

小河川感潮部区域における侵入塩分の挙動に関する研究

Field Study on the behavior of the Unsteady Salinity Intrusion
into the Small Estuary

東北学院大学工学部 正 員 上 原 忠 保
東 北 大 学 工 学 部 正 員 岩 崎 敏 夫

1. はじめに

河口に侵入する塩分に対する研究は、工業用水の取水水質、侵入した塩分の存在によるSSの沈降促進現象等の問題に端を発して、たくさんの研究が行われてきたが主に一次元定常的扱いがなされ、非定常的挙動の研究はあまり多くないと思われる。近年、侵入塩分の挙動を非定常的に扱うため基礎式を鉛直二次元モデルによって数値的に解くことが多く行われている⁽¹⁾。しかし、このモデルを個々の河口に適用するとき、例えば河口での条件の与え方一つを例にとっても現象に関与する因子が多いため画一的な条件でよい場合ばかりとは限らず現地データの集積により適切な条件を見出ししていくことが大切であるように思われる。本研究では、以上の観点から小河川感潮域への塩分侵入について行った現地観測のうちより塩分侵入の非定常的挙動や河口流況等の例について報告するものである。

2. 現地および観測の概要

現地観測は七北田川の下流部で行った(図-1)。七北田川河口部の北方1kmには仙台新港がある。河口より200m上流の左岸には、シギ、チドリ等の渡り鳥の飛来地として知られる蒲生干潟があり、導流堤内の2本のヒューム管を通して七北田川との交換が行われる。また500m上流の右岸に貞山堀が接続しているが、その開門は、上げ潮時には閉じられ、下げ潮時には貞山堀の水を開放する。河口より4150m上流に鋼矢板のもぐり堰があり、ここで塩分の侵入はストップし、干潮時にはわずかの水面差が上下流に生ずる。もぐり堰のすぐ上流で梅田川が合流する。干潮時の河川流量の観測は福田大橋、梅田橋で行った。平水時の流量は3m³/s程度である。観測は感潮域のうち河口ともぐり堰の間を対照とした。この区間はほぼ直線であるが、表-1のように水深、川幅は変化する。水深は平均2~3mであるが、一部の川底は、砂利採取の跡が深くなっている。図-2に0~750mの深浅図を示す。0~500mは右岸側が深い。最も深いのは、500m部で5mである。本報告で用いる観測例を表-2に示す。河口からの距離で断面を

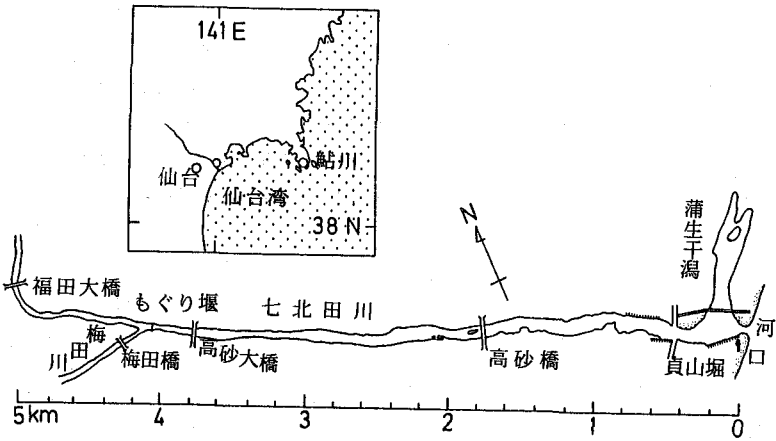
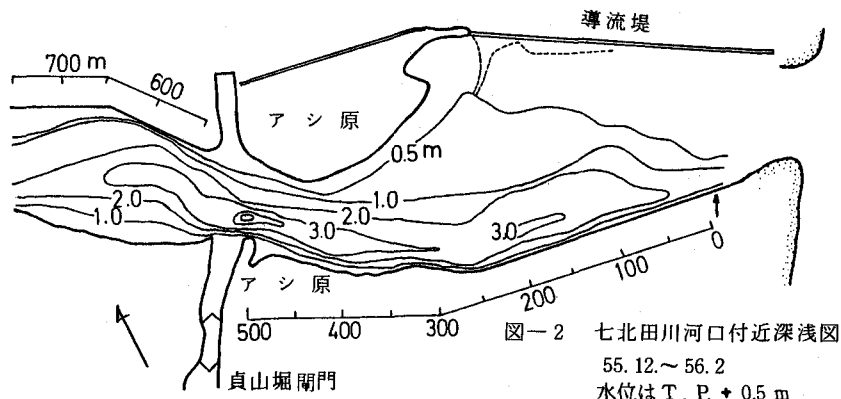


図-1 七北田川下流部平面図

断面	水位 T.P.+O.O		
	水面幅	中央水深	最大水深
0m	34.3m	1.12m	1.40m
50	51.0	1.00	1.74
100	102.3	1.50	2.42
150	136.5	1.60	2.55
200	183.5	0.25	3.08
250	145.0	0.68	2.38
300	74.2	1.42	2.55
410	75.3	2.63	2.89
500	73.8	4.18	5.28
550	84.9	2.22	3.31
600	111.0	3.08	3.20
1000	152.3	1.39	1.76
1600	125.0	1.00	1.13
2000	51.5	1.56	2.97
2600	56.4	1.87	2.76
3000	55.1	1.31	1.45
3850	35.7	2.03	2.07

表-1



示す。河口は図-1の矢印の断面である。流れ方向の断面数は5~10程度で、間隔は50~100mである。観測項目は水位、塩分、流速である。観測断面には、川を横断して目盛付ロープを張り、ゴムボート等を用いて中央あるいは左岸寄り、および右岸寄り測点で鉛直方向に適当な間隔で測定を行った。

また船外機船で移動観測もしている。流速計は、CMII型、CM1S型、CM10S型（東邦電探）、V303型（計測技研）およびUC-3（玉屋）等のプロベラ式流速計を用いた。塩分の測定には、ポータブルST計（オート・ラブ、モデル602）、サリノメータ（EIL, MC 5/2）、塩分計（東邦電探ECT-6）を用い、ハイロート採水びんによる採水の場合には試料を導電率計（計測技研）で分析して求めた。測定器は流速計、塩分計ともに使用前後のいずれかに検定した。

3. 観測結果および考察

七北田川感潮域内の塩分侵入に関しては岩崎・杉本・上原の研究⁽²⁾がある。また塩分侵入に及ぼす河川流量や地形の影響については、杉本・田二谷⁽³⁾、杉本・花輪⁽⁴⁾等による研究がある。本報告では、七北田川感潮域内の塩分の挙動を潮汐、河川流量の異なる次の3つのケースについて調べてみることにする。

（例1）すでにもぐり堰まで塩分が達している場合新たに塩分が侵入していくケース：

表-2の観測①の結果である。潮汐は大潮で、河口での潮差は0.75m、河川流量は $6.9 \text{ m}^3/\text{s}$ で、これは平水量 $2 \sim 3 \text{ m}^3/\text{s}$ より多目であった。観測は、河口、1600m、3850mの3断面を定点とし、1982年9月1日11時より34時間、2~3時間毎に行った。河口断面は波浪等で危険なときは、適宜移動し300m、600mでも観測した。感潮域内には、観測当初からもぐり堰まで塩分が侵入しており、そこへ新たに塩分が侵入していく様相を追ってみることにする。七北田川では多くはこのようなケースが生じている。

図-3、4、5は、600m、1600m、3850m断面での塩分鉛直分布の時間変化図である。600m（図-3）では等塩分濃度線は水位曲線の変化とほぼ同一の変化を示す。9月2日には、観測期間中初めて30‰の線が、16時付近に現われている。図-6は、各断面表層の塩分変化である。上げ潮時には表層付近は塩分が上昇し、侵入塩分による拡散を示す。1600m（図-4）では、30‰の線は存在せず、最大は25‰線になる。9月1日10時から

の上げ潮時には、等塩分濃度線の上昇は水位の変化に少し遅れて始まり、ほぼ水位変化と同じにピークに達するが、下げ潮時にはゆっくり降下する。25‰の線と他の線の間には、変化に相異があるが後に述べるように、この線の変化

観測番号	年・月・日	河口潮差	河川流量	河口最大塩分	塩分侵入状況
①	1982. 9. 1 ~ 9. 2	0.75 m (大潮)	$6.9 \text{ m}^3/\text{s}$	30.4 ‰	もぐり堰に達する
②	1982. 9. 18	1.09 m (大潮)	$9.2 \text{ m}^3/\text{s}$	27.5 ‰	2400 mまで侵入
③	1980. 9. 18	0.40 m (長潮)	$2.3 \text{ m}^3/\text{s}$	28.7 ‰	もぐり堰に達する
④	1979. 9. 9	(大潮)	$2.9 \text{ m}^3/\text{s}$	30.0 ‰	もぐり堰に達する
⑤	1980. 10. 11 ~ 10. 12	0.61 m (中潮)	平水量	31.8 ‰	もぐり堰に達する
⑥	1974. 8. 4	0.80 m (大潮)	$8.0 \text{ m}^3/\text{s}$	26.0 ‰	2800 mまで侵入

表-2

と塩分侵入とは関連が深い。

水面での塩分は、600 mと同様であるが、上げ潮には、1.68‰～2.7‰でありその変化および数値は小さい。3850 m (図-5)では、下層は1600 mより減じた20‰の線になるがその変化は、前2者と異なっている。9月1日からの上げ潮時はほとんど変化せず水位のピーク付近でいったん消滅している。図-8(1)～図-8(7)は流下方向の塩分の分布図である。

これらの図において、底層の等塩分濃度線の形は推定しているものもある。河底地形は、断面中央での水深を用いた。以下図-8、図-3, 4, 5によって塩分の挙動を順を追って調べてみる。15時：1600 mの25‰線がいったん消えてから再生されているので、河口から新たに塩分が到着したと考えられる。17時：河口は下げ潮に入っているが、感潮域内の塩分はまだ侵入を続けている。また3850 mの5～15‰線の上昇、図-7のSSの上昇より河口に侵入した塩分の影響が約6時間後に現われたことになる。ただし、20‰線はまだあらわれていない。21時：3850 m 20‰線が再生されたことにより本格的に塩水が到着したことを示す。0時：河口は上げ潮中、1600 mの20‰線の増加より上げ潮半ばで塩分が到着することがわかる。3時：河口域内は、全体にわたってほぼ成層型となっている。8時30分：表層内の速度は、観測によると1600 mで平均0.35 m/s、3850 mで0.3 m/sに増加した。5～25‰の600 mでのおちこみがある。これについては、後のケースでもみられる。15時：河口は全部30‰線、300 m～1600 mは緩混合型の分布である。これは低低潮より高高潮への上げ潮時にみられる。1600 mの25‰線が最低になる。これは1400 mの付近にある高みを越えて侵入した部分が、1600 m～2000 mのくぼみに落下し、混合拡散を生じているためであると思われる。これは、塩水層厚が大きくなるまでつく。

以上の例は、上流のもぐり堰の影響を受けている。明らかになったことは、河

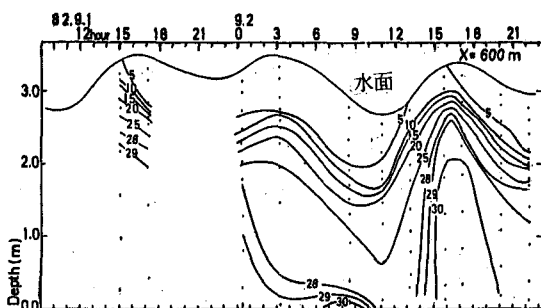


図-3 塩分濃度の時間変化図

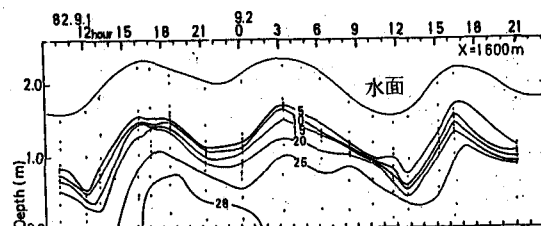


図-4 塩分濃度の時間変化図

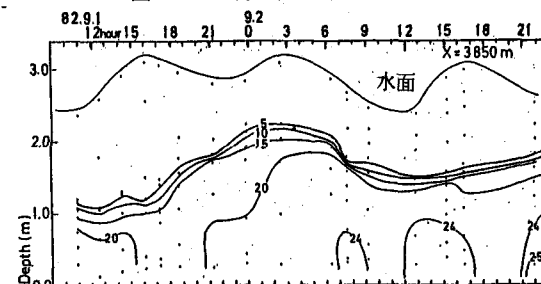


図-5 塩分濃度の時間変化図

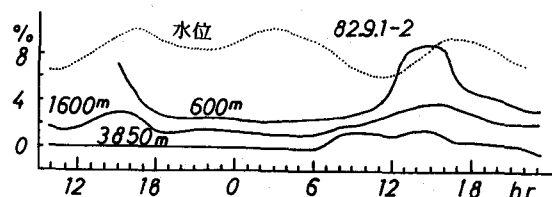


図-6 表層塩分濃度の時間変化図

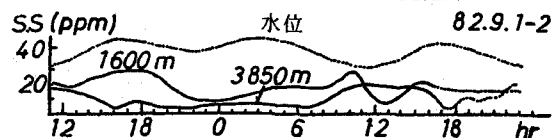


図-7 底層SSの時間変化図

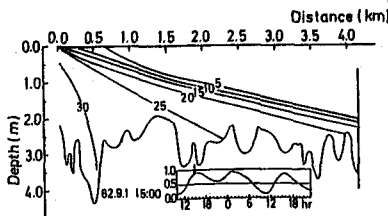


図-8(1) 流下方向塩分分布図

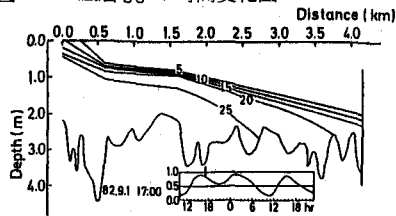


図-8(2) 流下方向塩分分布図

口～600 m位の部分と奥部では侵入・後退挙動に差があること、前者では緩混合型になることがあるが後者では常に成層型であることまた塩分の侵入に伴ない塩水層厚が水位変化とは無関係に変化すること 侵入時に、特に初期に地形の影響を受けること等である。

(例2) 塩分が下げ潮時にほとんど河口外に後退し、新たに侵入するケース：

表-2の観測②の結果である。潮汐は大潮で河口での潮差は1.09 m、河川流量は $9.2 \text{ m}^3/\text{s}$ に増大していた。

観測は河口、100 m、200 m、300 mは船外機船で移動観測し、400 m、500 m、600 m、800 mは定点とした。塩分の侵入がすすんだときは、2400 mまで追っている。1982年9月18日9時より16時まで1時間毎に行った。下げ潮終り頃より低潮そして上げ潮時の塩分の挙動を調べることにする。図-9(1)は400 m断面における流速および塩分の時間変化図である。下げ潮時は塩水層厚も時間的に急降下し、プラス(海)方向に塩分は流出する。

低潮時には、塩分の15‰線がわずかに残るだけになり、流速も小さくなる。下げ潮時は、表層が速く底層が遅い形であるが、上げ潮に転ずるとまず底層から流速が速くなり時間とともに中層に速い部分に移っている。図-9(2)は、400 m断面の11時30分より11時38分の間に測定した逆流流速と11時55分に採水した試料による塩分の鉛直分布図である。塩分は底層で4.7‰で小さい。

上げ潮開始時のまだ本格的

に海水が流入していない時点で底層はすでに高速で流れていることを示している。流入時、塩分は、急上昇する。等塩分濃度線は最終的には水面と交わり、全水深にわたり20‰以上となる。しかし、上げ潮に転じた時からそれまで流下していた淡水をせき止め、上流に押し戻しながら塩分は侵入するので完全に20‰以上になるのは4時間程度かかり、30‰線は水面に達しない。等塩分濃度線の流下方向の変化を図10-(1)～図10-(8)に示す。図10-(1)は、下げ潮終了頃の塩分の流出の様子で重いものがくぼみ

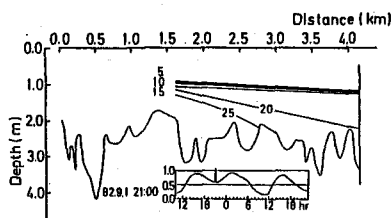


図-8(3) 流下方向塩分分布図

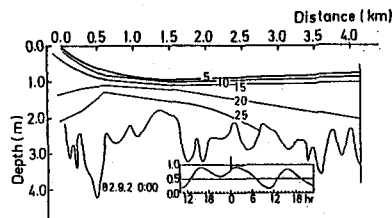


図-8(4) 流下方向塩分分布図

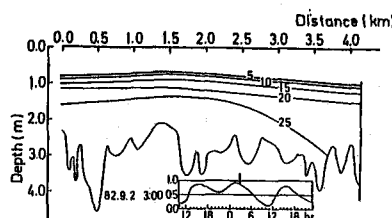


図-8(5) 流下方向塩分分布図

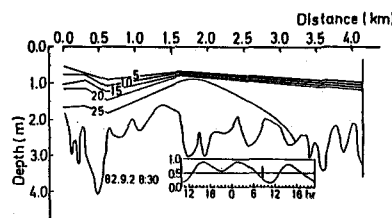


図-8(6) 流下方向塩分分布図

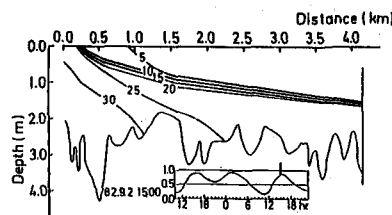


図-8(7) 流下方向塩分分布図

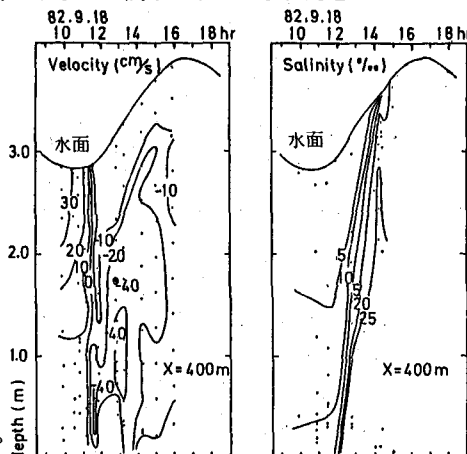


図-9(1) 塩分分布の時間変化図

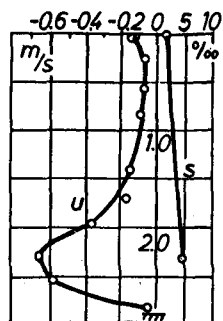


図-9(2)
流速分布図の例
(400 m, 82.9.18
11:30～11:38)

の高さ位まで低下している。図-10

(2)ではさらに下がりがくぼみに落下したものがまき上り図-10(3)では

くぼみの内部にも影響があらわれている。図-10(4)は河口が上昇を開始した時で、図

-10(5)は上げ潮に入り塩水が流入し、くぼみに流れ込み、拡散しながらも侵入していく様子を示す。図-10

(6),(7)では、流入が続き25‰の線の上昇とともにくぼみの影響が少なくなっていく。図-10(8)は、高潮時の侵入状況である。700 mあたり

まで侵入した海水が占められている。以上の例では、河口が上げ潮にかわった後の強い底層の逆流、侵入時から緩混合状態が続くこと、500 mおよび1400 mのくぼみと高みの塩分の侵入に与える効果が大きいことが示された。

(例3) 潮位が低く奥まで塩分が侵入しないケース：

表-2の観測③の結果である。潮汐は長潮で、観測は、1980年9月18日6時～17時まで毎時行われた。潮差は河口で0.4 m、河川流量は七北田川0.50 m³/s、梅田川1.8 m³/sである。観測は例-2と同じく、主眼を河口～800 mの部分とした。図-11は河口断面での塩分分布の時間的変化である。潮位は高低潮より低高潮まで上昇し、少し降下してから再び上昇する。図-11より、河口では、25‰線が最大の流入塩分で上げ潮であっても成層が形成されており、潮位が急上昇するケースと比べると、塩分の分布に変動が認められる。これは、7時

頃より塩分が流入を始めて塩水層が増大するものの一気に侵入を続けることができず、河口内の水と均衡をとりながら侵入するためと思われる。他の断面でもこのような分布が認められた。等塩分濃度線の流下方向の変化を図-12(1)～図-12(6)に示す。図-12(1)では河口は上げ始めているが、奥部からは下層塩分の後退があるので500 m付近のくぼみに両側から塩分が流れてきている。図-12(2)では侵入した塩分のためくぼみ内も含めて底層は25‰線となり、図-12(3)にすべての濃度線がほぼ一様に上昇し勾配もそろい

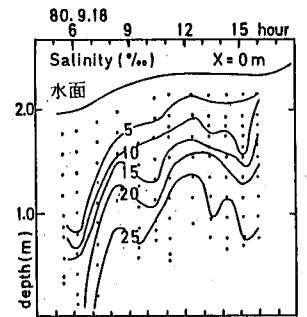
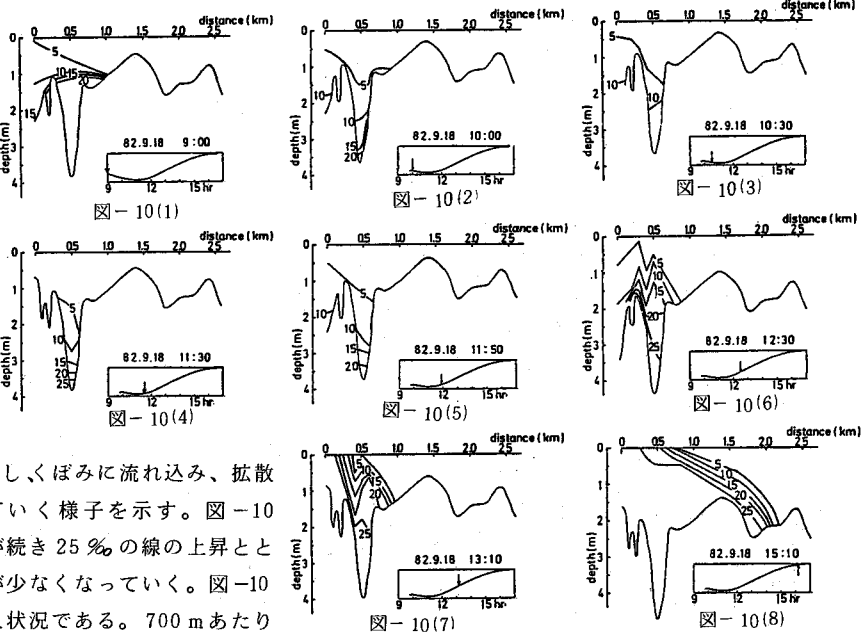
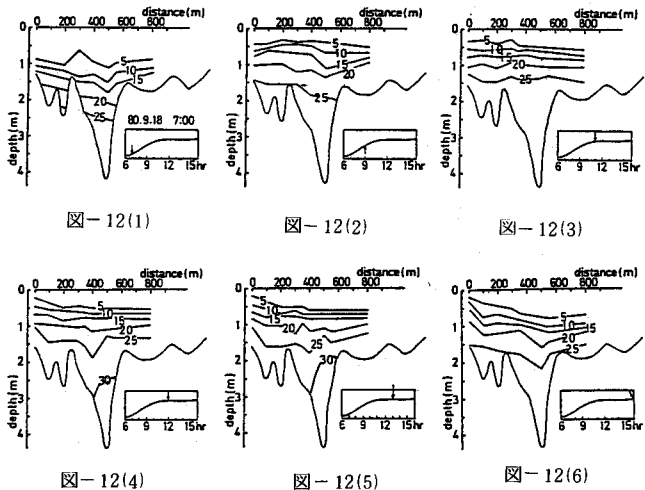


図-11 塩分分布の時間変化図



このまま奥へ侵入するかに思われるが、図-12(4)では、くぼみの底より30‰線が出現し、図-12(5)でかなりの高さに達する。河口の25‰線が上昇したためくぼみで落下が生じている。30‰線が生じた理由ははっきりしないが、あるいは貞山堀からの流入かとも考えられる。その後河口では潮位がいったん降下するので、塩分は後退し図-12(6)ようになる。ひきつづいて再び上げ潮になる。この時の潮位の降下は0.03 mとごく小さいが、塩分の後退に対する影響は小さくはない。例-3は前の2つの例と比べると河口からの塩分の流入量が少ないので河川流量が少ないにもかかわらず1400 m 付近の高みを新たに侵入した塩分の少なくとも高いものは越えられない現象を示している。

以上の概略的観測で、七北田川感潮域では4150 mのもぐり堰と1400 mの高みが塩分侵入に対して地形的に重要であり、潮汐および流量に応じて、緩混合型・成層型の塩分分布が生ずることが明らかになった。

図-13、図-14は河口断面における流速塩分分布の変化
図-15は流速横断分布の例である。両図より成層はしているが一樣流体に類似した速度分布をしており上げ潮の短い期間を除いてほぼ対数分布と考えてよいことが他の数例も含めて確かめられている。図-11のように潮位が低く平水時の場合の

河口の塩分分布は成層分(1)布とすべきでありまた図-13や例1の場合ある時期は一樣分布となる。河口状況は沿岸水と感潮区域内水との間の相互作用の結果であるので状況に応じた条件の設定が必要となる。

4. 結 語

七北田川感潮域での観測にもとづいて、潮汐や河川流による侵入塩分の挙動や等塩分濃度線の形の相異を状況例で考えてみた。現実の感潮域では侵入塩分に対して複雑な運動をさせる外部条件があることがわかった。今後これらの条件を基礎的に解決していくことが現象解明のために必要であると思われる。

最後に、東北学院大学工学部職員 高橋宏氏および水理研究室卒業生、在校生の諸氏より観測、資料整理および図面作成の協力を得た。また文部省環境科学特別研究(1)(代表者 東北大学 栗原康教授)に研究費の一部の援助をうけた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Hamilton, P.; In: Estuarine Processes, Vol. 2 (ed. M. Wiley), Academic Press, 1976
- 2) 岩崎・杉本・上原; 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, 1975.
- 3) Sugimoto, T. and M. Taniya; Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys., 25, 1978
- 4) Hanawa, K. and T. Sugimoto; Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys., 25, 1979

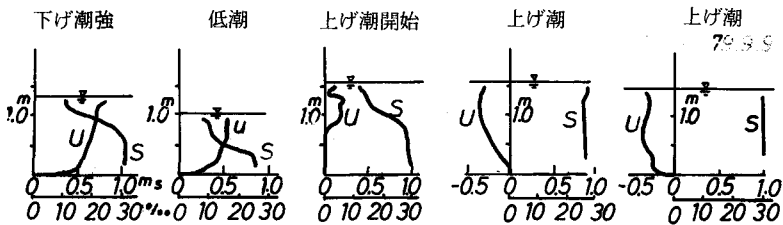


図-13 河口断面(中央)の流速塩分分布の時間変化図の例(観測④、大潮、平水量)

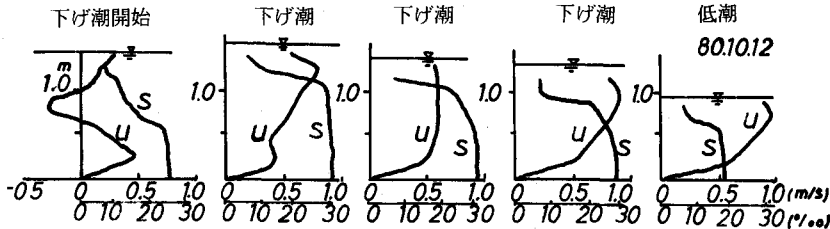


図-14 河口断面(中央)の流速塩分分布の時間変化図の例(観測⑤、中潮、平水量)

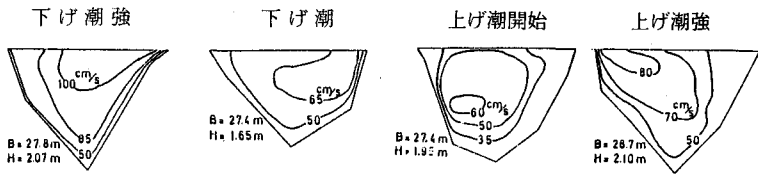


図-15 河口横断面内の流速分布図の例(観測⑥、大潮、8 m³/s)