

河口部塩水侵入に対する河川流量の変化の影響 (その2)

九州大学大学院 学生員○室永武司 安達貴浩 朝田将

九州大学工学部 正会員 小松利光 藤田和夫 柴田敏彦 学生員 田吹泰孝

1. 目的

著者らはこれまでに感潮河川河口部における塩水侵入を人工的に制御する方法をいくつか提案し、その有効性を明らかにしている。これらの方法の内、気泡噴流の発生や河川水の間断放流といった手法は化石燃料等の人工エネルギーを少なからず必要とするため、実際に現地で適用する場合には非定常に変化する塩水侵入の挙動を正確に把握した上で如何に効率的に運用するかが重要な問題となる。

一般に河口部の塩水侵入は潮汐や気象条件等の様々な要因の影響を受けて複雑に変化しているが、その中でも河川流量の変動は支配的な要因の一つであると考えられる。

しかしながら、現地の塩水侵入は潮汐の影響を強く受けているため、河川流量の変動による影響のみを正確に抽出することは容易ではなく、流量変動に対する塩水侵入の応答特性に対する明確な答えは今のところまだ見つかっていない。そこで、本研究では、潮汐条件を固定した室内実験を行い河川流量の変化に対して塩水侵入がどのような非定常変化を示すかを調べた。今回は、強混合型の塩水侵入を対象に行った実験結果についての検討を行った。

2. 室内実験装置及び実験方法について

室内実験には往復流のせん断乱流のみで強混合形態を実現できる感潮河川水路を用いた。実験手順として、まず基本流量 Q_f (=30ml/sec.)の下での準定常状態の塩水侵入を実現し、その後、上乗せ流量 ΔQ_f を t_f 周期間だけ供給し非定常の塩水侵入の挙動を観測した(図-1を参照)。 ΔQ_f 供給開始時より再び流量 Q_f に対する準定常の塩水侵入が実現されるまで測定を継続した。測定には、導電率計を用いた。塩水侵入全体を網羅するよう6本のセンサーを流下方向に配置し、水路床より15mmの位置の塩分濃度の経時変化を測定した。今回行ったいずれの実験においても、塩分濃度が鉛直方向にはほぼ一様な強混合型塩水侵入が実現されていたので、底層で得られた塩分濃度は十分、断面平均塩分濃度を代表できる量だと言える。

3. 塩水侵入の淡水流量変動に対する特性について

まず、河川流量 $Q_f + \Delta Q_f$ (=150ml/sec.)に対する準定常の塩水侵入が実現されるまで ΔQ_f (=120ml/sec.)の供給を継続する実験を行った(Run1-5)。塩水侵入状況の時間的な変化を図-2に示す(ただし、 τ は ΔQ_f 供給直前の満潮時からの経過時間を表す)。図-2(a)を見ると、河道内に侵入している塩水は上乗せ流量の供給直後より速やかに後退し始め、 ΔQ_f 供給直後において最も変化が著しい。その後、塩水侵入状況の変化は時間の経過とともに緩やかになり、およそ50周期後に河川流量 $Q_f + \Delta Q_f$ に対する準定常の塩水侵入が形成されている。

次に、 ΔQ_f の供給停止後の結果に着目すると(図-2(b))、 ΔQ_f の供給停止直後より一旦後退した塩水は速やかに遡上を開

表-1 実験条件

(ΔQ_fの供給開始は全て干潮時に固定)

実験名	Q _f (ml/sec.)	ΔQ _f (ml/sec.)	t _f
Run 1-1	30	30	4T
Run 1-2	30	60	4T
Run 1-3	30	90	4T
Run 1-4	30	120	4T
Run 1-5	30	120	∞
Run 2-1	30	30	T
Run 2-2	30	30	2T
Run 2-3	30	30	4T

潮位振幅: A=14mm 海域塩分濃度: Co=3g/kg

潮汐周期: T=240sec 河口平均水深: Ho=133mm

塩水供給量: Qs=50ml/sec

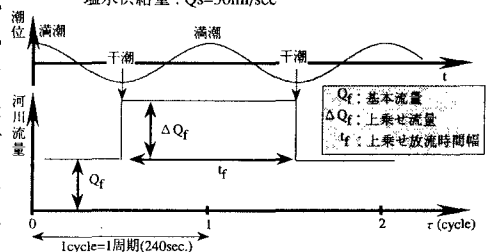


図-1 実験条件の模式図

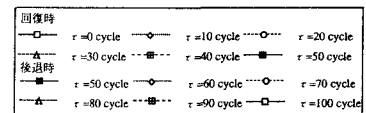
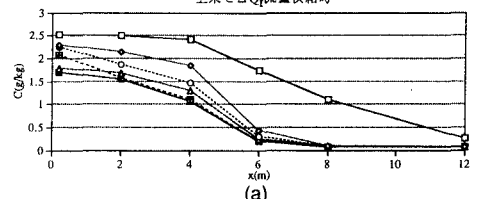
上乗せΔQ_f流量供給時上乗せΔQ_f流量供給停止後

図-2 塩分濃度の経時変化(Run1-5)

始している。塩水侵入の回復時においても、 ΔQ_f の供給停止直後の変化が最も著しく、その後、緩やかな漸近曲線を描きながら最終的な準定常の塩水侵入に近づいていく。このように、塩水侵入の後退時と回復時の非定常変化の間には多くの共通点が見られるが、それぞれの期間を通じての塩分濃度の流下方向分布自体には若干の違いが見られることが分かった。

次に、 Q_f と ΔQ_f を固定し、上乗せ流量の供給時間のみを $t_f=4T$ と短くさせた実験を行った(Run1-4)。図-3に各測定の塩分濃度と河道内に侵入している単位幅当たりの塩分総量 M の経時変化を示す。 ΔQ_f の影響は上流から下流に順々に伝わっていくため、比較的 t_f の短いRun1-4では ΔQ_f の影響は河口付近の下流域においてほとんど現れていない。また、 ΔQ_f 供給時の侵入塩水の後退は速やかであるのに対し、 ΔQ_f の供給停止後の塩分の遡上は非常に緩やかであり、流量変動による塩水侵入の後退と遡上の間に極端な非対称性が見られる。

4. t_f 及び ΔQ_f の効果について

まず、上乗せ流量 ΔQ_f の効果を調べる実験を行った。図-4に ΔQ_f のみを変化させたRun1-1~1-4の塩分侵入量 M の経時変化を示す。この結果を見ると、当然のことながら ΔQ_f が大きくなるにつれ、塩分侵入量の減少する割合も大きくなっている。

次に、 Q_f 、 ΔQ_f 等の条件を固定し、 t_f のみを変化させる実験を2通り行った(Run2-1~2-3, Run1-4~1-5)。 t_f の効果を評価するために、 M の値を ΔQ_f 供給以前の値 M_0 で無次元化した M/M_0 の経時変化の比較を行った(図-4, 5)。 ΔQ_f が一定であれば、侵入塩水の後退の速さは全く同じであり、更に、 ΔQ_f を供給している時にのみ侵入塩水は後退するため、 t_f が大きければ大きい程、 M/M_0 の極小値は小さな値を示している。また、 ΔQ_f の供給を停止した後は各条件に応じた極小値を初期条件とし、 M/M_0 は緩やかに増大している。

図-7は、 M/M_0 が増加傾向にある領域に着目し、Run2-3の M/M_0 - τ 曲線上にRun2-1とRun2-2の極小値をとる点が重なるように τ に関し各時系列曲線を平行移動したものである。この結果を見ると、3つの曲線はほとんど重なり合っていることが分かる。以上の結果より、 ΔQ_f の供給を停止した後の塩水侵入の変化に対して t_f 、 ΔQ_f といった出水の条件は一旦後退した塩水侵入回復の初期条件にのみ影響していると言える。出水後の侵入塩水の回復のし方は、一潮汐平均的な見掛けの拡散係数と Q_f の大きさによって規定されているものと推測される。

5. まとめ

本研究では、室内実験の結果を基に河川流量の変動に対する強混合型塩水侵入の非定常な挙動について調べた。今回は、得られた結果の定性的な特徴についてのみ検討を行ったが、今後、定量的な評価も行っていく予定である。

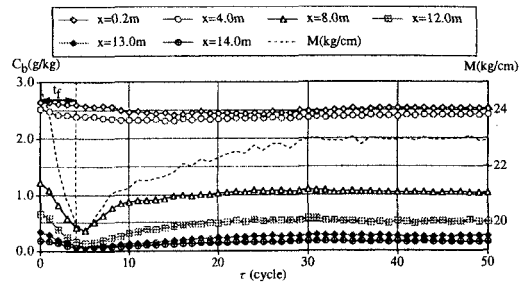


図-3 満潮時底層塩分濃度経時変化 (Run1-3)

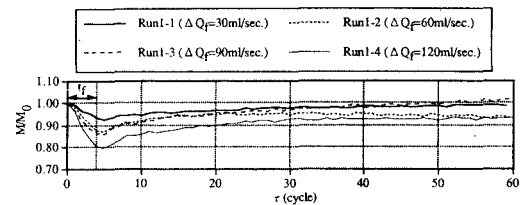


図-4 ΔQ_f のみが変化した場合の M/M_0 の経時変化の比較 (Run1-1~1-4)

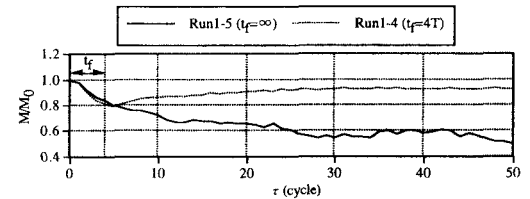


図-5 t_f のみが変化する場合の M/M_0 の経時変化の比較 (Run1-4, 1-5)

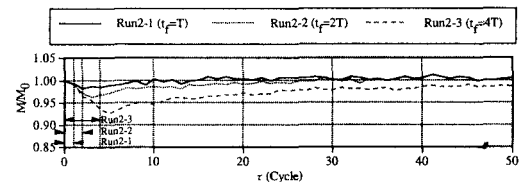


図-6 t_f のみが変化する場合の M/M_0 の経時変化の比較 (Run2-1~2-3)

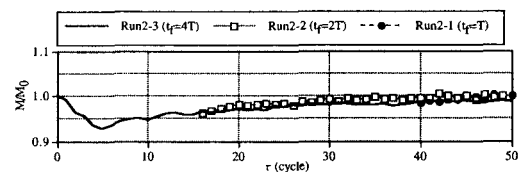


図-7 出水後の塩分の遡上のし方の比較 (Run2-1~2-3)