

潮差の不規則変化が塩水侵入に及ぼす影響について

○九州大学大学院 学生員 久保幸範 九州大学大学院 正会員 安達貴浩
 九州大学大学院 7人-員 小松利光 九州大学大学院 学生員 橋本彰博
 九州大学大学院 学生員 高橋大吉 九州大学大学院 学生員 金納聡志

1. 目的 川内川河口域では、緩（もしくは強）混合形態が実現される大潮時から弱混合形態の実現される小潮時にかけて、河川上流側への塩水遡上は著しく増大し、潮差の変化に伴って塩水侵入状況はその様相を時々刻々と変化させている¹⁾。このような塩分の挙動は、「他の条件は固定し、潮差のみを変化させた場合、緩混合から弱混合の範囲において、塩水侵入長は潮差が小さいほど長くなる」という規則的な潮汐を与えた場合の室内実験結果²⁾とほぼ一致したものと見なすことができる。しかしながら、川内川河口域において塩水侵入が最大となるのは、潮差が最小となる小潮時ではなく、それよりも更に1～2日後の長潮時や若潮時であることを踏まえると、塩水侵入状況は厳密にはその時の潮差と完全に対応し変化しているわけではないと言える。従って、このような塩水

遡上のメカニズムには潮差が非正常に変化する場特有の現象が含まれていると考えることができる。そこで、著者らは潮差の時間的な変化に対する塩水遡上の応答特性に着目して室内実験を行った。

2. 室内実験の内容 室内実験には、小松ら³⁾によって開発された室内感潮河川水路を用いた。また、川内川河口部では、大潮時に緩混合、小潮時に弱混合型の塩水侵入が実現されていることから、実験においてもこのような混合形態の遷移にターゲットを絞った。著書らは潮差が3段階に断続変化するシンプルな条件下で実験を行い、最大の塩水侵入は必ずしも潮差最小時に実現される訳ではないことを確認している⁴⁾。しかしながら実際の潮差は滑らかに増減していることから、今回、上記の結果を踏まえて、実河口域と同じような潮差の変化を与えて室内実験を行った(Case2)。なお、塩分濃度 $C_0=4.0\text{g/kg}$ の準定常状態において、潮位振幅 $A=15\text{mm}$ の時に緩混合型、 $A=5\text{mm}$ の時に弱混合型の塩水侵入が実現されることが予備実験において確認されている。

3. 室内実験の結果およびその考察

(a) 緩混合型から弱混合型への遷移過程 まず、潮位振幅 $A_1=15\text{mm}$ に対する

準定常状態の塩水侵入(緩混合)を初期条件として、 $A_2=5\text{mm}$ と変化させる場合について、その条件に対する弱混合型の新たな準定常状態が形成されるまでの時間を調べた(Case1)。その結果、新たな準定常状態が実現されるまでの時間は、潮汐周期(1周期=240s.)で約50周期であった(図-1)。上記のタイムスケールを、以後「遷移のタイムスケール」と呼ぶことにする。

(b) 潮差が正弦的に変化する場合の塩水侵入の応答特性 次に実河口域と同じような、以下の式(1)によって記述される潮位変化を与えて室内実験を行った(Case2)。

$$h(t) = h_0 + \left(\frac{A_{\max} + A_{\min}}{2} \cos \frac{2\pi t}{T'} + \frac{A_{\max} - A_{\min}}{2} \right) \sin \frac{2\pi t}{T} \quad (1)$$

ここで、 h_0 ：河口での一潮汐平均水深、 $h(t)$ ：河口潮位、 T ：

表-1 実験ケースおよび条件

実験ケース	潮位振幅	潮差の変動周期
Case1	$A_1=15\text{mm}$ から $A_2=5\text{mm}$ へ断続的に変化	-
Case2	式(1)参照	50周期
Case3	Case2の実験で $A=5\text{mm}$ になった後、潮位振幅を $A=5\text{mm}$ に固定する	-

海域塩分濃度 $C_0=4.0\text{g/kg}$ 、塩水供給流量 $Q_s=80\text{cm}^3/\text{s}$ 、淡水供給流量 $Q_f=180\text{cm}^3/\text{s}$ 、1潮汐周期 $T=240\text{s}$ 、河口における平均水深 $h_0=140\text{mm}$

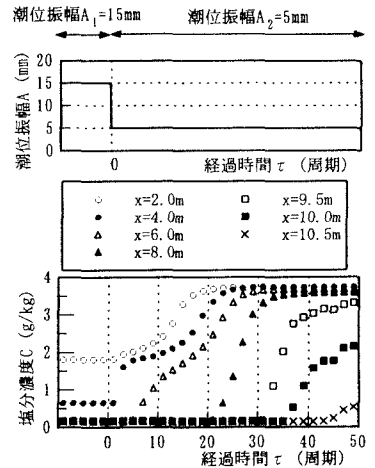


図-1 Case1の潮位振幅および底層塩分濃度の経時変化

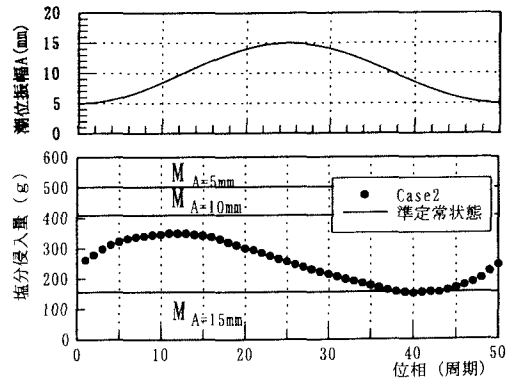


図-2 潮位振幅および塩分侵入量の経時変化(Case2)

潮汐周期, T' : 潮差の変動周期, A_{max} : 最大の潮位振幅, A_{min} : 最小の潮位振幅である. 今回は $h_0=140\text{mm}$, $A_{max}=15\text{mm}$, $A_{min}=5\text{mm}$, $T=240\text{s}$, $T'=12000\text{s}$ (50 潮汐周期に相当) とした. 図-2(Case2)に潮差の変動周期 T' に対して塩水侵入が周期的な変化を示すようになった後の塩分侵入量の経時変化を, 図-3(Case2)に一潮汐平均塩分濃度 C の鉛直分布を示す. これらの結果から, 潮差の最大時 (以下, 大潮時) 付近では緩混合型, 潮差の最小時 (以下, 小潮時) に弱混合型の塩水侵入が形成されていること, 塩分侵入量は大潮時 ($A=15\text{mm}$) と小潮時 ($A=5\text{mm}$) の潮差に対応する準定常状態の塩分侵入量の間でその値を変化させていることが分かる. また, 大潮時から小潮時までの期間は25周期であり, Case1の結果 (図-1) から得られた「遷移のタイム・スケール」(約50周期) よりも短いことから, 小潮時になっても塩水侵入は準定常状態には達していない. 実際, Case2の実験で小潮 ($A=5\text{mm}$) になった直後 ($\tau=0$) から潮位振幅を $A=5\text{mm}$ に固定した実験を行い (Case3), 底層塩分濃度の経時変化を調べたところ, 潮位振幅を $A=5\text{mm}$ に固定した後, 塩水侵入は更に増大し, 約40周期かけてようやく $A=5\text{mm}$ に対する準定常状態が実現されていることが確認できる (図-4). 大潮時から小潮までの期間 (25周期) を考慮すると, 大潮時の塩水侵入から $A=5\text{mm}$ に対する準定常状態の塩水侵入に到達するまでに計65周期程度の時間を要したことになるが, これはCase1から得られた遷移のタイム・スケール (約50周期) よりも15周期ほど長い. Case1の実験では初期時刻から直ちに潮位振幅が $A=5\text{mm}$ となるのに対して (図-1), Case2の大潮時から小潮時にかけては $A=5\text{mm}$ よりも潮位振幅の大きい潮汐の混合効果を受けて, 塩水の侵入力が抑制されていたことが原因となって, このような結果が得られたものと考えられる.

いずれにせよ, Case2の塩水侵入は潮差の変動に追従することができず, 潮位振幅が最小となる $t=0$ 周期において準定常状態よりもかなり短い塩水侵入が実現されていることが分かる. このため $t=0$ 以降は, 潮位振幅が増加するにもかかわらず, 塩分侵入量は増大し, 塩水侵入がその時の潮差に対する準定常状態とほぼ一致する $t=11$ 周期になって塩水侵入は最大となっている. 塩水侵入が最大となる時刻 ($t=11$ 周期) の潮位振幅にほぼ等しい $A=10\text{mm}$ に対する準定常状態の塩分濃度も図-3に示しているが, この結果から, 最大の塩水侵入が $A=10\text{mm}$ に対する準定常状態とほぼ一致していることが確認できる. このように, Case2の塩水の挙動も, 前回のシンプルな条件下での実験結果と同様, その時の潮差に対する準定常状態の塩水侵入との兼ね合いによって規定されているため, 最大の塩水侵入は潮差最小時には出現せず, 塩水侵入長の変化は結果的に潮差の挙動に対して位相の遅れをもつことが分かる.

4. 結論 本研究の結果, 大潮時から小潮時にかけて塩水侵入が遷移を完了するタイムスケールが潮差の変動周期よりも長い場合, 塩水侵入は潮差の変動に追従できず, 塩水侵入の時間的な増減は, その時の潮差に対する準定常状態の塩水侵入の程度と実際に実現されている塩水侵入との相対的な関係によって規定されることが明らかとなった. このため, 最大の塩水侵入は必ずしも潮差最小時に出現する訳ではなく, 結果的に塩水侵入長の変化は潮差の挙動に対して位相の遅れをもつことが分かった.

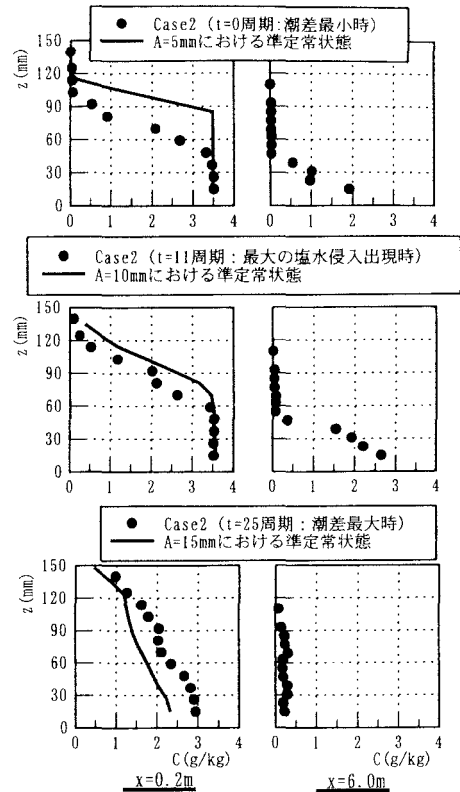


図-3 Case2の塩分濃度の鉛直分布の準定常状態との比較

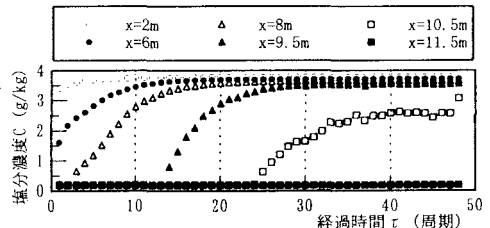


図-4 Case3の底層塩分濃度の経時変化

この結果から, 最大の塩水侵入が $A=10\text{mm}$ に対する準定常状態とほぼ一致していることが確認できる. このように, Case2の塩水の挙動も, 前回のシンプルな条件下での実験結果と同様, その時の潮差に対する準定常状態の塩水侵入との兼ね合いによって規定されているため, 最大の塩水侵入は潮差最小時には出現せず, 塩水侵入長の変化は結果的に潮差の挙動に対して位相の遅れをもつことが分かる.

参考文献 1) 小松ら: 川内川河口部における塩水遡上について, 水工学論文集 第40巻, pp.493-498., 1996
 2) 小松ら: 感潮河川における塩水遡上の人工的制御法についての研究, 水工学論文集 第40巻, pp.517-534., 1996
 3) 小松ら: 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
 4) 安達ら: 潮差の非定常変化が河口部塩水侵入に及ぼす影響について, 水工学論文集 第45巻, 2001