

第3 これまでの検討の整理

1 優先して検討する項目の抽出

庁内検討チームの検討項目については、2012年度の愛知県長良川河口堰最適運用検討委員会（以下「検討委員会」という。）において、開門に伴う影響、利水に係る影響等について焦点を絞り、優先事項とすることが望ましいとの意見を踏まえ、次の2項目を優先して検討することとなり、現在も検討を継続している。

- ・水道水の安定供給を確保しつつ行う知多半島への水道水源の切り替え
- ・福原輪中の塩害防止に関する検討

検討の進め方や結果のとりまとめについても、検討委員会と意見交換を行い、検討委員会の助言などを得ながら、進めてきたところであり、「第2 愛知県の率先的行動に関する経過等」の「2 これまでの検討状況」で述べたとおり、庁内検討チームでは2012年度の設置以降、毎年度、開門調査に係る調査・検討の結果をとりまとめ、愛知県のWebページで公表している。

2 これまでの検討作業内容（一覧）

愛知県の率先行動	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度
水道水の安定供給を確保しつつ行う知多半島の水道水源の切り替え	知多半島の水源転換に関する検討			
	木曾川自流及び岩屋ダム貯留水への振替シミュレーション	岩屋ダム及び愛知用水系ダムからの補填について		
	岩屋ダムに振り替えた場合に想定される課題の検討			
	長良導水の復元(取水再開の河川条件)の検討	長良導水の復元(堰上流域の淡水化)の検討		
			長良導水の管内滞留水に係る課題の検討	
福原輪中についての塩害防止に関する調査	福原輪中の塩害防止に関する検討			
愛知県・名古屋市での節水努力の呼びかけ	愛知県・名古屋市での節水努力の呼びかけ			
愛知県の率先行動	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
水道水の安定供給を確保しつつ行う知多半島の水道水源の切り替え	知多半島の水源転換に関する検討			
	長良導水の復元(堰上流域の淡水化)の検討			
	長良導水の管内滞留水に係る課題の検討			
福原輪中についての塩害防止に関する調査	福原輪中の塩害防止に関する検討			
愛知県・名古屋市での節水努力の呼びかけ	愛知県・名古屋市での節水努力の呼びかけ			

※2012年度は、愛知県の率先行動(6項目)について概要等の取りまとめをおこなった。(平成24年度報告書参照)

3 水道水の安定供給を確保しつつ行う知多半島への水道水源の切り替え

(1) 木曾川自流・岩屋ダム・愛知用水系ダムへの振替等について

ア 木曾川自流及び岩屋ダム貯留水への振替シミュレーション

(ア) 木曾川自流を利用した振替の検討（2013年度）

1998年4月1日～2013年3月31日における木曾川大堰からの下流放流量(以下「馬飼放流量」という。)の実績データから長良導水の振替需要量^{※1}を差し引き、木曾川自流から取水可能な日(振替取水後の馬飼放流量が50 m³/sを超える日^{※2})を判定した結果、以下の期間で取水可能と確認できた。

期間	日数
3月中旬～4月中旬(3/9～4/20)	43日間
10月中旬～11月上旬(10/16～11/21)	37日間

※1 月別の振替需要量(m³/s)

月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
振替需要量	1.91	1.90	2.13	2.06	2.06	2.04
月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
振替需要量	1.93	1.94	2.02	2.02	2.00	1.93

2010年4月1日～2013年3月31日の長良導水の取水実績データから月別最大の日取水量を抽出。抽出したデータに幹線ロス(5%)を乗じて、木曾川大堰からの取水量に換算した結果を月別の振替需要量を設定した。

なお、岩屋ダムにおいて取水制限が行われていた時期については、振替需要量に同率の取水制限率(本県の水道用水の取水制限率)を掛けるものとする。

※2 水道用水及び工業用水の取水にあたっては、木曾川の馬飼地点の流量が50 m³/sを超える場合にのみ、その超える量の範囲内で自流を取水できている。

なお、不足する場合には、不足分を岩屋ダムから放流し、補給することとなっている。(=利水供給)

(イ) 長良導水の代替水源確保が期待できる期間について(2014年度)

a 木曾川自流から取水可能期間以外に、長良導水の代替水源(岩屋ダム・愛知用水系ダムからの補給)の確保が可能な期間の検討
 前述(ア)で検討した木曾川自流から取水可能な日に加え、岩屋ダム及び愛知用水系ダムから補給が可能な日をそれぞれ「岩屋ダム貯水量が平年値以上の日(平年値未満であっても確保貯留量^{※3}の90%以上ある場合を含む)」、「愛知用水系ダム貯水量が平年値以上の日」と設定し、代替水源確保日を抽出した。

その結果、1998年4月1日～2013年3月31日までの実績デー

タから判断する限りにおいて、15年間を通して「木曾川自流から取水可能な日」、「岩屋ダム貯水量が平年値以上の日（平年値未満であっても確保貯留量^{※3}の90%以上ある場合を含む）」、「愛知用水系ダム貯水量が平年値以上の日」の何れかの条件に当てはまる日が長期に連続する期間を抽出したところ、2月25日～4月20日及び10月1日～11月23日の計109日間となった。

期間	日数
2月下旬～4月中旬（2/25～4/20）	55日間
10月上旬～11月上旬（10/1～11/23）	54日間

※3 岩屋ダムの確保貯留量

- ・通常の期間（次図のVカットを除く期間）については、利水 61,900 千 m^3 までは、流入量（岩屋ダムが存する馬瀬川筋の河川自流としての流入量）は優先的に利水容量に貯留され、これを超える分は発電容量に振り替えられている。
- ・Vカット期間（2月20日～5月20日）については、次図の確保貯留量（利水のために確保すべき貯留量）までは、流入量は優先的に利水容量に貯留され、これを超える分は発電容量に振り替えられている。
- ・中部電力が発電のために飛騨川筋から岩屋ダムに流下させる中呂導水は、基本的に発電容量に貯留されている。また、ダム直下の馬瀬川第一発電所から岩屋ダムへの発電揚水も発電容量に貯留されている。

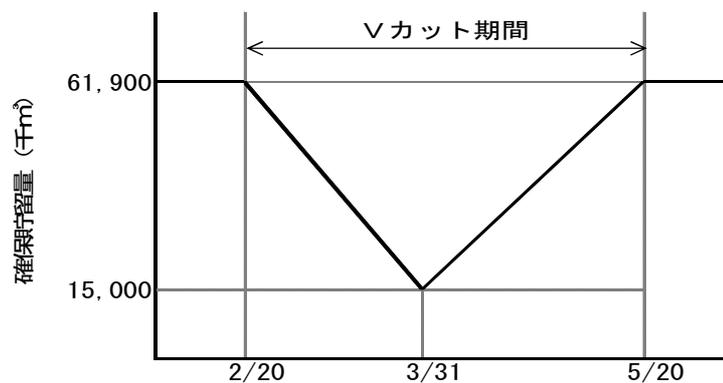


図 Vカット期間の確保貯留量

(ウ) 岩屋ダム貯留水の振替シミュレーション

a 岩屋ダム貯水量への影響の検討(2013年度)

木曾川自流から取水ができない期間は岩屋ダムから振替すると想定した。実績の馬飼放流量から長良導水の振替需要量^{※1}を差し引くことにより、振替後のダムからの利水補給量を算定し、1998年4月1日～2013年3月31日における岩屋ダム貯水量等の実績データとシミュレーションした振替後の貯水量とを比較した結果、以下の影響が考えられ、長良導水のみならず、岩屋ダム・木曾川総合用水の利水安全度は現状より低下することが考えられる。

[現実に岩屋ダムにおいて取水制限が行われていた時期]

- ・取水制限の開始が早まる
- ・取水制限がより強化される
- ・取水制限の解除が遅れる。

[岩屋ダムにおいて取水制限が行われていなかった時期]

- ・新たな取水制限が発生し得る。

b 自流及び岩屋ダム振替を行った場合、岩屋ダム貯水量への影響の大きい期間^{※4}の検討（2014年度）

前述 a の結果から、1998年4月1日～2013年3月31日までの15年間の実績データに基づき、岩屋ダム貯水量への影響が大きいと考えられる期間を抽出したところ、以下のとおりとなった。

期間	日数
4月下旬～7月中旬（4/21～7/15）	86日間
7月下旬～3月上旬（7/21～3/2）	225日間

※4 「影響が大きい期間」

1998年4月1日～2013年3月31日の実績データに基づきシミュレーションした振替後の岩屋ダムの貯水量が平年値未満となっている日（ただし、平年値未満であっても、確保貯留量^{※3}の90%以上ある場合を除く。）があった期間。

【参考】 岩屋ダム貯水量への影響が大きい期間^{※4}における愛知用水系ダムからの補填の検討（2014年度）

前述(ウ) b で抽出した期間において、愛知用水系のダム（牧尾ダム、阿木川ダム、味噌川ダム）の貯水量の実績を確認したところ、平年値を下回ることが多く、補填を期待できる状況にはなかった。

特に2005年6月の渇水時においては、岩屋ダム及び愛知用水系ダムの貯水量が同時に急激に減少していた。

(オ) まとめ

長良導水の代替水源確保が期待できる期間は、2月25日～4月20日及び10月1日～11月23日の計109日間となったが、木曾川自流から取水可能期間（3月9日～4月20日及び10月16日～11月21日）を除く期間において、長良導水の振替需要量の全量を振り替えることは困難であることが多い。そのため、この期間において振替可能となる水量の検討が課題として見えてきた。

(2) 岩屋ダムに振り替えた場合に想定される課題の検討

ア 岩屋ダムに振り替えた場合に想定される課題の検討(2013, 2014 年度)

知多半島地域の水道水源である長良導水を木曾川大堰からの取水に振り替えた場合に想定される課題の抽出と対処方法を検討した。

(ア) 想定される課題と検討事項

課題項目	検討事項
a 筏川取水場除塵機設置等	・ 除塵機のリースが可能か ・ 開門調査が短期間の場合の対応方法
b 弥富ポンプ場維持管理方法	・ 停止中のポンプの試運転の要否 ・ ポンプ試運転による水の確保
c 長良導水（管内）の復元方法	・ 滞留水の処分する場合の検討 ・ 滞留水の処分を回避する場合の検討

a 筏川取水場除塵機設置等

- ・ 除塵機リースは不可であるが、短期間ならばスクリーンで対応可能である。
- ・ 長期間の開門調査ならば、維持管理を考慮（人力による集塵作業は困難）して、除塵機設置が不可欠である。

b 弥富ポンプ場維持管理方法

- ・ 短期間の開門調査ならば、試運転に問題は少ない。
- ・ 長期間の開門調査ならば、ポンプ井の水質改善（悪臭等の克服）を検討する必要がある。

c 長良導水（管内）の復元方法

- ・ 滞留水を産廃処分する場合には、多大な処分費用を要し、その予算措置が必要となる（約 7.7 億円と試算）。また、導水路からポンプアップした滞留水を仮置きするスペースの確保等の措置が必要である。
- ・ 滞留水の処分を回避する場合には、滞留水の水質レベルを確認する必要がある。また、水道原水として利用することによるリスク軽減策（浄水場での活性炭処理や海部幹線水路と長良導水の水の混合など）や供給エリアの住民等に理解を得ることが必要となる。

(イ) その他（水源切り替えに伴う手続き等）

a 水資源機構法

工業用水道事業として確保した岩屋ダム、木曾川用水施設を水道事業で使用するならば、水資源機構法に定める各施設の施設管理規程での位置付けが必要となる。

なお、本件の取扱いについては、施設管理者である水資源機構への相談が必要である。

b 河川法

現在、水資源機構が取得している長良導水の水利使用許可を停止するとともに、水資源機構が新たに馬飼地点で取水する水道用水の水利使用許可を取得する必要がある。

なお、本件の取扱いについては、河川管理者である国土交通省（中部地方整備局）への相談が必要である。

c 補助金等に係る予算の執行の適正化に関する法律

建設負担金に工業用水の国庫補助金を充当した岩屋ダム・木曾川用水施設の一部を水道で使用するならば、補助金等に係る予算の執行の適正化に関する法律（適化法）に基づき目的外使用等の手続きが必要となる。

なお、本件の取扱いについては、補助金交付の主務省である経済産業省（中部経済産業局）への相談が必要である。

d 水道法

現行の認可計画で定める知多浄水場の水源及び取水地点を変更するならば、水道法に基づき事業計画の変更が必要となる可能性がある。

なお、本件の取扱いについては、厚生労働省への相談が必要である。

イ 長良導水の管内滞留水に係る課題の検討（2015～2020年度）

(ア) 管内滞留水の水質調査（2015～2018年度）

前述(ア) cにおいて、開門調査を行う場合の導水管内滞留水処分の方法が課題となっている。特に、長良導水は取水開始以降、長期間の取水停止を行っていないため、切替え期間中にどの程度管内滞留水の水質が変化するか知見は十分に得られていない状況である。そこで、管内滞留水の水質変化について、サンプル水（弥富ポンプ場ポンプ井水）をもとに水質調査を行った。

a 2015～2016年度の調査内容及び結果

開門調査を1～3か月の短期間、6か月、1年以上の長期間の場合を含め複数のイメージを想定し、その期間が経過した後の水質調査を行った。

(a) 調査方法

- ①検体採取場所は弥富ポンプ場ポンプ井の底層部分とし、原水と底泥を均一に攪拌して複数の1ℓビンに分取する。
- ②水質調査は、採水時、一定期間保存後（1か月、3か月、6か月、1年、1年半）の計6回とし、保存期間中の検体は常温暗所で遮光保存する。これら6通りについて、各3本採取する。（計18本）
- ③水質調査項目は、電気伝導度、pH、臭気、かび臭物質（2-MIB及びジェオスミン）、DO（溶存酸素）、DOC（溶存性有機炭素）、TOC（全有機炭素）及びアンモニア態窒素とする。

- ④比較検体として、長良導水取水口付近の河川水を2本の1ℓビンに採水し、採水時と一定期間保存後（1年半後を想定）の水質を調査する。



出典：水資源機構（長良導水管理所）パンフレット

(b) 調査結果

① 採取日当日 (2015. 6. 22)

弥富ポンプ場で採取した検体を水質試験所に運び、その日のうちに3本の検体を検査したが、臭気物質（2-MIB及びジェオスミン）について、水質基準を上回る値は見られなかった。臭気については、いずれも厨芥臭だった。

② 1か月後から6か月後

1か月後には、臭気物質である2-MIBとジェオスミンの値が、いずれの検体も僅かに上昇している。3か月後にはそれらの数

値は概ね低下しているが、臭気強度が全て 50 となり強い硫化水素臭が放たれている結果となった。6 か月後には、臭気物質の 2-MIB とジェオスミンは、いずれも僅かに低下傾向にあったものの、硫化水素臭については臭気強度が 100 まで上がった検体があった一方で、逆に硫化水素臭が消えた検体があり、もう 1 本は、臭気強度が 10 だった。

③ 1 年後

6 月 15 日に測定しているため、概ね採水時の水温に戻った。前回の測定値と比べ特に大きな上昇をしているものはなかった。また、硫化水素臭については、1 本で臭気強度が 30 あったが、残る 2 本では微藻臭であった。

④ 1 年半後

12 月 8 日に測定しているため、前回と比べ水温がかなり低下しており、16.1℃となっている。硫化水素臭が 2 本のサンプルであるものの、その臭気強度は 1.0 と 5.0 であり、これまでと比べ低い値となっている。また、1 年後の検体でも 3 本中 2 本で硫化水素臭がなかったことから時間の経過とともに硫化水素が消滅していく傾向があることも考えられる。

(c) まとめ

取水口地点で取水したものが時間経過しても取水時よりも改善しているのに比べ、底泥を含んだ原水は時間経過による水質の悪化が見られた。特に水温が高い場合には臭いが問題になる可能性が高いと考えられる。

また、1 か月程度であれば、周辺に迷惑をかけるようなレベルの水質悪化は無いものと推察されるが、水道原水としては臭気物質の数値が上昇することからすると、適当とは言い難い。3 か月後の結果において、硫化水素臭があったことからすると、悪臭対策や処分の方法等、対応策を検討する必要があると考えられる。6 か月後以降の水質検査結果は、それ以前に比べて水質が良化しているように見えるが、臭気について検体ごとのばらつきが大きいことなどから、引き続き採水方法等の改善を行い水質の経年変化の把握に努め、滞留水の処分方法について検討を進めることとした。

b 2016～2018 年度の調査内容及び結果

前述 a での水質調査の結果から、臭気について検体ごとに異なったり、根拠の特定されない数値の挙動を示していることから、検討委員会委員からサンプルの取り方等に課題があるとの見解が示された。

水質検査結果が異なる挙動を示すのは、別々のビンで採水しているため、ビンごとの汚泥量や質の違いが生じ、厳密に同一水の経時変化とは言えなかったことが原因と考えられる。

このため、同一汚泥原水の経時変化を調べるため、一つの容器から一定期間ごとに分取して測定を行うこととした。

(a) 調査方法

- ① 検体採取場所は弥富ポンプ場ポンプ井の底層部分とし、原水と底泥を均一に攪拌して7.5ℓ袋に分取する。(3検体)
- ② 水質調査は、採水時、一定期間保存後(1週間、1か月、3か月、6か月、1年、1年半)の計7回とし、保存期間中の検体は知多浄水場の原水平均水温17℃となるよう恒温器で遮光保存する。
- ③ 水質調査項目は、電気伝導度、pH、臭気、かび臭物質(2-MIB及びジェオスミン)、DO(溶存酸素)、DOC(溶存性有機炭素)、TOC(全有機炭素)、アンモニア態窒素、硫酸イオン、硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素とする。
- ④ 比較検体として、長良導水取水口付近の河川水を2本の1ℓビンに採水し、採水時と一定期間保存後(1年半後を想定)の水質を調査する。

(b) 調査結果

① 採取日当日(2017.3.1)

弥富ポンプ場で採取した検体を水質試験所に運び、その日のうちに3本の検体を検査したが、臭気物質(2-MIB及びジェオスミン)は水質基準を上回っており、いずれもどぶ臭だった。

前回調査の検体と比較すると2-MIBで約9倍、ジェオスミンで約6倍、アンモニア態窒素で約9倍、TOCで約5倍となったが、この原因は原水と底泥を混合する際に底泥の割合が前回調査に比べ多くなったためと思われる。

② 1週間後

採水当日は高い値を示した溶存酸素の値が、1週間後にはいずれの検体においても大きく減少し嫌気状態になっている。この溶存酸素の減少は、TOCも減少していることから、微生物の活動による有機物の分解に伴って酸素が消費されたことが一因と思われる。また、臭気物質であるジェオスミンは、いずれも減少しているが、臭気はどぶ臭から厨芥臭と土臭に変化している。

③ 1か月後

1週間後の測定と比べるとアンモニア態窒素がいずれも上昇している、一方、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素はいずれも減少している。このことからアンモニア態窒素の上昇は、嫌気状態の下でこれらの物質の還元が進んだ結果によるものと思われる。臭気物質であるジェオスミン及び2-MIBは、わずかに上昇している。

④ 3か月後

アンモニア態窒素、ジェオスミン及び2-MIBは、引き続き増加傾向を示している。その他の値については、TOCを除き大きな

変化はないが、TOCについてはいずれの検体でも大きく上昇している。また、臭気については硫化水素臭が発生しており低酸素状態において腐敗が進行していると思われる。

なお、水温が大きく上昇しているが、これは恒温器の一時的な不調のためである。

⑤ 6か月後

アンモニア態窒素、ジェオスミン及び2-MIBは、引き続き増加傾向を示している。臭気については、土臭が消え3検体とも硫化水素臭に変化している。この原因は原水中の硫酸イオンが減少していることから、嫌気状態のもとで硫酸イオンの還元が進み硫化水素が発生したことが原因と思われる。また、TOCについてはいずれの検体でも前回測定値から減少している。各検体の測定値は概ね同じ傾向を示しているが、検体ごとの測定値の開きが目立ってきた。これは検体の底泥の含み具合によるものと考えられる。

⑥ 1年後

硫化水素臭の臭気強度が、いずれの検体でも50となっており、これまでと比べ非常に高い値となっている。また、TOCについては、6か月後の測定値はいずれの検体でも減少していたが、今回の調査ではいずれの検体でも大きく上昇している。

⑦ 1年半後

検体ごとに測定値等のばらつきが大きくなっており、1つの検体では臭気強度が前回測定と同様に臭気強度が50の硫化水素臭であったが、残りの2つは臭気強度5の腐敗臭となった。また、TOCについて133mg/lまで上昇したのものもあった。

(c) まとめ

導水管内の滞留水については、前回調査で認められた強い臭気は無かったが、溶存酸素濃度の減少に伴い硫酸イオンの還元が進み硫化水素臭が発生している。また、時間の経過とともにアンモニア態窒素濃度が高くなる傾向があることから、水道原水としては適当とは言い難い。

1週間程度であれば、アンモニア態窒素濃度の上昇は見られない。しかしながら、DOが減少しており嫌気状態となっているため、底泥中で固体として存在していた金属類が還元されイオンとなり水中に溶出してくることが懸念される。

なお、一般的にマンガンや鉄はかなりの濃度で底泥中に存在しており、これらがイオンとして水中に溶出した場合には再度、酸化するために通常処理以上に次亜塩素酸ナトリウムの注入が必要となる上、不足した場合にはマンガンがマンガン砂（接触酸化でマンガン除去するには、同時に次亜塩素酸ナトリウムが存在するこ

とが条件)で捕捉されず、浄水処理水が着色することになる。

1か月後以降の結果は、アンモニア態窒素濃度が高くなっているが、アンモニア態窒素による影響で次亜塩素酸ナトリウムの消費量を増大させるなど浄水処理過程での残留塩素濃度のコントロールが困難となるため、この水がそのまま水道原水として利用されることは適当でない。なお、長良導水取水口地点の水には微量のアンモニア態窒素が定常的に含まれているが、知多浄水場までの導水管を流下する間に減少し、浄水処理に影響を与えることはない。

また、前回調査と比較すると臭気やアンモニア態窒素濃度の挙動に大きな違いが認められたが、これは検体の保管方法及び原水と底泥の混合割合の違いが原因と推測される。しかしながら、道路に布設された導水管内の水温や開門調査時に導水管内に滞留する水の水質はさまざまであることが想定されることから、両調査結果を踏まえて対応を検討する必要があると思われる。

これまでの調査から短期間なら浄水処理に影響のある臭気強度やアンモニア態窒素の上昇が少ないことが分かっているため、今後は、これらの測定値が上昇する前までの期間にするとともに、新たに測定が必要と考えられることが判明した金属類の溶出状況を新たな検体で確認することを検討していくこととした。

c 2018年度の調査内容及び結果

これまでの調査により、長良導水管内の水質変化については、時間経過による臭いやアンモニア態窒素などの上昇により水道原水として適さなくなることが分かっているが、溶存酸素の減少が進んだ嫌気状態下で底泥中から溶出した金属類(鉄、マンガン)が浄水処理に影響を与える懸念があるため、金属類(鉄、マンガン)の溶出状況を新たに調査し確認する必要があることが判明した。

このため、新たなサンプル水を取水し、導水管内の水質劣化の状況として特に底泥からの金属類(鉄、マンガン)の溶出状況について確認した。

(a) 調査方法

- ① 弥富ポンプ場ポンプ井の堆積汚泥とポンプ井の水を採取。
- ② 堆積汚泥は、2mmメッシュのふるいにかけて後、均一になるよう混合する。
- ③ 堆積汚泥300gをアルミ製ラミジップ袋に量り取り、ポンプ井水6ℓを静かに注ぎ入れ、空気が入らないよう密封した検体を3検体調製し、調査検体A、B、Cとする。
- ④ 調査検体A、B、C及び弥富ポンプ場ポンプ井水を1ℓガラス瓶に満水にした比較用検体を17℃に保った恒温庫にて静置保存す

る。

- ⑤ 2週間後、1か月後、3か月後に各検体から採水した試料について、水質検査を実施する。なお、試料の採水にあたっては、内部の汚泥が巻き上がらないよう慎重に開封し、採水する。また、弥富ポンプ場ポンプ井水は3か月後のみ水質検査を実施する。
- ⑥ 各試料の採水後は、速やかに空気が入らないよう密封し、再度恒温庫で保存する。

(b) 調査結果

① 採水当日 (2018. 11. 14)

弥富ポンプ場で採水した検体を水質試験所に運び、検体を検査したが、臭気物質 (2-MIB 及びジェオスミン) について、水質基準を上回る値は見られなかった。臭気については、厨芥臭だった。

② 2週間後

採水当日は高い値を示した溶存酸素の値が、2週間後にはいずれの検体においても大きく減少し嫌気状態となった。また、アンモニア態窒素、鉄、マンガンは大きく増加している。臭気は厨芥臭からカビ臭に変化し、臭気強度はいずれの検体も5に上昇した。

③ 1か月後

溶存酸素の値は2週間後と同程度であったが、アンモニア態窒素、鉄、マンガンについては増加した。また、臭気は、カビ臭からカビ臭と腐敗臭に変化し臭気強度が20に上昇した検体が2つあった。

④ 3か月後

溶存酸素の値は1か月後と同程度であったが、アンモニア態窒素、鉄、マンガンについては引き続き増加傾向を示した。また、臭気は、カビ臭が感じられないほどの強烈な腐敗臭となった。臭気強度が100度まで上昇したのものもあった。

(c) まとめ

各検体とも時間の経過とともに調査検体は嫌気性の腐敗が進んでおり、腐敗臭が強くなり、3か月後には臭気強度が100に達する検体もあった。嫌気性の状況下で底泥からの鉄、マンガンの溶出が多く見られており、浄水処理に影響を与える恐れがあることが確認できた。また、今回の調査では2週間程度でアンモニア態窒素は増加しており、これまでの調査と同様にこの水がそのまま水道原水として利用されることは適当ではないことが確認できた。

一方、比較用として実施した弥富ポンプ場ポンプ井水は、3か月後の測定結果を見ると溶存酸素がやや減少したものの、他の項目については大きな水質変化は見られなかった。

- d 管内滞留水の水質調査の総括（2015～2018年度）
- 時間の経過とともに嫌気性の腐敗が進み、腐敗臭が強くなること及びアンモニア態窒素の増加を確認できた。
 - 底泥からの鉄、マンガンの溶出があり、浄水処理に影響を及ぼす恐れがあることを確認した。
 - 2週間程度の時間経過で水道原水として利用されることは適当ではない水質に変化することが確認できた。

(イ) 管内滞留水の入れ替え方法の検討（2019～2020年度）

a アオ取水の可能性の検討

前述(ア)管内滞留水の水質調査で、2週間から1か月程度で管内滞留水は水道原水として使用されることが適切でないことが分っているが、検討委員会委員から開門調査期間中は、定期的にあオ取水（満潮時に塩水によって押し上げられた河川表層の淡水（アオ））を取水する方法）を行い、長良導水管内滞留水を入れ替えて浄水処理を続けることができれば、これにより長良導水管内滞留水の産廃処理の必要もなくなるのではないかとの意見があったことから、長良導水取水口の構造及び長良川河口堰運用開始前の塩水遡上の状況に関する資料を収集し、アオ取水の可能性について検討した。

(a) 調査概要

長良導水取水口の構造については、施設管理者である独立行政法人水資源機構から資料を収集し、確認した。また、長良川河口堰運用開始前の長良導水取水口地点（河口から7.1km地点）の表層の塩化物イオン濃度は、長良川河口堰調査報告書第4巻（平成7年3月建設省中部地方建設局、水資源開発公団中部支社）により確認した。

(b) 調査結果

- ・長良導水取水口は、表層からの選択取水が可能な構造となっている。
- ・長良導水取水口は、表層の塩化物イオン濃度の測定が可能な構造となっている。（各層のうち任意の層における水質を1台の計器で測定している。）
- ・長良川河口堰運用開始前の長良導水取水口地点（河口から7.1km地点）の表層の塩化物イオン濃度は、小潮、中潮、大潮（河川流量（墨俣地点）25～75 m³/s）のいずれも知多浄水場の水道原水としては適さない高い値（200mg/ℓ以上）となっている。

b 水道施設における海水淡水化の事例調査

アオ取水の可能性の検討では、長良川河口堰運用開始前の長良導水取水口地点の表層の塩化物イオン濃度は、小潮、中潮、大潮のいずれも高い値となることが確認できた。

そこで、開門調査期間中における長良導水の管内滞留水を入れ替えながら浄水処理を続ける方法として、長良導水取水口で取水した塩化物イオン濃度が高い水を海水淡水化により水処理することが考えられることから、水道施設における海水淡水化施設の事例について調査した。

(a) 調査概要

公益社団法人日本水道協会が発行する「水道維持管理指針」(2016年版)及び「水道施設設計指針」(2012年版)(以下「水道施設指針」という。)等の文献により、水道施設における海水淡水化施設の事例について調査した。

(b) 調査結果

水道施設指針によると、陸水系水源の乏しい一部の地域では、水源開発が困難なところもあり、天候に左右されない安定した水源として海水淡水化施設を導入することにより、渇水に対する水の手当てや、将来の水道の安定供給にすることができるとされている。国内の水道においては、逆浸透法及び電気透析法が主に使用されている。このうち、電気透析法は、塩分濃度が濃くなるほど消費エネルギーが大きいため、消費エネルギーが大きくなるため、かん水(塩分濃度0.15~1.0wt%)の淡水化施設として採用されている。また、逆浸透法は、他の方法より少ないエネルギーで直接淡水化が出来るため、海水(塩分濃度3.5wt%)の淡水化施設として採用されている。

水道施設における海水淡水化施設として、国内において事例があることがわかった。また、施設規模として、5万 m^3 /日程度まで存在することがわかった。本事例を踏まえて、長良導水取水口で取水した塩化物イオン濃度が高い長良導水の管内滞留水を海水淡水化施設により水処理することを考えた場合において、少なくとも2週間に1回程度は、長良導水の管内にある24,500 m^3 の水を入れ替える必要があることから、施設規模として、約1,800 m^3 /日程度が想定される。

なお、具体的な設置場所などについては、海水淡水化施設のシステムフロー等も考慮して検討していく必要がある。また、新たな浄水処理方法を導入する場合、水道法に基づく事業(変更)認可を要することにも留意が必要である。

(3) 長良導水の復元の検討

長良導水の水源を木曾川大堰からの取水に振り替え、長良川河口堰の開門調査を実施後、または濁水等によって開門調査の終了前であっても長良導水を復元する際の対策について検討する。

長良導水の復元にあたっては、遡上した塩水を排除する必要があることから、まずは塩水排除方法等に関する検討を行う。

ア 他の河口堰の事例調査（2013年度）

(7) 長良川河口堰以外の主な河口堰について

ホームページを始めとする公表資料を基に調べた結果、河口堰上流域に塩水を侵入させる運用が行われていると明確に判断できるのは、「利根川河口堰」であることが分かった。

長良川河口堰以外の主な河口堰

河口堰名	河川名	所在地	管理者
利根川河口堰	利根川水系利根川	千葉県・茨城県	水資源機構
行徳可動堰	利根川水系江戸川	千葉県	関東地方整備局
淀川大堰	淀川水系淀川	大阪府	近畿地方整備局 水資源機構
芦田川河口堰	芦田川水系芦田川	広島県	中国地方整備局
旧吉野川河口堰	吉野川水系旧吉野川	徳島県	水資源機構
今切川河口堰	吉野川水系今切川	徳島県	水資源機構
遠賀川河口堰	遠賀川水系遠賀川	福岡県	九州地方整備局
六角川河口堰	六角川水系六角川	佐賀県	九州地方整備局

(イ) 利根川河口堰の事例に関するまとめ

利根川河口堰は、利水に支障をきたさない条件の下で、常に河口堰上流に汽水域を形成しており、真水にする運用をしていない。したがって、長良川河口堰上流を真水に戻す検討にあたって、利根川河口堰の事例を参考にすることは困難である。

利根川河口堰と長良川河口堰の比較

項目	利根川河口堰	長良川河口堰
河口堰の位置	河口から 18.5km 地点	河口から 5.4km 地点
最下流部の取水口の位置	農業用水：河口から 26km 地点 (堰上流 7.5km 地点) 水道用水：河口から 27km 地点 (堰上流 8.5km 地点)	水道用水：河口から 7.1km 地点 (堰上流 1.7km 地点) 工業用水：河口から 11.8km 地点 (堰上流 6.4km 地点)
塩害防止及び環境保全に関	堰上流部の塩分濃度分布は、生物の生息環境を考慮しつつ、上	塩水の遡上による塩害を防止する。

連するゲート 操作の基本	層部は利水に支障をきたさない 程度に保持する。 塩分の管理基準値は、管理基準 点 26km 地点（堰上流 7.5km 地 点）において、表層（Y.P. -0.5m） で 500mg/l としている。	平常時においては、河川環境の 保全に配慮し、水をゲートの上 から流すオーバーフロー操作 と、下段ゲートを上げてゲート の下を流すアンダーフロー操作 を行う。
-----------------	--	---

イ 長良川河口堰のゲート操作した事例の調査（2013, 2014, 2015, 2020 年度）

(ア) 長良川河口堰のゲート操作

a 長良川河口堰を開門した事例の調査（2015 年度）

長良川河口堰においては、施設管理規程^{*1}及び施設管理規程細則^{*2}で洪水の安全な流下のための操作におけるゲート操作の定めがあることを確認した。また、長良川河口堰の管理・運用開始後の1995年度から2019年度までの間に、累計で168回、4,543時間47分、長良川河口堰が開門されたことを下表のとおり確認した。（「中部地方ダム等管理フォローアップ委員会」資料より）

管理・運用開始後の洪水によるゲート操作（全開）

年 度	回 数	ゲート開放延べ時間
1995 年度	3 回	4 1 時間 2 6 分
1996 年度	3 回	8 5 時間 4 6 分
1997 年度	1 0 回	3 2 1 時間 2 4 分
1998 年度	9 回	4 5 7 時間 3 6 分
1999 年度	7 回	3 0 6 時間 3 2 分
2000 年度	3 回	9 8 時間 4 7 分
2001 年度	3 回	6 8 時間 1 6 分
2002 年度	4 回	1 2 5 時間 1 5 分
2003 年度	9 回	2 2 3 時間 2 0 分
2004 年度	1 6 回	3 7 8 時間 3 1 分
2005 年度	5 回	1 1 5 時間 4 1 分
2006 年度	6 回	1 6 2 時間 0 7 分
2007 年度	3 回	4 6 時間 2 1 分
2008 年度	4 回	5 5 時間 1 7 分
2009 年度	7 回	2 1 5 時間 4 0 分
2010 年度	1 2 回	3 4 2 時間 0 1 分
2011 年度	8 回	2 0 8 時間 4 5 分
2012 年度	5 回	1 0 5 時間 1 6 分
2013 年度	7 回	1 2 6 時間 5 4 分
2014 年度	6 回	1 9 5 時間 4 9 分
2015 年度	9 回	1 3 5 時間 7 分

2016年度	2回	31時間58分
2017年度	7回	145時間41分
2018年度	10回	394時間19分
2019年度	10回	155時間58分
合計	168回	4,543時間47分

※1 長良川河口堰に関する施設管理規程（抜粋）

（洪水の安全な流下のための操作）

第6条 長良川河口堰管理所長（以下「所長」という。）は、堰流入量が毎秒 800 立方メートルに達した時には全ての調節ゲート、開門ゲート及びロック式魚道ゲート（以下「全てのゲート」という。）を全開としなければならない。全開とした後は、堰流入量が毎秒 800 立方メートル以下に減少するまで、全てのゲートを計画堤防天端高（T.P.+5.8メートル。以下「堤防高」という。）より高く引き上げておかななければならない。ただし、細則に定める塩水の遡上のおそれがあり、かつ、長良油島水位観測所に設置された水位計により測定された長良川の水位が T.P.+1.92メートルを下回っている場合は、全開としないことができる。

2 所長は、堰流入量が毎秒 200 立方メートルを超え、かつ、さらに増加するおそれのある場合には、前項に規定する操作に備えるものとし、調節ゲートをアンダーフローの状態としなければならない。ただし、下流水位状況により塩水の遡上のおそれがあるときには、前項に規定する操作に備えている限りにおいてアンダーフロー以外の状態とすることができる。

※2 長良川河口堰に関する施設管理規程細則（抜粋）

（洪水の安全な流下のための操作）

第5条 規程第6条第1項に規定する全開のための操作は、基準地点流量が堰流入量毎秒 800 立方メートルに相当する流量に達した時から行うものとする。

2 規程第6条第1項ただし書に規定する塩水の遡上のおそれとは、次の各号のすべてに該当する場合とする。

- 一 堰の下流の潮汐が干潮から満潮に至るまでの間にあるとき。
- 二 堰の下流の水位が T.P.+0.5メートル以上のとき。
- 三 堰流入量が毎秒 1,400 立方メートル未満のとき。

※ 下線部 「墨俣地点」→「忠節地点」に変更（2021年）

長良川河口堰地点への流入量（以下「堰流入量」という。）は、忠節水位観測所に設置された水位計（当該水位計の故障時など非常時においては、墨俣水位観測所に設置された水位計）により測定された水位に基づき算定した地点流量（以下「基準地点流量」という。）をもとに、堰水位河積曲線から得られる流量を勘案して算出するものとする。

b アンダーフローした事例の調査（2015年度）

アンダーフロー操作は、長良川河口堰上流の底層DOの改善を目的としており、伊勢大橋地点の底層DOの値を基準として開始されており、以下のとおり操作実績を確認した。（「中部地方ダム等管理フォローアップ委員会」資料より）

現在行われているアンダーフロー操作では、長良川河口堰からの放流量が「堰流入量+600 m³/s」となるように行われており、長良川河口堰上流に流水を溜め上げ、満潮から干潮に移行する際の引き潮時に堰上下流の水位差を利用し行われている。

アンダーフロー操作は、4月中旬から9月下旬に行なわれており、操作の開始基準となる伊勢大橋の底層DO値がこの期間に悪化することによるものと考えられる。

なお、実施期間中でアンダーフローを行わなかった日は、底層DOの悪化がなかった日と推測される。

また、こうしたアンダーフローの実操作を安全かつ適切に行なうには、十分な経験と施設操作の習熟度が必要になるので、施設管理者である水資源機構の協力は必要不可欠と考えられる。

フラッシュ操作開始基準	実施期間		アンダーフロー (回)	オーバーフロー (回)
伊勢大橋 底層DO値 < 6mg/l	2000年	6月20日～9月8日	32	44
	2001年	5月22日～9月27日	14	34
	2002年	6月2日～9月26日	47	17
	2003年	5月23日～9月13日	23	18
	2004年	6月5日～9月17日	22	4
	2005年	5月5日～9月20日	59	16
	2006年	6月5日～9月30日	82	14
	2007年	5月17日～8月20日	18	15
	2008年	5月7日～9月17日	56	9
	2009年	4月10日～9月30日	54	17
2010年	6月4日～9月13日	43	8	
伊勢大橋 底層DO値 < 7.5mg/l	2011年	4月18日～9月19日	119	3
	2012年	5月8日～9月28日	141	13
	2013年	5月9日～9月25日	130	6
	2014年	4月29日～9月30日	117	13
	2015年	5月2日～9月29日	110	7
	2016年	5月22日～9月28日	126	3
	2017年	5月9日～9月26日	119	16
	2018年	5月18日～9月29日	76	6
	2019年	5月9日～9月26日	121	0

(イ) 長良川河口堰において過去に塩水が浸入した事例

<長良川河口堰運用開始後、洪水時の塩水排除事例の調査>

a 2004年(平成16年)7月18日の事例の調査 (2013, 2014年度)

(a) 概要

2004年7月18日に堰流入量が800 m³/sに到達したことから、施設管理規程に従い、ゲートを全開操作したところ、長良川河口堰上流域に塩水が遡上し、長良川河口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(20 mg/ℓ)を超え、長良導水の取水停止に至ったものである。

この塩水遡上に伴い、長良川河口堰上流の塩水を排除し、長良導水の取水再開までに約67時間(3日弱)を要している。

(b) まとめ

- ・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、引き潮に合わ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できた。
- ・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時間で完了した。
- ・ただし、この事例では、塩水が長良川河口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、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。

2004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	日付	時刻	塩化物イオン濃度	日付	時刻	長良導水
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)	7/18			7/18		
		↑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	7/18	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	7/19		塩化物イオン濃度の最大値	7/19	9:35	長良導水取水停止
		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			・堰直上流左岸下層(河口から5.65km地点) 約15,000mg/ℓ			取水停止：約52時間 取水停止中は、緊急避難的に佐布里池(愛知用水)の貯留水で対応
7/20			7/20		・伊勢大橋地点低層(河口から6.4km地点) 約1,400mg/ℓ	7/20		
7/21			7/21		塩化物イオン濃度が平常値(10mg/ℓ)に安定	7/21	13:00	

※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。

<長良川河口堰の管理・運用開始前の事例の調査>

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から得られる知見を整理した。

b 1994年（平成6年）9～10月の事例の調査（2015年度）

(a) 概要

長良川河口堰の管理・運用開始以前に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、1994年9月18日から10月28日まで、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を測定した。（「長良川河口堰調査報告書（第4巻）平成7年3月」）

(b) まとめ

- ・長良川河口堰地点で約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（長良川河口堰上流約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長良川河口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、長良川河口堰上流域の塩水を概ね排除できると考察される。

c 1994年（平成6年）5月の事例の調査（2015年度）

(a) 概要

長良川河口堰の管理・運用開始前の1994年5月19日から5月21日の3日間にかけて、建設省中部地方整備局及び水資源開発公団中部支社が、全ゲートを降下・運用に係る実験を行った。（「長良川河口堰調査報告書（第2巻）平成7年3月」）

なお、この調査は長良川河口堰のゲートが完成したことから、ゲートの可動や止水の状況を確認することを主目的にゲートを降下し、オーバーフロー状態にした際に、底層部のDOの低下が観測されたため、緊急的に詳細な調査が行われたものである。

(b) まとめ

- ・上流部に塩水が残ったままゲートを降下（閉塞）した場合は、塩水の排除がほとんど行なわれず、堰上流部の底層DOが急速に低下するなど、環境の悪化につながる知見が確認された。
- ・開門調査終了時の塩水排除については、アンダーフローによる塩水排除を行う前に、洪水を利用して概ねの塩水を排除する必

要があることが確認された。

d 2018年（平成30年）9月の事例の調査（2020年度）

(a) 概要

2018年9月4日に台風21号の影響により高潮が発生し、長良川河口堰のゲートをオーバーフローして塩水が遡上した事例がある。本事例では、施設管理規程に従い、洪水の安全な流下のためのゲート操作（堰流入量が200 m³/sを超え、さらに増加するおそれのある場合）によりアンダーフロー操作を行い、塩水を排除した。

(b) まとめ

- ・長良川河口堰上流 250m地点の塩化物イオン濃度が平常値（10mg/l）を超過した時間は9月4日14時50分～18時20分の3時間30分。（上層、中層、下層別でも概ね同様）
- ・長良川河口堰上流 250m地点では上層より中層、中層より下層の方が塩化物イオン濃度は高くなっている。
- ・長良導水取水（長良川河口堰上流約1,700m）地点では塩化物イオン濃度に大きな変化はなく、長良導水の取水に影響がなかったことが確認できる。
- ・この事例ではアンダーフロー操作をすることにより、約1時間10分程度で塩水を排除している。
- ・本検討の目的は「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、長良導水を復元する必要があることから、長良川河口堰上流域の塩水を排除する方法について検討」することであり、この事例は長良導水取水地点において塩化物イオン濃度に大きな変化はなく、長良導水の取水に影響は出ていないことから、参考程度の事例とする。

e 長良川河口堰における過去の塩水浸入事例から（まとめ）

前述(ア)から開門調査実施後、長良導水を復元するため、塩水を排除するには以下の方法が考えられる。

<大規模な出水を利用した塩水排除について>

① 河川流量：約4,400 m³/s 以上の場合

- ・河川流量（堰流入量）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は直ちに排除できると考えられる。
- ・4,400 m³/s 規模の洪水の発生頻度は低い。

② 河川流量：約1,400 m³/s 以上の場合

- ・河川流量（堰流入量）が約1,400 m³/s 以上の状態であれば、底層部等の塩水は排除できないものの、塩化物イオン濃度は大きく低減できると考えられる。

<アンダーフローを利用した塩水排除について>

③ 河川流量：約 800 m³/s 以上の場合

- ・河川流量（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概ねの塩水を排除し、その後、引き潮に合わせたアンダーフロー操作を繰り返し、底層部の塩水を排除することにより、長良川河口堰上流域の塩水を排除した実績を確認した。
- ・ただし、概ねの塩水を排除することなくゲートをそのまま閉塞した場合は、底層のDOが急激に低下するなど環境が悪化する恐れがある。
- ・開門調査終了時の塩水排除については、アンダーフローによる塩水排除を行う前に、洪水等を利用して概ねの塩水を排除する必要がある。

ウ 「塩水排除の検討」に使用する「流量」の検討(2014～2016年度)

前述イのとおり、長良導水の復元(長良川河口堰上流域の塩水排除)に必要な河川流量などの条件は概ね整理できたものの、「塩水排除が可能となる時期」、「必要となる期間」等についてさらに検討する必要があるが、検討に使用する河川流量について整理した。

(7) 堰流入量と墨俣流量との相関についての調査検討(2014, 2015年度)

長良川河口堰の管理運営に用いた堰流入量と墨俣流量について、2011年から2014年までの4年分の7月データを入手し、流量グラフを作成し相関について調査したところ、「塩水排除の検討」においては、次の理由から墨俣流量を使用することとした。

- ① 墨俣流量より堰流入量の方が大きいものの、塩水排除の計画を策定するに当たっては、流量の小さいものを使用した方が塩水排除の確実性(信頼性)が上がること。
- ② 墨俣流量と堰流入量のピーク流量にほとんど差はないこと。
- ③ 800 m³/sを上回る出水の発生回数が同じであること。
- ④ 現行の洪水時におけるゲート操作(全開)の基準となる流量が、操作細則に墨俣地点と定められていること。(2021年3月25日規程細則の一部改正にともない墨俣地点から忠節地点に変更)
- ⑤ 長良導水の取水地点(長良川河口堰上流約7km)より上流地点の流量を使用した方がより確実に導水の復元に資すると思われること。(長良川河口堰地点のピーク流量発生時刻は、墨俣ピーク流量の発生時刻の約3時間後となる。)

(4) 流量測定方法の確認(2016年度)

a 中部地方整備局(河川管理者)の行う流量測定の方法の確認

(a) 測定方法

各観測所(忠節、墨俣地点など)における水位や流速等の観測データと河川の横断測量結果を基に水位と流量の相関関係を数式化した「水位(H)-流量(Q)曲線式」が作成されており、水位のみを変数として流量が算出(把握)されている。

なお、曲線式は必要に応じて通常時の流量(低水や平水流量)や洪水時の流量(高水流量)等に区分して作成されていることが分かった。

(b) 測定値について

河川管理者が使用している河川流量には、①確定値と②速報値があり、種々の観測結果に基づき精緻に整理されているのが確定値であり、その値が確定されるのは観測結果などの整理に時間が必要になることなどから、翌年度以降となる。

① 確定値について

国土交通省が同省のホームページ「水文水質データベース」や流量年報等で公表している流量は確定値であり、整理に当たっては①測定された水位が支川合流の影響や河川改修工事による背水の影響等を受けていないか。②水位測定時と測量時の河川断面に大きな変化（河川改修や工事など）はないかなどの照査を行い、その結果、水位が欠測とされた場合や水位から流量を算出することが不適切と考えられる場合、流量は欠測とされる。

② 速報値について

河川の流量は良好な河川環境の維持、適正な河川水の利用、危機管理対応等の日々の河川管理に必要となることから、暫定的に算出している流量が速報値である。

速報値は、水位を測定した瞬時に算出する必要があることから、過年度に作成された曲線式（最新でも1年前のもの）に代入して算出している。

つまり、速報値は、水位を計測した年度と曲線式の基となっている測量などの年度が異なっている。

(c) 墨俣地点の確定値と速報値の比較

墨俣地点流量の確定値は、長良川河口堰の堰上げの影響を大きく受ける低流量時に欠測となっていると考えられる。

長良導水の復元に関する検討に必要となる大規模な出水（800 m³/s 以上）であれば、速報値と確定値に大差はない。

(d) 忠節・墨俣・長良川河口堰地点の流量の比較

忠節地点流量の確定値、墨俣地点流量の速報値及び後述する b において算出される長良川河口堰地点の流入量（速報値）のグラフを比較すると、概ね同じ形となる。また、長良川河口堰のゲートの全開操作の基準となる流量（800 m³/s）の発生回数に大差はない。

こうしたことから、長良導水の復元に関する検討に使用する流量データは、墨俣地点の速報値を使用しても差し支えないと考えられる。

b 水資源機構が行う流量測定の方法の確認

(a) 測定方法

長良川河口堰地点では、塩水を遡上させないよう潮位に応じ上流水位を変化させるゲート操作や環境改善を考慮したゲート操作等を行っているため、流量は水位及び流速とは相関を持た

ないと考えられ、一般的な曲線式を用いた流量の把握は困難である。

そのため、長良川河口堰地点の流入量（速報値）は上流にある墨俣地点の流量の速報値（中部地方整備局測定）に、長良川河口堰地点までの到達時間や流域からの流入を考慮した算定式から求められている。

なお、出水時は、残流域からの流入の影響が少なくなるため墨俣地点の速報値と長良川河口堰地点の速報値は同値とされている。

エ 長良川河口堰上流域の塩水排除に適した時期の検討(2014, 2017 年度～)

前述アにおいて、長良導水の復元（長良川河口堰上流域の塩水排除）には河川流量が約 800 m³/s 以上必要となることがわかったが、開門調査終了時に堰上流域の塩水排除に適した時期や期間の検討を行う。

(7) 基礎検討（2014 年度）

2004 年 7 月 18 日洪水時の事例や 1998 年 1 月 1 日から 2011 年 12 月 31 日までの 14 年間の月毎の長良川河川流量（日平均流量）の実績が「800 m³/s 以上」を記録した年数等の調査・検討をした結果、以下のとおり、5 月から 7 月又は 6 月から 8 月において発生確率が高いことがわかった。

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。

こうしたことから、以下のステップで、長良川河口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。

- 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。

なお、2004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）に長良川河口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た場合、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m³であり、概ね5月から8月までの期間であれば2日から3日程度で塩水排除可能であることが確認できる。

アンダーフロー必要日数

月	平均流量(1994~2004)		アンダーフロー必要日数	
	m ³ /s	百万m ³ /日		
4	157	14	3日	32百万m ³ ÷14=2.28≒3
5	172	15	3日	÷15=2.13≒3
6	193	17	2日	÷17=1.88≒2
7	302	26	2日	÷26=1.16≒2
8	195	17	2日	÷17=1.15≒2
9	252	22	2日	÷14=2.28≒3
10	151	13	3日	÷13=2.32≒3
11	72	6	6日	÷6=5.33≒6
12	56	5	7日	÷5=6.4≒7
1	75	6	5日	÷6=5.33≒6
2	80	7	5日	÷7=4.57≒5日
3	132	11	3日	÷11=2.91≒3日

ただし、2004年7月18日の事例よりも長良川河口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。

(イ) 詳細検討 (2017 年度～継続中)

確実な塩水排除計画を策定するにあたり、毎正時の流量データ(速報値)を水資源機構から収集し、そのデータを基に塩水排除に適した時期の検討をした。

a 墨俣地点流量データ(速報値)の収集・整理(2017年～継続中)

水資源機構から墨俣地点流量の速報値を入手し、「塩水排除最適期間」、「塩水排除に適した期間」、「塩水排除可能期間」と区分し、整理する。

(a) ステップ1：月最大流量が $800 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上となる月を確認

ひとつき
一月を単位として、 $800 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の出水の発生の有無を確認し、詳細確認が不要な月を排除し、データを絞り込む。

(b) ステップ2：日最大流量が $800 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上となる日を確認

ステップ1で抽出した「 $800 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の流量の発生した月」における日最大流量を確認し、詳細確認を行う日の抽出を行う。

(c) ステップ3：塩水排除が可能となる期間の流量で区分

ステップ2で抽出した出水日の毎正時の流量を、以下に示した期間ごとの流量区分に整理する。

① $800 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上 $1,400 \text{ m}^3/\text{s}$ 未満

塩水排除可能期間(アンダーフロー操作を繰り返し行うことにより塩水排除が可能)

② $1,400 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上 $4,400 \text{ m}^3/\text{s}$ 未満

塩水排除に適した期間(底層部等の塩水は排除できないものの、塩化物イオン濃度の低減は可能)

③ $4,400 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上

塩水排除最適期間(堰上流域の概ねの塩水は直ちに排除は可能)

(d) ステップ4：複数月での「塩水排除期間」を確認

ステップ3で抽出した出水日の毎正時の流量を基に、1か月、2か月、3か月を1スパンとした $800 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の出水が発生する頻度を調査し、「塩水排除期間」の精査を行う。

(e) ステップ5：「塩水排除期間」の絞り込み

ステップ4で抽出した「塩水排除期間」を、更に週別で絞り込みを行う。併せて塩水排除期間での、「塩水排除に適した期間」及び「塩水排除最適期間」の確認を行う。

b まとめ(現時点)

1998年1月1日～2018年12月31日までの21年間の墨俣地点における毎正時の流量データ(速報値)を水資源機構から収集し、そのデータを基に塩水排除に適した時期の検討をした結果、次のことが確認できた。

(a) 流量データ(速報値)の結果

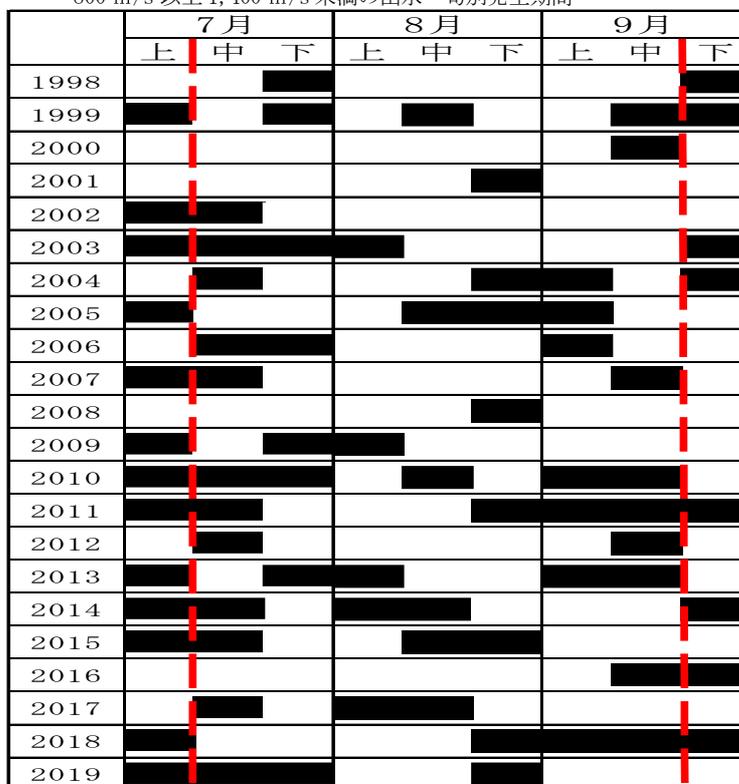
- ① 塩水排除が可能(800 m³/s 以上 1,400 m³/s 未満)の出水
 800 m³/s 以上の出水は、毎年発生しているものの、月別で見ると毎年発生していない。(7月中旬～9月中旬では毎年1回以上は発生している。)

800 m³/s 以上の出水発生頻度

1か月スパン				2か月スパン				3か月スパン			
月	対象年数	発生年数	発生率	月	対象年数	発生年数	発生率	月	対象年数	発生年数	発生率
4	22	10	45%	4～5	22	12	55%	4～6	22	18	82%
5	22	7	32%	5～6	22	15	68%	5～7	22	21	95%
6	22	14	64%	6～7	22	21	95%	6～8	22	21	95%
7	22	18	82%	7～8	22	20	91%	7～9	22	22	100%
8	22	15	68%	8～9	22	21	95%	8～10	22	21	95%
9	22	15	68%	9～10	22	19	86%	9～11	22	19	86%
10	22	8	36%	10～11	22	9	41%	10～12	22	9	41%
11	22	1	5%	11～12	22	3	14%	11～1	22	3	14%
12	22	2	9%	12～1	22	2	9%	12～2	22	4	18%
1	22	0	0%	1～2	22	2	9%	1～3	22	7	32%
2	22	2	9%	2～3	22	7	32%	2～4	22	14	64%
3	22	6	27%	3～4	22	13	59%	3～5	22	14	64%

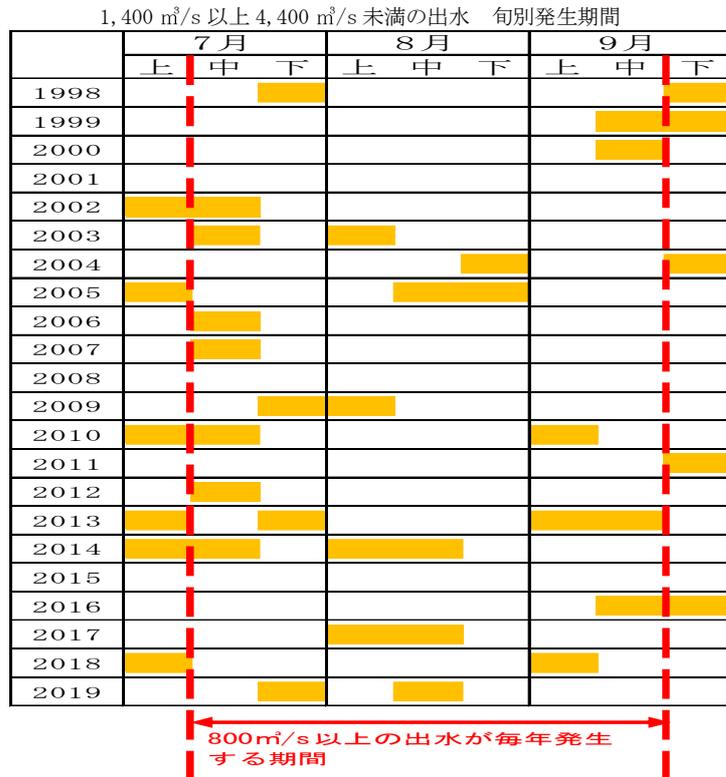
※詳細検討においては、毎正時流量で整理し、基礎検討(2014年度)においては、日平均流量での出水発生頻度で整理している。

800 m³/s 以上 1,400 m³/s 未満の出水 旬別発生期間

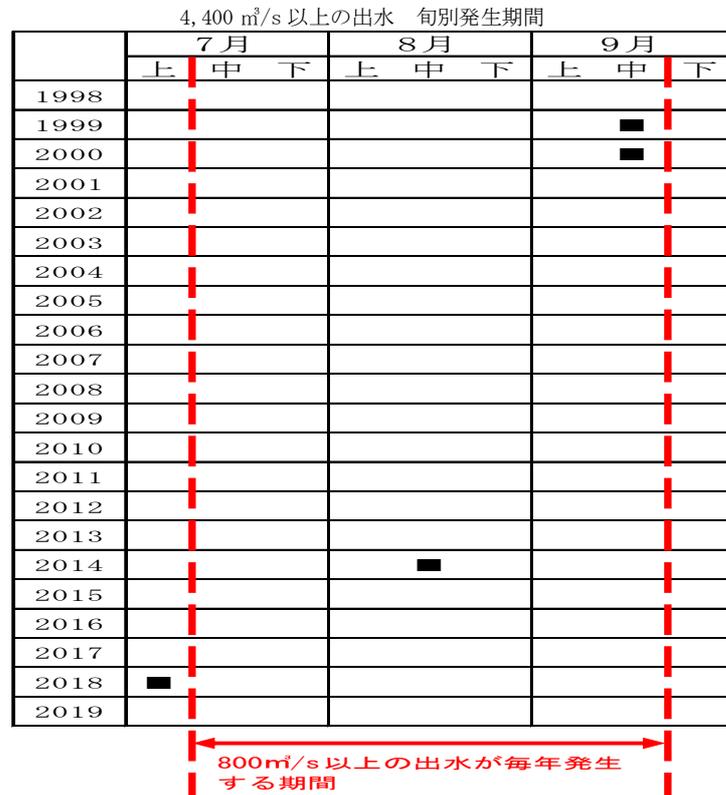


800 m³/s 以上の出水が毎年発生する期間

- ② 塩水排除に適した流量(1,400~4,400 m³/s)の出水
 夏期(4~9月)に多く確認されたものの、毎年発生している月はないが、22年間で18箇年と7月中旬~9月中旬では約82%の確率で発生している。



- ③ 塩水排除に最適な流量(4,400 m³/s 以上)の出水
 概ね4年に1度の確率で発生しているが、塩水排除計画策定にあたっては確実性がない。



(ウ) 日平均流量及び毎正時流量に基づく検討の比較 (2017年度) 【補足】

前述(ア)日平均流量を用いて検討した内容と、(イ)毎正時流量を用いて検討したものを比較検討した。

その結果、毎正時流量データを用いた検討においては、日平均流量では抽出できなかつた出水の確認ができ、より実態に近い出水の傾向を把握することができたと考えられる。こうしたことから、毎正時流量を用いた検討の妥当性が確認できた。

また、(ア)の検討結果に(イ)の結果を補完し、以下のステップで、長良川河口堰上流域の塩水排除計画を検討することとする。

- ①7月から9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。

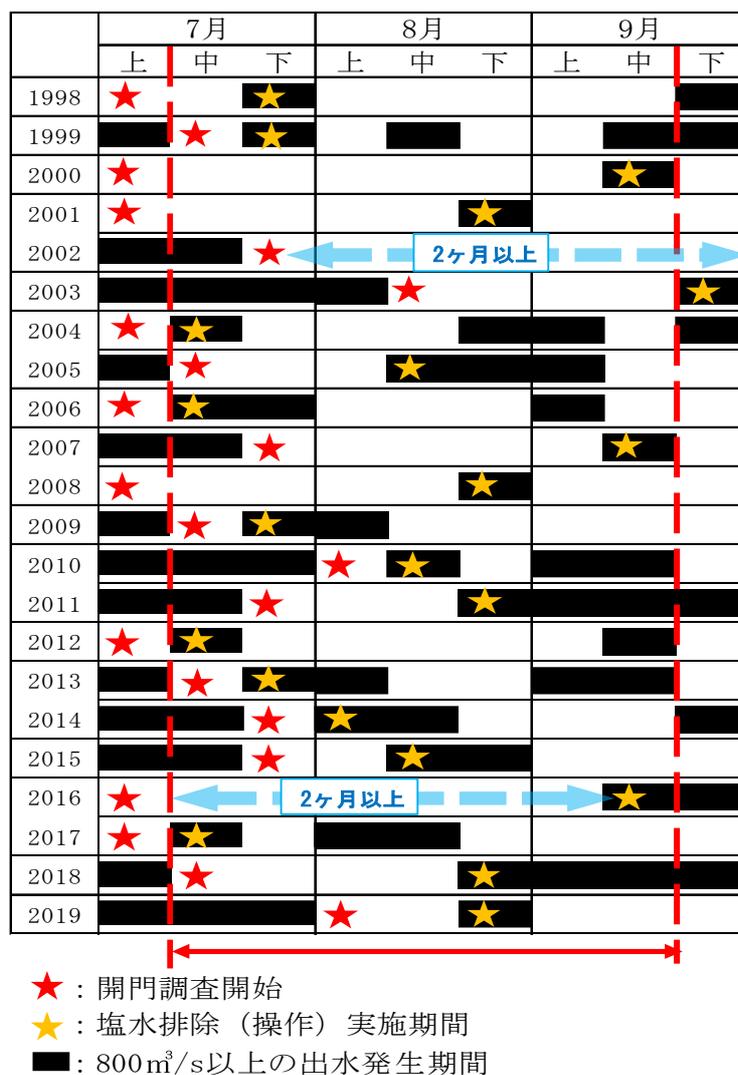
なお、より長期間のデータを用いることで出水発生率が低下する期間が見られることなどを踏まえると、塩水排除計画の策定時においては、より長期間のデータによることが適切である。

(エ) シミュレーション検討 (2017, 2018年度)

これまでの検討により、7月から9月の間を塩水排除期間と設定することができたが、開門調査時期を仮に設定し影響等についてシミュレーション検討を行う。

a 塩水排除期間(7月から9月)前に開門調査を実施した場合

7月上旬に開門調査を開始し、河川流量が約800 m³/s以上となった段階で塩水排除(操作)を実施すると仮定し、シミュレーションした。1998年度から2019年度の実績に基づけば、開門調査実施から1~2週間程度で塩水排除の実施ができる年もあれば、7月の開門調査開始から2ヶ月以上塩水排除ができない年度もあった。



(オ) まとめ

開門調査を実施した際、長良川河口堰上流域に遡上した塩水排除するには、以下の方法が考えられる。しかし、いくつかの留意事項があることもわかった。そのため、引き続き河川流量のデータを収集することや更なるシミュレーションの検討が必要である。

<排除方法>

- ① 7月から9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。

<塩水排除にかかる留意事項>

- ・ 7月上旬（塩水排除期間（7月から9月）前）に開門調査を実施した場合、約2ヶ月半（82日）以上の長期間にわたり塩水排除ができない可能性がある。
- ・ また、この間塩水が遡上することによる塩害等の影響がある。

- ・遡上した塩水を排除した過去の実績から、800 m³/s 以上の出水とアンダーフロー操作で塩水排除できると想定しているものの、開門調査にあたっては、遡上する範囲などにより 1 回の出水では排除しきれない可能性がある。

<代替水源の確保に関する留意事項>

- ・短期間（1 週間程度）の開門調査であった場合においても、6 月下旬から 10 月下旬の約 4 ヶ月の長期間にわたり代替水源からの取水となることから、知多半島の利水安全度が低下することは避けられない。

2 福原輪中についての塩害防止に関する調査（2013～2020 年度）

(1) 福原地域の概要

ア 福原地域の概要

福原地域は福原輪中地区と福原新田地区に分かれており、それぞれの農地の状況（2014 年度時点）は以下のとおり。

区 分	農地面積 (ha)			
	水田	畑	樹園地	牧草地
福原輪中地区	6.2	7.3	1.0	10.1
福原新田地区	5.6	0.9	—	—

なお、かんがいは水田のみで実施しており、畑や樹園地等にはかんがいでいない。

イ かんがい状況

(ア) 長良川河口堰運用前の状況

福原輪中地区では地元管理人 1 名の操作によりアオ取水が行われていた。取水は地元管理人が満潮時に長良川の水を舐め、塩分濃度を確認したうえで福原樋門から行っていた。取水量は約 0.07 m³/s、取水時間は 2～3 時間で、17 回程度（4 月～9 月）の取水を行い、農家は地区内水路から可搬式ポンプで農地へかんがいでいた。しかし、2001 年に管理人が亡くなっており、管理方法が継承されておらず、現在、アオ取水は行えない。

福原新田地区では地区内水路への浸透水を可搬式ポンプでくみ上げ、農地へかんがいでいた。

(イ) 現在の状況

河口堰運用後は淡水化によりアオ取水の必要がなくなり、福原輪中地区では 4、5 月は福原樋門より取水し、6 月以降は地区内へ浸透した水でかんがいでいる。福原新田地区では年間を通じ地区内水路へ浸透した水のみでかんがいでいる。

〔福原樋門〕



〔用排兼用水路〕



福原地域 現況図



(2) 塩害について

ア 塩害とは

土壌中の塩分濃度が上昇することにより根の水分吸収機能が低下し作物の生育が減退するほか、カリウムイオンの吸収障害を引き起こすなどの生理障害の発生により、収量や品質に悪影響をもたらすこと。

イ 塩害の発生原因について

- ・ 塩水化した用水を取水しかんがいすることにより、農地に塩分が流入、集積する。
- ・ 高潮や強風、津波などの自然災害により農地に海水が直接侵入し、塩類が集積する。
- ・ 地盤の液状化により塩分が混入した土壌が噴砂し、塩類が集積する。
- ・ 塩水濃度の高い地下水が上昇し、根域に達する。

ウ 塩害の一般的な対策について

塩害の一般的な対策として、ハード面での事前措置と事後措置、ソフト面での措置に分かれる。ハード面での事前措置としては塩分濃度モニタリングシステムや潮遊池の設置、暗渠排水の設置などがあり、事後措置は除塩作業の実施があげられる。ソフト対策では耐塩性作物の品種開発や栽培、金銭による補償などがある。

(ア) ハード面での事前措置

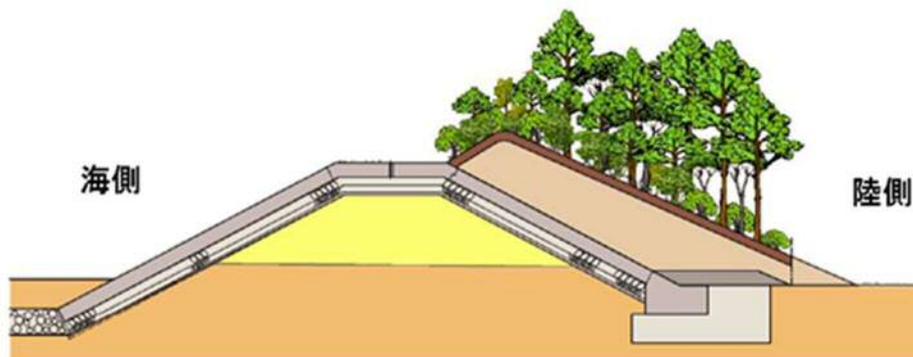
a 塩分濃度モニタリングシステムの設置

観測点を定め、塩分濃度測定器（ECセンサー）及び観測データを蓄積・送信する機器等を設置する。

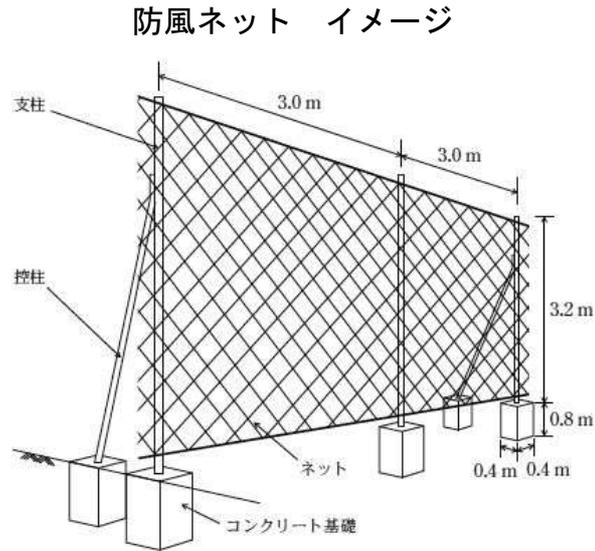
b 防潮堤・防風林の設置

イメージを以下に示す。

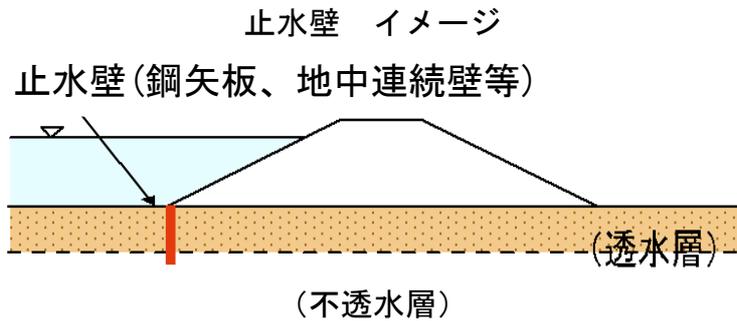
防潮堤・防風林 イメージ



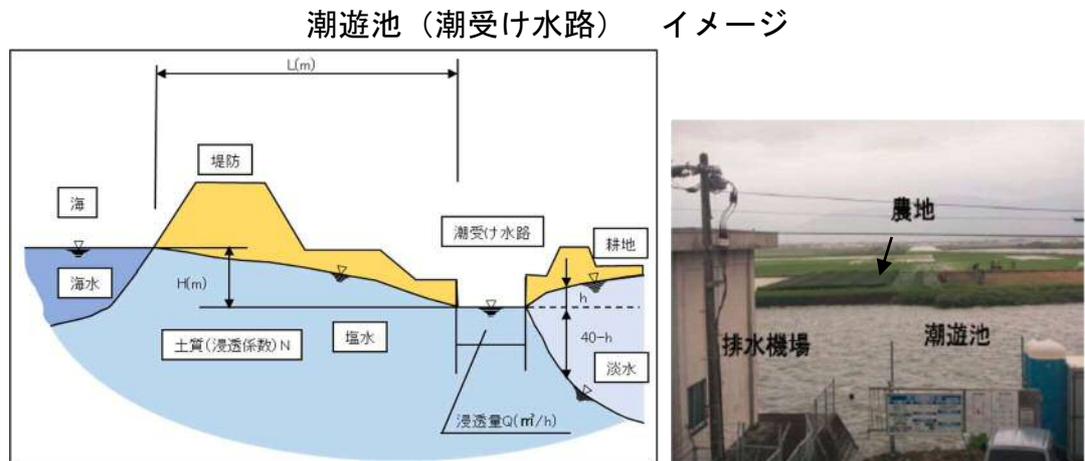
- c 防風ネットの設置
イメージを以下に示す。



- d 地下への止水壁の設置
鋼矢板等を用いて不透水層までの止水壁を設置する。イメージを以下に示す。



- e 潮遊池（潮受け水路）の設置
干拓地の潮止め堤防背後に淡水の池（水路）を設置し、池（水路）内の淡水水頭を確保することにより、塩水侵入を抑制する。イメージを以下に示す。



f 盤上げ客土

現況地盤に良質な作土を投入し、地盤を嵩上げする。相対的に地下水位が下がることになる。

g 暗渠の設置

有孔管の埋設や、ほ場面の地下にモミガラで水みち等を設置し、作土層下方に向かう浸透水を速やかに排除する。イメージを以下に示す。

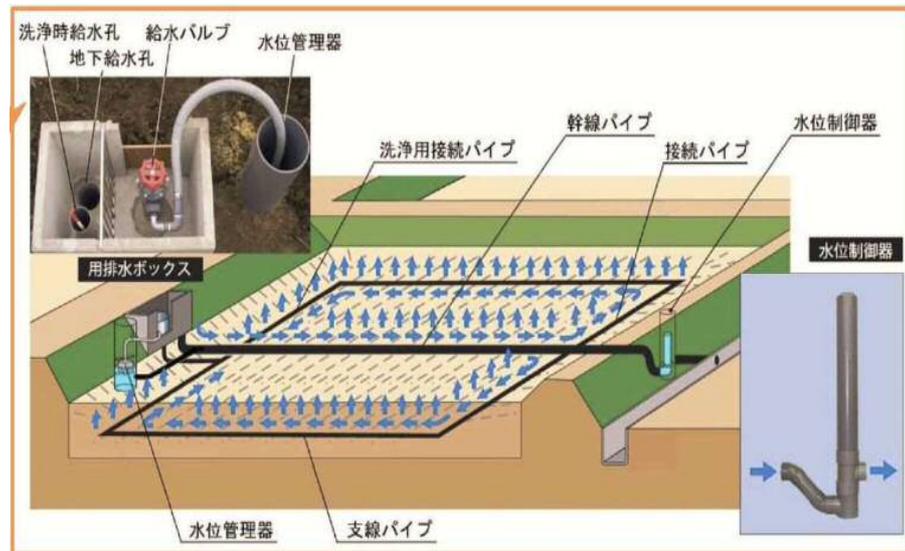
暗渠 イメージ



h 地下かんがいシステムの設置

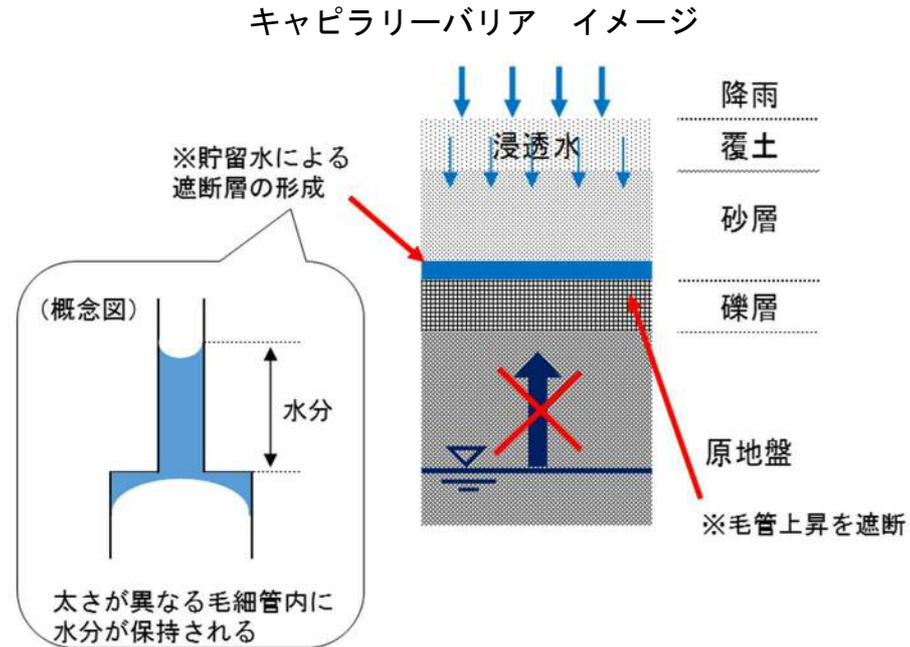
有孔管と制御器からなる地下水位制御システムを設置し、地中からの排水、あるいは地中への給水を行い人為的に地下水の制御を行う。イメージを以下に示す。

地下かんがいシステム イメージ



i キャピラリーバリアの設置

作土層と地下水面の間に礫層などを敷き、毛管上昇を遮断する。イメージを以下に示す。



j マルチング

わら、枯れ葉、礫、砂などを地表面に敷き、蒸発量を抑制することにより、上向きの土中水の移動を少なくする。

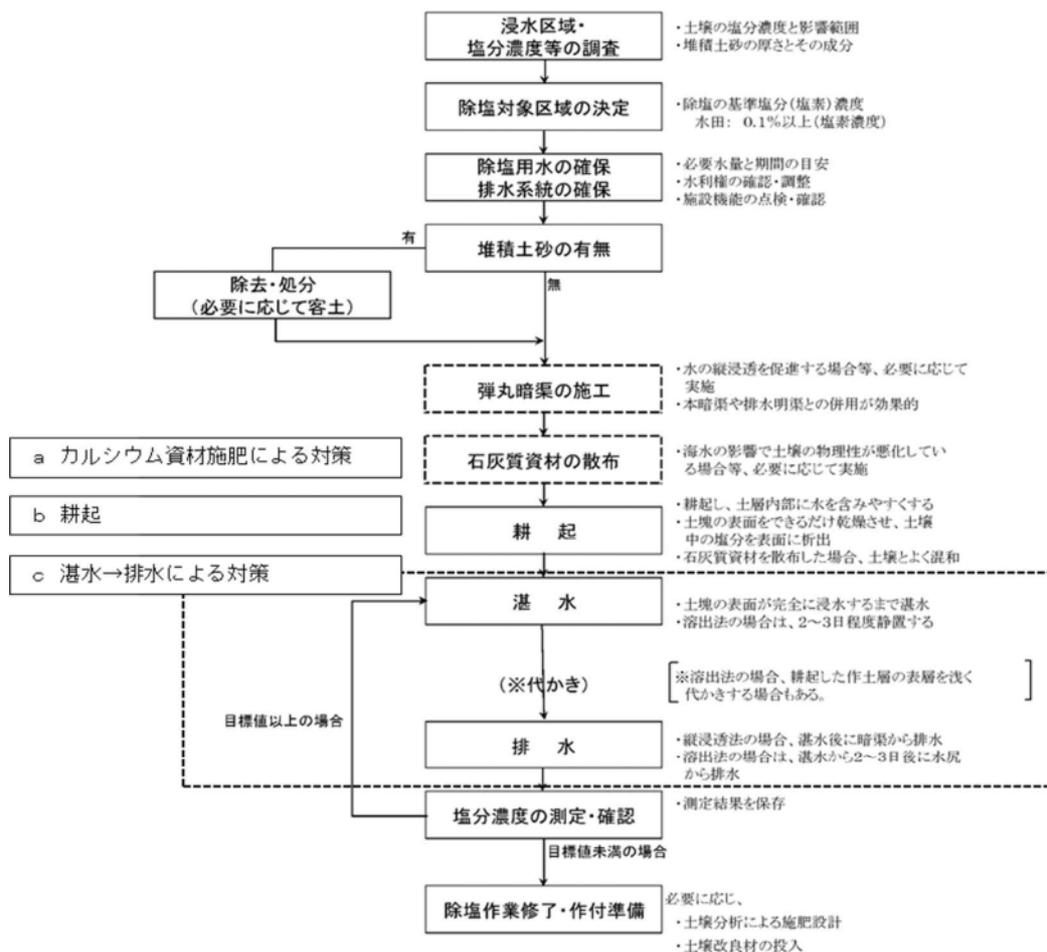
(イ) ハード面での事後措置

除塩とは、土壤中のナトリウムイオン及び塩素イオンを作土層から排除することであり、土壤中に残留する過剰な塩分は、十分な量の真水で洗い出すことが基本となる。

この場合、ほ場内に十分な量の真水を湛水させ、その浸透水により土壤中の塩分を除去する方法（縦浸透法）と、土壤中の塩分を湛水中に拡散溶出させ、ほ場から排水する方法（溶出法）がある。

また、ほ場内の残留塩分のうち、塩素イオンは土壤水中に存在しているが、ナトリウムイオンの一部は粘土粒子と電気的に結びついた状態で存在しており、土壌内のナトリウムイオンの影響で土壌の物理性が悪化し、透水性が低下している場合には、石灰質資材を散布し、土壌の物理性を改善した後に湛水から排水に至る一連の作業を行うことで除塩効果が大きくなる。以下に除塩の標準的なフロー図を示す。

除塩作業フロー図（水田の場合）



（除塩作業実施の際の留意事項）

- ・ 除塩対象区域の決定のための測定後、除塩作業の着手までに相当の日数が経過し、農地の塩分（塩素）濃度が降雨等の影響により低下することが見込まれる場合には、除塩作業の開始前に塩分（塩素）濃度を再測定して除塩作業の実施の必要性を検討すること。
- ・ 除塩作業が適切に行われているかを確認するために必要な施工写真や作業後の塩分（塩素）濃度測定結果等の書類を確実に整備すること。

除塩作業の具体的な内容は以下のとおり。

a カルシウム資材施肥による交換性ナトリウムの低減

土壌水中にある塩素イオンは、比較的容易に水で流し出すことができるが、土粒子表面に付着しているナトリウムイオンは、土壌の排水性にもよるが、塩素イオンのように容易に水で流し出すことは難しい。このような場合は、ほ場に石灰質資材を投入し土壌とよく混和することにより、土粒子表面に付着したナトリウムイオンをカルシウムイオンと置換する。これにより、土粒子表面に吸着されていたナトリウムイオンが土壌水中に追い出され、水で効果的に排除できる。

海水に含まれるナトリウムイオンの影響で土壌がナトリウム粘

土化し、土壌構造の単粒化や固結化などの進行により、土壌の透水性が著しく低下している場合は、石灰質資材を散布し、悪化した土壌の物理性を改善した上で除塩する。

一般的に用いられている石灰質資材には、炭酸カルシウムや硫酸カルシウム（石膏）などがある。アルカリ土壌には土壌のpH値を上げない硫酸カルシウムが用いられる例が多く、酸性土壌には炭酸カルシウムを利用する例が多い。施用量はいずれの場合も100～200kg/10a程度を目安とし、土壌特性に応じて決定する。

なお、石灰質資材は、除塩後の土壌のpH値に影響を与える場合がある。このため、資材の種類や施用量については、地方公共団体の普及センターや農業関係機関の営農指導部門の指導の下に決定するとともに、予め農業者の了解を得る必要がある。

b 耕起

耕起は、土壌と石灰質資材の混和や除塩用水が土壌に浸透しやすくするために行う。ロータリ耕耘による耕起作業が一般的だが、深耕する場合にはプラウによる耕起も検討する。また、耕起後は、土壌中の塩分を土塊表面に析出させるため、土塊を乾燥させた方がよい。

耕起は除塩能率を高める上で必要な作業であり、除塩用水が土壌に浸透しやすくするため、湛水前に作土層を耕起する。また、石灰質資材を散布した場合は、耕起作業により石灰耕盤層の破碎質資材と土壌を良く混和する。

耕起後は、土壌の空隙確保や塩分を土塊の表面に析出させるため、耕起した土塊の表面をできるだけ乾燥させた方がよい。土壌乾燥は、団粒化促進にも大きな効果がある。

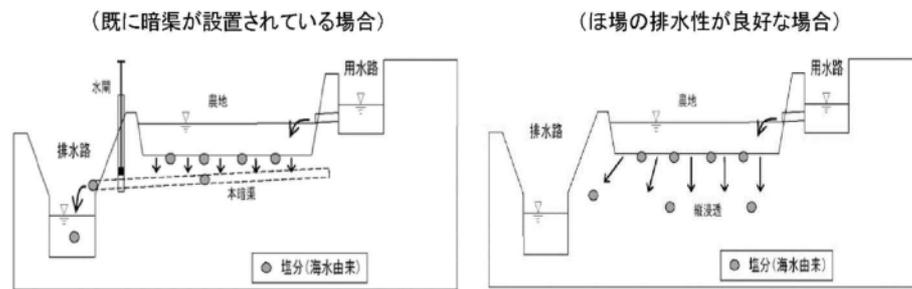
c 湛水→排水による対策

土壌中の塩分を水で流し出すには、ほ場に湛水した水が降下浸透する際に土壌中の塩分を下方に押し流すことにより除塩する方法（以下「縦浸透法」という。）と、土壌中の塩分を湛水中に溶出させた後、ほ場から塩水を排水して除塩する方法（以下「溶出法」という。）がある。

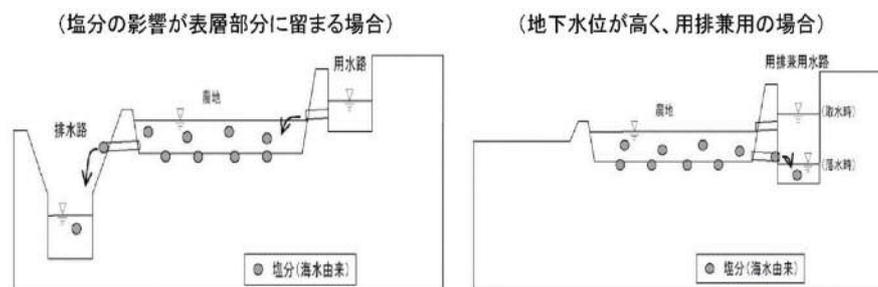
縦浸透法、溶出法いずれの場合も、耕起した土壌が完全に浸水する深さまで湛水する必要があり、湛水～排水までの1サイクルに要する用水量は、概ね代かき用水量相当とされ、一般に、整備された乾田の代かき用水量は120mm～180mmとされているが、用水量はほ場の条件により大幅に異なることもあるため、実施に当たっては、ほ場ごとの実態等を踏まえ判断する。

既に暗渠が施工されているほ場や砂質土壌のほ場など、排水性

が良好で縦浸透が十分期待できるほ場では、縦浸透法による除塩が効果的である。



海水による塩分の影響が作土層の表層部分に留まっているほ場や、地下水位が高く、暗渠が未整備で排水性も悪く縦浸透による除塩効果が期待できないほ場では、溶出法による除塩を検討する。



(a) 縦浸透法

縦浸透法は、土壌の透水性が大きいほど除塩効果が大きくなることから、必要に応じて弾丸暗渠^{※1}や心土破碎^{※2}との併用を検討する。また、海水が長期間にわたって冠水したほ場や、塩分濃度の高い海底の土砂が堆積したほ場は、塩分が土壌の深部まで沈着しているおそれがあることから、土壌の透水性を高め、十分な真水を浸透させ、土壌中の塩分を着実に排除する。

<縦浸透法による排水について>

縦浸透法の場合は、ほ場を耕起後、暗渠（整備されている場合）の水閘を閉め、耕起土塊が完全に浸水する深さまで湛水した後、暗渠の水閘を開き、水を土壌中に浸透させ排水する。この場合、土壌中の塩水を実際に下方へ押し流すために表面排水はしない。排水後は、土壌中の塩分濃度（電気伝導

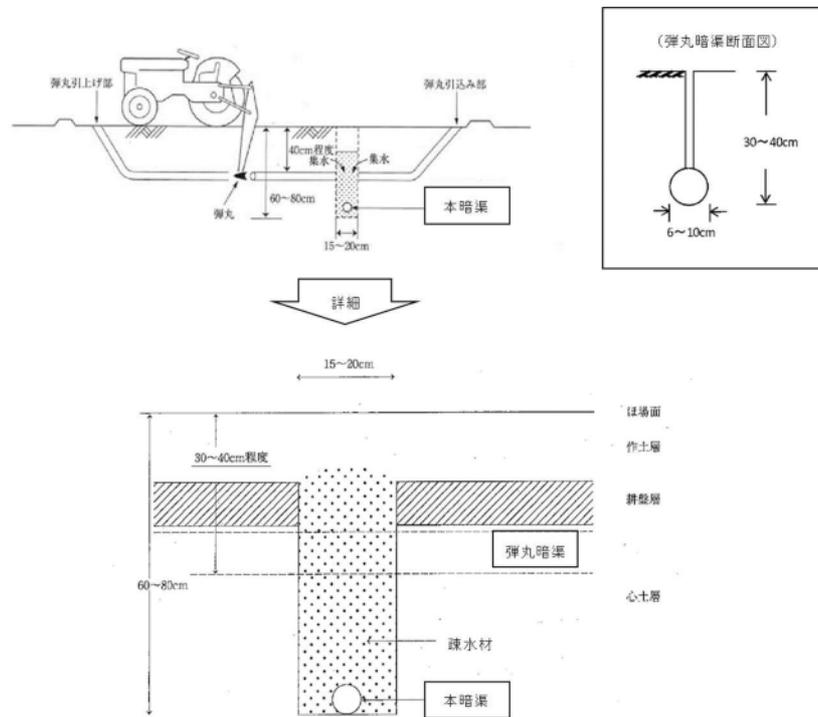
度)を測定する。塩分濃度が目標値を上回っている場合は、塩分濃度が目標値に達するまで湛水から排水に至る工程を繰り返す。

※1 弾丸暗渠について

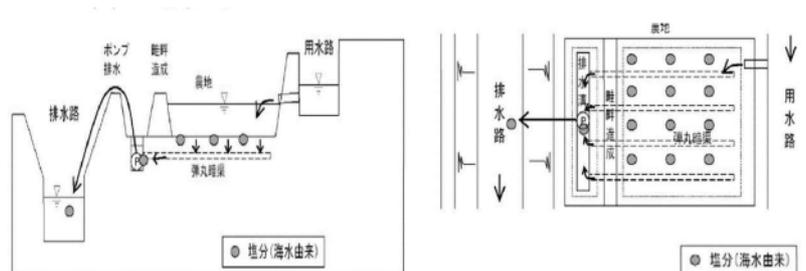
本暗渠(図-1参照)が整備され、乾田化が図られているほ場の場合は、補助的に弾丸暗渠を設置することにより暗渠の排水機能が助長され、除塩効果が増大する。

また、本暗渠が未整備の場合(図-2参照)であっても、弾丸暗渠や心土破碎を実施することにより、土壌の透水性が増大し、除塩効果も増大する。

さらに、弾丸暗渠を施工し、ほ場の排水性を良好に保つことにより、雨水による除塩効果の促進が期待できることから、弾丸暗渠を施工する場合は、できるだけ早い段階で施工することが望ましい。



<図-1 本暗渠が整備されている場合>



<図-2 本暗渠が未整備の場合>

< 施工について >

施工機械の能力等により弾丸暗渠の施工深度が限られてくることから、予め弾丸暗渠の施工深度等を十分検討の上、施工機械を選定する必要がある。

弾丸暗渠は、トラクタ等で砲弾状のモールドを牽引することにより土層に孔を開け、本暗渠や明渠に接続させる。土壌中の水分は弾丸暗渠の施工により形成されたスリットや亀裂を通じて弾丸暗渠孔に集水され、本暗渠や明渠を通じて排水される。弾丸暗渠は、一般的に本暗渠の疎水材と交差できる位置に設置され、本暗渠に直交する方向に2 m～6 m程度の間隔で配置される例が多い。

また、弾丸暗渠の施工深度が浅く本暗渠疎水材に接続できない場合には、除塩効果が十分発揮されず、反対に施工深度が深すぎると、本暗渠吸水管を引き上げたり破損したりするおそれがあることから、本暗渠の設置間隔、吸水管や疎水材の設置深、土壌の透水性等を総合的に勘案し決定する。

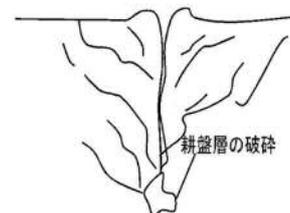
< 施工機械の選定の目安 >

- ・ 作土層直下に本暗渠の疎水材を埋設している場合（弾丸暗渠施工深度30cm程度）は、出力14.7KW（20PS）～22.1KW（30PS）級程度のホイール型トラクタで施工が可能。
- ・ 本暗渠疎水材の埋設深が30～50cm程度の場合は、出力44.1KW（60PS）級程度以上のクローラ型トラクタが必要。

※2 心土破碎について

サブソイラによって耕盤を破碎し、下層に多くの亀裂を発生させ、下層土の粗孔隙を増やし、下層土の透水性を増進する工法である。最近ではサブソイラで弾丸暗渠を施工する事例もみられる。

なお、サブソイラとは、土壌の表面は耕起せず、破碎爪により心土を破碎する機械をいう。



(b) 溶出法

溶出法は、海水による塩分の影響が作土層の表層部分に留まっている場合、土壌の透水性が小さく十分な縦浸透が期待できない場合及び暗渠が未整備或いは機能が不十分な場合などに選択する。この方法は、農業者が営農の延長上で対応できる手軽さがあるが、塩分が作土の深層に残留し、それが再び表層に上昇するこ

とがあるので、除塩後の塩分濃度等に留意する必要がある（縦浸透法においても作土に塩分残留の可能性があり留意が必要）。

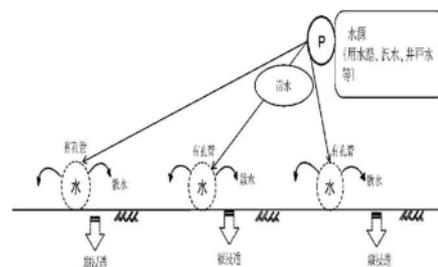
<溶出法における排水について>

溶出法については、湛水までの工程は縦浸透法と同様であるが、排水方法が異なる。溶出法では、土壌が完全に浸水するまで湛水した後、2～3日程度静置して土壌中の塩分を湛水中に溶出させた後、それらをほ場から排水する。

また、縦浸透法の場合は、浸透抑制作用のある湛水攪拌（代かき）は実施しないが、溶出法の場合は、耕起した作土層の表層を浅く攪拌する場合もある。湛水攪拌した場合は、極力濁水を排出しないように攪拌後の静置期間に留意する。

畑の場合は、除塩用水が土壌に浸透しやすくするために耕起し、耕起後に散水による除塩を行う。畑面に湛水可能な場合は水田同様に湛水し、縦浸透法又は溶出法による除塩を検討する。

畑の散水除塩 イメージ



- ① ほ場内に有孔管を設置
- ② ほ場に散水(用水ポンプ等と有孔管をつなぐ)
- ③ 有孔管を移動させ、除塩用水をほ場全域に浸透させる
- ④ 散水終了
- ⑤ 塩分濃度の確認(目標値以上の場合は②へ)

(ウ) ソフト面での措置

a 作物による対策

作物による対策は、耐塩性作物を選んで栽培する方法、土壌中の塩分を植物に吸着させ土壌から塩分を除去する方法（ファイトレメディエーション）、耐塩性品種を開発する方法などがあることが判明した。

(a) 耐塩性作物を選んで栽培する方法

ネット及び文献で耐塩性作物を調査したところ、以下の作物が耐塩性に優れていることが判明した。

<耐塩性が強い作物（例）>

- ① 水稲・麦：大麦
- ② 野菜：ハクサイ、ダイコン、ホウレンソウ
- ③ その他：イタリアングラス、ナタネ（ナノハナ）

また、アブラナ科（葉菜類）が耐塩性に優れているとの記載が多数あり、上記記載の「耐塩性が強い作物（例）」の「野菜」に記載されている「ハクサイ」「ダイコン」はアブラナ科に属する。

なお、耐塩性作物による塩害対策を行うにあつては、耐塩性作物にも適用できる上限があること、生育ステージによって耐塩性に差異があることなどに留意する必要がある。

耐塩性作物による塩害対策は、塩害が発生した農地における事後対策として、作物の収穫が見込める有効な方法と考えられ、予防的な事前対策としても効果は見込めるものと考えられる。

(b) ファイトレメディエーション

ファイトレメディエーションとは、先述のとおり、土壌中の塩分を植物に吸着させ土壌から塩分を除去する方法で、カドミウム対策などで採用されている。

ファイトレメディエーションに適用できる作物も耐塩性に優れている必要があり、東日本大震災の津波による被災農地では、「綿花」「菜の花（ナタネ）」などで行われたことが判明した。

また、この対策方法は塩害が発生した農地への事後対策であり、効果が発生するまでに複数年を要する可能性があることも併せて判明した。

(c) 耐塩性品種を開発する方法

塩害に対する作物による対策としては、耐塩性品種を開発する方法も具体的な対策として取り上げられている。

塩害は世界各地で発生しており、毎年、多くの農地が塩害による被害を受け、耕作ができなくなっているとされている。そのため、耐塩性品種の開発が国際機関等で行われている。日本においては、東日本大震災以降、農業の復興にむけて耐塩性品種開発が盛んに行われている。

b 営農による対策

営農による対策は、通常の営農を行う作業工程等の中で行える対策とし、作付けの前には場を湛水させて行う除塩作業による対策、作土を土壌改良材により改良することによる対策、土壌や地下水の塩分濃度などを管理することによる対策などがあることが判明した。

また、水稻における中干しは土壌水分が低下し、EC 値が高くなることから長期間の中干しは避けた方がよい（落水程度）ことが判明した。

(a) 作土を土壌改良材により改良することによる対策

湛水による除塩作業が不可能な農地の除塩対策として、土壌改良材を使用し、作土の土壌構造を団粒構造にし、排水性を高めることにより除塩を促進する方法がある。

土壌改良材には、珪藻土、木材チップを活用する方法があることが判明した。

この対策方法においては、排水溝の設置などの他の対策方法を併用することが望ましいとされている。

(b) 土壌や地下水の塩分濃度などを管理することによる対策

土壌や地下水の塩分濃度などを管理する方法として、塩素濃度と相関性のある EC 値を測定する方法が一般的とされている。

また、EC 値を測定する機器については、ハンディータイプのものが多種販売されており、比較的簡便に入手できると思われる。

なお、本対策は作物栽培前の土壌の塩分濃度の確認や、栽培後の土壌のモニタリングでの利用においては効果があると考えられるが、土壌から塩分を除去する対策ではないので、土壌中に塩分が存在する場合は塩分除去の対策を実施する必要がある。

c 施設による対策

施設による対策は、作土やかんがい水に塩害の発生が懸念されるものを使用しないような栽培方法に変更することによる対策で、養液栽培や養液土耕栽培を新たに採用することによる方法があることが判明した。

(a) 土耕栽培から養液栽培や養液土耕栽培に変更することによる方法

養液栽培とは、土を使わずに水に肥料をとかした養液により作物を栽培する方法で、代表的な栽培方法として、水耕栽培や固形培地耕栽培がある。

①水耕栽培：培地を使わずに水と液体肥料で作物を栽培する方法

②固形培地耕栽培：土の替わりになる培地に作物を栽培する方法
養液土耕栽培とは、養液栽培の培地に土を使用する栽培方法で、土耕栽培と養液栽培の中間的な栽培方式である。

養液栽培、養液土耕栽培ともに、規模に応じた施設整備が必要なり、相応の初期投資が必要となる。

また、栽培する作物についても、どの作物でも栽培できるのではなく、施設の構造や作物の特性から制約がかかる。

一方で収量の増加や品質の安定化、作業の省力化などの長所が数多くある。

東日本大震災で被災した塩害農地において、塩害対策として水耕栽培等の導入も行われている。

d 補償による対策

塩害が発生した場合に、営農の中断、もしくは作止めを実施し、農業者に対し金銭による補償を行うものである。

(a) 補償額の算定方法

公共用地の取得に伴う損失補償基準第 47 条、細則第 30 条第 2 号によると農業休止による補償額は「休止前の所得相当額－休止後においても得られる予想所得相当額」とされている。ここで、所得相当額とは農業粗収入から農業経営費（自家労働の評価額を含まない）を控除した額であり、農業粗収入とは過去 3 年間の平均収穫量を基準とし、補償時の農産物価格により算定される。また、農業経営費とは種苗費、肥料費、諸材料費、防除費、水利費、畜力費、建物費、農具費、雇用労働費、借入資本利子、地代その他の経費とし、自家労働の評価額及び自己資本利子見積額は経費に算入しないこととされている。

すなわち、作付け前であれば過去 3 年間の平均収穫量及び農産物価格から種苗費などの諸経費を引いた純利益相当額を補償し、収穫直前であれば、平均収穫量及び農産物価格から算定した額を補償することとなり、塩害が発生する時期により補償額が異なることが判明した。

また、塩害の発生が心配される場合は、事前に作止めによる補償を行うことも可能と考えられる。

塩害の一般的な対策を一覧にすると下記のとおりとなる。

No.	区分	対策方法	対策の概要
1	ハード対策 (事前)	塩分濃度モニタリングシステムの設置	塩分濃度測定器と観測データを蓄積・送信する機器等を設置
2		防潮堤の設置	堤防を設置
3		防風ネットの設置	ネットの設置
4		防風林の設置	防風林の植栽
5		止水壁の設置	鋼矢板等を不透水層まで打設
6		潮遊池（潮受け水路）の設置	干拓地の潮止め堤防背後に淡水の池（水路）を設置
7		盤上げ客土	現況地盤に良質な作土を投入
8		暗渠の設置	有孔管の埋設や、ほ場面の地下にモミガラで水みちを設置
9		地下かんがいシステムの設置	有孔管と制御器からなる地下水位制御システムを設置
10		キャピラリーバリアの設置	作土層と地下水面の間に礫層などを敷設
11		マルチング	わら、枯れ葉、礫、砂などを地表面に敷設
12	ハード対策 (事後)	除塩作業の実施	除塩作業フローに基づき実施
13	ソフト対策	耐塩性の作物栽培	ハクサイ、ダイコンなどの栽培
14		ファイトレメディエーション	綿花、菜の花（ナタネ）の栽培
15		耐塩性品種の開発	耐塩性品種の開発
16		土壌改良材による作土の改良	珪藻土、木材チップ等の利用
17		土壌・地下水の塩分濃度管理	EC値（電気伝導度）の測定
18		養液・養液土耕栽培への転換	養液・養液土耕による栽培
19		金銭による補償	適正な補償額の算定、支払い

(3) 福原地域における塩害対策と課題について

ア 一般的な対策の可否

前述(2)ウで述べた対策については、おおむね福原輪中地区での実施は可能であるが、複数の組み合わせが必要となる対策もある。

対策に応じ、設置構造物の高さや基礎地盤の位置、資材の選定などの事前調査が必要となる。また、実施する上での調整事項として、各管理者からの許可、同意、新たな施設を造成する場合には施設管理者の設定、営農指導や地権者・耕作者の同意が必要となる。それぞれの対策に応じた調査事項、調整事項をまとめると以下のとおり。

No.	対策方法	調査事項	調整事項
1	塩分濃度モニタリングシステムの設置	他の対策との併用	水路等管理者との調整 管理者の設定
2	防潮堤の設置	—	—
3	防風ネットの設置	ネットの高さ	水路等管理者との調整 管理者の設定
4	防風林の設置	樹木の種類、高さ	水路等管理者との調整 管理者の設定
5	地下への止水壁の設置	不透水層、基礎地盤の位置	河川管理者との調整
6	潮遊池（潮受け水路）の設置	幅、深さ、水量の確保	水路等管理者との調整 管理者の設定
7	盤上げ客土	盤上げ高 周辺施設の更新	地権者、耕作者の同意
8	暗渠の設置	資材の選定 設置幅、埋設深	地権者、耕作者の同意
9	地下かんがいシステムの設置	制御器の選定 管理者の選定	地権者、耕作者の同意
10	キャピラリーバリアの設置	埋設深 礫材の厚さ	地権者、耕作者の同意
11	マルチング	資材の選定	地権者、耕作者の同意
12	除塩作業の実施	除塩用水の確保 資材の選定	地権者、耕作者の同意
13	耐塩性の作物栽培	栽培品種の選定 他の対策との併用	地権者、耕作者の同意 営農指導
14	ファイトレメディエーション	栽培品種の選定 収入減への対応	地権者、耕作者の同意 営農指導
16	土壌改良材による作土の改良	改良材の選定 添加量の調整	地権者、耕作者の同意
17	土壌・地下水の塩分濃度管理	他の対策との併用	地権者、耕作者の同意 管理者の設定
18	養液・養液土耕栽培への転換	初期投資の対応	地権者、耕作者の同意 営農指導
19	金銭による補償	他の対策との併用	地権者、耕作者の同意

イ その他の対策

一般的な対策のほかに、河口堰運用前の取水方法や立地条件などを勘案し、他の対策を検討したところ以下のとおりであった。

(ア) アオ取水の再現によるかんがい

長良川の堤防整備が行われる1960年代中頃以前は、現在の小学校周辺のみが輪中内でその外側は荒れ地・沼地のような状態で、長良川の増水時には水没するような状況であった。1960年代中頃から長良川の堤防整備が行われ、現在の位置に取水樋門が造られた。また、同時期に長良川の浚渫土を利用した農地の嵩上げや区画整理が行われた。

取水は主に干満の差の大きい大潮時に行われていたが、小潮時も取水可能であった。また、主に朝方に行い、夜間に行うようなことは無く、長良川の水位が上昇してくるタイミングに合わせ、ゲートを10cmほど開け数時間で行っていた。また、塩分濃度の把

握方法は舌でなめて行っていた。

アオ取水を実施する場合、機器により塩分測定を行い、長良川の塩分濃度を把握し、取水の可否を判断のうえ、取水する必要がある。

なお、施設操作、取水作業は、地域の営農状況や水利用に精通している土地改良区へ委託することを想定している。

【概算建設費：5万円】

塩分濃度計(購入、貸与)：1式

【概算維持管理費：400万円/年】

福原樋門操作等管理委託

①取水量：約0.07m³/s、取水時間：2～3時間/回

②塩分濃度計によるかんがい用水の測定、取水作業：20回/年

③排水機運転経費増加：※16回(20回－4回)/年

※排水機の運転経費増加は、アオ取水への切替えにより長良川からの取水回数が増加することにより、地区内排水機場の運転頻度が増加することを想定している。

・長良川河口堰運用前の取水回数：20回(1987年～1994年平均)

・長良川河口堰運用後の取水回数：4回(2010年～2012年平均)

<課題>

淡水を常時利用できる現状とは異なり、塩害を防止するため地域の営農状況や水利用の状況、長良川の水位や水質等をきめ細かく把握するなど、高度な用水管理が必要となる。

塩水の遡上により、取水時間が制限され、取水回数を増やす必要が生じること、取水回数の増に伴い、排水機の運転頻度が増す懸念があることなど、用排水管理に係る条件が悪化することについて、地域の農業関係者の理解が必要である。また、そのためには塩水遡上の予測・解析を行い、運用前と同様なアオ取水が実施可能かどうかを示せるかが重要なポイントとなる。

福原樋門の操作、取水作業を委託するにあたっては、かんがい用水として利用可能な塩分濃度、施設の操作方法等を規定したマニュアルなどを策定する必要がある。

(イ) 井戸を新設し、地下水によるかんがい

河口堰運用前に長良川から取水していた用水量相当分について、井戸を新設し、地下水によりかんがいを行う。

確保水量(施設規模)は、1987年から1994年までの福原用水取水実績の1週間あたりの取水量の最大値を採用し、約230m³/日(日あたり換算値)とする。

また、維持管理費の算定にあたっては、1987年から1994年までの

福原用水取水実績の1か月あたりの平均値を採用し、約1,080³/月とする。

【概算建設費：150万円】

井戸 1箇所（口径100mm×8m、原動機出力2.2kw、ポンプ口径40mm）

【概算維持管理費：2万円/年】

運転時間：112時間/月（7時間/日×16日）

<課題等>

「県民の生活環境等の保全に関する条例」による地下水の揚水規制区域とされており、井戸の新設は条例制定の趣旨に反する。長良川の塩水遡上の状況によっては地下水の塩水化の懸念がある。

必要水量を確保できることが担保されないことから、必要に応じて施設の増設等を検討する必要がある。

(ウ) 木曾川用水からの導水

長良川からの取水に替え、近隣の木曾川用水から導水する。用水路のルートとして、海部幹線水路から導水する①立田ルートと、三重県側の長島用水路から導水する②長島ルートの2案について検討した。検討にあたっては、導水路・揚水機場等、一定の施設整備が必要となることを踏まえ、恒久的な利用が可能な施設を整備することとした。

・計画用水量：約0.1³/s（水田12.0ha、畑17.6ha）

① 立田ルート

海部幹線水路の森川支線への分土工付近から取水してポンプで圧送し、立田大橋を経由して福原輪中地区へ導水、福原輪中地区から揚水機で福原新田地区に導水する。

【概算建設費：8億300万円】

施設概要 延長 L=4,850m

管水路 口径300mm、硬質塩化ビニル管 L=3,600m

鶉戸川横断推進工 L=50m

立田大橋添架工 L=1,200m

揚水機場 2箇所

【概算維持管理費：350万円/年】

用排水機維持管理費

<課題等>

パイプラインのルートや木曾川の横断方法等の詳細な検討、海部幹線水路の断面への影響、関係する道路管理者や河川管理者との協議が必要であるなど、計画の策定に一定の期

間を要する。

水源計画を検討のうえ、水利権取得に向け、河川管理者や施設管理者、関係利水者・河川使用者と協議・調整が必要。木曽川大堰、海部幹線水路の建設費相当分について、施設管理者・関係利水者と協議・調整のうえ、応分の負担を負う必要がある。木曽川を横断するパイプライン(立田大橋添架工 L=1,200m)を建設する必要がある、施設建設費が高額となること、建設期間が長期となることが想定される。揚水機場の維持管理費用が必要となる。

また、地区内では排水機場の運転頻度が増す可能性がある。

② 長島ルート

木曽川用水の長島用水路から分水し、福原新田地区経由で福原輪中地区まで導水する。

【概算建設費：4億2,400万円】

施設概要 延長 L=3,000m

管水路 口径300mm、硬質塩化ビニル管 L=3,000m

揚水機場 1箇所

【概算維持管理費：250万円/年】

用排水機維持管理費

<課題等>

パイプラインのルートの詳細な検討や長島用水路の断面への影響、関係する道路管理者や河川管理者との協議が必要であるなど、計画の策定に一定の期間を要する。とりわけ三重県側の関係者に理解を得ることが必要である。

水源計画を検討のうえ、水利権取得に向け、河川管理者や施設管理者、関係利水者・河川使用者と協議・調整が必要。

木曽川大堰、海部幹線水路、長島用水路の建設費相当分について、施設管理者・関係利水者と協議・調整のうえ、応分の負担を負う必要がある。

建設費は立田ルートに比べ抑えられるものの高額となる。

揚水機場の維持管理費用が必要となる。また、地区内では排水機場の運転頻度が増す可能性がある。

(エ) 水道水によるかんがい

河口堰運用前に長良川から取水していた相当分について水道用水によりかんがいを行う。

確保水量は1987年から1994年までの福原用水の1か月あたりの取水量の平均値約1,080m³/月とする。

【概算維持管理費：270万円/年】

水道料金（口径100mm）の基本料金、使用料金（約1,080m³/月）

※配管、給水栓等の設備建設費用は別途

<課題等>

水道水は、「給水栓における水が、遊離残留塩素を0.1mg/ℓ以上保持するように塩素消毒すること」が定められているため、残留塩素が用水路内の水生生物や農作物に対して影響を与える恐れがある。

水利使用規則で定められた使用目的と異なる目的で水を使用することとなるため、河川法上問題とならないか河川管理者と協議するとともに、水道施設を農業用に利用することについて水道事業者並びに関係省庁の了解を得る必要がある。

新たに管路等の整備が必要となる。また、周辺の一般家庭への給水に支障が生じないか確認が必要となる。

水道水を農業用水として利用することについて、他ユーザー等の理解が得られない恐れがある。特に渇水時には、優先順位が劣後となり、代替水源として利用できなくなる可能性がある。

(オ) 海水淡水化施設の整備によるかんがい

河口堰運用前に長良川から取水していた相当分について海水淡水化施設により造水し、かんがいを行う。確保水量（最大値）は約230m³/日とする。

【概算建設費：2億円】

可搬式海水淡水化施設：5台（造水量50m³/日）

※施設購入費用のみ（現地水路の改築に係る土木、電気工事別途）

【概算維持管理費：720万円/年】

①定期メンテナンス（1回/2年）

②保存液の交換（1回/半年）

③RO膜等の定期的な部品交換（1回/3～5年 メーカー推奨）

※運転経費別途

<課題等>

近隣の事例として、水資源機構（異常渇水時や災害発生時等に使用）からの聞き取りに基づき積算したことから、詳細な現地調査を実施した上で、現地水路の改築に係る土木、電気工事を計画する必要がある。

ウ 対策実施前に必要となる調査について

一般的な対策に必要となる調査は先述のとおりであるが、塩害が発生した際に開門調査の塩水遡上の影響であるか否かの判断が困難となることから、河川、承水路－地下水の水質実態、あるいは地下水の流動に伴う水質変化の状況を把握しておく必要がある。

また、作物に対する影響については、根域土壌の塩分濃度と作物の生育反応、養分吸収の関係から明らかにできる。そのためには事前に土壌中の塩分濃度等水溶性成分含量、作物体中の塩化物イオン・ナトリウム含量の実態、作物の生育状況、収量の実態を明らかにしておく必要がある。

こうしたことから、河口堰開門後、作物に障害が発生した場合に原因解析ができる項目として、現状の地下水位・地下水質、かんがい水質のモニタリング、土壌構造・土壌化学性把握、作物の生育状況、作物体中成分含有量等の調査など、すべての対策を実施する前に、これらの事前調査を実施する必要がある。

(7) 測量

路線測量や水準測量を実施し、現況地形を詳細に把握するとともに各収集データに相関性を持たせる。

a 路線測量

- ① 現地踏査～線形決定～中心線測量：2.4 km (福原輪中 1.6 km + 福原新田 0.8 km)
- ② 横断測量(幅 600m @ 100m)：4.8 km (福原輪中 2.4 km + 福原新田 2.4 km)

b 水準測量

- ① 4級水準測量：2.4 km (福原輪中 1.6 km + 福原新田 0.8 km)
- ② 4級基準点測量：186 点(全ほ場)

(4) 水質・地下水調査

河川水位、地下水位、塩分濃度、イオンバランス、有機物濃度などの調査により水質形成過程、河川－地下水間の相互作用を推定する。

- ① 水位計によるモニタリング：15 地点
- ② 水質

地下水：15 地点(各 2 深度)

HC03⁻、Cl⁻、S042⁻、N03⁻、Na⁺、K⁺、Ca2⁺、Mg2⁺、DOC、pH、EC、Eh、D0

河川水：2 地点(長良川、木曾川)

HC03⁻、Cl⁻、S042⁻、N03⁻、Na⁺、K⁺、Ca2⁺、Mg2⁺、TN、TP、DOC、pH、EC、SS

承水路：5 地点

HC03⁻、Cl⁻、S042⁻、N03⁻、Na⁺、K⁺、Ca2⁺、Mg2⁺、

(ウ) 土壌調査

土壌物理調査や化学性調査を実施し、土壌の物理性や作物の栄養にかかわる肥沃度、塩類濃度の垂直分布等の科学的特性の現状を明らかにする。

土壌断面調査：深さ 1 m、湧水面 10ほ場（3haあたり 1箇所）

- ① 土壌物理性調査：土性、土壌硬度
- ② 土層別化学性：pH、EC、交換性塩基（ K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ）
水溶性イオン（ Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ）

(エ) 農作物に対する影響調査

作付調査、生育調査、収量調査等を実施し農作物の生育、収量等の現状を把握する。

- ① 概況調査：53ほ場（全水田）
- ② 定点調査：10ほ場（3haあたり 1箇所）
 - ・ 作土調査：作付け前後（湛水前後）
pH、EC、水溶性イオン（ Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ）
 - ・ 生育調査：活着期（概観調査）
幼穂形成期（草丈、莖数）
登熟期初期（生葉数、止め葉の枯れ程度、褐変粒の発生割合）
 - ・ 収量調査：稈長、穂長、穂数、収量構成要素

エ 調査における課題

塩害が発生した場合の責任の所在や事後の対応方針について、地域の農業関係者に十分な説明を行い、理解を得た上で、代替水源の確保対策、風評被害の防止対策、除塩対策等に係る調整、協議を了してからでないと、事前調査に着手することはできない。

水質・土壌・水稻に対する影響の各調査の実施期間について、数年かけてより多くのデータを収集する必要がある。

事前調査の成果をより有効なものとするため、河口堰開門調査の時期や期間等に応じて、調査計画を再度検討する必要がある。