

高瀬川感潮域の現地観測による水理特性について

Hydraulic Characteristic by Field Study of Tidal Compartment of Takase River

藤原広和*・田中博通**

By Hirokazu FUJIWARA and Hiromichi TANAKA

The flow mechanisms of the tidal rivers are very complicated and these are different from general rivers. The Takase River is important in the southeast of Aomori Prefecture and its estuary is a typical tidal river. We had measured the velocity and the chlorideion distributions of this river for the past three years. Furthermore, we measured the velocities, the chlorideion concentrations and water temperature at frequencies of 0.5Hz in September, 1992, and calculated the power spectrum using the these values.

Keywords: field study, tidal river, velocity distribution, chlorideion concentration

1. はじめに

河口部における流れは、河川流と潮汐、波と海浜流、河口部地形、河川水の淡水と海水間の密度差等により支配され、複雑な流動形態が出現し、その河口の特徴によってさまざまな様子がみられる。そこで著者らは、感潮河川である高瀬川において水理特性を明らかにするため、流速および塩素イオン濃度に着目し、現地観測を行い^{1) 2) 3)}、これらの水理量の横断面構造、経時変化の特性について考察したのでここに報告する。

高瀬川は青森県の東南部に位置し、西は八甲田山系、東は太平洋に面し、河口付近に汽水湖である小川原湖（湖面積 65.58km^2 、湖容量 $721 \times 10^6\text{m}^3$ 、平均水深 11m ）を擁する上北、三沢地方において重要河川である。流域面積は 866.9km^2 、流路延長約 63.7km である⁴⁾。近年、むつ小川原開発計画の進捗により、利水上からも特に重要性を増してきている。図-1は観測地点の概要図である。河口から約 6km 上流に小川原湖が位置し、この区間では顕著な感潮河川の様相を呈している。このため河口部では海水の遡上により小川原湖の塩分量は時間的季節的に変化している。

* 正会員 八戸工業高等専門学校助手
(〒039-11 青森県八戸市田面木上野平16-1)

** 正会員 工博 八戸工業高等専門学校助教授
(〒039-11 青森県八戸市田面木上野平16-1)

2. 観測の概要

観測は、河口から約5Km上流にある国道338号線の高瀬橋上で行った。図-2は、観測地点の高瀬橋である。観測地点の河床横断面形状は、1989年12月25日、1990年7月26日、1991年9月7日、1992年9月26日に2m毎に深浅測量をして求めているが、ほとんど変化はなかった。この地点の河川幅は約80mであり、横断面の最深部は、右岸水際より約20mの位置にある。これはこの付近で流路が大きく曲がっていることによる。流速はプロペラ流向流速計（CM-2型）、塩素イオン濃度及び水温はポータブル電導度計（東亜社CM-11P）を用いて測定した。また、連続観測におけるデータの収録にはデジタルレコーダ（TEAC社DR-F1）を用い、フロッピーディスクに記録した。測定日時及び測定方法を表-1に示す。また、建設省の河口、高瀬川、高瀬橋各観測所で観測された測定時の水位変化を図-3～図-7に示す。測定①～⑥は、高瀬橋上に設置した7断面（右岸から12, 18, 30, 40, 50, 60, 66m）において、12～50mまでは3点法、60, 66mは2点法によって、流速、流向、塩素イオン濃度を同時に測定した。この全断面における測定には1時間～2時間を要してしるので、右岸から40mの位置での測定時刻を中心として流速、塩素イオン濃度を補正した。測定①は逆流であり逆流速値がピークに向かう時で、測定②は逆流であるが順流へ転じる手前あたりである。また、測定③は、順流であり、逆流へ転じる付近で、測定④は順流で流速のピーク付近である。測定⑤は逆流で、順流に転じようとする時

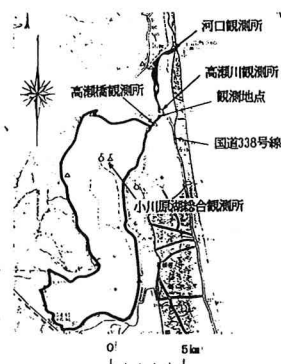


図-1 観測地点

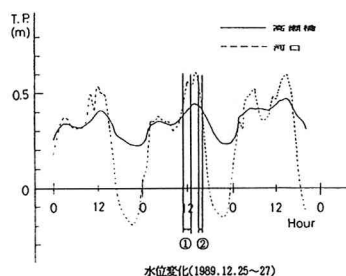


図-2 高瀬橋

表-1 観測日時及び測定方法

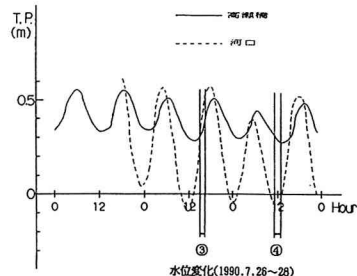
測定①	1989年12月26日11:15～13:12	全7断面で流速、流向、Cl ⁻ 濃度を測定（2点法or3点法）	逆流
測定②	1989年12月26日14:58～16:00	全7断面で流速、流向、Cl ⁻ 濃度を測定（2点法or3点法）	逆流
測定③	1990年7月27日15:00～16:20	全7断面で流速、流向、Cl ⁻ 濃度を測定（2点法or3点法）	順流
測定④	1990年7月28日11:15～13:00	全7断面で流速、流向、Cl ⁻ 濃度を測定（2点法or3点法）	順流
測定⑤	1991年9月8日3:10～4:35	全7断面で流速、流向、Cl ⁻ 濃度を測定（2点法or3点法）	逆流
測定⑥	1991年9月8日9:08～10:07	全7断面で流速、流向、Cl ⁻ 濃度を測定（2点法or3点法）	順流
測定⑦	1991年9月8日0:00～14:00	右岸から18m地点で1時間間隔で流向、流速、Cl ⁻ 濃度を測定（4点法）	
測定⑧	1991年11月9日13:45～17:45	右岸から18m地点で30分～1時間間隔で流向、流速、Cl ⁻ 濃度を測定（4点法）	
測定⑨	1992年9月26日9:50～21:56	右岸から18, 19m, 40, 41m地点で流速、Cl ⁻ 濃度、水温を測定（6割水深、0.5Hz）	

で、測定⑥は順流のピーク時である。測定⑦、⑧では河川横断面形状の最深部付近の右岸から18mの測線上において4点法により1時間あるいは30分間隔で流速、流向、塩素イオン濃度を測定した。測定⑦は逆流から順流を経て再び逆流になるまでのほぼ1周期分にあたり、測定⑧は逆流で、水位がピークになる時間を中心とした測定である。測定⑨では右岸から18m、40mの測線上水面から6割水深の位置で流速、右岸から19m、41mの測線上水面から6割水深の位置で、塩素イオン濃度及び水温を連続測定した。この時のサンプル周波数は0.5Hzである。これら測定①～⑨によって得られた流速は、全て高瀬橋に垂直な成分に変換してある。



水位変化(1989.12.25～27)

図-3 水位変化(測定①、②)



水位変化(1990.7.26～28)

図-4 水位変化(測定③、④)

3. 観測結果及び考察

3・1 流速分布

(a) 流速の横断面分布

図-8は、それぞれ測定①、②、③、④、⑤、⑥から得られた流速の等値線図である。これらから、各測定により流心が移動し、かなり複雑な分布をしているが、測定①、測定④では右岸から20mと40m付近に流心がある

る。流向は逆流と順流で逆向きであるが、それぞれ流速のピーク付近である。この流路では流速値がピークの時、このような流況になるものと考えられる。また、測定②、測定③では、流速値の絶対値は、測定①、④に比べかなり小さい場合の流れである。このように流況が変化するのは順流・逆流及び流速値の絶対値によって二次流の構造が変化していることによるものと考えられる。

(b) 鉛直平均流速の横断面分布

図-9は7測線を中心として分割した測定断面の平均流速 u_s を断面平均流速 u_m で無次元化した値の分布である。順流時(測定③、④、⑤)は $X=18m$ と $40m$ にピークを持った分布となった。このことは流速の等値線図(図-8)にも現れており、横断方向に $X=30m$ を境とした2次流があることがわかる。逆流時は $X=18m$ (測定①、②)と $X=30m$ (測定⑤)にピークを持った分布となった。逆流時でも流速が大きい測定①は順流にほぼ相似な分布形状になっているが、逆流から順流に向かい流速が減少していく時にあたる分布形状はかなり変化している。

(c) 流速の鉛直分布特性

図-10は測定⑦における右岸から18m測線上の鉛直方向の流速分布の経時変化である。これより、4:10と8:00の分布の様に下層の流速が大きくなる傾向はあるが、上層部の流速値と大差はなく、逆流と順流が同時に存在する様な現象は生じていない。

3・2 塩素イオン濃度分布

(a) 塩素イオン濃度の横断面分布

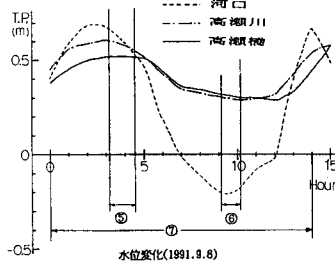


図-5 水位変化(測定⑤、⑥、⑦)

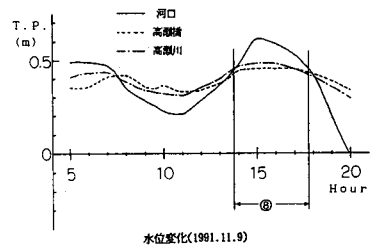


図-6 水位変化(測定⑧)

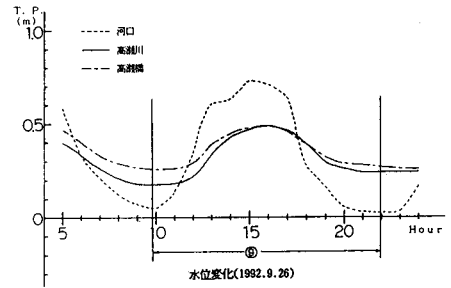


図-7 水位変化(測定⑨)

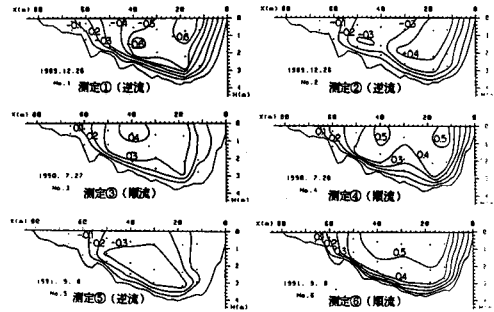


図-8 流速の等値線図

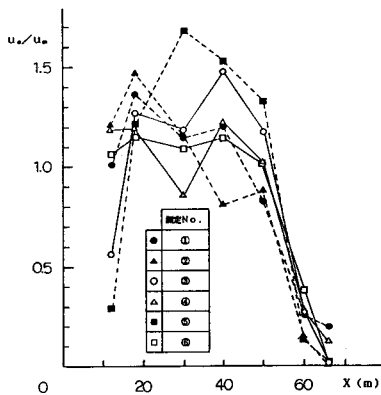
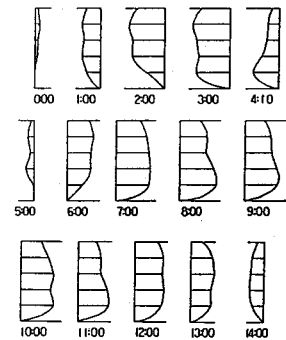


図-9 u_s/u_m の分布



流速分布の変化(1991年9月8日)

図-10 流速分布の変化

図-11は、測定①、②、④における Cl^- 濃度の等値線図である。測定①は逆流速のピーク付近であり、右岸から40m地点の下方に海水がもぐり込む。この時の断面の平均 Cl^- 濃度は、5800ppmであった。測定②は逆流から順流へ転じる時であり Cl^- 濃度変化のピーク値に近く、混合が著しい。この時の断面の平均濃度は、14500ppmである。測定③は順流速ピーク時の分布であり、670~690ppmのほぼ一様な分布であった。

(b) 鉛直平均塩素イオン濃度の横断分布

図-12は7測線を中心として分割した測定断面の平均 Cl^- 濃度 C_m を断面平均 Cl^- 濃度 Cl_m で無次元化した値の分布である。順流時は横断方向にほぼ1.0で一定であるが、若干左岸側の低流速部が大きくなる傾向がある。逆流時の分布は逆流速の大きさと逆流の周期の時点で変化している。測定①は逆流速が大きく、しかも逆流速のピークに向かう時点であり、断面中央付近で最大となる分布となっている。測定②は逆流速が大きく、逆流から順流に向かう時点であり、断面一様な分布となっている。測定⑤は逆流速が小さいことから低流速域の濃度が小さくなっている。

(c) 塩素イオン濃度の鉛直分布特性

図-13、図-14は、測定⑦、⑧における鉛直方向の Cl^- 濃度分布の経時変化である。図-13により濃度上昇時にはほぼ鉛直に近い分布状態であり、順流になり濃度が下降し始める時には上層の濃度が急激に減少し2層を成す。図-14ではほぼ鉛直に近い分布状態で濃度が上昇している様子が分かる。同一河口部においても塩分の分布は非定常的であるが、河口から約5kmの位置における混合形態は

強混合型であった。

3.3 断面平均流速と断面平均塩素イオン濃度の評価

河川観測所における測定は横断面の一点における値を連続記録している場合が多い。そこで、 $X=30$

mの6割水深の流速(u)と Cl^-

濃度(Cl^-)から断面平均流速(u_m)と断面平均 Cl^- 濃度(Cl_m)及びその単位時間単位面積当たりの輸送量($Cl^- \cdot u_m$)を測定結果を使って評価する事は大切である。

図-15は u_m と u との関係である。ここで、 $u_m = a \cdot u$ とすると順流時、逆流時それぞれ $a = 1.00, 0.67$ となった。佐々木等⁵⁾は高瀬川の観測結果から順流時、逆流時それぞれ $a = 0.87, 0.65$ という結果を得ている。順流時の対応は良いが、逆流時においては前述したように横断面の流速分布が変化するため必ずしも u の値が断面全体を代表するものとはいえない。

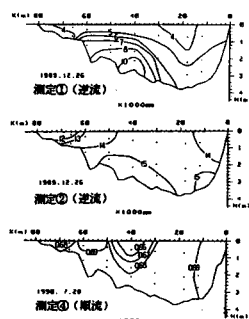


図-11 塩素イオン濃度の等値線図

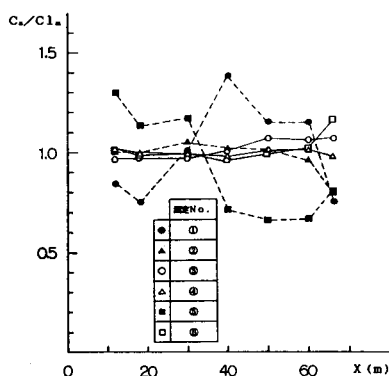


図-12 C_m/Cl_m の分布

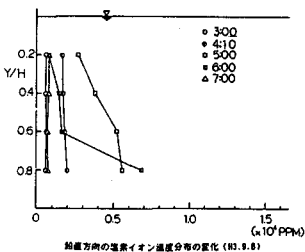


図-13 塩素イオン濃度分布の変化(測定⑦)

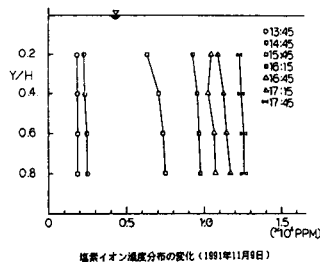


図-14 塩素イオン濃度分布の変化(測定⑧)

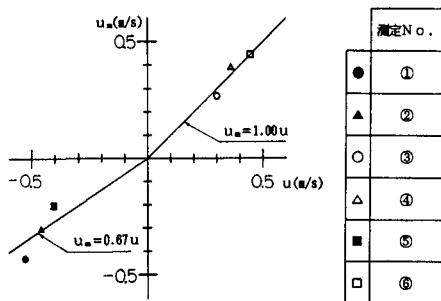


図-15 u_m と u の関係

図-16は逆流時における Cl^-_m と Cl^- との関係である。ここで、 $Cl^-_m = b \cdot Cl^-$ とすると順流時、逆流時それぞれ $b = 1.01$ 、 0.95 となった。順流時の Cl^- 濃度は700ppm前後と小さいため図-16には示していないが、かなり広い濃度範囲での対応は良いものと考えられる。

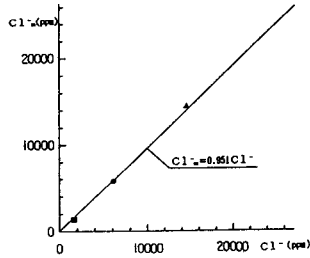


図-16 Cl^-_m と Cl^- の関係

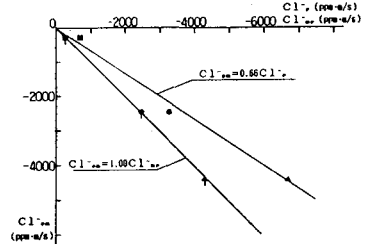


図-17 Cl^-_{pm} と Cl^-_p 、 Cl^-_{mp} の関係

図-17は逆流時における Cl^-_{pm} と $X=30m$ の6割水深での単位時間単位面積当りの Cl^- の輸送量 Cl^-_p との関係である。ここで、 $Cl^-_{pm} = c \cdot Cl^-_p$ とくと順流時、逆流時それぞれ $c = 1.00$ 、 0.66 となった。また、図-17に逆流時における u_m と Cl^-_m との積から得られる単位時間単位面積当たりの輸送量 Cl^-_{mp} と測定メッシュから求めた単位時間単位面積当たりの輸送量 Cl^-_{pm} との関係を併記した。ここで、 $Cl^-_{pm} = d \cdot Cl^-_{mp}$ とくと順流時、逆流時それぞれ $d = 1.00$ 、 1.00 となった。

以上より、感潮河川の一点における流速と Cl^- 濃度の測定値より塩分の輸送量が求まり、ある程度の予測も可能となる。

3・4 流速、塩素イオン濃度及び水温の時経列

(a) 経時変化

図-18は、測定⑨における流速、 Cl^- 濃度及び水温の時経列である。No.1は右岸より18,19m地点で、No.2が40,41m地点である。流速変化をみると、約12時間1周期分の測定であり、順流から逆流への境界は13:00頃で、逆流から順流への境界は18:00頃であった。 Cl^- 濃度のピーク値はNo.1、No.2とも11000ppm程度であるが、No.1の方がやや大きく、逆流が順流へと転じる時点である。その後、順流になる為、急激に Cl^- 濃度は減少するが、No.1の方が減少勾配は大きい。水温変化は、海水の遡上に関連は無く気温に係り、大きな変動はない。

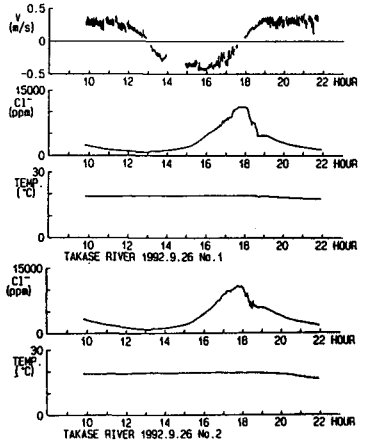


図-18 流速、塩素イオン濃度、水温の変化(測定⑨)

表-2 計算ケース

CASE	DATA領域
1	18:43:25~19:51:39
2	9:55:57~10:30:03
3	11:19:25~11:36:27
4	11:54:45~12:28:51
5	14:56:05~15:30:11
6	15:34:25~16:08:31
7	16:25:45~16:42:47
8	16:57:25~17:14:27
9	20:04:05~20:38:11

(b) スペクトル分布

これらの水理量の時系列にどのような周期成分が含まれているか明らかにするためにスペクトルをFFT法により計算した。計算ケースを表-2に示す。図-19、図-20は測定⑨におけるNo.1の流速及びNo.1とNo.2の Cl^- 濃度のスペクトルであり、CASE 2(順流ピーク時)、CASE 4(順流から逆流へ向かう時)、CASE 6(逆流ピーク時)、CASE 8(逆流から順流へ向かう時)の場合である。図-19から、CASE 8において0.008Hz、0.023Hz付近にピークがみられる。図-20より、スペクトルのレベルは図-19と同様にCASE 8の場合が他と比較して大である。これは図-7の水位変化を見ればCASE 8は順流・逆流の遷移領域にあり、CASE 2の場合、水位差が大で順流速最大時にあたるからであると考えられる。また、No.1、No.2を比較すれば、CASE 2では高周波、低周波領域では同レベルであるが中周波領域でNo.2が大となる。CASE 4では高周波で同レベル、低周波でNo.2が大、中周波でNo.1が大である。CASE 6では高周波

で同レベル、低周波、中周波でNo.2が大である。
CASE 8ではほぼ全周波数領域でNo.1が大である。

4. おわりに

本研究により得られた結論は次の通りである。

(1) 流速分布は2次流の影響を受け、順流時は
 $X=18\text{m}$ と $X=40\text{m}$ 付近に、逆流時は $X=18\text{m}$ と $X=30\text{m}$ 付近
に流速ピークを持つ。

(2) Cl^- 濃度分布は逆流ピークに断面中央付
近で最大になるが海水遡上は強混合である。また、
逆流から順流に転じる時は上層の濃度が急激に減
少し、2層構造となる。

(3) 一点における流速と Cl^- 濃度から塩分の
輸送量を予測できる。

(4) Cl^- 濃度の変化は濃度上昇時より下降時
が急激であり、右岸側が下降勾配が大きい。また、
流速のスペクトルは逆流・順流の遷移領域では低
周波域でレベルが高く、 Cl^- 塩素イオン濃度の
スペクトルは流れにより右岸側と断面中央付近で
若干レベルが異なる。

今後、流れの構造を把握するため、測定方法を
検討し二次流のスケールを検出したい。

最後に本研究を行うにあたり、観測等で助言、
ご協力いただいた東北大学工学部澤本正樹教授、
石川忠晴助教授、八戸工業大学佐々木幹夫助教授、
西田修三助教授に謝意を表します。また、資料等
を提供して下さった東北地方建設局高瀬川総合開
発工事事務所の方々、調査にご協力いただいた本
校金子伸一郎助手、本校学生諸氏に感謝致します。

<参考文献>

- 1) 藤原広和、田中博通：高瀬川の現地観測、第46回
年次学術講演会概要Ⅱ、pp.488～489、1991
- 2) 藤原広和、田中博通：高瀬川の流速分布及び塩素
イオン濃度分布の現地観測結果、八戸高専紀要26号、pp.54～60、1991
- 3) 藤原広和、田中博通：高瀬川の水量に関する連続観測、第47回年次学術講演会概要Ⅱ、pp.442～443、1992
- 4) 高瀬川事業概要：東北地方建設局高瀬川総合開発工事事務所
- 5) 佐々木幹夫、葛西金助、藤坂安雄、難波嘉幸、堺茂樹：感潮狭水道における物質移動に関する研究、海岸工学論
文集第38巻、pp.201～205、1991

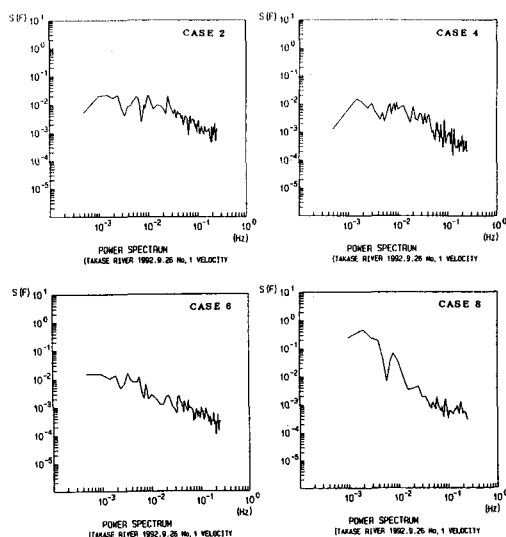


図-19 流速のスペクトル (CASE2,4,6,8)

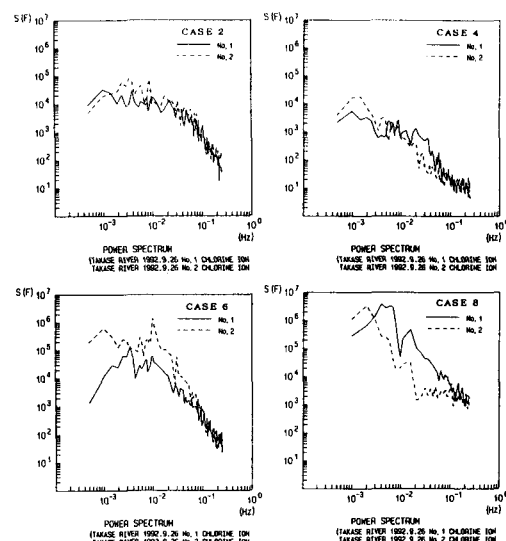


図-20 塩素イオン濃度のスペクトル (CASE2,4,6,8)