

高瀬川の複断面河道部における塩水遡上特性

CHARACTERISTICS OF SALT WATER INTRUSION IN COMPOUND CHANNEL OF TAKASE RIVER

藤原広和¹・石川忠晴²・西田修三³・鶴田泰士⁴・沢本正樹⁵

Hirokazu FUJIWARA, Tadaharu ISHIKAWA, Shuzo NISHIDA,
Yasushi TSURUTA and Masaki SAWAMOTO

¹正会員 八戸工業高専助教授 建設環境工学科 (〒039-1192 青森県八戸市田面木上野平16-1)

²フェロー 工博 東京工業大学大学院教授 総合理工学研究科
(〒226-8502 神奈川県横浜市長津田町4259)

³正会員 工博 大阪大学大学院助教授 工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

⁴学生会員 工修 東京工業大学大学院 総合理工学研究科 (〒226-8502 神奈川県横浜市長津田町4259)

⁵フェロー 工博 東北大学大学院教授 工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉)

The Takase River is important in the southeast of Aomori Prefecture and its estuary is typical tidal river. Mixing of salt-water intrusion in compound channel is very complicated. The field measurement is performed to study the mixing characteristics in the compound channel of the Takase River estuary. The salinity concentrations are measured by the thermometers and by the salinometers in 29 stations of the field. The water temperature is changed into the salinity concentration. The results of this study showed that patterns of the horizontal salinity mixing in the compound channel at flood tide is different from those at ebb tide.

Key Words : tidal portion, field observation, compound channel, estuarine density current

1. はじめに

感潮河川は、海水性・淡水性の生物が入り交じった豊かな生態系を有し、近年は貴重な自然環境を保全しようとする動きが強まっており、バランスを考えた地域開発が望まれている。そのためには感潮河川における自然環境の成り立ちについての理解を深める必要がある。本研究は感潮河川における塩水混合の実態把握を目的として、高瀬川河口部の複断面水路部に着目し、塩分および水温を測定し、塩水の混合過程、特性を明らかにしようとしたものである。

青森県東南部に位置する高瀬川河口部は、汽水湖である小川原湖と太平洋を結ぶ感潮河川である。小川原湖への塩分流入は、高瀬川の塩分遡上と混合、湖の斜面密度流、湖流による物質輸送、鉛直混合という過程を形作っている。高瀬川の塩分遡上については石川ら¹⁾、藤原ら²⁾、西田・中辻³⁾の研究がある。小川原湖の斜面密度流に関しては長尾ら⁴⁾の研究がある。湖流による物質輸送に関しては鶴田・石川⁵⁾の研究がある。

2. 複断面水路密度流の特性

著者らは、高瀬川河口部における現地観測結果⁶⁾などから、複断面河道に起因する複雑な流動形態が生じていることに着目し、実験的に複断面水路密度流の水利特性などを明らかにしてきた。実験では複断面水路における塩水混合は、潮汐による河口部の水位変化により、塩水は先に低水路を混合しながら侵入してくる。このとき低水路部では内部波が発生する。その後、低水路と高水敷間の流速差による水平shearにより水平方向への混合が促進される⁷⁾。そのため、複断面水路では単断面水路より混合量が大きいことが確認されている²⁾。

3. 観測概要

(1) 現地概要

図—1は青森県東南部に位置する小川原湖および高瀬川河口部の概要図である。高瀬川河口部は、汽水湖である小川原湖と太平洋を結ぶ感潮河川である。高瀬川は流

域面積866.9km²，幹線流路延長63.7kmで，八甲田山系八幡岳に源を発する1級河川である．小川原湖は湖面積63.2km²，平均水深11mである．河口より約5.7km上流に放水路があるが，洪水時以外はゲートが閉められているので，海水は通常高瀬川を経由し，侵入する．小川原湖の年平均水位は約T. P. +40cmである．

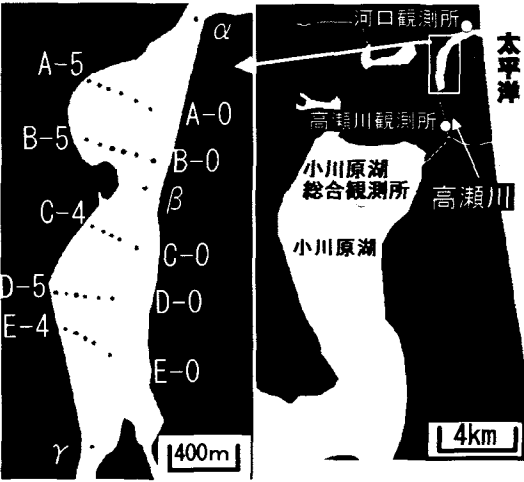


図-1 小川原湖周辺および測点位置

(2) 観測方法

図-1の高瀬川河口の複断面河道部において，1999年8月7日～8月14日の期間に塩分濃度および水温の測定を実施した．測点はα，A-0，B-0，β，C-0，D-0，E-0，γの滞筋部とA-1～A-5，B-1～B-5，C-1～C-4，D-1～D-5，E-1～E-4の浅瀬で実施された（図-1では測点番号が省略されているが，例えばA-0からA-5に向かってA-0の隣の点がA-1，その隣の点がA-2，その隣の点がA-3である．他の省略されているB，C，D，E測線についても同様である．）．滞筋では水面から0.3m（上層），水面から1.3m（中層），および水面から2.3m（下層）の位置にセンサーが取り付けられている．また，浅瀬では河床から0.12mにセンサーが取り付けられている．センサーはα上層，α中層，β中層，γ中層，B-3，D-3測点の6点に水温・塩分計（株）アレック電子，MDS-C T）を設置した．α下層，β上層・下層，C-0上層・中層・下層，D-0上層・中層・下層，γ上層・下層の測点に水温計（株）アレック電子，MDS-T）を設置した．E-0上層・中層・下層および浅瀬の測点に水温計（Onset社，StowAway “TidbiT”）を設置した．8月7日～8月8日に測定器はセットされ，8月14日朝まで水温，塩分は1分毎に計測された．ただし，A-0，B-0測点は測定器を発見できず回収できなかったためデータは無い．

測点の位置はDGPSとセオドライトを併用して求めた．また，図-2は観測地域の河床横断面図である．今回の観測では河口の水位がT. P. 値で最大80cmを超え，最小で-20cm位であったので，浅瀬部分では干上がることもあった．

また，観測データの検討のため，建設省で観測されて

いる水位（河口，高瀬川，小川原湖の各観測所）と塩分（高瀬川観測所）を利用した．

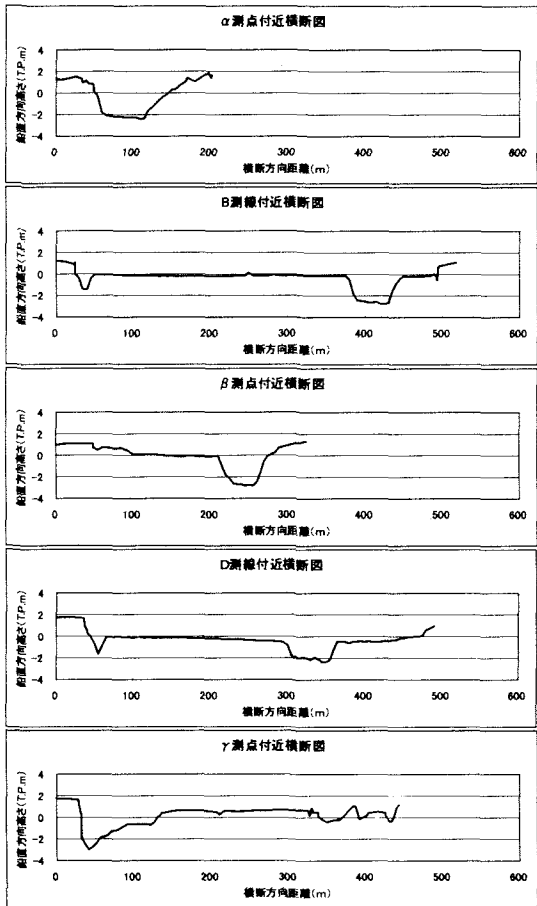


図-2 河床横断面図

4. 観測結果

(1) 観測時の概要

図-3は観測期間における建設省の河口観測所，高瀬川観測所，小川原湖総合観測所で測定された水位時系列である．8月10日～12日が大潮にあたる．この時期に降雨はほとんどなかった．図-4は河口から5.5km上流の高瀬川観測所で測定された塩分の時系列である．本研究では主として大潮直前の8月8日～9日と大潮時の8月11日～12日の測定データを使用し，高瀬川複断面河道部の塩水挙動について考察する．

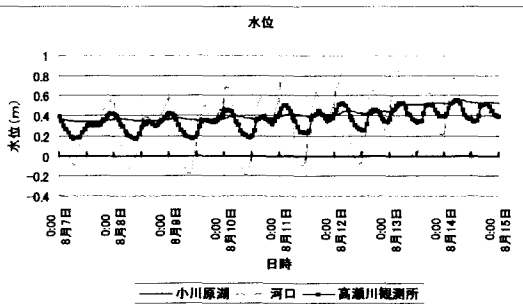


図-3 河口，高瀬川，小川原湖の水位時系列

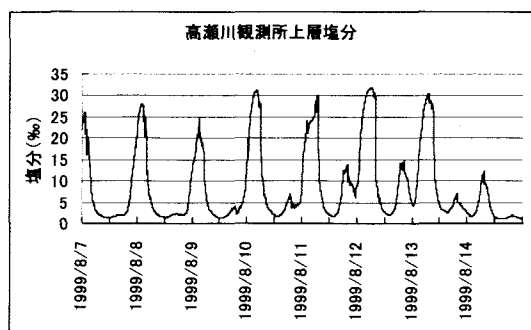
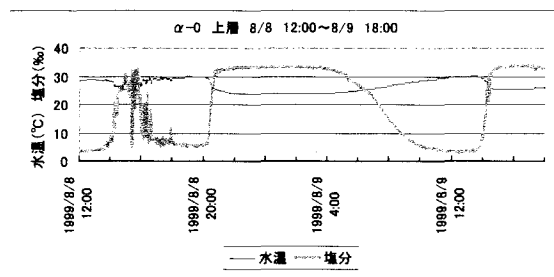
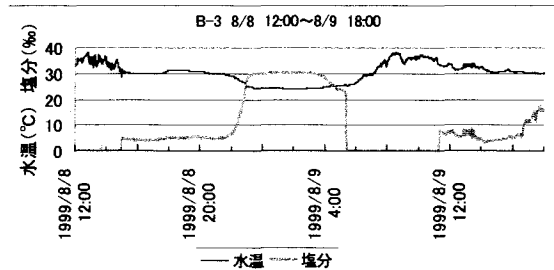


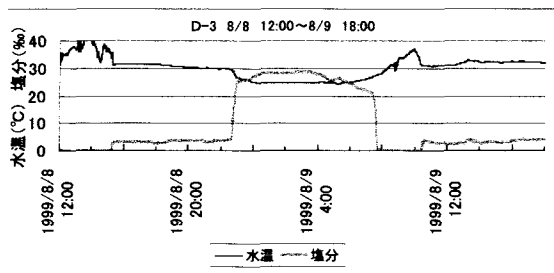
図-4 高瀬川観測所の塩分時系列



(a) α 上層 (下流の滞筋)



(b) B-3 (下流の浅瀬)

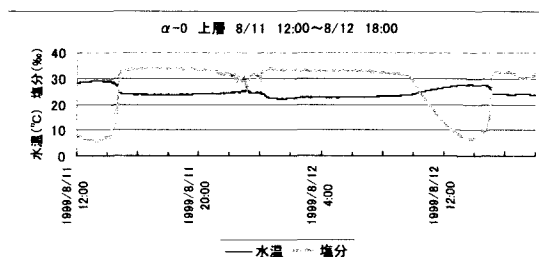


(c) D-3 (上流の浅瀬)

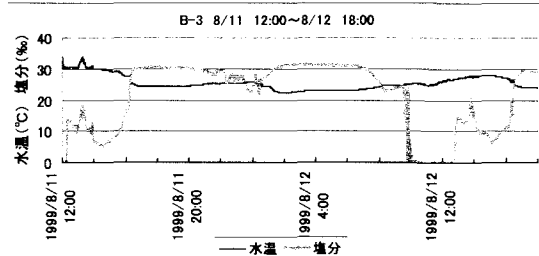
図-5 水温と塩分の測定結果 (8月8日～9日)

(2) 測定結果

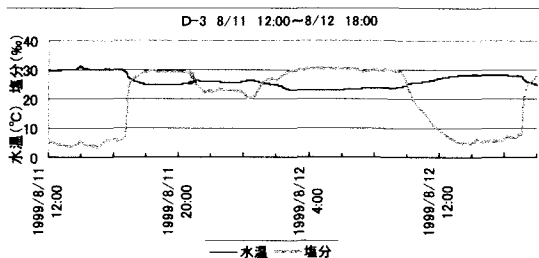
図-5は水温・塩分計による8月8日～9日の α 上層、B-3、D-3の塩分濃度と水温の測定結果である。図-6は水温・塩分計による8月11日～12日の α 上層、B-3、D-3の塩分濃度と水温の測定結果である。これらより多少の時間差は各地点であるが、水温が下がる時塩水が侵入してきており、水温と塩分濃度は相関があることがわかる。図-5より塩水侵入前は浅瀬でも干上がっておらず河川水が存在していることを示す。その後、8月9日5時以降にB-3、D-3で塩分濃度が0%になっているこ



(a) α 上層 (下流の滞筋)



(b) B-3 (下流の浅瀬)



(c) D-3 (上流の浅瀬)

図-6 水温と塩分の測定結果 (8月11日～12日)

とから浅瀬では干上がっていることがわかる。

図-7は図-5の水温・塩分計で測定した α 上層測点の水温と β 、 γ 各上層の水温計の測定値を重ねてプロットしたものである。これより滞筋では α と β 、 γ で時間差はあるが、塩水が侵入するときと流出するときは水温の低下と上昇がみられ、 α の水温と塩分の相関関係を他の滞筋の水温測定点に使用可能である。また、浅瀬の場合においても、例えばB-3の水温・塩分計の水温とA-3の水温計の測定値を重ねてプロットすると図-8のようになり、時間差はあるが、ほぼ一致しているので、B-3の水温と塩分の関係を他のA測線、B測線の塩分変換に利用可能である。同様にD-3測点の水温と塩分の関係をC測線、D測線、E測線に利用可能である。

(3) 水温と塩分濃度の相関

図-9は α 上層、B-3、D-3測点の8月8日逆流

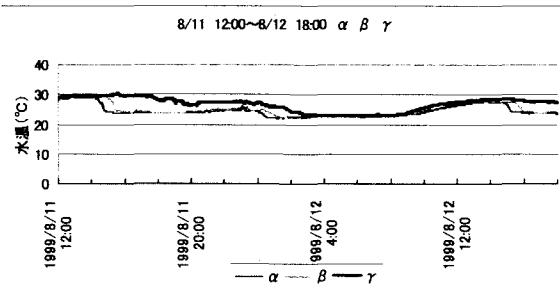


図-7 α 、 β 、 γ の水温時系列 (8月11日～12日)

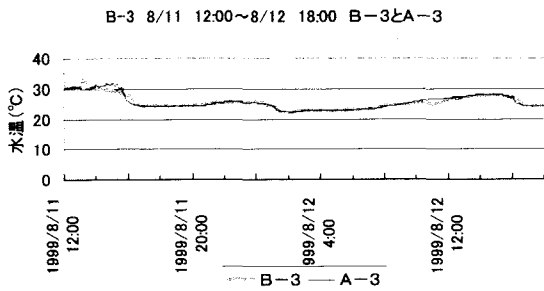
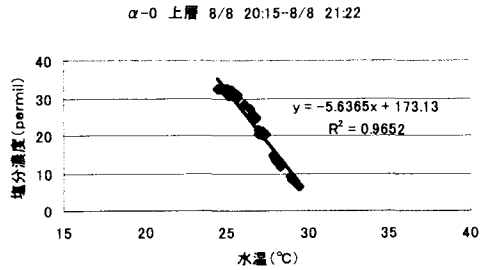
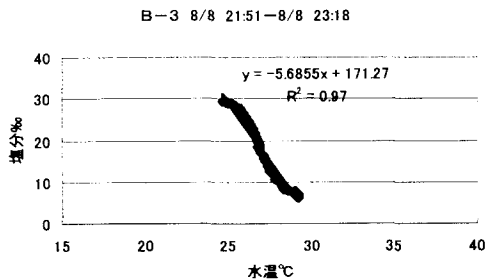


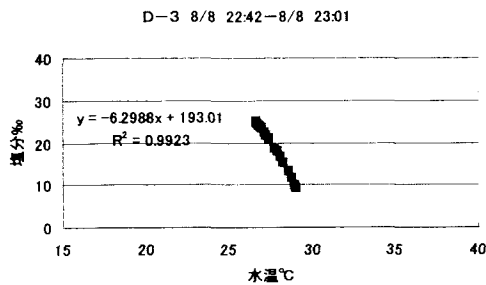
図-8 B-3とA-3の水温時系列(8月11日～12日)



(a) α上層(下流の滞筋)



(b) B-3(下流の浅瀬)



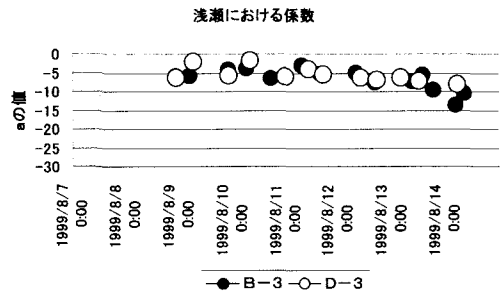
(c) D-3(上流の浅瀬)

図-9 逆流時の相関

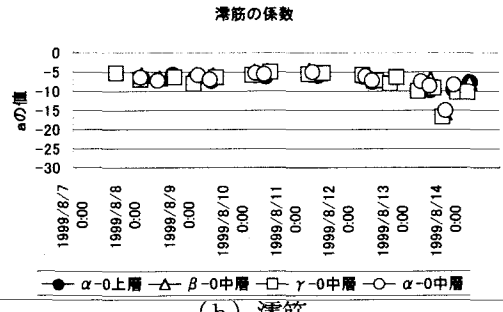
時の水温と塩分の相関である。回帰式を

$$y = a \cdot x + b$$

(y : 塩分濃度(‰), x : 水温(°C), a , b : 係数)の直線回帰とするとそれぞれの測点で係数 a , b は異なる。また、順流時と逆流時でも係数は異なる。そこで、塩水侵入時、流出時毎に毎回係数 a を求め、その時間変化を追ってみた。図-10は侵入時と流出時の係数 a の変化である。滞筋と浅瀬で分けて検討してみた。これより、滞筋では上層、中層に関係せず、時間のずれはあるが、係数 a は同じ時間帯ではほぼ一致していると言える。また、浅瀬でも位置的には上流側(D-3)と下流

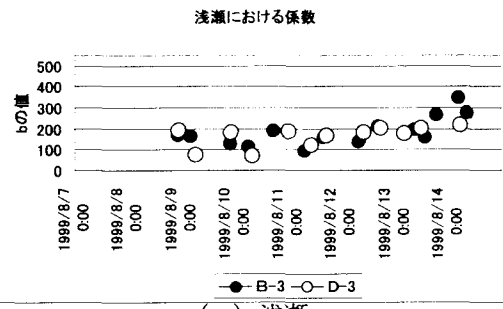


(a) 浅瀬

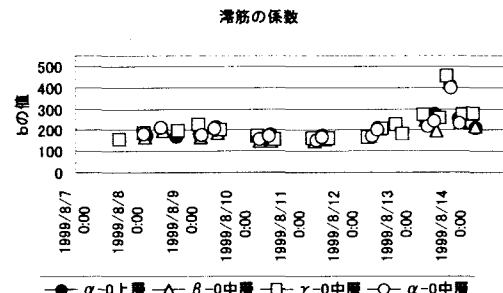


(b) 滞筋

図-10 係数aの変化



(a) 浅瀬



(b) 滞筋

図-11 係数bの変化

側(B-3)で離れてはいるものの係数 a はほぼ近い値を示している。図-11は図-10と同様にしてプロットした係数 b の時間変化であるが、係数 a と同様なことが言える。したがって、滞筋ではα上層の回帰式を他の滞筋上層(β, γ, C-0, D-0, E-0)で利用できる。また、浅瀬では、上流側(D-3)は上流側のフィールド(C, D, E測線)で回帰式を利用できる。下流側(A, B測線)も同様である。(2)で述べたように各測点間で滞筋では時間のずれはあるが、それぞれの回帰式を当てはめる時間を水温の時系列から求め使用すれば水温から塩分

濃度に変換可能である。

滞筋（α上層）の回帰式と浅瀬（B-3，D-3）の回帰式を各塩水侵入時と各塩水流出時の時間帯毎に1つ1つ分けて求め、それらを各測点の水温にフィールド毎、時間帯毎に当てはめて変換した塩分の時系列の1例が図-12であり、E-3，C-0上層の測定された水温と水温から変換した塩分濃度の時系列を示す。

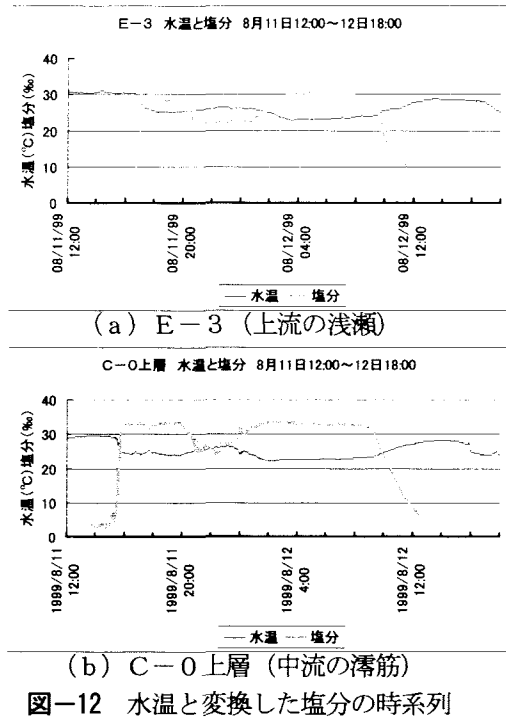


図-12 水温と変換した塩分の時系列

(4) 塩分濃度の変化パターンについて

a) 高高潮のみによる塩水侵入の場合

図-13は(3)で得られた各測点の塩分濃度から求められた8月8日の塩水遡上時における塩分濃度の等値線図の変化である。図の上方側が下流（河口側）で，下方側が上流（小川原湖側）になる。等値線は滞筋を中心に測点のある左岸側のみ記入してある。これより，河口水位の上昇とともに滞筋を中心に塩水が侵入しており，複断面水路部の浅瀬で混合しながら上流に侵入しているのがわかる。この後，複断面河道部全体が塩分濃度25‰以上になる。この塩水侵入は低高潮のときに一度滞筋で濃度変化があるが，浅瀬まで達することなく高低潮により一度河口近くまで海水が引き，再び高高潮に向かって塩水が侵入している。このときの小川原湖の水位は建設省小川原湖総合観測所のデータによれば，T.P.+0.35~0.37mであり平常時に比べ低い。

図-14は図-13で侵入した塩水の流出過程である。河口水位の低下とともに河口側へ塩水は流出していく。図-14(b)，(c)，(d)の白い地域は急激に濃度が下がっているように見えるが，これは干上がっている状態を表している。従って塩水の流出は徐々に塩分濃度が小さくなるのではなくて，混合水がそのまま河口へ流出する。この後，上流，下流の浅瀬は完全に干上がり，

滞筋部にだけ河川水が流れている状況になる。

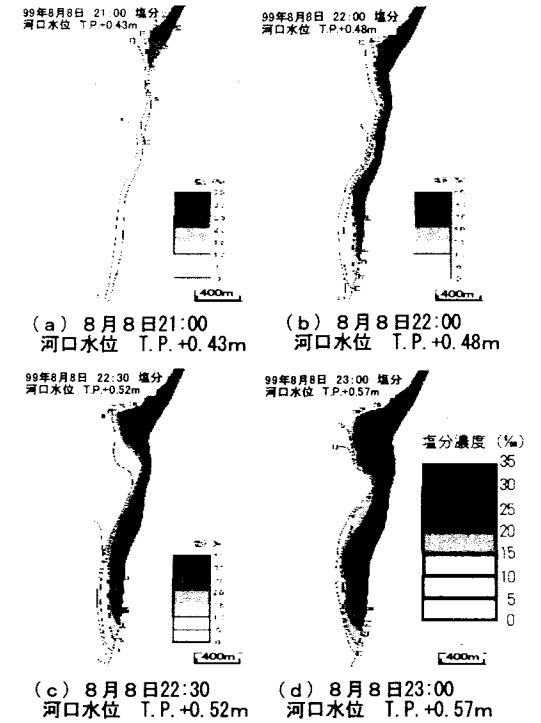


図-13 塩水遡上時の塩分の等値線図（8月8日）

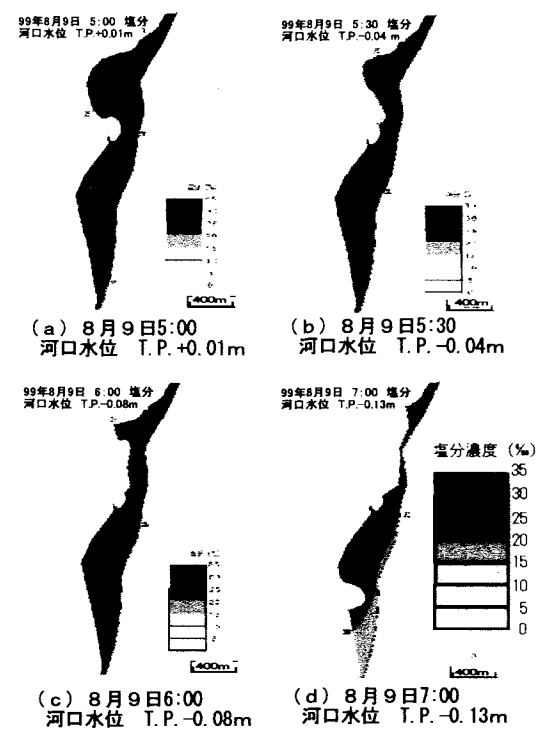


図-14 塩水流出時の塩分の等値線図（8月9日）

b) 低高潮と高高潮による塩水侵入の場合

図-15は8月11日~12日の塩水の遡上過程である。このときの小川原湖の水位はT.P.+0.40~0.43mであり，潮汐は大潮にあたる。滞筋に塩水が侵入し，浅瀬で混合していく状況は8月8日と同じであるが，下流側の浅瀬と上流側の浅瀬での混合に時間差がある。図-13では明確な時間差は無かった。図-15(a)~(d)は低高潮

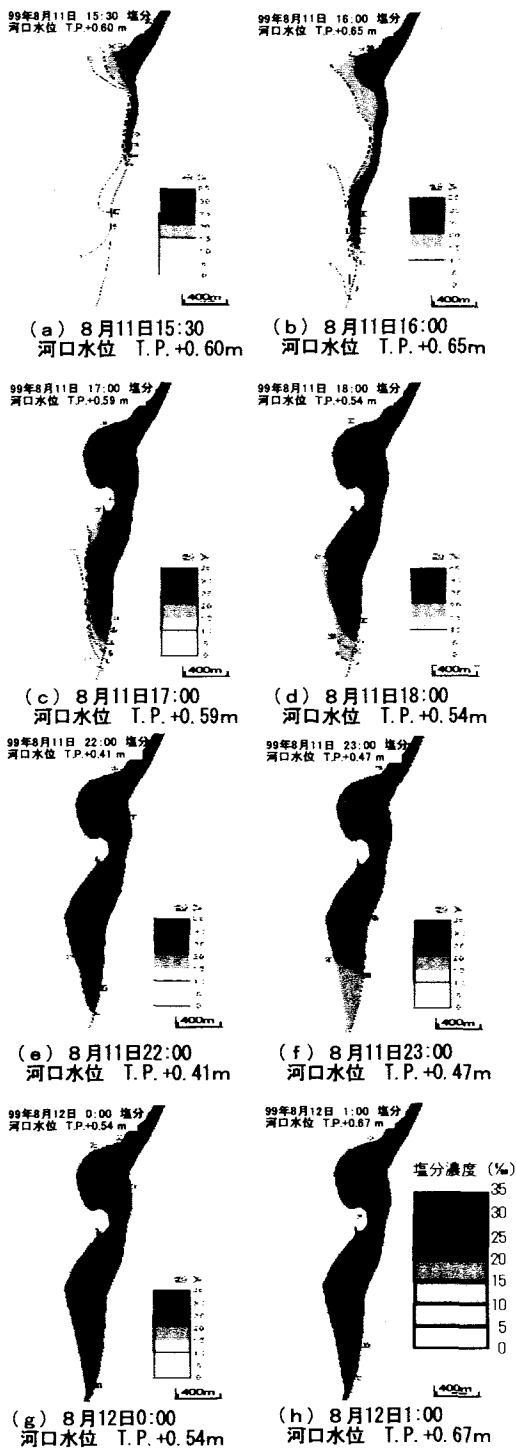


図-15 塩水遡上時の塩分の等値線図 (8月11～12日)

時の塩水侵入であり、8月8日の高高潮時の河口水位よりも8cm程高い。図-15 (e)～(f)は高低潮のため、侵入した塩分が河口に向かって引いているときである。このとき混合水が全て流出するわけではなく、高高潮に向かい再び河口の水位は上昇するので、浅瀬に混合水が残った状態で、2回目の塩水侵入が起こる。これが図-15 (g)～(h)である。この後、浅瀬でもほぼ全域が塩分濃度30‰以上となる。図-4からも、このときの塩水遡上は観測期間の中でも塩分濃度が最も大きく、河口から5.5km上流でも30‰以上に達している。これらより、

図-3の観測期間における小川原湖の水位上昇は降雨によるものではなく、塩水が大量に遡上したためのものであることがわかる。

5. おわりに

塩水と淡水の水温差が大きい夏季の高瀬川では、比較的広範囲の塩水侵入の現地計測においても、塩分濃度と水温の相関の基本となる個所を選定し塩分計を設置すれば、水温計の測定値から塩分濃度に変換しても現象をよく表せることができることがわかった。観測結果から、複断面河道部における水平方向の塩分侵入と塩分流出のパターンを示すことができた。また、潮汐の波形パターンにより塩分侵入パターンも変化することが確認できた。今回の観測結果にある浅瀬での塩水侵入時の混合は、過去の実験結果⁷⁾と比較すると、低水路と高水敷間の水平shearによるものと考えられる。混合後の塩水の流出過程に関する実験は実施していないので、比較することはできない。今後、さらに検討して行きたいと考えている。

謝辞：本研究を行うにあたり、建設省東北地方建設局高瀬川工事事務所からは貴重なデータの御提供と観測に際し御高配を頂いたことに感謝いたします。現地観測とデータ整理では八戸高専学生 八木橋丈夫君と北城正樹君に協力頂いたことに感謝します。また、本研究は文部省科学研究費補助金基盤研究(B) (研究代表者 石川忠晴) による研究の一部であることを付記する。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 石川忠晴・板井雅之・小沢康彦：小川原湖に侵入する塩分の計算モデルの検討，水工学論文集，第35巻，pp. 191-196, 1991.
- 2) 藤原広和・沢本正樹・田中博通：複断面および単断面水路における密度流の混合特性の相違について，水工学論文集，第41巻，pp. 515-520, 1997.
- 3) 西田修三・中辻啓二：緩混合河川における流量と塩分輸送量の算定，水工学論文集，第43巻，pp. 869-870, 1999.
- 4) 長尾正之・石川忠晴・長島伸介：小川原湖に発生する傾斜ブルームの現地観測と連行係数の推算，土木学会論文集No. 579/II-41，pp. 105-114, 1997.
- 5) 鶴田泰士・石川忠晴：小川原湖における風速分布の現地観測，水工学論文集，第43巻，pp. 1043-1048, 1999.
- 6) 藤原広和・田中博通：高瀬川感潮域の現地観測による水理特性について，水工学論文集，第37巻，pp. 171-176, 1993.
- 7) 藤原広和・沢本正樹・神山尚人：複断面水路における河口密度流の混合特性，海岸工学論文集，第42巻，pp. 416-420, 1995.

(1999. 9. 30受付)