

東京工業大学 学生員 間辺本文 兵庫県 正員 坪田勝幸
同 上 正員 福岡健二 日本工営 正員 作中秀行
同 上 正員 角田 学

1. まえがき 27回水講では、河口での境界条件(密度分布)の変化により、塩水くさび内に中間層が侵入し、それに伴うくさびの遡上長さ及びくさび内の流動が変化する機構を明確にした。本報告においては、河口の密度分布の変化速度が速い場合と遅い場合、すなわち、混合の弱い場合と強い場合と対比して、くさびの応答と内部構造の変化について述べる。

2. 実験方法 実験には、縦横それぞれ2 mの水槽(海)と、それに接続する幅6 m・長さ4.2 m・勾配 $1/25$ の水路(河道)から成る装置を用いた。実験方法はさきの報告と同様である。実験条件を表1に示す。流量 Q と相対密度 ε とをそろえ、超音波の強弱により混合の強さを変えた。

3. 実験結果及び考察

(1) 河口の密度分布と塩水くさび長 図1に河口の相対密度分布の時間的な変化を示す。これは混合を開始してから経過時間である。混合の弱い場合、混合開始後、密度は界面付近から徐々に減少し、時間とともに深い所まで変化していく。一方、混合の強い場合は、混合開始後、密度は急激に減少し、それ以降の密度の減少は緩慢になる。このような河口の密度分布の変化は、塩水くさびの河口断面に働く圧力の低下をもたらす。

図2は河口の圧力の低下とそれに伴うくさびの後退を表わしたものである。河口の圧力は、静水圧分布と仮定して密度分布より算定し、淡水による圧力は除いている。縦軸は、図2中の式で示すように、それゆきの最大減少量で無次元化した値である。河口の圧力は、混合開始後すぐに低下し始めるが、その低下の速さは混合の強い場合の方が弱い場合より大きい。また、混合の弱い場合、くさびは河口の圧力の低下が始まってから、かなり遅れて後退し始めているのに対し、混合の強い場合、圧力の低下とくさびの後退はほぼ同時に起きている。論文1)で報告したように、塩水くさびは中間層の侵入に伴い後退する。混合の弱い場合は、河口の密度分布の変化が混合の強い場合に比べて緩慢なため、中間層の発達に時間がかかる。その結果、河口の圧力の低下が、すぐにはそれに対応するくさびの後退とならず、時間的なずれが生じる。

(2) 中間層の侵入とくさびの内部構造 図3に中間層の形成機構を示す。混合により河口部に生産された糸状流体は、周囲の濃い塩水から浮力を受ける。そのため、

Run No	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	$\rho_w(\text{g/cm}^3)$	ε	Q 流量 (cm^3/s)	超音波出力(W)
1	1.0121	0.9989	0.0132	200	150
2	1.0132	0.9998	0.0134	200	200

表1 実験条件 ($\varepsilon = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$)

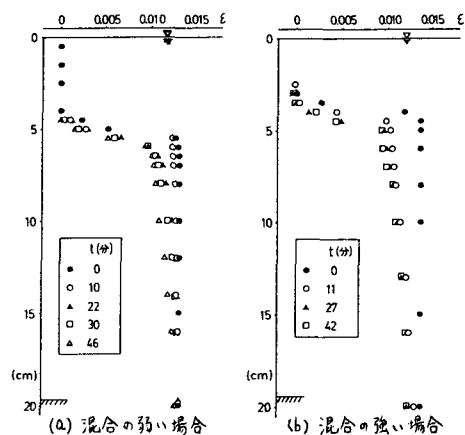


図1 河口の相対密度分布

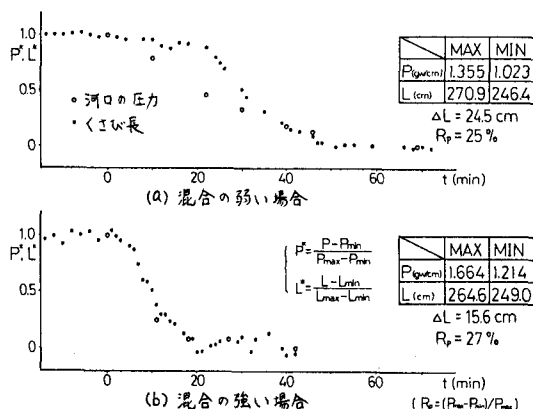


図2 河口の圧力とくさびの遡上長さ

河口での淡水と塩水の境界面は上昇する。この時、河口近傍の二断面の圧力分布は図のようになる。斜線部は二断面の圧力の差を示している。希釈流体の上側では海側の圧力が相対的に大きくなり、下側では河側の圧力が大きくなる。したがって、海部に滞留していた希釈流体はくさび内へ侵入して中間層を形成し、同時にくさび内の密度の大きい塩水は海へ流出する。

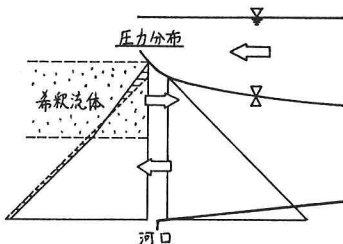
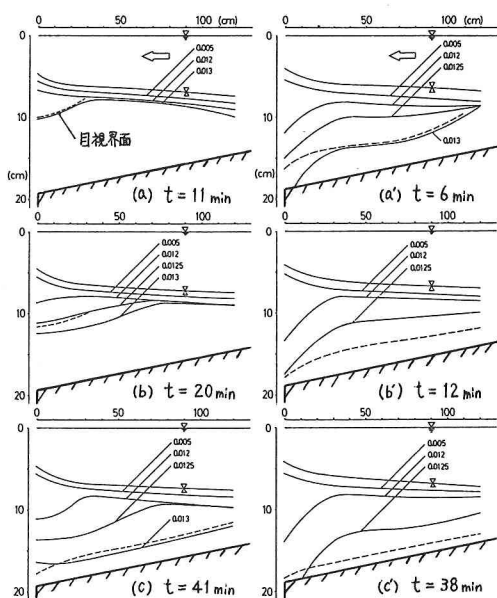


図3 中間層の形成機構

中間層が侵入するに伴い塩水くさび内の密度は減少する。図4はくさび内の等密度線の変化の様子を示している。混合の弱い場合、河口近傍の等密度

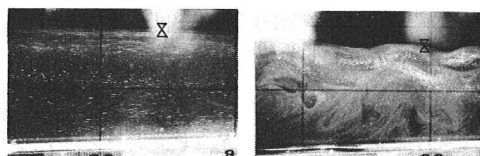
線の傾きは終始ゆるやかで、くさび内の密度の減少は比較的遅い。(a)は中間層がまさに侵入し始める時にあたり、この時点では、まだ、くさびは後退していない。中間層が活発に侵入し、くさびが急激に後退している時の等密度線を示したのが(b)である。この頃より、河口付近では界面波の波高が大きくなる。くさび内は、写真1に示すように、界面近くに大きな渦が発生し混合が盛んになり、定常時のように層状の流れを示さなくなる。(a)(b)の状態における流速分布形は図5(b)に相当する。図4(c)では中間層がくさび内の大部分を占め、くさびの後退は緩慢になる。一方、混合の強い場合、(a)に示すように、中間層は侵入時から、かなりの厚さを有しており、その侵入速度は大きい。その結果、くさびを構成していた塩水が短時間のうちに中間層と置きかわる。このため、くさび内の密度の減少はきわめて急激なものとなる。河口近傍の等密度線の傾きを見ると、どの状態においても混合の弱い場合に比べ急になっていることがわかる。河口部では混合が強いいため、ある密度の希釈流体がくさび内に侵入した時には、河口部においてさらに密度の小さい希釈流体が生産されており、それが連続的にくさび内に侵入する。このプロセスが繰り返されることにより、等密度線の傾きは常に急くなる。混合の弱い場合、中間層下側の目視界面は $\varepsilon=0.013$ (初期のくさび密度)の線とほぼ一致し、また無流速面でもある。混合の強い場合には、 $\varepsilon=0.013$ の線は(a)のように急速に河床付近まで下がる。



混合の弱い場合

混合の強い場合

図4 くさび内の等密度線(ε表示)



(a) 定常時

(b) 中間層侵入時

写真1 くさび内の流動

(b)では $\varepsilon=0.013$ の線が消滅していることから、くさび内は全部中間層で占められたと判断できる。この状態での目視界面は無流速面である。(a)(b)の状態における流速分布形は図5(c)に相当し、くさびが急激に後退している時にあたる。さらに時間が経過し等密度線が(c)の状態に到るとくさびの後退は止まる。

図2に示したように、混合の強い場合のくさびの後退量(ΔL)は、弱い場合に比べ相当小さい(本実験では約10cmの差)。河口の密度減少による圧力低下率(R)はどちらの場合もほぼ同程度である。ところが、混合の強い場合はくさび内の密度が図4に示すように大きく減少するため、くさびに働く重力の斜面方向成分が小さくなる。従って、混合の強い場合は、弱い場合よりくさびの後退量が小さくなる。

参考文献 1) 福田・角田・坪田・間辺・作中: 第27回水講, 1983

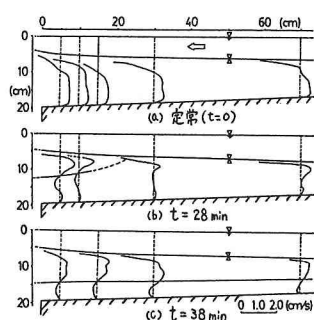


図5 くさび内の流速分布の変化 (混合の弱い場合)