

河口部塩水侵入に対する河川流量の変化の影響（その1）

九州大学 学生会員○朝田 将 安達貴浩 室永武司 田吹泰孝
九州大学 フェロー 小松利光 正会員 柴田敏彦 藤田和夫

1. はじめに

河川感潮域における塩水侵入は、河口潮汐や気象条件など多くの外的要因の影響を受けて複雑に変化している。河川流量の大きさも塩水侵入を規定する最も支配的な要因の一つであり、流域の開発に伴う取水量の増加や異常気象による降水量の減少等の影響を受けて河川固有流量が減少し、海域からの塩水侵入が増大することが懸念されている。本研究では室内実験水路及び筑後川河口部の塩水侵入に対して tidal prism 理論を適用し、強混合型河川における河川流量と準定常状態の塩水侵入との関係を明らかにした。

2. 室内実験及び現地観測の実測結果

まず、小松ら¹⁾によって開発された感潮河川水路を用いて室内実験を行った。海域の潮位変動や密度差等の条件を固定し、一潮汐間に上流から流入する淡水の総体積 V_f のみを変化させて、 V_f と塩水侵入との関係を調べた(実験条件省略)。各流量に対して得られる準定常状態の断面平均塩分濃度を流下方向に積分して、河道内に侵入した単位幅当りの総塩分量 M を算出した。次に、筑後川河口部の塩水侵入に対しても同様のデータ解析を行った。現地観測の結果としては、1994年に筑後川工事事務所によって実施された流下方向に詳細な塩分濃度の同時観測結果の内、潮汐条件がほぼ等しい大潮時の結果を用いた(詳細省略)。それぞれの塩水侵入の満潮時において得られる M の値を各潮汐条件より算出される tidal prism (P_t) と海水の塩分濃度 (S_0) の積 M_0 ($\equiv P_t \cdot S_0$) で無次元化し、 V_f/P_t に対する変化を調べた。図-1の結果を見ると、 P_t が一定の条件の下では、淡水流量の増加に伴って満潮時における塩分侵入量は減少するが、その変化率は流量が小さい範囲ほど大きいことが分かる。また、多少のばらつきが見られるものの、筑後川の結果は室内実験の結果と殆ど同一の変化を示している。

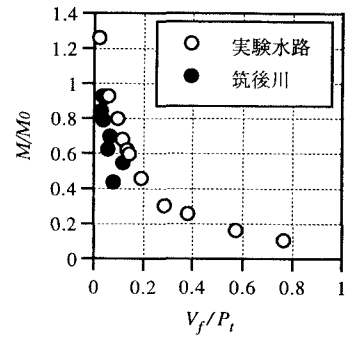


図-1 実験及び実測結果

3. tidal prism 理論を用いた強混合型塩水侵入の解析

前節で得られた河川流量と塩分侵入量との関係について考察を行うために、表-1に定義される諸量を用いて tidal prism 理論による解析を行った。

(1) tidal prism 理論 強混合型河川では断面内の塩分濃度がほぼ一様であり、潮汐の位相によって変化する塩水侵入の挙動は非定常の一次元分散方程式により記述することができる。また、強混合型河川においては入退潮量が非常に大きく非定常分散方程式中の分散項は移流項に対して十分小さいためこれを見捨てると、準定常状態において次の2つのバランス式が成り立つ。

(塩分の収支式)

$$S_{Fld} V_{Fld} = S_{Ebb} V_{Ebb} \quad \dots (1)$$

また、上げ潮時に流入する塩水の体積 V_{Fld} を、 V_{Fld0} と V_{Fldc} の2つの成分に分解すると、以下の式が成り立つ。

$$S_{Fld} V_{Fld} = S_0 V_{Fld0} + S_{Ebb} V_{Fldc} \quad \dots (3)$$

満潮時と干潮時の塩分の侵入量をそれぞれ M_{max} 、 M_{min} とすると、 M_{max} は以下の関係によって評価することができる。

$$M_{max} = M_{min} + S_{Fld} V_{Fld} \quad \dots (4)$$

ここで、河川と海域との間の塩水の交換率を意味する

$$R = \frac{V_{Fld0}}{V_{Fld}} \quad \dots (5)$$

を定義する。式 (1) - (5) を用いた式変形により M_{max}

(体積保存則)

$$V_{Fld} + V_f = V_{Ebb} \quad \dots (2)$$

表-1 各物理量の定義

記号	記号説明
S_{Fld}	上げ潮時に海域から河道内に侵入する塩水の平均塩分濃度
S_{Ebb}	下げ潮時に海域から河道内に侵入する塩水の平均塩分濃度
V_{Fld}	上げ潮時に海域から河道内に侵入する塩水の体積
V_{Ebb}	下げ潮時に海域から河道内に侵入する塩水の体積
V_f	一潮汐間に河道内に流入する淡水の総体積
V_{Fld0}	上げ潮時に海域から河道内に侵入する塩水の内、新たに海域から侵入するものの体積
V_{Fldc}	上げ潮時に海域から河道内に侵入する塩水の内、前の下げ潮時に河口から流出し再び河道内に侵入するものの体積
S_0	海の塩分濃度

の評価式を導出し、更に、2章で定義した M_0 を用いて無次元化すると、

$$\frac{M_{max}}{M_0} = \frac{M_{min}}{M_0} + \frac{R V_{Ebb}(V_{Ebb} - V_f)}{P_t \{V_f + R(V_{Ebb} - V_f)\}} \quad \dots (6)$$

室内実験及び現地観測の結果より、強混合型の河川では干潮時において河道内への塩分の侵入が殆ど見られないことが観測されている。したがって、式 (6) の右辺第1項を無視し、更に、

$$P_t + 0.5 V_f = V_{Ebb} \quad \dots (7)$$

なる関係より (6) 式中の V_{Ebb} を P_t 及び V_f で記述すると、結局、満潮時の塩分侵入量 M_{max} と河川水の流入量 V_f との関係は以下の式によって評価することができる。

$$\frac{M_{max}}{M_0} = \frac{R \left(1 - 0.5 \frac{V_f}{P_t}\right) \left(1 + 0.5 \frac{V_f}{P_t}\right)}{\frac{V_f + R \left(1 - 0.5 \frac{V_f}{P_t}\right)}{P_t}} \quad \dots (8)$$

上式を見ると、強混合型塩水侵入の満潮時における塩分侵入量は、 V_f/P_t と R によって決定されていることが分かる。また、得られた塩水侵入のデータより、以下の関係式を用いて R を求めることができる。

$$R = \frac{S_{Ebb} \cdot V_f}{(P_t - 0.5 V_f) \cdot (S_0 - S_{Ebb})} \quad \dots (9)$$

(ただし、 $S_{Ebb} \equiv \frac{M_{max} - M_{min}}{P_t + 0.5 V_f}$ である)

(2) 理論曲線と実測結果との比較 次に、室内実験水路及び筑後川における塩水侵入の観測データに対して式 (14) より R を算出し、 R の値が V_f/P_t によってどのように変化するかを調べた (図-2)。この結果を見ると、図-1 では重なって見えた実験水路と筑後川のプロットの位置は、互いの R の値に若干の違いがあるため、実際は微妙に異なっていることが分かる。また、室内実験水路、筑後川いずれについても tidal prism P_t が一定で V_f のみが増加する場合、 V_f/P_t の値に関わらず R の値はほぼ一定であると見なすことができる。筑後川で得られた結果は必ずしもそれぞれの V_f に応じた準定常状態の値を示しているわけではなく、 R の中に塩水侵入の非定常変化の影響も含まれていると考えられるが、同一河口の海水交換能力は主に潮汐の強さによって変化しているため、このような結果が得られたものと考えられる。以上の結果を踏まえると、個々の河川について予め P_t と R の関係を調べておけば、 V_f のみが増加した場合の R の値を予測することが可能となる。

次に、実験水路、筑後川それぞれについて図-2 の R の平均値に対する、 M_{max}/M_0 を式 (15) より算出し、 V_f/P_t に対する M_{max} の変化を調べた (図-3)。更に、 R の値を変化させて理論曲線の傾向性を比較した。この結果を見ると、いずれの R についても V_f/P_t の増加に伴い M_{max} は単調に減少するが、上述の室内実験 ($R_{ave} = 0.1503$) や筑後川 ($R_{ave} = 0.0841$) のように R が小さい場合には、 V_f/P_t が小さい領域で急激に塩分侵入量が減少していることが分かる。この結果より、 R も V_f も比較的小さな河川では多少の河川流量の減少でも、塩水侵入が著しく増大する恐れのあることが示唆される。また、室内実験水路と筑後川のいずれの結果も理論曲線によく一致しており、 V_f に対して R を一定と見なすことの妥当性が確認できる。

4. 結論

本研究の結果より、個々の河川について P_t と R との関係を明らかにしておけば、河川流量の変化に対する強混合河川の準定常状態における最大の塩水侵入を予測することが分かった。

参考文献

1) 小松利光・安達貴浩・孫双科・柴田敏彦：強混合型感潮河川における見掛けの拡散フラックスの評価法，水工学論文集第40巻，pp. 505-510，1996。

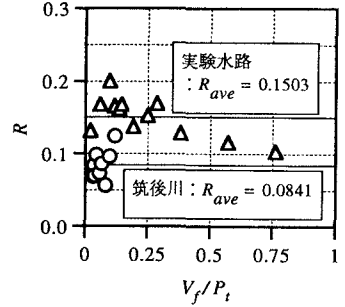


図-2 V_f/P_t による R の変化

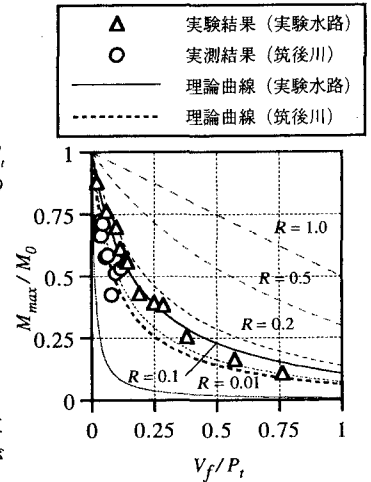


図-3 V_f/P_t による M_{max}/M_0 の変化