

第5回 島地川ダム水質改善検討委員会

委員会資料

平成22年12月

国土交通省 中国地方整備局 山口河川国道事務所

目 次

第1章	第4回委員会での決定事項と課題に対する対応方針	1
第2章	島地川ダムの水質改善事業の進捗状況	2
第3章	高濃度酸素溶解装置の運用状況と水質の改善状況	3
3.1	高濃度酸素溶解装置の運用案の変更	3
3.2	高濃度酸素溶解装置の稼働状況	4
3.3	水質調査時の測定位置に関する精度向上の工夫	5
3.4	水質の改善状況	6
3.4.1	縦断方向の酸素の広がり	6
3.4.2	横断方向の酸素の広がり	8
3.4.3	金属の低減状況	9
3.4.4	水温勾配の状況	14
3.5	酸素消費速度の検証	16
3.5.1	酸素供給開始直後（平成22年4月～6月）	16
3.5.2	酸素飽和後（平成22年10月）	18
3.6	マンガンの減少速度の検証	19
3.7	ECを用いた鉄・ヒ素・マンガン濃度の推定	23
第4章	高濃度酸素溶解装置の運用（案）	25
4.1	平成22年4月～12月の吐き出し高さの適宜設定（報告）	25
4.1.1	平成22年4月～6月末までの運用	25
4.1.2	平成22年7月以降の運用	26
4.2	平成23年の運用の考え方（案）	49
第5章	水質モニタリング調査（案）	53
第6章	流入ヒ素の再検討	55
6.1	これまでの検討の流れ	55
6.2	修正した条件及び再検討内容	57
6.2.1	修正した条件	57

6.2.2	再検討結果	59
6.2.3	流入ヒ素対策の再計算結果	62
第7章	アオコ対策施設の効果について	68
7.1	アオコ対策施設（プロペラ攪拌式水質改善装置）の概要	68
7.2	アオコ対策装置の運用状況と評価期間	69
7.3	アオコ対策装置の効果	69
7.3.1	アオコの発生状況	69
7.3.2	気象状況等による要因	70
7.3.3	植物プランクトンの状況	71
7.3.4	今後のアオコ対策施設の運用方法	72
7.4	モニタリングによるアオコ対策施設の効果検証について	73
第8章	まとめ	74

第1章 第4回委員会での決定事項と課題に対する対応方針

現在、第4回委員会の決定事項を基に島地川ダム底層の水質改善を行っている。第4回委員会における提言とその対応方針は以下のとおりである。

表 1-1 第4回委員会における提言とその対応方針

第4回委員会における提言	提言の背景	提言に対する対応方針
◆高濃度酸素溶解装置の運用（案）、水質モニタリング調査（案）について、事務局案で了承するが、マンガンの濃度についても検討を加えて運用する。	酸化の遅いマンガンが循環期に貯水池表層に供給され、黒水化することを防ぐため。	マンガンについて検討を加えて運用（案）を修正し、3月11日に委員長の確認を受けた。その後、水質調査結果を見ながら 随時マンガンについて検討を行っている （第4章参照）。
◆運用については、モニタリングの結果を踏まえ、改善すべき点があれば検討を行う。	同上	調査結果を随時解析し、 徐々に上層よりマンガン濃度を下げながら装置の位置を下げていった 。ただし、低減の遅いマンガンに留意したため、EL. 240m～EL. 250の範囲しか改善できなかった（第4章参照）。本委員会では来年以降の運用について、ご議論いただきたい。
◆水質モニタリングについて、現地調査（計測・採水）時の船の固定方法について検討を行う。	底層の水質は、採水深さによって異なることから、常に同一箇所での採水を行うため。	調査地点についてGPSを用いて位置を確認し、貯水池左右岸から 監視員を置いて採水中のズレを防ぐ よう努めている。（p. 5参照）
◆水質モニタリングについて、調査結果を踏まえ、運用に反映させる（特にマンガンの影響には注意する。）。	表層水質の悪化を防ぐと共に今後のコスト縮減を図るため。	水温やECの簡易水質調査を月2回、金属類の分析を月1回行っていたが、冬季の湧水が予想され、循環期の混合で表層までマンガンが到達する可能性が出てきたため、 11月より金属類の分析を月2回に増やしている （p. 31参照）。

第2章 島地川ダムの水質改善事業の進捗状況

今年度は4月より高濃度酸素溶解装置が供用開始され、連続運転を継続している。また、管理用発電については設計・施工段階である。

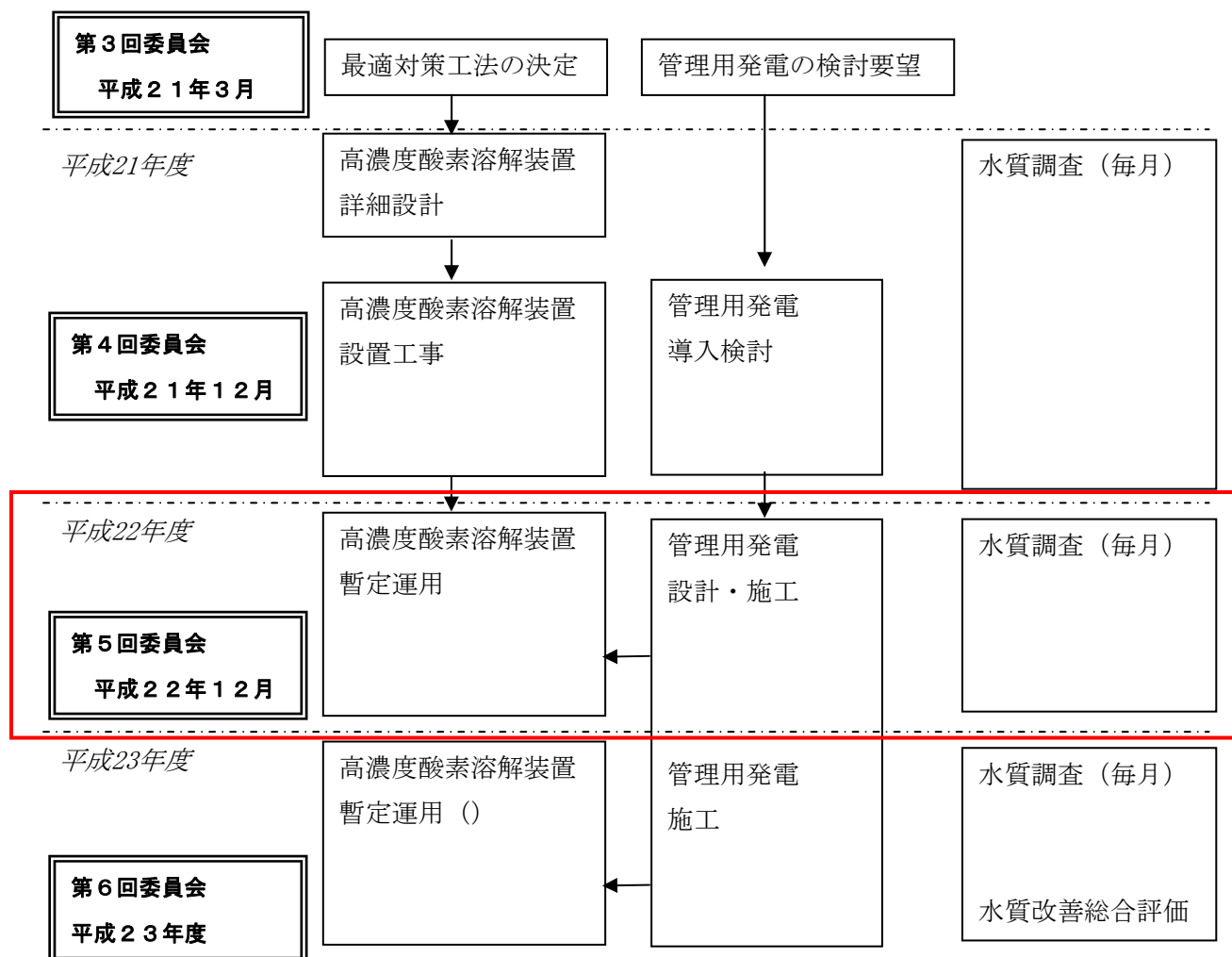


図 2-1 平成22年度の事業実施状況及び平成23年度の予定 (案)

第3章 高濃度酸素溶解装置の運用状況と水質の改善状況

本章では、高濃度酸素溶解装置の運用実績を整理するとともに、高濃度酸素溶解施設導入効果を検証した。

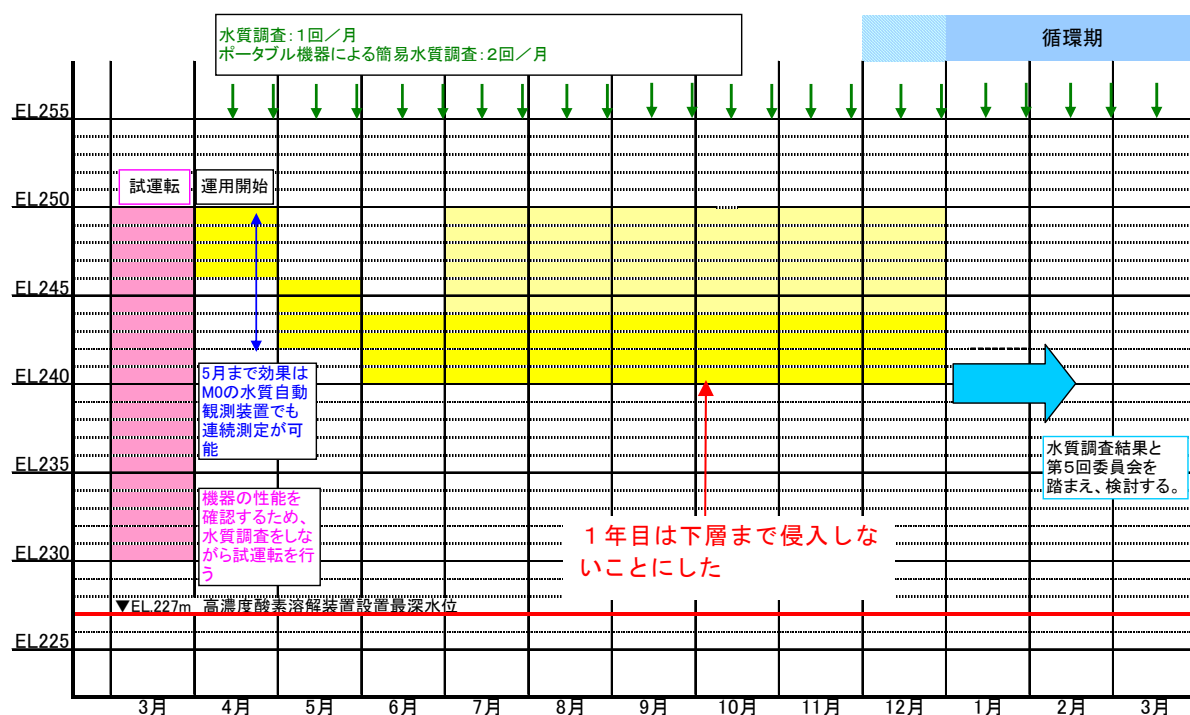
3.1 高濃度酸素溶解装置の運用案の変更

第4回島地川ダム水質改善検討委員会後、委員からの提言により、マンガンに対して冬期の循環期に表層の水質が悪化することのない様安全側に配慮して、高濃度酸素溶解装置の運用に関する修正を行い、今年3月に各委員の承認を得た。今日までの運用は、この運用案を基本とし、随時マンガン濃度を見ながら運用を行ったものである。

<運用の考え方>

1. 高濃度酸素水の吐き出し高さは、EL. 250mから開始する。
2. 高濃度酸素水の吐き出し高さは、上から下に向けて進める。
3. 高濃度酸素溶解装置による改善高さは4 mとして設定する。
- ~~4. 242～250 (EL. m) では1ヶ月に4mずつ水深を下げ、242 (EL. m) 以深は2週間に4mずつ水深を下げる。~~
5. 水質モニタリングを適切に実施し、コスト削減のため、適切に運転時間を設定する。

4. 循環時のマンガン濃度について注意するため、平成22年12月まではEL. 240m以深には進めないこととし、水質改善状況を踏まえて適宜変更することとした。



ポータブル機器による簡易水質調査
調査項目：水温、DO、EC
調査測線：M0～M6(7測線)・流心部のみ
調査水深：表層～底部まで・1mピッチ
調査頻度：試運転時1週間毎、供用後2週間毎

図 3-1 運用（案）の変更状況

3.2 高濃度酸素溶解装置の稼働状況

高濃度酸素溶解装置は4月1日から水質調査結果を基に適宜検討しながら、徐々に吐き出し高さを下げて、7月1日より再びEL. 250mより2巡目の酸素供給を開始した。

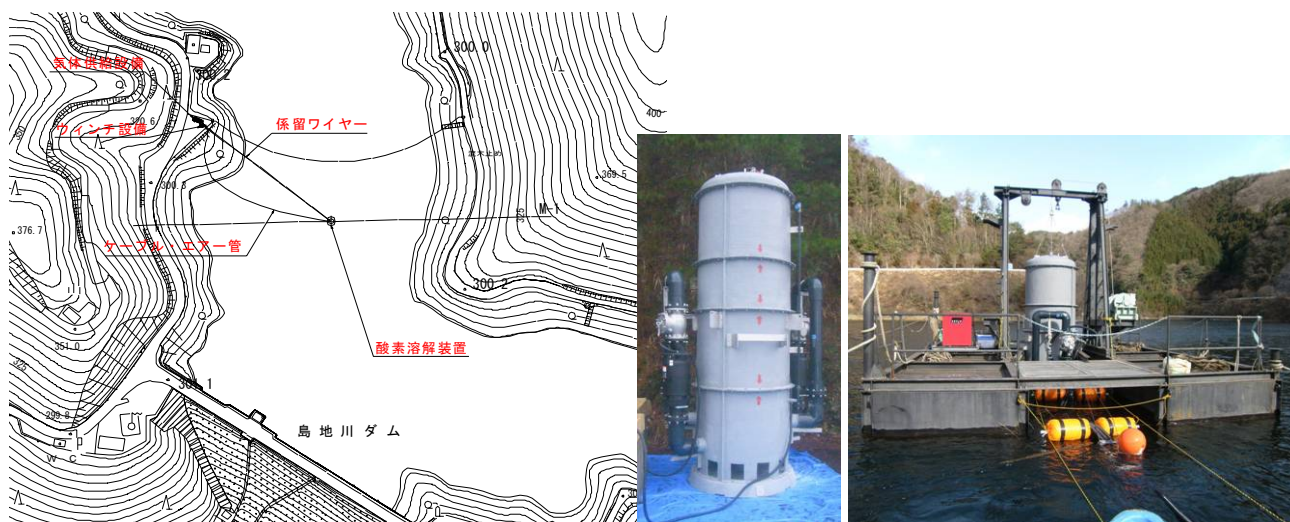


図 3-2 高濃度酸素溶解装置の設置状況

なお、運転は24h連続稼働であり、5月19日～5月20日に運転の一時停止、7/3-7/5に落雷による運転停止が発生している。

装置の吐き出し高さは図 3-3に示すとおりである。

なお、吐き出し高さを変更した経緯については第4章で報告する。

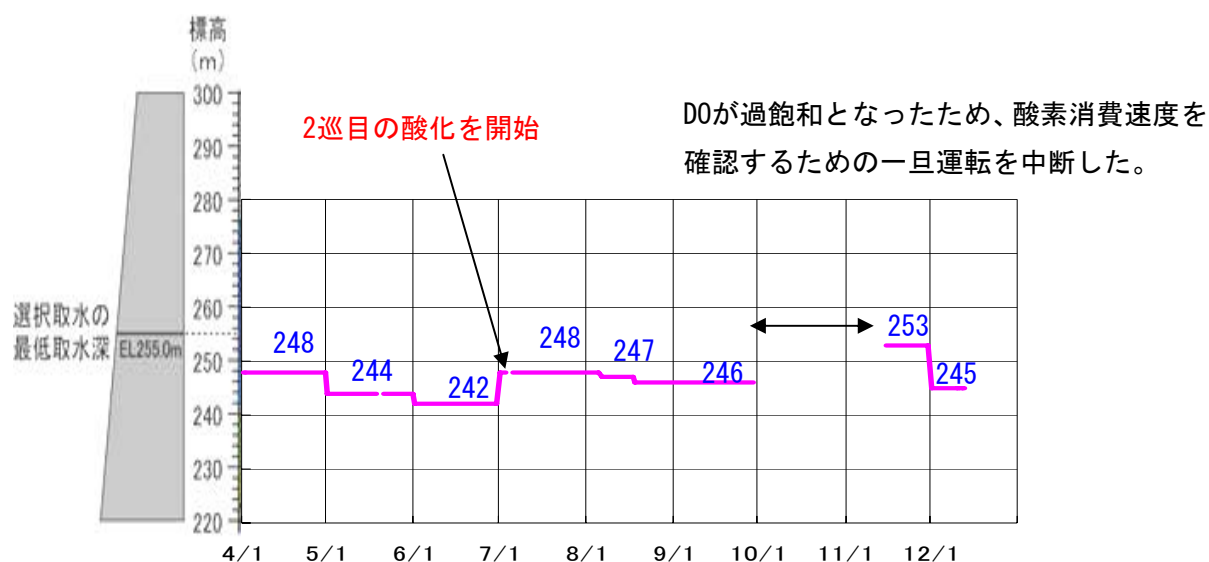


図 3-3 高濃度酸素溶解装置の吐き出し高さ

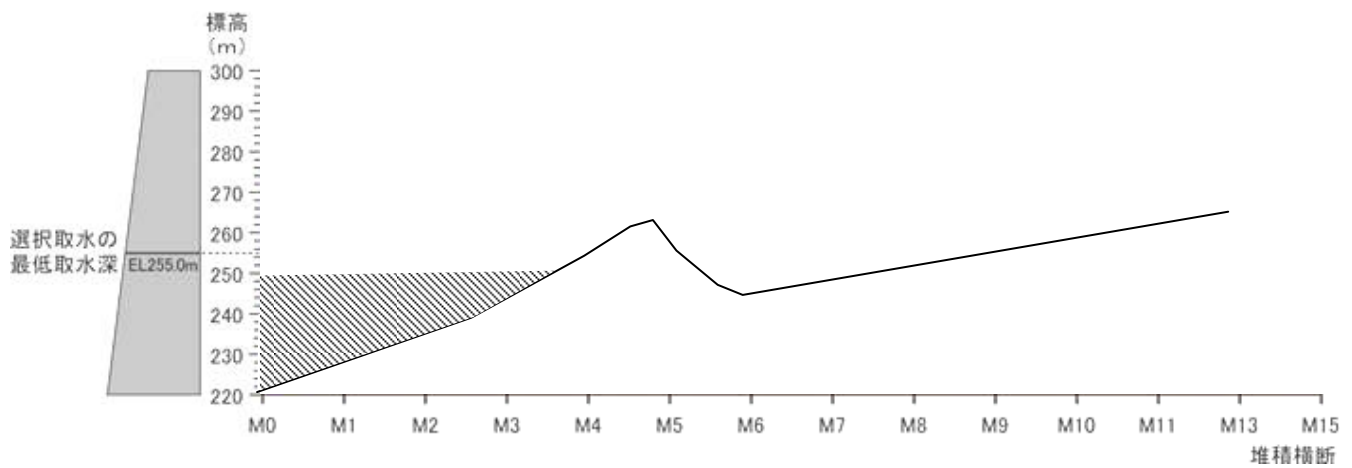
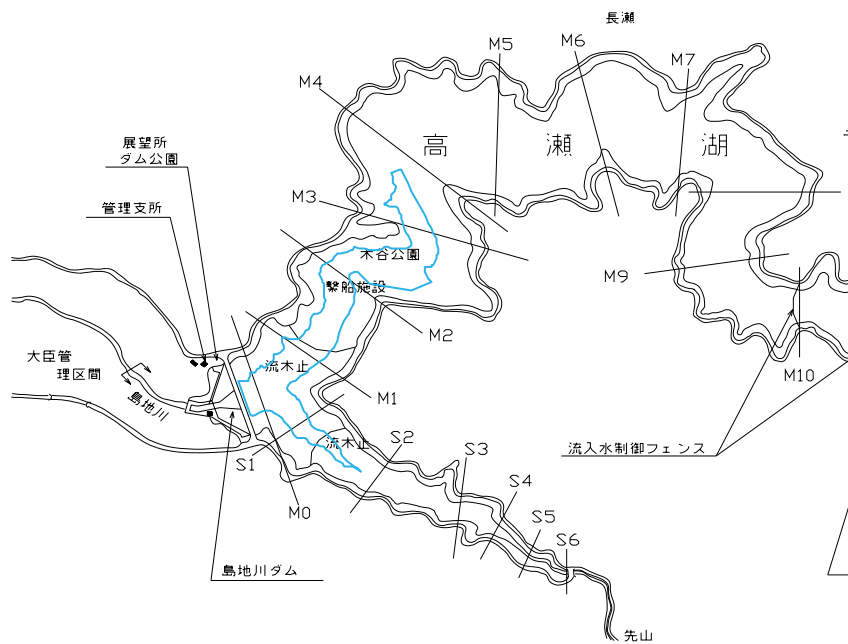


図 3-4 改善対象範囲（縦断図）



※青線で示すEL. 250m以深を対象とする。

図 3-5 改善対象範囲（平面図）

3.3 水質調査時の測定位置に関する精度向上の工夫

平成22年度の水質調査では、水質調査地点の精度を確保するため、客観的に位置のずれを把握するために地上に監視員を置き、採水作業中に風の影響などにより位置がずれないように努めている。



図 3-6 水質調査位置の精度確保状況

3.4 水質の改善状況

3.4.1 縦断方向の酸素の広がり

酸素の吐出しはEL. 240m～EL. 250mに限定したこと、酸素の供給高さは当初の予測どおり、4 mであったことから、7月1日から2巡目の改善となった。M-3での酸素到達は1巡目では観測されなかったが、2巡目の7月に観測された。なお、1巡目のM-1でのDOは15mg/L程度であった。

しかし、7月以降は2巡目の酸化となり、1巡目では届かなかったM-3まで2週間で酸素が届いていることが確認された。その後、M-3への到達量も大幅に増え、飽和による運転中断後も酸素は高い濃度のまま推移した。

なお、p. 15に示すとおり、M-6には水質改善効果は認められていない。

4月 ⇨ 5月 ⇨ 6月 ⇨ 7月 ⇨ 酸素の吐き出し高さ

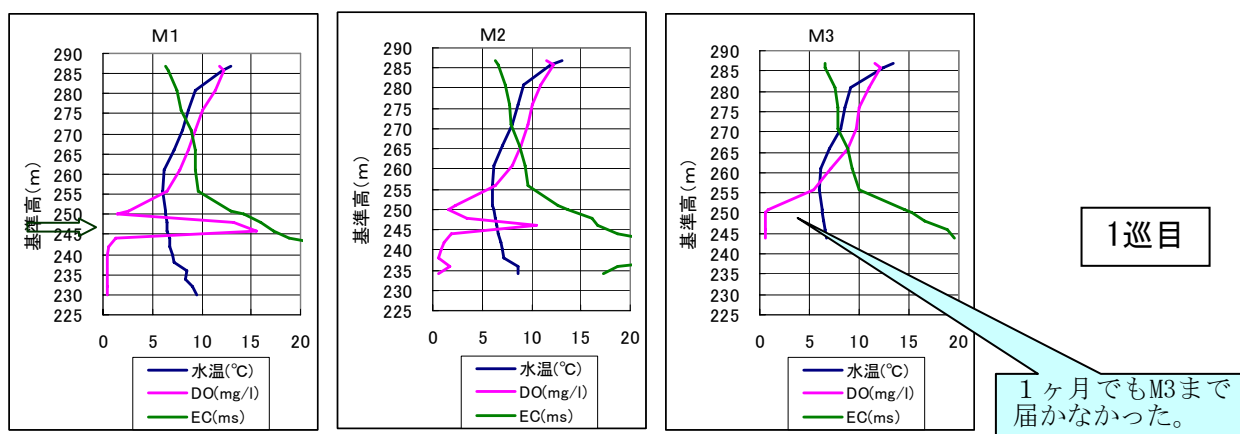


図 3-7 縦断方向のDOの広がり（平成22年4月30日）

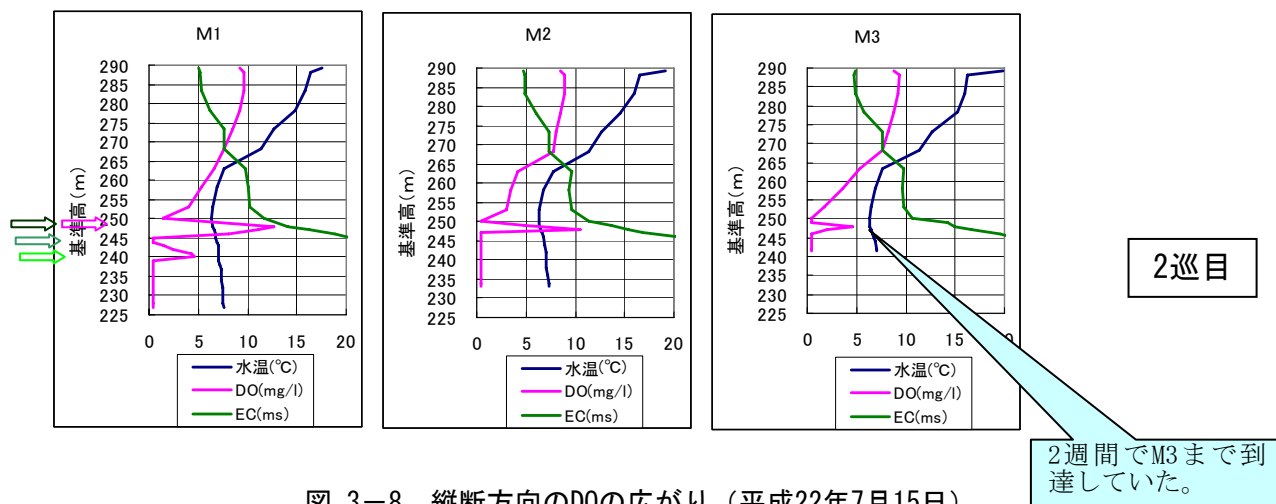


図 3-8 縦断方向のDOの広がり（平成22年7月15日）

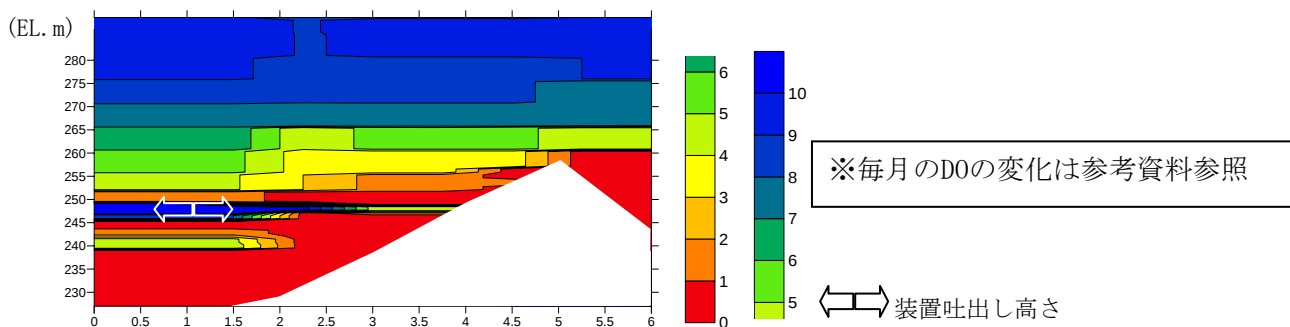


図 3-9 DO (mg/L) の縦断方向の鉛直分布（平成22年7月15日）

4月 ⇨ 5月 ⇨ 6月 ⇨ 7月 ⇨ 8月-9月 ⇨ 酸素の吐き出し高さ

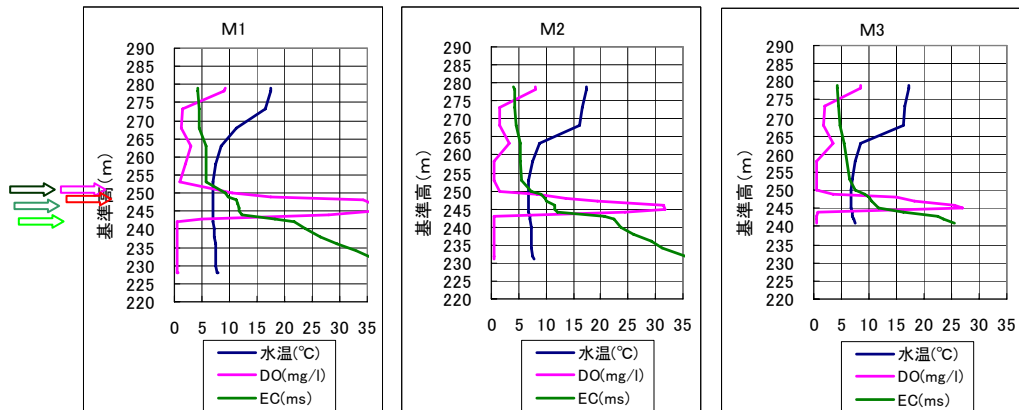


図 3-10 縦断方向のDOの広がり（平成22年10月26日）

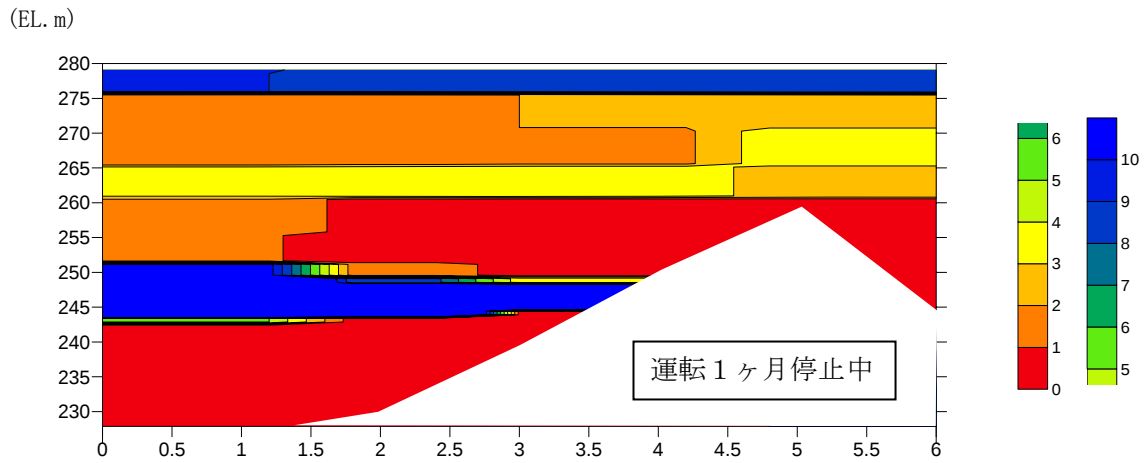


図 3-11 DO (mg/L) の縦断方向の鉛直分布（平成22年10月26日）

3.4.2 横断方向の酸素の広がり

酸素の広がりを横断方向に確認するため、5月11日及び5月31日にM-1の横断方向のM1-L及びM1-R地点、S-1地点で酸素を確認したところ、中央部のM-1とほとんど同じ状況であった。今回対象としている範囲は深い位置であることから両側が狭くなっており、横断方向のDOの広がりとは良いと考えられる。

これ以後、**横断方向の水質については調査を行わない**こととした。

4月 ⇨ 5月 ⇨ 酸素の吐き出し高さ

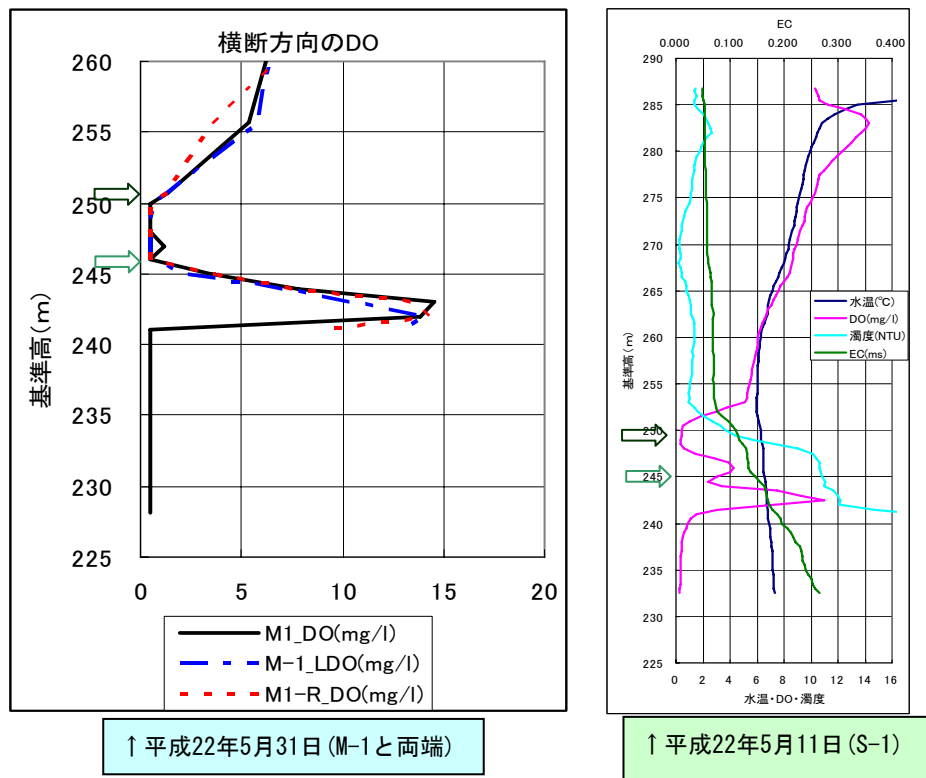


図 3-12 横断方向のDOの広がり

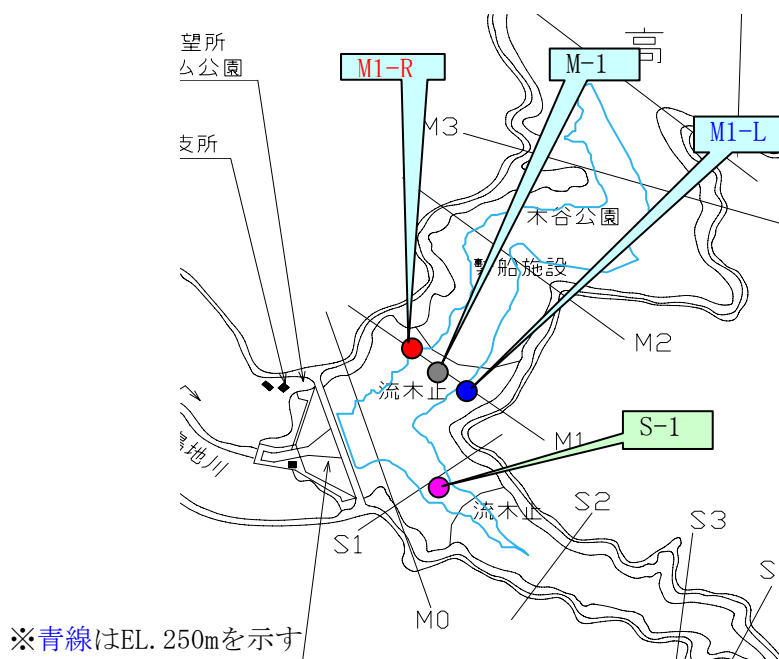
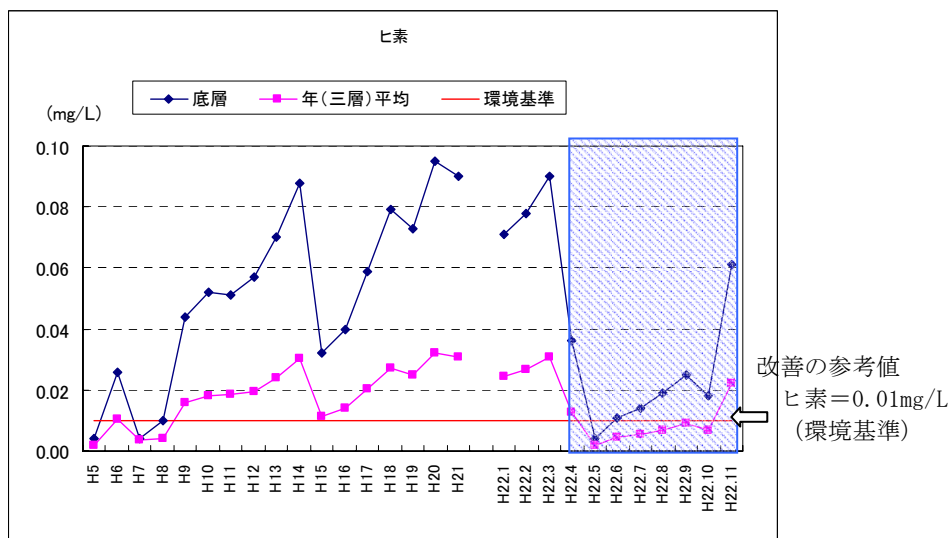


図 3-13 臨時水質調査地点図

3.4.3 金属の低減状況

(1) 経年変化

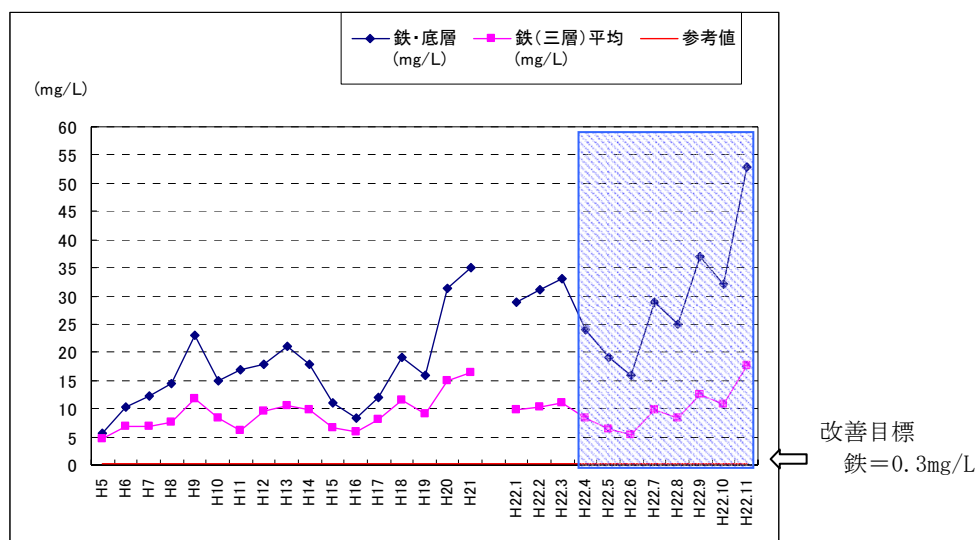
M-1 底層 (EL. 227m 付近) におけるヒ素及び鉄・マンガンの低減は下記のとおりである。
4 月からの高濃度酸素溶解装置の運用とともに**鉄とヒ素が一旦低下**した。しかし、底層部は直接酸素供給を受けている範囲ではないため、徐々に下層からの再溶出が上回ようになったと考えられる。ヒ素の低減は**沈降してくる水酸化鉄により吸着**されたことが考えられる。



※平成22年3月までは定期調査の値、平成22年4月～10月は臨時調査の速報値

機器稼働期間

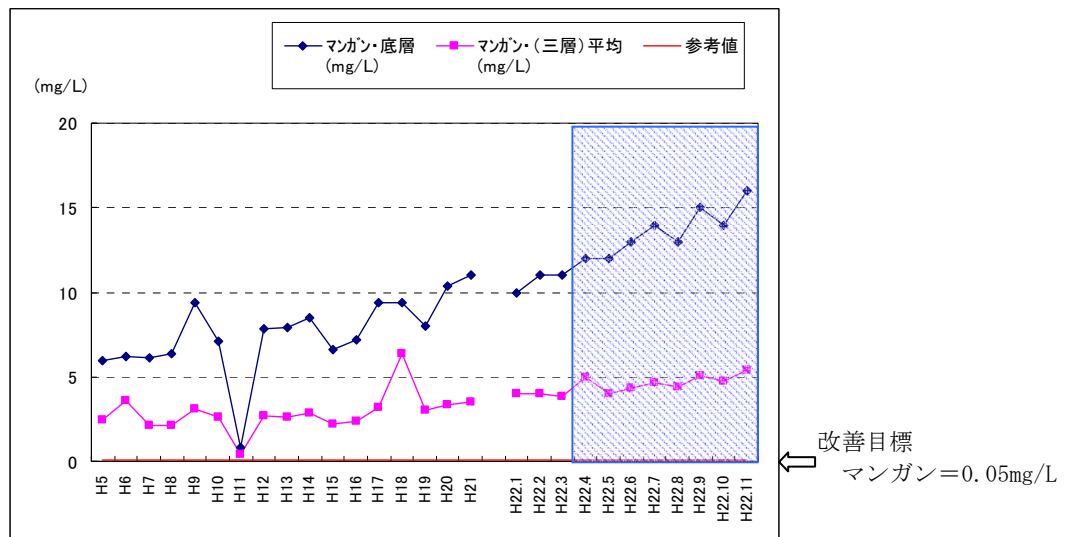
図 3-14 ヒ素の経年変化



※平成19年12月までは定期調査の値 (年1回)、平成20年1月以降は臨時調査 (年12回)、平成22年4月～10月は臨時調査の速報値

機器稼働期間

図 3-15 鉄の経年変化



※平成19年12月までは定期調査の値（年1回）、平成20年1月以降は臨時調査（年12回）、平成22年4月～10月は臨時調査の速報値

機器の稼働期間

図 3-16 マンガンの経年変化

(2) 鉄・ヒ素の低減状況

ここでは鉛直方向の低減状況を検証した。鉄及びヒ素は酸素による酸化が早いいため、M-1では**酸素供給高さにおいては、大きな低減効果が見られる**。一方、酸素の届いていないM-6（供給対象外）では大きな変化はみられない。

なお、酸素供給範囲外の底層（最深部から1 m上部）については、M-1で一旦底層のヒ素が環境基準0.01mg/Lを下回った。6月までは酸素供給範囲から水酸化鉄が沈降してきたために、ヒ素が吸着されていたが、7月の2巡目以降、ほとんど沈降してこなくなり、溶出量が上回った（溶存酸素は元々0である）ためと推定される。

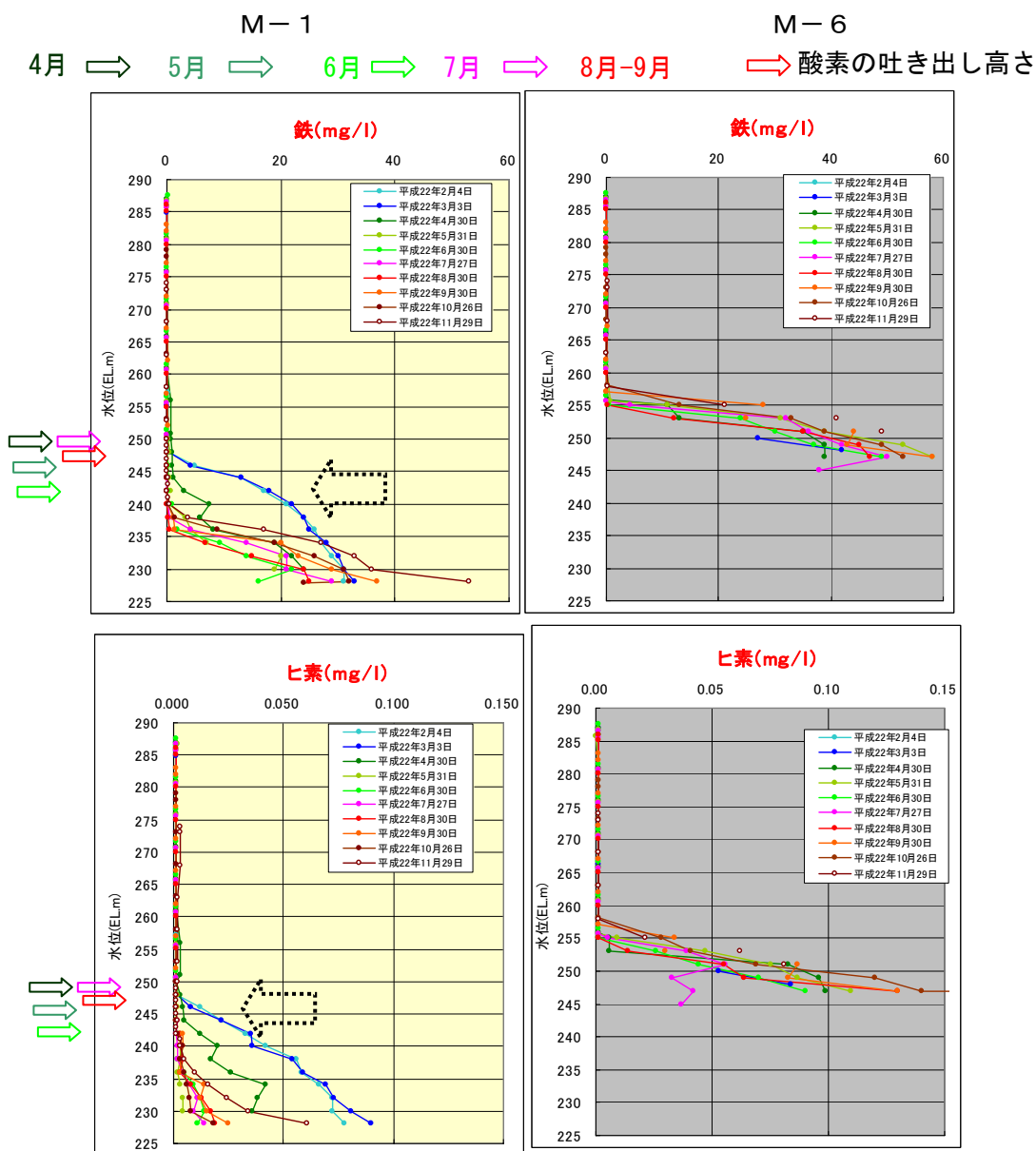


図 3-17 鉄・ヒ素の鉛直分布

(3) マンガンの低減状況

マンガンについては、M-1 のEL. 250～255mで一旦濃度の上昇が見られたが、その後低減している。一旦上昇した理由として、鉄の低減により密度が変わり、上の層と小循環が起こったためと考えられる。また、EL. 240mより底層では濃度が上昇しているが、ここは現時点での酸素供給範囲ではないことから、酸化により沈降したマンガンによるものと考えられる。

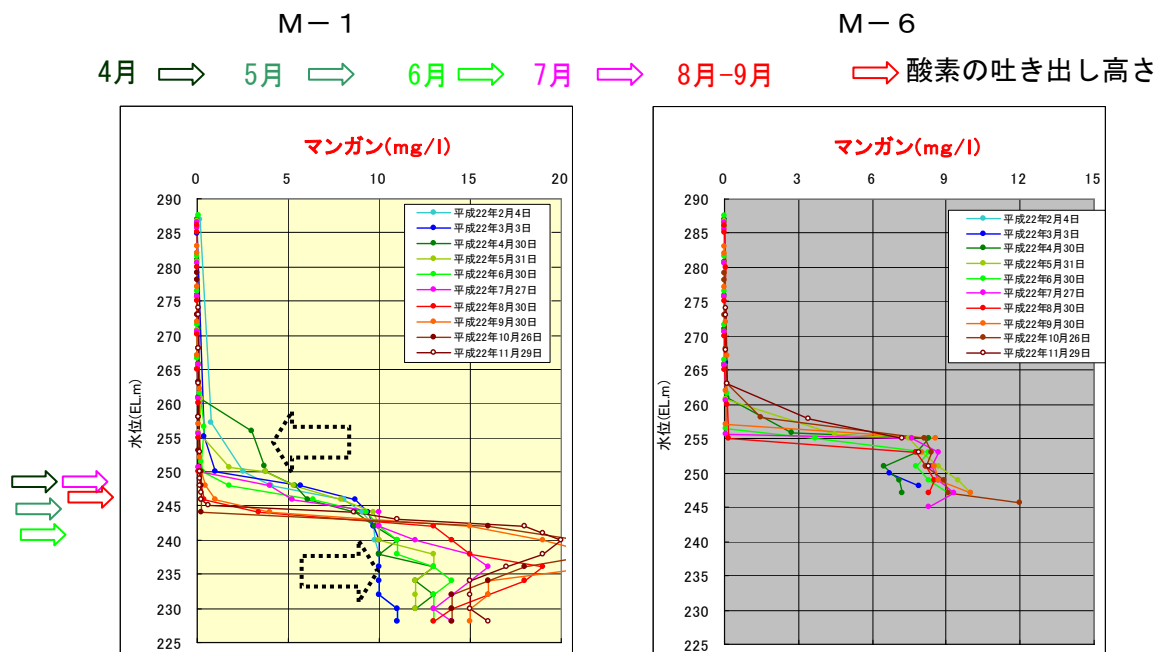


図 3-18 マンガン鉛直分布

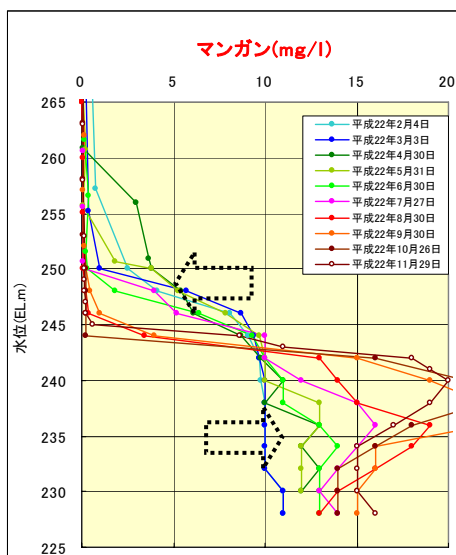


図 3-19 マンガン鉛直分布（拡大図）：M-1

(4) EC（導電率）の低減状況

ECについては2巡目である7月以降にEL. 238mより上層で低減がみられる。次ページで示すとおり、アオコ対策装置と高濃度酸素溶解装置により水温成層の傾きが緩くなっていることが要因の一つとして考えられる。

一方、M-1のEL. 238mより下では上昇傾向である。鉄・マンガンなどが沈降するためであると考えられる。

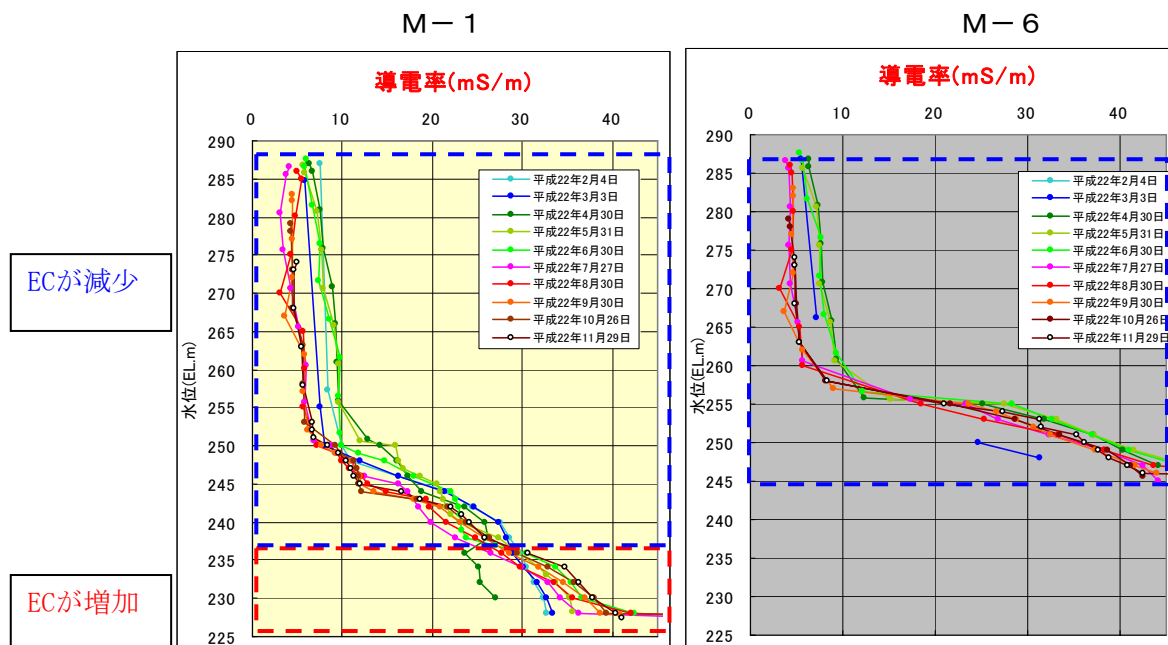
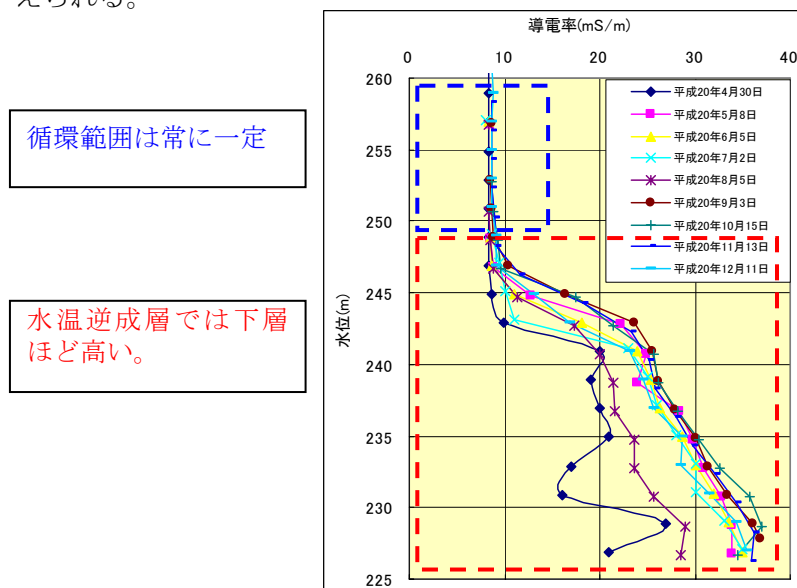


図 3-20 ECの鉛直分布（平成22年）

酸素供給前の状況として、平成20年の状況を以下に示す。EL. 250mより上層では常に一定であることから、平成22年にEL. 250mより上層でもECが低減している状況は酸素供給に起因すると考えられる。



※H21ではなくH20を使っている理由は、EL. 250mより上層で測定地点が多いことによる。

図 3-21 酸素供給前のEC（導電率）の状況（平成20年：M-1）

3.4.4 水温勾配の状況

酸素供給範囲ではないEL. 244m～EL. 250m及びその上層において、水温が上昇し、水温逆転層が若干解消されつつある。理由は以下のとおりであると考えられる。

EL. 244m～EL. 250m：陸上から供給される酸素によって水温が上昇する。

EL. 250m～EL. 260m：下層（EL. 244m～EL. 250m）の密度減少（鉄イオン等が酸化され沈降し、密度が減少）により、下層と循環混合が起こる。

EL. 260m～EL. 280m：黒川橋に設置されたアオコ対策装置の影響で下層に表層の暖かい水が供給されている。

EL. 244mより下層では平成20年と比べ水温分布は変わっていない。

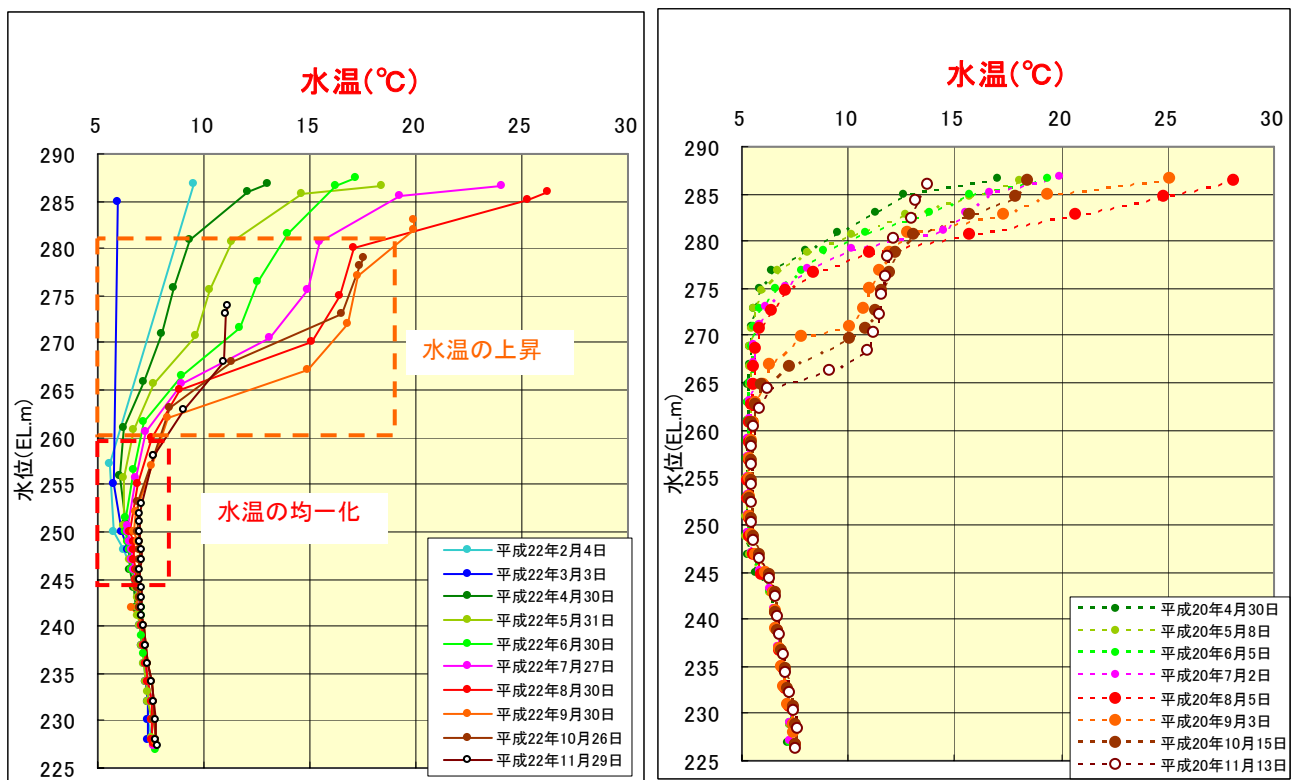


図 3-22 水温の鉛直分布（M-1）： 左＝平成22年 右：平成20年

EL. 250m～EL. 255mにおける下層との循環混合について、全ての密度変化はわからないが、濃度変化が明らかとなっている鉄について見ると、以下のとおりであると考えられる。

EL. 240mでは4/30～5/31の1ヶ月間で鉄が6.86mg/L減少した。これはこの高さの水温7.1℃では、0.1℃の水温下降で4mg/L増加することから、0.17℃分の密度に相当する。

鉄の減少分だけで、0.17℃水温の高い（密度の小さい）上の層との混合が説明できる。

平成22年の鉄(mg/L) (M-1)

(EL. m)	4 月 30 日	5 月 31 日	6 月 30 日	7 月 27 日	8 月 30 日	9 月 30 日	10 月 26 日
287	0.04	0.03	0.19	0.03	0.03	0.05	
280	< 0.03	0.04	0.09	0.11	0.04	0.03	0.03
270	0.04	< 0.03	0.04	0.05	< 0.03	0.04	0.04
260	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05
255	0.66	0.03	< 0.03	0.04	0.04	0.15	0.04
251	0.74	0.10	< 0.03	0.04			
250	0.74	0.13	< 0.03	0.04	0.03	0.07	0.07
248	0.97	0.37	0.08	0.06	0.05	0.04	0.06
246	1.0	0.29	0.12	0.04	0.03	0.03	0.04
244	1.2	0.40	0.26	0.05	<0.03	0.04	0.04
242	3.1	0.59	0.33	0.11	0.06	0.04	0.11
240	7.4	0.54	0.83	0.22	0.09	0.13	0.15
238	5.9	3.2	0.57	0.36	0.18	1.2	1.5
236	8.2	4.1	1.9	4.1	0.58	1.5	8.8
234	19	7.1	9.4	14	6.8	20	19
232	22	20	14	21	15	23	26
230	24	19	22	21	24	29	31
228			16	29	25	37	32

実際には、鉄以外にも酸素の供給範囲で酸化により沈降・低減する成分があり（蒸発残留物は EL. 240m では4/30→5/31で40mg/L減少：蒸発残留物の調査結果は参考資料参照）、その**密度低減に相当する水温分の上層と混合**していると考えられる。

表 3-1 水温による密度の変化 単位[g/cm3]

温度 (°C)	小数点以下									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	0.999965	0.999967	0.999968	0.999969	0.999970	0.999971	0.999972	0.999972	0.999973	0.999973
4	0.999973	0.999973	0.999973	0.999972	0.999972	0.999972	0.999970	0.999969	0.999968	0.999966
5	0.999965	0.999963	0.999961	0.999959	0.999957	0.999955	0.999952	0.999950	0.999947	0.999944
6	0.999941	0.999938	0.999935	0.999931	0.999927	0.999924	0.999920	0.999916	0.999911	0.999907
7	0.999902	0.999898	0.999893	0.999888	0.999883	0.999877	0.999872	0.999866	0.999861	0.999855

注)「水質調査法」(昭和49年, 丸善株式会社)を基に小数点第1位水温の値は内挿値により求めた。

鉄の変化分

蒸発残留物の変化分

3.5 酸素消費速度の検証

酸素供給が行われた範囲の酸素量の変化より、酸素消費速度を算出した。

$$\text{酸素消費速度} = \frac{\begin{array}{|c|} \hline \text{A: 酸素供給前の残} \\ \text{存酸素量} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{B: 水中への酸素供給量} \\ \text{(陸上からの酸素供給量} \\ \text{より推定: 検証できない)} \\ \hline \end{array} - \begin{array}{|c|} \hline \text{C: 酸素供給後の} \\ \text{残存酸素量} \\ \hline \end{array}}{\begin{array}{|c|} \hline \text{D: 酸化された範囲 (m}^3\text{: 240} \sim \text{250EL.m)} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{E: 日数 (日)} \\ \hline \end{array}}$$

3.5.1 酸素供給開始直後（平成 22 年 4 月～6 月）

酸素供給直後の酸素消費速度については、常時酸素供給が行われる中での状態であることから、このB: 水中への酸素供給量は推定値となる。

推定の条件として高濃度酸素発生装置による酸素濃度を90%、水中で溶解する気体の量を94%と仮定した場合、酸素消費速度は0.47～0.63 mg/L・日と、当初想定された0.23 mg/L・日の2～3倍程度であると算出された（参考資料参照）。

なお、水中で溶解する気体の量（94%）は酸素供給実験からの推定値であるが、短期間の実験であり、今回のように継続的に酸素が供給され、酸素が飽和する状態では使用できないと考えられる。よって、酸素供給 1 巡目の平成22年4月～6月のみに適用した。

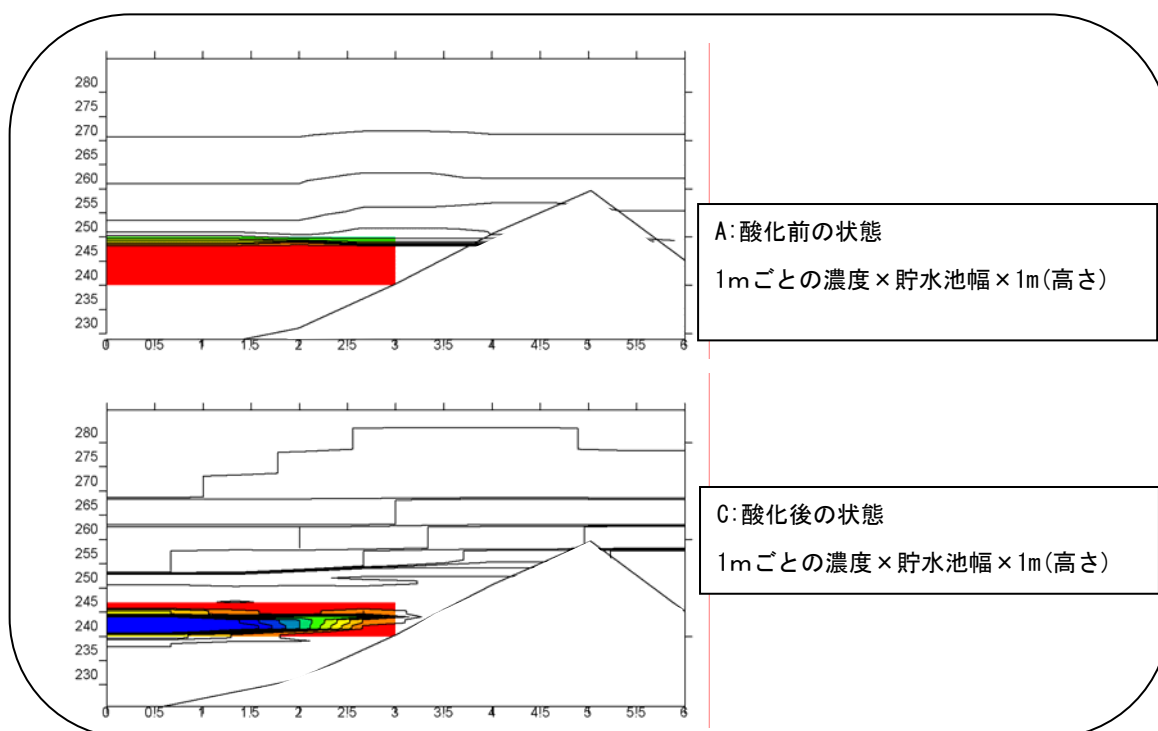


図 3-23 残存酸素量の算出イメージ

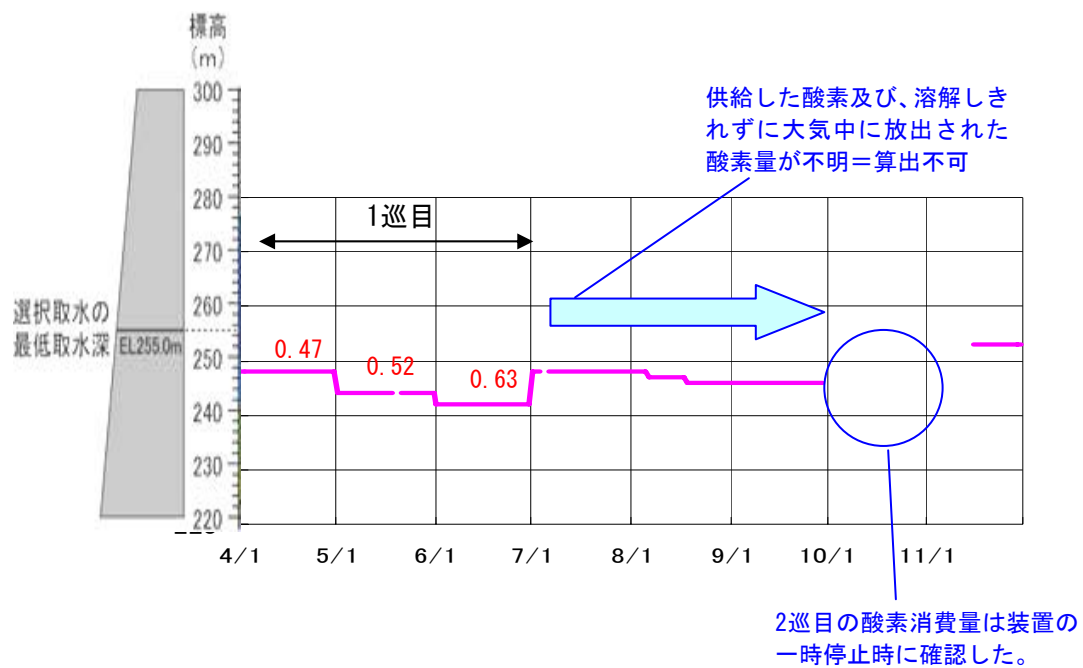


図 3-24 酸素消費速度の算出結果



図 3-25 表層での泡の発生状況（平成22年6月30日）

3.5.2 酸素飽和後（平成 22 年 10 月）

9月末の段階でM-1～M-3の全てにおいてD0が30mg/Lを越え、マンガンへの配慮から装置が下層に移動できなくなり当面の酸素供給の必要性が低下したことから、**一旦装置の稼働を中断し**、酸素消費の推移を見守ることとした（運転を止める経緯についてはp. 29参照）。

高濃度酸素溶解装置を止め、9月30日～11月15日までの46日間で生じたD0の変化から**酸素消費速度を検討**した。

D0に1 m毎の容量を乗じて、酸素供給範囲全体（EL. 244m～EL. 250m）の酸素量(g)の変化を求め、酸素供給範囲全体（EL. 244m～EL. 250m）の容量(m³)で除して酸素消費速度を求めた。その結果、9/30→11/15の46日間では**0.137(mg/L・日)**であった（表 3-2参照）。

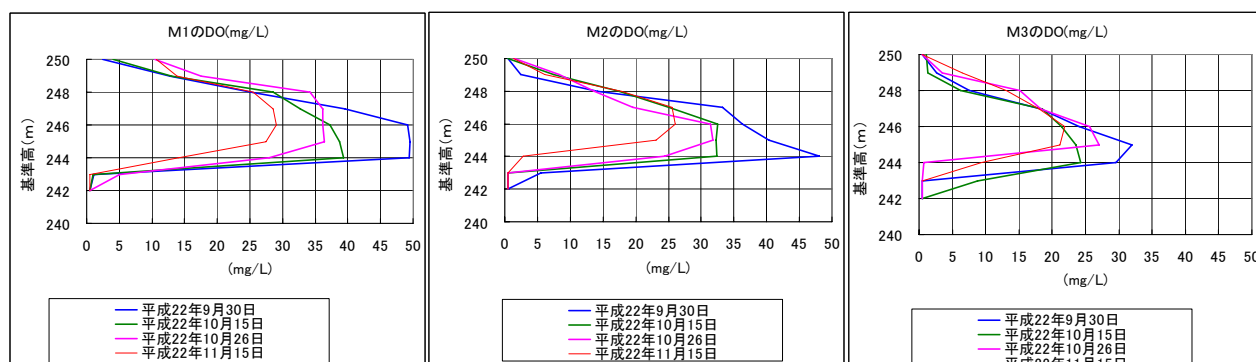


図 3-26 平成 22 年 10 月の溶存酸素の変化

表 3-2 平成22年10月の酸素消費速度（M-1, M-2, M-3平均） [mg/L・日]

9/30→10/15	10/15→10/26	10/26→11/15	9/30→11/15
0.20	0.013	0.158	0.137

3.6 マンガンの減少速度の検証

マンガンの酸化による減少は、5月31日までに鉄が大きく減少した後、減少が見られ始めた。このため、酸化速度は4月30日以降を対象にして算出する。なお、酸素供給を開始した後、一時的にEL. 250 m～EL. 255mまでマンガン濃度が上昇している理由は既に述べたとおりである。

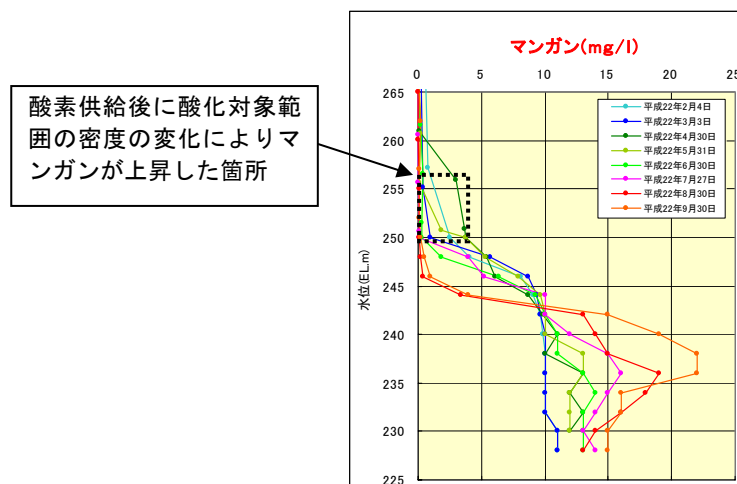


図 3-27 マンガン鉛直分布（拡大図）：M-1

平成22年のマンガン (mg/L) (M-1) 混合がみられる時期

(EL. m)	3月3日	4月30日	5月31日	6月30日	7月27日	8月30日	9月30日	10月26日
255-260		0.048	0.22	0.16	0.044	0.015	0.098	0.074
252-255	0.4	3.0	0.10	0.40		0.042		0.087
250-252		3.7	1.8	0.26	0.084		0.14	
250	0.97	3.8	3.8	0.27	0.12	0.10	0.22	0.21
248	5.7	5.4	5.3	1.8	4.0	0.22	0.48	0.20
246	8.7	6.1	7.9	6.4	5.2	0.41	0.97	0.22
244	9.4	8.7	9.7	9.3	10	3.4	4.0	0.22

凡例：青字はDOが1.0mg/L以上、赤字は1.0mg/L未満、●は酸素の供給範囲 ■はマンガンの減少が見られる範囲

平成22年の鉄 (mg/L) (M-1)

(EL. m)	3月3日	4月30日	5月31日	6月30日	7月27日	8月30日	9月30日	10月26日
255-260		0.04	0.03	< 0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
252-255	0.06	0.66	0.03	< 0.03		0.04		0.04
250-252		0.74	0.10	< 0.03	0.04		0.15	
250	0.09	0.74	0.13	< 0.03	0.04	0.03	0.07	0.07
248	0.38	0.97	0.37	0.08	0.06	0.05	0.04	0.06
246	4.1	1.0	0.29	0.12	0.04	0.03	0.03	0.04
244	13	1.2	0.40	0.26	0.05	< 0.03	0.04	0.04

凡例：青字はDOが1.0mg/L以上、赤字は1.0mg/L未満、●は酸素の供給範囲 ■は鉄の減少が見られる範囲

平成22年のDO (mg/L) (M-1)

(EL. m)	3月3日	4月30日	5月31日	6月30日	7月27日	8月30日	9月30日	10月26日
255-260		6.5	6.3	3.8	3.5	3.7	3.7	1.9
252-255	8.0	6.5	5.4	3.6	3.0	2.8	2.6	1.1
250-252		2.6	1.4	2.8	0.7		1.3	
250	2.9	1.4	< 0.5	1.2	< 0.5	0.9	2.4	10.4
248	< 0.5	13.2	< 0.5	< 0.5	26.7	20.8	25.1	34.2
246	< 0.5	15.6	< 0.5	< 0.5	15.5	39.1	49.1	36.2
244	< 0.5	1.3	7.8	< 0.5	< 0.5	24.5	49.4	27.9

凡例：●は酸素の供給範囲 ■はマンガンの減少が見られる範囲

マンガンの減少速度を求めた結果は表 3-3に示すとおりである。なお、5月31日までに酸素供給範囲外でもマンガンの低減が確認されているが、鉄がまだ残存する状態を初期値としており、単純に1ヶ月の減少速度と言えない可能性もある。このため、5月31日以降のデータで算出した。

マンガンの低減は3.5～6.6mg/L・月と、当初の想定であった1.0 mg/L・月を大幅に上回った。

表 3-3 マンガンの減少速度 (mg/L・月)

測定高さ (EL. m)	濃度変化	対象時期	1ヶ月 当たり	備考
250	3.8-0.27 =3.53	5/31→6/30	3.5	—
248	4.0-0.22=3.78	7/27→8/30	3.8	循環により下層と混合が起こり6/30→7/27に濃度上昇が起こった後の再減少
248	5.3-1.8=3.5	5/31→6/30	3.5	—
246	5.2→0.41=4.79	7/27→8/30	4.8	—
244	10→3.4=6.6	7/27→8/30	6.6	—

以上より、当初のマンガン濃度と減少速度の関係を求めると図 3-28に示すとおりとなる。現時点で下層のマンガン濃度は最大でEL. 238mの22mg/Lであり、この時の濃度は近似曲線を線形関数、指数関数、累乗関数にした場合、それぞれ12.9、10.8、23.3、mg/Lとなる。本来は相関係数の最も大きな関数を採用するが、内挿値となる範囲（当初のマンガン＝3～10mg/L）では大きな差がないことから、外挿となる範囲（当初マンガン濃度が高い時）で最も安全側となる累乗関数を採用することとし、これまでに確認された減少速度＝6.6 mg/L・月を上限値とした。

マンガンの減少速度[mg/L・月]＝1.5069×当初マンガン濃度[mg/L]^{0.629}

なお、当初マンガン濃度が10.5[mg/L]以上の時は6.6[mg/L・月]で一律とする。

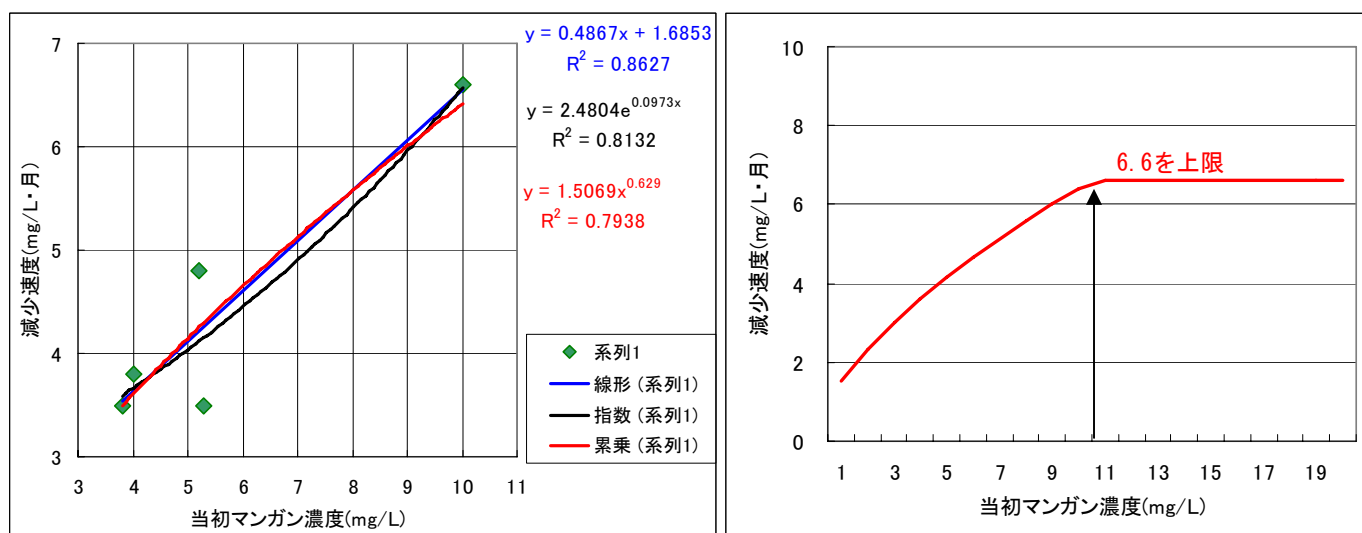


図 3-28 当初のマンガン濃度とマンガン減少速度の関係

なお、酸素が供給されればすぐにマンガンの低減が始まるのではなく、上の層から順番に低減が生じており、対象とする層のすぐ上層の状況に左右されると考えられる。

例えば、いきなり下層を酸素供給範囲とするような場合は、いくらその層の酸素があっても、「マンガンの酸化に順番が回らず」すぐにはマンガンの酸化が生じていない。

一旦マンガンの酸化が始まれば、生成された二酸化マンガンによる触媒作用も考えられることから、対象とする層の酸素濃度の大小よりは、すぐ上の層のマンガン濃度が少ないことや上層が広い範囲で貧酸素となっていないことがマンガン濃度減少の条件であると考えられる。

以上より、マンガンの酸化による減少速度及び酸化が起こる条件は以下ようになる。

マンガンの減少速度

- ・ マンガンの減少速度[$\text{mg/L} \cdot \text{月}$] $=1.5069 \times \text{当初マンガン濃度}[\text{mg/L}]^{0.629}$ として算出する。
- ・ 当初マンガン濃度が $10.5[\text{mg/L}]$ 以上の時は $6.6[\text{mg/L} \cdot \text{月}]$ で一律とする。
- ・ ただし、上の層に広く酸素がありマンガンの濃度が低い状況に限る。

島地川ダムの高濃度酸素溶解装置の運用は、循環期の底層との循環混合を考慮して上層から剥いでいくこととしているため、対象となる上層に広く酸素がある状況となる。よって、マンガンの減少に必要となる条件（上の層に広く酸素がありマンガンの濃度が低い状況）は比較的満足されやすい。

マンガンの酸化が遅れる理由としては、マンガンの「還元されやすく酸化しにくい」という特性があげられる。還元時には真っ先に反応が始まり（図 3-29のC）、酸化時には鉄なども遅れて酸化が始まる（図 3-29のP）ことがあげられる。上層に広範囲に酸素がない状況は、酸化還元電位の低い状況であり、他の物質の酸化に酸素が使われやすいと考えられる。

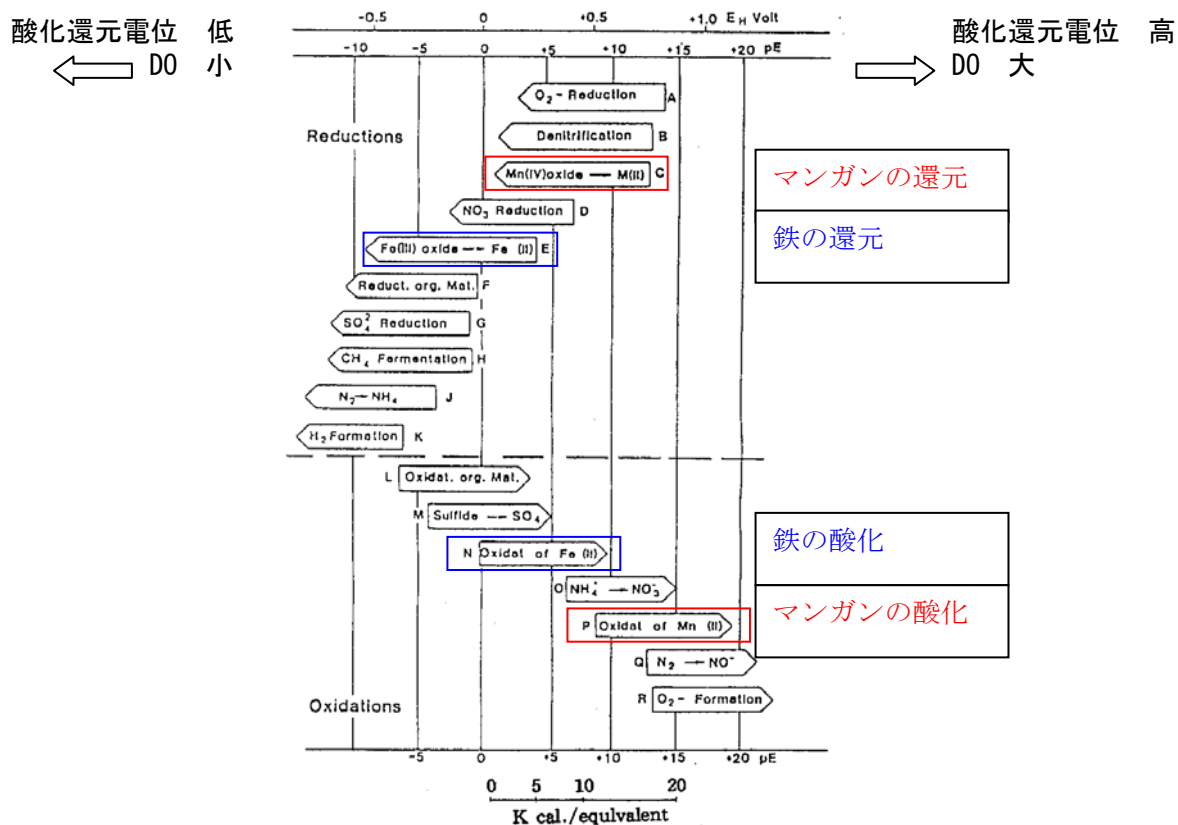


図 3-29 酸化還元課程

出典：「水圏環境における鉄・マンガンの挙動」（土壌の物理性 第67号，1993）（土壌物理学会論文）

3.7 EC を用いた鉄・ヒ素・マンガン濃度の推定

水質調査において、その場で結果がわかるECを用いて、鉄・ヒ素・マンガン濃度が推定できれば、コスト削減につながるとともに、自動水質監視装置の結果を元にリアルタイムの鉄・ヒ素・マンガンの状況を把握することができる。

このため、酸素を供給する前の状況である平成22年3月4日、及び酸素供給開始後の平成22年4月30日、5月31日、6月30日、7月27日、8月30日を対象とし、M-1～M-6の鉛直方向の水質調査結果を用いて分析を行った。

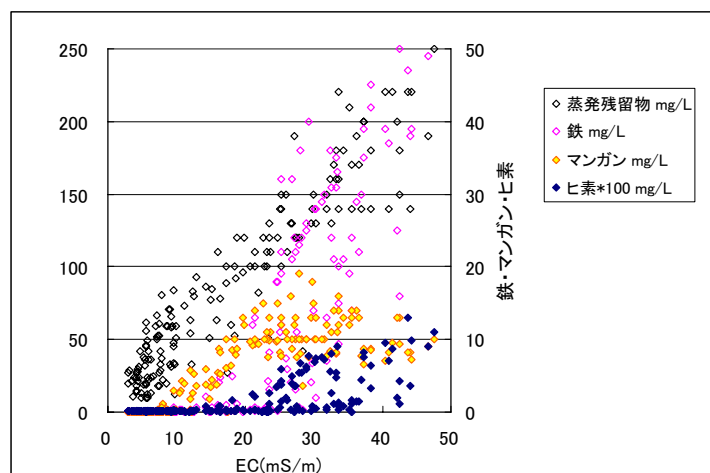


図 3-30 ECと金属類の関係(3～8月分)

この現象は酸化の有無に関係すると考えられたため、酸素供給の有無で区分し、以下のとおり関係を整理した。

酸素供給前 : 3/4

酸素供給無し : M-6、EL. 250mよりも上層

酸素供給層 : 4/30、5/31、6/30、7/27、8/30のうちで、M-1かつEL. 240m～EL. 250m

酸素供給層の下 : 4/30、5/31、6/30、7/27、8/30のうちで、M-1かつEL. 240mよりも下層

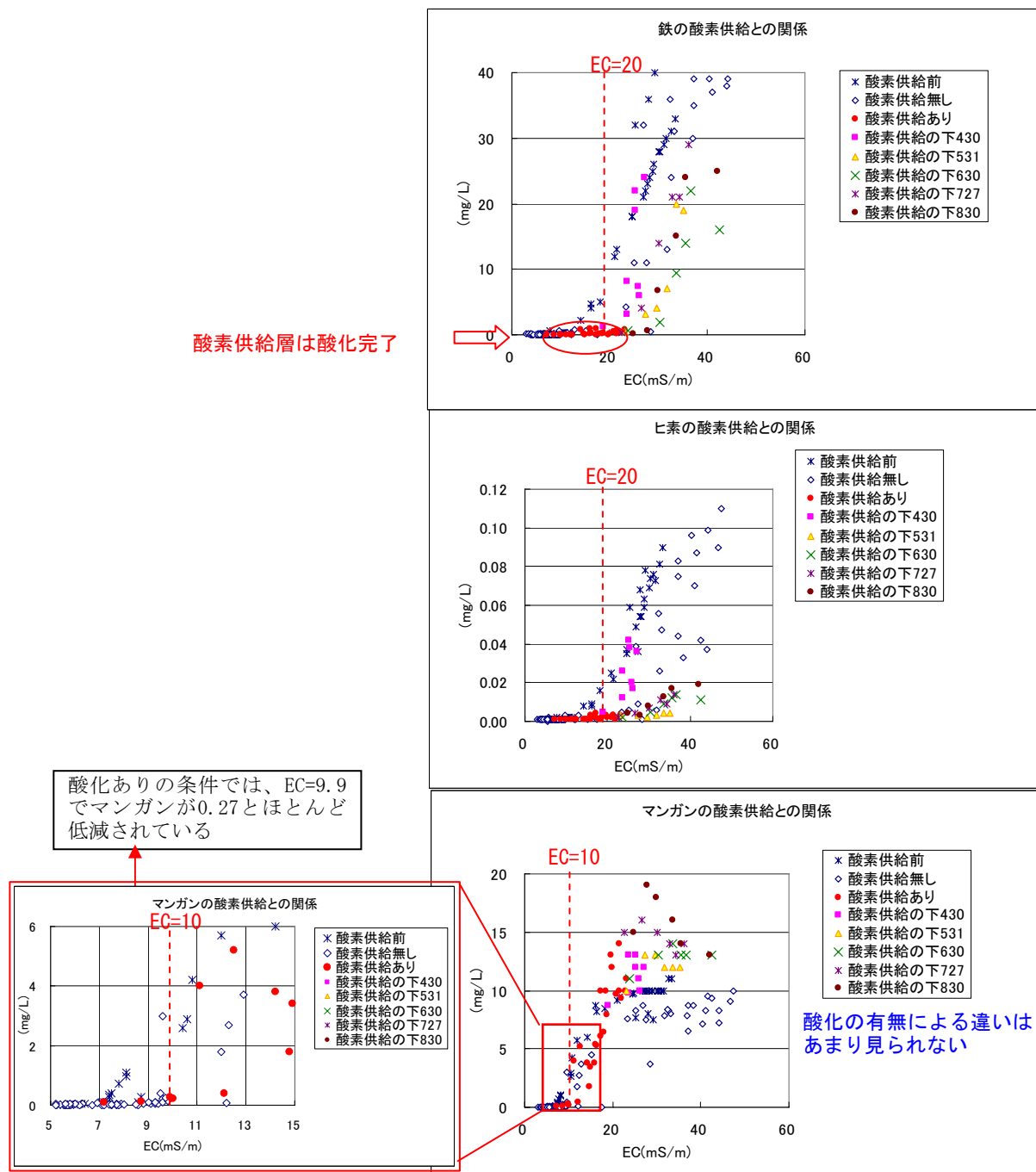


図 3-31 酸化の有無とEC—金属類の関係

以上から、ECの値を用いて以下のとおり鉄・ヒ素・マンガンが推定できると考えられる。

- ECにかかわらず、D0があれば、鉄・ヒ素はなくなっている。
- D0がない、あるいはD0の情報がない場合、EC=20 (mS/m) を下回れば、鉄とヒ素はほとんどなくなっている。
- EC=10 (mS/m) を下回れば、マンガンもほとんどなくなっている。

この結果は酸素供給前に予測した結果と同じであり、実際に高濃度酸素を供給する場合にも適用できることが把握された。

第4章 高濃度酸素溶解装置の運用（案）

4.1 平成 22 年 4 月～12 月の吐き出し高さの適宜設定（報告）

平成22年4月～6月までは、冬季の循環までに時間があることから、EL. 242mまでは予定どおり3ヶ月かけて装置の高さを下げた（詳細は“4.1.1”で示す）。

2巡目として、7月1日以降、消費された上の方の層に再度酸素を供給するため、吐き出し高さを一旦EL. 248mに上げ(EL. 246m～EL. 250mを対象)、その後マンガン濃度の状況を見ながら適宜、下方へ下げることとした。ここでは、高さを変更する際の検討結果を報告する。

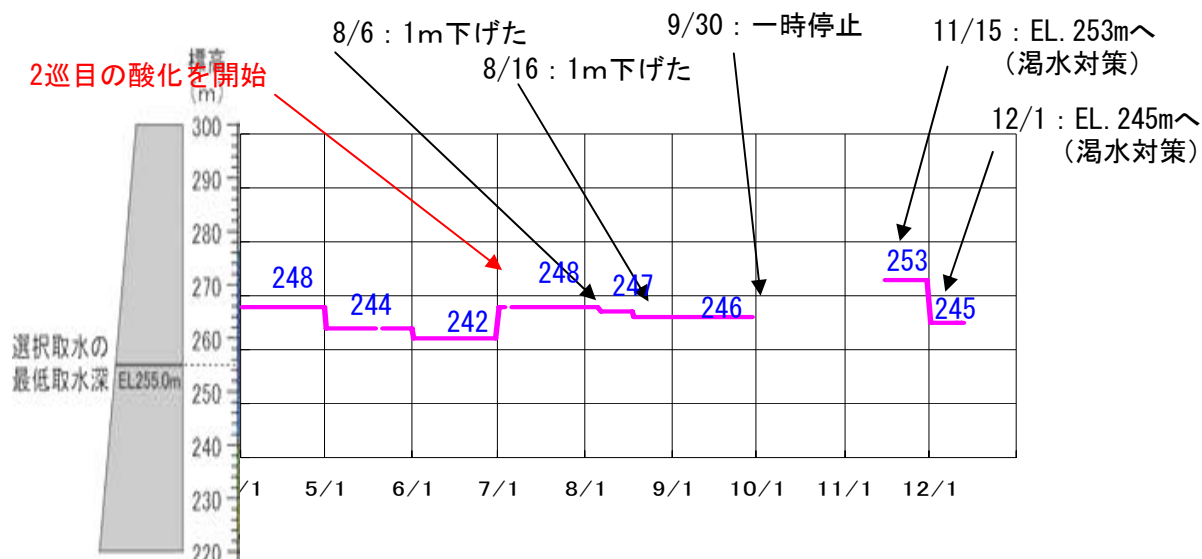


図 4-1 高濃度酸素溶解装置の吐き出し高さ

4.1.1 平成 22 年 4 月～6 月末までの運用

6月末までの運用については、EL. 241mの層までは循環が始まる12月までにマンガン濃度の低減が可能であることから、EL. 242mまでは予定どおり3ヶ月かけて装置の高さを下げた。

表 4-1 酸素供給月の設定（1巡目）

標高 (EL. m)	Mn濃度 (mg/L)	平均Mn濃度 (mg/L)	目標Mn濃度 (mg/L)	Mn酸化に必要 な期間	酸素供給 開始月
250	0.050	0.11	1.1	0ヶ月	4月
249	0.05				
248	0.045				
247	0.27				
246	0.490	2.04	1.2	1ヶ月	5月
245	1.55				
244	2.6				
243	4.05				
242	5.5	7.38	3.3	4ヶ月	6月
241	9.25				

4.1.2 平成 22 年 7 月以降の運用

7月以降の運用は”3.7”のまとめに基づく判断を行いながら実施した。

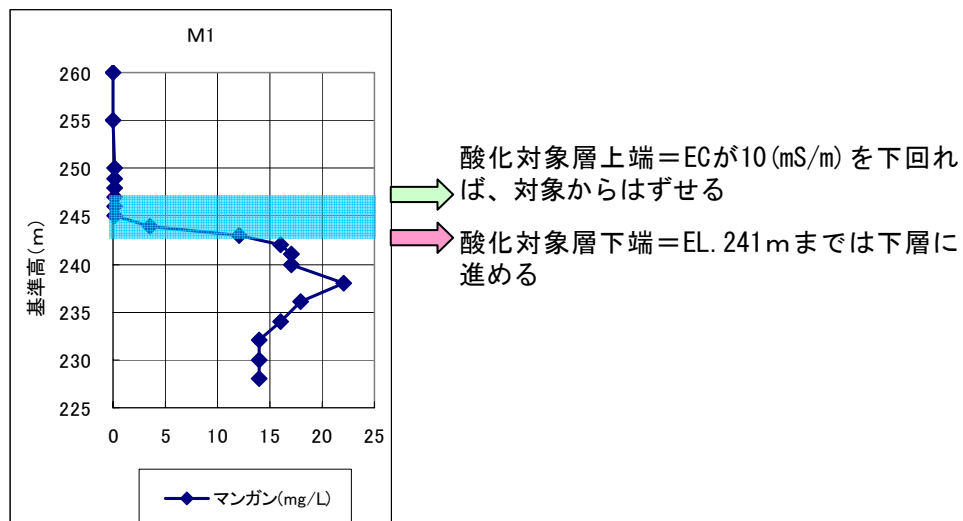


図 4-2 装置の運用に関する判断イメージ

(1) 8月6日の運用変更

”3. 7”に前述したECによる判断を基に運用を行った。

7月27日の水質調査の結果、EL. 249m～EL. 250mの範囲は水質改善が完了した状況であることがわかった。このため、8月6日に以下のとおり1m吐き出し高さを下げた。

＜平成22年8月6日＞

EL. 249m～EL. 250mの範囲はECが10mS/m未満まで低減されたことから、1m下げた（＝EL. 247mに設定し、対象はEL. 245～249m）。

表 4-2 平成22年7月27日のDOとEC

EL. 248mの状況より、
10未満と推定

DO(mg/L)	M-1	M-2	M-3	EC(mS/m)	M-1	M-2	M-3
250 (EL. m)	< 0.5	< 0.5	< 0.5	250 (EL. m)	8.7	7.6	7.2
249	14.4	< 0.5		249	9.3	9.7	
248	26.7	21.5	4.7	248	11.1	11.3	10.1
247	24.0	19.4	11.5	247	11.3	11.4	11.3
246	15.5	< 0.5	< 0.5	246	12.5	12.4	12.3
245	< 0.5		< 0.5	245	16.3		17.2
244	< 0.5	< 0.5	< 0.5	244	17.2	18.6	17.6
242	< 0.5	< 0.5	< 0.5	242	18.5	19.3	19.3
240	< 0.5	< 0.5		240	19.9	20.4	

(2) 8月18日の運用変更

同様に、8月16日の水質調査の結果、EL. 248～EL. 249mの範囲は水質改善が完了した状況であることがわかった。このため、8月18日にさらに1 m吐き出し高さを下げた。

<平成22年8月18日>

EL. 248m～EL. 249mの範囲はECが10mS/m未満まで低減されたことから、1 m下げた（＝EL. 246m に設定し、対象はEL. 244～248m）。

表 4-3 平成22年8月16日のD0とEC

DO(mg/L)	M-1	M-2	M-3	EC(mS/m)	M-1	M-2	M-3
250 (EL. m)	1.2	4.0	1.5	250 (EL. m)	7.7	8.1	8.2
249	1.8	22.5	6.7	249	7.6	9.7	9.3
248	16.2	31.4	11.5	248	9.6	10.9	10.1
247	33.0	32.0	15.0	247	11.5	11.5	11.3
246	34.2	28.7	7.1	246	11.7	12.3	12.2
245	< 0.5	< 0.5	< 0.5	245	17.0	13.9	18.0
244	< 0.5	< 0.5	< 0.5	244	18.7	17.4	19.4
242	< 0.5	< 0.5	< 0.5	242	19.7	18.7	33.0
240	< 0.5	< 0.5	< 0.5	240	21.3	19.3	33.4

少し10を上回ってはいるが、D0が十分にあるため、下げることにした。

(3) 9月30日の運用変更

9月15日の段階でM-1～M-3の全てにおいて酸化対象範囲（EL. 244～248m）のD0のピークが25mg/Lを越えていた。

しかし、EL. 244mよりも深い層ではマンガンが高濃度のままであり、循環期までにマンガンの低減が完了しない場合、表層で黒水現象が発生する可能性があるため、これ以上深い層に進むことできないと考えられた。

表 4-4 酸素供給月の設定（平成22年9月30日時点）

標高 (EL. m)	Mn濃度 (mg/L)	①目標Mn濃度 常満時(mg/L)	②11/30時点のMn 濃度予測値 (mg/L)	判定
250	0.10	1.1	0	①>② ○
249				
248	0.22			①>② ○
247		1.3	0	①>② ○
246	0.41			①>② ○
245				
244	3.4			①>② ○
243		4.0	10.0	①>② ○
242	13			①<② ×
241				

※ 目標Mn濃度は、その層よりも上層のMnが0.006mg/L（表層の濃度に等しい）に改善されたと仮定して、全層循環の際に表層濃度が環境基準(0.05mg/L)を満足できる濃度。

※ ここではマンガンの減少速度が1.0mg/L・月（第4回委員会資料参照）として検討している。

一方、酸素消費速度は陸上からの水中への酸素供給量が検証できないことから、正確には把握できなかったが、酸素の供給を止めることで、推測による誤差をなくすことができ、より正確な酸素消費速度が把握できると考えられた。

このため、高濃度酸素溶解装置を一時停止することが可能かどうか検討した。

M-3まで酸素が到達するために必要な期間は、7月の状況から15日以内であると想定されることから、再稼働の時期はD0がなくなる2週間前に必要となる。

酸素消費速度は4月～6月に推定された最大値（0.63mg/L・日）を用いた場合、30日後にはまだD0が4mg/Lを越えていると予測された。

このため、9月30日の水質調査に合わせて、高濃度酸素溶解装置を一時停止した。

また、この結果、9/30→11/15の酸素消費速度が0.137mg/L・日と求められた（p.18参照）。

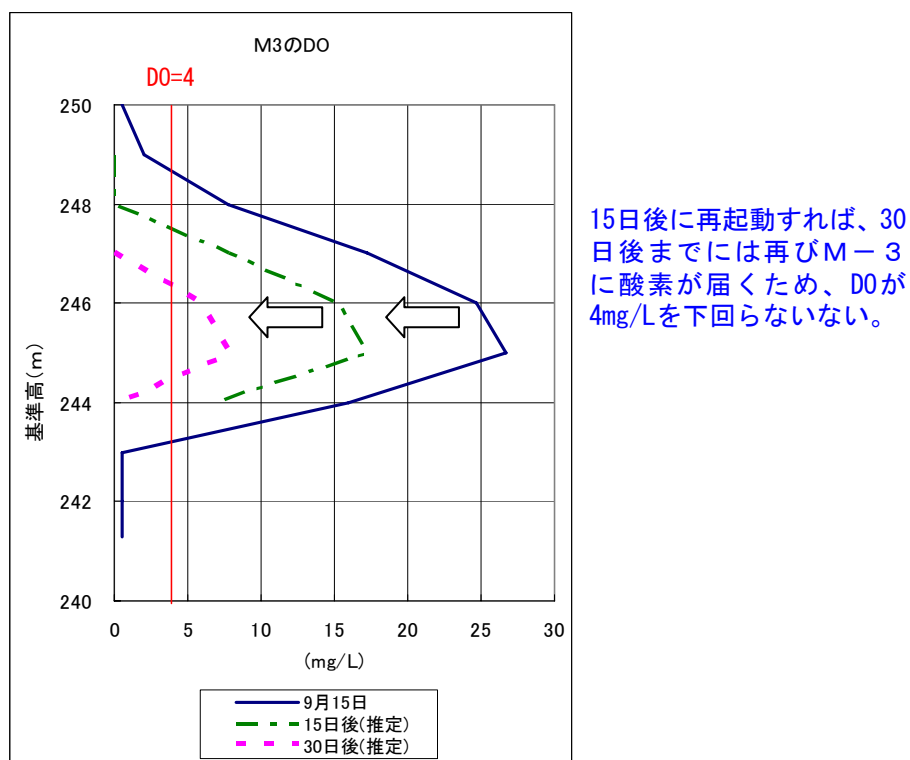


図 4-3 一時停止後のM-3におけるD0の予測

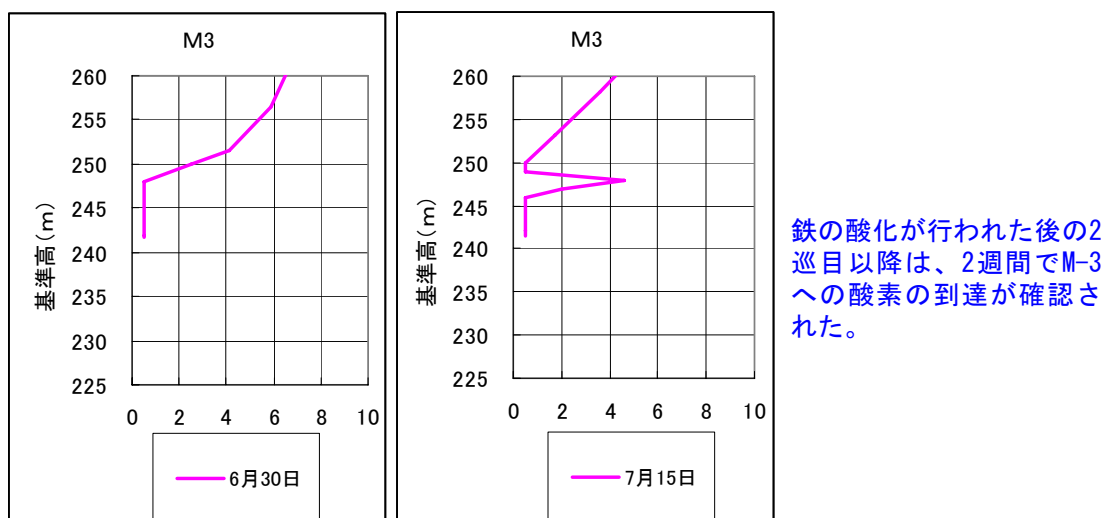


図 4-4 M-3における酸素の到達（2巡目）

<平成22年9月30日>

次回の水質測定状況に応じて機器を再起動すれば、D0が4mg/Lを下回ることはないと考えられたことから、高濃度酸素溶解装置を一時停止した。

(4) 11月15日の運用変更（渇水時に向けた運用）

島地川ダムの貯水位が徐々に低下を続け、循環期を迎える冬季に渇水が生じる可能性が出てきた。

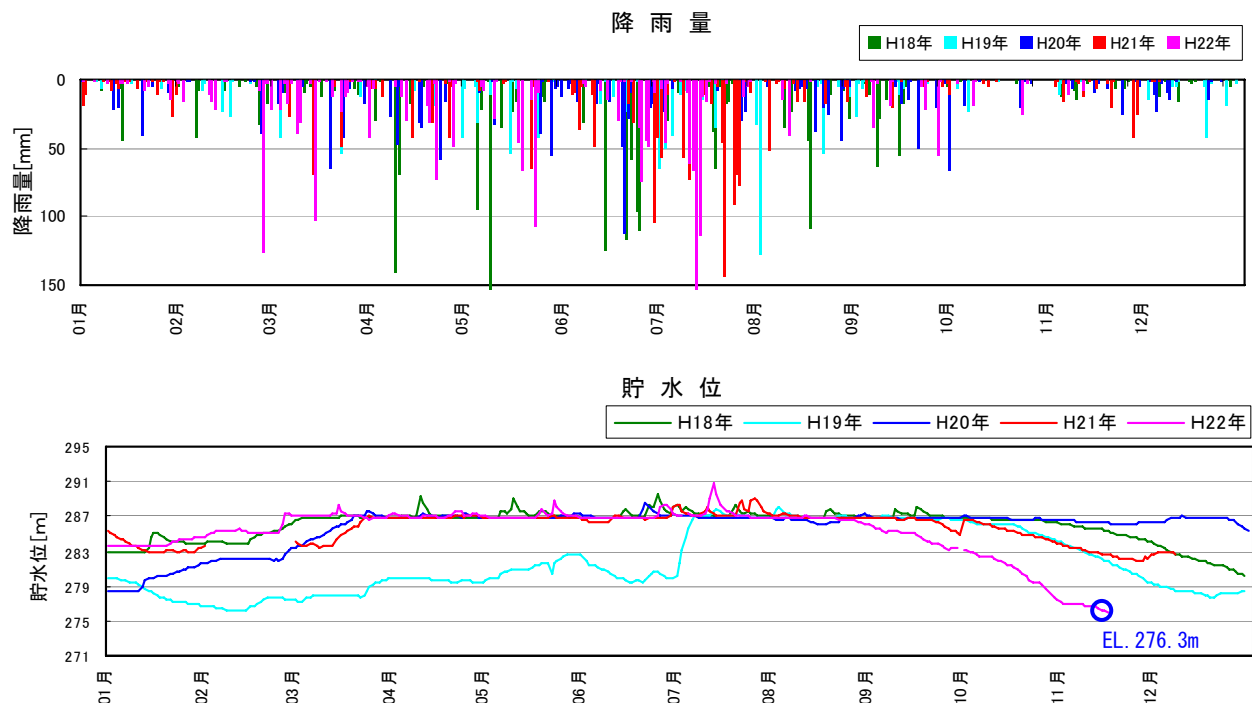


図 4-5 降雨（ダムサイト）及び貯水位

管理上最も貯水位の下がった平成6年度を含む、12月の平均貯水位を以下に示す。11月15日時点で貯水位はEL. 276.3mであり、既に12月の平均貯水位EL. 282.5mを大きく下回っている。

H5	286.8	H14	273.6
H6	268.3	H15	282.5
H7	280.8	H16	281.6
H8	286.2	H17	283.4
H9	286.9	H18	282.0
H10	285.4	H19	278.4
H11	286.4	H20	286.6
H12	285.8	H21	283.2
H13	284.8	17年平均	282.5
H14	273.6		

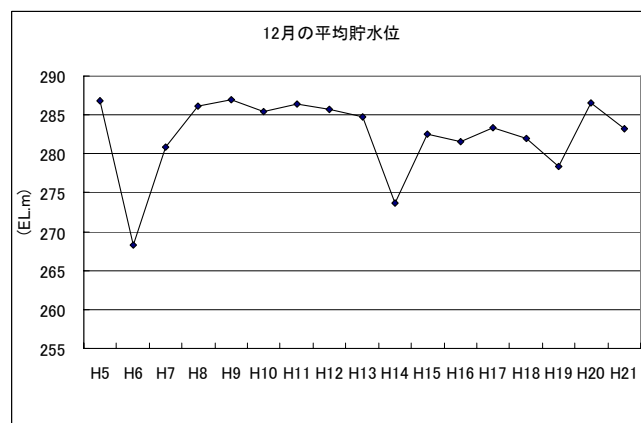


図 4-6 12月の平均貯水位

10月26日現在の水温を見ると、水温逆転層の形成状況からEL. 242mまでの循環が想定された。一方、導電率から見るとEL. 242mよりも下層で急激に増加することから、金属類の溶解により密度が高くなっている層であり、循環は届かないと考えられた。EL. 243mについて循環するかどうかは水温や導電率だけではデータが不足しており、採水による分析の必要性があげられた。

表 4-5 水温鉛直分布の比較 (M-1 : 平成22年)

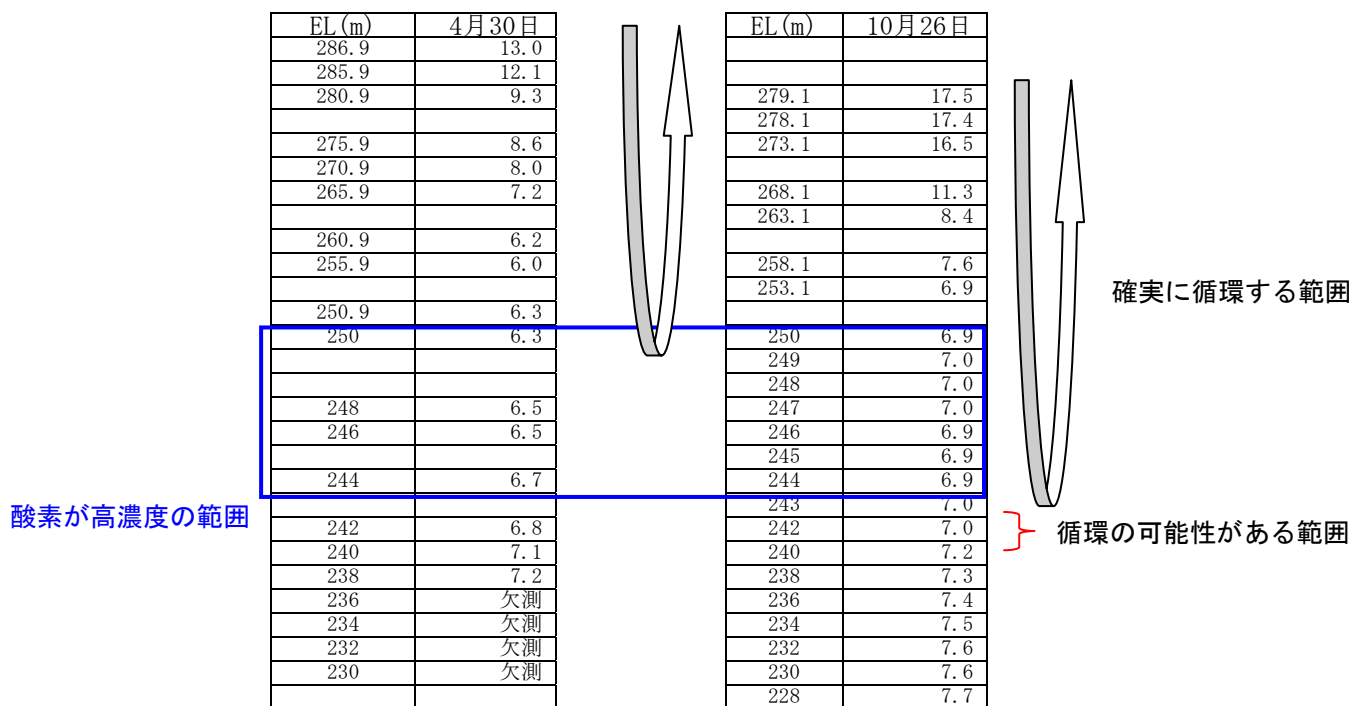
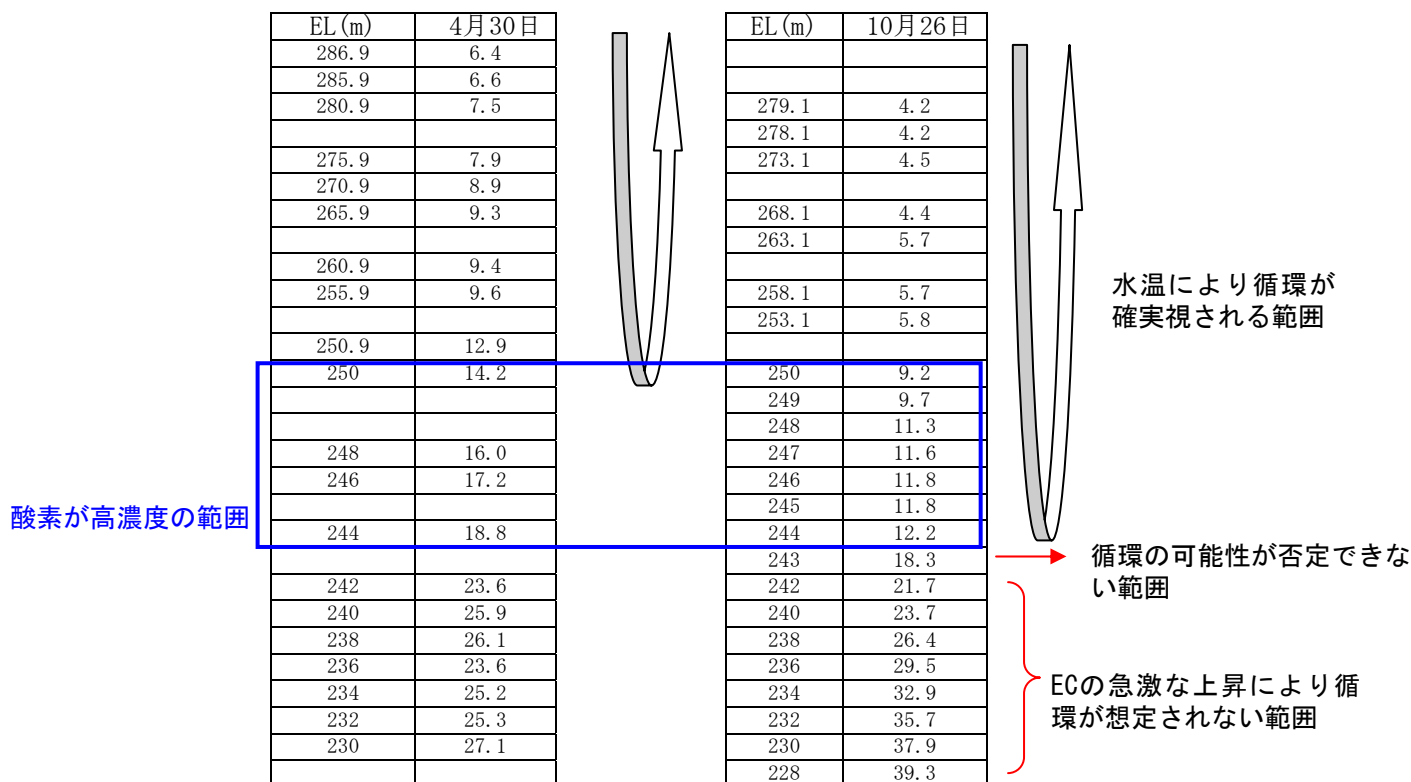


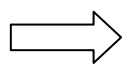
表 4-6 導電率の比較 (M-1 : 平成22年)



一方、マンガン濃度はEL. 244mとEL. 242mで大きな濃度変化が生じており、EL. 243mでは循環の可能性も示唆されることから、マンガン濃度を把握する必要性が生じた。このため、渇水対策として、11月15日以降、これまで簡易水質調査のみ行っていた毎月中旬の水質調査時に、採水による金属類（鉄・ヒ素・マンガン・蒸発残留物）を追加することとし、当面はEL. 243mに影響しない範囲で循環時のマンガン濃度を下げるための運用をすることとした。

平成22年のマンガン(mg/L) (M-1)

測定高さ (EL. m)	10月26日
表層	0.014
270-280	0.044
260-270	0.039
255-260	0.074
252-255	0.087
250	0.21
248	0.20
246	0.22
244	0.22
242	16
240	21
238	22
236	18
234	16
232	14
230	14
228	14



今後EL. 243mのマンガンの値を2週間に1回監視することとした。

凡例：青字はD0が1.0mg/L以上、赤字は1.0mg/L未満

ダム水質臨時調査
調査年月日：平成22年10月26日

貯水位		279.38m									
地 点		M-1(計器測定)				M-1					
測定水深		水温	D0	導電率	pH	D0	ヒ素	鉄	マンガン	蒸発残留物	強熱減量
EL(m)	水深(m)	℃	mg/L	mS/m	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
279.1	0.3	17.5	9.2	4.2	7.1	9.1	< 0.001	< 0.03	0.014	< 10	
278.1	1.3	17.4	9.0	4.2	7.1	9.0	< 0.001	< 0.03	0.014	27	
273.1	6.3	16.5	1.4	4.5	6.7	2.2	< 0.001	0.03	0.021	24	
268.1	11.3	11.3	1.2	4.4	6.3	1.8	< 0.001	0.04	0.044	19	
263.1	16.3	8.4	3.1	5.7	6.2	3.3	< 0.001	0.07	0.039	23	
258.1	21.3	7.6	1.9	5.7	6.2	2.4	< 0.001	0.05	0.074	33	
253.1	26.3	6.9	1.1	5.8	6.2	1.6	< 0.001	0.04	0.087	74	
250	29.4	6.9	10.4	9.2	6.1	10	< 0.001	0.07	0.21	62	
249	30.4	7.0	17.5	9.7	6.1						
248	31.4	7.0	34.2	11.3	6.1	24	< 0.001	0.06	0.20	60	
247	32.4	7.0	36.1	11.6	6.1						
246	33.4	6.9	36.2	11.8	6.1	31	< 0.001	0.04	0.22	67	
245	34.4	6.9	36.4	11.8	6.2						
244	35.4	6.9	27.9	12.2	6.2	31	< 0.001	0.04	0.22	89	
243	36.4	7.0	5.0	18.3	6.4						
242	37.4	7.0	< 0.5	21.7	6.5	< 0.5	0.002	0.11	16	120	
240	39.4	7.2	< 0.5	23.7	6.6	< 0.5	0.004	0.15	21	100	
238	41.4	7.3	< 0.5	26.4	6.6	< 0.5	0.003	1.5	22	62	
236	43.4	7.4	< 0.5	29.5	6.7	< 0.5	0.005	8.8	18	140	
234	45.4	7.5	< 0.5	32.9	6.8	< 0.5	0.006	19	16	170	
232	47.4	7.6	< 0.5	35.7	6.9	< 0.5	0.007	26	14	190	
230	49.4	7.6	< 0.5	37.9	7.0	< 0.5	0.008	31	14	210	
228	51.4	7.7	< 0.5	39.3	7.4	< 0.5	0.018	32	14	230	
227.9	51.5	7.7	< 0.5	48.9	7.5						

検討の結果、D0が少なく、マンガン濃度が多少残っている(参考値である0.05mg/Lを越えている)高さとして、EL. 251m～EL. 255mを対象に、循環期に向けた暫定運用をした。

＜平成22年11月15日＞

- ・ 採水による水質調査を2週間に一度実施する。
- ・ その際、EL. 240m～EL. 250mの金属類（鉄・ヒ素・マンガン・蒸発残留物）を1mピッチで測る。
- ・ 渇水の循環期を間近に控えた運用は、EL. 243m マンガン濃度分析後に検討する。
- ・ それまでの暫定運用として、EL. 242m以深を循環に巻き込むことを防ぐため、EL. 243m 付近には酸素を供給しない代わりに、EL. 250m より上層に若干残っているマンガン濃度をさらに低減することとした。
- ・ その結果、酸素が比較的少なく、かつマンガンが多少(0.05mg/L 以上)ある範囲として、EL. 251m～255mを対象として運用することとした。

(5) 12月1日の運用変更（湧水時に向けた運用）

11月15日に行った水質調査の結果によりEL. 243mの金属類の濃度が求まったため、密度を基に湧水時の循環の状況を検討した。

管理開始(昭和56年4月，1981年4月)以降の月1回の表層水温（ダムコン保管データ。1985年3月までは上層と表記されている）の水温を図 4-7に示す。**2月に水の密度が最も高い4.0℃を記録**している。

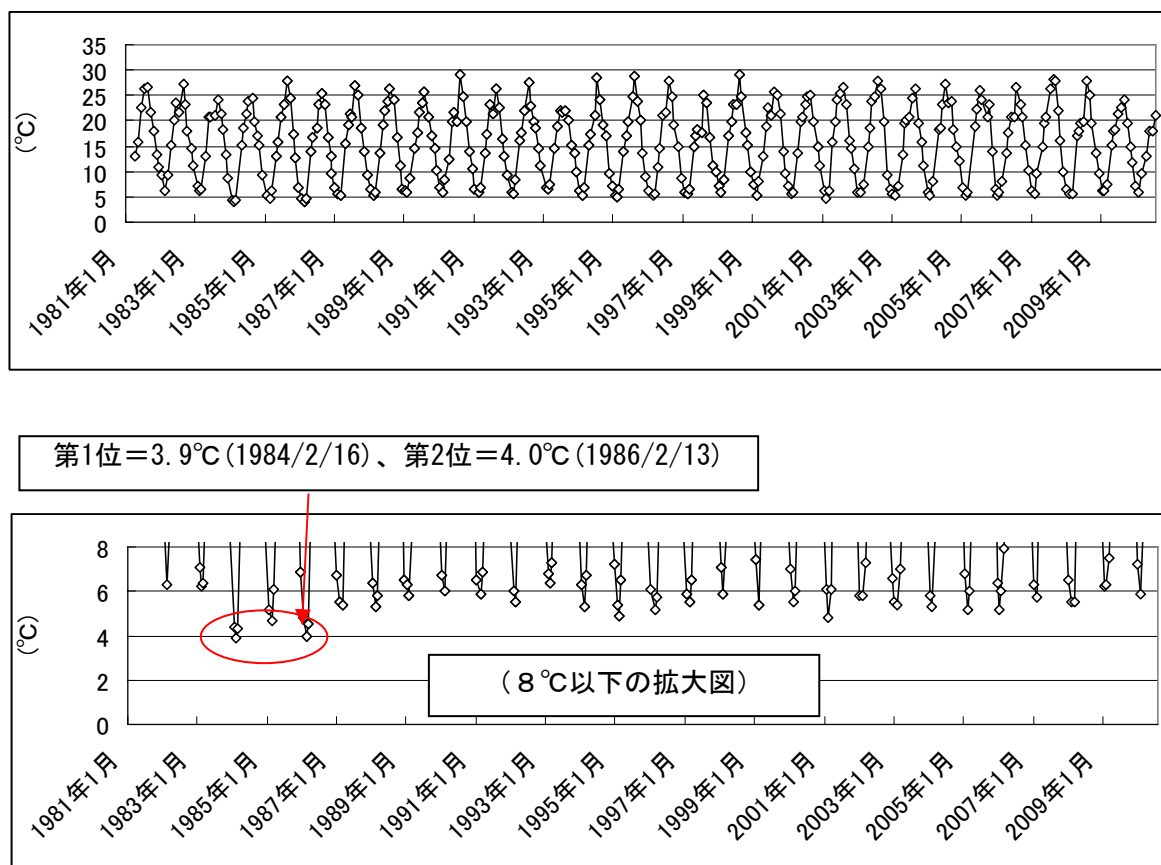


図 4-7 管理開始以降、月1回測定された表層水温（ダムサイト）

また、過去10年間の毎日の表層0.5mの最低水温（ダムサイトにおける自動観測値）においても（表 4-7）、やはり平成15年2月7日に最低水温4.0℃が発生していた。よって、2月に4℃の水が表層から降りてきた場合の循環の深さについて検討した。

表 4-7 表層0.5mの最低水温（ダムサイト）

年度	12月	1月	2月	3月
平成12年度	8.1	5.4	5.3	6
平成13年度	6.6	5.6	5.5	6.9
平成14年度	5.9	4.6	4	6.1
平成15年度	6.7	4.9	4.7	6.2
平成16年度	8.6	6.2	5.4	5.5
平成17年度	5.5	4.9	4.8	6.1
平成18年度	6.6	5.3	5.2	7.3
平成19年度	7.4	5.9	5.3	5.5
平成20年度	8.2	5.8	6	7.6
平成21年度	8.3	6.2	5.9	7.9

11月15日現在で、M-1のEL. 243mの水温は7.1℃である。これと比較して、表層から4.0℃の水が降りてきた場合、水の密度は**75mg/L**(=973-898) **重たくなる**。

表 4-8 水温と密度の関係

単位 [g/cm³]

温度 (℃)	小数点以下									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	0.999965	0.999967	0.999968	0.999969	0.999970	0.999971	0.999972	0.999972	0.999973	0.999973
4	0.999973	0.999973	0.999973	0.999972	0.999972	0.999972	0.999970	0.999969	0.999968	0.999966
5	0.999965	0.999963	0.999961	0.999959	0.999957	0.999955	0.999952	0.999950	0.999947	0.999944
6	0.999941	0.999938	0.999935	0.999931	0.999927	0.999924	0.999920	0.999916	0.999911	0.999907
7	0.999902	0.999898	0.999893	0.999888	0.999883	0.999877	0.999872	0.999866	0.999861	0.999855

注) 密度は「水質調査法」(昭和49年、丸善株式会社)を基に小数点第1位の値は内挿値により求めた。

一方、平成22年11月15日現在で急激にマンガン濃度が上昇する高さはEL. 242m～EL. 244mである。この範囲までについて、水温と蒸発残留物を用いて循環の可能性を検討した。その結果、**EL. 243mまでは循環が生じる**と考えられる(表 4-9参照)。

表 4-9 2月に生じる密度差の算出(平成22年11月15日水質データより推定)

標高	水温 (℃)	水温による密度 の差(mg/L)*	蒸発残留物 (mg/L)	密度の差(mg/L) (2月)
EL. 276m	13.7→4.0	+75	36	111
EL. 243m	7.1	0	100	100
EL. 242m	7.1	0	130	130

※7.1℃の時の水の密度を基準にした

次に、現在の貯水位(EL. 276.3m)が今後さらに低下した場合を考える。平成22年11月15日現在の水質でEL. 243mまで循環した場合、マンガンによる呈色の参考値0.05mg/L(第2回～第3回委員会で設定)の3倍～4倍の濃度になることが予想される。

表 4-10 貯水位とマンガン濃度の関係

貯水位	EL. 243mまで循環した時の 表層のマンガン濃度
EL. 272m	0.150
EL. 271m	0.159
EL. 270m	0.170
EL. 269m	0.182
EL. 268m	0.195

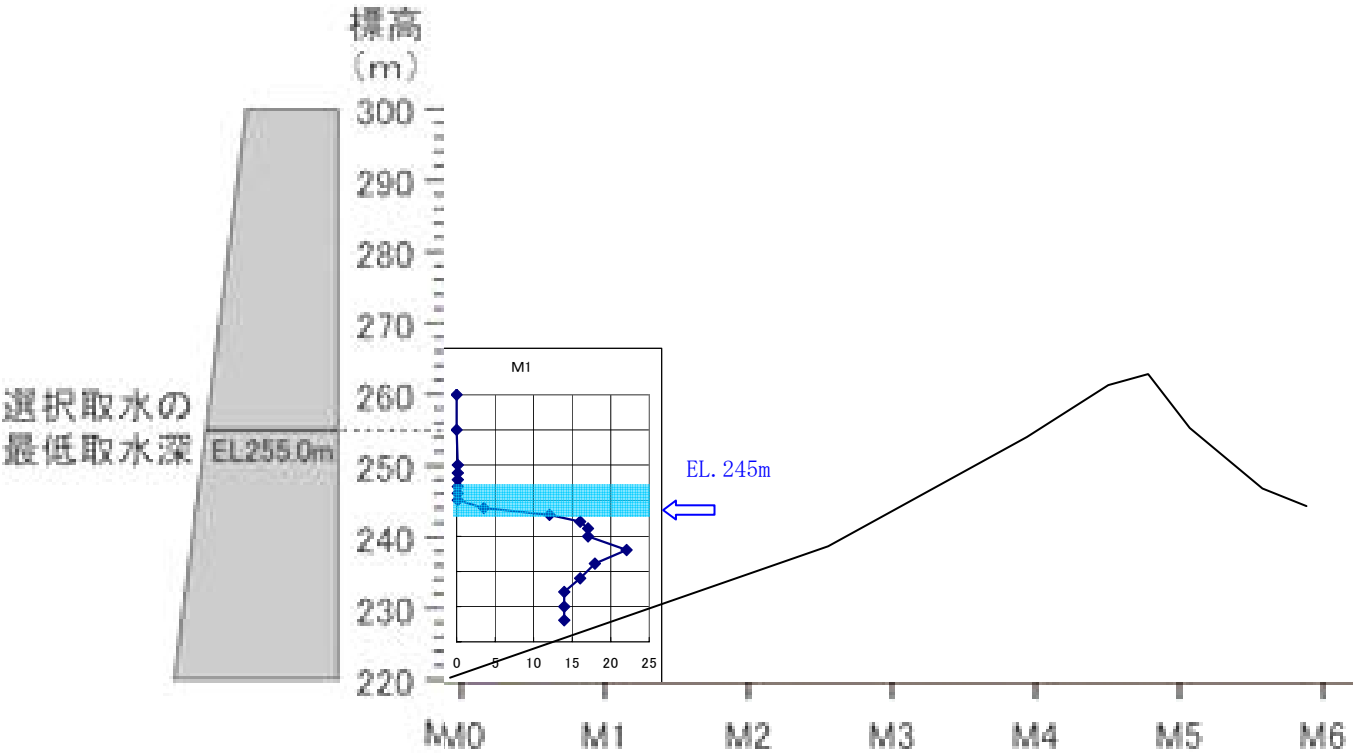
ちなみに、過去に島地川ダムで発生した着色現象と比べると、平成7年の過去の最低水位時よりも大きく濃度が減少していること、平成19年度の時よりも貯水位の低下が大きく低下しているにも関わらず濃度が半分以下になっていることは、すでにマンガンをEL. 244mより上層で除去した効果であると考えられる。

表 4-11 島地川ダムにおける赤水・黒水の発生

発生日	備考
平成7年1月～2月 平成7年1月21日（貯水位266.24(EL. m)であり、ダム管理開始からの最低水位）	平成7年1月19日M-1表層水で 鉄1.4mg/L マンガン2.4mg/L （調査時貯水位E. L. 266.33m）
平成19年12月末～平成20年3月	平成20年2月6日M-1表層水で 鉄0.08mg/L マンガン0.44mg/L （調査時貯水位E. L. 282.05m）

循環が生じるまでの間、以下の方針で高濃度酸素溶解装置を運転するものとする。

当面の運用：EL. 245mで運用



考え方：EL. 242mとEL. 243mで蒸発残留物の差が30mg/Lあり、EL. 242mの循環の可能性が小さいと考えられたため、マンガン濃度の高いEL. 243mの濃度を下げ、循環時のマンガン濃度を目標値0.05mg/Lまで下げる。

効果：EL. 243mよりも上層のマンガンのうち、EL. 244mが19% (155kg)、EL. 243mが58% (469kg)を占めており（11/15データ、貯水位EL. 270mの場合）、このマンガンの低減が効果が高い。

備考：EL. 242mを循環対象としないように、EL. 243mが酸素供給範囲下限になるように注意する必要がある。

表 4-12 貯水位とマンガン濃度の関係（EL. 242m以深の濃度が変化しないと想定）

参考 現況の場合		貯水位	EL. 243mまで循環した時の 表層のマンガン濃度
貯水位	EL. 243mまで循環した時の 表層のマンガン濃度	EL. 278m	0.038
EL. 272m	0.15	EL. 277m	0.039
EL. 271m	0.16	EL. 276m	0.040
EL. 270m	0.17	EL. 275m	0.041
EL. 269m	0.18	EL. 274m	0.042
EL. 268m	0.20	EL. 273m	0.043
		EL. 272m	0.044
		EL. 271m	0.046
		EL. 270m	0.048
		EL. 269m	0.049（貯水位管理の目標）
		EL. 268m	0.054
		EL. 267m	0.057
		EL. 266m	0.060
		EL. 265m	0.063
		EL. 264m	0.067
		EL. 263m	0.071
		EL. 262m	0.076
		EL. 261m	0.081
		EL. 260m	0.088

※平成23年2月1日現在でEL. 244mで3.6→0.17mg/L、EL. 243mで12→1.0mg/Lの低減を仮定

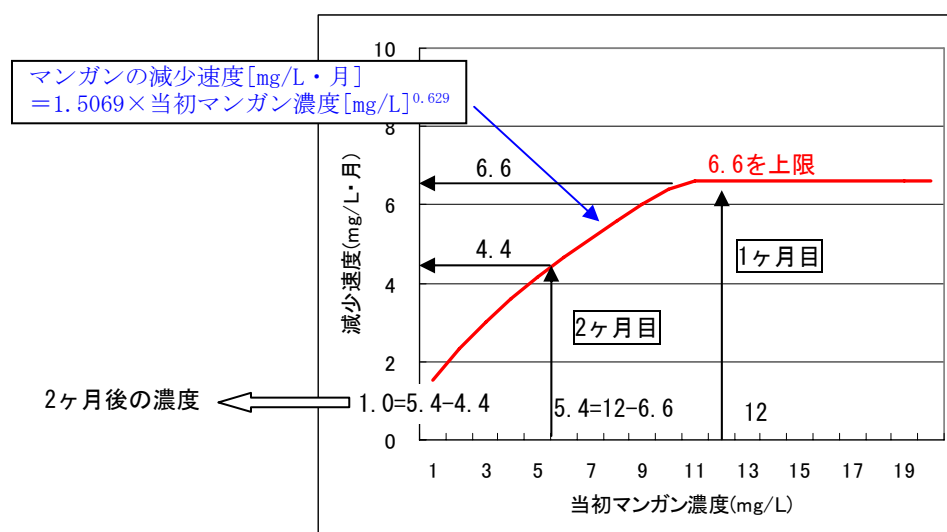


図 4-8 EL. 243m でのマンガンの低減量の計算例

表 4-13 平成22年11月15日の水質（参考）

ダム水質臨時調査											
調査年月日:平成22年11月15日											
貯水位		276. 29m									
地 点		M-1(計器測定)				M-1					
測定水深		水温	DO	導電率	p H	DO	ヒ素	鉄	マンガン	蒸発残留物	強熱減量
EL(m)	水深(m)	℃	mg/L	mS/m	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
276.0	0.3	13.7	7.9	4.7	6.6		< 0.001	0.04	0.025	36	
275.0	1.3	13.7	7.8	4.7	6.7		< 0.001	0.05	0.032	47	
270.0	6.3	13.7	7.7	4.7	6.7		< 0.001	0.05	0.031	37	
265.0	11.3	11.6	0.9	5.3	6.1		< 0.001	0.05	0.032	45	
260.0	16.3	7.8	1.5	5.4	6.1		< 0.001	0.03	0.036	46	
255.0	21.3	7.2	1.1	5.8	6.1		< 0.001	0.03	0.052	41	
250.0	26.3	6.9	10.7	8.7	6.0		< 0.001	0.04	0.080	67	
249	27.3	7.0	13.8	9.9	5.9		< 0.001	0.04	0.086	67	
248	28.3	7.0	25.5	10.7	6.0		< 0.001	0.04	0.12	70	
247	29.3	7.0	28.5	11.5	6.0		< 0.001	0.03	0.14	84	
246	30.3	7.0	29.0	11.9	6.0		< 0.001	0.03	0.12	76	
245	31.3	6.9	27.4	11.9	6.0		< 0.001	0.03	0.17	82	
244	32.3	7.0	14.1	13.4	6.0		< 0.001	0.04	3.6	97	
243	33.3	7.1	< 0.5	19.3	6.3		< 0.001	0.04	12	100	
242	34.3	7.1	< 0.5	21.1	6.4		< 0.001	0.04		130	
241	35.3	7.2	< 0.5	22.9	6.5		< 0.001	0.08		150	
240	36.3	7.2	< 0.5	23.1	6.6		< 0.001	0.14		180	
238	38.3	7.2	< 0.5	26.0	6.5						
236	40.3	7.5	< 0.5	30.7	6.6						
234	42.3	7.5	< 0.5	33.4	6.7						
232	44.3	7.6	< 0.5	35.7	6.7						
230	46.3	7.7	< 0.5	39.2	6.8						
228	48.3	7.7	< 0.5	40.0	6.9						
227.2	49.1	7.8	< 0.5	60.7	7.5						

4℃の時循環するおそれのある範囲

3.6mg/Lは計算上2ヶ月で0mg/Lとなるが、実現象で濃度が0mg/L になっていることはないため、直近の濃度(0.17 mg/L)になると仮定した。

表 4-14 M-1における今後のマンガン濃度予測値(mg/L)

測定高さ (EL. m)	10月26日	11月15日	12月1日 想定	1月1日	2月1日
260	0.074	0.036	0.036	0.036	0.036
255	0.087	0.052	0.052	0.052	0.052
250	0.21	0.080	0.080	0.080	0.080
248	0.20	0.12	0.12	0.12	0.12
246	0.22	0.12	0.12	0.12	0.12
245		0.17	0.17	0.17	0.17
244	0.22	3.6	3.6	0.2	0.17
243		12	12	5.4	1.0
242	16	16	16	16	16
240	21	17	17	21	21
238	22	未測定	22	22	22
236	18	未測定	18	18	18
234	16	未測定	16	16	16
232	14	未測定	14	14	14
230	14	未測定	14	14	14
228	14	未測定	14	14	14

なお、同様の検討を鉄とヒ素に対して行う（今後の低減を見込まず、今の濃度で循環させると仮定）と以下のとおりであり、**水位に関わらず参考目標値である鉄＝0.3mg/L、ヒ素＝0.01mg/Lを下回る**。なお、鉄の濃度が貯水位低下と共に減少するのは、11月15日の調査の結果、表層濃度が少し高め（EL. 265m～EL. 275mで0.05mg/L）であることに由来するが、そもそも低い値である。

表 4-15 貯水位と鉄濃度の関係（EL. 242m以深の濃度が変化しないと想定）

貯水位	EL. 243mまで循環した時の 表層の鉄濃度
EL. 278m	0.035
EL. 277m	0.035
EL. 276m	0.035
EL. 275m	0.035
EL. 274m	0.034
EL. 273m	0.034
EL. 272m	0.033
EL. 271m	0.033
EL. 270m	0.032
EL. 269m	0.032
EL. 268m	0.031
EL. 267m	0.030
EL. 266m	0.029
EL. 265m	0.028
EL. 264m	0.027
EL. 263m	0.026
EL. 262m	0.024
EL. 261m	0.022
EL. 260m	0.020

表 4-16 貯水位とヒ素濃度の関係（EL. 242m以深の濃度が変化しないと想定）

貯水位	EL. 243mまで循環した時の 表層のヒ素濃度
EL. 278m	<0.001
EL. 277m	<0.001
EL. 276m	<0.001
EL. 275m	<0.001
EL. 274m	<0.001
EL. 273m	<0.001
EL. 272m	<0.001
EL. 271m	<0.001
EL. 270m	<0.001
EL. 269m	<0.001
EL. 268m	<0.001
EL. 267m	<0.001
EL. 266m	<0.001
EL. 265m	<0.001
EL. 264m	<0.001
EL. 263m	<0.001
EL. 262m	<0.001
EL. 261m	<0.001
EL. 260m	<0.001

以上の結果、12月1日以降の改善範囲をEL. 243m～EL. 247mと設定し、装置はEL. 245mに設置した。

(6) 12月10日の運用変更（渇水時に向けた運用）

11月29日に行った水質調査の結果により、EL. 250mより上層の金属類の濃度が高く検出され、M-1表層0.3mでは、マンガン濃度が0.07mg/Lとすでに参考目標値を超過していた。

このため、この原因を推定し、運用高さを検討した。

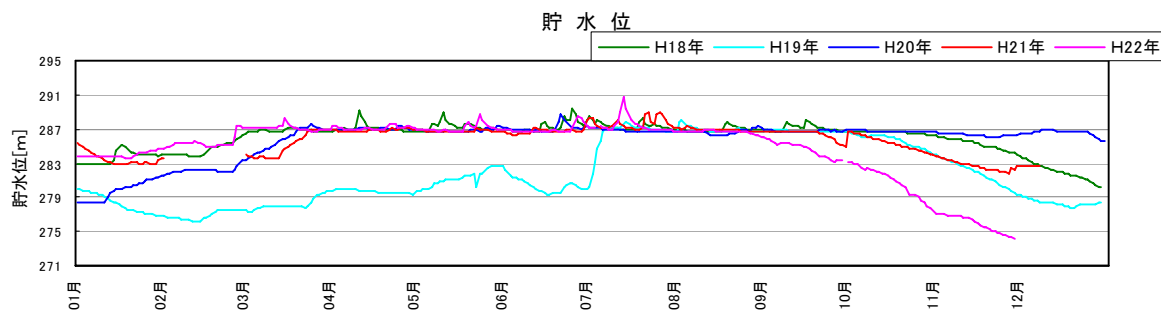


図 4-9 貯水位の状況(平成 22 年は 11 月 30 日まで)

ダム水質臨時調査									
調査年月日:平成22年11月29日									
貯水位		274.28m							
地 点		M-1(計器測定)							
測定水深		水温	DO	導電率	pH	ヒ素	鉄	マンガン	蒸発残留物
EL(m)	水深(m)	℃	mg/L	mS/m	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
274.0	0.3	11.1	8.0	4.9	6.6	0.003	0.05	0.070	21
273.0	1.3	11.0	8.1	4.7	6.7	0.003	0.06	0.059	23
268.0	6.3	10.9	8.2	4.7	6.7	0.003	0.06	0.052	26
263.0	11.3	9.1	2.5	5.4	6.4	0.002	0.04	0.092	32
258.0	16.3	7.6	2.8	5.7	6.1	0.002	0.03	0.083	41
253.0	21.3	7.1	9.0	6.6	6.0	0.002	0.05	0.16	57
252.0	22.3	7.0	25.4	6.7	6.2				
251.0	23.3	7.0	15.2	6.8	6.0				
250	24.3	7.0	8.1	8.3	6.0	0.002	0.05	0.14	53
249	25.3	7.0	14.3	9.5	6.0	0.001	0.05	0.14	45
248	26.3	7.1	19.6	10.4	6.0	< 0.001	0.06	0.19	59
247	27.3	7.1	22.5	10.9	6.0	0.001	0.05	0.22	59
246	28.3	7.0	25.4	11.3	6.0	< 0.001	0.05	0.20	50
245	29.3	7.0	24.2	12.0	6.1	< 0.001	0.04	0.62	62
244	30.3	7.1	6.2	16.6	6.1	0.002	0.32	8.6	90
243	31.3	7.1	< 0.5	18.6	6.3	< 0.001	0.30	11	94
242	32.3	7.1	< 0.5	22.1	6.6	0.001	0.11	18	110
241	33.3	7.1	< 0.5	23.3	6.6	0.003	0.20	19	110
240	34.3	7.2	< 0.5	24.1	6.6	0.003	0.54	20	110
238	36.3	7.3	< 0.5	25.8	6.6	0.005	3.8	19	120
236	38.3	7.4	< 0.5	30.7	6.7	0.010	17	17	210
234	40.3	7.5	< 0.5	34.8	6.8	0.016	27	15	230
232	42.3	7.6	< 0.5	36.3	6.9	0.024	33	15	240
230	44.3	7.7	< 0.5	37.8	7.0	0.034	36	15	250
228	46.3	7.7	< 0.5	40.4	7.1	0.061	53	16	420
227.4	46.9	7.8	< 0.5	41.1	7.5				

既に参考目標値 0.05mg/L を超過

1) 水質状況の整理

(a) M-1

M-1における水質変化のあった箇所を以下に示す。なお、11月29日以前に11月15日にも水質調査を行っているが、EL. 240m以深を測っていないため、比較検討はデータの揃っている10月26日のものを用いた。

マンガンについてはEL. 263mより上の層及びEL. 244mで上昇がみられる一方、変化がない箇所として、EL. 268m以深全体の水温、EL. 244m～EL. 250mのマンガン・導電率があげられる。DOの変化についてはDO供給の一時中断と、吐出高さを11/15よりEL. 253mに変更した影響がそのまま観測されている。

ダム水質臨時調査										
調査年月日:平成22年10月26日										
貯水位		279.38m								
地 点		M-1(計器測定)				M-1				
測定水深		水温	DO	導電率	pH	DO	ヒ素	鉄	マンガン	蒸発残留物
EL(m)	水深(m)	℃	mg/L	mS/m	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
279.1	0.3	17.5	9.2	4.2	7.1	9.1	< 0.001	< 0.03	0.014	< 10
278.1	1.3	17.4	9.0	4.2	7.1	9.0	< 0.001	< 0.03	0.014	27
273.1	6.3	16.5	1.4	4.5	6.7	2.2	< 0.001	0.03	0.021	24
268.1	11.3	11.3	1.2	4.4	6.3	1.8	< 0.001	0.04	0.044	19
263.1	16.3	8.4	3.1	5.7	6.2	3.3	< 0.001	0.07	0.039	23
258.1	21.3	7.6	1.9	5.7	6.2	2.4	< 0.001	0.05	0.074	33
253.1	26.3	6.9	1.1	5.8	6.2	1.6	< 0.001	0.04	0.087	74
250	29.4	6.9	10.4	9.2	6.1	10	< 0.001	0.07	0.21	62
249	30.4	7.0	17.5	9.7	6.1					
248	31.4	7.0	34.2	11.3	6.1	24	< 0.001	0.06	0.20	60
247	32.4	7.0	36.1	11.6	6.1					
246	33.4	6.9	36.2	11.8	6.1	31	< 0.001	0.04	0.22	67
245	34.4	6.9	36.4	11.8	6.2					
244	35.4	6.9	27.9	12.2	6.2	31	< 0.001	0.04	0.22	89
243	36.4	7.0	5.0	18.3	6.4					
242	37.4	7.0	< 0.5	21.7	6.5	< 0.5	0.002	0.11	16	120
240	39.4	7.2	< 0.5	23.7	6.6	< 0.5	0.004	0.15	21	100
238	41.4	7.3	< 0.5	26.4	6.6	< 0.5	0.003	1.5	22	62
236	43.4	7.4	< 0.5	29.5	6.7	< 0.5	0.005	8.8	18	140
234	45.4	7.5	< 0.5	32.9	6.8	< 0.5	0.006	19	16	170
232	47.4	7.6	< 0.5	35.7	6.9	< 0.5	0.007	26	14	190
230	49.4	7.6	< 0.5	37.9	7.0	< 0.5	0.008	31	14	210
228	51.4	7.7	< 0.5	39.3	7.4	< 0.5	0.018	32	14	230
227.9	51.5	7.7	< 0.5	48.9	7.5					

⇒ 表層水は放流

ダム水質臨時調査										
調査年月日:平成22年11月29日										
貯水位		274.28m								
地 点		M-1(計器測定)				M-1				
測定水深		水温	DO	導電率	pH	ヒ素	鉄	マンガン	蒸発残留物	
EL(m)	水深(m)	℃	mg/L	mS/m	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
274.0	0.3	11.1	8.0	4.9	6.6	0.003	0.05	0.070	21	
273.0	1.3	11.0	8.1	4.7	6.7	0.003	0.06	0.059	23	
268.0	6.3	10.9	8.2	4.7	6.7	0.003	0.06	0.052	26	
263.0	11.3	9.1	2.5	5.4	6.4	0.002	0.04	0.092	32	
258.0	16.3	7.6	2.8	5.7	6.1	0.002	0.03	0.083	41	
253.0	21.3	7.1	9.0	6.6	6.0	0.002	0.05	0.16	57	
252.0	22.3	7.0	25.4	6.7	6.2					
251.0	23.3	7.0	15.2	6.8	6.0					
250	24.3	7.0	8.1	8.3	6.0	0.002	0.05	0.14	53	
249	25.3	7.0	14.3	9.5	6.0	0.001	0.05	0.14	45	
248	26.3	7.1	19.6	10.4	6.0	< 0.001	0.06	0.19	59	
247	27.3	7.1	22.5	10.9	6.0	0.001	0.05	0.22	59	
246	28.3	7.0	25.4	11.3	6.0	< 0.001	0.05	0.20	50	
245	29.3	7.0	24.2	12.0	6.1	< 0.001	0.04	0.62	62	
244	30.3	7.1	6.2	16.6	6.1	0.002	0.32	8.6	90	
243	31.3	7.1	< 0.5	18.6	6.3	< 0.001	0.30	11	94	
242	32.3	7.1	< 0.5	22.1	6.6	0.001	0.11	18	110	
241	33.3	7.1	< 0.5	23.3	6.6	0.003	0.20	19	110	
240	34.3	7.2	< 0.5	24.1	6.6	0.003	0.54	20	110	
238	36.3	7.3	< 0.5	25.8	6.6	0.005	3.8	19	120	
236	38.3	7.4	< 0.5	30.7	6.7	0.010	17	17	210	
234	40.3	7.5	< 0.5	34.8	6.8	0.016	27	15	230	
232	42.3	7.6	< 0.5	36.3	6.9	0.024	33	15	240	
230	44.3	7.7	< 0.5	37.8	7.0	0.034	36	15	250	
228	46.3	7.7	< 0.5	40.4	7.1	0.061	53	16	420	
227.4	46.9	7.8	< 0.5	41.1	7.5					

水温より、
EL. 268mまで循環

□変更あり（水質悪化方向） □変更あり（水質改善方向） □変化がないことに注目すべき箇所

水温を見ると、表層で冷却されることにより循環が生じ始めていることがわかる。しかし、EL. 268m以深の水温鉛直分布に変化がないことから、循環が生じた結果、底層のマンガン等が表層に届いたとは考えにくい。

また、EL. 242m以深のマンガン、EL. 244m～EL. 250mのマンガンに変化がないことから、やはり底層から表層にマンガンが移動したとは考えにくい。以上を踏まえ、以下の現象である可能性があると考えられる。

表層部のマンガン上昇　： M－1 以外からの影響

EL. 244mのマンガン上昇： EL. 243mのD0が消費されたことによる再溶出

(b) M-6

M-6ではマンガン濃度を観測しているため、この水質を以下に示す。

ダム水質臨時調査										
調査年月日:平成22年10月26日										
貯水位		279.38m								
地 点		M-6(計器測定)				M-6				
測定水深		水温	DO	導電率	pH	DO	ヒ素	鉄	マンガン	蒸発残留物
EL(m)	水深(m)	℃	mg/L	mS/m	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
279.1	0.3	17.4	8.7	4.2	6.9	9.2	< 0.001	< 0.03	0.014	56
278.1	1.3	17.4	8.8	4.3	7.1	9.1	< 0.001	< 0.03	0.016	55
273.1	6.3	16.5	2.9	4.8	6.7	3.4	< 0.001	0.04	0.028	43
268.1	11.3	16.2	3.6	5.0	6.3	4.2	< 0.001	0.08	0.067	50
263.1	16.3	8.5	2.7	5.3	6.2	3.1	< 0.001	0.10	0.10	42
258.1	21.3	6.7	< 0.5	8.2	6.1	< 0.5	< 0.001	0.14	1.5	28
255	24.4	6.6	< 0.5	21.7	6.5	< 0.5	0.028	13	8.1	92
253	26.4	6.7	< 0.5	28.6	6.7	< 0.5	0.041	33	8.4	150
251	28.4	7.0	< 0.5	33.5	6.8	< 0.5	0.069	39	8.2	170
249	30.4	7.2	< 0.5	38.7	6.7	< 0.5	0.12	49	8.9	210
247	32.4	7.3	< 0.5	41.1	6.8	< 0.5	0.14	53	9.1	230
245.7	33.7	7.3	< 0.5	42.5	6.8					

⇒ 表層水は放流

ダム水質臨時調査										
調査年月日:平成22年11月29日										
貯水位		274.28m								
地 点		M-6(計器測定)				M-6				
測定水深		水温	DO	導電率	pH	DO	ヒ素	鉄	マンガン	蒸発残留物
EL(m)	水深(m)	℃	mg/L	mS/m	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
274.0	0.3	11.1	8.7	4.9	7.0	< 0.001	0.16	0.068	81	
273.0	1.3	11.0	8.7	4.9	6.9	< 0.001	0.15	0.067	110	
268.0	6.3	11.4	8.5	4.9	6.9	< 0.001	0.17	0.071	110	
263.0	11.3	11.6	0.7	5.4	6.5	< 0.001	0.11	0.14	110	
258.0	16.3	6.9	< 0.5	8.3	6.3	< 0.001	0.16	3.4	110	
255	19.3	6.7	< 0.5	21.0	6.6	0.021	21	7.2	190	
254	20.3	6.8	< 0.5	27.3	6.8					
253	21.3	6.9	< 0.5	31.3	6.8	0.062	41	7.9	230	
252	22.3	6.9	< 0.5	31.5	6.8					
251	23.3	7.0	< 0.5	35.3	6.9	0.081	49	8.3	270	
250	24.3	7.1	< 0.5	36.2	6.9					
249	25.3	7.2	< 0.5	37.7	6.9	0.094	53	8.5	270	
248	26.3	7.3	< 0.5	38.9	6.8					
247	27.3	7.3	< 0.5	40.9	6.8	0.11	58	8.8	280	
246	28.3	7.4	< 0.5	42.5	6.8					
245.8	28.5	7.4	< 0.5	50.5	6.7					

EL. 268mまで循環

□変更あり（水質悪化方向） □変更あり（水質改善方向） □変化がないことに注目すべき箇所

水温を見ると、表層の冷却による循環が生じ、EL. 263mより上層でほぼ同一水温になっているが、しかし、EL. 263mではDOがなく、その上層と水温が逆転していること、上層に比べて導電率がやや大きくなっていることから、循環はEL. 268mまでであると考えられる。

一方、EL. 258m以深の水質（特に水温）に変化がないことから、M-6においても底層のマンガン等が表層に届いたとは考えにくい。

表層部のマンガン上昇 : M-6 以外からの影響

(c) M-11

M-11では自動観測装置による連続観測が行われている。水温を見ると、アオコ対策装置を10/31まで稼働した結果、M-11では11月から水温成層がなくなり、循環混合が起こるようになっている。また、濁度において、10月中旬より底層部の濁度が20程度まで高くなっており、これは自動観測装置による観測以降初めての現象である。

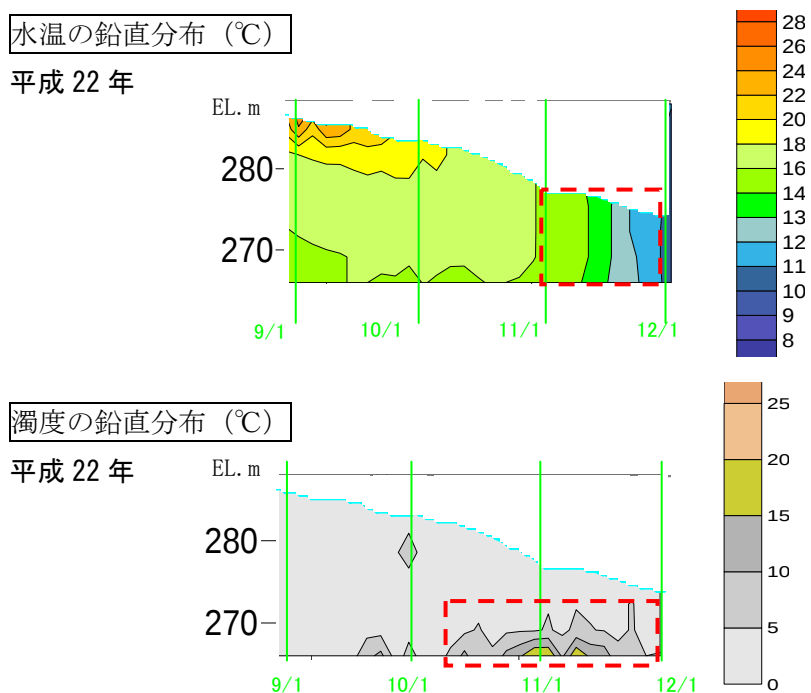


図 4-10 自動観測装置による水質の連続観測結果 (M-11 : 黒川橋)

一方、ダムサイトでは11月にEL. 265mより上層で濁度が徐々に上昇する傾向にあった。黒川橋付近の水が徐々に到達した可能性がある。

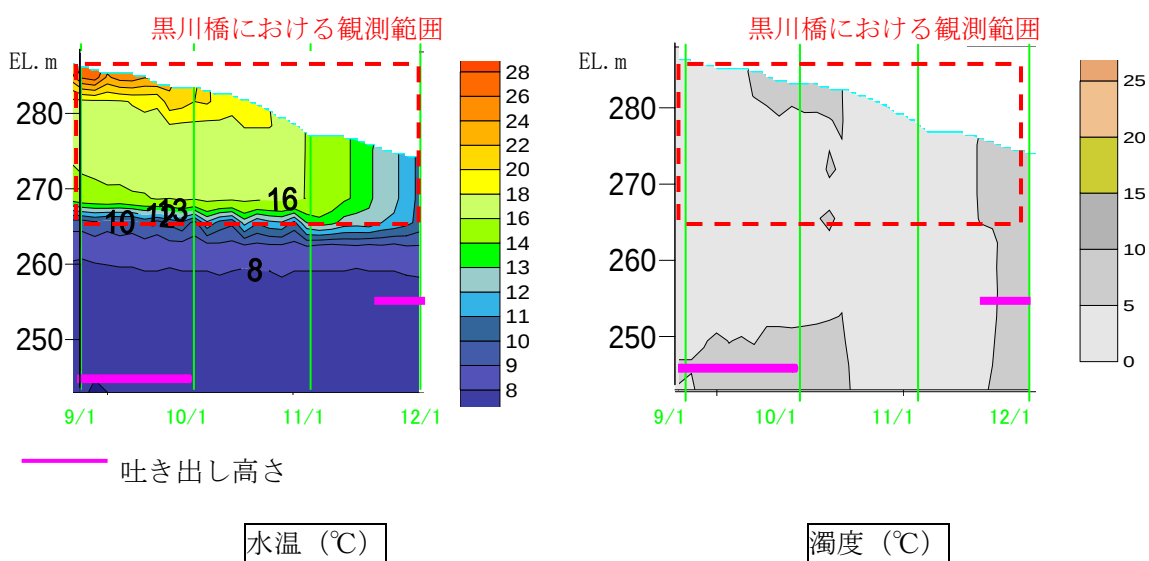


図 4-11 同時期のダムサイトでの水質連続観測結果 (M-0 : ダムサイト)

この理由として、渇水により貯水池末端部が河川の形態になったため、堆積していた土砂が流入したものと考えられる（堆積土砂が削られた箇所が随所に見られる）。



図 4-12 M-22 右岸付近の状況(平成 22 年 11 月 15 日)



図 4-13 M-21 右岸付近の状況(平成 22 年 11 月 15 日)



図 4-14 M-19 右岸付近の状況(平成 22 年 11 月 15 日)

2) 要因の推定

以上の現象に水質調査で測定されているマンガンは全マンガンであることを勘案すると、11月29日に表層のマンガンが上昇し、参考目標値である0.05mg/Lを既に上回っている現象は、主に以下のような要因が一因として考えられる。

- 表層部のマンガン上昇：①湧水により底質が表層に出現
 ②河川水により削られ、貯水池に流入（湧水濁水）
 ③黒川橋付近で表層まで上昇（水温成層がない）
 ④濁質成分に含まれるマンガンが全マンガンとして確認される

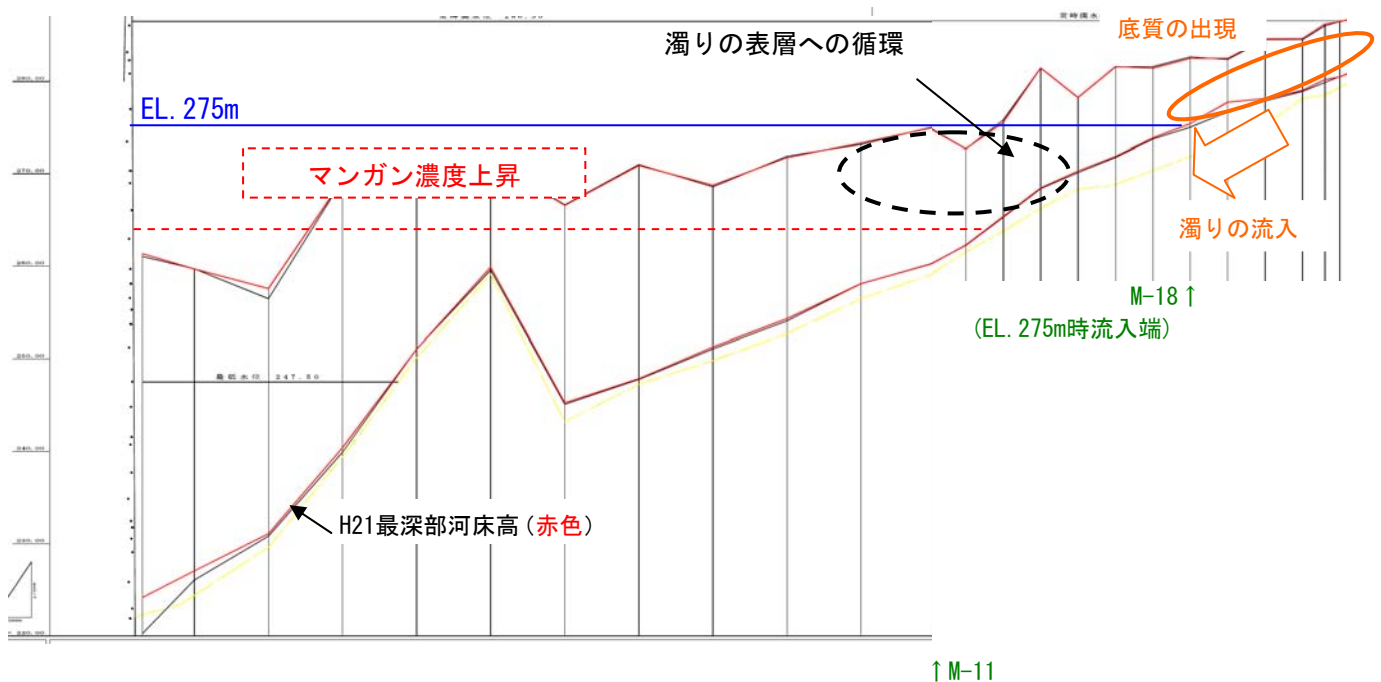


図 4-15 表層（EL. 263mより上層）におけるマンガン濃度上昇メカニズム（推定）

実際、マンガンの値の上昇は濁度の上昇と一致している。なお、導電率の上昇はマンガンの上昇と比べて小さいが、これはマンガン濃度が小さいため、あまり導電率の上昇に寄与していないと考えられる。

表 4-17 M-1表層における水質

平成22年10月26日

測定水深	濁度	導電率	マンガン
EL (m)	度	mS/m	mg/L
279.1	2.5	4.2	0.014
278.1	2.2	4.2	0.014
273.1	1.4	4.5	0.021
268.1	1.3	4.4	0.044
263.1	1.3	5.7	0.039

平成22年11月15日

測定水深	濁度	導電率	マンガン
EL (m)	度	mS/m	mg/L
276.0	4.6	4.7	0.025
275.0	4.6	4.7	0.032
270.0	4.6	4.7	0.031
265.0	4.2	5.3	0.032

平成22年11月29日

測定水深	濁度	導電率	マンガン
EL (m)	度	mS/m	mg/L
274.0	7.3	4.9	0.070
273.0	7.5	4.7	0.059
268.0	7.5	4.7	0.052
263.0	6.8	5.4	0.092

※導電率とマンガンは水質分析値、濁度は同日の自動観測値(M-0)

3) 運用高さの検討

今後の運用については、以下に示すとおり、EL. 243m-EL. 247mに含まれるマンガン量が多くなっており、今後上層からさらに循環が大きくなっていく（表層からDOが供給される）ことも勘案すると、**現況どおりEL. 245mに設置し**、すみやかにEL. 243m-EL. 247mの範囲のマンガン量を低減することが重要であると考えられる。

表 4-18 高さごとのマンガン含有量 (kg)

位 置	10/26	11/29
EL. 248m上層のマンガン	402, 922	504, 273
EL. 243m-EL. 247m上のマンガン	360, 474	854, 177
EL. 242 より下層のマンガン	4, 294, 005	4, 198, 731
全 体	5, 096, 126	5, 557, 180

なお、EL. 244m～EL. 250m付近の水温が今年4月に比べ6℃→7℃と上昇し、表層との混合が起りやすくなってきている。これは陸上から供給される酸素による水温上昇であると想定されるが、今後は気温が下がってくることから、再び酸素供給付近の水温が低下する可能性がある。

EL. 243m-EL. 247mの水温を再び低下させることでマンガン濃度の高い層を循環させなくさせることも可能であることから、運用高さはEL. 245mが望ましい。

※EL. 242mより下層の水質は事業前とあまり変化していないことから、EL. 243m-EL. 247mの水温低下により底層とEL. 243m-EL. 247mの水が混合することは考えにくい。

なお、酸素供給に余裕が出てきた場合には、「気温の高い晴天時や昼間には運転をしない」「コンプレッサー室の換気をさらによくして、コンプレッサーで発生された酸素の熱をうばう」ことも案として考えられる。

4.2 平成23年の運用の考え方（案）

平成23年は今年の続きとして、EL. 244m以深を対象とするものとして検討した（循環の発生状況、循環後の鉄・マンガン・ヒ素濃度によって適宜変える必要がある）。

10月の施設の停止により、「一旦酸化が完了すると、酸素消費速度が大きく下がる」ことが確認できた。今年得られた酸素消費速度を用いて、1巡目を0.63(g/日/m³)、2巡目を0.137(g/日/m³)と仮定する。この場合、**1巡目のEL. 240m～EL. 244mに限り1ヶ月、残りは2週間以下で済む**と考えられる。

なお、**③吐き出しDO**はp.6で示したように1巡目では**15mg/L程度**であったことから、15mg/Lとして仮定した。

表 4-19 1巡目に必要な日数

↓装置から最も離れた地点での濃度

標高	①1m当たりの容量 (m3)	②必要酸素1(kg/日) 消費分	③吐き出し周辺 のDO(mg/L)	④改善目標 DO(mg/L)	④平均改善 DO(mg/L)	⑤必要酸素2(kg/ 日)濃度上昇分	⑩必要日数
	ダムコンデータより	観測値0.63g/m3/日 ×①	1巡目観測値	第3回委員会 より	③と④の平均 値	①×④	⑤/(164.3-②)/4(効 果範囲4m) ※
244	43216	27.2	15	4	9.5	410.6	29.6
243	39104	24.6	15	4	9.5	371.5	22.6
242	35197	22.2	15	4	9.5	334.4	17.7
241	31495	19.8	15	4	9.5	299.2	14.1
240	28000	17.6	15	4	9.5	266.0	11.3
239	24710	15.6	15	4	9.5	234.7	9.2
238	21625	13.6	15	4	9.5	205.4	7.5
237	18746	11.8	15	4	9.5	178.1	6.1
236	16073	10.1	15	4	9.5	152.7	4.9
235	13606	8.6	15	4	9.5	129.3	4.0
234	11344	7.1	15	4	9.5	107.8	3.2
233	9288	5.9	15	4	9.5	88.2	2.5
232	7437	4.7	15	4	9.5	70.7	1.9
231	5792	3.6	15	4	9.5	55.0	1.5
230	4352	2.7	15	4	9.5	41.3	1.1
229	3119	2.0	15	4	9.5	29.6	0.8
228	2091	1.3	15	4	9.5	19.9	0.5
227	1268	0.8	15	4	9.5	12.0	0.3
226	651	0.4	15	4	9.5	6.2	0.2
225	240	0.2	15	4	9.5	2.3	0.1

赤字は代表させた日数(ブロックの最大値) ↑

表 4-20 2巡目に必要な日数

↓装置から最も離れた地点での濃度

標高	①1m当たりの容量 (m3)	②必要酸素1(kg/日) 消費分	③吐き出し周辺 のDO(mg/L)	④改善目標 DO(mg/L)	④平均改善 DO(mg/L)	⑤必要酸素2(kg/ 日)濃度上昇分	⑩必要日数
	ダムコンデータより	観測値0.137g/m3/ 日 ×①	1巡目観測値	第3回委員会 より	③と④の平均 値	①×④	⑤/(164.3-②)/4(効 果範囲4m) ※
244	43216	5.9	15	4	9.5	410.6	11.7
243	39104	5.4	15	4	9.5	371.5	10.4
242	35197	4.8	15	4	9.5	334.4	9.2
241	31495	4.3	15	4	9.5	299.2	8.1
240	28000	3.8	15	4	9.5	266.0	7.1
239	24710	3.4	15	4	9.5	234.7	6.2
238	21625	3.0	15	4	9.5	205.4	5.4
237	18746	2.6	15	4	9.5	178.1	4.6
236	16073	2.2	15	4	9.5	152.7	3.9
235	13606	1.9	15	4	9.5	129.3	3.3
234	11344	1.6	15	4	9.5	107.8	2.7
233	9288	1.3	15	4	9.5	88.2	2.2
232	7437	1.0	15	4	9.5	70.7	1.8
231	5792	0.8	15	4	9.5	55.0	1.4
230	4352	0.6	15	4	9.5	41.3	1.0
229	3119	0.4	15	4	9.5	29.6	0.7
228	2091	0.3	15	4	9.5	19.9	0.5
227	1268	0.2	15	4	9.5	12.0	0.3
226	651	0.1	15	4	9.5	6.2	0.2
225	240	0.0	15	4	9.5	2.3	0.1

赤字は代表させた日数(ブロックの最大値) ↑

マンガンの減少速度は酸化が始まれば以下の式で与えられると考えられる。

$$\text{マンガンの減少速度}[\text{mg/L} \cdot \text{月}] = 1.5069 \times \text{当初マンガン濃度}[\text{mg/L}]^{0.629}$$

図 4-16のように運用した場合、マンガンの低減は2巡目である5月中旬から反応するとして、4m ずつ深さ方向に2ヶ月遅れで順に生じ(平成22年の状況はp. 19参照)、**12月中旬には全層の改善が完了すると予測される**。なお、平成22年の結果、1巡目でも1.9～2.9(mg/L・月)の低減が見られているが、今回の予測にはこの効果は含んでいない。

平成22年のマンガン実測値(mg/L) (M-1)

測定高さ (EL. m)	3月3日	4月30日	5月31日	6月30日	7月27日	8月30日	9月30日	10月26日	11月15日
260		0.049	0.22	0.16	0.042	0.042	0.18	0.074	0.036
255	0.40	3.0	0.10	0.40	0.044	0.10	0.098	0.087	0.052
251		3.7	1.8	0.26	0.084		0.14		
250	0.97	●3.8	3.8	0.27	●0.12	0.10	0.22	0.21	0.080
248	5.7	●5.4	5.3	1.8	●4.0	●0.22	●0.48	0.20	0.12
246	8.7	●6.1	●7.9	6.4	●5.2	●0.41	●0.97	0.22	0.12
245									0.17
244	9.4	8.7	●9.7	●9.3	10	●3.4	●4.0	0.22	3.6
243									12
242	9.7	9.8	●10	●10	10	13	15	16	16
240	10	11	10	●11	12	14	19	21	17
238	10	10	13	11	15	15	22	22	未測定
236	10	13	13	13	16	19	22	18	未測定
234	10	12	12	14	15	18	16	16	未測定
232	10	13	12	13	14	16	16	14	未測定
230	11	12	12	13	13	14	15	14	未測定
228	11			13	14	13	15	14	未測定

凡例：青字はDOが1.0mg/L以上、赤字は1.0mg/L未満、●は酸素の供給範囲

※EL. 250mより上層では水深で採水位置を決めており、測定高さは厳密には一致しないが、便宜上、近い高さで表現した。

平成23年のマンガン予測値(mg/L) (M-1)

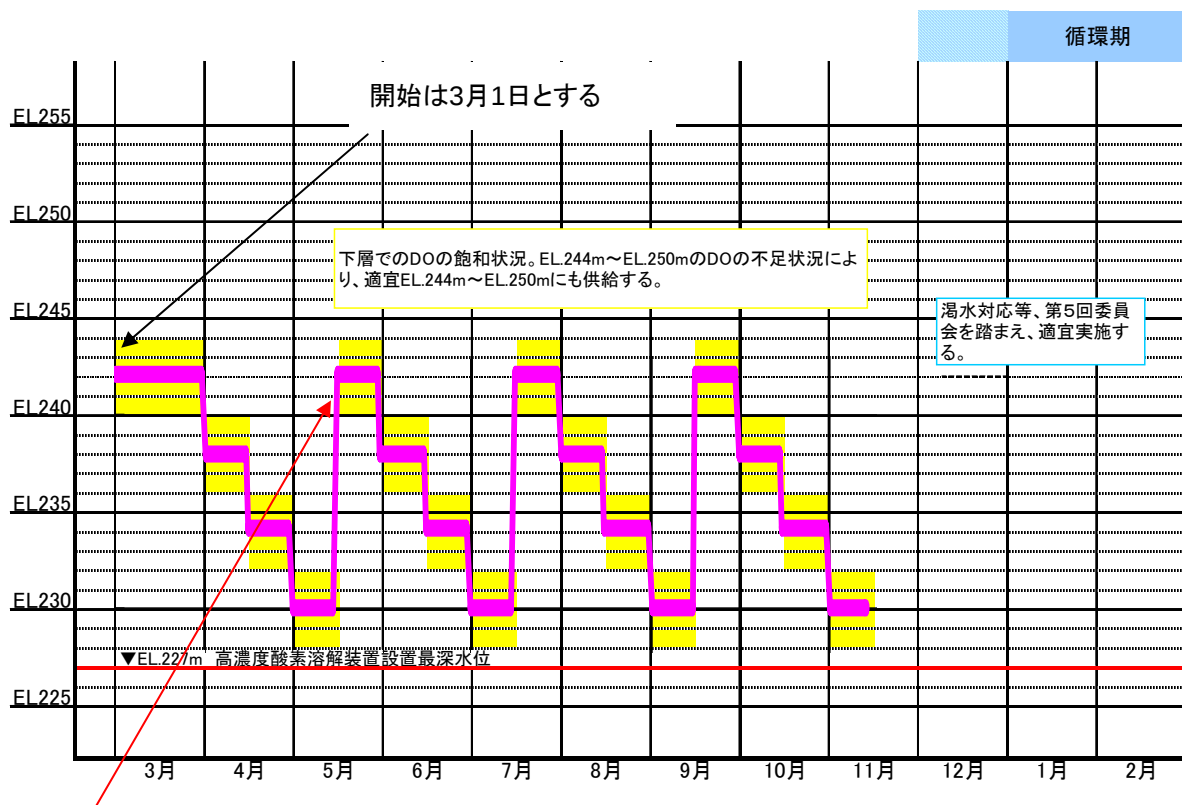
測定高さ (EL. m)	3月中旬	4月中旬	5月中旬	6月中旬	7月中旬	8月中旬	9月中旬	10月中旬	11月中旬	12月中旬
260	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
255	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
250	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
248	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
246	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
245	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
244	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
243	12	12	12	5.4	1.0	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
242	16	16	16	9.4	3.2	0.1	0.025	0.025	0.025	0.025
240	21	21	21	14.4	7.8	2.3	0.025	0.025	0.025	0.025
238	22	22	22	22	22	15.4	8.8	2.9	0.3	0.025
236	18	18	18	18	18	11.4	4.8	0.8	0.025	0.025
234	16	16	16	16	16	9.4	3.2	0.1	0.025	0.025
232	14	14	14	14	14	14	14	7.4	2.1	0.025
230	14	14	14	14	14	14	14	7.4	2.1	0.025
228	14	14	14	14	14	14	14	7.4	2.1	0.025

※3月1日の濃度は、循環の生じると予測されるEL. 244mより上ではH22. 11. 15の表層のデータ(0.025)を、EL. 240m～EL. 243mではH22. 11. 15のデータを、EL. 240mより下ではH22. 10. 26のデータを用いた

凡例) 赤字は低減開始時

よって、来年は酸素が行き渡ったことを確認すれば、マンガンの低減によらず、**最下層まで一気に酸化することが可能である**と考えられる。

また、全体の濃度が0.025mg/Lとなっていることから（前ページ参照）、冬季に渇水となっても問題にない。



2巡目以降、2週間単位(水質調査間隔)で動かすことが可能である。

図 4-16 平成 23 年の運用 (案)

以上より、平成23年の運用は以下のとおり行う。

表 4-21 2年目の概略運用案

考え方	運用案
1	鉄とヒ素は、酸素供給対象になれば速やかに酸化されることから、運用高さはマンガン濃度を基に設定する。
2	装置の運用は、3月1日より始めることを原則とするが、ダムサイトの水質自動観測装置により、循環期終了が確認されれば前倒しする。
3	高濃度酸素水の吐き出し高さは、EL. 242m（酸化対象範囲＝EL. 240m～EL. 244m）から下に向けて進めることを原則とする。
4	高濃度酸素溶解装置による改善高さは4 mとする。
5	EL. 242mは最初のみ1ヶ月間、それ以外は2週間ごとに移動する。 なお、底層では容量が小さいことから、すぐにD0が飽和することが想定される。水質調査時に表層での泡の発生を記録しておき、底層でのD0の状況が表層の泡の発生で把握できないかを検討し、可能であれば、泡の発生状況から次の高さに速やかにすることを検討する。
6	水質モニタリングを適切に実施し、酸化対象範囲上層の酸素不足及び鉄・マンガン・ヒ素の溶出が生じれば、一時的にその層に高さを変更する。この際、D0とECはダムサイトで自動連続観測を行っていることから参考とする（ただし、EL. 243mより上層に限る）。ECは鉄・マンガンの濃度の推定に用いる。
7	D0が高濃度となり、余剰になった場合には、コスト縮減のため、電気代を下げるための方策を検討する。例えば、運転時間の断続化（例えば、2時間おきにスイッチをON/OFFする）、酸素供給を空気供給に切り替える手法が考えられる。

なお、**3年目以降は貯水池全体で一旦水質が改善された状態であり**、酸素消費速度が小さくなっていると想定されるため、**2週間単位で動かすことができる**と考えられるが、詳細は平成23年の水質調査結果をふまえ、**第6回委員会で検討**する。

第5章 水質モニタリング調査（案）

平成22年度の運用の結果を踏まえ、来年の水質モニタリング調査を以下のとおり提案する。
変更点は以下のとおりである。

変更点	変更理由
EL. 245mより下層では1 m ピッチとする。	酸素供給範囲では1 m ごとのD0の変化が大きく、1 m きざみで装置の運用を検討する可能性があるため。
鉛直方向のpHの測定を削除する。	H22調査の結果、過年度と大きな差異がみられず、結果を装置の運用に反映しないため。
採水分析のD0を削除する。	ポータブル機器でも測られており、H22の分析値との比較検討の結果、大きな違いがなかった。分析は結果までの時間がかかり、H22は速やかに結果が得られるポータブル機器の結果を運用に反映していたため。
M-4 の測定を削除する。	H22調査の結果、M-4 の水質に変化がなかったため。

【水質モニタリング方針】

- EL. 243mより上層は、ダムサイト（M0）の自動水質観測装置により、毎日（9：00）のデータを取得する。
- ポータブル機器による簡易水質調査により、水深方向及び縦断方向の改善効果を確認する。縦断方向はM0～M3、M6とし、水深方向はM1～M3がEL. 245mより上層が5 mピッチ、下層は1 mピッチを原則とする。M6に限り、EL. 255mより上層が5 mピッチ、下層が2 mピッチとする。測定項目は水温、D0、ECとする。
- 採水分析として、鉄、マンガン、ヒ素、蒸発残留物を測定する（定期採水の項目は別途実施）。

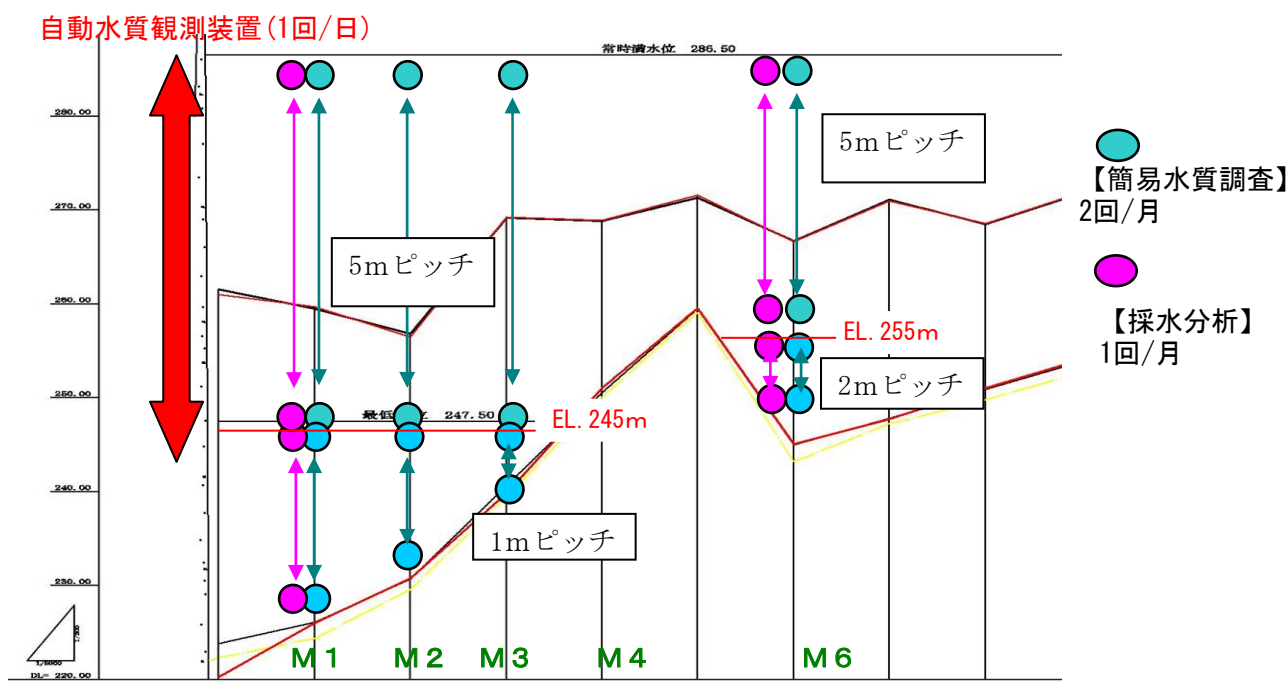


表 5-1 水質モニタリング調査（案）

	モニタリング目的	モニタリング項目	形式	モニタリング手法	地点	深度	頻度	モニタリング時期	備考
								施工後	
運転管理	ダム管理上必要な基礎データ入手	【自動水質観測装置】 水温、濁度、EC、pH、D0、クロロフィル a	常時 (既設)	センサーによる水深方向の自動計測(表層～243EL. m)	M 0	1m毎	連続監視	毎日	・継続的な維持管理を適切に実施
運用検証調査	①施設整備後の水質改善状況を詳細に把握 ②施設効果の評価 運用ルール見直し検討	【簡易水質調査】 水温、D0、EC (※pHを削除)	小型船舶利用	多項目水質センサーを湖内に投入、深度方向に計測	M 1、M 2、M 3、M 6 (※M 4を削除)	EL. 245mより上層＝表層から1m、以降5m毎	月2回のうち1回は定期水質調査時に併せて実施	月 2 回	・ H23年(24回) H24以降はH23に検討
		【採水分析】 鉄、マンガン、ヒ素、蒸発残留物 (※D0を削除)	小型船舶利用	・所定の深度から採水し、室内試験を行う。 ・採水時に透明度、色度、を計測し、試験水の水温、pHを計測	M 1、M 6	EL. 245mより下層＝1m毎	月 1 回 の 定期水質調査時に併せて実施	毎月	・ H23年(12回) H24以降はH23に検討

第6章 流入ヒ素の再検討

6.1 これまでの検討の流れ

島地川ダムに流入するヒ素量を把握することは、今後の長期的な対策を検討する上で重要である。これまでの検討経緯を表 6-1に示す。

第2回委員会、第3回委員会において、出水時に上流から流入するヒ素及びその対策について報告を行ったが、基になった水質データは、平成20年6月に観測された1年に1度程度の規模の洪水を基にした検討であった。その後、精度の高いL-Q式を作成するため、**より出水規模の大きい時期の水質調査を行うこととし**、平成22年5月と7月に計4回の水質調査を行ったことから、その結果を用いて流入するヒ素量及びその対策について、再度削減効果を検討した。

今回**修正した条件は、L-Q式**（流量とSSやヒ素流入負荷量の関係式）**の更新、対象降雨（H22）の追加、水中に溶け込んだヒ素の追加**であり、**再検討された内容は貯水池への流入ヒ素量、各対策の効果**である。

表 6-1 これまでのヒ素流入量検討の経緯

委員会	事務局案	委員からの指摘
第1回委員会	島地川ダム貯水池に含まれるヒ素量を算出。ただし、平水時の水質調査結果より上流からの流入を0と仮定	出水時調査を行い、上流からの流入を算出すべき
第2回委員会	H20.6.20(50m ³ /sec未満：1年に1度程度の規模)の出水時水質調査結果を踏まえ、上流からのSS由来の流入ヒ素量を算出	流入するヒ素への対策方針を検討すべき
第3回委員会	貯砂ダム、排砂バイパス、環境放流管、選択取水設備運用、のケースを検討。ただし、規模の小さい出水よりL-Q式を設定しているため、今後出水調査を継続し、再検討したい。	今後も出水時の調査を継続して行い、ヒ素対策のみでなく、ダムの堆砂、下流河川の環境保全等の観点からの必要性も踏まえて検討を行うべき。
第4回委員会	H21には出水時水質調査ができなかったため（H21は災害が発生した1出水のみ）、再検討はせず。	—
第5回委員会	H22に4回出水時水質調査を実施し、うち2回は50m ³ /sec以上で実施。この結果よりL-Q式を修正し、既存の状況（常用洪水吐+選択取水設備）、貯砂ダム、環境放流管3のケースを検討。	

平成22年に新たに実施された出水時水質調査のタイミングを以下に示す。

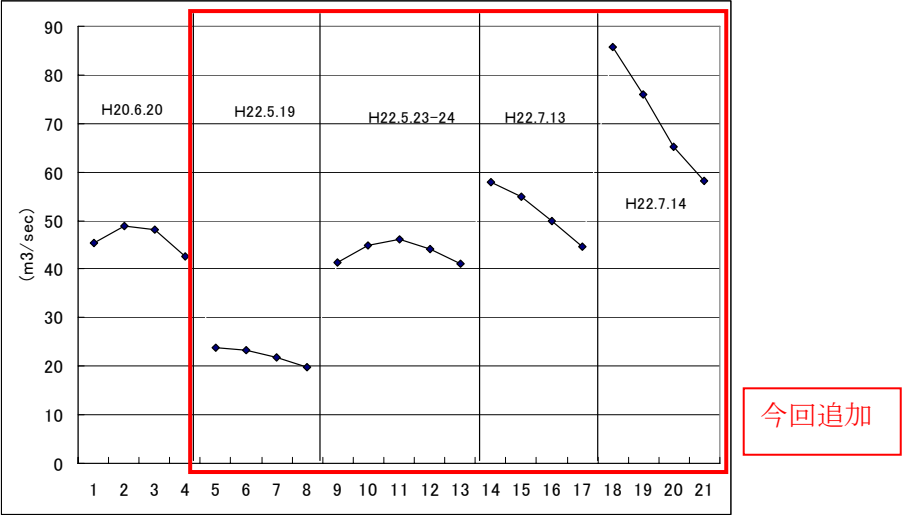


図 6-1 出水時水質調査時の時間流入量

表 6-2 調査日時及び時間流入量

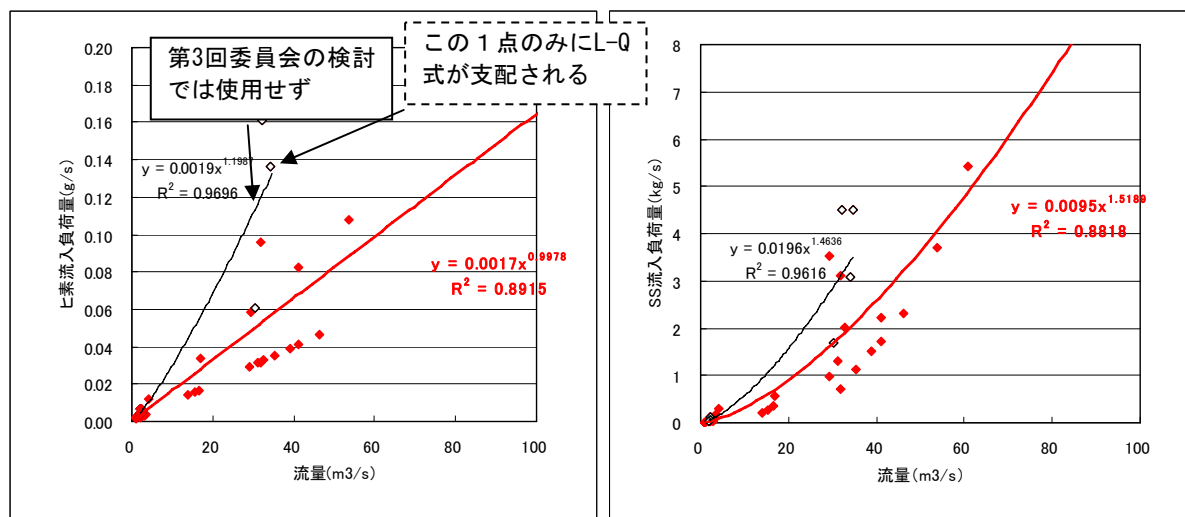
調査日時		ダム流入量(m³/秒)
平成 20 年 6 月 20 日	16:35	45.32
	17:35	48.81
	18:35	48.06
	19:35	42.74
平成 22 年 5 月 19 日	10:50	23.72
	11:50	23.25
	12:50	21.75
	13:50	19.75
平成 22 年 5 月 23 日	22:20	41.36
	23:00	44.89
平成 22 年 5 月 24 日	0:00	46.07
	1:00	44.07
	2:00	41.19
平成 22 年 7 月 13 日	17:00	57.86
	18:00	54.89
	19:00	49.92
	20:00	44.71
平成 22 年 7 月 14 日	11:00	85.66
	12:00	75.85
	13:00	65.22
	14:00	58.13

6.2 修正した条件及び再検討内容

6.2.1 修正した条件

(1) L-Q式の修正

修正されたL-Q式を以下に示す。



流量とヒ素流入負荷量の関係（式-1）

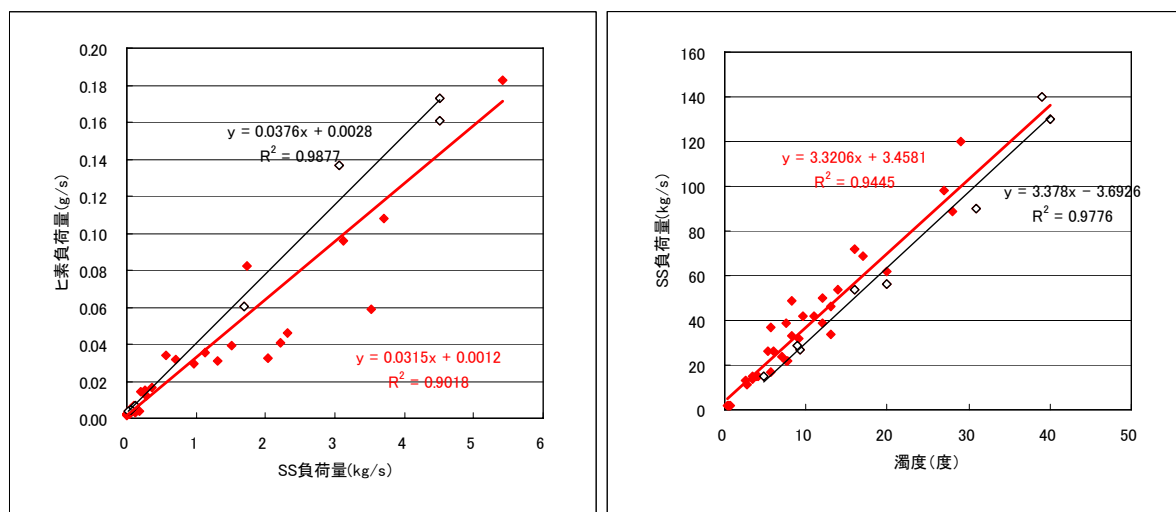
流量とSS流入負荷量の関係（式-2）

凡例) 赤色：H22データ 黒色：H20データ 関係式はH20とH22の両方を用いて作成した。

※流量は観測地点（新平ヶ原）の流量として、ダム流入量を流域面積比で按分した。

L-Q式は上流域から流入する負荷量の一般的な式として、指数式 ($L = a \cdot Q^b$) を採用した。

図 6-2 出水時水質調査結果によるL-Q式



凡例) 赤色：H22データ 黒色：H20データ 関係式はH20とH22の両方を用いて作成した。

SS流入負荷量とヒ素流入負荷量の関係（式-3）

濁度とヒ素濃度の関係（式-4）

図 6-3 出水時水質調査結果による関係式

(2) 対象降雨(H22を追加)

平成20年度に開催された第3回委員会の後、平成22年5月と7月の**2降雨**(表 6-2参照)を**新たに対象として追加した**(島地川ダムでは流入量が $50\text{m}^3/\text{sec}$ を超える場合に出水としている)。

(3) 水中に溶け込んだヒ素の追加

第3回委員会では出水時に流入するSS成分に含まれるヒ素を対象としていた。SSに比べてヒ素は出水時に濃度が上昇しにくく、少ないサンプル数では水質調査結果のばらつきが無視できないと考えたため対象外としていたが、今回、新たに対象降雨が1→5降雨(H20年1回、H22年4回)と5倍に増えたため、水中に溶け込んだ形で流入するヒ素について、 $L-Q$ 式を作成し、計算対象とすることとした。

第3回委員会では下図の②、③に基づき、流入ヒ素量、蓄積ヒ素量を算出していたが、今回**新たに①を追加した**。

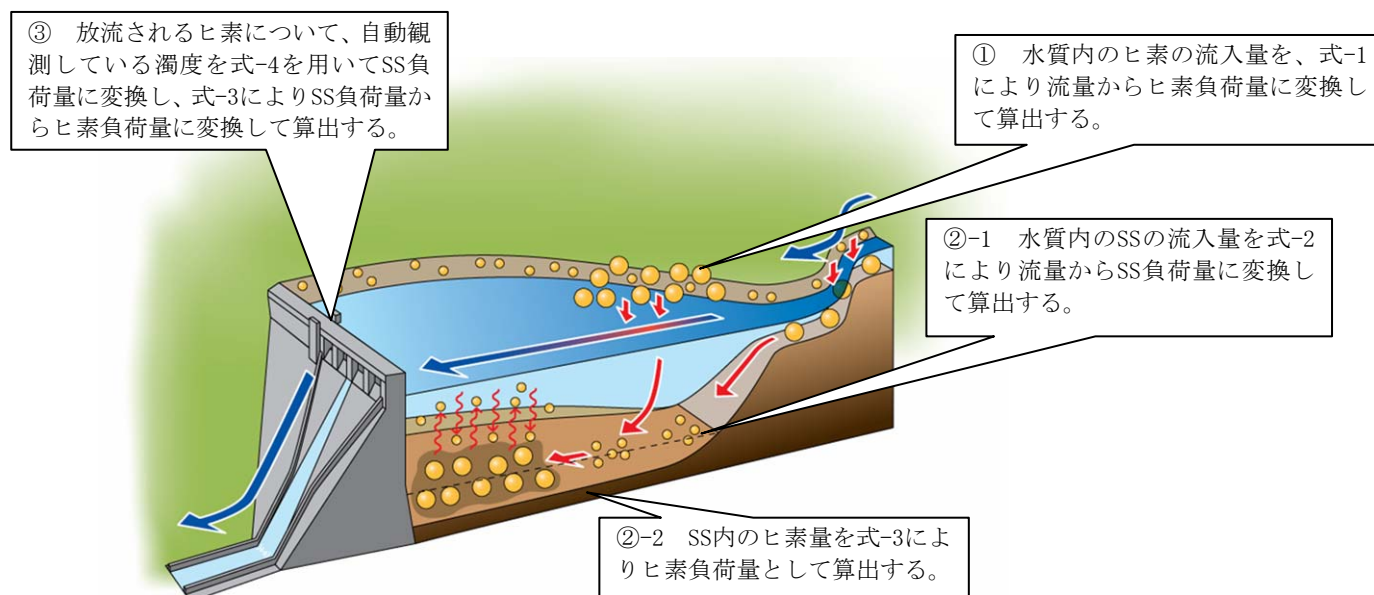


図 6-4 出水時調査時の時間流量

- ① : 流入水中に溶け込んだヒ素 (式-1より算出)
- ② : 流入水中ではヒ素としてカウントされないが、SSとして貯水池に流入し、湖底の貧酸素化により溶出するヒ素 (式-2、式-3より算出)
- ③ : 洪水吐きから排出されるSSに含まれるヒ素 (式-4、式-3より算出)

※これまでに表層=0.3mでのヒ素の観測値はほとんどが定量下限値以下であることから、放流水中に溶け込んだヒ素はほとんどないと想定する。

※式-1～式-4については次頁参照

今回新たに行った検討では、出水ごとに $L-Q$ 式を用いて①+②-③を算出し、これを積算することで、貯水池内に蓄積されたヒ素量を求めた。

6.2.2 再検討結果

(1) 流入ヒ素量

“6.2.1 修正した条件”で修正した条件を基に、流入ヒ素量を算出した。③のヒ素放流量は自動観測装置により鉛直方向の濁度が連続観測されている平成13年以降の12洪水について算出し（濁度常用洪水吐付近の濁度を使用）、その比率を平成12年以前のものに使用した。また、算定対象となる出水の期間については、平成13年以降については、貯水位がほぼ常時満水位に戻るまでの期間として、常用洪水吐の高さより1 m上部(EL. 287.5m)まで戻った時までとした（平成12年以前は洪水記録として記録されている洪水波形を用いた）。

今回新たに算出した流入ヒ素蓄積量の算定結果を以下に示す。詳細に算定ができた平成13年以降の10年においては124kg(12.4kg/年)、昭和57年～平成22年の28年間で**510kgのヒ素が蓄積した**と算出された(18.2kg/年)。

第3回委員会で提示したヒ素の蓄積量は、昭和57年のダム供用から平成20年までの26年間で**412kg**であった(15.8kg/年)。

表 6-3 出水ごとのヒ素蓄積量算出結果

No.	年月日	原因	総雨量 (mm)	最大流入量 (m ³ /s)	①ヒ素流入量 (水中) (g)	②ヒ素流入量 (SS由来) (g)	③ヒ素放流量 (g)	④ヒ素放流割合	⑤ヒ素蓄積量 (g)	ヒ素蓄積量 (累積)
1	S57.7.13	梅雨前線	95	53	5,645	4,451	2,559	46.8%	7,536	7,536
2	S57.7.16	梅雨前線	166	90	5,948	6,018	1,458	46.8%	10,508	18,044
3	S57.7.23	梅雨前線	204	54	6,864	6,894	1,683	46.8%	12,075	30,120
4	S58.6.21	梅雨前線	148	54	5,428	7,001	1,331	46.8%	11,098	41,218
5	S58.7.16	梅雨前線	220	52	9,322	13,076	2,285	46.8%	20,113	61,331
6	S59.8.22	台風10号	197	100	9,633	13,812	2,361	46.8%	21,084	82,414
7	S60.6.23	梅雨前線	214	119	7,233	9,818	1,773	46.8%	15,278	97,692
8	S60.6.27	梅雨前線	222	128	7,891	9,005	1,934	46.8%	14,962	112,654
9	S61.6.15	梅雨前線	240	99	6,958	7,512	1,706	46.8%	12,764	110,456
10	S61.7.15	梅雨前線	153	71	3,068	3,028	752	46.8%	5,344	117,997
11	S62.7.19	梅雨前線	143	61	8,228	14,064	2,017	46.8%	20,275	138,272
12	S62.8.13	降雨	117	62	2,479	2,228	608	46.8%	4,099	142,372
13	H1.7.12	梅雨前線	172	207	9,588	12,941	2,350	46.8%	20,179	162,550
14	H1.9.10	降雨	53	52	16,947	14,050	4,154	46.8%	26,843	189,393
15	H2.6.15	降雨	251	107	4,584	4,478	1,124	46.8%	7,938	197,331
16	H3.7.4	梅雨前線	178	65	4,350	4,942	1,066	46.8%	8,226	205,557
17	H3.7.29	台風9号	121	59	6,157	6,776	1,509	46.8%	11,424	216,980
18	H4.8.8	台風10号	186	85	6,376	7,167	1,563	46.8%	11,980	228,960
19	H5.7.2	梅雨前線	139	68	5,393	5,527	1,322	46.8%	9,598	238,558
20	H5.7.17	梅雨前線	178	68	8,276	9,834	2,029	46.8%	16,081	254,639
21	H5.7.27	台風5号	159	72	3,369	3,316	826	46.8%	5,859	260,498
22	H7.7.2	梅雨前線	221	73	10,534	4,089	2,582	46.8%	12,041	272,539
23	H7.7.22	梅雨前線 台風3号	106	65	17,209	5,457	4,219	46.8%	18,447	290,986
24	H9.5.8	低気圧	163	79	10,123	4,768	2,482	46.8%	12,409	303,396
25	H9.5.13	低気圧	218	76	5,453	5,448	1,337	46.8%	9,564	312,959
26	H9.6.28	台風8号	206	76	4,734	7,032	1,161	46.8%	10,605	323,565
27	H9.11.26	前線	202	93	4,815	5,215	1,180	46.8%	8,850	332,415
28	H10.10.17	台風10号	175	76	6,703	11,097	1,643	46.8%	16,157	348,571
29	H11.6.29	梅雨前線	123	92	4,815	5,215	1,180	46.8%	8,850	357,421
30	H11.9.24	台風18号	141	205	6,703	11,097	1,643	46.8%	16,157	373,578
31	H13.6.19	梅雨前線	178	105	16,662	15,031	31,207	98.5%	486	374,064
32	H15.8.28	前線	62	56	3,734	3,045	1,213	17.9%	5,567	379,631
33	H16.8.1	台風10号	201	70	8,059	7,605	8,253	52.7%	7,412	387,043
34	H16.8.30	台風16号	195	132	7,653	9,263	14,627	86.5%	2,289	389,332
35	H16.9.7	台風18号	91	63	5,645	4,451	2,559	25.3%	7,536	396,868
36	H17.7.3	梅雨前線	250	64	11,439	9,960	2,432	11.4%	18,967	415,836
37	H17.9.6	台風14号	366	158	13,622	21,473	37,219	106.1%	-2,124	413,712
38	H18.4.11	前線	196	52	9,127	8,548	3,591	20.3%	14,084	427,796
39	H18.5.10	前線	149	68	8,560	7,554	3,236	20.1%	12,878	440,674
40	H18.6.26	梅雨前線	184	66	10,519	9,994	4,051	19.7%	16,462	457,136
41	H21.7.20	梅雨前線	159	125	21,392	19,945	21,982	53.2%	19,355	476,491
42	H22.7.12	梅雨前線	299	92	20,253	22,547	21,254	49.7%	21,546	498,036
H13～H22の10力年					136,665	139,417	151,623	平均放流割合 46.8%	124,459	
S57～H22の28力年					351,491	364,772	205,462		510,801	

今回追加

ヒ素蓄積量の算出方法

①②ヒ素流入量：No.4～No.42については、出水時調査のL-Q式より算出

No.1～No.3については、最大放流量と総雨量が比較的近似している出水の値を適用（No.1←No.35, No.2←No.27, No.3←No.5）

③ヒ素放流量：No.31～42については、放流濁度とSS、SS負荷量とヒ素負荷量の相関式から算出

No.4～30以外については、No.4～30の平均放流割合(46.8%)×流入量として算出

④ヒ素放流割合：No.31,32,35,38～4()について②／①

⑤ヒ素蓄積量：①＋②－③

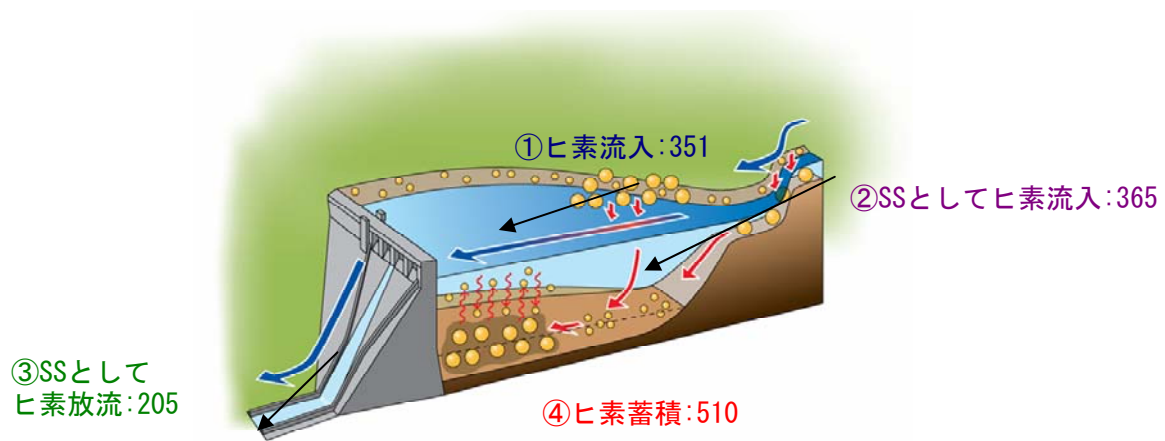


図 6-5 流入ヒ素量算定結果 (kg)

(2) 流入ヒ素対策

島地川ダム貯水池から取り除くためには流入土砂SS分に含まれるヒ素や底質を除去する必要がある。このため、第3回委員会において、島地川で適用可能であると考えられる代表的な土砂管理手法として以下の4案を提案し、今後の調査の継続について提言を受けた。

今回、新たに出水時の水質データが得られたことから、新たに精度向上のための再計算を行った。

(1) 土砂通過対策 ⇒ 排砂バイパス → コストが他手法に比べて格段に大きい

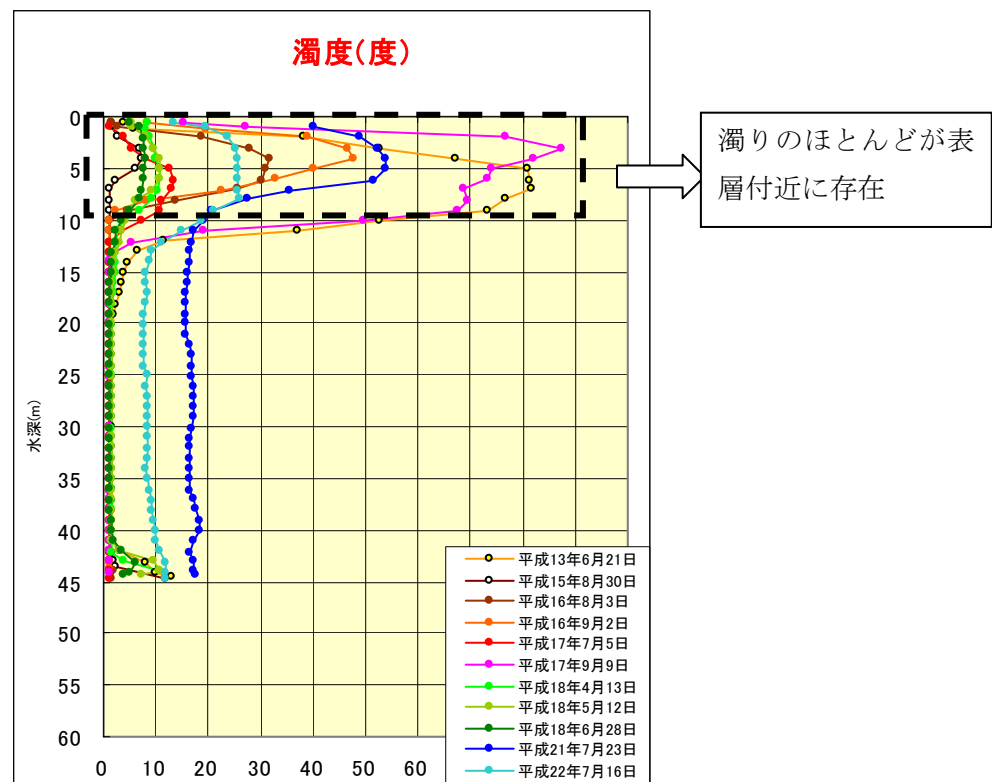
⇒ A: 選択取水設備（既存）の運用

⇒ B: 環境放流管の新設

(2) 流入土砂対策 ⇒ C: 貯砂ダム

検討した手法は、第3回委員会の時と同様、概算工事費により現実性を勘案し、A) 選択取水設備（既存）、B) 環境放流管の新設、C) 貯砂ダムの運用の3手法とした。

ただし、ここで出水時の濁度鉛直分布を観測している平成13年以降の12洪水（表 6-3参照）での濁度分布を見ると、濁度の高い層は表層部に集中しており、**現行の運用である常用洪水吐及び表層から2.5m程度下部にある選択取水設備が、最も高い濁度で放流しているといえる。**このため、A: 選択取水設備（既存）の運用は現行の手法として評価を行った。



※出水中に最も濁度のピーク濃度が高い日のデータ(9:00)を用いた

図 6-6 出水時の濁度分布(H13以降の12洪水)

6.2.3 流入ヒ素対策の再計算結果

ここでは、前ページで示した各工法の計算概念を示す（計算結果は参考資料に示す）。

(1) A：選択取水設備（既存）の運用

選択取水設備（既存）は最大で $18\text{m}^3/\text{s}$ 放流できる能力があるが、これは緊急時の対応であり、シリンダーゲート最下流部からの放流能力である。通常操作として行うことができるのは $7\text{m}^3/\text{s}$ 程度である。

また、洪水時（流入 $50\text{m}^3/\text{s}$ 以上）には利用できず、出水後に下流の河川水位を見ながら可能な範囲で高濁度層から放流することになる。ここでは流入が $50\text{m}^3/\text{s}$ を下回った場合に速やかに運用を行うという仮定とし、検討を行った

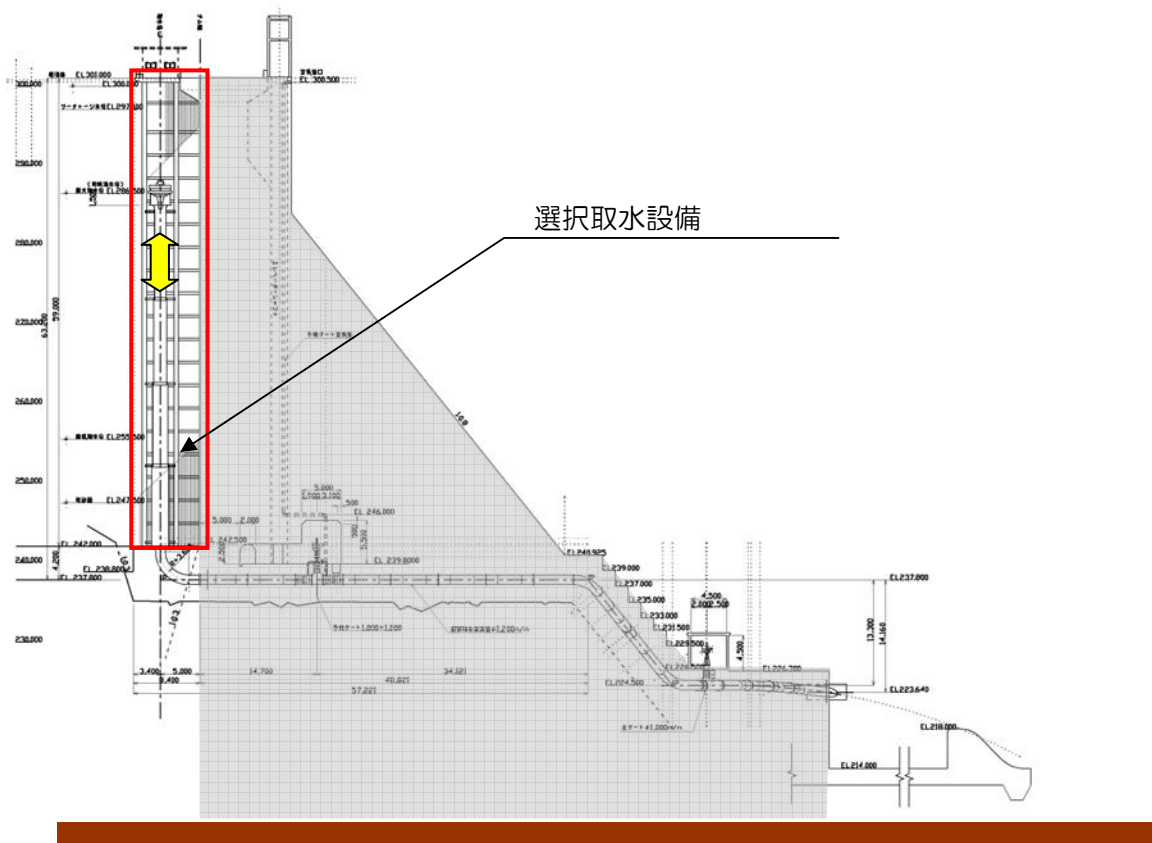


図 6-7 選択取水設備側面図

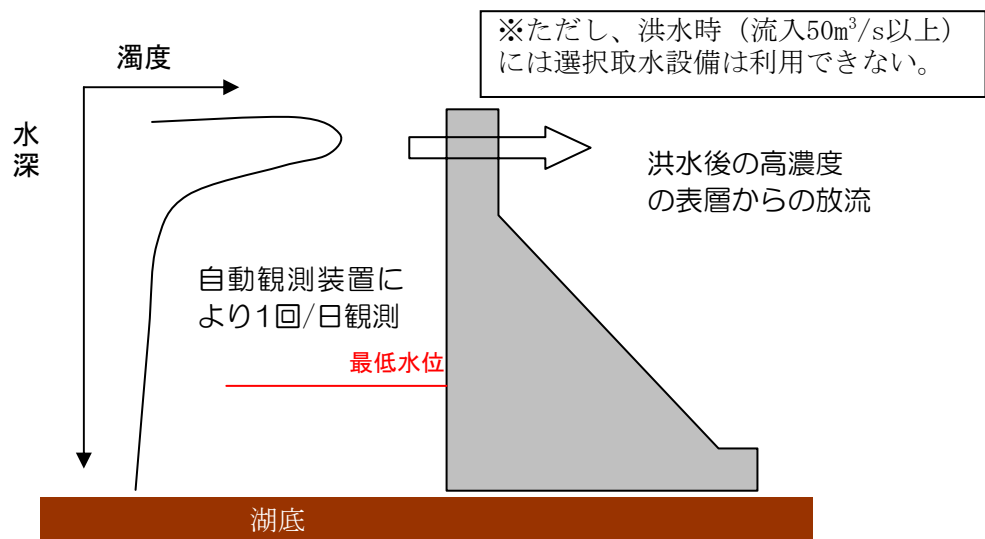


図 6-8 選択取水による放流イメージ

既存の選択取水設備を運用し、最も濁度の高い表層から放流（最大で $7\text{m}^3/\text{s}$ ）した場合のヒ素の放流量を算出した。濁度は図 6-6で示したとおり表層が最も高い値のため表層の値を代用した。

(2) B：環境放流管の新設

環境放流管は底層部(EL. 245m)から最大で $20\text{m}^3/\text{s}$ 放流できる施設として検討した(第3回委員会より)。洪水時(流入 $50\text{m}^3/\text{s}$ 以上)には利用できないが、出水後期に貯水池内の濁度が高い状態で放流量が多くなる可能性があることから、流入した濁質をより多く下流に放流する可能性がある。

なお、環境放流管には出水後速やかに常時満水位まで落とすことができるほか、フラッシュ放流が実施できることとなる。ただし、この場合には利水容量の買い取りなど別途コストが必要となる。

平成13年以降の12洪水について、放流したヒ素は 123kg と算出された。ただし、島地川ダムでは降雨時には底層部(EL. 245m)よりも表層の濁度が高いため、現行の手法に劣る結果となった。このため、**抜本的なヒ素対策の手法として、効果が小さいことがわかった。**

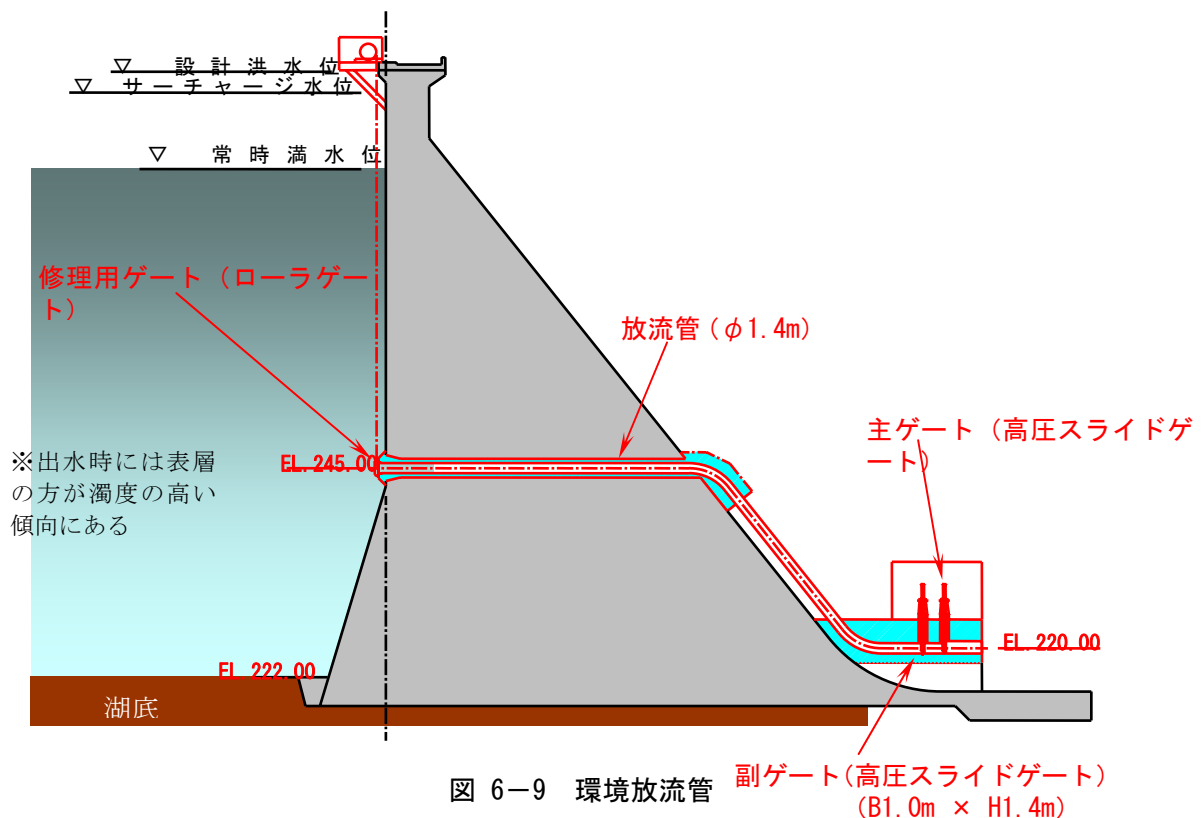


図 6-10 フラッシュ放流の事例

(3) C : 貯砂ダム

貯砂ダムを設置するとすれば、貯水池流入地点が想定される。2年に一度浸漬するものとして、 $h=7\text{m}$ 、 $L=40\text{m}$ （貯砂量 $V=20,000\text{m}^3$ ）で検討された（第3回委員会より）。算定対象年は供用後～平成22年とした（※前ページの結果はA:選択取水設備を用いた現行手法、B:環境放流管との比較検討のため、直近10年で算出している）。

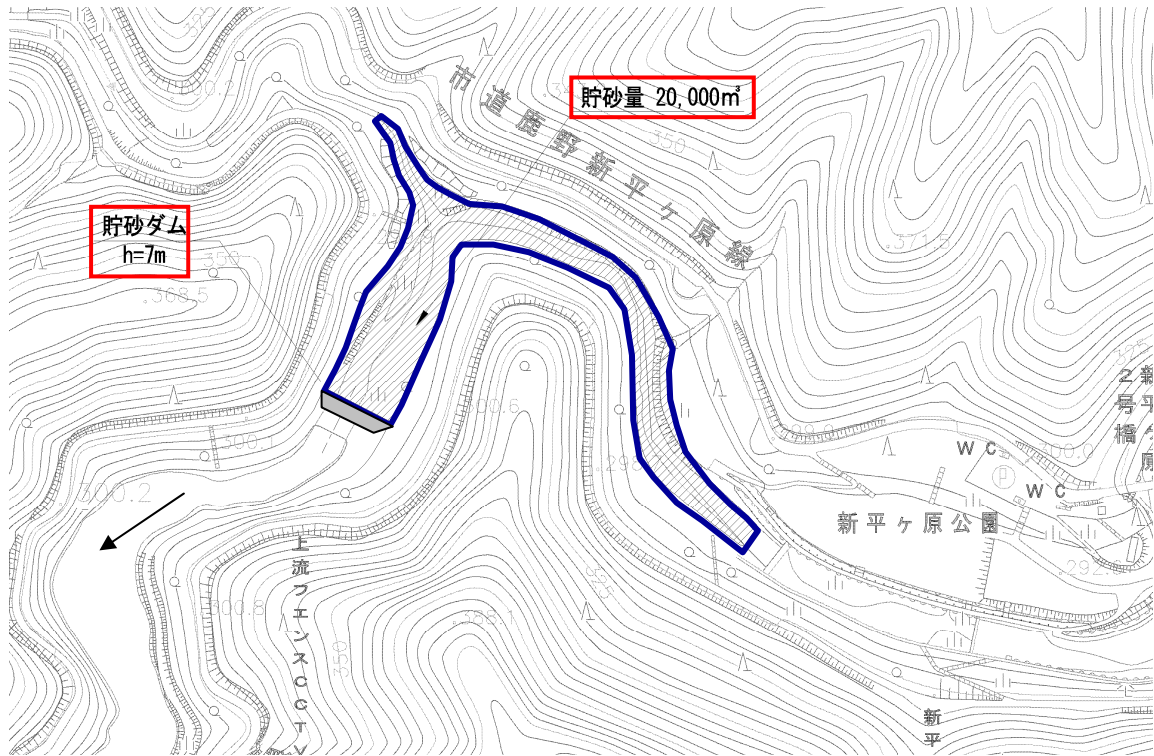


図 6-11 貯砂ダムのイメージ

S57～H22の28年間の42洪水において、貯砂ダムにより58.4kgのヒ素が除去される結果となった。この量は、上流域からのSS成分によるヒ素流入に対して19%程度（＝58kg/302 kg）であり、流入するヒ素全体と比較すると8.1%程度（＝58kg/（302+351+62） kg）になる。このため、**ヒ素の流入対策としては、効果は限定的**であると考えられる。

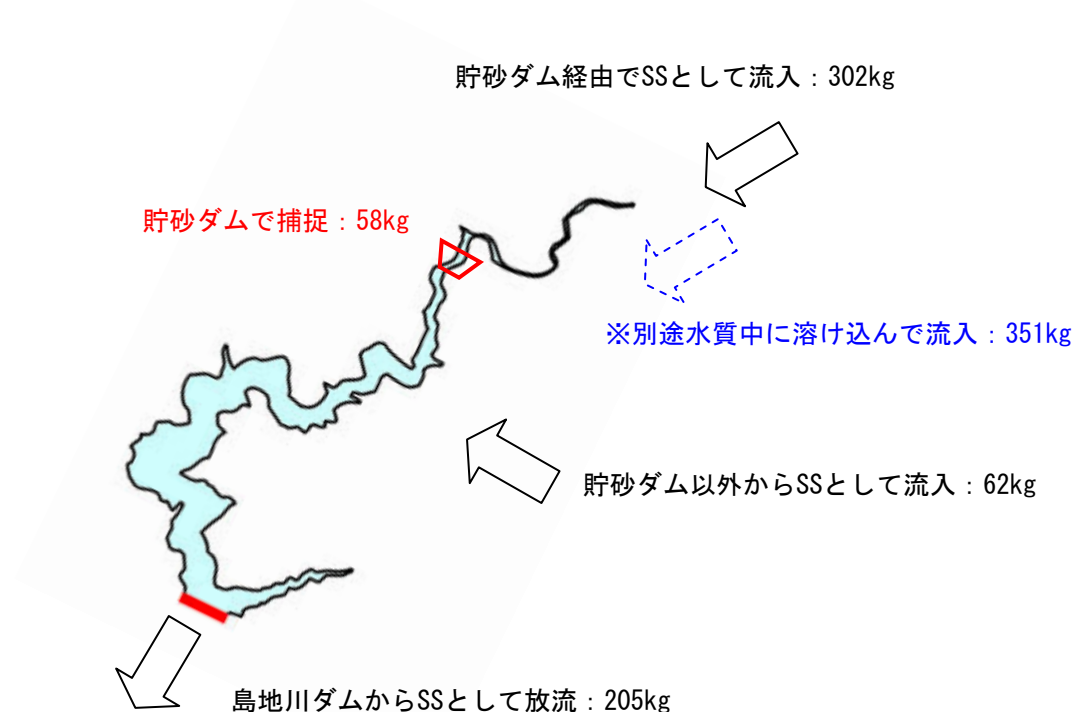


図 6-12 SS 成分に由来するヒ素の収支モデル（貯砂ダム建設～28 年間）

ただし、貯砂ダムによる対策は貯水池の土砂堆積抑制に有効であり、**堆砂の問題が発生した時にヒ素の観点も合わせて検討を行う**ものとする。

この際、搬出土砂に含まれるヒ素濃度によって、適切な対処が必要となることに注意する。ヒ素対策として導入できる可能性は小さいが、**別の理由で環境放流管を導入する際には、出水後の濁度の状況によって効果が出る場合もあるため、改めて検討することとする。**

各工法で算出した結果、B:環境放流管での後期放流は**現行よりも効果が劣る**、C:貯砂ダムの効果は1年で**2kg程度の低減効果となった**。流入量は28年間で716kg(25kg/年)、直近10年で276kg(28kg/年)であることから、その効果はC:貯砂ダムであっても**流入量の10分の1に満たない**。

表 6-4 流入ヒ素対策工法及び比較検討結果(kg)

	現行の運用	土砂通過対策	流入土砂対策
	A:自然越流＋選択取水 (選択取水は洪水後期放流時)	B:環境放流管での後期放流	C:貯砂ダム
平成13年以降の12洪水(最新10年)	151.6kg(15.2kg/年)	123.1kg(12.3kg/年) ※現行と振替え	21.1kg(2.1kg/年) ※現行の運用に効果が追加される可能性あり

一方、4章で説明したとおり、高濃度酸素溶解装置のヒ素低減効果は高く、放流水にヒ素が含まれる可能性はほとんどなくなるため、当面の対策として高濃度酸素溶解装置が最も効果的である。

- ・水質改善対策としては、高濃度酸素溶解装置により安心安全な水を下流に供給できる。
- ・流入ヒ素対策としては現行の運用が最も効果的である。

以上により

流入ヒ素対策としては、現行の運用のままとし今後ダムの堆砂状況等の問題が発生したときに、土砂対策、下流河川環境保全などと合わせて検討することとしたい。

第7章 アオコ対策施設の効果について

貯水池内のアオコ対策として平成20年度から稼動を開始したプロペラ攪拌式装置について、その効果及び今後の運用を検討した。

7.1 アオコ対策施設（プロペラ攪拌式水質改善装置）の概要

アオコ対策施設は、平成20年度に試験運用が開始され、平成21年度から連続稼働している。

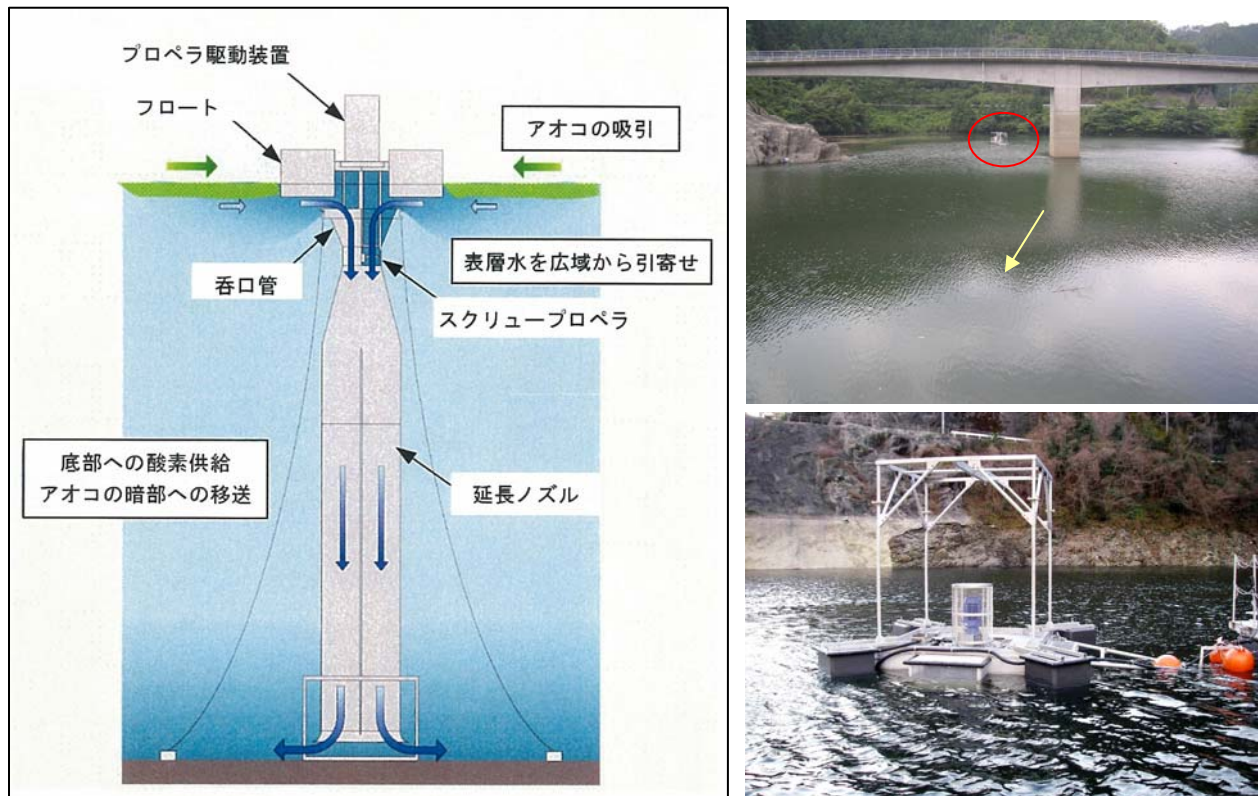


図 7-1 プロペラ攪拌式水質改善装置の概念図（左）／黒川橋と設置状況（右）

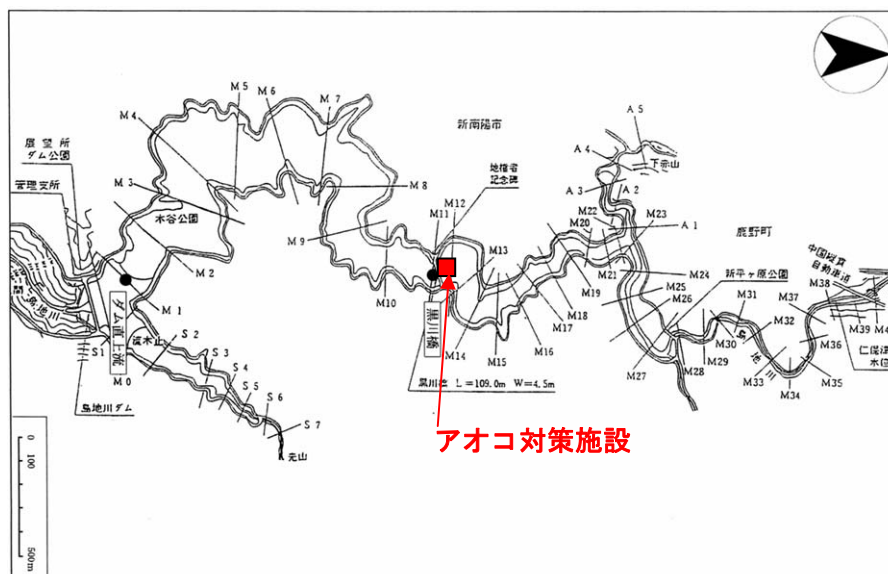


図 7-2 アオコ対策施設の設置箇所

7.2 アオコ対策装置の運用状況と評価期間

アオコ対策施設の運用に対する方針の違いは以下のとおりである。

【平成20年】 目的：発生したアオコを底層に封じ込め、増殖を防ぐ 平成20年8月11日～9月 9日（正・大） 9月17日～9月25日（逆・小） 9月26日～10月 6日（正・小）	【平成21年】～【平成22年】 目的：アオコが発生しにくい水温状況を形成する。 平成21年4月1日～11月 6日（正・大） 平成22年4月1日～10月31日（正・大）
--	--

正：上→下向き 逆：下→上向き 大：0.5m³/sec 小：0.3m³/sec

評価期間は事業前の平成15年～平成22年の8年間とした。年ごとのデータは以下の考え方で整理した。

H15～H19	H20	H21～H22
事業前の水質（5年間）	暫定運用時の水質 （参考にするが評価しない）	本格運用時 （事業後）の水質

7.3 アオコ対策装置の効果

7.3.1 アオコの発生状況

平成20年までは広範囲にアオコ（特にミクロキスティス）が広がったが、本格運用である平成21年以降アオコの発生は大きく低減している（参考資料参照）。



ダム湖内 アオコ状況（平成19年10月）



H20年8/1～9/4 (M12付近)

図 7-3 事業前のアオコ発生状況（左）／暫定運用時のアオコ発生状況（右）

平成21年はアオコらしき濁りを部分的に確認した程度に留まっている（発生時期：6/15～9/28）、平成22年は8/13～8/16の4日間にダムサイト右岸に10m²程度発生した程度である。



H22年8/13～8/16(ダムサイト)

図 7-4 事業後のアオコ発生状況

本格運用後のアオコの発生は図 7-5のとおりH21～H22の2年間で1回4日に留まっており、また、発生した範囲も図 7-4に示すとおりごく限られた範囲である。**アオコの発生は大きく低減していることがわかる。**

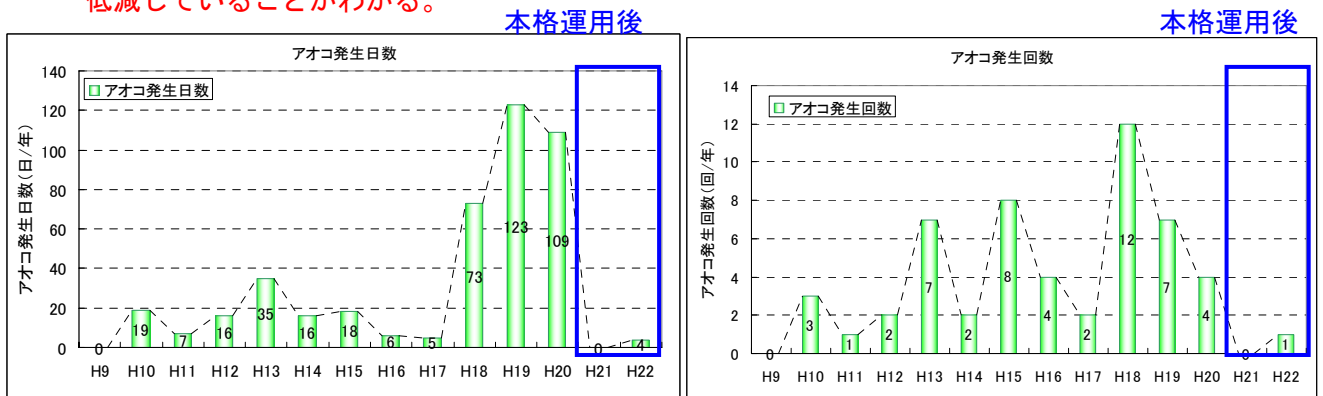


図 7-5 アオコ発生日数 (左) / アオコ発生回数 (右)

7.3.2 気象状況等による要因

アオコの減少が気象によるものであるかどうかを検討するため、中国地方整備局管内のダムにアオコの発生状況の聞き取りを行った。

中国地方整備局管内で近年アオコが発生している4ダム（島地川ダムを除く）では、平成21年～平成22年の2年ともアオコが発生していたことから、**島地川ダムでのアオコの減少は気象によるものとは考えにくい。**

また、気温や回転率については参考資料に示すとおり、例年と比べて違いはない。

7.3.3 植物プランクトンの状況

植物細胞数の年間合計値を、事業前5年間（平成15年～平成19年）と事業後の2年間（平成21年～平成22年）で比較した。

その結果、アオコ対策装置を運用した4月～10月において、**ダム直下流で92%、黒川橋でも94%の低減効果**がみられるとともに、運用期間外の11月～3月においても93%、100%と高い低減効果がみられた。これは水温勾配の解消効果が**運転期間外にも及んだ**ためであると考えられる。

表 7-1 植物プランクトン細胞数の比較

地点名	算出月	ダム直上流	黒川橋
H15-H19 年平均	4-10 月	90,468	174,970
	11-3 月	42,452	36,871
	年合計	132,921	211,841
H21-H22 平均	4-10 月	7,393	10,840
	11-3 月※	3,067	164
	年合計※	10,459	11,004
低減率	4-10 月	92%	94%
	11-3 月※	93%	100%
	年合計※	92%	95%

本格運用後

※平成22年11月～12月はデータがないため、0として計算している。

事業後、黒川橋では**アナベナやミクロキスティスはほとんど確認されなくなり**、細胞数も大きく減少している（資料編参照）。

7.3.4 今後のアオコ対策施設の運用方法

本格運用を行っている平成21年と平成22年では、アオコの発生が解消されており、これはアオコ対策施設を水温成層の発生する初期の段階である4月から運転したことによる効果であると考えられる（水温勾配については参考資料を参照）。

【アオコ対策施設（プロペラ攪拌式装置）の運用方法】

- ・運用方針 : アオコの「発生抑制」を目標とする。
- ・運用期間 : 4月1日～10月31日（表層0～3mの水温成層の形成状況によって前後させる）
- ・運用管理指標 : 水温勾配（0～3m）＝0.5℃/m（マニュアル※を参考）
- ・運用条件 : 原則的に、連続の正転運転とする。

※曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル（案）（平成17年10月版 国土交通省河川局河川環境課）

7.4 モニタリングによるアオコ対策施設の効果検証について

アオコ対策施設は、「第12回中国地方ダム等管理フォローアップ委員会」（平成19年1月16日）において、ヒ素対策と共に「島地川ダム湖水質改善対策検討委員会^{*1}」の審議を受け、H18～H24の「島地川ダム貯水池水質保全事業」で対策をすることとされている。

アオコ対策施設は、審議の結果、プロペラ式攪拌装置が選定された。これを受け、当初の計画としては流入水制御フェンスで区切った2箇所それぞれに計2台の導入が検討されていた（上流区画で1台、中流区画で1台）。これは平成20年の運用の考え方のように、「発生したアオコを底層に封じ込め、増殖を防ぐ」場合の考え方である。

一方、平成21年度以降、4月1日～10月31日の継続運転による「発生抑制」で運転した結果、概ねアオコの発生を抑制することができた。

このように、現時点で当初の想定と異なる運用をすることで、施設の効果が明確に出ているが、まだ2年間のデータしかないことから、今後もアオコ対策施設のモニタリングにより調査を継続することを提案する。

表 7-2 アオコ対策施設の対象とする島地川ダム貯水池の水域区画（平成18年計画）

対象区画	対象面積 (km ²)	動水量 (m ³ /h)	単位面積当り動 水量 (m ³ /h/km ²)	台数	備 考
上流区画 (M-11～M-20)	0.09	1,800	20,000	1	実証試験値
中流区画 (M-10～M-11)	0.03	600	20,000	1	実証試験の単位面積 当たりの動水量より 算出

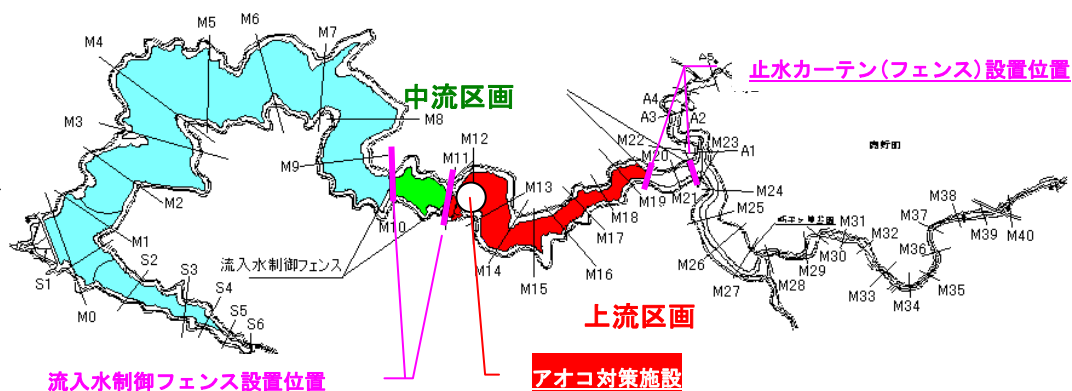


図 7-6 アオコ対策施設の設置箇所と対象区画（平成 18 年計画）

^{*1}本委員会の前に組織された委員会。第1回（平成15年5月）～第6回（平成18年3月）からなる。

供用開始

平成22年4月より供用開始した。

水質改善効果

- ・ 酸化対象範囲の鉄やヒ素は速やかに酸化され、低減した。
- ・ 1巡目と2巡目では酸素消費速度やマンガンの減少速度に大きな変化が生じた。マンガンの大きな減少は鉄がなくなった後に確認された。
- ・ 酸化対象範囲のマンガンの低減は当初の想定であった1.0 mg/L・月を大きく上回った。ただし、マンガンの酸化には直上の層のマンガン濃度、D0濃度が影響する。

平成23年の高濃度酸素溶解装置の運用（案）

- ・ 鉄とヒ素の酸化は早いことから、運用高さはマンガン濃度を基に設定する。
- ・ 高濃度酸素水の吐き出しは、3月1日より始めることを原則とするが、ダムサイトの水質自動観測装置により、循環期終了が確認されれば前倒しする。
- ・ 高濃度酸素水の吐き出し高さは、EL. 242m（酸化対象範囲＝EL. 240m～EL. 244m）から下に向けて進める。
- ・ 高濃度酸素溶解装置による改善高さは4 mと見込む。
- ・ EL. 242mは最初のみ1ヶ月間、それ以外は2週間ごとに下層に進め、12月までに最下層まで酸化を進める。これは、冬季に渇水に関わらない。
- ・ 底層でD0が余剰になったかどうかを、表層での泡の発生などで確認できないか検討する。
- ・ 水質モニタリングを実施し、酸化対象範囲上層の酸素不足及び鉄・マンガン・ヒ素の溶出が生じれば、一時的にその層に高さを変更する。

アオコ対策装置について

- ・ 4月から連続運転を行い、水温の成層形成を抑制する。
- ・ モニタリングを継続し、今後も効果を把握すると共に最適な運用を検討していく。

貯水池内のヒ素に対する対応について

- ・ 流入ヒ素対策としては、現行の運用のままとし今後ダムの堆砂状況等の問題が発生してきたときに、土砂対策、下流河川環境保全などと合わせて検討していく。