策により今後益々深刻化することが懸念されている。このため、那珂川河口域の塩水侵入の特性を明らかにし、何らかの対策を講じる必要があると考えられている。このような状況を踏まえて、本研究ではこれまでに数回実施された塩水侵入の多点観測結果を用いて、那珂川河口部における塩水侵入の特性について調べた。

2. 多点移動観測の内容とその結果

(1)現地観測の概要 那珂川河口域では、1995年から1997年にかけて塩水侵入先端から2~3km下流の数地点について塩分濃度の多点観測が行われ、1999年の4月以降は河口から8km上流の勝田橋で連続的な定点観測が行われている。しかし、これらの観測は測定区間が侵入塩水の一部分に限られており、水深方向の測点も少ないため塩水楔の界面位置を把握するには情報が不十分であった。そこで2000年2月、8月、12月の大潮時および小潮時において塩分濃度の詳細な鉛直分布を調べるための多点移動観測を実施した。なお河口より約1km上流の湊大橋水位観測所において潮位データが、河口より約38.3km上流の野口水位観測所において流量データが得られているため、これらを利用して結果の考察を行った。

(2)観測の結果 現地観測の結果として、8月23日(小潮)、29日(大潮)の水位変化(図-1)と、河口から0.1km、5.7km地点の

塩分濃度の鉛直分布(図-2,3)を示す。今回の観測日の河川流量は70m³/s前後と夏季としては平均的な流量であった。図-2,3から、大潮時の河口付近において、水表面付近の塩分濃度に比較的大きな値が見られるもの、大潮、小潮いずれにおいても濃度が急変する明瞭な密度界面が存在している。また、水位の変化に応じて界面の高さが昇降し、中間層における濃度勾配は時間的にほとんど変化していないことが見て取れる。下層の塩分濃度も流下方向にあまり変化しないことから、潮汐による混合の影響はそれほど大きくないと考えられる。以上の結果から、那珂川河口部では大潮、小潮いずれにおいても弱混合型の塩水侵入が実現されており、潮差の大小は下層塩水の入退に対して支配的に寄与することが分かった。

3. 1次元二層流数値シミュレーションによる検討

(1)二層流数値シミュレーションの概要 次に、2000年の2月4日、14日の塩水侵入を対象に1次元二層流数値シミュレーションを行った。那珂川の河道横断データには、1998年度に行われた測量結果を利用した。上記の那珂川河口域の塩水侵入の現地観測結果を見ると、上層には下層の塩水の混入がほとんどなく、下層もほとんど希釈されていないため、上・下層間の連行は考慮せず計算を行った。また、弱混合型塩水侵入の界面形状を考える上で、水面勾配は現象に対して相対密度差の2乗のオーダーでしか寄与しないため、水表面は水平であると考えた。実測の幅平均の上層厚の値を境界条件として与え、4次のルンゲ・クッタ法を用いて数値解析を行った。空間格子間隔を $\Delta x = 100\text{m}$ とし、各格子点の水深と

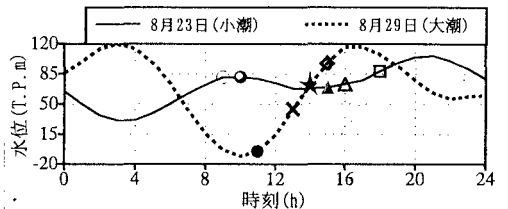


図-1 観測日の水位変化

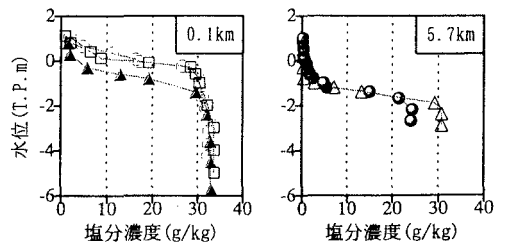


図-2 8月23日(小潮)の塩分鉛直分布

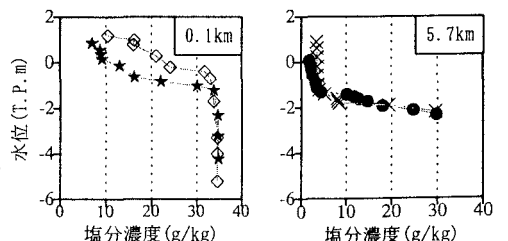


図-3 8月29日(大潮)の塩分鉛直分布

(図1のプロットは図-2,3と対応している)

幅の値は、500m間隔の実測値を線型補間により与えた。ところで、1次元二層流計算を行う際、界面抵抗係数 f_i を正確に評価する必要があるが、本研究ではクーリガン数 Θ の関数である以下の関係式で評価した。

$$f_i = \alpha \Theta^n = \alpha \left[\frac{(g \epsilon v)(h_1 W)^3}{|Q_1|^3} \right]^n$$

但し、 $\Theta = Re_1 F_{ii}^2$ 、 $Re_1 = U_1 h_1 / \nu$ 、 $F_{ii} = U_1 / \sqrt{\epsilon g h_1}$ 、 W :代表幅、 h_1 :幅平均の上層厚、 Q_1 :上層流量、 ϵ :相対密度差、 g :重力加速度、 U_1 :上層の平均流速、 ν :動粘性係数である。また、定数 α 、 n については多くの提案があるため、那珂川での α 、 n の最適値をフィッティングにより求めたところ、 $\alpha = 0.18$ 、 $n = 0.5$ という組み合わせに対して実測結果に最も近い計算結果が得られることが分った。そこで以後の計算ではこれらの値を用いることとする。

(2) 数値シミュレーションによる河川流量と塩水侵入の関係の検討

まず、数値シミュレーションならびに現地観測の結果を用いて、那珂川河口部における河川流量と塩水侵入長の関係について調べた。

数値計算では $\alpha = 0.18$ 、 $n = 0.5$ と固定し、河川流量を種々変化させて各河川流量に対する塩水侵入長を算出した。また、観測結果として1995年から1997年までの満潮時における塩水侵入長の実測結果を、河川流量には1日平均流量を用いた。観測と数値シミュレーションの結果の比較を図-4に示す。まず、数値計算の結果に着目すると、塩水侵入長は1日平均流量の減少に対して線形的に増加するわけではなく、河床の凹凸の影響を受けた変化を示している。また、観測結果は流量が同一でも塩水侵入長は大きくばらついている。これは、出水による河川流量の増加の影響が比較的長く、1日平均流量では出水からの経過時間の差異によって生じる塩水侵入長の違いを完全には評価できないと推測される。

4. 現地における河川流量と塩水侵入長の関係 前節の結果を踏まえると、那珂川河口域における塩水侵入と河川流量との関係を正確に把握するためには、河川流量の時間的な変化によって生じる塩水侵入の非定常な挙動を明らかにする必要があると考えられた。そこで、両者の相互相関係数を求め河川流量の変動に対する塩水侵入の応答を調べた。ここで、現地観測の場合には長期に連続した塩水侵入長の観測結果がないため、塩水侵入長を代表する量として勝田橋における下層塩分濃度を用いて検討を行った。それぞれのデータに対して25時間移動平均動作を施して潮汐の影響を取り除いた後、出水があった期間について相互相関係数を求めたところ負のピークを取るということが確認された。そこで、相互相関が負のピークを取る時間を τ_{min} とし、 τ_{min} と出水期間との関係を調べた。その結果、 τ_{min} は出水の期間に対して強い相関をもっていることが明らかとなった(図-5)。これから、 τ_{min} は出水期間を反映したタイムスケールと言える。また、現地観測結果の種々の流量変動に対して求められた τ_{min} は1日から2日程度であることが確認されたが、前節で述べたように τ_{min} のタイムスケールでは図-4のばらつきは評価できない。従って、図-4のプロットのばらつきを評価するには出水期間だけでなく出水からの塩水侵入の回復時間までを考慮する必要があると考えられる。那珂川河口域での流量の非定常変化は塩水侵入長に対して数日間影響力をもっていることが推測されるため、図-4の横軸の河川流量を1日平均流量だけでなく、直前3日から7日間までの平均流量に変化させた。その結果、直前3日間の平均流量を用いた場合に、数値計算の結果に最も良好に対応し、プロットのばらつきも少なくなることが分かった(図-6)。従って、図-4のプロットのばらつきは、出水期間というよりはむしろ出水からの経過時間の違いによって生じたものと推測できる。

5. まとめ 本研究から、河川流量と塩水侵入長の関係を明らかにするためには、河川流量の増加に対して塩水侵入長が元の定常状態にまで回復するのに要する履歴の効果を考慮する必要があることが分った。

参考文献 1)福岡(1988): 第32回水理講演会論文集, pp.203-208

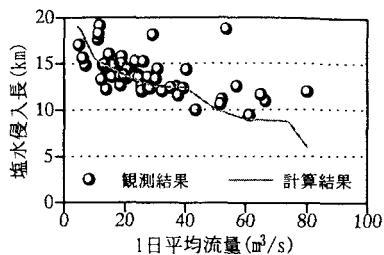


図-4 1日平均流量と塩水侵入長の関係

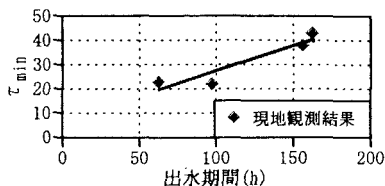


図-5 那珂川の出水期間と τ_{min} の関係

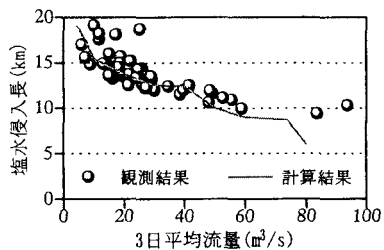


図-6 3日平均流量と塩水侵入長の関係