

長良川河口堰調査

中間報告書

(第3卷)

平成7年1月

建設省中部地方建設局
水資源開発公団中部支社



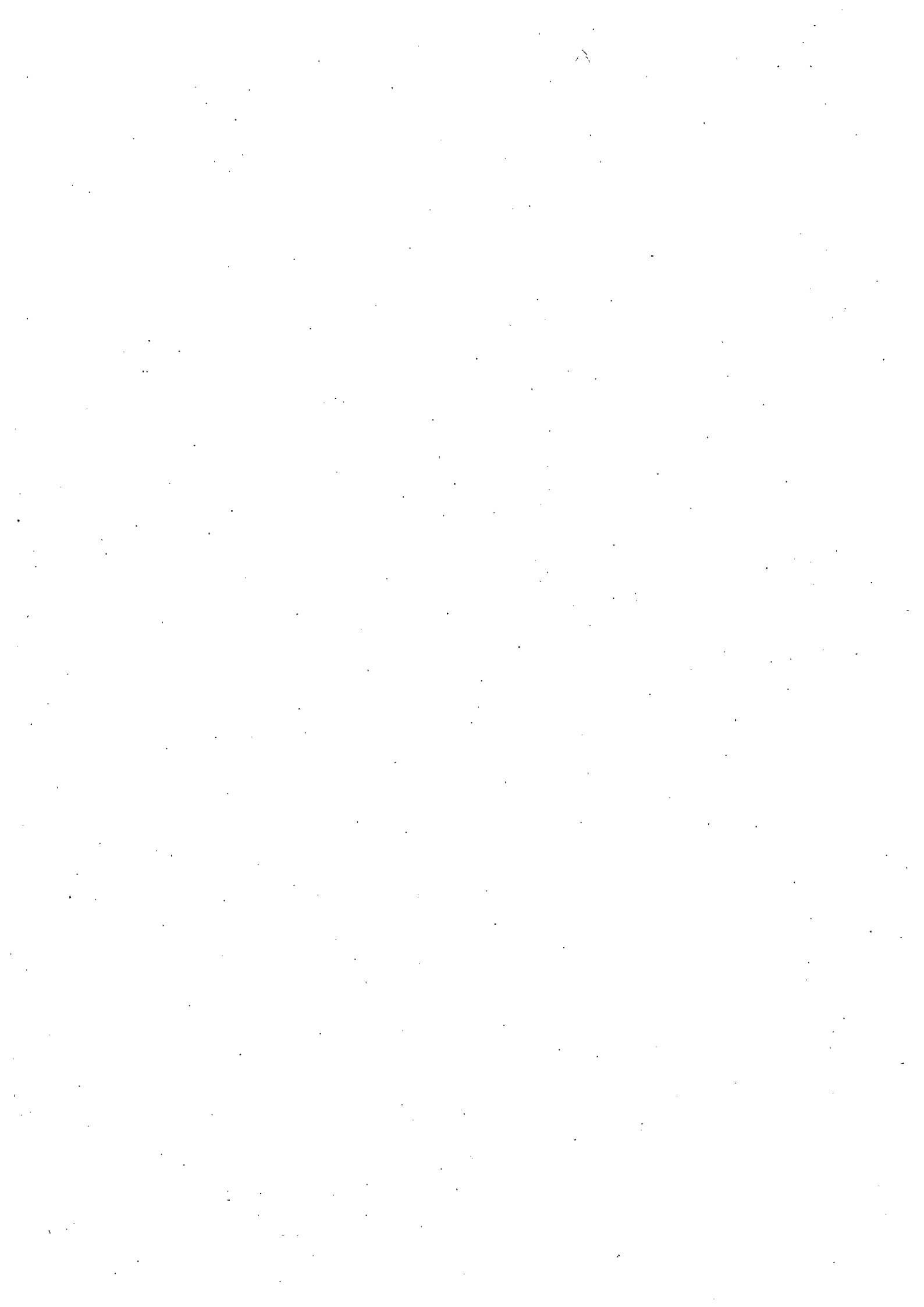
第 7 章

塩 分 の 状 況



目 次

7	塩分の状況	
7-1	塩水遡上防止効果の確認	7-1
7-1-1	全ゲート操作時における塩水侵入防止効果と塩水排除方法の確認	7-1
A)	水質詳細調査	7-1
B)	定点観測	7-9
7-1-2	調節ゲートによる塩水遡上防止効果確認	7-13
A)	アンダーフロー操作時の調査	7-13
B)	オーバーフロー操作時の調査	7-18
7-1-3	ロック式魚道操作による塩水排除方法の確認	7-23
7-1-4	閘門操作による塩水排除方法の確認	7-28
7-2	長良川、揖斐川の塩水遡上の現況の把握	7-31
7-2-1	塩水遡上調査	7-31
A)	長良川	7-31
B)	揖斐川	7-39
7-2-2	全ゲート操作時における塩分調査	7-42
A)	長良川河口堰下流の塩分調査	7-42
B)	揖斐川の塩分調査	7-48
7-3	地下水の塩分濃度変化の確認	7-59
7-3-1	河岸近傍の表層及び浅層地下水の塩分濃度調査	7-60
7-3-2	既設井戸による浅層地下水の塩分濃度調査	7-70
7-3-3	深層地下水の塩分濃度調査	7-76
7-3-4	まとめ	7-78
7-4	まとめ及び今後の課題	7-79
7-4-1	まとめ	7-79
7-4-2	今後の課題	7-80



7 塩分の状況

調査目的

長良川河口堰による塩分遡上防止効果を確認するとともに、ゲート操作に伴う堰上流域での地下水の塩分濃度の変化について調査する。

なお、全ゲート操作期間以外の期間においては、長良川河口堰運用前の現況における長良川、揖斐川の塩水遡上及び、堤内地の地下水の塩分濃度について調査する。

7-1 塩水遡上防止効果の確認

各ゲート操作による堰上流への塩分侵入防止、塩水排除方法についての確認を行った。

7-1-1 全ゲート操作時における塩水侵入防止効果と塩水排除方法の確認

全ゲート操作時に堰上下流において塩化物イオン濃度（電気伝導度からの換算）を測定し、堰上流域の塩水侵入防止効果と塩水排除方法の確認を行う。

A) 水質詳細調査

a) 調査地点

調査の地点は、図-7-1-1に示す0.8km～39.2kmまでの定点13測線と深掘箇所13測線の26測線において実施（水質詳細調査として実施）した。

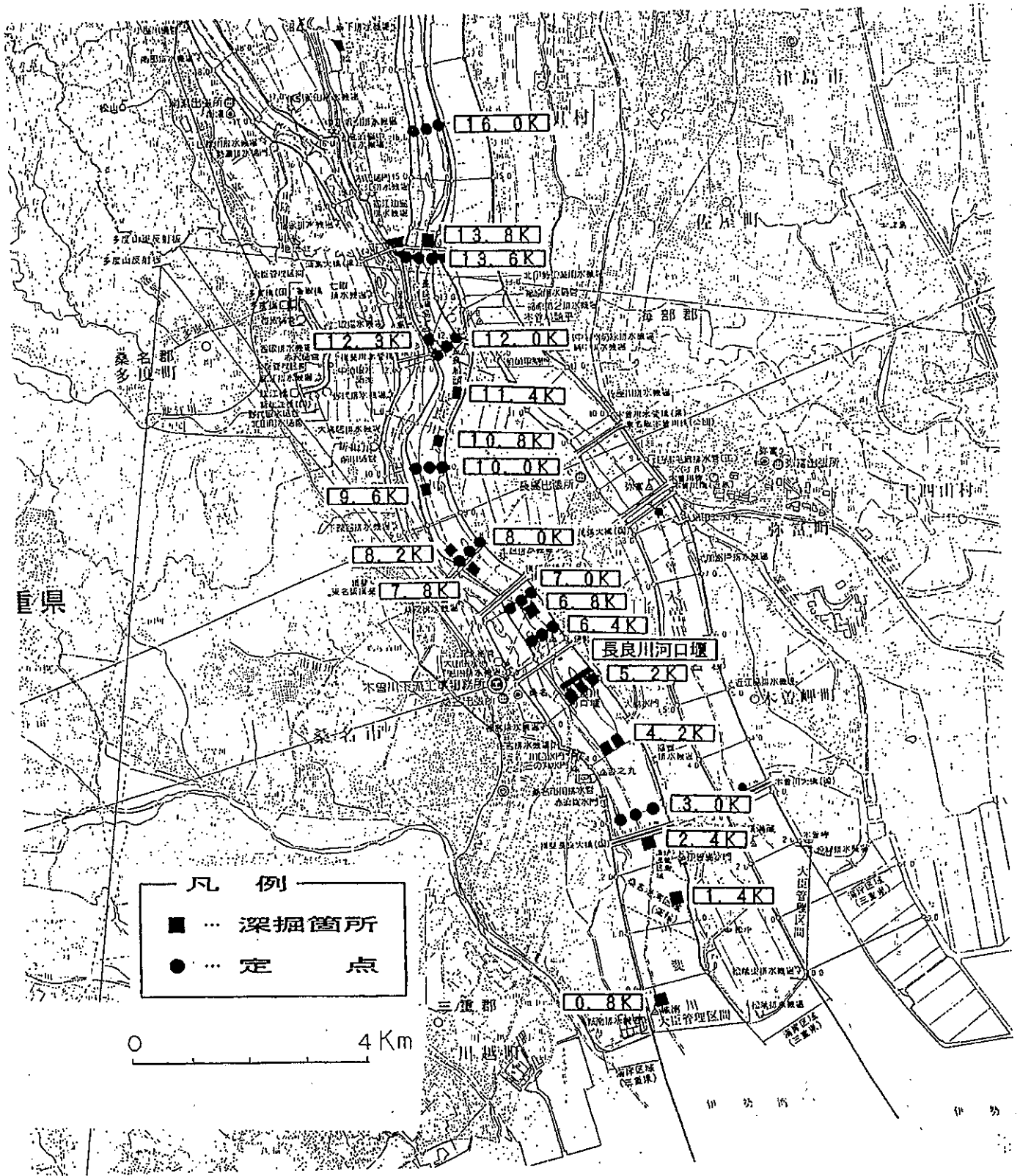


図-7-1-1-(1) 水質詳細調査位置図

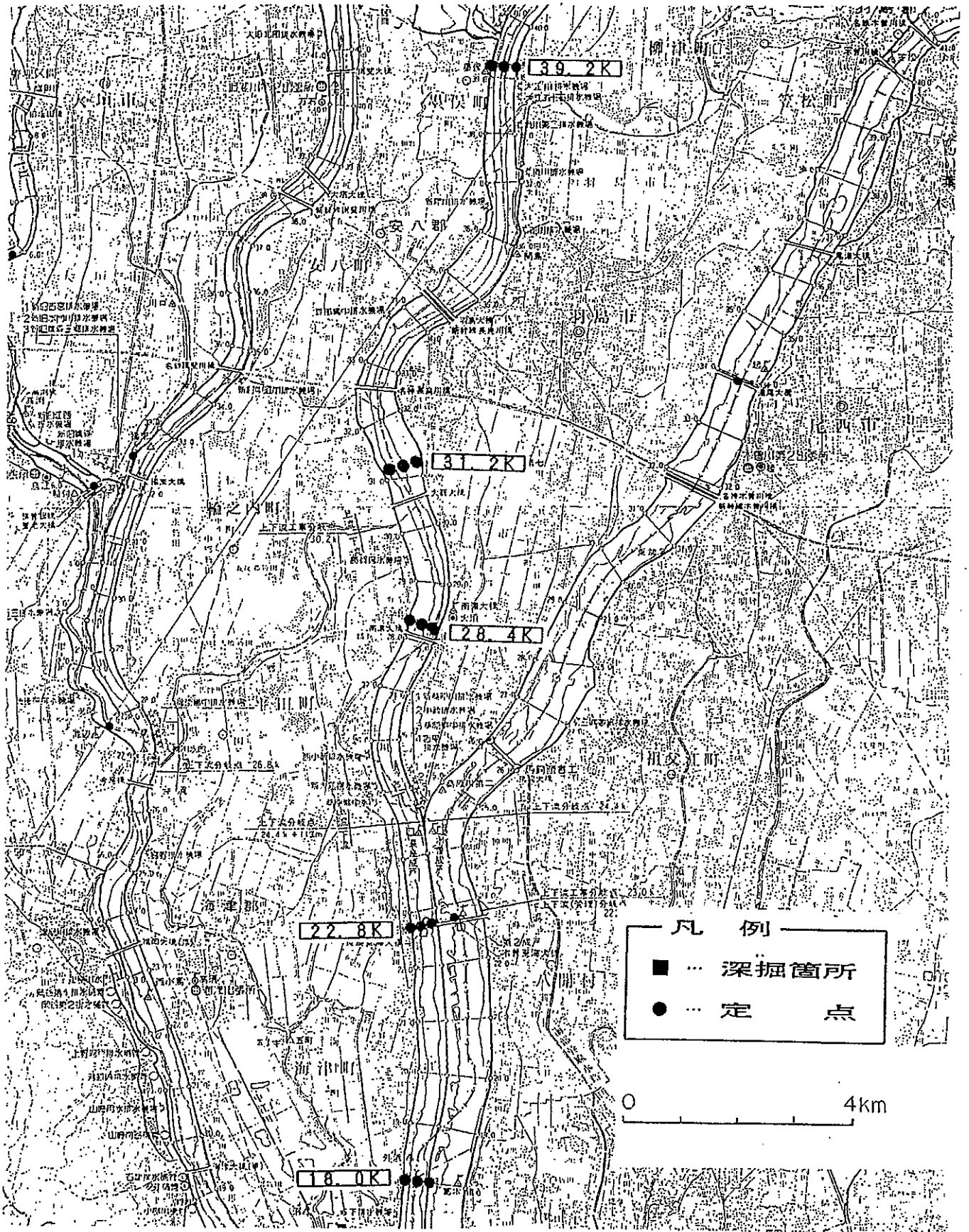


图-7-1-1-(2) 水质详细调查位置图

b) 調査の方法

船上よりセンサーを所定の深さまで降下させ測定した。

c) 調査日

平成6年9月18日～10月24日

d) 調査結果

全ゲート操作（閉鎖）期間中の9月18日～10月24日の間に堰上下流の塩化物イオン濃度を測定し河口堰によって塩水の侵入防止が確実にされているかを調査した。

定点では、流心、左右岸の3箇所を測定しており、深掘れ箇所では、それぞれの地点で測定している。今回はこの測定結果のうち流心で実施したものを使用した。

結果は図-7-1-2のとおり出水に伴う全ゲート操作直後（図-7-1-2-(1)）を除いては、いずれも堰下流の濃度は 10,000 mg/ℓ を越す高濃度となっているが、堰の上流部では、局所的な深掘れ箇所（例えば図-7-1-2-(3)の7Km 河床付近）を除けば、概ね 100mg/ℓ 程度以下で12Kmより上流では20mg/ℓ 以下となり、河口堰によって確実に塩水遡上防止が行われていることを確認した。

しかし、全ゲート操作後堰直上流での塩化物イオン濃度が一時的に 100mg/ℓ（図-7-1-2-(3)、(4)）を上回ることがあるが、これは、開門ゲート操作により閘室を通過して堰上流へ塩水が侵入するためと推定され、調節ゲートの放流による効果でその広がりや抑制されたものと判断される。

なお、開門ゲートからの塩分の侵入は、今後設置する除塩ポンプ（図-7-1-3）が稼働すれば開門ゲート操作と除塩ポンプの運転を適切に組み合わせることによって解消されるものと考えられる。

また、参考としてゲート操作期間以外の測定結果は図-7-1-2-(7)のように、2,000 mg/ℓ の濃い塩分が13Km付近まで遡上している。

墨俣地点流量（日平均）：900m³/s 単位：mg/ℓ

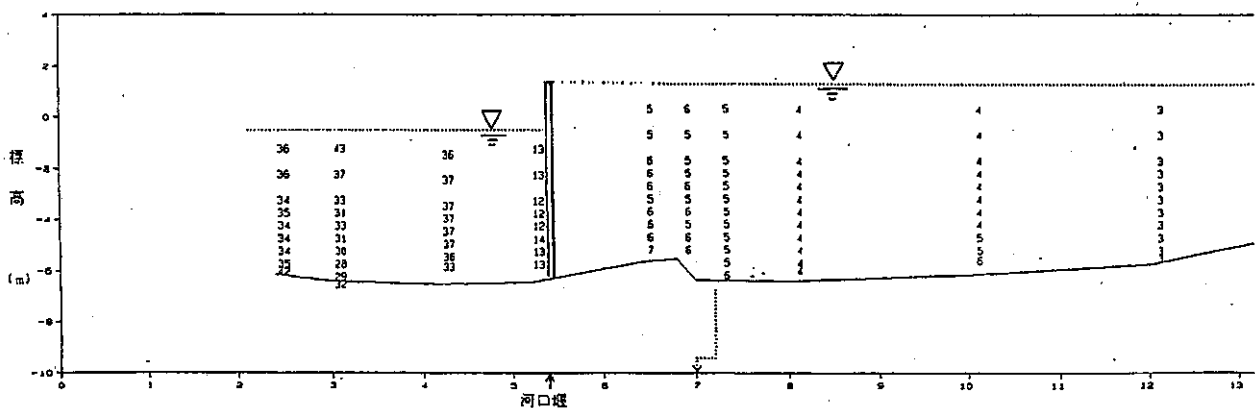


図-7-1-2-(1) 水質詳細調査 塩化物イオン濃度河川縦断面図（9月18日24時 干潮）

墨俣地点流量（日平均）：170m³/s 単位：mg/ℓ

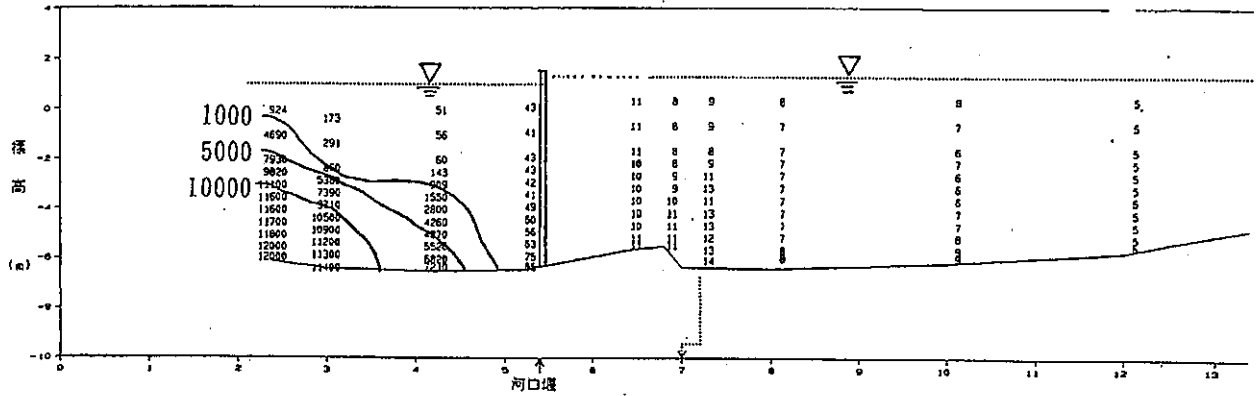


図-7-1-2-(2) 水質詳細調査 塩化物イオン濃度河川縦断面図（9月20日7時 満潮）

墨俣地点流量（日平均）：90m³/s 単位：mg/ℓ

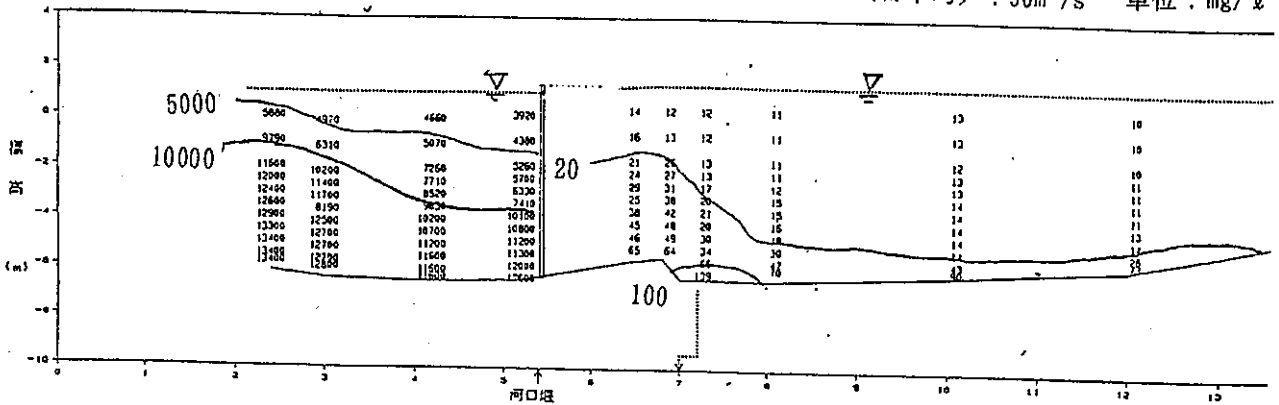


図-7-1-2-(3) 水質詳細調査 塩化物イオン濃度河川縦断面図（9月22日8時 満潮）

墨侯地点流量（日平均）：130m³/s 単位：mg/ℓ

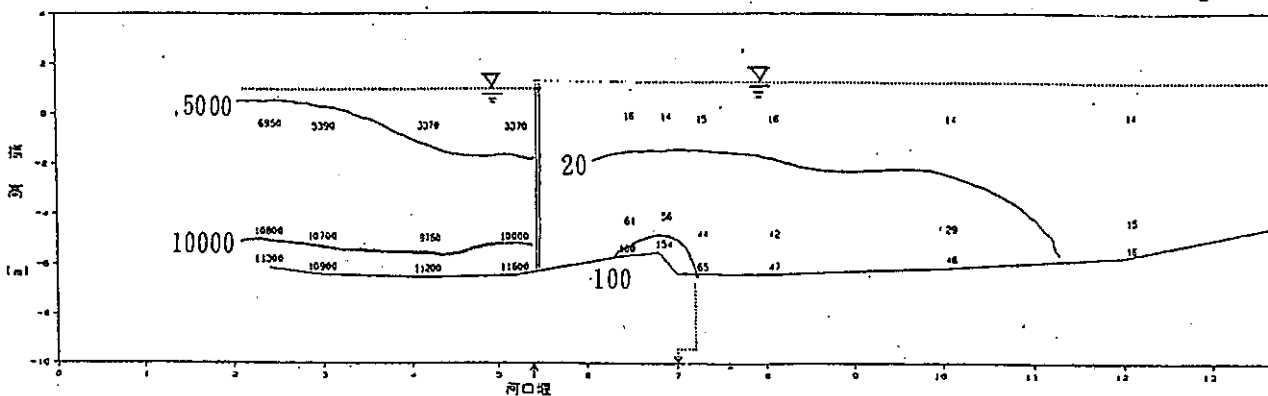


図-7-1-2-(4) 水質詳細調査 塩化物イオン濃度河川縦断面図（9月24日8時 満潮）

墨侯地点流量（日平均）：190m³/s 単位：mg/ℓ

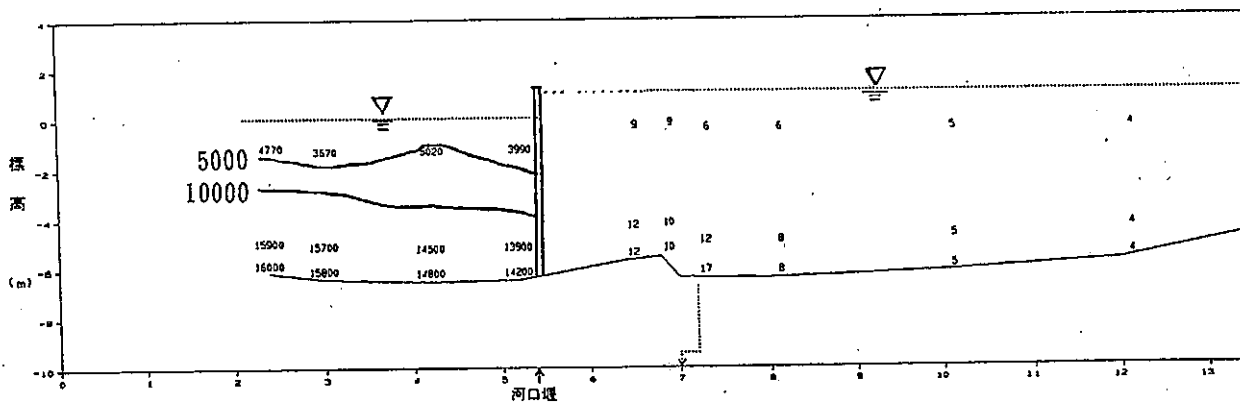


図-7-1-2-(5) 水質詳細調査 塩化物イオン濃度河川縦断面図（9月26日13時 干潮）

墨俣地点流量（日平均）：65m³/s 単位：mg/ℓ

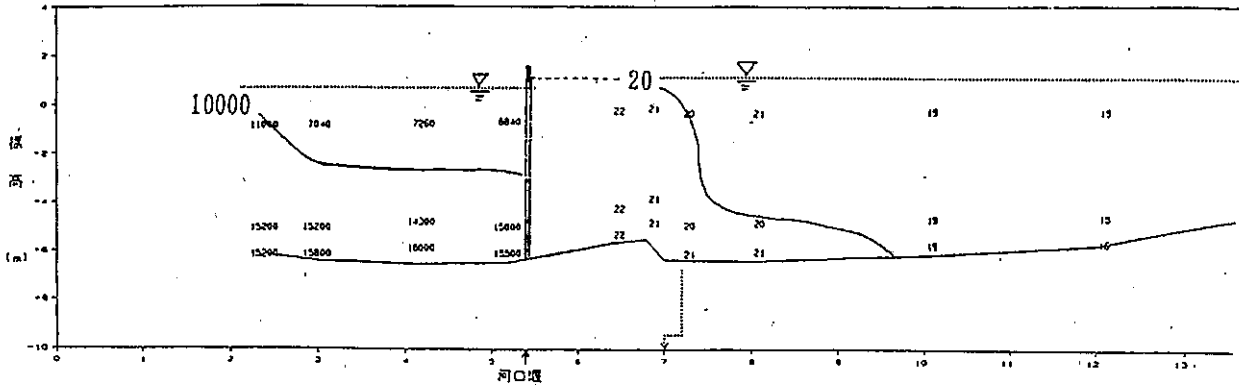


図-7-1-2-(6) 水質詳細調査 塩化物イオン濃度河川縦断面図（10月24日8時 満潮）

参考 ゲート操作以前

墨俣地点流量（日平均）：25m³/s

単位：mg/ℓ

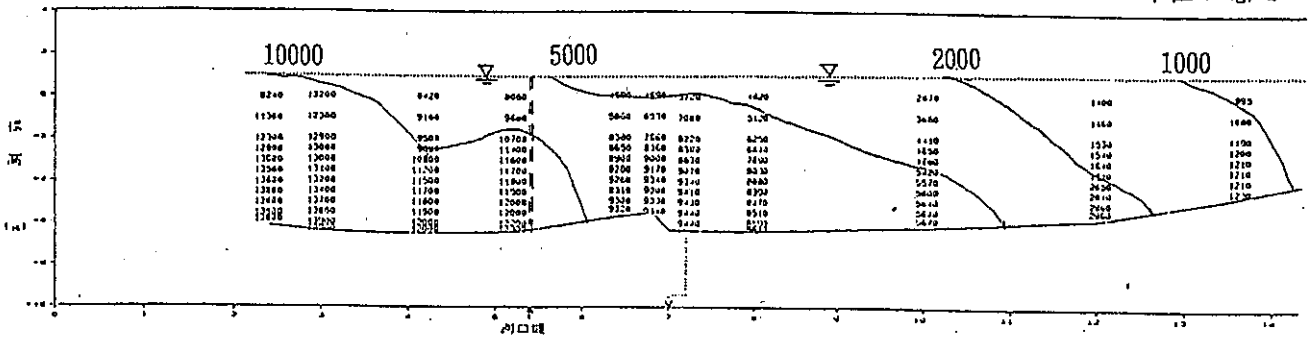
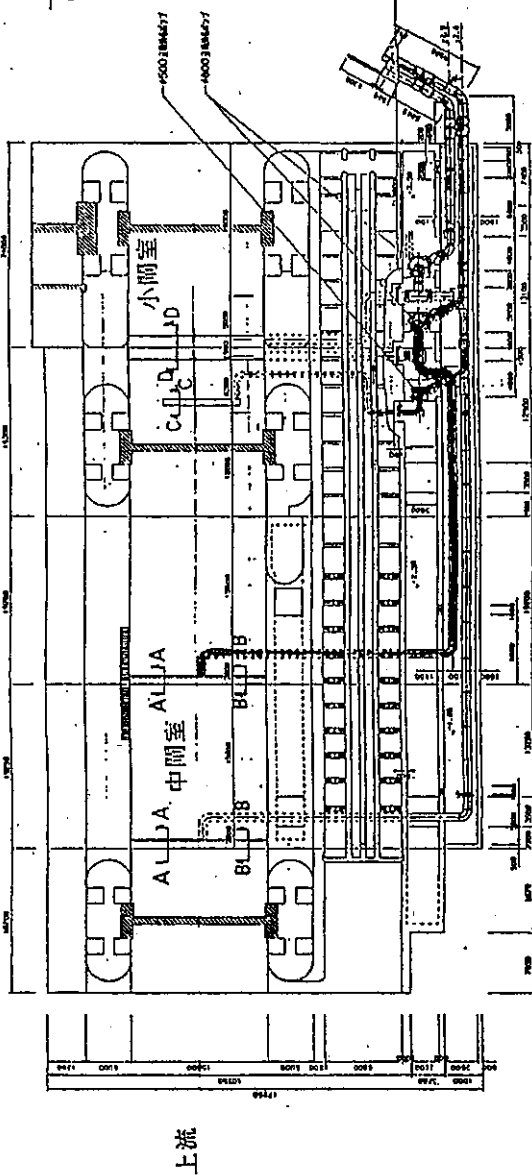
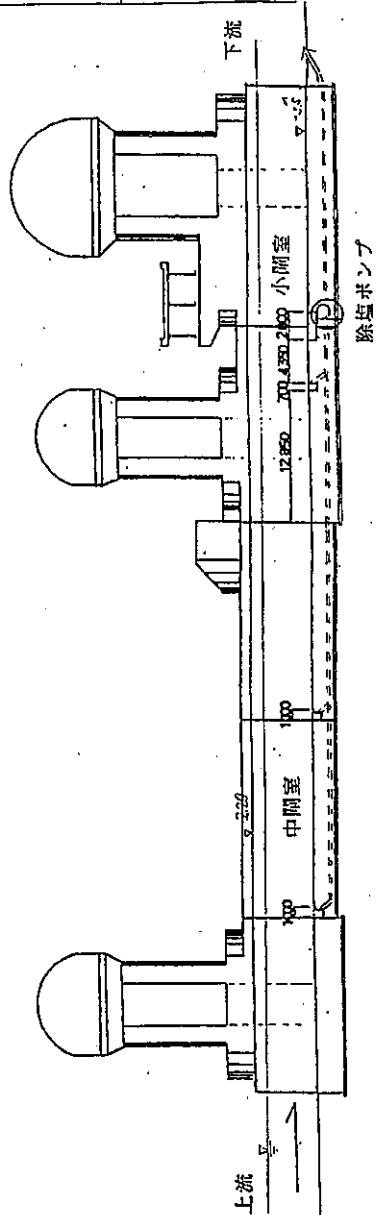


図-7-1-2-(7) 水質詳細調査 塩化物イオン濃度河川縦断面図（7月12日8時 満潮）

閘門平面図



閘門縦断面図



下流から上流通航する場合 (中間ゲート全閉時)

操 作 の 順 号	操 作 の 内 容
(1)	船舶が閘門に入る 下流ゲートは全開、中間ゲートは全閉とする (上流ゲートは常時閉鎖とする)。
(2)	下流ゲート全開 船舶が下流から小間室へ入室後下流ゲートの全開操作を行う。
(3)	小間室内水位調整 下流ゲート全開後、中間ゲートからの逆流操作 (越流水深20cm) により小間室水位を上昇させる。下流水位が上流水位より高い場合には、ポンプ排水により小間室の水位低下を行う。
(4)	除塩操作 図作例において、水位差が20cm程度になった後ポンプ排水を行う。
(5)	中間ゲートを閉鎖操作 排水操作は継続し中間ゲートの越流水深を1.5mにする。これにより、船舶の吃水を確保する。
(6)	船舶が小間室から出る。 船舶が通過後ポンプ排水を停止する。

図-7-1-3 除塩ポンプ概要図

B) 定点観測

塩水の侵入、排除状況等の確認のためシラベール、自記観測機器により観測を実施した。

a) 調査地点 (表-7-1-1)

シラベールでの観測 3.0km、6.4 km、13.6km、22.6kmの4地点及び自記観測機器での観測 5.4km-250m ~18.0kmの11地点の計15地点で常時観測を実施している。

表-7-1-1 定点観測地点一覧表

シラベール (テレ観測)	自記観測
イーナちゃん 3.0km	堰下流 5.4km-250m (テレ観測)
イセくん 6.4km	堰地点 5.4km (")
ナガラちゃん 13.6km	堰上流 5.4km+200m (")
トーカイくん 22.6km	" 5.4km+250m (")
	" 6.0km (自記観測)
	" 7.0km (")
	" 9.0km (テレ観測)
	" 14.2km (自記観測)
	" 15.0km (")
	" 16.5km (")
	" 18.0km (")

b) 調査の方法

テレ観測は毎時テレメーター装置にて送信され、自記観測は1か月毎に回収する方式である。

c) 調査日

4月より継続して実施している。

d) 調査結果

9月18日から全ゲート进行操作して実施した9月調査期間における、堰の直上流における塩化物イオン濃度の状況は図-7-1-4に示すとおり堰直上流(5.4k+200m)地点で、全ゲート操作時には上・中層では、ほとんど $100\text{mg}/\ell$ 以下になっている。一方、下層においては同図の10月14日、16日のように数 $100\text{mg}/\ell$ となる場合もあるが、これは閘門ゲート操作により塩水が侵入したためと判断される。

また、7.0km地点(図-7-1-5)においては、上層では9月25日に最大 $62\text{mg}/\ell$ を観測したが、ほとんど $30\text{mg}/\ell$ 以下で維持されている。一方、下層においては、全ゲート操作時に最大値で9月22日 $660\text{mg}/\ell$ を記録し、 $200\text{mg}/\ell$ を上回る時が9月21日～24日まで続いたが、台風第26号の高潮、洪水により9月29日にゲートを全開したことにより高潮が遡上し約 $13,000\text{mg}/\ell$ の塩化物イオン濃度の高いものが記録された。しかし、引き続き上流からの出水によってすぐに、塩化物イオン濃度はゼロ近くに低下した。その後、再びゲート操作を開始した10月1日以降10月27日までは、下層で概ね $50\text{mg}/\ell$ 以下に、また上層においては $20\text{mg}/\ell$ 以下に維持され、淡水化の状況が確認された。

これは、9月18日から行った全ゲート操作では、河川流量が最大約 $1,400\text{m}^3/\text{s}$ を経験した後の操作開始であったが一方、10月1日からの全ゲート操作では約 $4,400\text{m}^3/\text{s}$ を経験し、河床の凹地部分も含めて全域の塩分が流下したことに起因するものと判断される。

なお、閘門ゲートからの塩水の侵入は、今後除塩ポンプを設置することとしており、水位状況に応じた閘門操作と除塩ポンプの運転を適切に組み合わせることにより解消されるものと判断している。

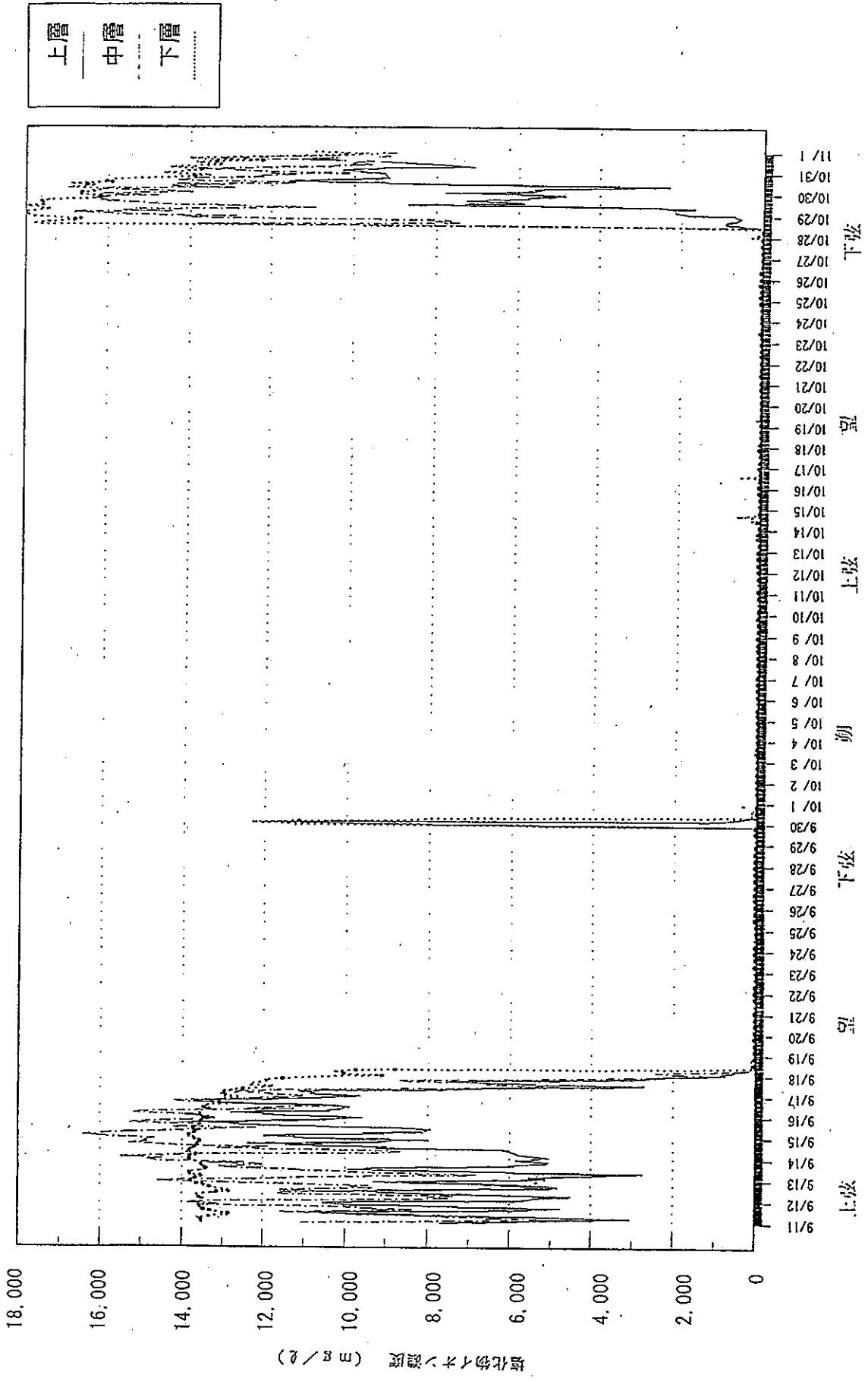


図-7-1-4 定点観測調査地点 塩化物イオン濃度変化図 (5.4km²200m右岸)

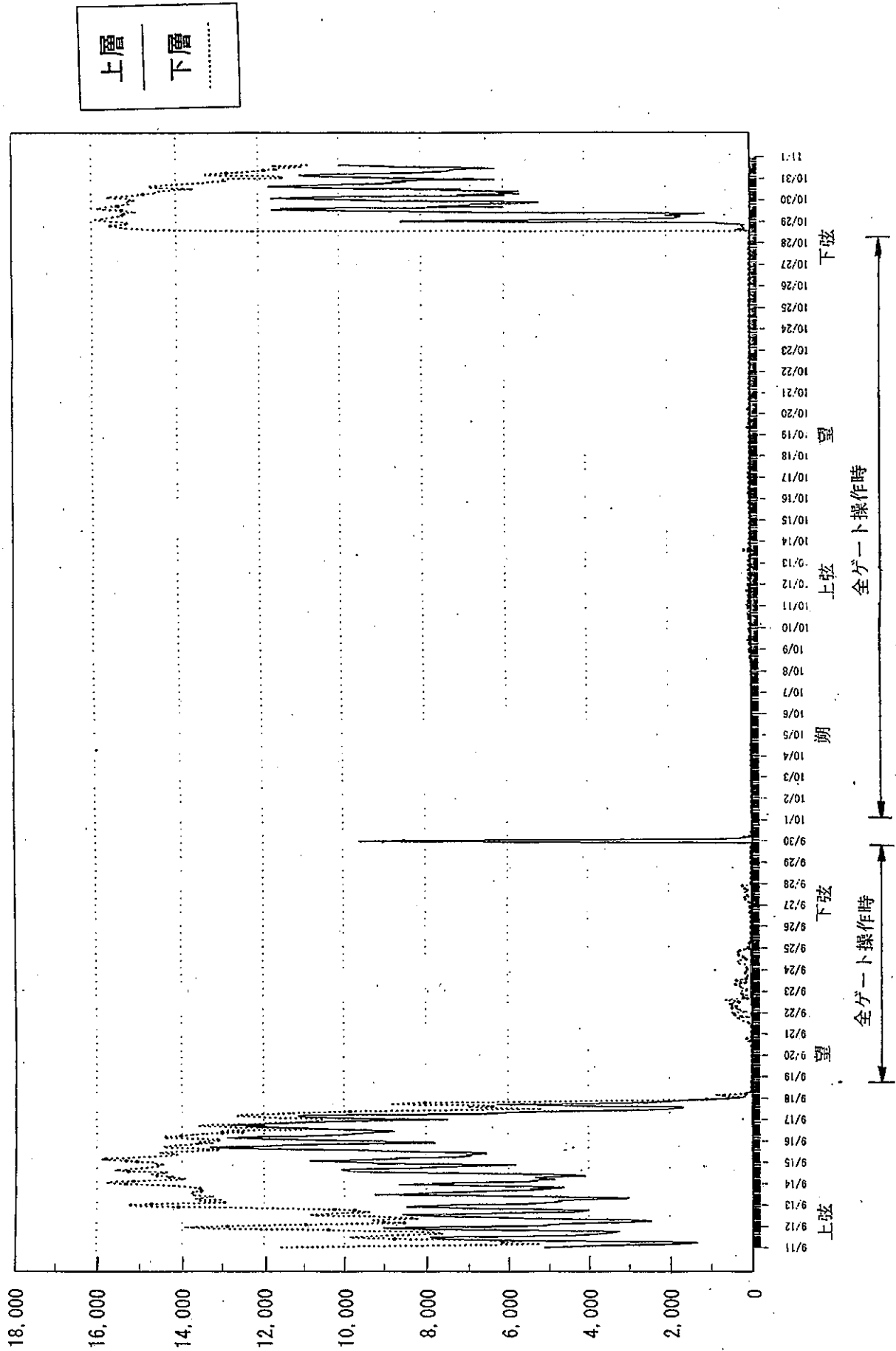


図-7-1-5 定点観測調査地点 塩化物イオン濃度変化図 (7.0km)

7-1-2. 調節ゲートによる塩水遡上防止効果確認

調節ゲートにおけるアンダーフロー、オーバーフロー操作時の塩水侵入状況を調査するため、アンダーフロー時は調節ゲートにより、またオーバーフロー時はロック式魚道において塩水の侵入限界を確認した。

A) アンダーフロー操作時の調査

a) 調査地点 (図-7-1-6)

調節ゲート1号および6号のゲート直上流床版部において測定した。

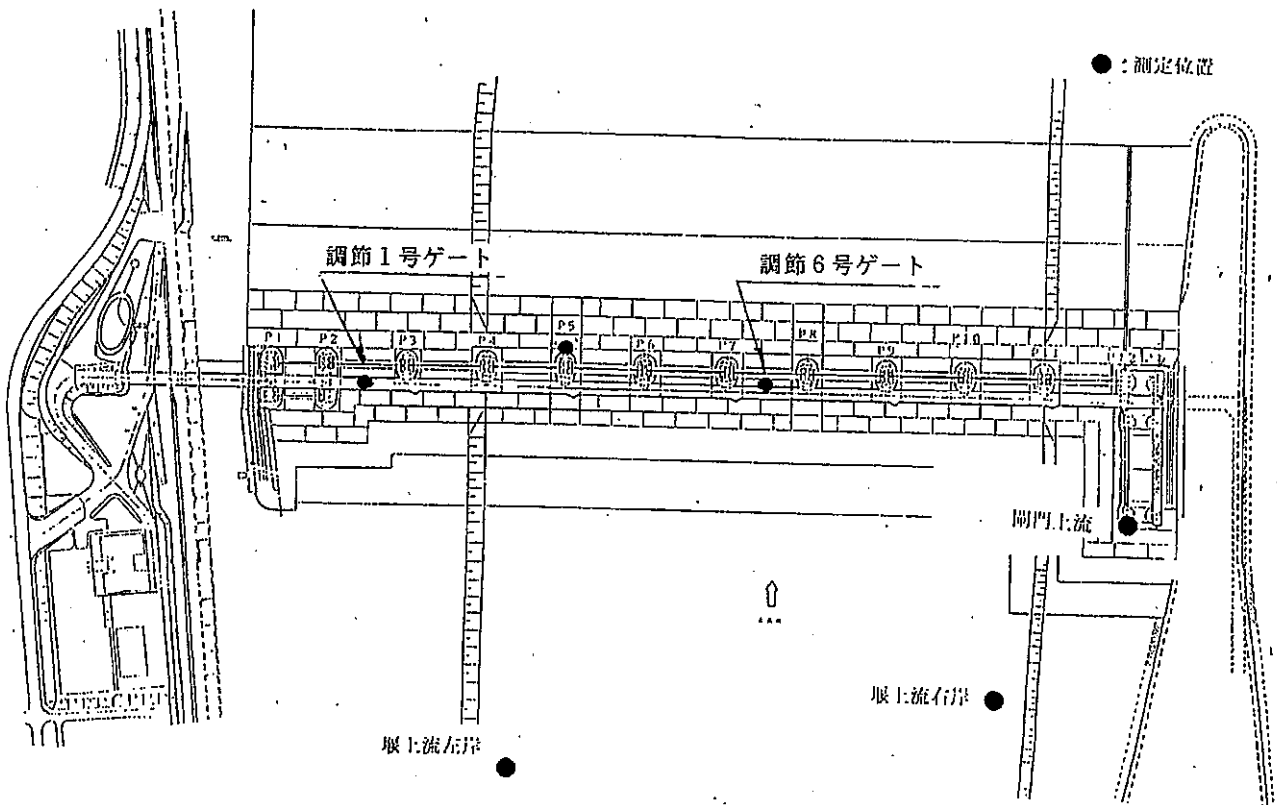
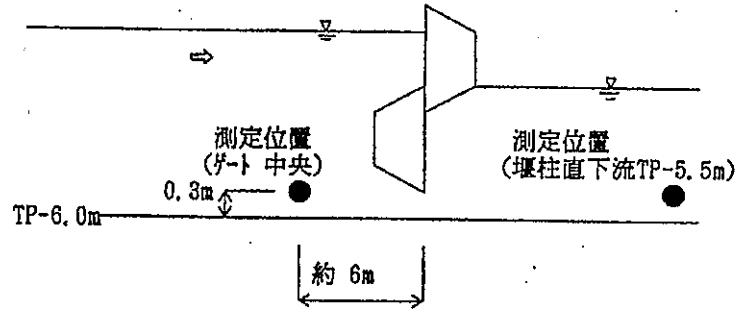


図-7-1-6 調節ゲート 塩化物イオン濃度測定位置図

b) 調査の方法

調節ゲート直上流床版に取付けたセンサーで自動観測による連続観測を行った。

c) 調査日

自動観測は、平成6年9月18日～10月28日に連続観測（10分間隔）を実施した。

d) 調査結果

調節ゲートの操作状況とその時の上下流の水位変化は図-7-1-7のとおりである。9月18日～10月28日の調査期間において、堰上下流の水位差が20cm以下の状態で、なおかつ調節ゲートをアンダーフロー操作していたのは、表-7-1-2の3ケースであり、水位差の最小は17cmであったが、この場合においても塩水の遡上は認められなかった。

なお、10月7日の7時～9時（図-7-1-7(3)）にみられるように、ゲートを全閉しているにもかかわらず、ゲート上流部において一時的に1,000mg/l近い塩化物イオン濃度を記録している。これは、短時間であり、かつ堰直上流域の限られた区域であることが堰上流左右岸の観測により確認されており、それほど問題ないと思われるが、この原因がゲートの水密性に起因するかどうかも含め今後調査を実施する。

調節ゲートの操作に当っては、アンダーフロー操作の場合、塩水遡上防止のため上下流水位差20cm以上で行うこととなっているため、塩水の遡上は確実にできることが確認できた。

表-7-1-2 調節ゲートにおける塩化物イオン濃度

(アンダーフロー操作時)

日 時	ゲートNO.	上流水位 (m)	下流水位 (m)	水位差 (cm)	ゲート 開 度 (cm)	塩化物イオン濃度(mg/l)	
						上 流	下 流
10/3 15:50	NO.6	TP+1.22	TP+1.05	17	97	7	3,156
10/7 6:00	NO.6	+1.09	+0.91	18	20	12	3,422
10/7 6:00	NO.1	+1.09	+0.91	18	20	14	3,422

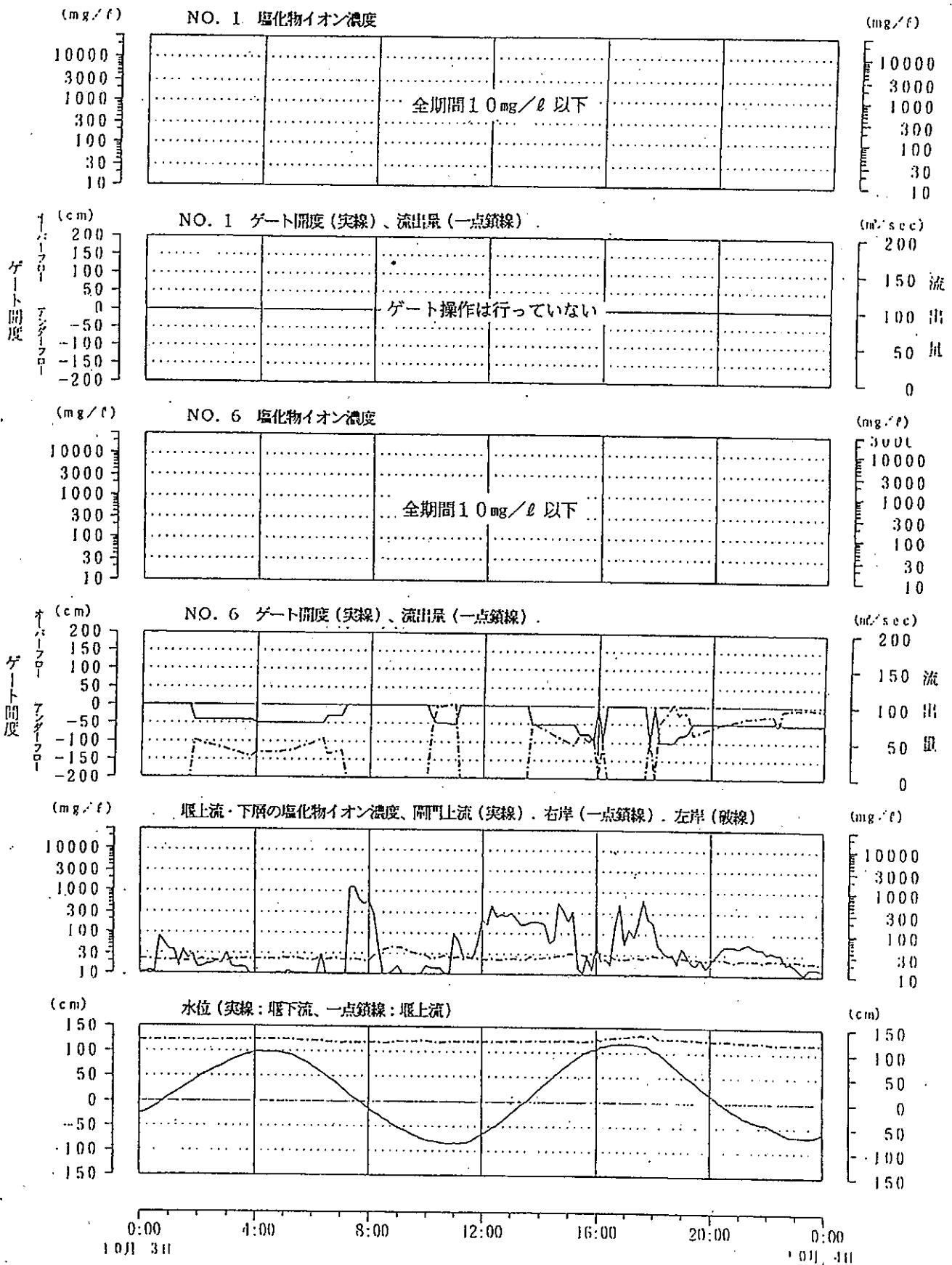


図-7-1-7-(1) アンダーフロー操作時の塩水侵入状況図

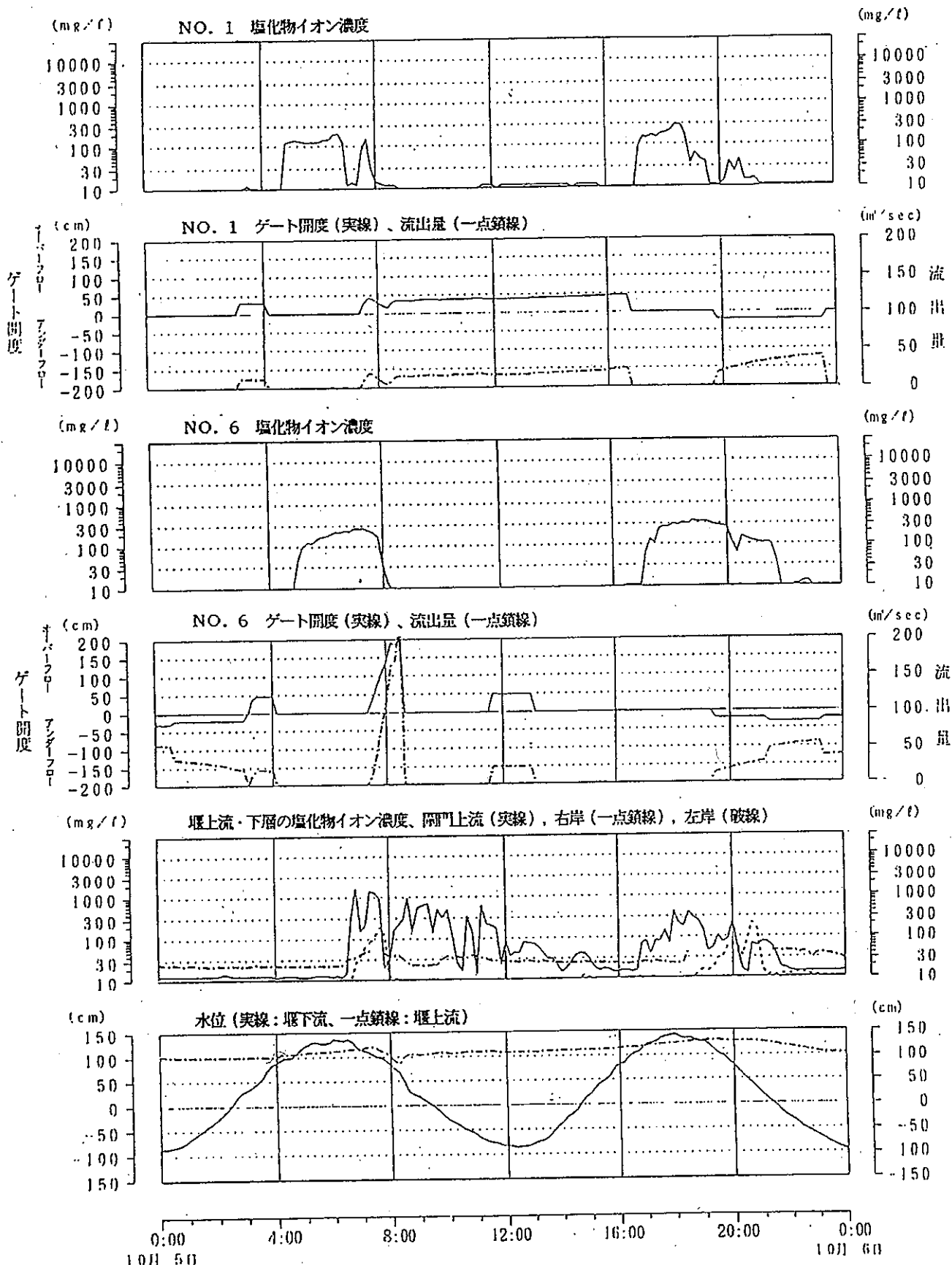


図-7-1-7-(2) アンダーフロー操作時の塩水侵入状況図

観測日：平成6年10月7日

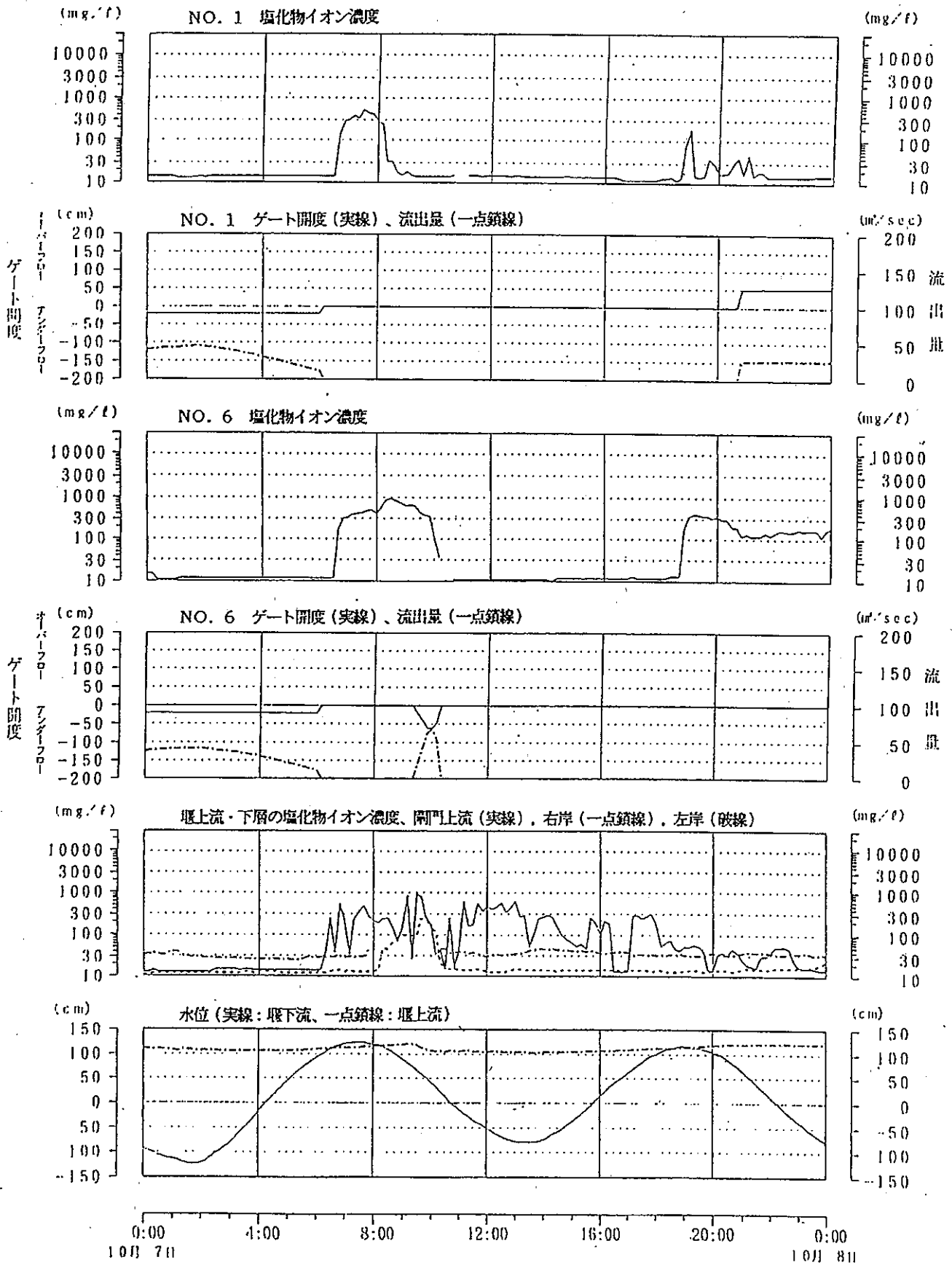


図-7-1-7-(3) アンダーフロー操作時の塩水侵入状況図

B) オーバーフロー操作時の調査

調査は、堰上流へ塩水を侵入させないことを考慮し、上下流にゲートがあるロック式魚道の下流ゲートを使用し、オーバーフロー時の塩水侵入状況の確認調査を実施した。

a) 調査地点 (図-7-1-8)

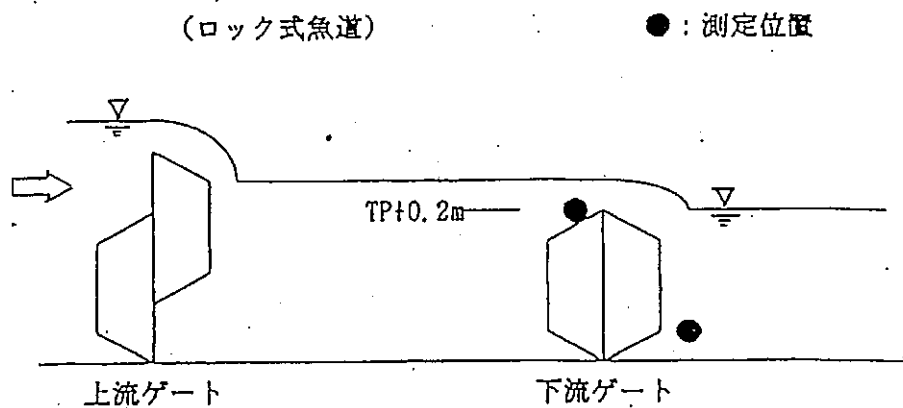


図-7-1-8 ロック式魚道 塩化物イオン濃度測定位置図

b) 調査の方法

測定は、上流ゲートで越流水深を10cm、20cm、30cm、50cmに維持し、流量が一定となる状態を設定した上で、上げ潮時に下流ゲートを着床（天端標高TP+0.2m）させ、下流ゲートの上下面において塩化物イオン濃度を測定した。

c) 調査日

調査は上下流の水位状況から、次のように実施した。

10月14日（越流水深10cm）、10月21日（越流水深50cm）、10月24日（越流水深30cm）
10月25日（越流水深20cm）

d) 調査結果

測定した期間のゲート状況、堰上流水位、堰下流水位、ゲート開度の時系列グラフは、図-7-1-9に示すとおりである。

表-7-1-3 ロック式魚道における測定水位

上流ゲート 越流水深	測定開始			測定終了			測定月日
	下流水位 (T.P)	ロック内 水位 (T.P)	下流 越流水深	下流水位 (T.P)	ロック内 水位 (T.P)	下流 越流水深	
10 cm	-0.25m	0.30m	10 cm	0.43m	0.41m	21 cm	10月14日
20 cm	-0.06m	0.39m	19 cm	0.65m	0.62m	42 cm	10月25日
30 cm	-0.07m	0.45m	25 cm	0.71m	0.67m	47 cm	10月24日
50 cm	-0.03m	0.61m	41 cm	1.12m	1.14m	94 cm	10月21日

なお、測定間隔は10分間隔で測定した。

上流ゲートによる越流水深と調節ゲート1門当りの流量の関係は表-7-1-4のとおりである。なお、測定は前述のように塩分侵入防止のためロック式魚道（径間30m）で実施したが、流量は調節ゲート（径間45m）1門当りに換算してある。

表-7-1-4 越流水深と調節ゲート1門当りの流量

上流ゲート 越流水深	1門当り 流量(m ³ /s)	備 考
10 cm	約 2	
20 cm	約 6	
30 cm	約12	
50 cm	約26	

測定は、上流ゲートを所定の越流水深に設定し、各ケース毎にロック内水位と下流との水位差がどの程度になったときに塩水が遡上するかを観測した。

図-7-1-9(1)によれば、1門当たり約 $2 \text{ m}^3/\text{s}$ の放流量の場合で水位差 1 cm 以上あれば塩水が侵入しないこと、(2)のように放流量が約 $6 \text{ m}^3/\text{s}$ で 3 cm の水位差があれば塩水が侵入しないことが観測された。また、(3)のように放流量約 $12 \text{ m}^3/\text{s}$ 、(4)のように放流量が約 $26 \text{ m}^3/\text{s}$ では、ほとんど水位差がない状態でも塩水が侵入しないことが観測された。

調節ゲートの操作に当たっては、オーバーフロー操作の場合、塩水遡上防止のため上下流水位差 10 cm 以内となった場合には全閉することとしているため、塩水の遡上防止は確実にできることが確認できた。

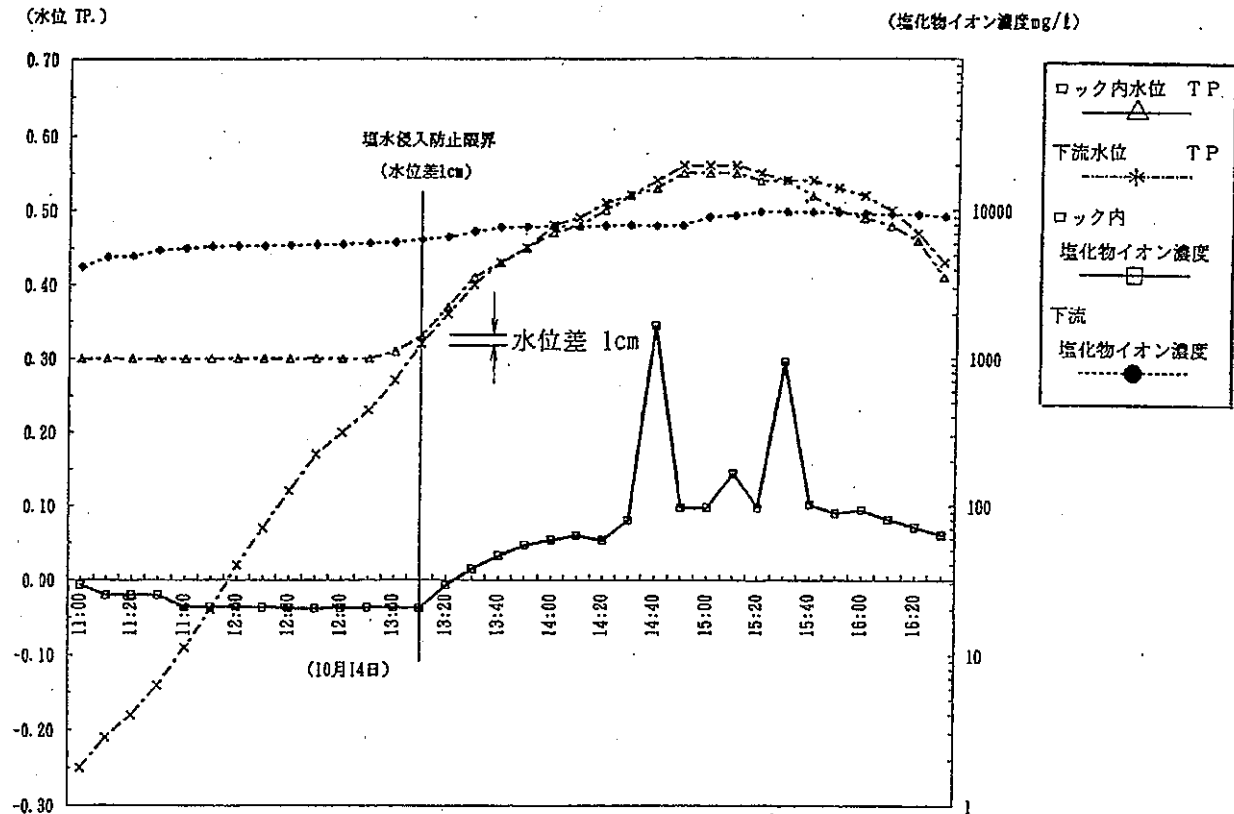


図-7-1-9-(1) オーバーフロー時の塩水侵入状況図 (一門あたり流量約 $2 \text{ m}^3/\text{s}$)

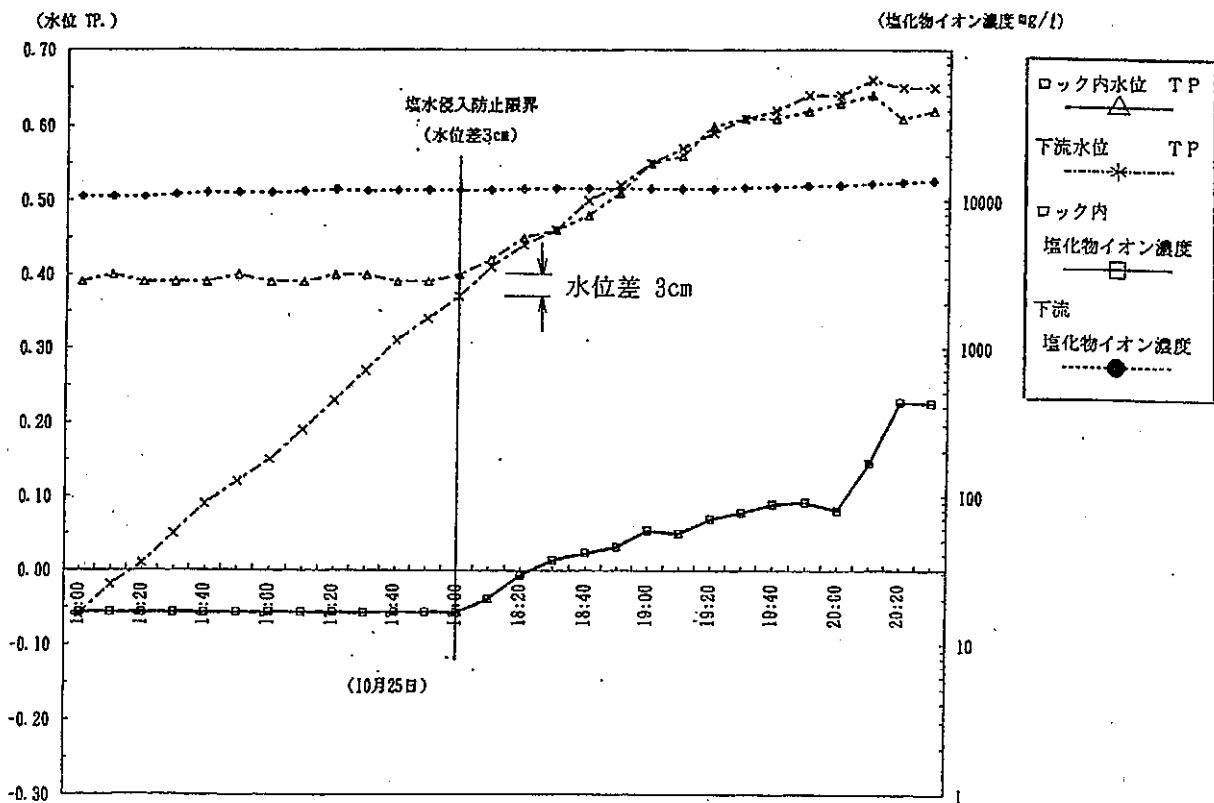


図-7-1-9-(2) オーバーフロー時の塩水侵入状況図 (一門あたり流量約 $6 \text{ m}^3/\text{s}$)

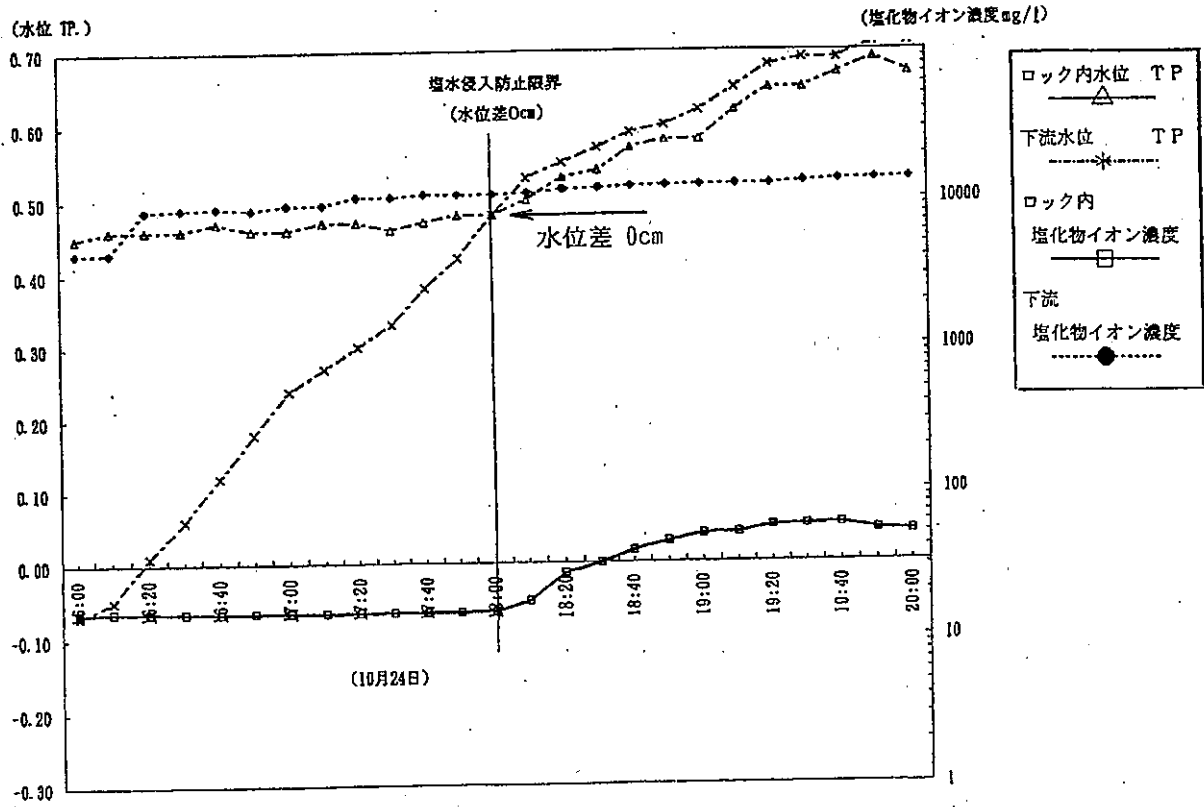


図-7-1-9-(3) オーバーフロー時の塩水侵入状況図 (一門あたり流量約12m³/s)

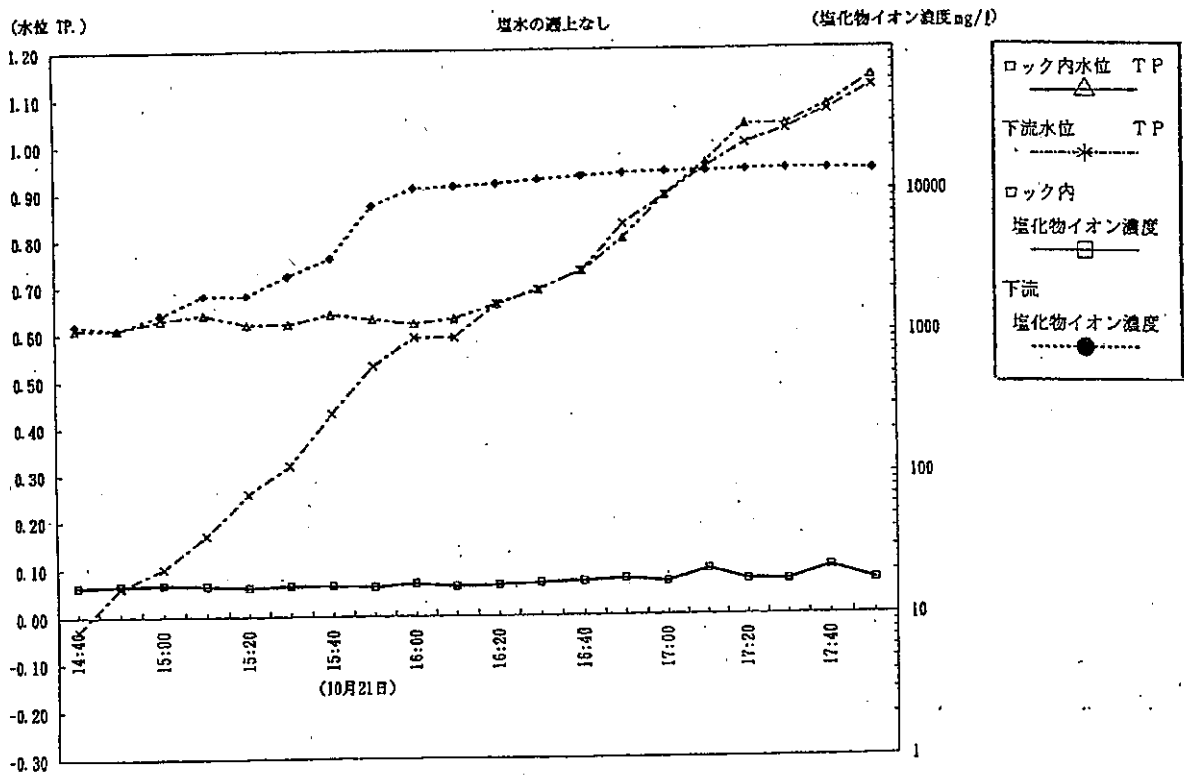


図-7-1-9-(4) オーバーフロー時の塩水侵入状況図 (一門あたり流量約26m³/s)

7-1-3. ロック式魚道操作による塩水排除方法の確認

調査の目的

ロック式魚道操作による塩水の侵入状況、および排除状況について調査をする。

a) 調査地点 (図-7-1-10)

測定の位置は、ロック式魚道上流ゲートの直上流下層 (TP -2.0m) およびロック内の上流側・中央・下流側において各々3層 (TP +0.0m, TP -1.0m, TP -2.0m) の合計10か所において塩化物イオン濃度を測定した。

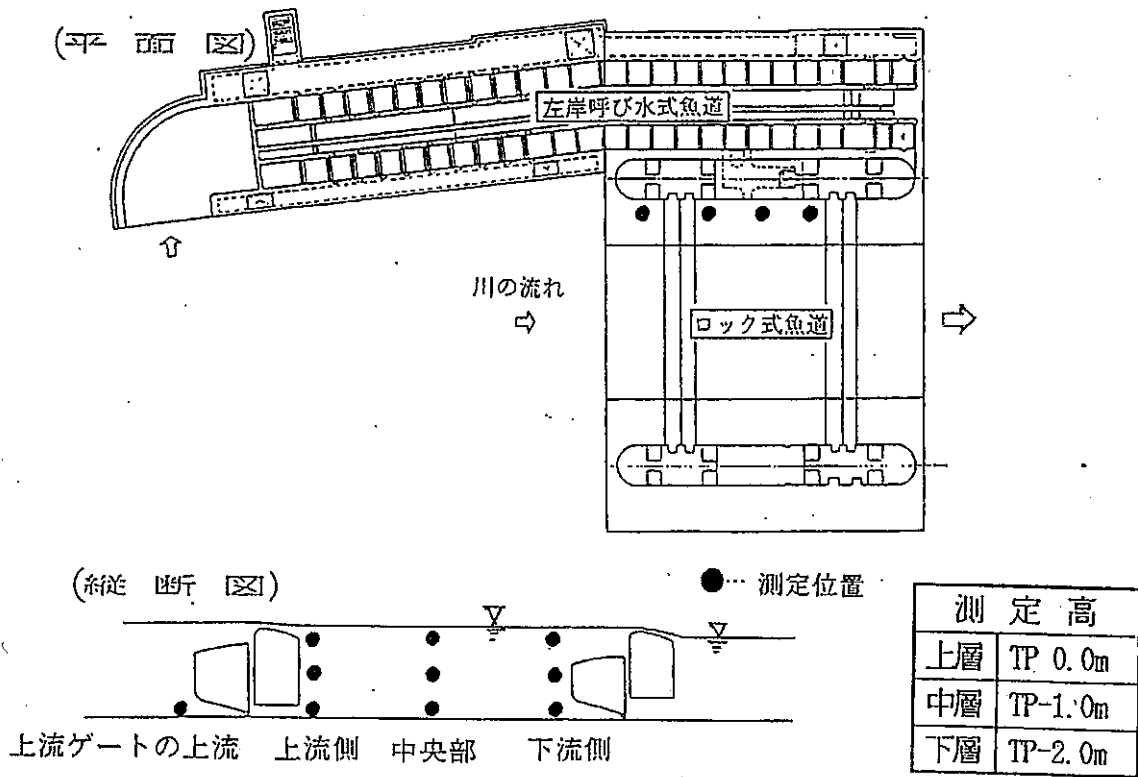


図-7-1-10 ロック式魚道塩化物イオン濃度測定位置図

b) 調査の方法

ロック式魚道の操作については、図-7-1-11 に示す3つの基本パターンにより操作することとしており、それに基づきロック室内への塩分の侵入状況、排除の確認を行った。

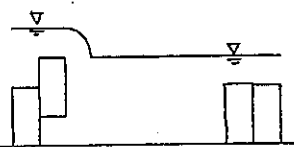
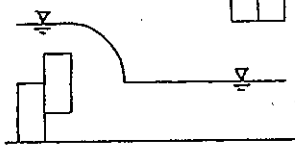
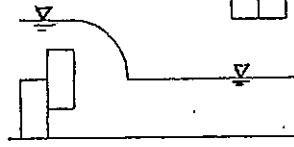

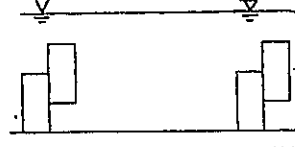
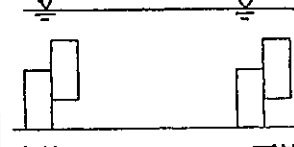

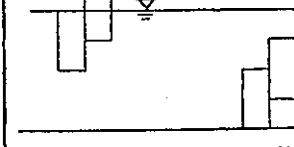
操作 (1)	操作 (2)	操作 (3)
<p>①浮魚等集魚操作 20分</p>  <p>上流 下流 ・上流越流水深 20cm ・下流着床(TP+0.2m)</p>	<p>①浮魚等集魚操作 60分</p>  <p>上流 下流 ・上流越流水深 20cm ・下流全開</p>	<p>①浮魚等集魚操作 60分</p>  <p>上流 下流 ・上流越流水深 20cm ・下流全開</p>
<p>②浮魚遡上操作(1) 20分</p>  <p>上流 下流 ・上流越流水深 20cm ・下流越流水深 15cm</p>	<p>②浮魚遡上操作(1) 40分</p>  <p>上流 下流 ・上流越流水深 20cm ・下流越流水深 15cm</p>	<p>②浮魚遡上操作(1) 40分</p>  <p>上流 下流 ・上流越流水深 20cm ・下流越流水深 15cm</p>
<p>* 図中「越流水深」とあるのは、オーバーフロー「開度」とあるのは、アンダーフロー操作である。</p>		<p>③浮魚遡上操作(2) 60分 (非遡上期90分)</p>  <p>上流 下流 ・上流越流水深 30cm (非遡上期20cm) ・下流開度 15cm</p>
		<p>④底生魚遡上操作 60分</p>  <p>上流 下流 ・上流開度 50cm ・下流越流水深 15cm</p>

図-7-1-11 ロック式魚道操作方法

c) 調査日

全ゲート操作時の期間中の大潮および小潮時に連続4日間観測を実施する。

・ 9月26日～9月29日（小潮時）……ただし、台風接近により9月29日に観測機器を撤去。再調査を10月12日～10月15日に実施した。

・ 10月3日～10月7日（大潮時）

d) 調査結果

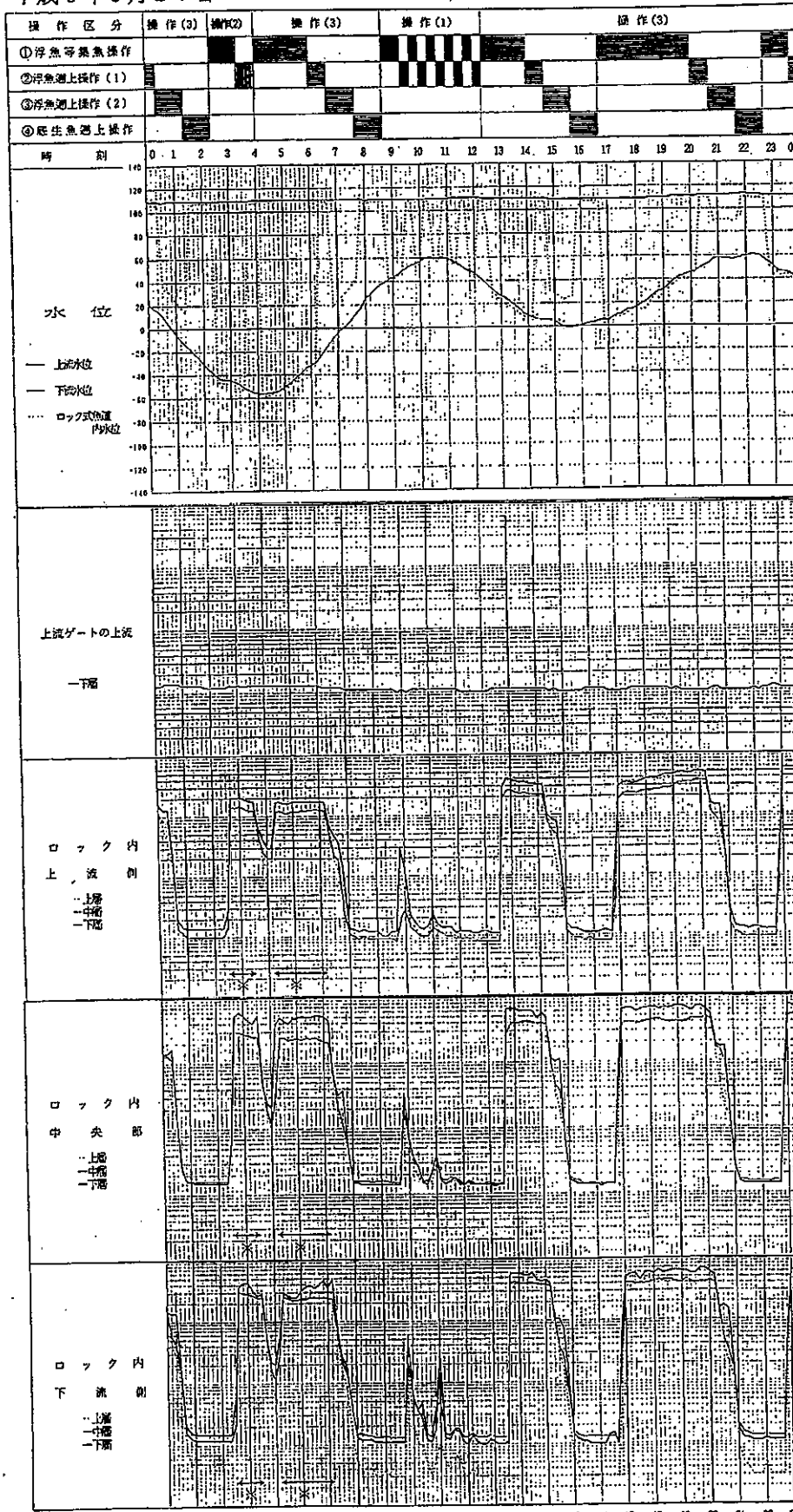
ロック式魚道における操作の結果、上流ゲートの直上流下層の塩化物イオン濃度については、ロック室内の一連の除塩操作（操作(3) ③の操作）(図-7-1-11)によって大潮時、小潮時いずれもほとんど $10\sim 20\text{mg}/\ell$ であり操作による塩水の遡上は見られない（図-7-1-12）。

ただし、図-7-1-12-(2) の10月6日6時～9時あるいは18時～22時頃に、上流ゲート全閉状態にもかかわらず上流ゲート上流下層で $20\sim 50\text{mg}/\ell$ 程度の塩化物イオン濃度が観測されている。

この程度の塩化物イオン濃度は問題となるものではないが、下流水位が上流水位よりも高い時に現象が始まることから、ゲートの水密性に起因する可能性があり、今後の調査によって解明したい。

なお、ロック室内の塩化物イオン濃度の最大値は、上流側ゲートを全閉している状態のときに観測されている。例えば、10月6日20時30分頃（図-7-1-12-(2)）最大値 $10,000\text{mg}/\ell$ を記録している。これは、図-7-1-11 の操作(3) ①から上流側ゲートを全閉操作に移行した状態であり、下流ゲートが開放されているために、下流から塩分が供給されることによるものである。

平成6年9月27日

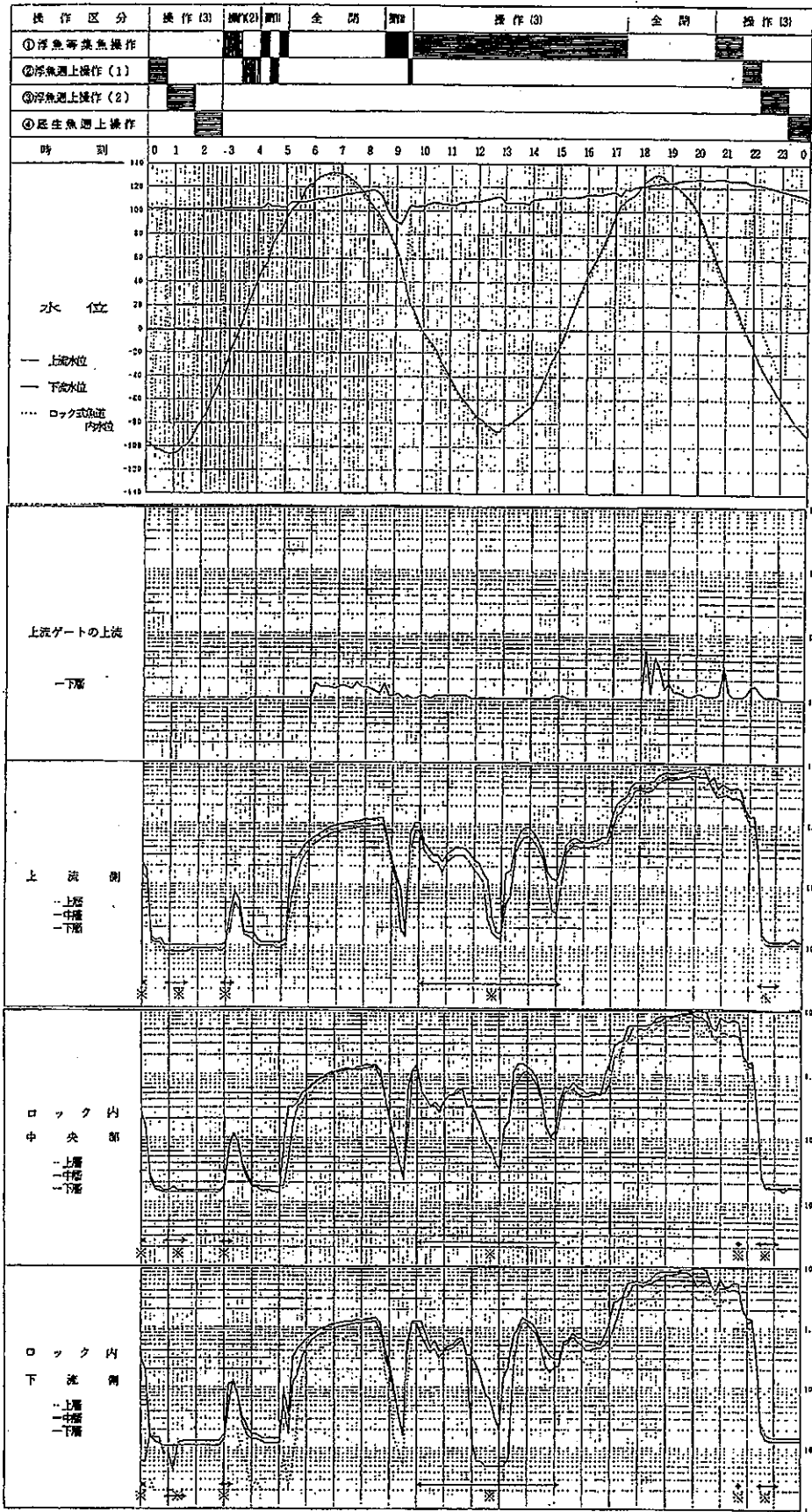


※上流側上層、中央部上層及び下流側上層については、ロック内水位がTP+0m(測定高)未満であるため、測定不能。

ロック式魚道塩水排除方法の確認

図-7-1-12-(1) 操作状況、塩化物イオン濃度変化図(小潮時)

平成6年10月6日



※上流側上層、中央部上層及び下流側上層については、ロック内水位がTP+0m(測定高)未満であるため、測定不能。

ロック式魚道塩水排除方法の確認

図-7-1-12-(2) 操作状況、塩化物イオン濃度変化図(大潮時)

7-1-4 開門操作による塩水排除方法の確認

開門操作による小閘室、中閘室の塩水排除について確認する。

a) 調査地点

小閘室、中閘室、および堰上流において測定する。

センサーの設置位置は図-7-1-13 に示すとおりである。

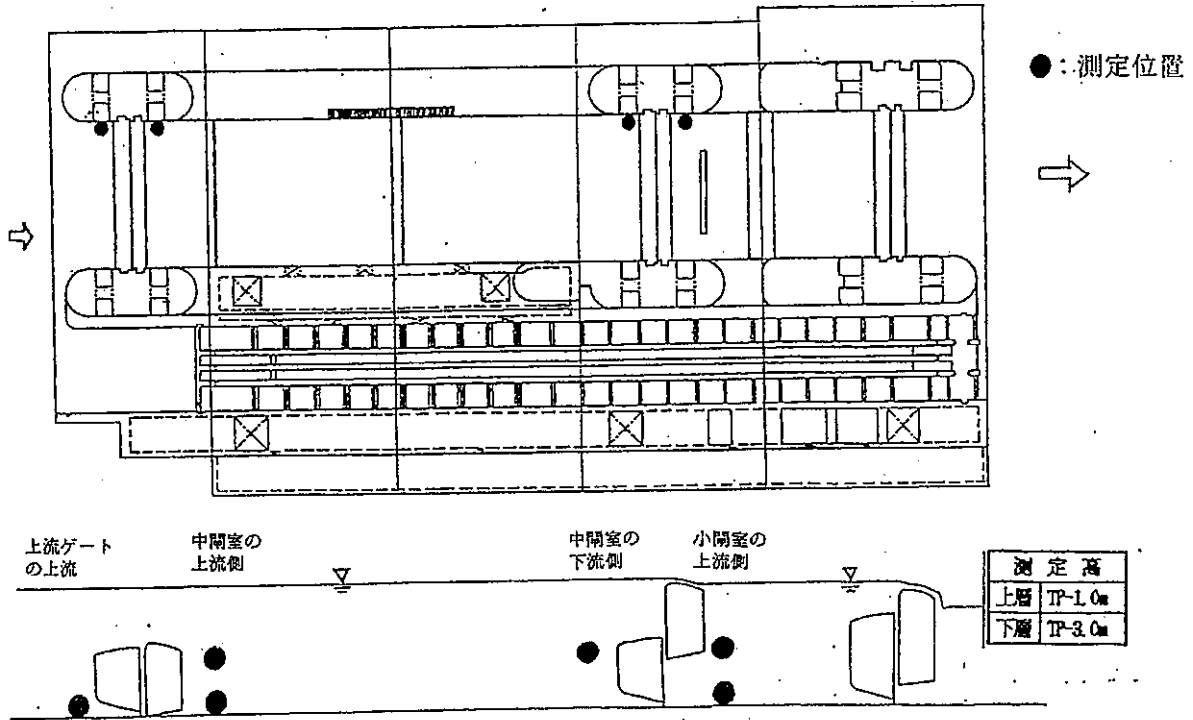


図-7-1-13 開門塩化物イオン濃度測定位置図

b) 調査の方法

船舶の開門通過に伴う開門ゲート操作時の小閘室、中閘室、および堰上流の塩化物イオン濃度をセンサーにて自動測定した。

c) 調査日

平成6年9月18日～10月28日に連続観測を実施。

d) 調査結果

開門操作による小閘室、中閘室、堰上流の塩化物イオン濃度の測定記録は図-7-1-14 に示すとおりである。堰上流域はゲート操作によって一定量の塩水の侵入は見られるが、累積的に濃度が高くなるようなことは認められない。これは本調査時に調節ゲートからのアンダーフロー放流が行われており、これにより堰上流域への塩水の拡散が抑制されたものと判断される。

なお、除塩ポンプの設置をまって効果的な除塩の方法について調査を進めていくこととする。