

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

Study on the Artificial Control Method for Preventing Salinity Intrusion in a Tidal Estuary

小松利光* 孫 双科** 安達貴浩** 川上義幸*** 米須清彦****

By Toshimitsu KOMATSU, Shuangke SUN, Takahiro ADACHI
, Yoshiyuki KAWAKAMI and Kiyohiko KOMESU

In recent years the upstream intrusion of salinity in a tidal estuary has become a serious social problem for river environment and water resources. In view of taking water resources durably and preserving the ecology, artificial control methods for preventing the salinity intrusion are required. Setting up a mound on a river bed has been proposed and applied to real estuaries. So we experimentally examined the effects of the height and the position of mound in a well-mixed estuary. In addition, we proposed the method to make vertical mixing strongly by using a bubble plume to decrease the intrusion length of saline wedge and also examined its effect experimentally.

KEYWORDS: *salinity intrusion length, mound, bubble plume, prevention of salinity intrusion*

1. はじめに

近年、我国の河川においては、異常気象や水資源の需要の増大などによる河川水の減少、河道浚渫、河口堰の建設等に起因する塩水の新たな遡上が河口水域の環境保全と持続的な水資源確保の観点から重大な問題となってきた。そのため、感潮河川域における塩水遡上の特性を明確に把握し、塩水侵入を人工的に軽減させる有効な手段の開発には多くの期待が寄せられている。

例えば、大潮時に強混合、小潮時に緩混合形態を示す筑後川のように、同一河川においても潮汐の干満差の日々の変化により混合形態が変遷する河川も見られる。このような干満差の変化は、感潮河川の上流側への塩水侵入を規定する支配的な要因であると考えられる。

そこで、本研究では、まず、弱混合から強混合までを実現することのできる室内実験装置を用いて全ての混合形態を実現し、各混合形態の上流側への塩水侵入の特性の比較を行った。更にこの結果得られた知見に基づいて、塩水侵入を軽減するための以下の2つの手法についての研究を行った。

1) 塩水楔中の河床にマウンドを設置した場合には、塩水侵入を阻止できることが明らかにされているが、強混合形態の河川に対してはその効果の有無や程度は明らかにされていない。そこで、強混合形態の感潮河

* 正会員 工博 九州大学教授 工学部建設都市工学科 (〒812-81 福岡市東区箱崎6-10-1)

** 学生員 工修 九州大学大学院 工学研究科博士課程水土木学専攻

*** 正会員 工修 建設省九州地方建設局 河川部河川調査官 (〒812 福岡市博多区博多駅東2-10-7)

**** 正会員 沖縄県土木建築部都市計画課 (〒900 沖縄県那覇市泉崎1-2-2)

川において、マウンドの高さや設置位置が塩水遡上にいかなる影響を及ぼすかについて調べた。

2) 比較的流下能力の低い河川にマウンドを設置することは、洪水時の河川の氾濫といった治水上の問題を考慮するとあまり適した方法ではないと考えられる。そこで、貯水池や湖沼において密度成層破壊のために用いられる気泡噴流が、感潮河川における塩水楔の侵入長の軽減にも有効であると考え、その効果について実験的に検討を行った。

2. 混合形態と塩水侵入長の関係

感潮河川域の混合形態は、同一河川においても主として潮汐運動の強さと河川淡水流量の大きさの相対的な関係により変遷する。本研究では、表-1に示すような実験条件の下で、弱混合から強混合までの準定常状態(潮汐運動及び乱れによる変動のみで潮汐周期以上のタイムスケールの変動は見られない状態)の塩水侵入を実現した¹⁾。実験結果の具体例として他の条件は同じで潮位振幅のみがA=5, 8.5, 15mmと異なる場合

の断面平均塩分濃度の一潮汐平均値<Cl>の流下方向分布を図-1に示す。結果を見ると、A=5mmの場合、塩水侵入長が長いばかりでなく、塩水侵入域全体に渡って高い断面平均塩分濃度を示しており、海域の潮汐の干満差が変化すると同一河川においても塩水侵入特性は著しく変化することが分かる。

一般に、感潮河川の混合形態は、浮力と乱れの相対的な関係によって決定され、その関係は底壁面の粗さの違いを考慮した以下のModified Estuarine Richardson数 Ri_E^* を用いて表される²⁾。

$$Ri_E^* = \frac{\epsilon g Q_f}{W U_*^3} \quad (1)$$

(ただし、 ϵ は海水と淡水の相対密度差、 g は重力加速度、 W は水路幅、 U_* は潮流の底面摩擦速度のR.M.S.)

そこで、 $x=0$ における Ri_E^* を河口全域を代表する Ri_E^* とし、更に、一潮汐平均の塩分濃度より算出される表層断面平均塩分濃度と底層断面平均塩分濃度の比 C_s/C_b の流下方向の平均値を成層度の代表値とし、両者の関係を図-2に示す。 C_s/C_b が0.1以下を弱混合、0.9以上を強混合とする指標を用いると、潮位振幅以外の実験条件が等しいRun1-1~Run1-7において、 $A=0, 5mm$ のときが弱混合、 $A=6.5, 8.5, 12mm$ のときが緩混合、そして $A=15, 20mm$ のときが強混合形態を示し、更に、Run1-8~Run1-11において、 $A=0, 10mm$ のときには弱混合、 $A=15mm$ のときには緩混合形態を示していたことになる。

次に、潮位振幅以外の実験条件が等しいRun1-1~Run1-7について無次元断面平均塩分濃度の一潮汐平均値、及び満潮時、干潮時の値をそれぞれ上流側に直線外挿することにより、それぞれの塩水侵入長 L_s, L_{max}, L_{min} を算出し、 Ri_E^* との関係を調べた(図-3)。塩水侵入長は、密度差による内部重力の効果が最も卓越する潮

表-1 実験条件
(各混合形態の変化に伴う塩水侵入長の比較)

ケース名	潮位振幅A(mm)	潮位振幅以外の条件	流速測定点x(m)	塩分濃度測定点x(m)
Run 1-1	0	*	0 15, 5	0.15, 3, 10, 11, 12
Run 1-2	5	*	〃	0.15, 3, 7, 10, 11, 12
Run 1-3	6.5	*	〃	0.15, 3, 5, 7, 9, 10
Run 1-4	8.5	*	〃	0.15, 3, 5, 7, 9
Run 1-5	12	*	〃	〃
Run 1-6	15	*	〃	〃
Run 1-7	20	*	〃	0.15, 3, 5, 7, 9, 10
Run 1-8	0	**	〃	0.15, 3, 5, 7
Run 1-9	5	**	〃	実測なし
Run 1-10	10	**	〃	0.15, 3, 5, 7
Run 1-11	15	**	〃	〃

*) 海域塩分濃度 , $Cl_0=1g/kg$
淡水流入流量 ; $Q_f=35ml/s$
塩水供給流量 ; $Q_s=125ml/s$
河口部平均水深; $H(x=0)=13.3cm$
潮汐の周期 ; $T=240sec$

**) 海域塩分濃度 , $Cl_0=3g/kg$
淡水流入流量 ; $Q_f=70ml/s$
塩水供給流量 ; $Q_s=40ml/s$
河口部平均水深; $H(x=0)=14.1cm$
潮汐の周期 ; $T=240sec$

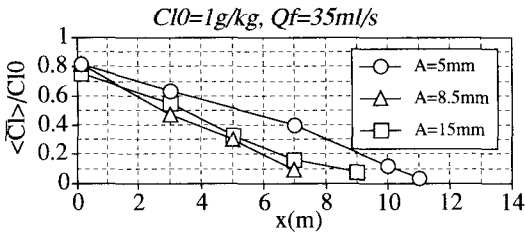


図-1 断面平均塩分濃度の一潮汐平均値分布

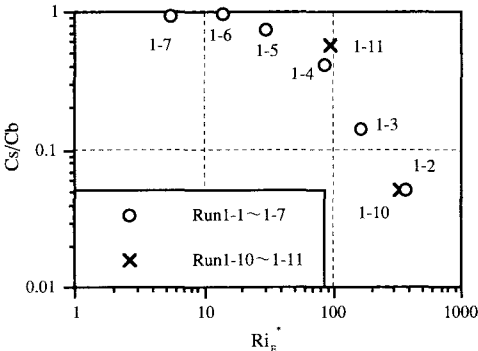


図-2 Modified Estuarine Ri数とCs/Cbとの関係
(ただし、図中の添え字は実験ケース名を示す)

汐運動のない定常塩水楔の場合に最も長くなるが ($L_s=13.2\text{m}$)、潮汐運動による混合が強くなるにつれて急激に減少し、緩混合において最小値をとることが分かる。更に、干満差が大きくなって混合形態が緩混合から強混合になると、混合の強さ(入退潮量)の増加に伴い塩水侵入長は逆に大きくなっていく。このことは、塩水侵入長は C_s/C_b の値が1に近づくると入退潮流に起因する拡散係数の強さのみに、また C_s/C_b の値が0に近づくると密度差によって生じる内部重力効果のみに規定されることを示している。このため、内部フルード数などの条件が異なると塩水侵入長が最小となる Ri_E^* の値が本研究の結果とずれる可能性はあるが、同一河川で潮位振幅のみが変化した場合塩水侵入長は少なくとも $0.1 < C_s/C_b < 0.9$ の範囲内で最小値をとると考えられ、 Ri_E^* が $15 \sim 20 < Ri_E^* < 110 \sim 120$ の範囲の緩混合時に塩水侵入長は最も短くなるといえる。

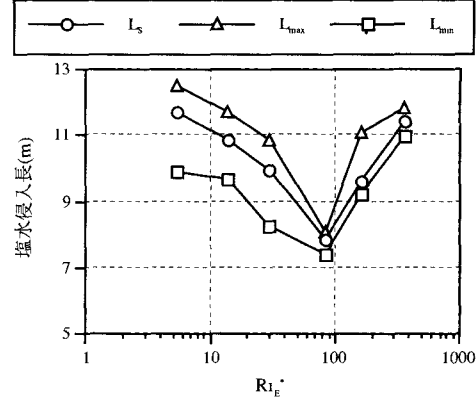


図-3 Modified Estuarine Ri数と塩水侵入長との関係

3. 強混合状態での塩水遡上に対するマウンドの効果

3-1. マウンドの効果調べる室内実験

本章では、図-4に示すような形状のマウンドが強混合形態の塩水侵入に対し、どのような阻止効果をもつかを調べる。マウンドがない場合、潮位振幅、淡水流量、海域の塩分濃度、河口部の満潮時の水深をそれぞれ $A=20\text{mm}$ 、 $Q_f=35\text{ml/sec}$ 、 $Cl_0=1\text{g/kg}$ 、 $H(x=0)=14.3\text{cm}$ とすると、水深方向に濃度が一様な強混合形態が実現される。更に、強混合での塩水侵入においては密度の効果はほとんどなく、マウンドの塩水遡上軽減効果は、マウンドや河道の幾何形状のみに規定されるものと考えられるため、淡水流量などの上記の実験条件を固定し、マウンドの高さ H_m 及び設置位置 X_m のみを表-2のように変化させて実験を行った。また、河川域への塩分侵入が最も大きいのは満潮時であるため、本研究では、準定常状態の満潮時の塩分濃度を用いて、マウンドが塩水遡上を軽減させる効果を調べた。

満潮時の断面平均塩分濃度 $\langle Cl \rangle_n$ の流下方向分布の実験結果を図-5に示す。強混合形態においてもマウンドを設置すると、塩水遡上を軽減する効果があり、その効果はマウンドの上流側だけでなく、下流側においても見られる。また、マウンド付近においては急激に塩分濃度が減少し、マウンドから離れるとその効果が小さくなる。マウンドの設置位置が変わると、塩水遡上軽減効果に微妙な違いが見られるが、マウンドの位置を海域に近づけても海域の塩分濃度にはあまり大きな変化はないことが分かる。

次に、この満潮時の断面平均塩分濃度 $\langle Cl \rangle_n$ の流下方向分布を直線外挿することにより塩水侵入長を算出し、塩水侵入長に対するマウンドの効果を調べた。以下のような無次元量 E を定義し、マウンドの塩水侵入

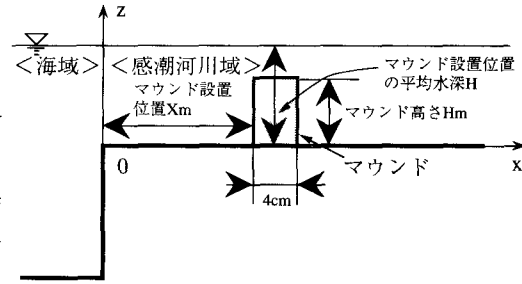


図-4 マウンドの模式図

表-2 実験条件 (マウンドの効果)

ケース名	マウンド設置位置 $X_m(\text{m})$	マウンド設置位置の満潮時水深 $H(\text{cm})$	マウンドの高さ $H_m(\text{cm})$
Run2-1	2	13.3	4.4
Run2-2	〃	〃	8.7
Run2-3	〃	〃	12.0
Run2-4	4	12.3	4.0
Run2-5	〃	〃	8.0
Run2-6	〃	〃	11.0
Run2-7	6	11.3	3.6
Run2-8	〃	〃	7.3
Run2-9	〃	〃	10.0

注) 塩水侵入長 $L_s=11.30\text{m}$
塩分濃度分布測定断面 $x=0.15, 3, 5, 7\text{m}$
流速分布測定断面 $x=0.15\text{m}$

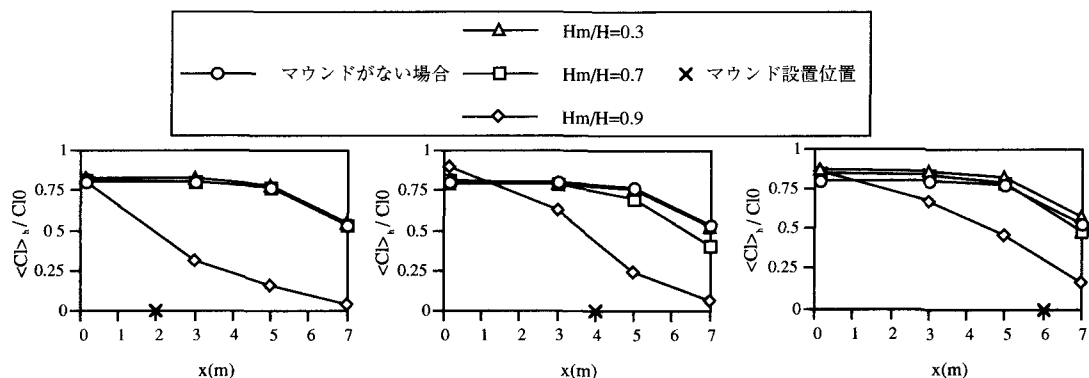


図-5 満潮時の断面平均塩分濃度 $\langle Cl \rangle_s$ の流下方向分布

軽減効果を評価した(図-6)。

$$E = \frac{L_s - L_{sm}}{L_s} \quad (2)$$

(ただし、 $L_s (=11.3\text{m})$ はマウンドがない場合の塩水侵入長、 L_{sm} はマウンドを設置したときの塩水侵入長である)
 $E=0$ のときはマウンドによる塩水侵入軽減効果は全くなく、 E が正のときには塩水侵入軽減効果があることになる。

図-6を見ると、いずれの設置位置においても、平均水深の1/3程度のマウンドの高さでは、強混合形態での塩水侵入に対してほとんど効果はないが、マウンドの高さが干潮時の水深近く (H_m/H がほぼ0.8程度) になると塩水遡上軽減効果は増大してくる。また、マウンド高さ $H_m/H=0.3$ 、0.9については、マウンドの設置位置による塩水侵入長軽減効果の違いはほとんどないが、 $H_m/H=0.7$ については、マウンド設置位置が $X_m/L_s=0.354$ 、0.531のときは、マウンドの塩水侵入軽減効果があるのに対し、河口付近にマウンドを設置した場合($X_m/L_s=0.177$)には、マウンドの塩水遡上軽減効果はほとんど見られなかった。

3-2.断続的な塩水混入に対するマウンドの効果

3-1で強混合形態の準定常状態に対するマウンドの効果が明らかとなったが、実際の河川の塩水侵入は必ずしも準定常状態を実現しているわけではなく、諸条件の変化により変わってくる。そこで、定常塩水楔を初期状態とし

て、 $X_m=4\text{m}$ に高さ $H_m=8, 11\text{cm}$ のマウンドを設置して潮汐を発生させた場合と、マウンドを設置せずにそのまま潮汐を発生させた場合のそれぞれについて、マウンドの1m上流側である $x=5\text{m}$ の塩分濃度が時間的にどのように変化するか計測した。断面平均塩分濃度の一潮汐平均値 $\overline{\langle Cl \rangle}$ の時間的変化を図-7に示す。

マウンドの上流側の塩水は、時間が経つと最終的には希釈されるが、マウンドが高くなるとマウンドがない場合に比べて、初期の数周期間は高い濃度を示すことがわかる。これは何らかの理由で(例えば、高潮のような)比較的短い間隔でマウンドの上流側に断続的に塩水混入が起これると、マウンドの上流側は、マウンドがない場合よりもむしろ高い塩分濃度を維持することがあるということを示している。

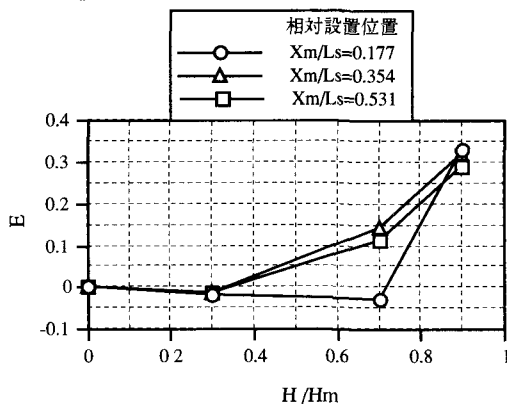


図-6 マウンドの塩水遡上軽減効果

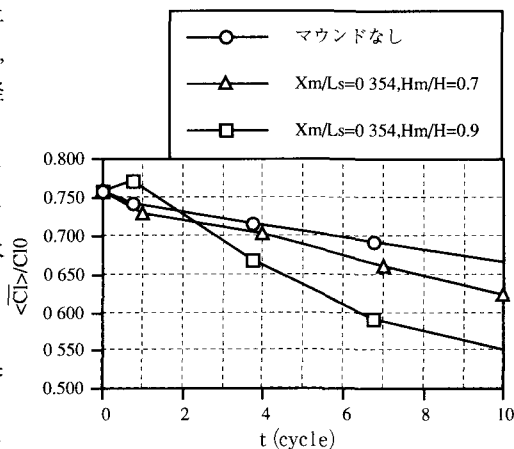


図-7 マウンド効果の非定常特性($x=5\text{m}$)

4. 弱混合形態の塩水侵入に対する気泡噴流の阻止効果

4-1.気泡噴流を用いた実験

3章の結果を考慮すると、マウンドは一度設置すれば、その後は全く人工的なエネルギーを用いることなく感潮河川の上流側への塩水侵入を軽減することができるため、塩水遡上防止に非常に有効な方法であると考えられる。しかしながら、マウンドの使用は、河川の流下能力の低下を招くため、元々流下能力が低くて洪水時の増水などの不安のある河川に対してはあまり適していない。

ところで、潮汐の干満差だけを変化させた場合に実現される弱混合から緩混合までの範囲での準定常状態においては、潮汐運動のない定常塩水楔で最も塩水侵入長が長く、潮汐運動による混合が強くなるに従い、塩水侵入長は急激に減少するという結果が2章で得られた。これは弱混合から緩混合までの範囲では内部重力の効果が上流側への塩水侵入の程度を支配し、内部重力の効果が弱まれば塩水侵入長は短くなるということを示している。この結果を考え併せると、塩水楔中の底層底部から図-8のような気泡噴流を発生させて局所的にでも上下層の混合を促進して下層の塩分濃度を

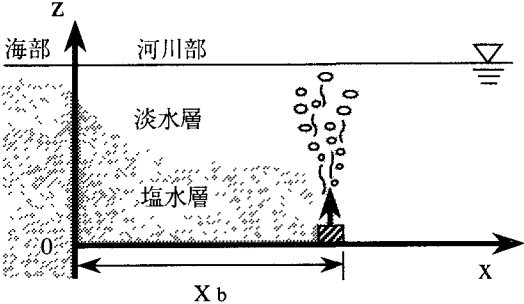


図-8 気泡噴流の模式図

表-3 実験条件（気泡噴流の効果）

ケース名	潮位振幅 A(mm)	気泡の発生位置 X_b (m)	海域の塩分濃度 Cl_0 (g/kg)	淡水流量 Q (ml/s)
Run3-1	0.0	5.0	1.0	35.0
Run3-2	2.5	5.0	1.0	35.0
Run3-3	〃	7.0	1.0	35.0
Run3-4	〃	8.5	1.0	35.0
Run3-5	6.0	5.0	1.0	35.0
Run3-6	〃	7.0	1.0	35.0
Run3-7	〃	8.5	1.0	35.0
Run3-8	7.0	5.0	3.0	50.0
Run3-9	〃	7.0	3.0	50.0
Run3-10	〃	8.5	3.0	50.0

減少させれば、河川の流下能力を低下させることなく上流側への塩水侵入を減少できることが期待される。そこで本章では、この気泡噴流の設置による塩水侵入長の軽減効果の程度を実験的に調べる。実際の河川では弱混合形態でも潮汐の影響を受けているため、本実験でも、弱混合形態を維持する程度に海域の潮位変動振幅Aで潮汐運動を与え、更に、気泡の発生位置 X_b を変えて実験を行った(表-3)。なお、気泡の発生量は発生断面における塩水楔を水深方向に十分混合できると思われる範囲での最小量に固定した。

4-2.実験結果とその考察

まず、実験結果の一例として海域の塩分濃度が比較的薄く($Cl_0=1.0$ g/kg)かつ弱混合形態の場合に、 $X_b=5$ mもしくは $X_b=7$ mの地点で気泡を発生させて、準定常状態に到ったときの各地点での満潮時の塩分濃度Clの鉛直分布を図-9-1,9-2に示す。気泡発生断面付近において鉛直方向に強い混合が生じ、塩分濃度の鉛直分布はほぼ一様になっており、その影響は部分的には河口部($x=0$)付近にまで及んでいる。また、気泡発生断面の下流側では底層の塩分濃度はほとんど変わらず依然として比較的強い成層状態にあるが、気泡発生断面上流側の底層塩分濃度は気泡発生前に比べ急激に減少し、塩分濃度の鉛直分布もほぼ一様化していることが分かる。

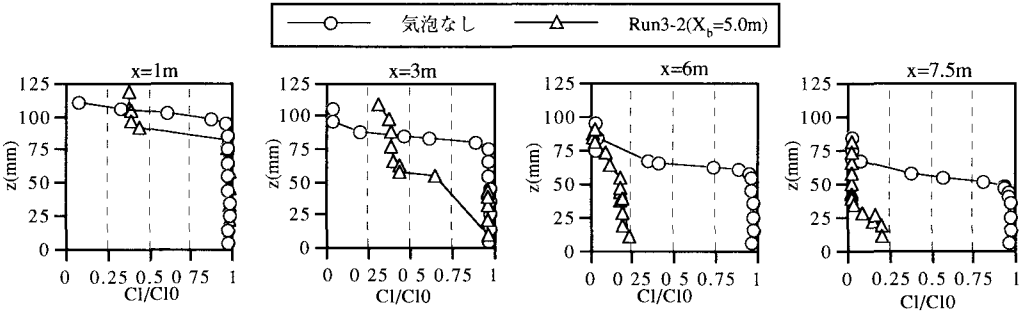


図-9-1 気泡発生後の準定常状態の満潮時における塩分濃度の鉛直分布 ($X_b=5.0$ m)

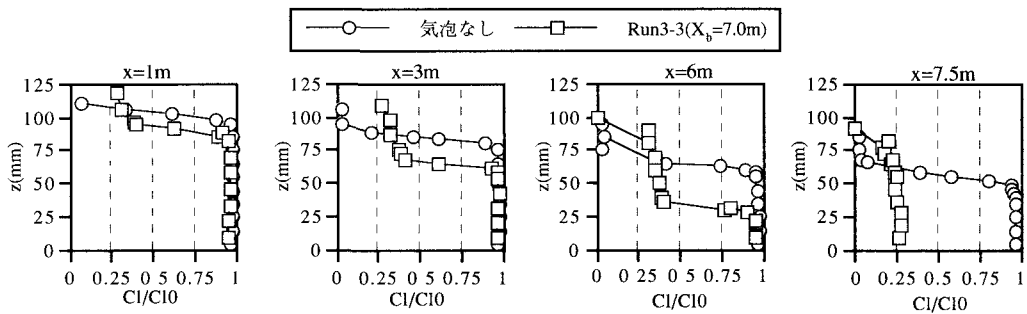


図-9-2 気泡発生後の準定常状態の満潮時における塩分濃度の鉛直分布($X_b=7.0\text{m}$)

更に、海域の塩分濃度が比較的高い場合($C_{10}=3.0\text{g/kg}$)の鉛直分布を調べてみると、比較的上流側の断面において気泡を発生させた場合($X_b=7.0\text{m}$, $X_b=8.5\text{m}$)、気泡発生断面の上流側における塩分濃度の鉛直分布はほぼ一様になっているが、下流側で気泡を発生させた場合($X_b=5.0\text{m}$)には、気泡発生断面の上流側で塩・淡水混合水が再び成層化していることが確認された。

次に、潮位変動振幅の変化により弱混合の範囲内で混合の程度が変化したときの準定常状態における断面平均塩分濃度の一潮汐平均値 $\langle C \rangle$ の流下方向分布を図-10に示す。

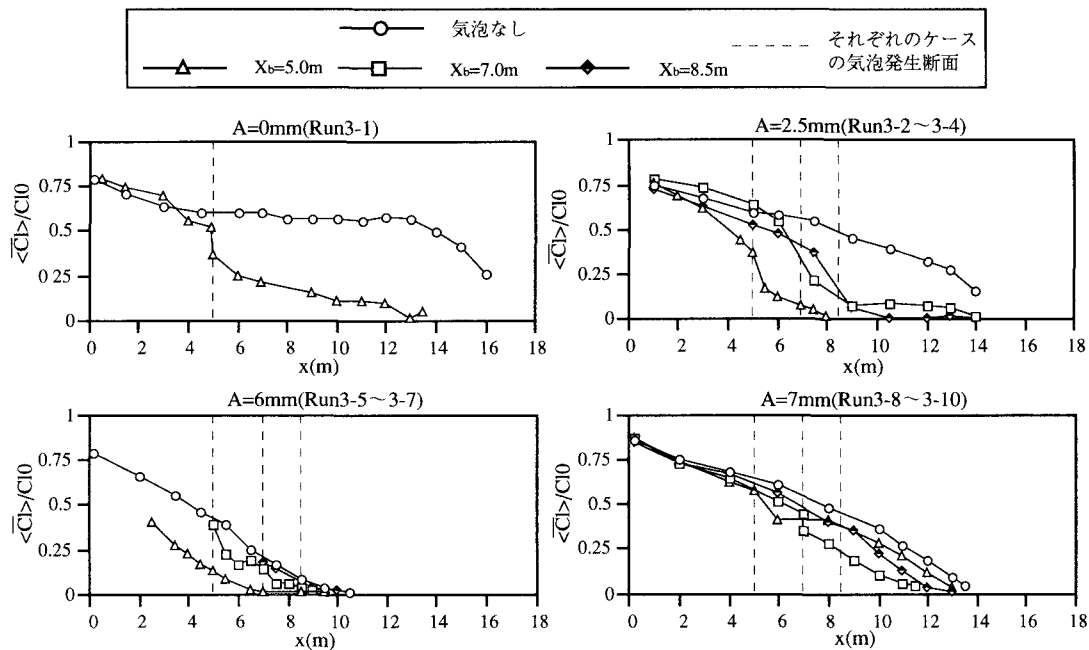


図-10 気泡発生による断面平均塩分濃度の一潮汐平均値の流下方向分布の変化

気泡噴流の効果により各断面における塩分濃度の大きさも塩分侵入長も共に減少しており、気泡噴流の発生は塩分濃度の鉛直分布だけでなく縦断分布にも大きく影響を及ぼすことが分かった。一方、河口部($x=0$)においては、塩分濃度の断面平均値にあまり変化は見られない。また、海域の塩分濃度が比較的低い場合($C_{10}=1.0\text{g/kg}$)において、実験を行った範囲では気泡の発生位置は下流側であればある程より効果的であるが、海域の塩分濃度が濃くなると、気泡の発生位置を下流に設置するのが必ずしも効果的ではないことが分かった。これは、気泡発生断面が下流側に位置すると上下層厚の比が小さくなり、局所的に十分混合しても混合水の塩分濃度はそれほど低くならない。従って上流側で混合水が再び下層に侵入して成層化するため塩水侵入の大幅な軽減にはつながらないことを示している。

4-3.非定常性についての考察

4-2節では、気泡噴流を発生させた場合の準定常状態における塩水侵入軽減効果についての考察を行った。しかし、実際の河川では、例えば、大潮時には緩混合形態に近い混合状態で比較的塩水侵入長は短いが、小潮に近づくにつれ混合が弱くなって弱混合状態となり塩水侵入長が長くなる川内川のように、同一河川でも海域での潮汐の干満差の変化に伴い塩水楔の侵入長が著しく変化する場合も考えられる。このため、上記の準定常状態における塩水侵入軽減効果がそのままでは適用できず、むしろ、気泡噴流の塩水侵入軽減効果の非定常性が重要になる場合が考えられる。そこで、まず気泡を発生させない場合の準定常塩水楔を初期条件とし($t=0$)、気泡を発生させた後いずれの気泡発生断面に対しても上流側となる $x=9.5\text{m}$ 断面における鉛直方向の各点での一潮汐平均塩分濃度の経時変化を調べた。結果の一例として、Run3-2($X_b=5.0\text{m}$)及びRun3-4($X_b=8.5\text{m}$)について水深方向に異なる4点の塩分濃度の時間変化(図-11)及び断面平均塩分濃度の経時変化の比較(図-12)を示す。

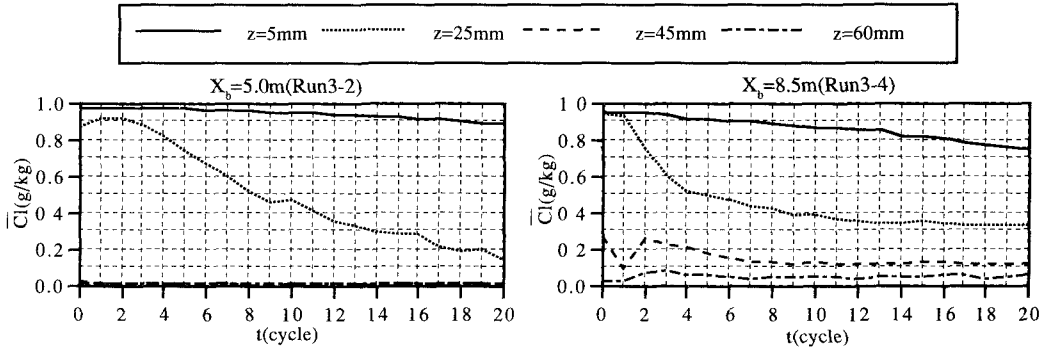


図-11 気泡発生後の $x=9.5\text{m}$ の鉛直方向各点における一潮汐平均塩分濃度の経時変化

塩分濃度の測定断面に比較的近い位置 $X_b=8.5\text{m}$ で気泡を発生させた場合には、気泡噴流の鉛直混合効果を強く受けるため、気泡発生後、底層付近の塩分濃度が急激に減少し、逆に、表層付近の塩分濃度は初期の数周期で急激に増加している。一方、 $X_b=5.0\text{m}$ で気泡を発生させた場合には、準定常状態に到るまでの時間が長くなっている。例えば、 $x=9.5\text{m}$ の断面で取水を行う場合を想定すると、気泡発生断面が取水場に近すぎると上層に比較的濃い塩水を巻き上げるため選択取水を行う上で支障をきたす可能性が考えられる。逆に、例えば干満差の減少に伴い混合が弱くなって塩水侵入が増加し、塩水侵入軽減効果の非定常性が重要になる場合には、気泡発生断面が取水場から遠すぎると、取水場地点では気泡噴流による塩分濃度の減少効果が現れるまでに時間がかかるため間に合わずに、あまり塩水混入を阻止できないことも考えられる。このように取水地点や実際の河川の潮汐変動により気泡噴流の発生断面の最適位置は異なってくる。したがって最適位置の特定は容易ではない。

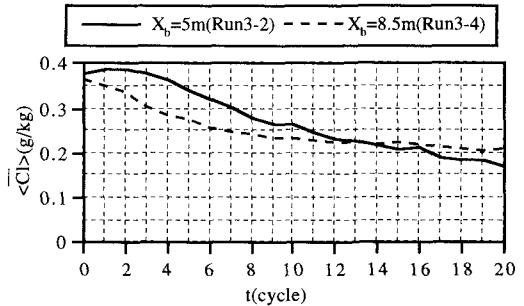


図-12 気泡発生後の $x=9.5\text{m}$ の断面平均塩分濃度の一潮汐平均値の経時変化

以上の結果はあくまで限られた条件の下での実験結果であり、定量的な議論は簡単にはできないが、図-10の結果を見ると、いずれにしても気泡噴流を発生させることで弱混合河川の塩水侵入長の軽減がかなり期待できることが分かった。

九州西南部に位置する川内川の河口部において、ここ数年来、河口より16.6km上流に位置する丸山共同取水口で、時折り、比較的高濃度の塩水が混入し、周辺住民の生活や製紙パルプ業などの産業活動に支障がでている。その対策として、本研究で得られた知見をもとに、1995年11月に河口から12.4km上流に位置する天

大橋付近の河床から試験的に河幅全体にわたり一様に気泡を発生させ、河川上流側への塩水侵入を軽減する試みがなされ、観測が行われた。その現地観測結果から実際の河川においても気泡噴流を用いて塩水侵入を軽減できることが確認されている。図-13に川内川での気泡噴流発生状況写真を掲載する。

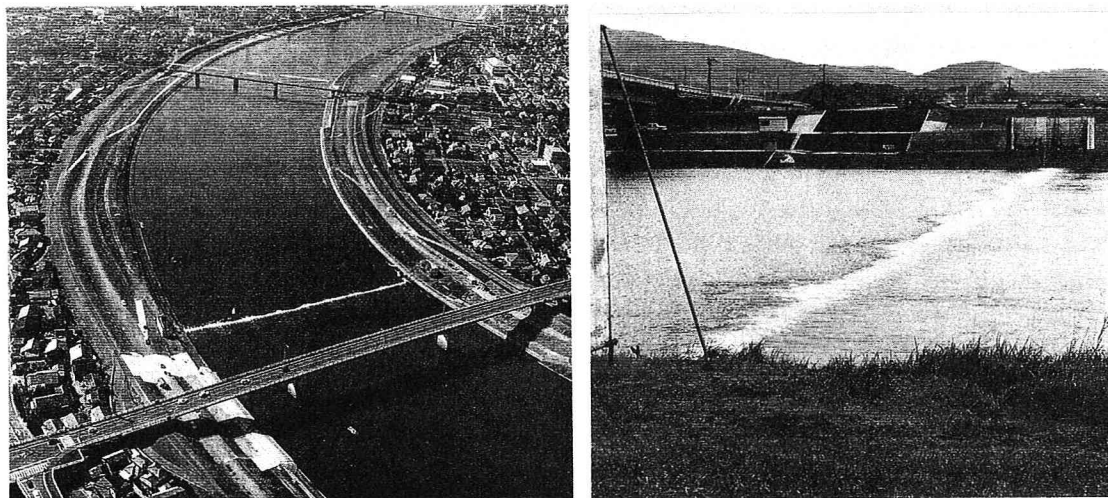


図-13 川内川での気泡噴流発生状況

5. 結論

本研究では、最初に感潮河川における混合形態と塩水侵入長の関係を調べた。その結果以下のことが明らかとなった。

- 1) 他の条件が同じで海域の干満差だけが変化するとき、潮汐振動のない定常塩水楔の場合に塩水侵入長が最も長くなる。
- 2) 弱混合から緩混合にかけては、干満差が大きくなるほど塩水侵入長は短くなるが、緩混合から強混合にかけては、入退潮量の増加による拡散の強さの増加に伴い塩水侵入長は再び長くなる。

以上の知見をもとに、感潮河川における塩水侵入を人工的に制御する方法としてマウンドと気泡噴流の2つを取り上げ、それぞれの抑制効果を実験的に調べた。得られた結果をまとめると以下のようになる。

- 3) 強混合形態の河川においても、マウンドは塩水遡上を抑制する効果をもち、その効果はマウンドが高いほど大きい。また、マウンドの上流側だけでなく下流側においても塩分濃度の低下が見られる。
- 4) しかしながら、例えば高潮などによる一時的もしくは断続的な塩水混入が短い間隔でマウンドの上流側に起こると、マウンドが比較的高い場合、マウンドの上流側でマウンドがない場合よりも高い塩分濃度を維持する場合があり得る。
- 5) 弱混合型河川に気泡噴流を発生させて鉛直方向の混合を促進させることにより、塩水侵入長を軽減できることが分かった。また、準定常状態の場合、塩水侵入長を軽減するのに最適な気泡発生断面は、入退潮による混合の強さと塩水楔がもつ成層の強さ及び淡・塩水層厚の比との相対的な関係によって決定されるということが明らかになった。

最後に本研究の遂行にあたり貴重なアイデアを頂いた建設省川内川工事事務所、(株)東京建設コンサルタント九州支店の方々、並びに、本実験及びデータ解析に協力願った九州大学工学部建設都市工学科 藤田和夫、柴田敏彦両技官、朝田将、松永英伸 両工学部4年生に深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 安達貴浩・柴田敏彦・藤田和夫・孫双科・小松利光：感潮河川河口部の塩水侵入に関する実験的研究、土木学会第50回年次学術講演会第2部, PP512 - 513, 1995
- 2) Fischer, H.B. : Mixing in estuaries, Mixing in Inland and Coastal Waters, Academic Press, pp229 - 278, 1979.