

河川口部塩水侵入の混合形態の遷移過程に関する実験的研究

○九州大学大学院 学生員 久保幸範 九州大学大学院 フェロー員 小松利光
 日本学術振興会 正 員 安達貴浩 九州大学大学院 学生員 橋本彰博
 九州大学大学院 学生員 田吹泰孝 九州大学工学部 学生員 高橋大吉

1. 目的 塩水侵入の混合形態が緩混合から弱混合に遷移する川内川河口部において、潮差が最小となる小潮時よりも更に1~2日遅れて塩水侵入長が最大になるという観測結果が得られている¹⁾。潮差が一定の条件下、混合形態が緩混合から弱混合までの範囲において、潮差が小さいほど準定常(1潮汐周期以上のタイムスケールで定常)状態の塩水侵入長が長くなるという室内実験結果²⁾が得られているが、このことから判断すると、川内川河口部で見られた観測結果は潮差が非定常に変化する場における特有の現象と見なすことができる。従って、実河口域の塩水侵入を正確に把握するためには、準定常の塩水侵入長を支配する要因に加えて、潮差が非定常に変化することによる影響も明らかにする必要があると言える。しかしながら、正弦的な潮差の時間変化を与えた場合には室内実験によってもその現象を解明することは困難となることが予想された。

このため、本研究では潮差の時間的な変化がステップ状となるような比較的シンプルな条件下で室内実験を行い、潮差の時間的な変化に対する塩水侵入の応答特性を調べた。

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。表-1に示すように、実験内容は潮差の時間的な変化に応じて3つのタイプに分けられる。いずれの実験についても潮差の不連続点は最大上げ潮時に固定されており、潮差の繰り返しの周期を潮差の周期と呼ぶことにした。例としてRun2-1(Type2)、Type3における潮差の変化の様子を図-1に示す。なお、準定常状態において潮差が $2A_1=30\text{mm}$ の時には緩混合、 $2A_1=10\text{mm}$ の時には弱混合形態が実現されることが予備実験より確認されている。

3. 室内実験の結果およびその考察 (a) Type1, 2の実験 まず、混合形態が緩混合(潮差 $2A_1=30\text{mm}$)から弱混合($2A_2=10\text{mm}$)に遷移する際の基本的な塩水侵入特性を調べるために、潮差が周期的に変化しないType1の実験を行った。潮差が $2A_1=30\text{mm}$ (緩混合)の時の準定常の塩水侵入を初期条件として、潮差を $2A_2=10\text{mm}$ と小さくした時から弱混合の準定常状態が実現されるまでの塩水侵入状況の変化を調べた。図-2は、 $2A_2=10\text{mm}$ となった時を初期時刻とした場合の、下層塩分濃度の経時変化を示したものである。結果を見ると、下層の塩分濃度が概ね準定常状態に落ち着くまでの時間は潮汐サイクル(1cycle=240sec)で約30cycleであることが分かる。

次に、潮差の断続変化が周期的に繰り返される場合の塩水侵入の応答特性を調べた。最も単純なケースとして、 $2A_1=10\text{mm}$, $2A_2=30\text{mm}$ という2種類の潮差がステップ状に繰り返し与えられるType2の実験を行った。このような潮汐の変動パターンの下、潮差の周期が50(Run2-1), 30cycle(Run2-2)という2ケースについて検討を行った。潮差

表-1 実験ケース及び条件

実験名	実験タイプ	潮差(mm)			潮差の周期(cycle)		
		$2A_1$	$2A_2$	$2A_3$	C_1	C_2	C_3
Run1-1	Type1	30	10	-	-	-	-
Run1-2	Type1	10	30	-	-	-	-
Run2-1	Type2	10	30	-	25	25	-
Run2-2	Type2	10	30	-	15	15	-
Run3-1	Type3	10	16	30	15	15	20
Run3-2	Type3	10	24	30	15	15	20

注1) 例えばType2の潮差(潮汐サイクルも同様)では $2A_1 \rightarrow 2A_2 \rightarrow 2A_1 \rightarrow \dots$ と周期的に変化する。

注2) 海域塩分濃度 $S=3(\text{g/kg})$, 塩水供給流量 $Q_s=80\text{ml/s}$, 淡水供給流量 $Q_f=180\text{ml/s}$, 1潮汐周期 $T=240\text{s}$, 平均水深 $h=140\text{mm}$

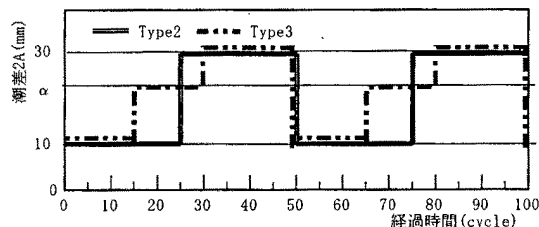


図-1 潮差の時間変化図

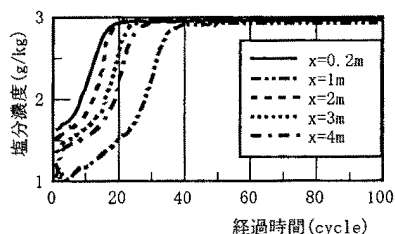


図-2 下層塩分濃度(Run1-1)の経時変化

の周期に対して現象がcyclicalとなった時の、各ケースの塩分侵入量と河口から3m上流地点における中層、下層の塩分濃度の経時変化をそれぞれ図-3(a), (b)に示す。Run2-1, 2-2いずれについても、潮差が小さく塩水が侵入する時間の幅が、準定常状態を形成するのに必要な30cycle(図-2参照)よりも短くなっている。このため塩分侵入量の変化は、潮差 $2A_2=10\text{mm}$ と $2A_1=30\text{mm}$ の準定常における塩分侵入量(図中の破線)の間で変化を繰り返している。潮差が $2A_2=10\text{mm}$ と小さくなると、二層流が次第に形成され塩分侵入量は増加し、潮差が $2A_1=30\text{mm}$ の時は潮汐混合により塩分侵入量が減少する、といった傾向が全体的には見られる。また、下層ではまだ潮汐混合の影響をそれほど受けていない海域からの高濃度塩水の供給により潮差が増加しても塩分濃度は比較的緩やかにしか減少しないのに対し、中層では急激な鉛直混合によって塩分濃度が急増している。この結果、潮差が $2A_2=10\text{mm}$ から $2A_1=30\text{mm}$ に変化した時ではなく1~2cycleほど遅れて塩分侵入量が最大となっていることが分かる。川内川河口域で観測された最大の塩水侵入長の遅れは上・中層の濃度の増加というよりも、むしろ塩水層の厚さや下層の塩分濃度の増加に起因したものであることから、このような遅れは川内川で見られた現象とは本質的に異なったものと考えられる。

(b) Type3の実験 これまでの考察から、川内川河口部における遅れに対して、緩混合から弱混合へと遷移する際の塩水の侵入過程だけでなく、小潮からの潮差の増え方に依存した過程も重要な役割を果たしていると考えられている。このため潮差が $2A_1=10\text{mm}$ から $2A_3=30\text{mm}$ に変化する間にもうひとつの潮差 $2A_2$ ($10\text{mm} < 2A_2 < 30\text{mm}$)を与え、潮差が3段階に繰り返し変化する場合を考えた(Type3)。潮差 $2A_2$ を16mm(Run3-1)、24mm(Run3-2)と2通り変化させ、 $2A_2$ により塩水の侵入の仕方がどのように変化するのかについて調べた。各ケースでの塩分侵入量の経時変化を図-4に示す。Run3-1では潮差が最小の値である10mmから $2A_2=16\text{mm}$ へと大きくなるにもかかわらず、塩分侵入量は更に増加し続け、潮差が30mmに変化した後2cycle程経過して最大値を取ることが分かる。一方Run3-2では、潮差が10mmから $2A_2=24\text{mm}$ に変化した後1cycleほどして塩分侵入量はピークをもち、その後減少し始める。この結果は次のように考察することができる。Run3-1では、潮差が10mmから $2A_2=16\text{mm}$ に変化する直前でまだ潮差10mmでの準定常状態に達しておらず、更にそのときの塩分侵入量が潮差が16mmのときのものより小さい値であるため、塩分は更に侵入していく。一方Run3-2では、 $2A_2=24\text{mm}$ となった時、潮差が $2A_2=24\text{mm}$ の準定常よりも塩分が過剰に侵入しているため塩水は後退し、遅れは生じない。なお、潮差の変化後少し遅れて塩分侵入量がピークを持つ理由は前述のように潮差が増加した際に上層の塩分濃度が急激に増加することによるものである。

4. 結論 本研究の結果、塩水侵入長が潮差が最小となる小潮時から遅れて最大となる理由を明らかとするための基礎的な知見が得られた。

- 参考文献 1) 小松ら(1996): 水工学論文集 第40巻, pp. 493-498.
 2) 小松ら(1996): 水工学論文集 第40巻, pp. 517-534.
 3) 小松ら(1996): 水工学論文集 第40巻, pp. 505-510.

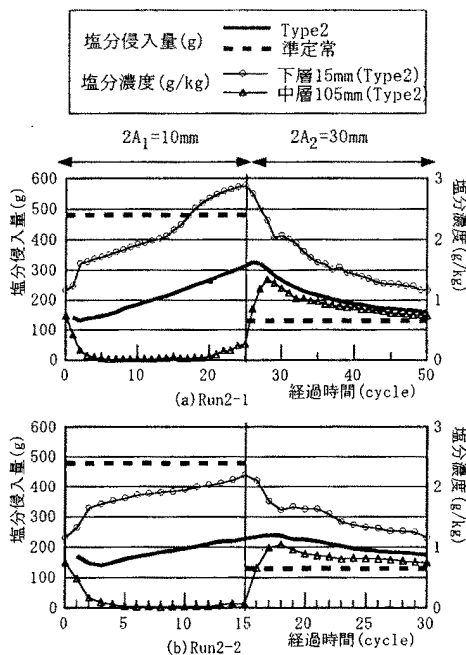


図-3 塩分侵入量及び塩分濃度の経時変化

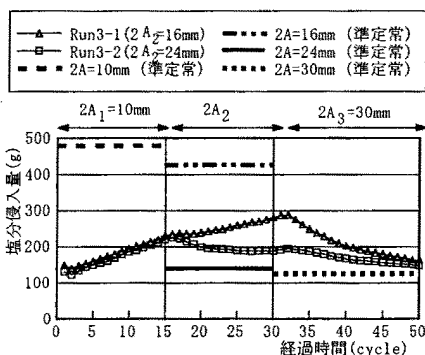


図-4 各ケースの塩分侵入量の経時変化