

非定常塩水楔の挙動に関する実験

東京電機大学 学生員 樽木太志
 東京電機大学 正会員 橋本彰博
 東京電機大学 正会員 有田正光

1. はじめに

河口域では、河川流量の変化や潮汐の影響によって塩水が河川上流域まで侵入すると流域の飲料水、農業用水、工業用水などの水資源利用に大きな問題が生ずる。海域から河川上流に塩水楔として侵入する海水は河川水とほとんど混合することなく高濃度のまま河川上流域へと侵入するため問題とされてきた。塩水楔については潮位が、変化しない定常状態における研究事例は多いものの、潮汐によって非定常に変化する場合の塩水侵入の挙動についての検討事例は少ない。実河川の河口域は潮汐の影響を受けており、非定常に変化する塩水楔についての検討は環境水理学上の重要な課題である。そこで、本研究では非定常塩水楔の詳細な挙動を明らかにすることを目的として、上・下層の流速、密度、楔先端の潮汐に対する応答特性について着目した実験結果について報告する。

2. 実験概要

実験装置は図-1 に示すようなプランジャータイプの潮汐発生装置を有した水槽で、幅 0.05m、高さ 0.2m、長さ 4m のアクリル製水路（河道部）と縦 2m、横 7.5m、高さ 0.5m の水槽（海部）からなる。水路と水槽の接続部分を原点（河口）とし、そこから上流方向に x 軸、鉛直上方に z 軸をとった。実験では、水温を変化させることで密度を調整した。海部の水槽内の冷水温度は河川部より流入する温水によって時間とともに暖められるため、水槽の底面から常に冷水を供給した。その際、平均水位を一定に保つために、水槽内にポンプを設置して水表面の温水を取水した。実験では潮汐を発生させた後、潮汐周期以上のタイムスケールで現象に変動がなくなったことを確認した後、測定を開始した。

測定地点は、河口および干潮時の楔長を 4 等分した計 4 点とし、各測定点で鉛直方向に計 7 点測定した。流速の測定は染料を河道内に滴下し、染料により可視化された流線をデジタルビデオで撮影し、画像をもとに流速を計算した。なお、本研究で実施した実験条件一覧を表-1 に示す。

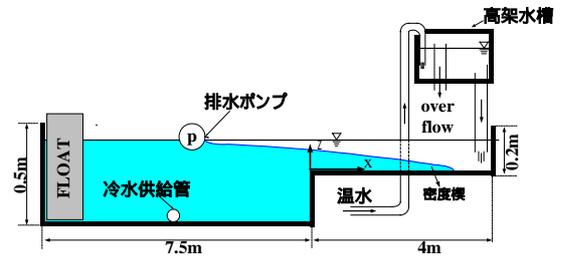


図-1 実験装置

表-1 実験条件

実験ケース名	潮汐周期(s)	潮位振幅(cm)	温水(°C)	冷水(°C)	温水流量(cm ³ /s)	(g/cm ³)	Fd
Run1-1	200	1	42.5	10.8	46.79	8.41×10^{-3}	0.296
Run1-2		1	45.0	14.8	49.94	8.95×10^{-3}	0.298
Run1-3		1	54.5	14.2	59.77	1.48×10^{-3}	0.277
Run2-1		1.4	41.5	12.8	55.70	7.99×10^{-3}	0.355
Run2-2		1.4	46.3	11.2	61.04	9.82×10^{-3}	0.389
Run2-3		1.4	54.5	12.0	76.28	1.38×10^{-3}	0.486
Run3-1		2	41.2	13.0	49.98	7.57×10^{-3}	0.327
Run3-2		2	45.5	13.0	61.86	9.61×10^{-3}	0.406
Run3-3		2	55.0	12.5	72.24	1.37×10^{-3}	0.474

3. 実験結果と考察

3-1 河道内の密度界面および平均流速の鉛直分布

河道内の密度および上、下層の平均流速の鉛直分布が潮汐に対してどのような応答特性を検討するため密度（河口）、平均流速（河口から 60cm）の鉛直分布を図-3 に示す。密度の鉛直分布を見るといずれの潮時においても明瞭な密度界面が形成され、水位とともに変動していることが分かる。そこで、密度が大きく変化し始める点と変化が終わり安定し始める点の 2 点の平均値を密度界面と定義し、それより上方を上層、河床までを下層とした。

次に、平均流速の鉛直分布をみると、上下層で平均流速の分布形状が異なっていることが分かる。各潮時についてみると、満潮時および上げ潮時では上層で河口側(-)、下層で上流側(+)の流速となっており、典型的な 2 層流の流速分布となっている。一方、干潮時および下げ潮時においては上層、下層ともに河口側(-)の流速となっているが、成層に伴う鉛直循環流の影響をうけて下層流速は上層よりも小さくなっていることが分かる。

3-2 河道内の密度および界面の時間変化

潮汐に対する密度と密度界面の変化を考察するために、Run1-1 河口から 70cm および 180cm 上流地点にお

キーワード：塩水楔、密度界面、汽水域

連絡先：350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 TEL 049-296-2911 FAX 049-296-6501

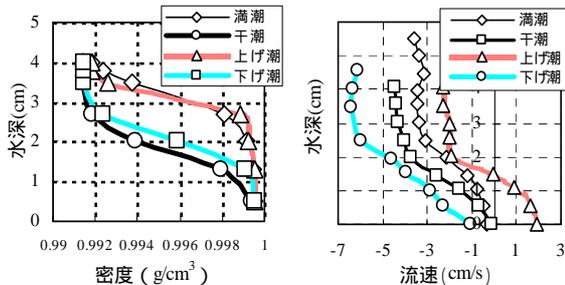


図-3 密度（右），平均流速（左）の鉛直分布

（Run2-1：河口から 30cm）

ける下層密度（ $z=0.5m$ ）との時間変化を図-4，目視による密度界面を図-5 に，また模式的に描いた密度楔の時間変化を図-6 に示す．まず上げ潮期間では，河口側から下層厚が増加（界面の上昇）し，それに伴って下層密度も急増する．その後図-6 に示すように下層塩水が密度カレントとして遡上して上流側の密度界面も上昇する．つまり，上流側程，密度界面の上昇と水位変動との間の位相差は大きくなる（図-5）．一方，下げ潮期間では楔は図-6 に示すように平坦な形状となって後退していくため上げ潮期間に見られた密度界面と水位変動の位相のずれ認められない．しかしながら，下層密度は上流側では水位の低下とともに減少しているのに対して 70cm 地点では水位低下後暫くはその影響を受けていない．これは楔が後退する際に，上流側の高密度水が測定地点を流下する結果であると考えられる．

3-3 河道内の楔長の時間変化

楔長の時間変化を河口の水位変化と併せて図-7 に示す．ここで，楔長は河口から可視化された密度楔の先端までと定義した．同図より楔長の時間変化は水位の変動に対して遅れていることが分かる．また，楔の後退時（満潮～干潮）では，楔長は水位とともに減少しているのに対し，侵入時（干潮～満潮）は，満潮より少し手前までは緩やかに増加し，その後満潮にかけて急激に侵入速度が増加していることがわかる．これは上述のように上げ潮期間では下層の高密度水の先端付近が盛り上がり，密度カレントとして上流側に遡上するのに対して，下げ潮期間では比較的平坦な楔形状で後退するためと考えられる（図-6）．従って満潮時では平衡状態よりも若干下層が厚いため楔の侵入力が界面抵抗力よりも大きくなり，下げ潮に転じた後しばらくは楔が上流側へと侵入し続けることになる．この現象は上流側の下層密度が満潮よりも後にピークとなることから確認できる（図-5）．この結果，楔長は水位に対して遅れて変動すると考えられる．水位と楔長の

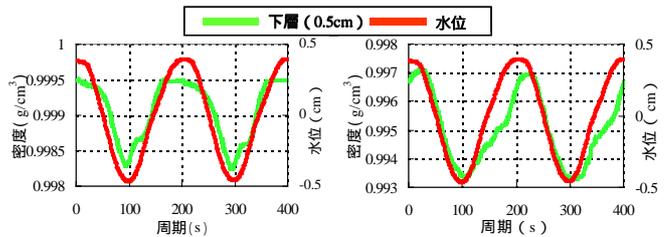


図-4 河口から 70cm (Run1-1：左)，河口から 180cm (Run1-1：右) の密度の時間変化

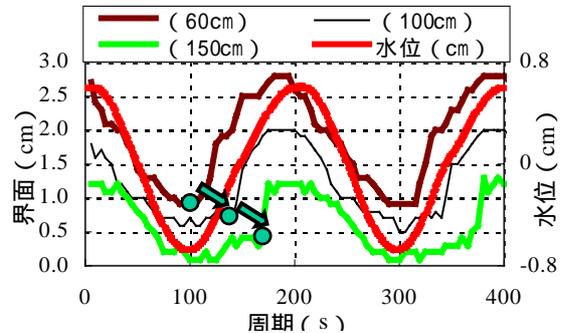


図-5 目視による各断面の界面高さの変化 (Run1-1)

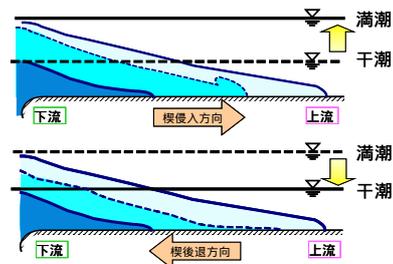


図-6 上げ潮（上），下げ潮（下）の楔形状変化

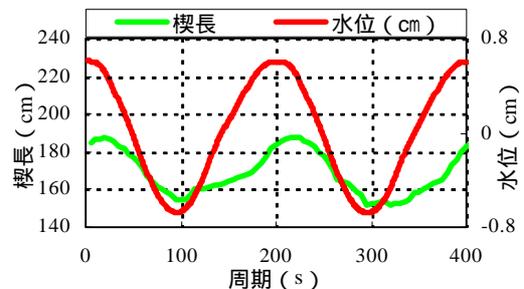


図-7 楔長の時間変化 (Run2-1)

時間変化の実験結果は多少の差があったものの，実験をした全てのデータにおいて同じ傾向が確認された．

4.まとめ

本研究では，潮汐に対する密度楔の応答特性を調べる実験を行った．その結果，各潮時によって楔先端は異なる形状で河道を侵入，後退することが分かった．このため，密度界面，楔先端，下層密度の変動は潮汐に対して位相がずれるという知見が得られた．

参考文献

1) 例えば Arita, M. and Jirca, G.H. : Two-layer model of saline wedge, ASCE, vol.113, pp.1229-1248, 1987