

1 知多半島の水源転換に関する検討

(3) 長良導水の復元（堰上流域の淡水化）の検討

第1 はじめに

- ・ 長良川河口堰開門調査の実施に伴い、長良導水を代替水源に振り替えた場合、調査終了後（調査終了前でも濁水等が発生した際には即座に）、長良導水を復元する必要があることから、堰上流域の塩水排除について検討しておく必要がある。
- ・ 本章では、長良導水の復元が可能となる堰上流域の塩水排除に適した時期や必要となる期間等について調査を行う。
- ・ 長良川河口堰は堰上流域に塩水を遡上させないよう操作されており、通常の管理・運用の実績からは、堰上流域の塩水排除に関するデータが得られないため、次のことについて調査し、堰上流域の塩水排除に適した時期や期間について考察を行う。
 - ①管理・運用開始前に堰上流域の塩水を排除した事例
 - ②管理・運用開始後に堰上流域へ塩水が遡上し、排除した事例
 - ③過去の長良川の河川流況

第2 長良川河口堰の管理・管理開始前の塩水排除事例の調査

～平成6年度の堰上流域塩水排除実験のデータ収集・整理～

1 検討の目標

- ・ 長良川河口堰の管理・運用開始前に行われた堰上流域の塩水排除にかかる実験データを収集・確認し、長良導水の復元（堰上流域の塩水排除）に係る知見を整理する。

2 調査内容

(1) 堰上流域の塩水排除に関する実験の確認

- ・ 長良川河口堰の管理・運用開始（平成7年7月6日）以前に、長良川河口堰の運用により堰上流域の塩水排除等を行った実験が実施されたかを確認したところ、建設省中部地方整備局及び水資源開発公団中部支社が、堰上流域の塩水侵入防止効果等の確認を目的に、全ゲートを降下・運用さ

せ、堰上下流の塩化物イオン濃度の分布状況（電気伝導度及び水温からの換算）を測定し、その結果を「長良川河口堰調査報告書（第4巻）平成7年3月」にとりまとめていたことを確認した。

(2) 堰上流域の塩水排除に関する実験結果の把握、整理

- ・ 堰上流域の塩水排除に関する実験として「長良川河口堰調査報告書（第4巻）平成7年3月」にとりまとめられていた結果は次のとおである。

ア 実験の概要

- ・ 平成6年9月18日から同年10月28日まで、全ゲートを降下・運用し、その間の堰上下流の塩化物イオン濃度の変化を測定した。
- ・ 塩化物イオン濃度の測定は、平成6年9月18日から同年10月24日までの間、河口から0.8km地点（堰下流4.6km）から河口から39.2km地点（堰上流33.8km）までの26測線で、船上からセンサーを降下させて実施した。
- ・ また、河口から5.6km地点（堰上流0.2km）と河口から7.0km地点（堰上流1.6km）に設置されていた自記観測機器による塩化物イオン濃度の常時観測データの確認も行われた。

イ ゲート操作の概要

年月日	ゲート操作内容
平成6年9月18日	全ゲートを降下・運用開始 (河川流量：約1,400 m ³ /s)
平成6年9月29日	台風26号の接近により全ゲートを上昇・全開 (実験中断)
平成6年10月1日	全ゲートを降下・運用開始 (河川流量：約4,400 m ³ /s)
平成6年10月28日	全ゲートを上昇・全開 (実験終了)

ウ 水質測定の概要

(ア) 測定地点

- ・ 河口から 0.8km から 39.2km までの定点 13 測線と深掘か所 13 測線の 26 測線（流心）

(イ) 測定方法

- ・ 船上よりセンサーを所定の深さまで降下させ測定

(ウ) 測定日

- ・ 平成6年9月18日～10月24日

(エ) 測定結果

- ・ 局所的な深掘れ箇所（凹地部分）を除けば、概ね 100mg/ℓ程度以下で、河口から 12km 地点より上流では塩化物イオン濃度が 20mg/ℓ以下となった。

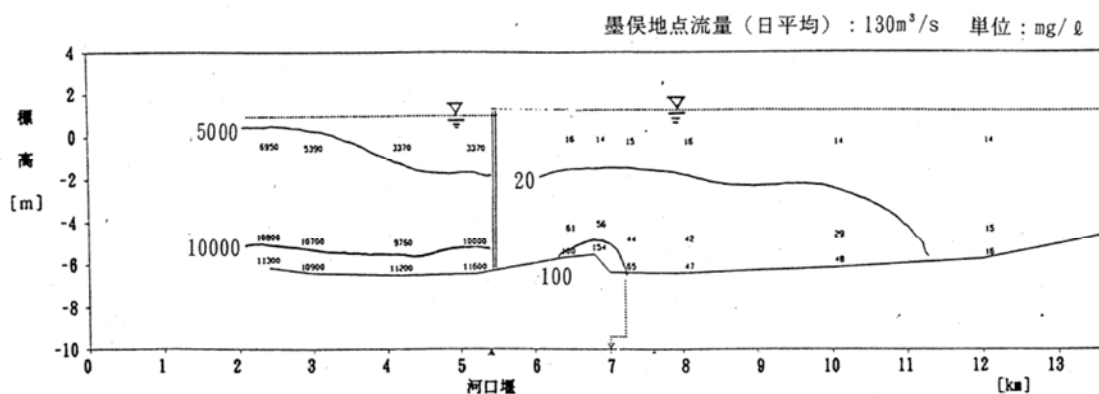


図1 塩化物イオン濃度河川縦断図（9月24日8時満潮）

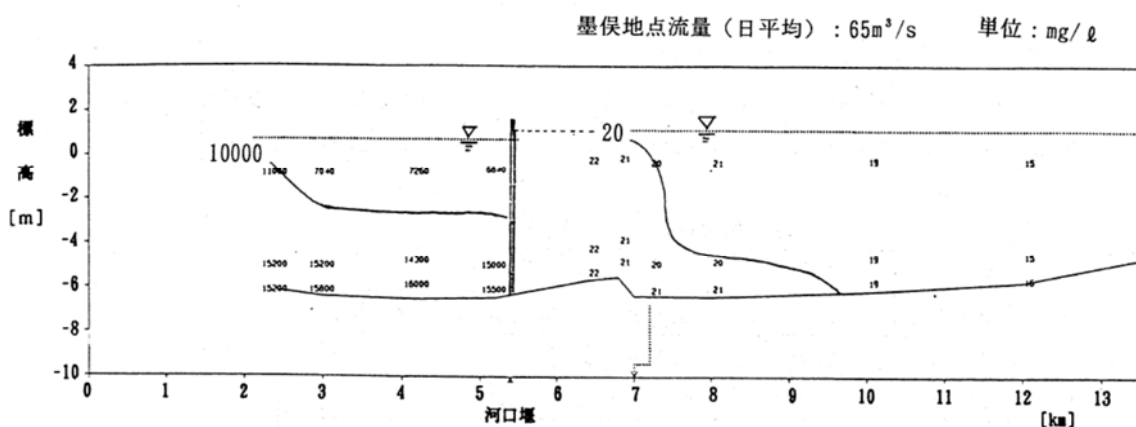


図2 塩化物イオン濃度河川縦断図（10月24日8時満潮）

エ 常時観測データ

(ア) 河口から 5.6km 地点 (堰上流 0.2km)

- ・ 全ゲートの降下・運用時において、上・中層の塩化物イオン濃度は、ほとんどが 100mg/ℓ以下となっていた。
- ・ 一方、下層の塩化物イオン濃度は、10月14日、16日に数 100mg/ℓとなる場合があった。これは、閘門ゲート操作時に塩水が浸入したためと判断され、この塩水の進入については、ゲート運用により抑制されると確認された。

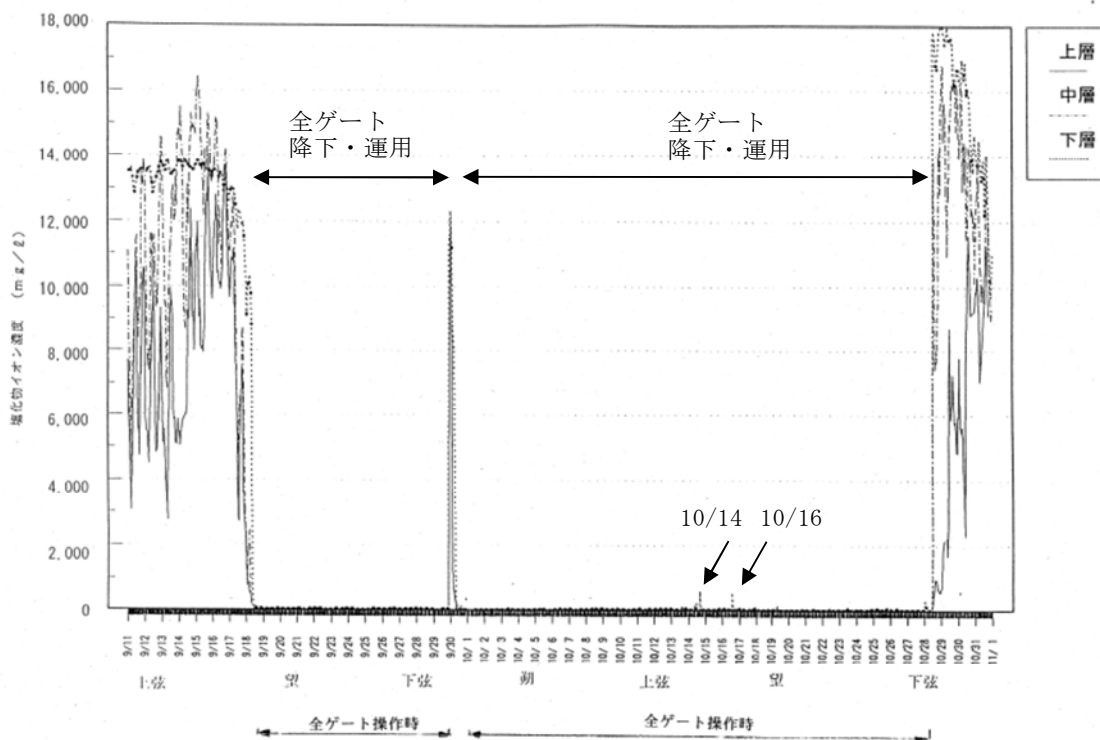


図3 塩化物イオン濃度変化図 (堰上流 0.2km 左岸)

(イ) 河口から 7.0km 地点 (堰上流 1.6km)

- ・ 全ゲートの降下・運用後、上層の塩化物イオン濃度は、9月25日に最大 62mg/l を記録したが、ほとんど 30mg/l 以下で維持されていた。
- ・ 一方、下層の塩化物イオン濃度は、9月22日に最大 660mg/l を記録し、9月21日から24日まで 200mg/l を上回る時が続き、9月27日にも 200mg/l を下回るものの高い値が記録されていた。
- ・ 台風 26 号により 9月29日に全ゲートを全開したところ、高潮の遡上に合わせ約 13,000mg/l の高い塩化物イオン濃度が記録されたが、その後、上流からの出水により塩化物イオン濃度は直ぐにゼロ近くに低下した。
- ・ 再び全ゲートを降下・運用を開始した 10月1日以降、塩化物イオン濃度は、下層で概ね 50mg/l 以下に、また、上層で 20mg/l 以下に維持された。
- ・ 9月18日から行った全ゲート運用では、河川流量が最大約 1,400 m³/s を経験した後の運用開始であったのに対し、10月1日からの全ゲート運用では約 4,400 m³/s を経験し、河床の凹地部分も含めて堰上流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。

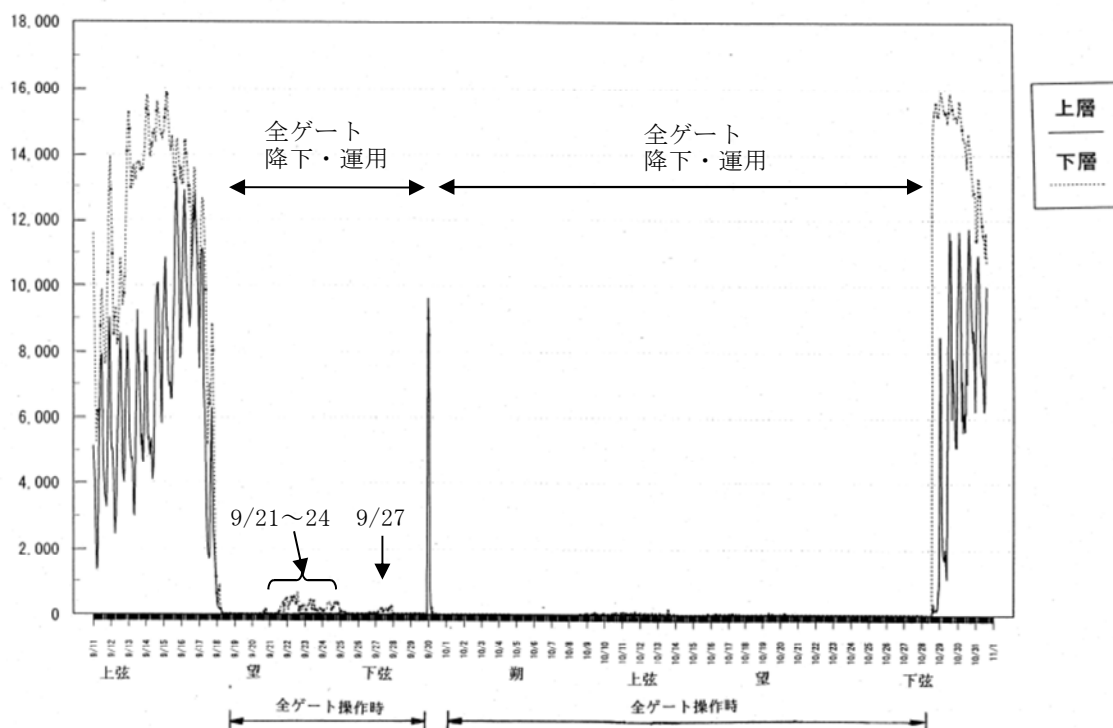


図 4 塩化物イオン濃度変化図 (堰上流 1.6km)

3 まとめ

- ・ 河口堰地点で約 1,400 m³/s 以上の出水があれば、河川の流水により塩化物イオン濃度は大幅に低減できるものの、長良導水の取水地点付近（堰上流約 7km）の塩化物イオン濃度が下層で 200mg/l を上回るなど、長良導水の復元が可能となるまでの塩水排除はできていないことが確認された。
- ・ 特に、下層や凹地部分の塩化物イオン濃度が高く、長良導水の復元に向け確実に堰上流域の塩水排除を行うためには、出水を利用した塩水排除に加え、別途の塩水排除手法を組み合わせることが必要と考察される。
- ・ ちなみに、台風等の降雨により、約 4,400 m³/s 以上の出水があれば、河床の凹地部分も含め、堰上流域の塩水を概ね排除できると考察される。
- ・ なお、これらの考察は平成 6 年の実績だけから判断したものであり、河川の流量が同じであっても、開門調査終了時の潮の状況、河床状況等により状況が変わることも考えられる。

第 3 長良川河口堰運用開始後の塩水排除事例の調査 ～平成 16 年 7 月 18 日洪水時の調査～

1 検討の目標

- ・ 長良川河口堰の管理・運用開始後に堰上流域に塩水が遡上した際にアンダーフロー操作等により塩水を排除した実績データを収集・確認し、長良導水の復元に係る知見を整理する。

2 調査内容

(1) 堰上流域の塩水排除に関する事例の確認

- ・ 長良川河口堰の管理・運用開始後に堰上流域へ塩水が遡上し、その塩水を排除した事例としては、平成 16 年 7 月 18 日洪水時の事例がある。
- ・ 本事例は、堰流入量が 800 m³/s に到達したことから、施設管理規程に従いゲートを全開操作（18 日 17:30 に全開）したところ、堰上流域に塩水が遡上し、堰上流域における塩化物イオン濃度が長良導水の取水基準値

(20mg/ℓ) を超え (18 日 18:10 頃)、長良導水の取水停止に至った。(19 日 9:35)

- その後、引き潮を利用し塩水排除を行うため、干潮時までゲートの前開を継続し、最干潮予定時刻に合わせてゲートを全閉した。(19 日 0:40 全閉)
- ゲート全閉後も堰上流域に遡上した塩水が残留したため、堰上流の水位回復を待って、アンダーフロー操作を断続的に実施し、堰上流域に遡上した塩水を排除した。
- この塩水遡上に伴い、堰上流域の塩水を排除し、長良導水の取水を再開するまでに約 67 時間 (3 日弱) を要している。
- この一連の経過については表 1 のとおりである。

表 1 平成 16 年 7 月 18 日洪水時における塩水遡上・排除の経過

日付	時刻	ゲート操作	時刻	塩化物イオン濃度等
7/18	17:30	施設管理規程に従い、ゲートを全開 (堰流入量が800m ³ /sに到達)		
		↑ 塩水遡上後、引き潮により塩水排除を行うため、ゲート全開を干潮時まで継続 ↓	18:10	堰上流の塩化物イオン濃度が、監視体制強化の目安となる20mg/ℓを超える
7/19	0:40	最干潮予定時刻に合わせてゲートを全閉		塩化物イオン濃度の最大値 ・堰直上流左岸下層 (河口から5.65km地点) 約15,000mg/ℓ ・伊勢大橋地点低層 (河口から6.4km地点) 約1,400mg/ℓ ・長良導水取水地点 (河口から7.1km地点) 約65mg/ℓ
7/20		堰上流の水位回復を待ち、塩水の流下に効果が期待できるアンダーフロー操作を継続 ⇒堰上流に遡上した塩水の排除		
7/21				
			13:00	塩化物イオン濃度が平常値 (10mg/ℓ) に安定 長良導水取水再開

約 67 時間

※これ以降、このような塩水の遡上は発生していない。

塩水が遡上した原因の究明及び再発防止策の検討が行われ、新たな操作ルールを施設管理規程に位置付ける手続きを了している。

(2) 堰上流域の塩水排除の状況確認

- 堰上流域の塩水排除状況を確認するため、平成 16 年 7 月 18 日から平成 16 年 7 月 21 日までの堰上下流の水位、堰流入量、堰流出量及び堰上流域の塩化物イオン濃度を水資源機構から入手した。
- 上記データを図化した堰上下流水位と堰流量の時系列グラフは図 5、堰上流域における塩化物イオン濃度（伊勢大橋（堰上流約 0.6km）、長良導水（堰上流約 1.6km））の時系列グラフは図 6 のとおりであり、次のとおり考察される。
- 塩水遡上直後、伊勢大橋地点における低層（T.P-4.5m）の塩化物イオン濃度は約 1,400mg/ℓまで上昇したことが確認される。（底層（T.P-5.3m）のデータは欠測）
- その後、堰流入量（河川流量）が約 800 m³/s 以上という条件の下でゲートの全開を保ち、引き潮を利用した塩水排除を行ったことから低層の塩化物イオン濃度は急激に低下している。
- ゲートを全閉した時点で、伊勢大橋地点における低層の塩化物イオン濃度が約 200mg/ℓ前後に低減したものの、底層の塩化物イオン濃度は約 800mg/ℓにとどまり、長良導水の取水基準値（20mg/ℓ）を大幅に超過する状況となっている。
- その後、底層の塩水を排除するため、堰上流の水位回復を待ち、堰上下流の水位差を確保しつつ、引き潮に合わせてアンダーフロー操作を 5 回実施することにより、堰上流域の塩化物イオン濃度は段階的に低下し、21 日 13 時に長良導水の取水再開に至った。（塩水遡上から 67 時間）
- なお、上記アンダーフロー時における堰流入量（河川流量）は、概ね約 300 m³/s から約 150 m³/s の間で推移している。

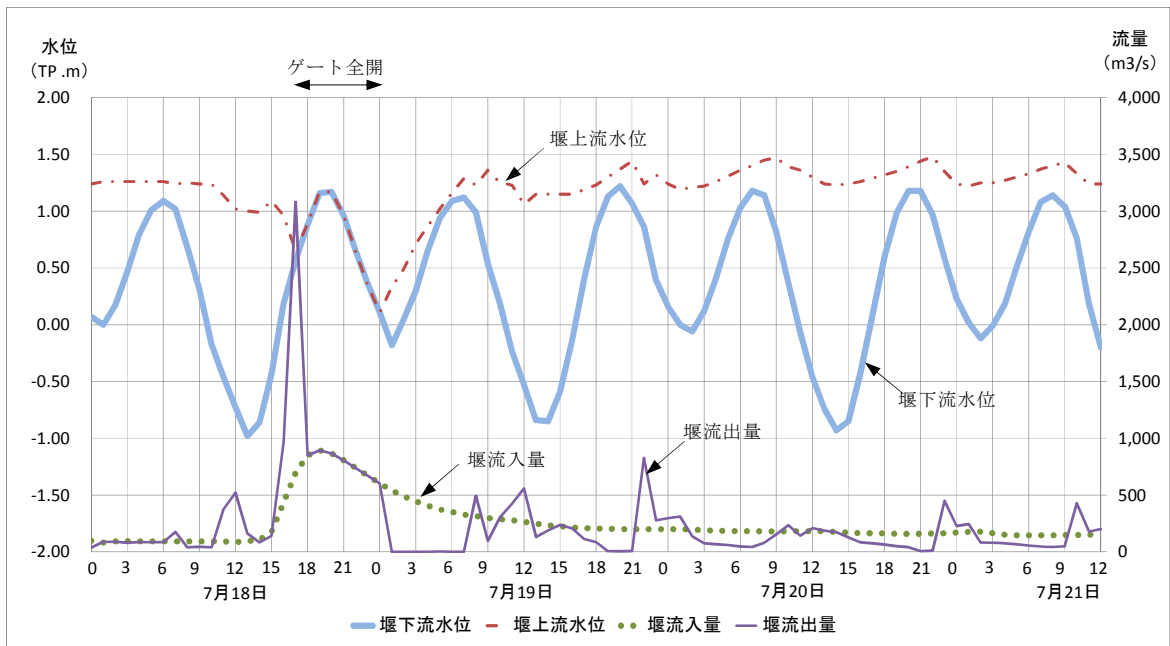


図5 堰上下流水位と堰流量

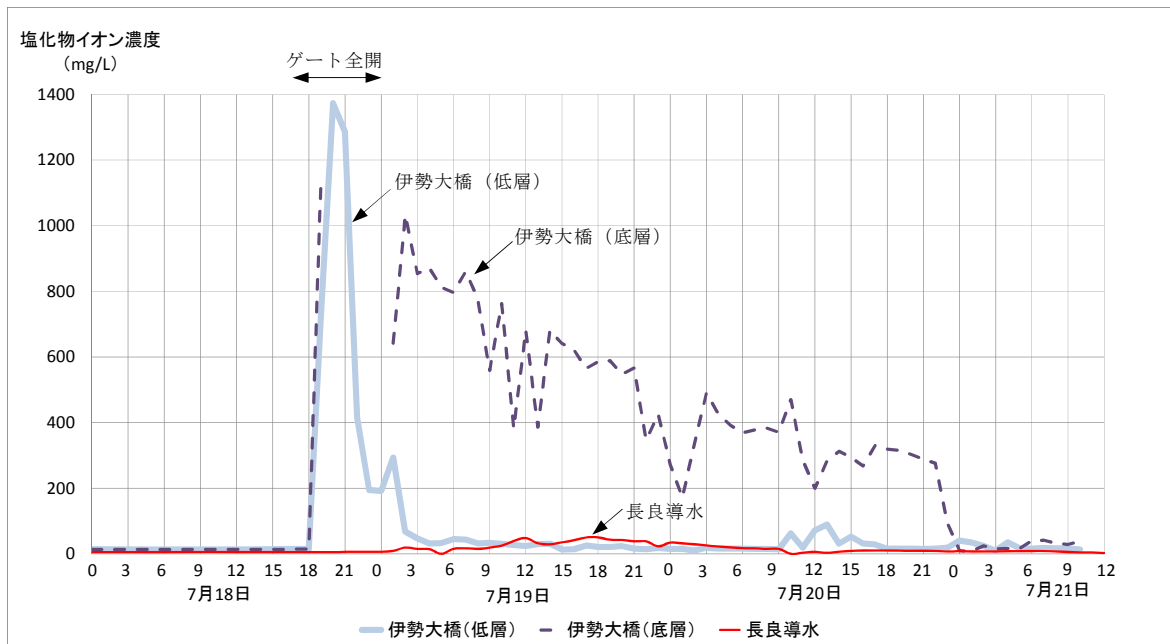


図6 塩化物イオン濃度

3 まとめ

- ・ 平成 16 年 7 月 18 日洪水時の事例では、塩水排除開始時に堰流入量が約 800 m³/s 以上という条件下で引き潮を利用し塩水排除を行い、その後、引き潮に合せたアンダーフロー操作を 5 回行うことにより塩水を排除している。
- ・ アンダーフロー過程においても、堰流入量が概ね約 300 m³/s から約 150 m³/s と比較的大きかったという条件もあり、塩水排除は約 67 時間で完了している。
- ・ この事例では、塩水が堰上流域に遡上していた時間が 3 時間程度と短い上に、河川流量も約 800 m³/s 以上と多いことから遡上した塩水の量は比較的少ないと思われるが、開門調査実施後に塩水排除を行う場合には、堰上流域により多くの塩水が遡上していることとなるため、塩水を排除するにはより長い期間が必要になると考えられる。
- ・ また、アンダーフロー操作による底層の塩水排除については、堰の直上流部でしか効果がない可能性があり、さらに上流の底層や凹地部分の塩水を排除する手法については、更なる検討が必要である。

第 4 長良川の河川流況の調査

1 検討の目標

- ・ 長良導水の復元（堰上流域の塩水排除）に適した時期や、必要な期間を検討するため、長良川の河川流量（墨俣地点）の実績データを収集・整理し、今後の検討の基礎資料とする。

2 調査内容

(1) 河川流況データの入手

- ・ 平成 10 年 1 月 1 日から平成 23 年 12 月 31 日までの長良川の河川流量データ（墨俣地点）を中部地方整備局から入手する。

(2) 長良川（墨俣地点）の月別最大流量等の整理

- 平成10年1月1日から平成23年12月31日までの14年間における長良川（墨俣地点）の月別の最大流量（日平均流量が最大となった日の流量）と平均流量を整理する。
- 上記の整理結果は、表2のとおりである。

表2 長良川（墨俣地点）の河川流量の実績

月	月別最大流量															平均流量
	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H10~H23
4		1,525	378	435	96	288	1,205	792	155	742	54	343	313	859	501	157
5		929	427	252	127	394	331	832	219	777	393	291	579	832	1,737	172
6		891	1,301	1,072	954	841	710	1,285	129	833	554	855	766	1,883	706	193
7		1,557	584	451	462	2,224	993	232	1,567	2,548	2,622	398	1,924	1,625	666	302
8		499	677	290	667	220	1,164	1,529	837		121	899	1,670	649	900	195
9		1,004	3,519	2,894	420	226	726	1,889	586	621	697	351	69	710	1,852	252
10		2,542	187	245	281	354	120	2,999	95	90	181	731	352	370	402	151
11		81	140	340	98	135	532	157	353	61	43	142	194	268	359	72
12		75	37	57	81	160	270	586	42	142	131	85	63	176	58	56
1	384	62	108	222	438	268	60	53	425	67	133	63	112	67		75
2	322	116	47	100	96	121	176	203	351	242	59	268	1,302	174		80
3	379	450	371	159	724	211	164	515	359	493	329	930	605	222		132

※使用した流量データは日平均値であり、瞬時の最大値ではない。
 ※平成18年8月は欠測により実績データがなかった。

第5 堰上流域の塩水排除に適した時期や期間の検討

1 検討の目標

- 開門調査を終了する際には、堰上流域の塩水排除を確実にかつ短期間に行うため、第2から第4までの調査で整理した知見を基に、堰上流域の塩水排除に適した時期や期間について考察する。

2 調査・考察内容

(1) 大規模な出水を利用した塩水排除について

ア 調査内容

- 第2において、平成6年の実績から、長良川の河川流量が約 4,400 m³/s 以上の状態であれば堰上流域の概ねの塩水の排除は直ちに可能であり、河川流量が約 1,400 m³/s 以上の状態であれば、塩水排除はできないものの、塩化物イオン濃度は大きく低減できると考えられるという知見が得られている。
- ここでは、第4で整理した平成10年から平成23年までの長良川（墨俣地点）の河川流量の実績を基に、月毎に堰流入量が①4,400 m³/s 以上、②1,400 m³/s 以上を記録した年数を整理する。
- 上記の整理結果は、表3のとおりである。

表3 長良川（墨俣地点）の大規模な出水発生年数

月	対象年数	4,400 m ³ /s以上		1,400 m ³ /s以上	
		発生年数	左記割合	発生年数	左記割合
4	14	0	0%	1	7%
5	14	0	0%	1	7%
6	14	0	0%	1	7%
7	14	0	0%	7	50%
8	13	0	0%	2	15%
9	14	0	0%	4	29%
10	14	0	0%	2	14%
11	14	0	0%	0	0%
12	14	0	0%	0	0%
1	14	0	0%	0	0%
2	14	0	0%	0	0%
3	14	0	0%	0	0%

※本表の整理に使用したデータは日平均値であり、瞬時の最大値ではない。

イ 考察

- 平成10年1月1日から平成23年12月31日までの14年間の実績では、長良川の最大流量が4,400 m³/s を超えた月は確認できなかった。（最大値は、平成11年9月の3,519 m³/s）
- また、上記と同様の期間で長良川の最大流量が1,400 m³/s を超えた月

の発生頻度は、最も高い7月でも50%であった。

- ・ 以上から、開門調査終了時に大規模出水を利用して堰上流域の塩水排除を行い、長良導水を復元させる計画を策定することは困難と考えられる。

(2) アンダーフローを利用した塩水排除について

ア 調査内容

- ・ 第3において、平成16年7月18日洪水時の事例から判断して、塩水排除開始時に堰流入量が約 $800 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上という条件下で引き潮を利用し塩水排除を行い、その後、引き潮に合せたアンダーフロー操作を繰り返すことにより堰上流域の塩水排除を行った実績の知見が得られている。
- ・ ここでは、この事例と同様の河川流況の下で同様の操作を行えば塩水排除が可能であると仮定し、塩水排除開始時に必要となる $800 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の出水の発生実績とアンダーフローによる塩水排除に必要な日数について、調査・検討する。

イ $800 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の出水の発生実績

- ・ 第4で整理した平成10年から平成23年までの長良川（墨俣地点）の河川流量の実績を基に、月毎に堰流入量が $800 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上を記録した年数を整理する。
- ・ 上記の整理結果は、表4のとおりである。

表4 長良川（墨俣地点）の800 m³/s以上の出水発生頻度

1 か月間スパン				2 か月間スパン				3 か月間スパン			
月	対象年数	年数	左記割合	月	対象年数	年数	左記割合	月	対象年数	年数	左記割合
4	14	3	21%	4～5	14	5	36%	4～6	14	11	79%
5	14	4	29%	5～6	14	10	71%	5～7	14	14	100%
6	14	9	64%	6～7	14	13	93%	6～8	14	14	100%
7	14	8	57%	7～8	14	11	79%	7～9	14	13	93%
8	13	6	46%	8～9	14	9	64%	8～10	14	9	64%
9	14	5	36%	9～10	14	5	36%	9～11	14	5	36%
10	14	2	14%	10～11	14	2	14%	10～12	14	2	14%
11	14	0	0%	11～12	14	0	0%	11～1	14	0	0%
12	14	0	0%	12～1	14	0	0%	12～2	14	1	7%
1	14	0	0%	1～2	14	1	7%	1～3	14	2	14%
2	14	1	7%	2～3	14	1	7%	2～4	14	5	36%
3	14	1	7%	3～4	14	5	36%	3～5	14	6	43%

※本表の整理に使用したデータは日平均値であり、瞬時の最大値ではない。

- ・ 長良川の最大流量が800 m³/s以上となった日が発生する頻度は、1か月スパンの頻度（1か月間に最低1日は800 m³/s以上となる日が発生した頻度）は、最も高い6月でも64%と少ないが、3か月スパンで見れば、5月から7月又は6月から8月までの2期間で1回以上の発生が確認できた。

ウ アンダーフローによる塩水排除に必要な日数

- ・ アンダーフローによる塩水排除は、堰上流へ流入した流水を溜め、堰下流と堰上流の水位差を大きくし、引き潮に合わせて、ゲート下より放流する手法であるため、瞬時の流量ではなく、塩水排除に使われた水の総量に着目し検討することとする。
- ・ ここでは、平成16年7月18日洪水時の事例において、アンダーフローによる塩水排除を行った期間（ゲート全閉から長良導水取水再開までの約61時間）に堰地点へ流入した総水量と同等の水量を使用すればアンダーフローによる塩水排除が可能であると仮定し、その水量が堰地点に流入するために必要な日数を月ごとに算定し、アンダーフロー必要

日数とする。

- 平成 16 年 7 月 18 日洪水時の事例において、アンダーフローによる塩水排除を行った期間に堰地点へ流入した総水量が約 32 百万 m^3 であることを確認した。
- 第 4 で整理した平成 10 年から平成 23 年までの長良川（墨俣地点）の平均流量を基に、月毎にアンダーフロー必要日数を算定する。
- 上記の整理結果は、表 5 のとおりである。

表 5 アンダーフロー必要日数

月	平均流量 (H10~H23)		アンダーフロー 必要日数
	m^3/s	百万 $\text{m}^3/\text{日}$	
4	157	14	3
5	172	15	3
6	193	17	2
7	302	26	2
8	195	17	2
9	252	22	2
10	151	13	3
11	72	6	6
12	56	5	7
1	75	6	5
2	80	7	5
3	132	11	3

- 5 月から 8 月までの期間であれば、約 32 百万 m^3 の水量を確保するために要する日数は、2 日から 3 日程度と確認される。

エ 考察

- 平成 16 年 7 月 18 日洪水時の事例や平成 10 年 1 月 1 日から平成 23 年 12 月 31 日までの 14 年間の長良川の河川流量の実績などから調査・検討した結果、「① 5 月から 7 月又は 6 月から 8 月の間を塩水排除期間と設定

し、降雨を待つ」、「②河川流量が約 800 m³/s 以上の状態となった段階で引き潮を利用した塩水排除の操作を開始」、「③その後、アンダーフローによる塩水排除を数日間繰り返す」というステップで、堰上流域を塩水排除する計画を策定することは可能と考察される。

- ただし、平成 16 年 7 月 18 日の事例より堰上流域に塩水が遡上することが想定されることから、そうした場合の確実な塩水排除計画については更なる検討が必要である。