

(資料－ 1)

第 7 回 島地川ダム水質改善検討委員会

委員会資料

平成24年 2 月 2 日

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	島地川ダムの水質改善事業の進捗状況	1
1.1	委員会のこれまでの流れ	1
1.2	本委員会の検討状況	2
1.3	高濃度酸素溶解装置の諸元	3
1.4	島地川ダムにおける水質保全施設の設置状況	5
1.5	高濃度酸素溶解装置の稼働状況	7
第2章	高濃度酸素溶解装置の効果	8
2.1	水質の改善状況	8
2.1.1	金属濃度等の低減状況	8
2.1.2	金属濃度等の鉛直変化	10
2.1.3	水温・D0の鉛直分布	15
2.1.4	底質の変化	18
2.2	重金属類の物質収支	22
2.2.1	貯水池への物質収支	22
2.2.2	水中に溶解している重金属量の変化	30
2.3	酸素消費速度の検討	32
2.3.1	平成23年11月～12月	32
2.3.2	平成22年9月～11月	33
2.3.3	平成22年4月～6月（酸素供給開始直後）	33
2.4	マンガンの減少に関する検討	34
2.4.1	溶解性鉄・溶解性マンガンの追加による酸化状況の検討	34
2.4.2	マンガンの減少速度の検討	38
2.5	水質自動観測結果（D0、pH、EC）と重金属類濃度の関係	40
2.6	M-6におけるマンガン存在量と今後の対応について	43
2.7	高濃度酸素溶解装置稼働により得られた結果のまとめ	47
第3章	今後の高濃度酸素溶解装置の運用方法（案）	48
3.1	使用する電力について	48
3.2	高濃度酸素溶解装置の運用方針（案）	49
3.3	平成25年以降の運用方針修正の考え方	52
第4章	水質モニタリング調査（案）	53
4.1	今後の水質調査の考え方	53
4.1.1	重金属類	53
4.1.2	簡易計測項目（水温、D0、EC）	53
4.2	高濃度酸素溶解装置の運用のための水質調査	54
4.2.1	平成24年度水質調査計画	54
4.2.2	平成25年度以降水質調査計画	56
第5章	まとめ（事務局（案））	58

第1章 島地川ダムの水質改善事業の進捗状況

1.1 委員会のこれまでの流れ

島地川ダム水質改善検討委員会（以下「委員会」と記す）は平成20年3月5日より開催されており、ダムの底層部で高濃度化している重金属類（鉄・マンガン・ヒ素）の改善計画策定のための助言を得ることを目的に設立され、これまでに計6回の委員会が開催された。

前回の第6回委員会（平成23年10月26日開催）では、一旦高濃度酸素溶解装置の議論を離れ、アオコ対策装置について、当面現在の装置1基で運用すること、またその運用手法について提言をいただいた。

平成23年4月から、底層でも高濃度酸素溶解装置の運用を行っており、底層部の水質が大きく改善を見せていること、来年度が水質改善事業（以下「事業」）の最終年度に当たることから、今回の委員会では、高濃度酸素溶解装置の効果及び今後の運用について、最終的な判断を行うものとする。

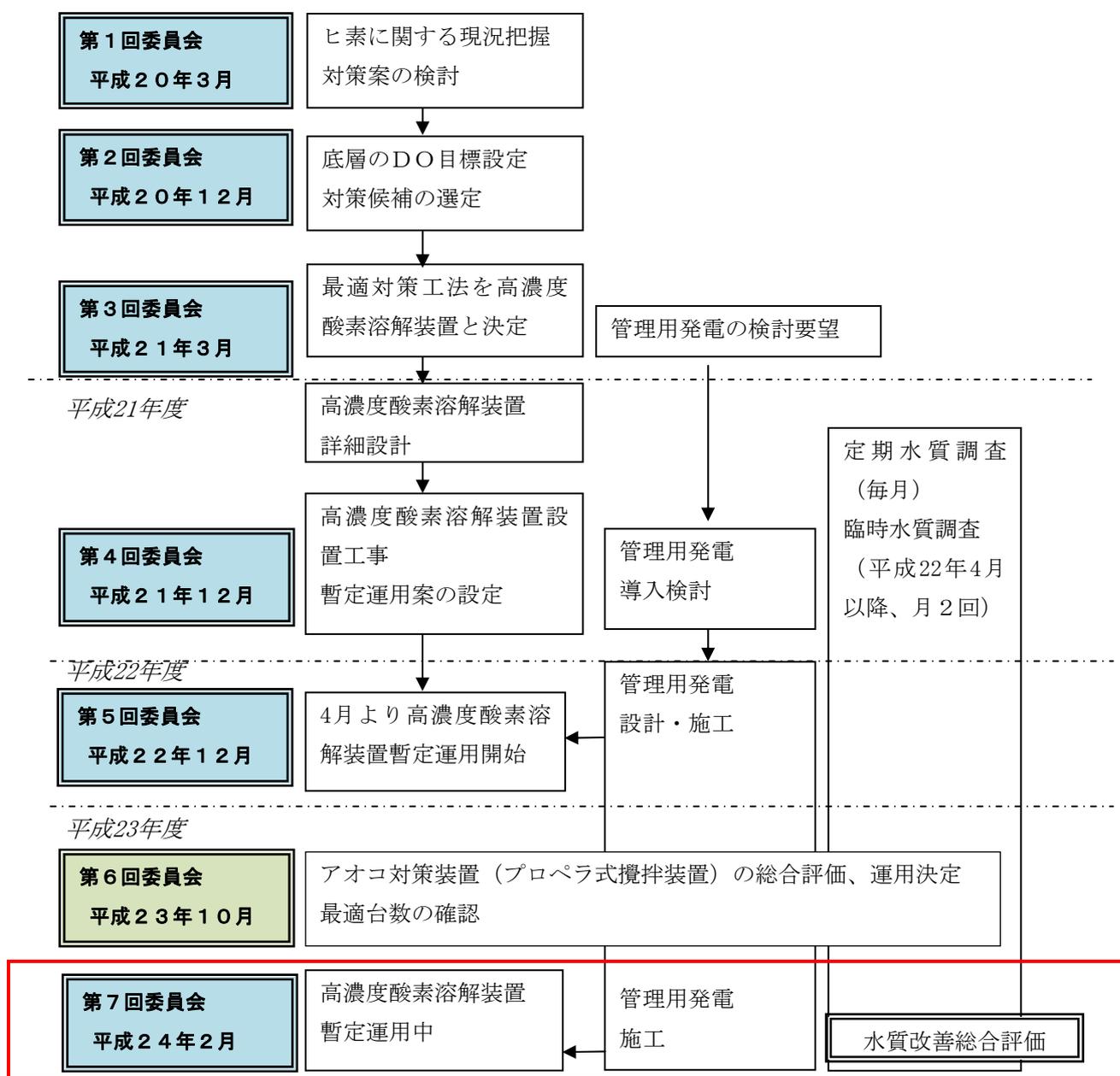


図 1-1 島地川ダム水質改善検討委員会の開催状況

1.2 本委員会の検討状況

第5回委員会においてヒ素等重金属類対策にいただいた提言と、提言への対応は以下のとおりである。

表 1-1 第5回委員会における提言とその対応

第5回委員会における提言	提言の背景	提言に対する対応
◆底層部（EL. 250m以深）の鉄、マンガンについては、懸濁態と溶解性の分析を行うことを検討する。	鉄・マンガンの酸化状況をより詳細に把握し、装置の運用に反映するため。	水質調査に溶解性鉄及び溶解性マンガンを追加した。
◆pHについて可能であれば継続測定項目とする。	マンガンの酸化速度はpHが高いほど早く、装置の運用に反映できる可能性があるため。	pHの観測を継続している。
◆底泥について沈降して蓄積される重金属類を確認するため、測定項目及び頻度を検討する。	酸素供給により、溶解していた重金属類が底質に移動すると考えられ、その実態を把握するため。	平成23年11月に底質調査を追加で実施した（従来は5～6月に年1回）。なお、11月の調査項目は鉄・マンガン・ヒ素に着目したものに絞っている。
◆流入ヒ素対策として、鉄、マンガンについても物質収支を検討するとともに、その他の流入ヒ素対策についても検討する。	恒久的な重金属類対策及び高濃度酸素溶解装置による水質改善の位置づけを確認するため。	出水時の水質調査を継続し、平成23年5月の出水時に鉄・マンガン・ヒ素について水質調査を行った。この結果を基にダム貯水池における鉄・マンガン・ヒ素の収支を検討した。 また、流入するヒ素対策として、今後底質のヒ素について、溶出量だけでなく含有量も調査し、監視を行うこととした。
◆検討の結果追加された調査結果については、委員に報告を行い、運用に反映する。	次の委員会を年度末に1回実施する場合、水質改善後の事後報告になり、検討中に困難があった場合に対応できないため。	アオコ対策装置に関して委員会を1回追加することとなり、第6回委員会で高濃度酸素溶解装置による重金属類対策の中間報告を行った。

なお、第6回委員会でいただいたアオコ対策装置の効果について、以下のご指摘をいただいたことから、他ダムのデータを整理し、島地川ダムの状況と比較し、各委員に説明を行った。

表 1-2 第6回委員会における提言とその対応

第6回委員会における提言	提言の背景	提言に対する対応
◆プロペラ式水質改善装置の妥当性について、他の事例と比較し、検証する。	一般的に曝気の参考値とされる表層水温勾配0.5℃/mの妥当性やプロペラ式水質改善装置を検討するため。	他ダムの表層勾配のデータとアオコの発生状況を整理し、装置のアオコ抑制効果の検討を行い、各委員に説明を行った。

1.3 高濃度酸素溶解装置の諸元

高濃度酸素溶解装置は平成21年度にM-1に1基を設置し、平成22年4月より運用している。装置はワイヤーにより上下運動が可能となっており、ヒ素等重金属類の高濃度化が確認されたEL. 250m以深を対象に連続運転を行っている。



図 1-2 高濃度酸素溶解装置（湖底アンカー式）概念図

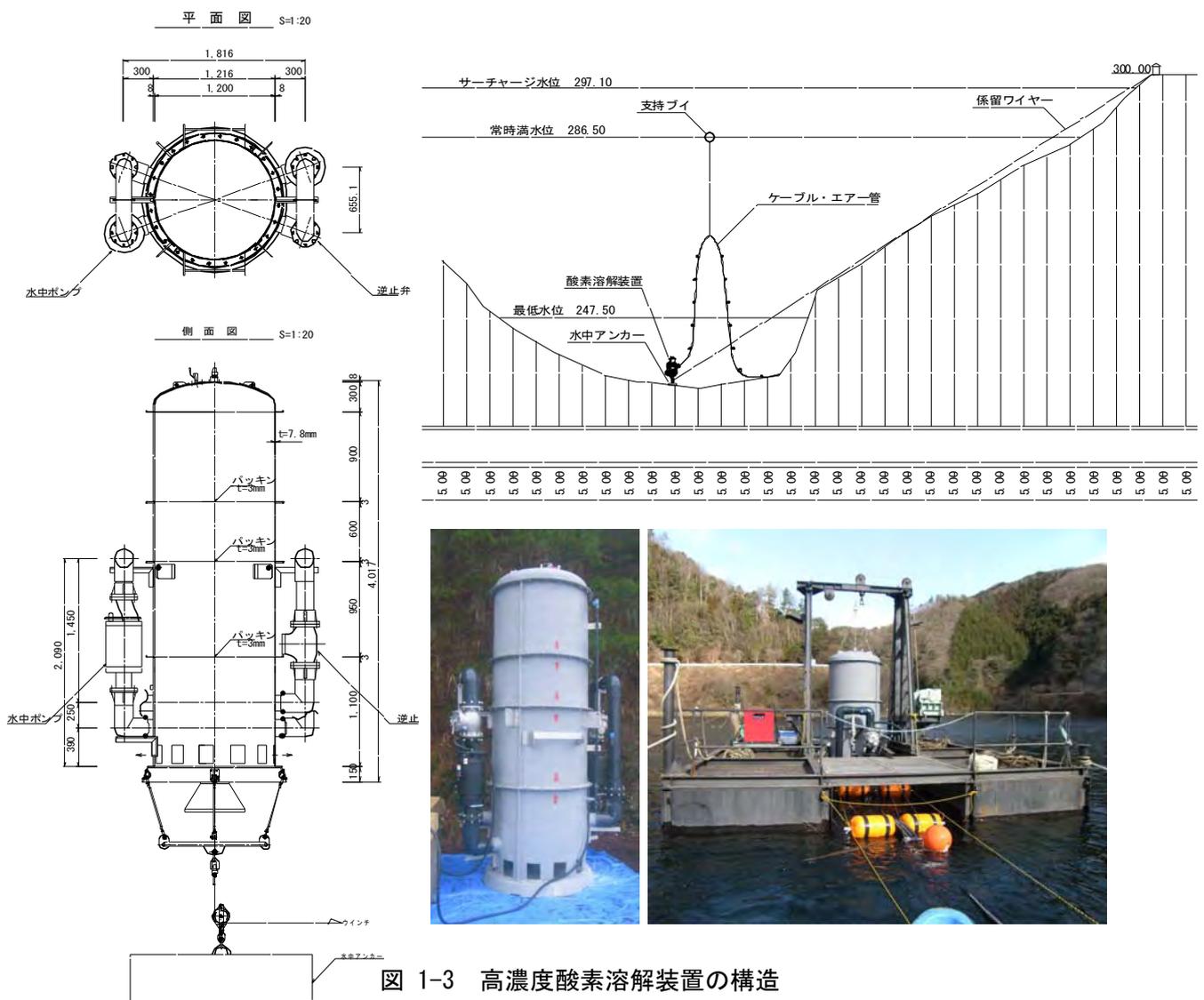


図 1-3 高濃度酸素溶解装置の構造

表 1-3 高濃度酸素溶解装置の仕様

名称	仕様	
酸素発生装置 +コンプレッサー	吐出酸素量	6.0 (m ³ /h)
	定格出力	15 (kW)
	抑制圧力	0.6 (Mpa)
水中ポンプ	吐出流量	120 (m ³ /h)
	電動機出力	7.5 (kw)
溶解装置本体	材質	F R P

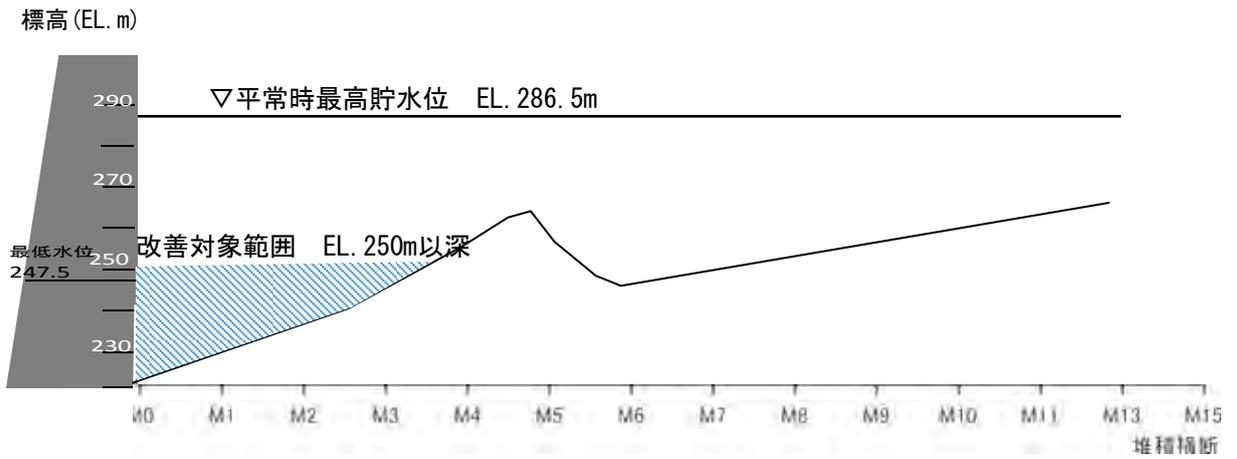
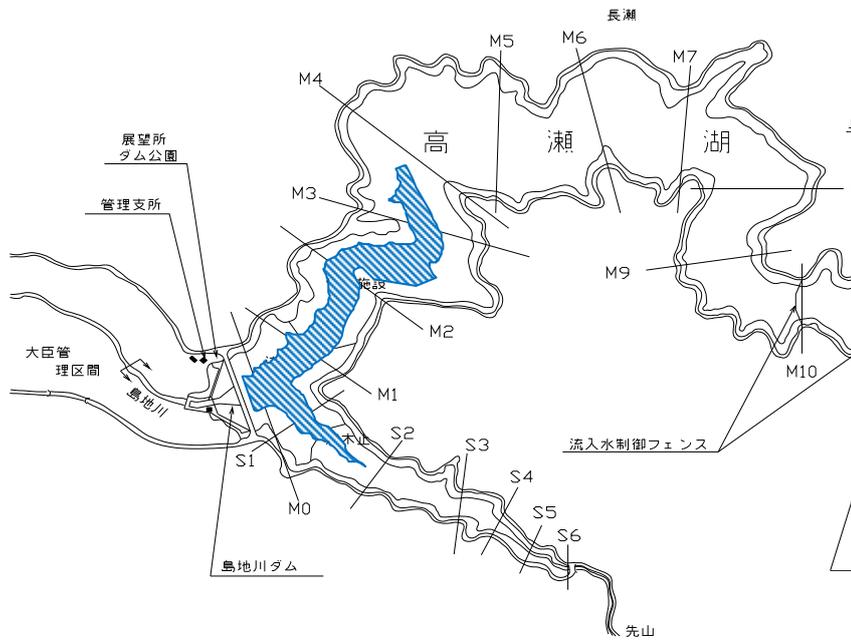


図 1-4 改善対象範囲（縦断面図）



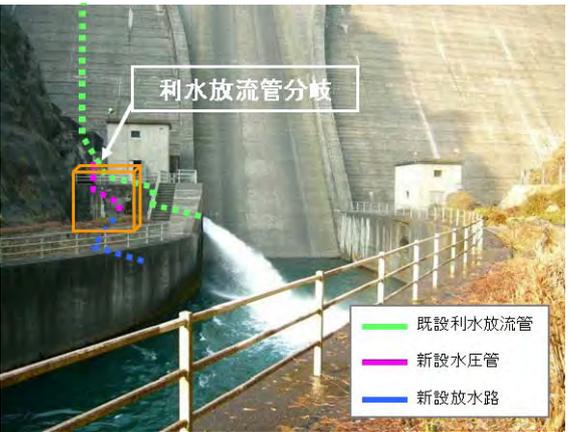
※青線（斜線）で示すEL. 250m以深を対象とする。

図 1-5 改善対象範囲（平面図）

1.4 島地川ダムにおける水質保全施設の設置状況

島地川ダムでは水質保全施設として、高濃度酸素溶解装置の他、アオコ対策装置や流入水制御フェンスを設置している他、島地川ダム管理支所や高濃度酸素溶解装置等の電力を賄うため、管理用発電設備を工事中である（管理用発電は第3回委員会の提言を受けて設置を検討）。

表 1-4 島地川ダム水質保全施設の概要

施設名	目的	位置	設置時期	写真
アオコ対策装置	アオコ対策	貯水池内 1箇所 (M-11 付近)	平成 20 年 3 月	
高濃度酸素溶解装置	底層の重金属対策	貯水池内 1箇所 (M-1 付近)	平成 22 年 3 月	
流入水制御フェンス	アオコ対策	貯水池内 2箇所	M-10 付近 平成 10 年 3 月 M-21 付近 平成 8 年 8 月	
管理用発電設備	管理支所及び高濃度酸素溶解施設への電力供給	ダム直下流 1箇所 (利水放流管 付近)	平成 22 年 ～ (平成 25 年 2 月に供用予定)	

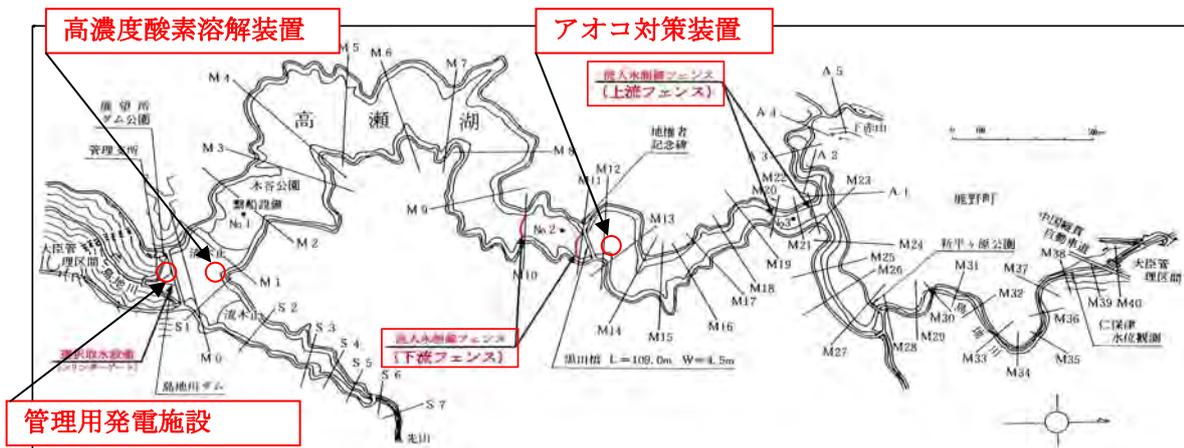


図 1-6 島地川ダムの水質保全施設の位置図

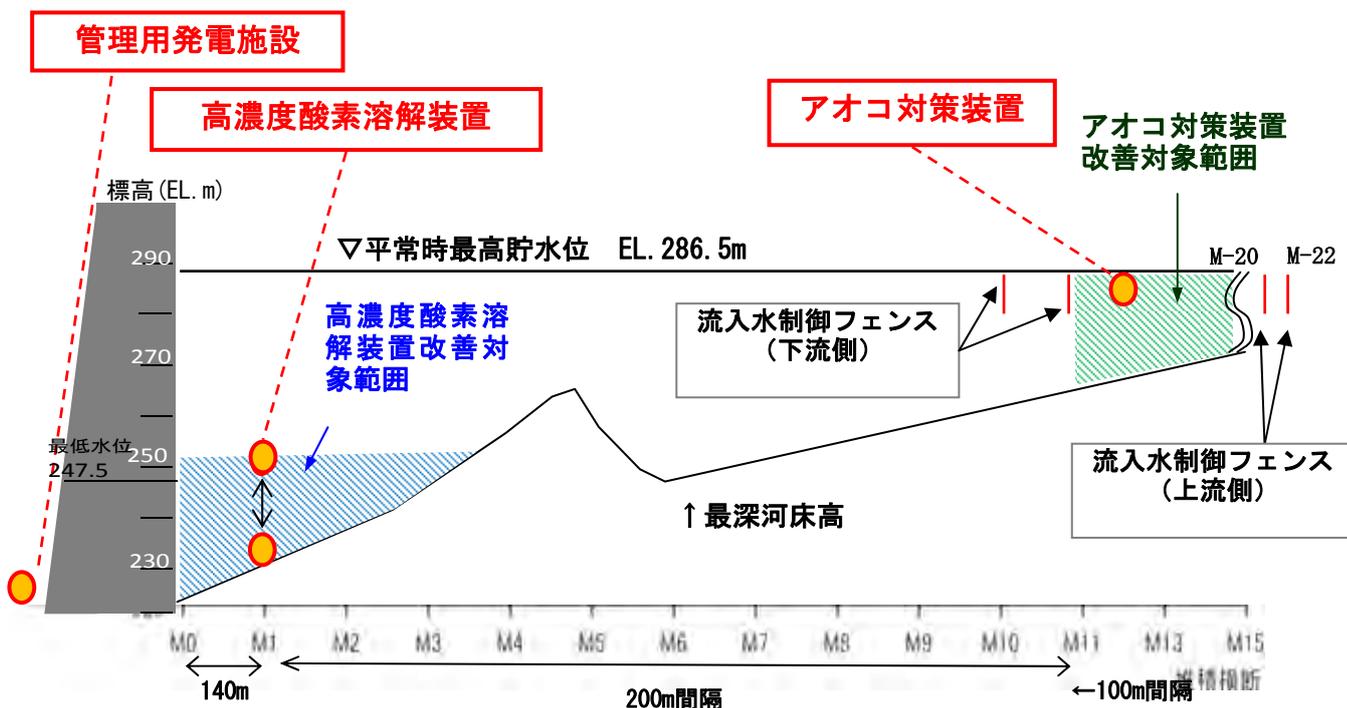


図 1-7 水質保全装置の鉛直縦断位置図

1.5 高濃度酸素溶解装置の稼働状況

高濃度酸素溶解装置の運用（酸素水の吐出し高さ）は図 1-8に示すとおりである。なお、平成23年4月より最深部までを対象に酸素供給を行っている。

なお、運転は24時間連続稼働である。

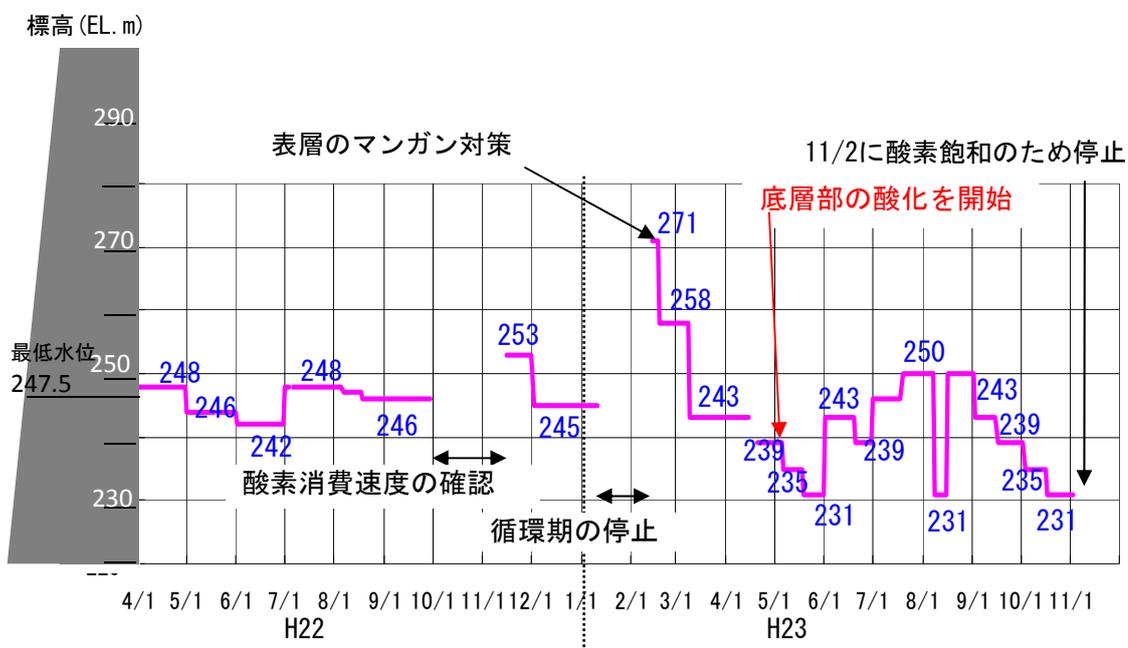


図 1-8 高濃度酸素溶解装置の吐き出し高さ

第2章 高濃度酸素溶解装置の効果

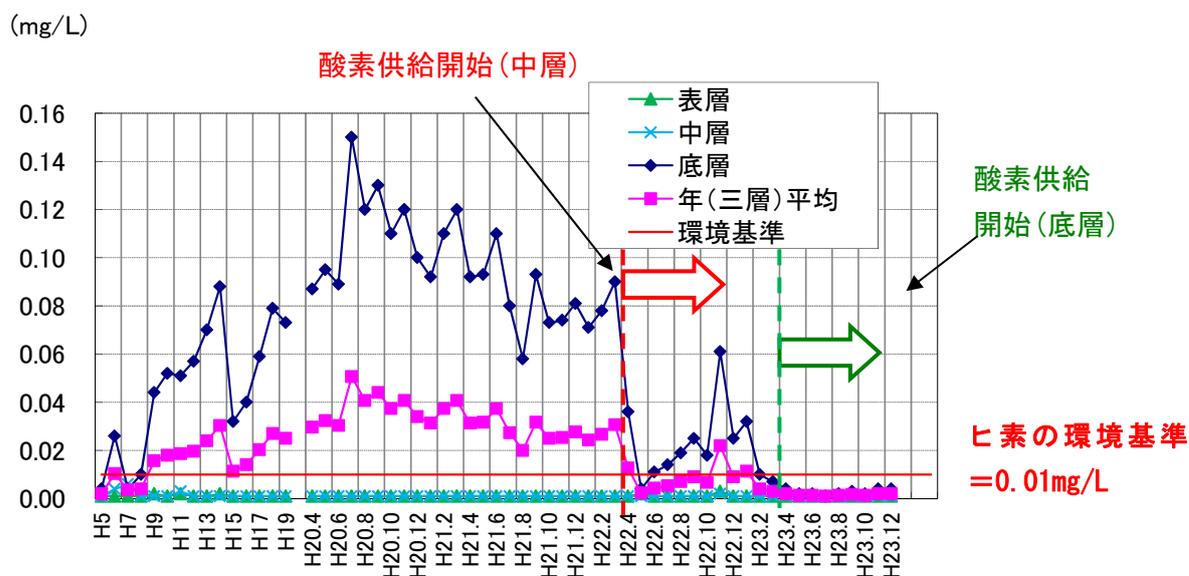
高濃度酸素溶解装置によってM-1付近の底層に含まれる重金属類（ヒ素、鉄、マンガン）の対策を行っている。これによる貯水池水質の改善効果を整理した。

2.1 水質の改善状況

2.1.1 金属濃度等の低減状況

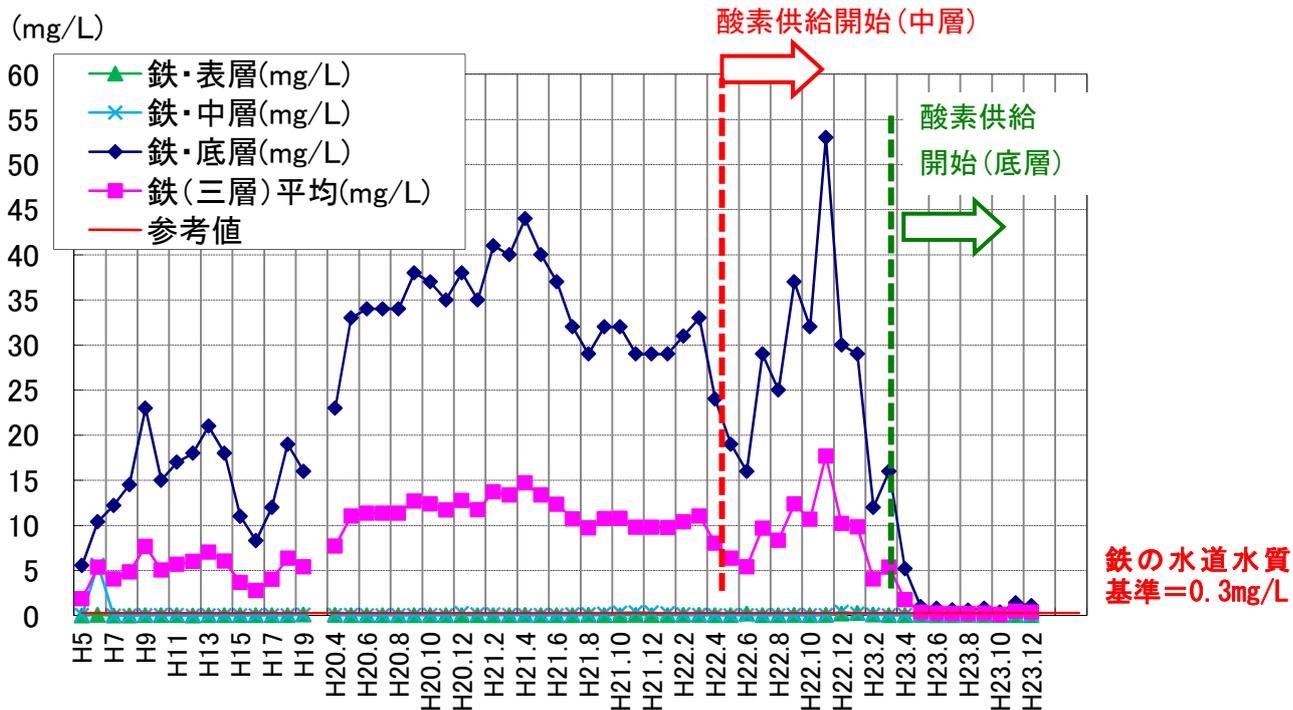
M-1底層（EL. 227m付近）におけるヒ素及び鉄・マンガンの低減は下記のとおりである。平成23年4月から底層部に高濃度酸素溶解装置を運用したため、底層部においてもヒ素は目標値（環境基準）を満足している。溶解性鉄（ Fe^{2+} ）が酸化されて水酸化鉄（ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ）を形成し、ヒ素と共沈したものと考えられる。鉄についても概ね低減は完了しており、底層でも水道水質基準0.3mg/Lに近づいている。

マンガンについても酸化は進んでおり、上層から徐々に減少し酸化対象範囲（底層EL. 227m～EL. 250m）の中心となるEL. 240mの高さでは大幅な低下がみられる。鉛直分布を見ると（図2-6参照）、次第に高濃度を示す高さが下層に向けて低下している。



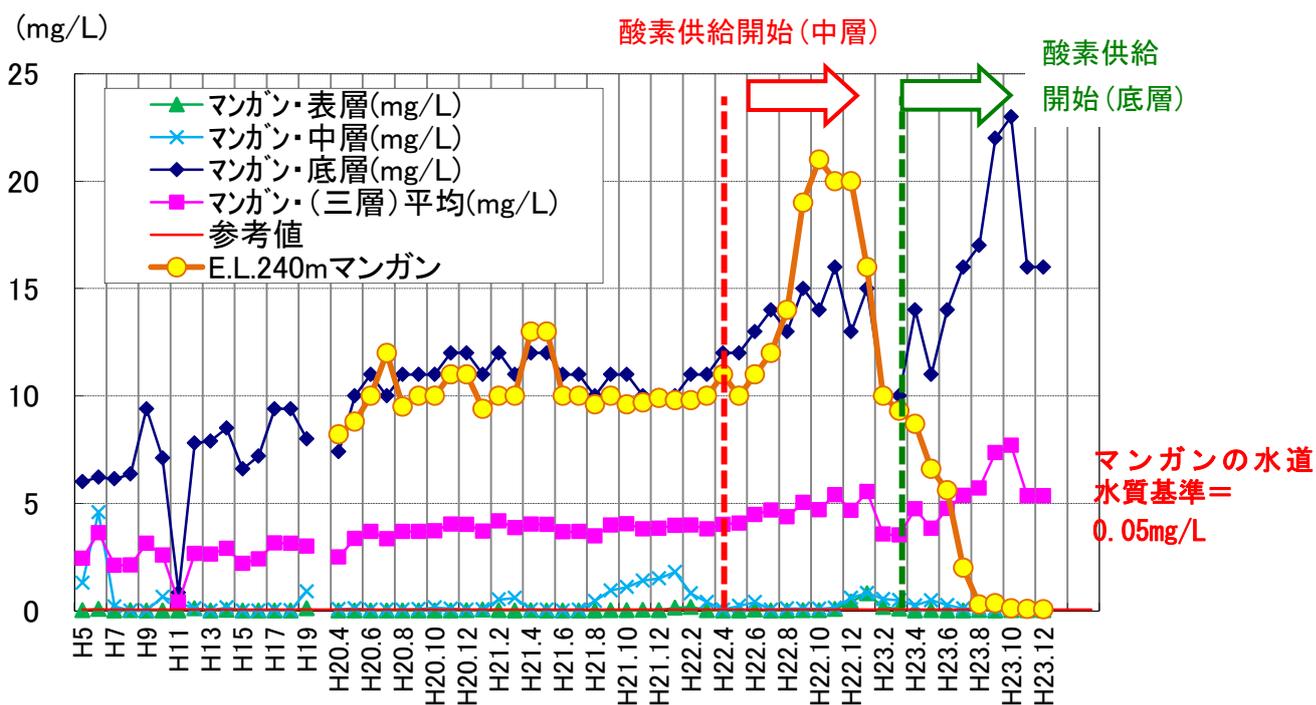
※平成19年12月までは定期調査の値（年1回）、平成20年1月以降は臨時調査（年12回）、平成23年4月～12月は臨時調査の速報値

図 2-1 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23年4月～12月は臨時調査の速報値

図 2-2 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23年4月～12月は臨時調査の速報値

図 2-3 マンガンの経年変化

2.1.2 金属濃度等の鉛直変化

(1) ヒ素の低減状況

鉛直方向のヒ素の低減状況を示す。底層部への酸素供給を受け、M-1のヒ素は底層部においても、環境基準(0.01mg/L)を満足するようになった。一方、酸素の届いていないM-6(供給対象外)では変化はみられない。

事業前(H21年度)

中層への酸素供給開始(H22年度)

底層への酸素供給開始(H23年度)

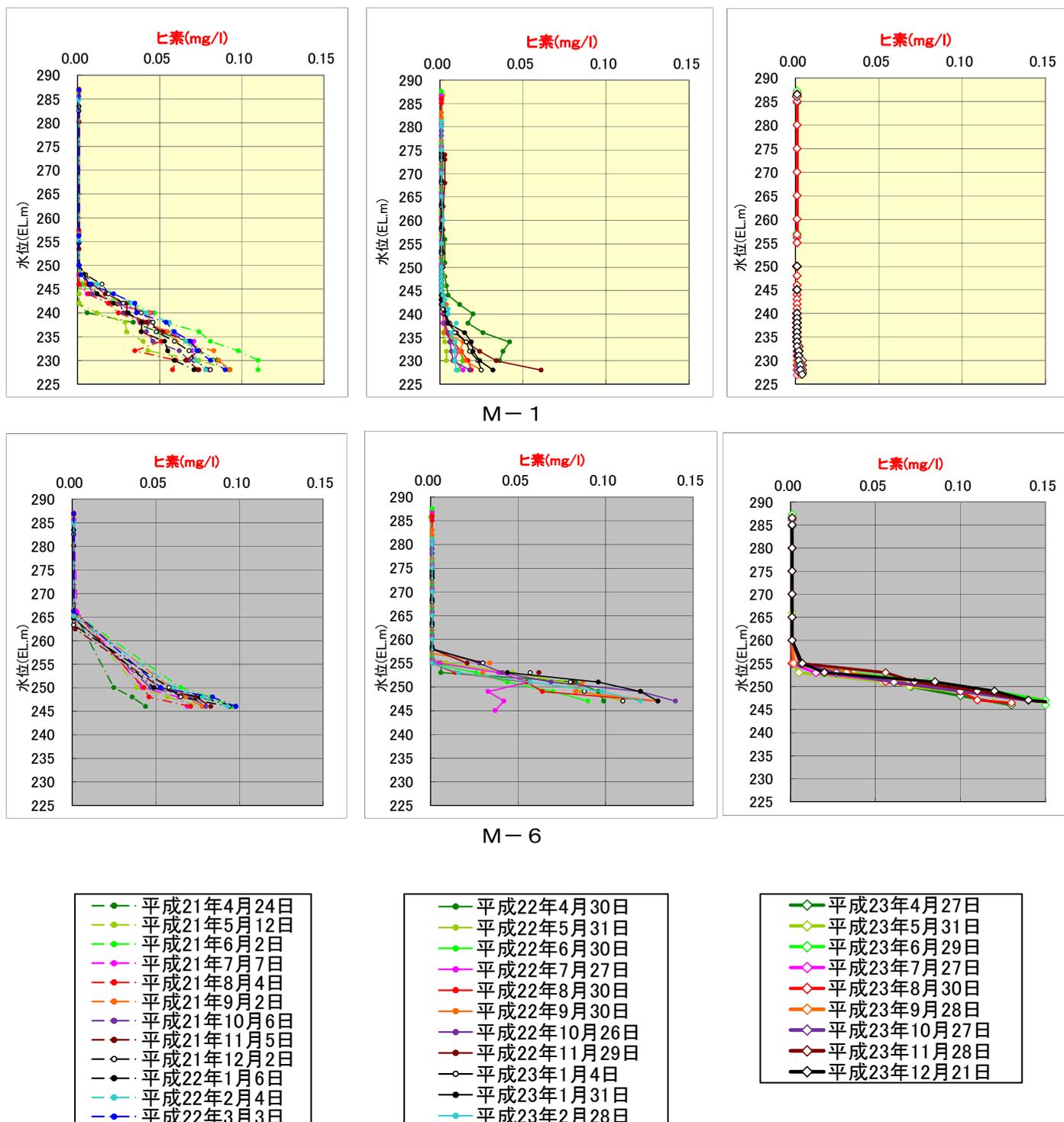


図 2-4 ヒ素の鉛直分布

(2) 鉄の低減状況

鉛直方向の低減状況を示す。M-1では底層部への酸素供給を受け、平成23年12月時点で、EL. 234mよりも上層では水道水質基準値(0.3mg/L)を満足しており、最深部(EL. 228m)でも大幅な低減がみられる。

一方、酸素の届いていないM-6(供給対象外)では変化はみられない。

事業前(H21年度)

中層への酸素供給開始(H22年度)

底層への酸素供給開始(H23年度)

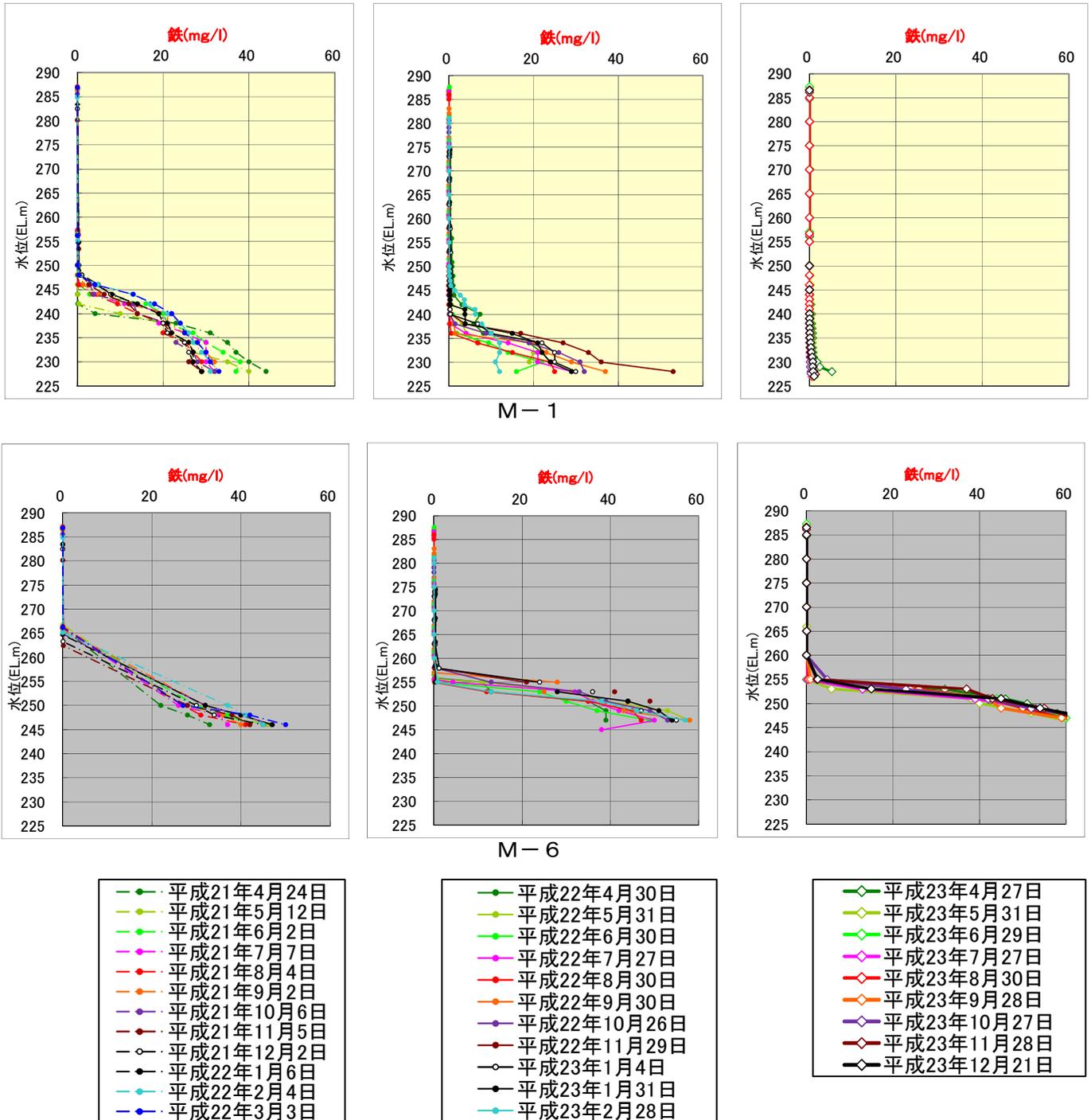


図 2-5 鉄の鉛直分布

(3) マンガンの低減状況

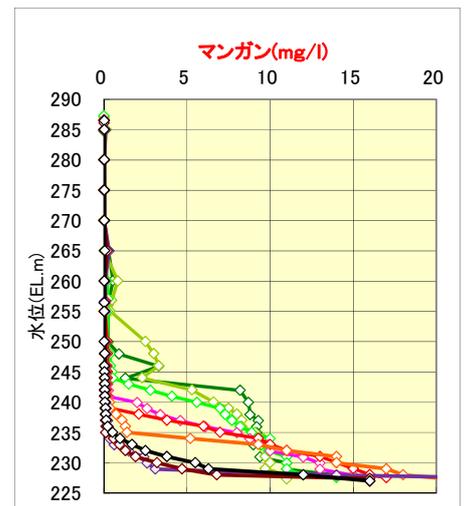
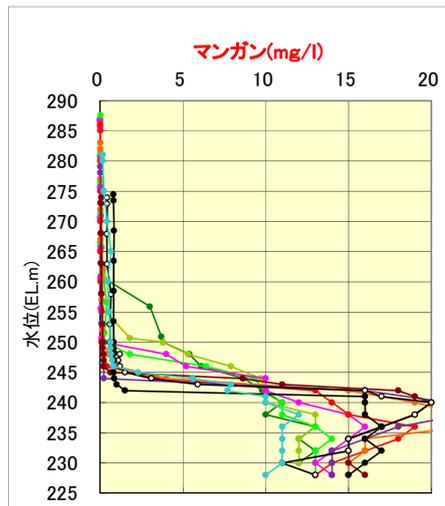
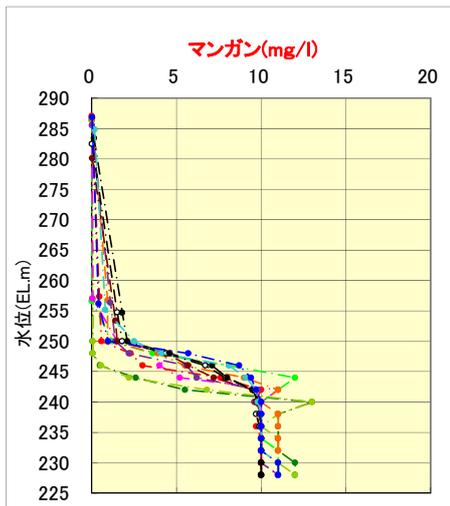
1) 鉛直分布

マンガンについては、M-1において平成23年12月時点で最低水位(EL. 247.5m)より上層において水道水質基準値(0.05mg/L)を満足している。その他の高さでも着実な低減が生じている(ただし、最下層では中層からの沈降成分により局所的にマンガン濃度が高くなっている)。

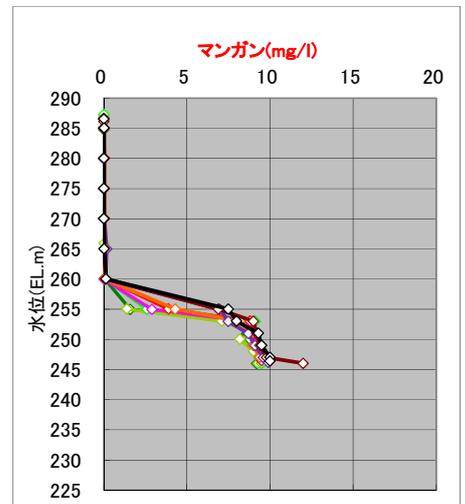
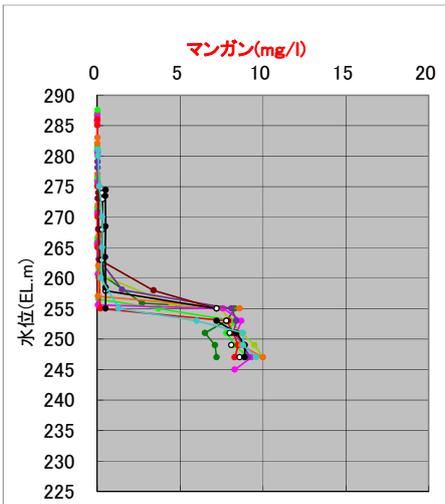
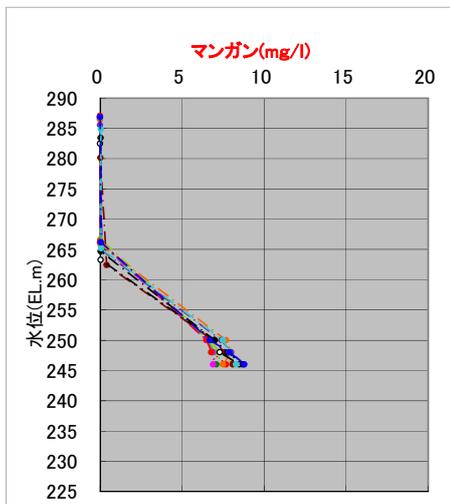
事業前(H21年度)

中層への酸素供給開始(H22年度)

底層への酸素供給開始(H23年度)



M-1



M-6

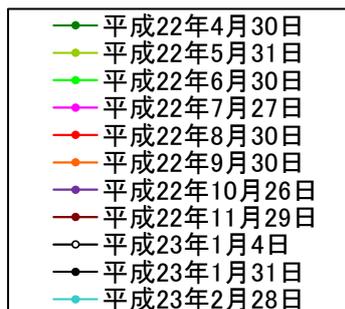
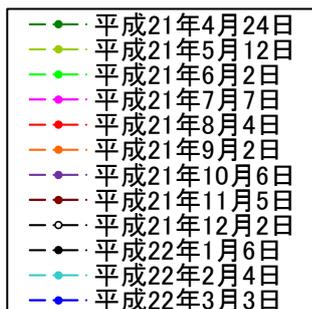


図 2-6 マンガン鉛直分布

2) 予測値との比較

第5回委員会時に行ったマンガンの低減予測であるが、最深部を除き（沈降したマンガンにより高濃度化している）、概ね一致していた。

表 2-1 M-1のマンガン予測値 (mg/L) (平成23年) [mg/L/日]

測定高さ (EL. m)	3月上旬	4月上旬	5月上旬	6月上旬	7月上旬	8月上旬	9月上旬	10月上旬	11月上旬	12月上旬	1月上旬
260	0.53	0.53	0.53	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
255	0.74	0.74	0.74	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
250	0.85	0.85	0.85	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
248	2.1	2.1	2.1	0.66	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
245	3.3	3.3	3.3	0.83	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
244	5.8	5.8	5.8	5.6	5.6	1.15	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
242	8.2	8.2	8.2	7.7	7.7	2.26	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
240	9.7	9.7	9.7	10	10	3.59	0.22	0.025	0.025	0.025	0.025
238	12	12	12	12	12	12	12	4.81	0.76	0.025	0.025
236	11	11	11	11	11	11	11	4.19	0.48	0.025	0.025
234	11	11	11	11	11	11	11	4.19	0.48	0.025	0.025
232	11	11	11	11	11	11	11	11	11	4.19	0.48
230	11	11	11	11	11	11	11	11	11	4.19	0.48
228	10	10	10	10	10	10	10	10	10	3.59	0.22

凡例) 赤字は酸化開始時

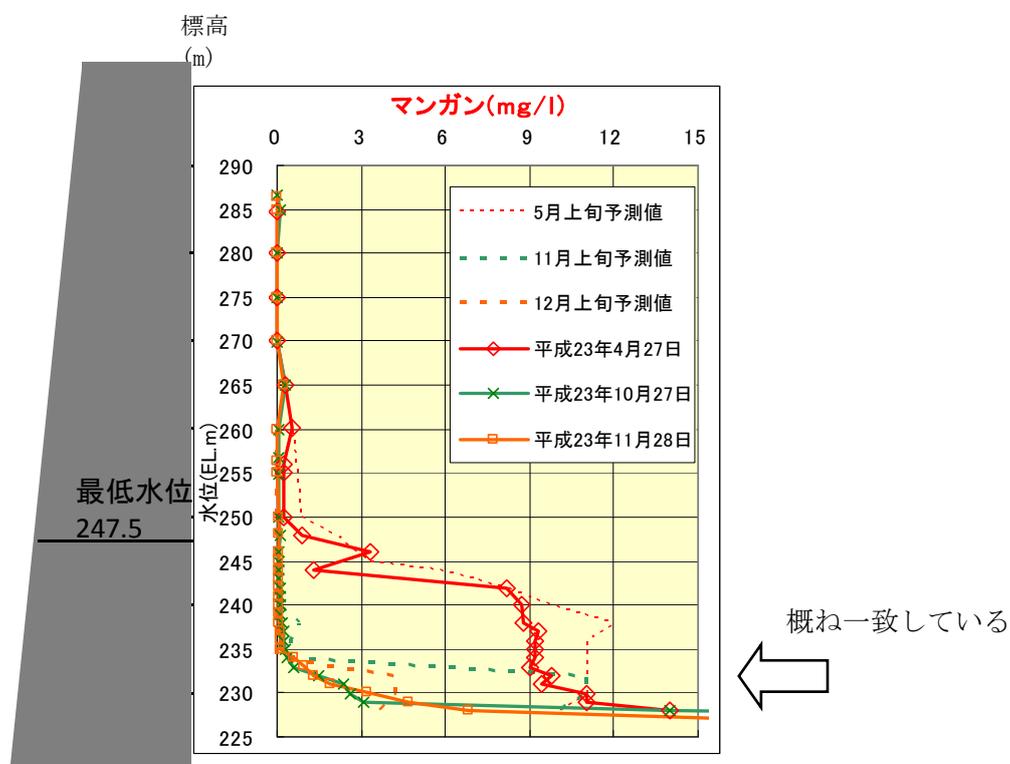


図 2-7 マンガン予測値と実績値の比較

(4) EC (導電率) の低減状況

ECについては昨年の同時期に比べて、EL. 250m以深で半分程度の値になっている。また、鉛直方向の傾きが緩くなっており、底層部における明確なマンガン等の境界はECからは推定できない状況となった。

M-6についてはほとんど変化していない。

事業前(H21年度)

中層への酸素供給開始 (H22年度)

底層への酸素供給開始 (H23年度)

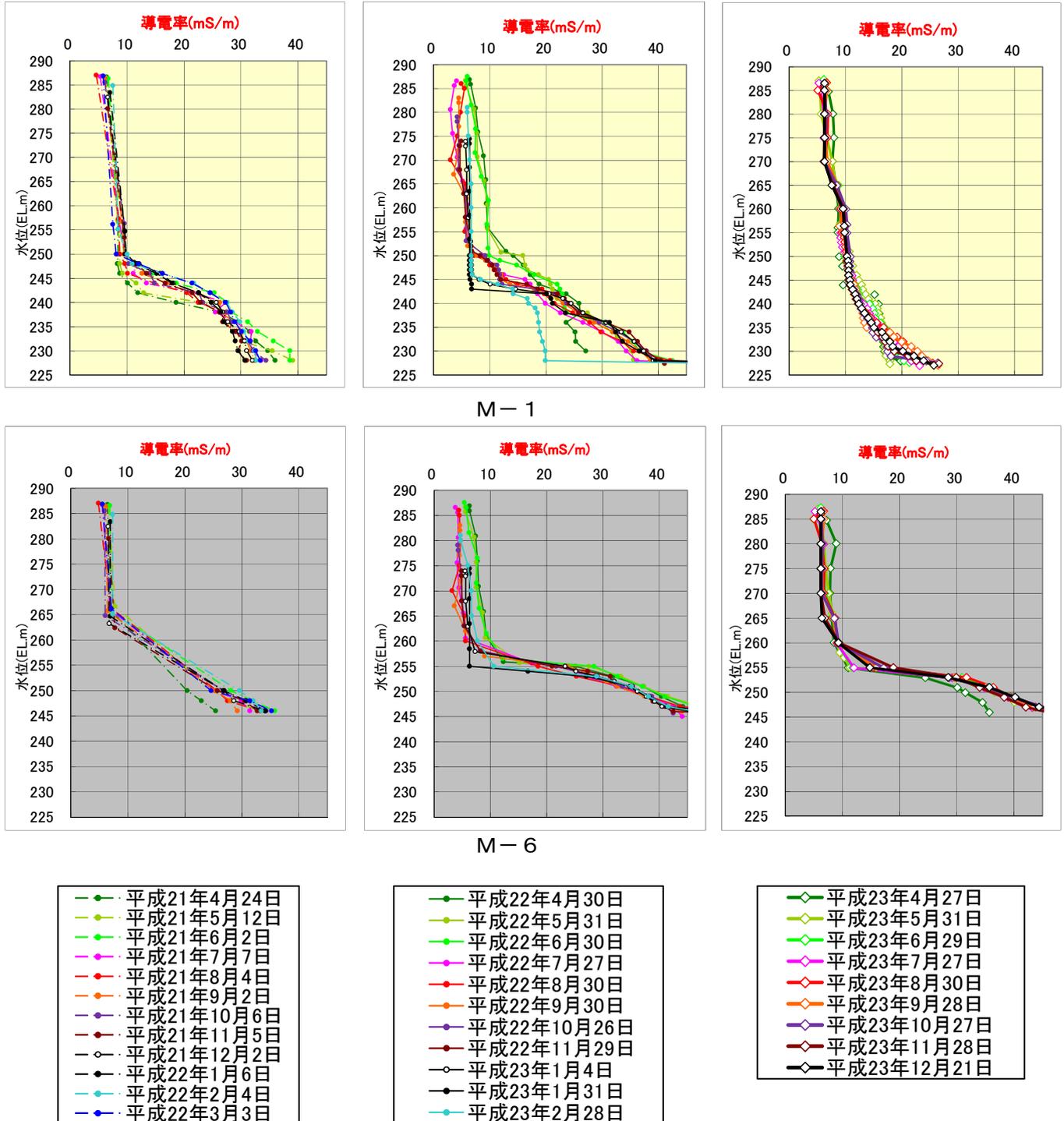


図 2-8 ECの鉛直分布

2.1.3 水温・DO・pHの鉛直分布

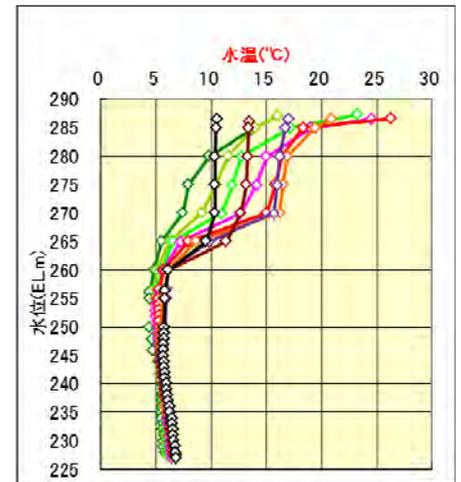
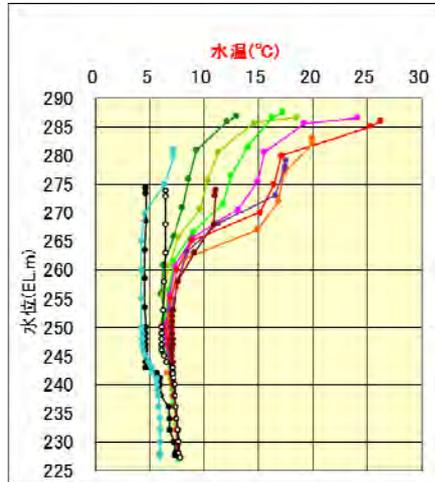
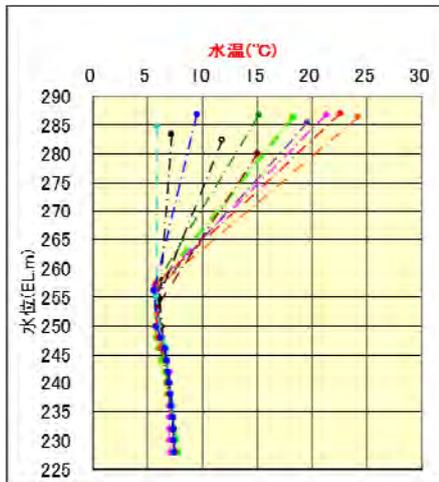
(1) 水温の鉛直分布

水温の鉛直分布を以下に示す。大きな変化はないものの、最下層の水温が以前よりも低くなっており、水温逆勾配が解消されつつあることがわかる。

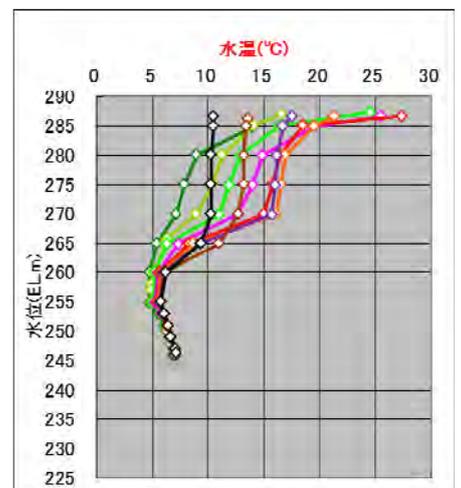
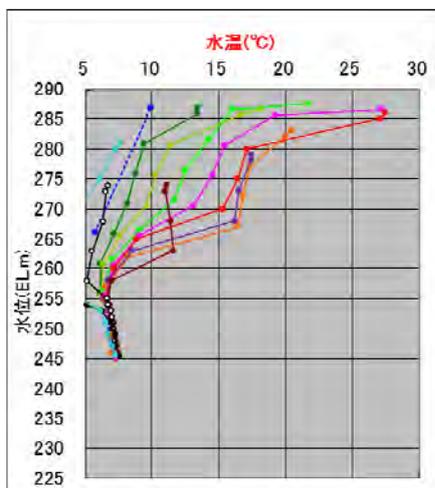
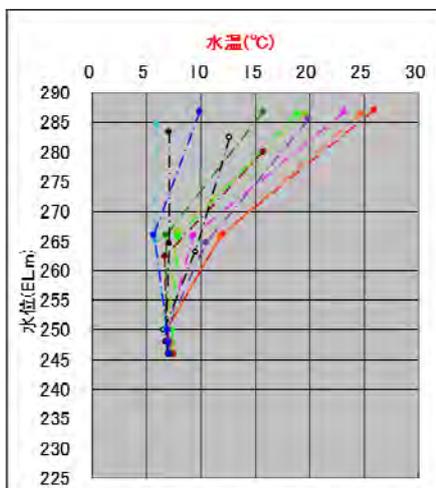
事業前(H21年度)

中層への酸素供給開始(H22年度)

底層への酸素供給開始(H23年度)



M-1



M-6

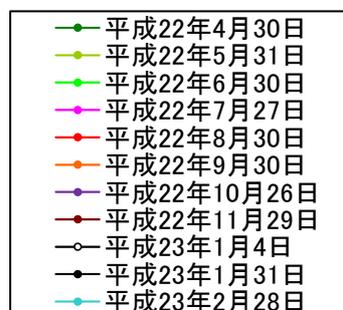
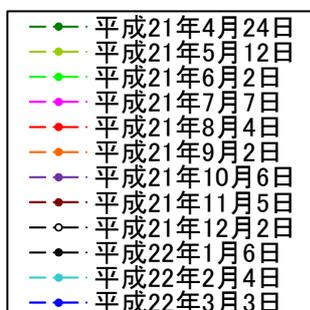


図 2-9 水温の鉛直分布

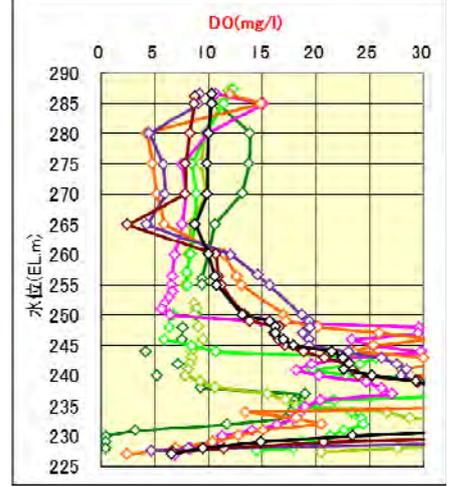
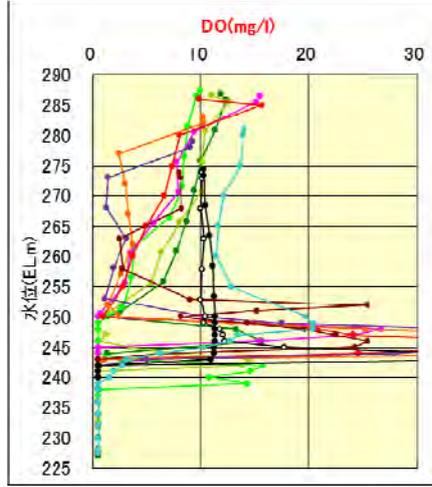
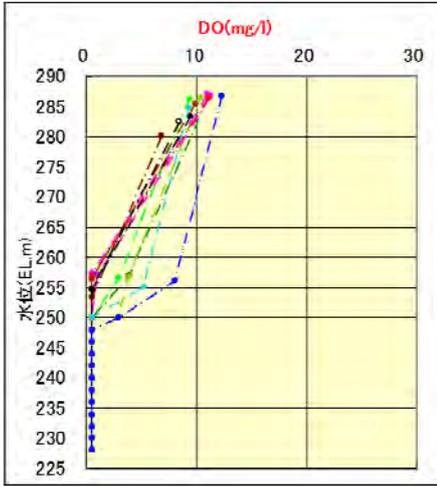
(2) DOの鉛直分布

DOについては、M-1は平成23年12月21日現在で、全ての水深で5mg/Lを越えている。
一方、M-6に変化はみられない。

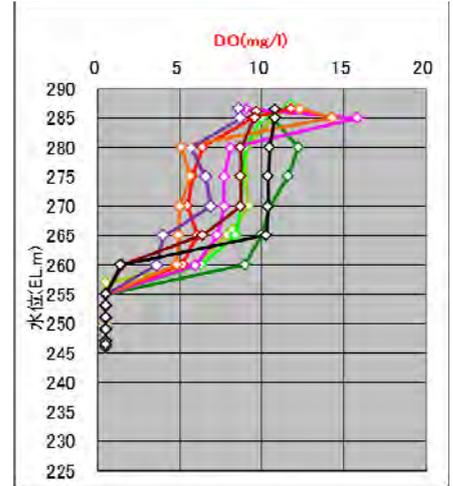
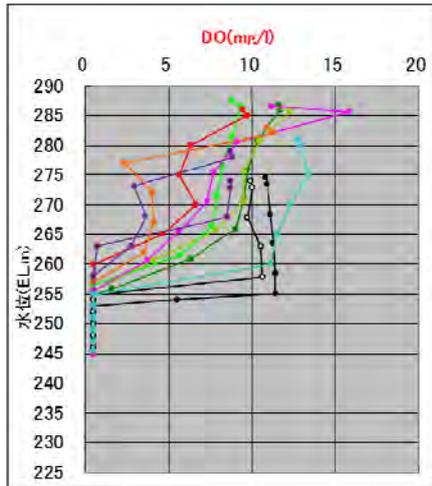
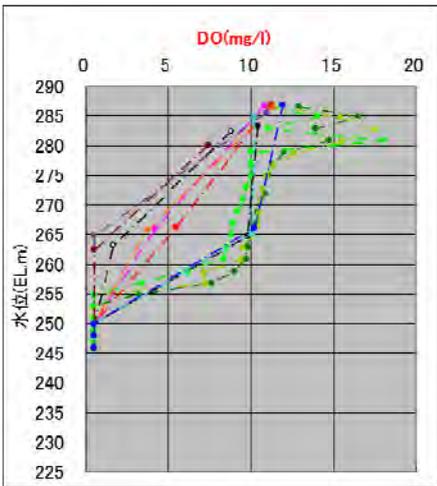
事業前(H21年度)

中層への酸素供給開始 (H22年度)

底層への酸素供給開始 (H23年度)



M-1



M-6

- 平成21年4月24日
- 平成21年5月12日
- 平成21年6月2日
- 平成21年7月7日
- 平成21年8月4日
- 平成21年9月2日
- 平成21年10月6日
- 平成21年11月5日
- 平成21年12月2日
- 平成22年1月6日
- 平成22年2月4日
- 平成22年3月3日

- 平成22年4月30日
- 平成22年5月31日
- 平成22年6月30日
- 平成22年7月27日
- 平成22年8月30日
- 平成22年9月30日
- 平成22年10月26日
- 平成22年11月29日
- 平成23年1月4日
- 平成23年1月31日
- 平成23年2月28日

- ◇— 平成23年4月27日
- ◇— 平成23年5月31日
- ◇— 平成23年6月29日
- ◇— 平成23年7月27日
- ◇— 平成23年8月30日
- ◇— 平成23年9月28日
- ◇— 平成23年10月27日
- ◇— 平成23年11月28日
- ◇— 平成23年12月21日

※H22年度のDO計は測定範囲が20mg/L以下であり、H23年度は測定範囲が50mg/L以下である。これらを上回る値については参考値として扱った。

図 2-10 DOの鉛直分布

(3) pH の鉛直分布

pHについては、表層で春から夏にかけて上昇する傾向があるが、これは、藻類の光合成によるものである。

酸素供給前後の大きな変化は見られないが、平成22年6月～平成23年1月に一時的にpHがやや上昇して7を超えた。これは、酸化層（EL. 242m～E1. 250m）から沈降した水酸化鉄【Fe(OH)₃】が嫌気的な底層で還元されて、鉄イオン（Fe²⁺）が溶出する際に生じた水酸化物イオン(OH⁻)による可能性が考えられる。

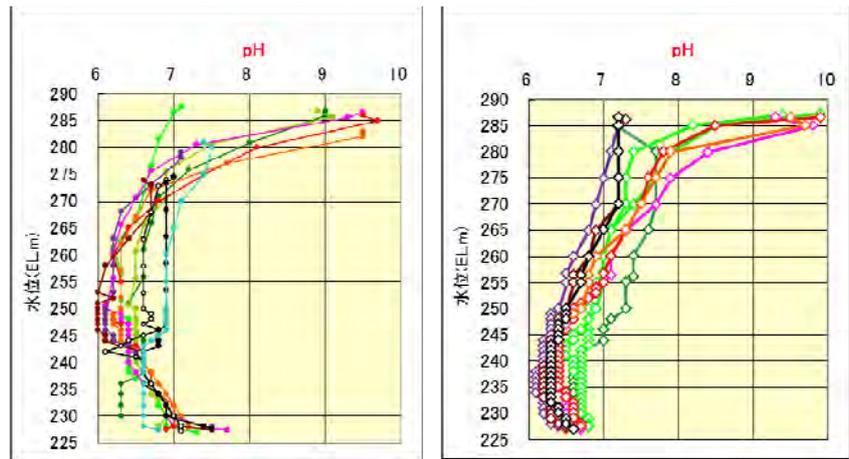
一方、M-6には酸素供給前後の変化はみられない。

事業前(H21年度)

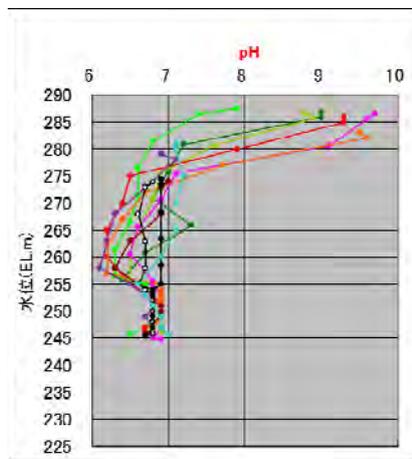
中層への酸素供給開始 (H22年度)

底層への酸素供給開始 (H23年度)

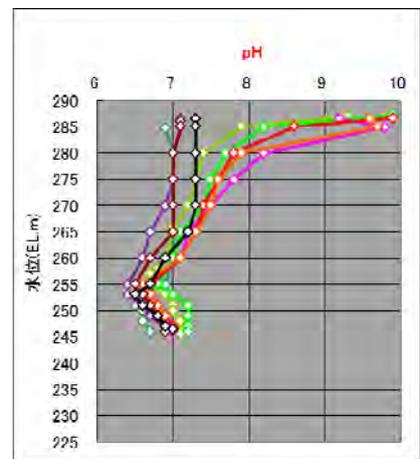
平成21年：調査無し



M-1



M-6



- 平成22年4月30日
- 平成22年5月31日
- 平成22年6月30日
- 平成22年7月27日
- 平成22年8月30日
- 平成22年9月30日
- 平成22年10月26日
- 平成22年11月29日
- 平成23年1月4日
- 平成23年1月31日
- 平成23年2月28日

- ◇ 平成23年4月27日
- ◇ 平成23年5月31日
- ◇ 平成23年6月29日
- ◇ 平成23年7月27日
- ◇ 平成23年8月30日
- ◇ 平成23年9月28日
- ◇ 平成23年10月27日
- ◇ 平成23年11月28日
- ◇ 平成23年12月21日

図 2-11 pH の鉛直分布

2.1.4 底質の変化

底質について、平成13年度以降の調査結果を以下に示す。5月ないし6月に年1回実施されたものであり、平成23年11月に追加調査が行われている。

経年変化として、CODsed、総窒素、総リン、ヒ素がやや上昇傾向、強熱減量は横ばい、鉄・マンガンはやや減少傾向を示していたが、平成22年5月以降上昇傾向にある。

総硫化物が平成22年に黒川橋において例年の10倍程度まで急激に上昇したが、その後例年並みの結果となった。

酸素供給前（平成21年5月）と供給後（平成23年11月）の変化を見比べると、酸素供給前の変化幅の範囲内であるが、ダム直上流において、ヒ素、鉄、マンガンが共に上昇していた。

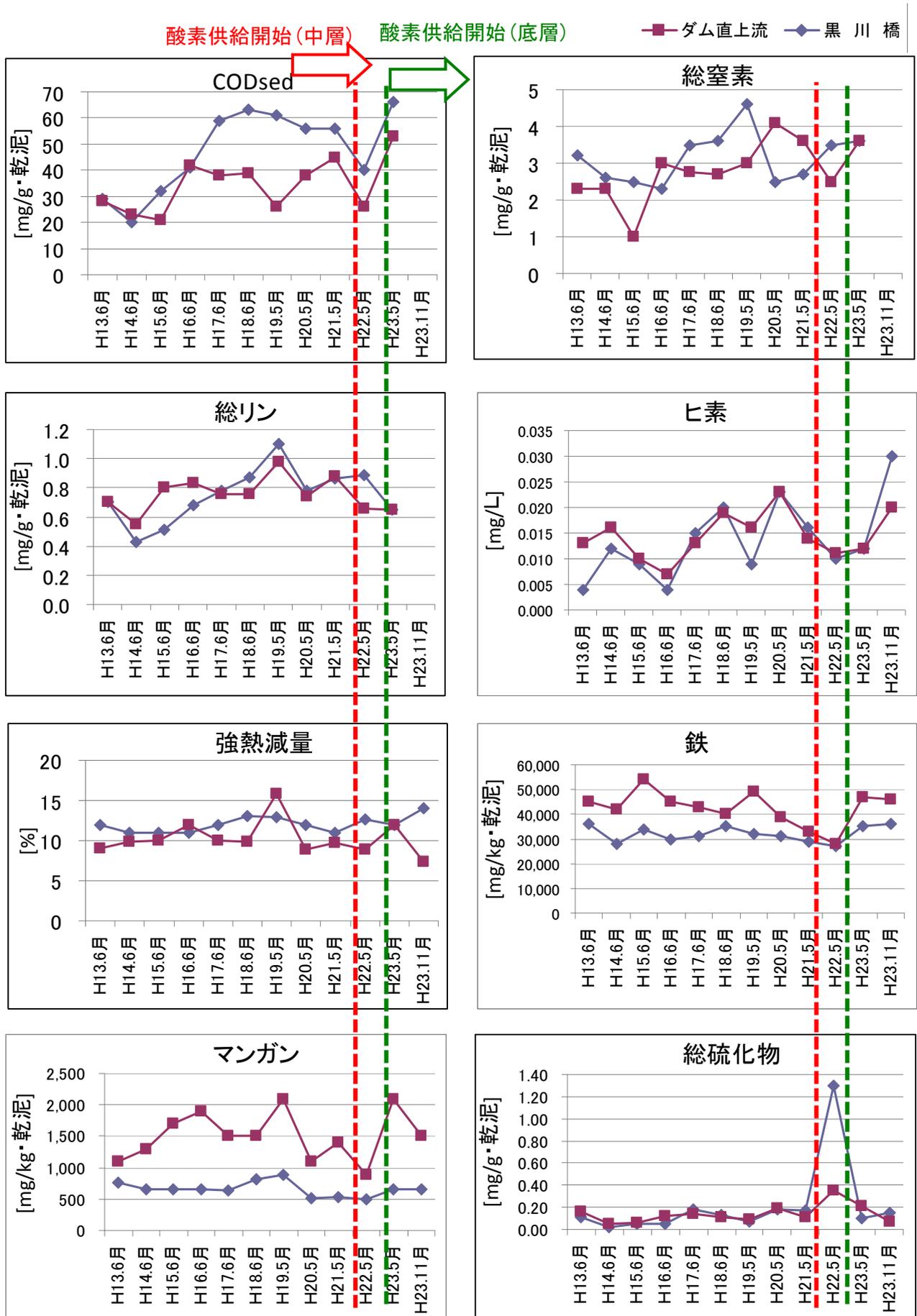


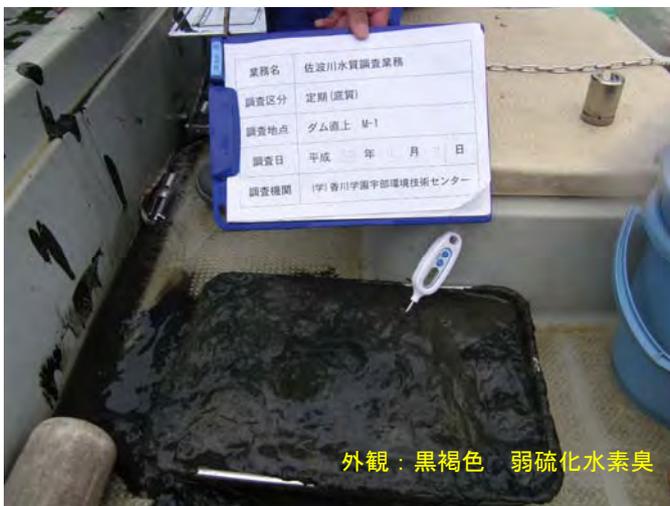
図 2-12 底質調査結果 (M-1 : ダム直上流、M-11 : 黒川橋)



平成21年5月



平成22年5月



平成23年5月



※硫化水素臭が消えており、茶褐色の付着は表面数mmである

平成23年11月

図 2-13 底質の状況 (M-1 : ダム直上流)

底層部まで酸素供給を十分行った後の平成23年11月の底質は「茶褐色 弱金気臭」となっており、以前の黒色、灰色と比べて酸化が進んでいることが伺える。

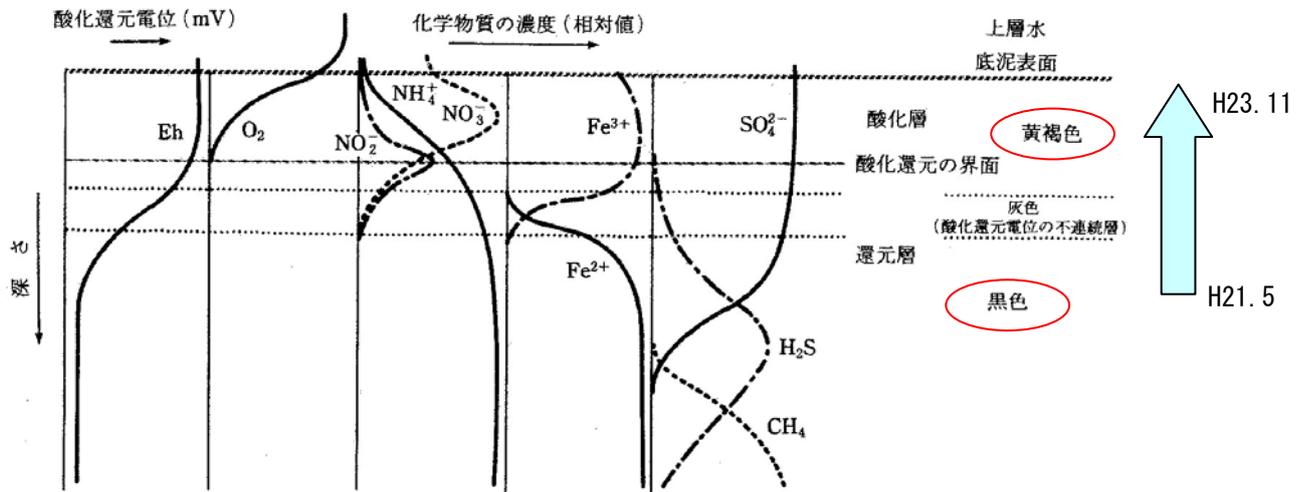


図 2-14 堆積物中の化学物質の鉛直分布と底泥の色

出典：「底泥における酸化還元電位 (Eh) および微生物群集のエネルギー代謝に関する化学物質の濃度と鉛直分布」(左山・栗原, 1988)

2.2 重金属類の物質収支

島地川ダム貯水池の重金属類の流入量・放流量を推定し、貯水池内の重金属類の移動状況を把握することを目的として、物質量の収支を検討した。

2.2.1 貯水池への物質収支

第5回の委員会において、昭和57年～平成22年の28年間に貯留されたヒ素に関して検討を行った。

今年度は、平成23年5月の出水時に鉄とマンガン、ヒ素の水質調査を行ったことから、ヒ素の結果を更新すると共に、鉄・マンガンの物質収支を検討した。

(1) 物質収支算出モデル

水中に溶けて流入する（全鉄・全マンガン・全ヒ素成分であり、SSに含まれる成分も含まれる）鉄・マンガン・ヒ素について、平成23年5月に出水時水質調査結果を基にL-Q式を作成し、ダム供用後にダム貯水池に貯留された重金属（鉄・マンガン・ヒ素）量について計算を行った。

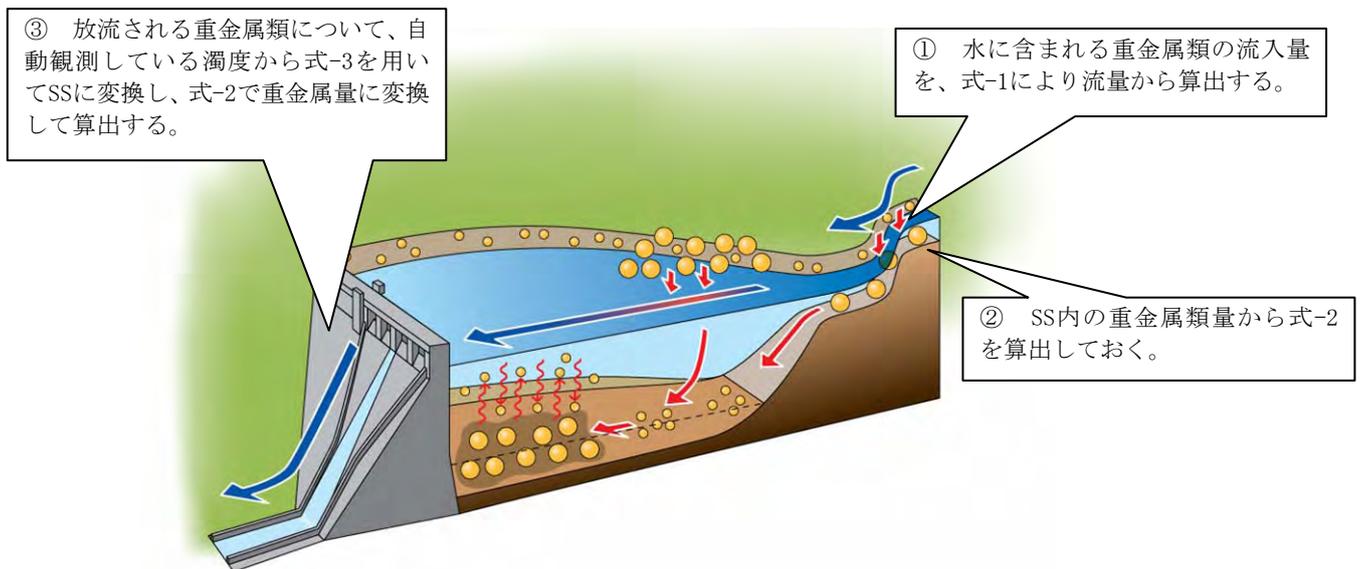


図 2-15 貯水池に流入・放流する重金属類（鉄・マンガン・ヒ素）の算出法

- ① : 流入水中に存在する重金属類 (式-1)
- ② : 出水中に流入・放流されるSS中の重金属類存在量 (式-2)
- ③ : 洪水吐きから排出されるSSに含まれる重金属類 (式-2、式-3)

※第5回委員会資料と同様、出水時に放流されるSSに含まれないヒ素（水中に溶け込んだヒ素）は見込まずに想定し、貯留量が大きくなる側の評価としている。

出水ごとにL-Q式を用いて①-③を算出し、これを積算することで、貯水池内に貯留された重金属類の量を求めた。

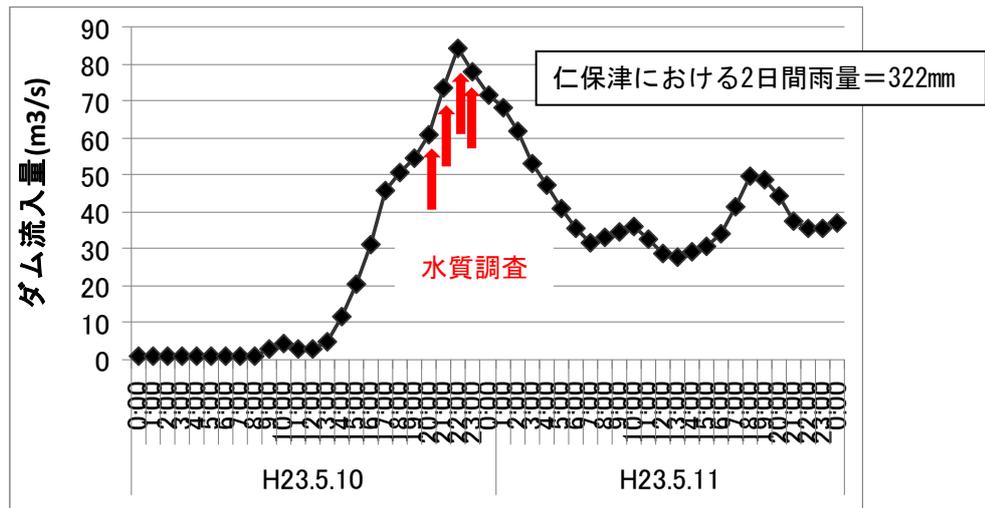
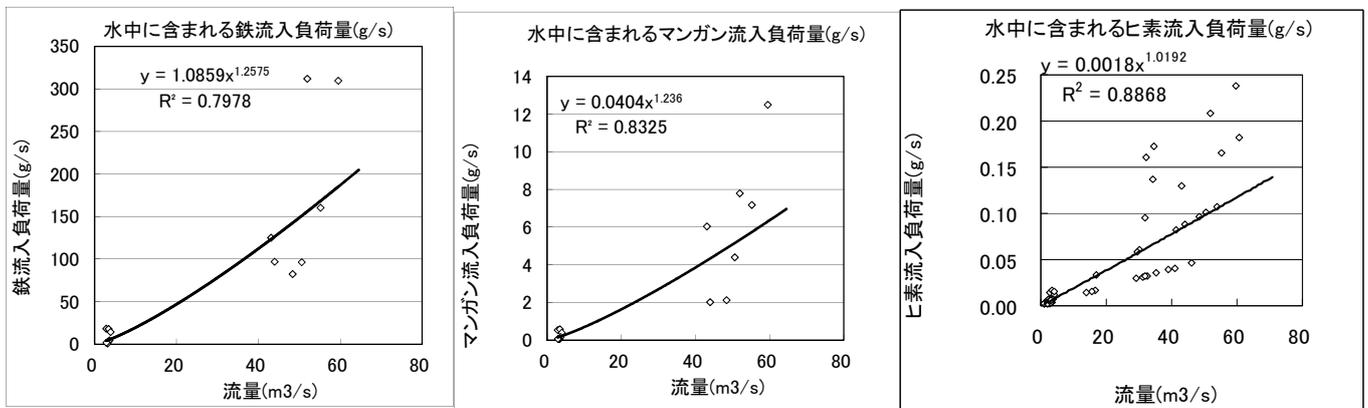


図 2-16 出水時水質調査のタイミング（平成 23 年 5 月 10 日）



流量と鉄流入負荷量の関係

流量とマンガン流入負荷量の関係

流量とヒ素流入負荷量の関係

※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。

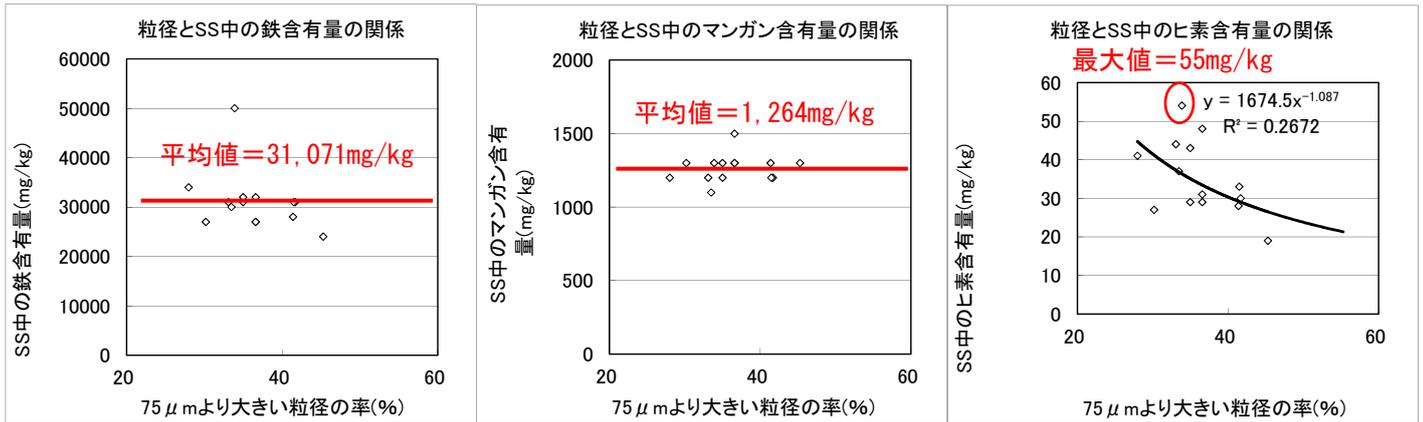
図 2-17 流入量に関する関係式（式-1）

SS中の粒径分布については、砂分75 μ m~2mm/シルト分5~75 μ m/粘土分5 μ m以下の3区分として、調査が行われている。粘土分はほとんどなかったことから、75 μ mより大きい粒径の率(%)と重金属類(鉄・マンガン・ヒ素)の含有量について関係を整理した(図 2-18)。

鉄・マンガンについては粒径と含有量との関係性がなかったことから、流入・放流共に平均値を用いた。

一方、ヒ素については粒径が小さいほどSS内の含有量が高くなる傾向がみられた。これは、ヒ素は土壌の表面に吸着される性質があるため、重量当たりの表面積が大きくなる場合、つまり粒径が小さい場合に多く含まれるためであると考えられる。

流入時にはSSは様々な粒径で流入することから、SSとヒ素の関係式を作成し、SS濃度によって濃度が変化することとした。一方、放流時には、表層の洪水吐から放流されるため、粒径は小さいと考えられる。このため、放流時のSS中のヒ素濃度は出水時に流入した最大値55mg/kgを用いた。



SS粒径と鉄・マンガン・ヒ素含有量の関係

図 2-18 放流量に関する関係式 (式-2)

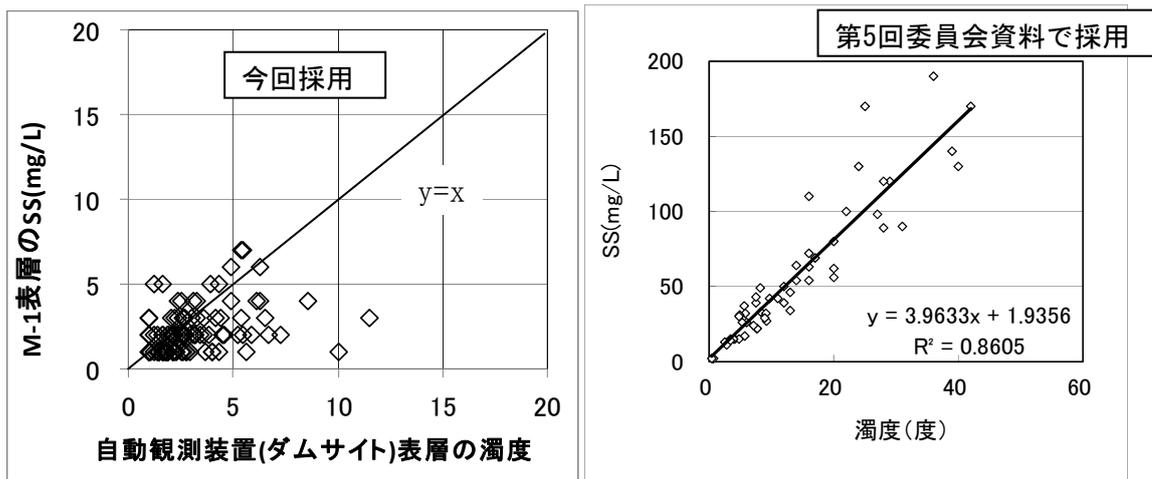
放流する重金属量については、出水時には水質自動観測装置により鉛直方向の濁度が連続観測されているのみであることから、濁度をSSに変換し、SS中の重金属類の含有量より算出する必要がある。

しかしながら、ダムサイトでは船上作業となるため、出水時の水質調査は行われておらず、濁度の高い時のSSの調査結果はない。

このため、濁度とSSの関係は論文により一般的な値を用いて、平水時のダムサイトでの値と比較することで妥当性を確認した。

ダムサイトの表層では粒径が小さいと考えられることから、図 2-20で15 μm以下の粒径で得られた濁度：SS=1：1の関係当てはめた場合、平水時ではあるが、ダムサイトでの観測値に概ね一致する(図 2-19の左図)。

このため、ダムサイトにおける濁度とSSの関係は濁度：SS=1：1であるとして放流SSを求めた。



放流地点の結果 (平水時)

流入地点の結果 (出水時)

濁度とSS濃度の関係

図 2-19 放流量に関する関係式 (式-3)

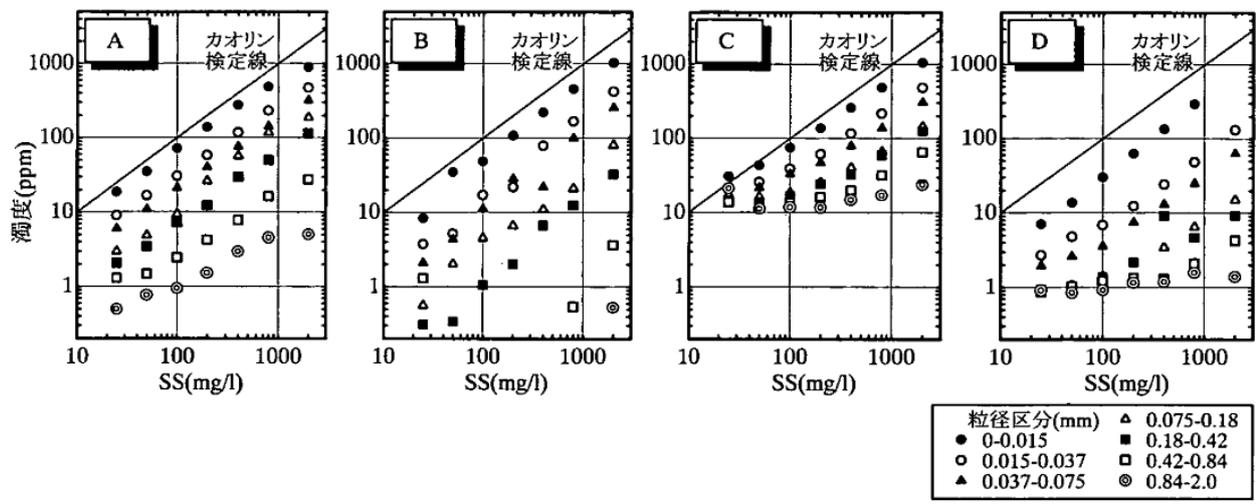


図 2-20 4 種類の測定装置における粒径ごとの SS—濁度の関係

出典：「濁度計の粒径依存特性と現地使用方法に関する考察」

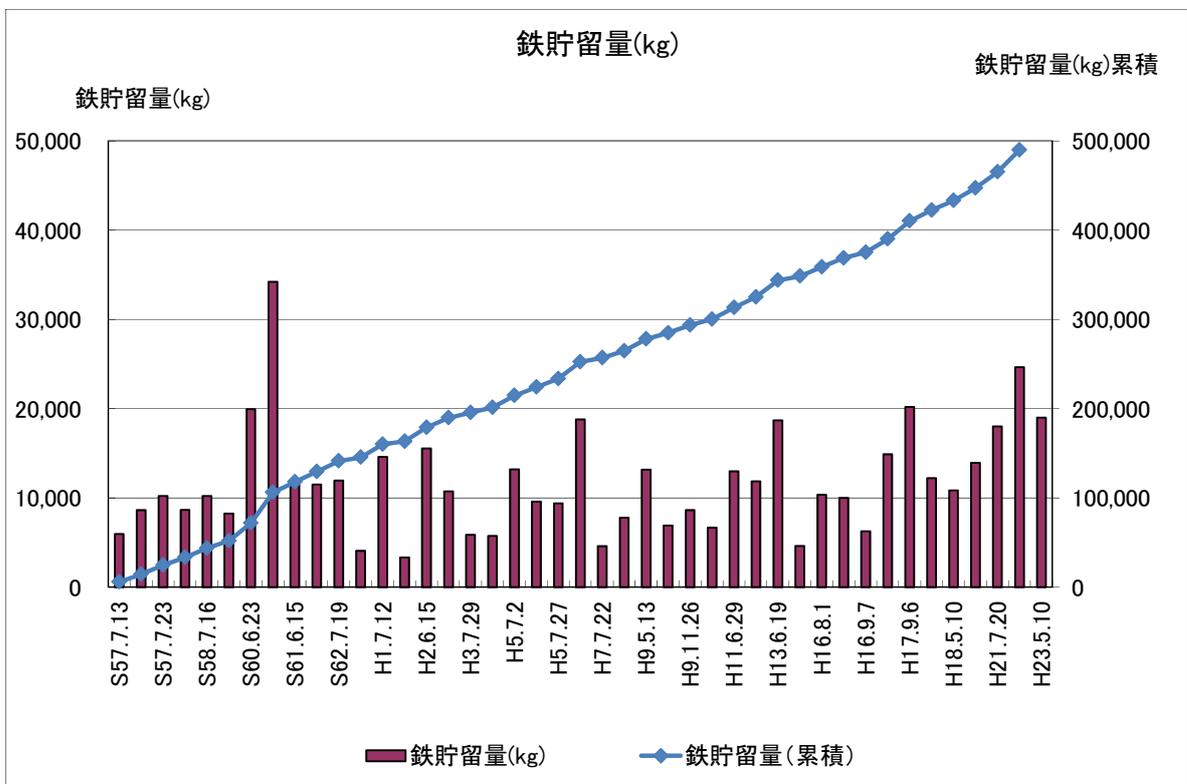
(土木学会論文集No. 698/II-58、93-98、2002. 2)

(2) 検討結果

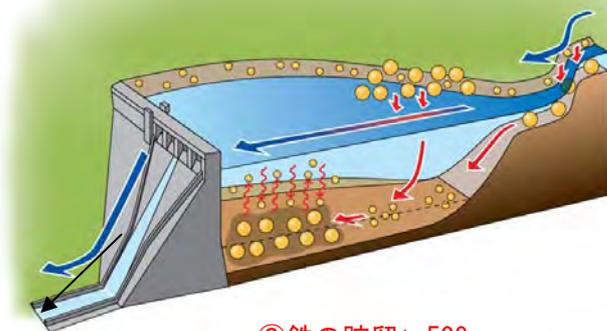
以上の結果を基に、流入・放流された重金属量を算出した。③の放流量は平成13年以降の12洪水について算出し、その比率を平成12年以前のものに使用した。また、算定対象となる出水の期間については、流入量が5m³/sec（島地川ダムにおける洪水対象の1/10）を下回るまでを対象とした。

1) 鉄

算定結果を以下に示す。放流割合は13.6%であり、平成13年～平成23年の11年において184 t（16.7t/年）、昭和57年～平成23年の29年間では509 t（17.6t/年）の鉄が貯水池内に貯留されたと算出された。



②SSとして
放流:91



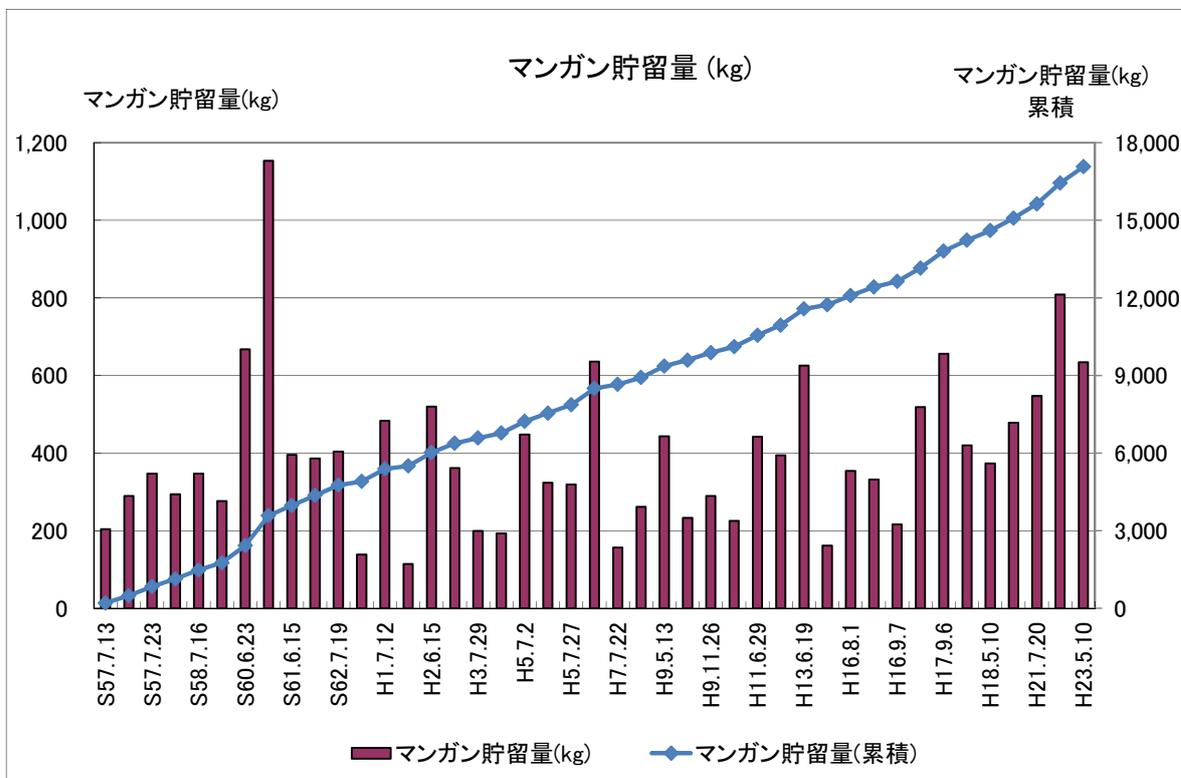
①水中に存在して流入:600

③鉄の貯留:509

図 2-21 ダム供用後の鉄の流入・放流量算定結果(t)

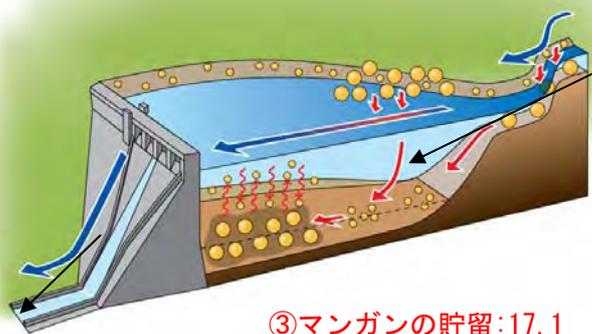
2) マンガン

マンガンの算定結果を以下に示す。放流割合は16.0%であり、平成13年～平成23年の11年において6.13 t (0.56t/年)、昭和57年～平成23年の29年間では17.1 t (0.59t/年)のマンガンが貯水池内に貯留されたと算出された。



②SSとして
放流:3.7

①水中に存在して流入:20.8

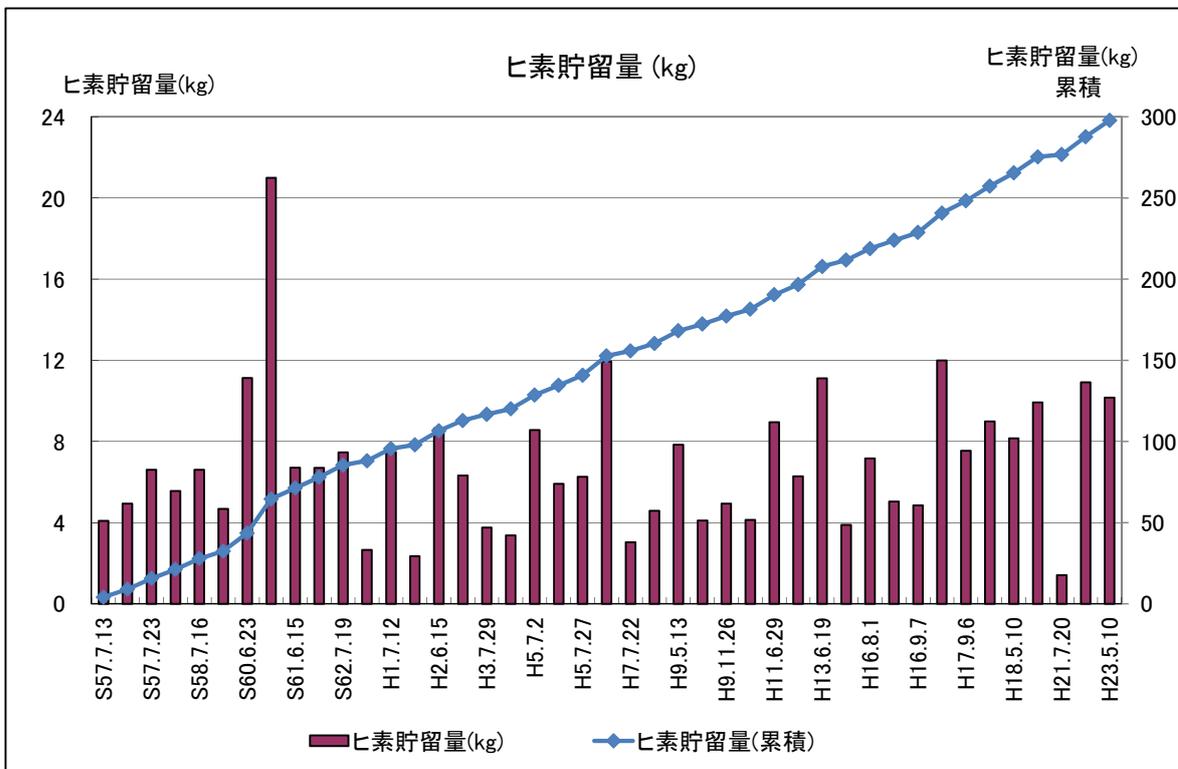


③マンガンの貯留:17.1

図 2-22 マンガンの流入・放流量算定結果 (t)

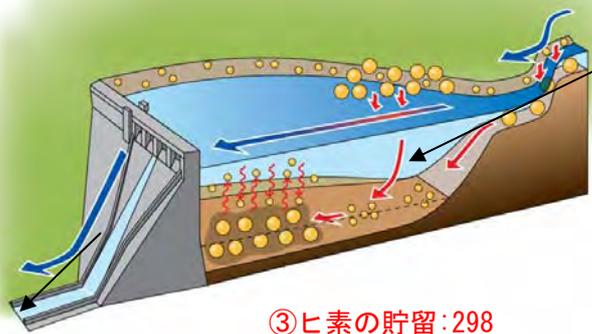
3) ヒ素

ヒ素の算定結果を以下に示す。放流割合は31.7%であり、平成13年～平成23年の11年において101kg(9.2kg/年)、昭和57年～平成23年の29年間では298kg(10.3kg/年)のヒ素が貯水池内に貯留されたと算出された。



②SSとして
放流:161

①水中に存在して流入:459



③ヒ素の貯留:298

図 2-23 ヒ素の流入・放流量算定結果 (kg)

表 2-2 出水ごとの重金属類の貯留量算出結果

No.	年月日	原因	総雨量 (mm)	最大流入量 (m ³ /s)	最大流入量時 放流量 (m ³ /s)	①鉄流入量		②鉄放流量 (SS由来)		③鉄貯留量 (kg)		④鉄放流割合		鉄蓄積量 (累積)	
						(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(%)				
1	S57.7.13	梅雨前線	95	53	2	6,916	943	1,363	5,973	13.6%	5,973	13.6%	5,973		
2	S57.7.16	梅雨前線	166	94	49	9,999	1,363	8,635	14,609	13.6%	8,635	13.6%	14,609		
3	S57.7.23	梅雨前線	204	50	12	1,617	10,241	10,241	24,949	13.6%	10,241	13.6%	24,949		
4	S58.6.21	梅雨前線	148	54	20	10,038	1,369	8,669	33,518	13.6%	8,669	13.6%	33,518		
5	S58.7.16	梅雨前線	220	52	14	11,857	1,617	10,241	43,759	13.6%	10,241	13.6%	43,759		
6	S59.8.22	台風0号	197	100	20	9,560	1,303	8,256	52,015	13.6%	8,256	13.6%	52,015		
7	S60.6.23	梅雨前線	214	119	18	39,121	3,152	19,968	71,984	13.6%	19,968	13.6%	71,984		
8	S60.6.27	梅雨前線	222	128	30	33,610	5,400	34,209	106,193	13.6%	34,209	13.6%	106,193		
9	S61.6.15	梅雨前線	240	99	32	13,684	1,866	11,818	118,011	13.6%	11,818	13.6%	118,011		
10	S61.7.15	梅雨前線	153	71	30	13,321	1,816	11,505	129,516	13.6%	11,505	13.6%	129,516		
11	S62.7.19	梅雨前線	143	68	23	13,840	1,887	11,953	141,469	13.6%	11,953	13.6%	141,469		
12	S62.8.13	降雪	117	67	8	4,737	646	4,091	145,560	13.6%	4,091	13.6%	145,560		
13	H17.1.2	梅雨前線	172	207	30	16,897	2,304	14,593	160,153	13.6%	14,593	13.6%	160,153		
14	H19.1.10	降雪	53	52	5	3,975	528	3,447	163,499	13.6%	3,447	13.6%	163,499		
15	H26.6.15	降雪	251	107	29	18,009	2,455	15,554	179,053	13.6%	15,554	13.6%	179,053		
16	H5.7.4	梅雨前線	178	65	14	12,444	1,444	10,747	189,600	13.6%	10,747	13.6%	189,600		
17	H8.7.29	台風9号	121	59	12	6,814	929	5,761	195,665	13.6%	5,761	13.6%	195,665		
18	H4.8.8	台風10号	186	85	0	6,670	909	6,670	201,446	13.6%	6,670	13.6%	201,446		
19	H5.7.2	梅雨前線	138	68	24	15,302	2,086	13,216	214,662	13.6%	13,216	13.6%	214,662		
20	H5.7.17	梅雨前線	178	68	21	11,119	1,516	9,603	224,265	13.6%	9,603	13.6%	224,265		
21	H5.7.27	台風5号	159	72	16	10,886	1,484	9,402	233,667	13.6%	9,402	13.6%	233,667		
22	H7.7.2	梅雨前線	221	73	30	21,767	2,966	18,800	252,466	13.6%	18,800	13.6%	252,466		
23	H7.7.22	梅雨前線	106	65	6	5,339	728	4,611	257,078	13.6%	4,611	13.6%	257,078		
24	H9.5.8	低気圧	163	76	11	9,016	1,229	7,787	264,864	13.6%	7,787	13.6%	264,864		
25	H9.5.13	低気圧	218	76	30	15,265	2,081	13,184	278,048	13.6%	13,184	13.6%	278,048		
26	H9.6.28	台風8号	206	76	0	9,020	1,093	7,927	284,975	13.6%	7,927	13.6%	284,975		
27	H9.11.26	前線	202	93	12	8,999	1,363	7,635	293,611	13.6%	7,635	13.6%	293,611		
28	H10.10.17	台風0号	175	76	1	7,731	1,054	6,677	300,287	13.6%	6,677	13.6%	300,287		
29	H11.6.29	梅雨前線	123	92	11	15,029	2,049	12,980	313,267	13.6%	12,980	13.6%	313,267		
30	H11.9.24	台風18号	141	205	28	13,780	1,876	11,884	325,151	13.6%	11,884	13.6%	325,151		
31	H13.6.19	梅雨前線	178	105	12	23,015	4,315	18,700	343,852	13.6%	18,700	13.6%	343,852		
32	H15.8.28	前線	62	56	6	4,798	162	4,636	348,488	13.6%	4,636	13.6%	348,488		
33	H16.8.1	台風10号	201	70	8	11,461	1,092	10,369	358,857	13.6%	10,369	13.6%	358,857		
34	H16.8.30	台風16号	195	132	13	12,068	2,064	10,004	368,881	13.6%	10,004	13.6%	368,881		
35	H16.9.7	台風18号	91	63	7	6,916	645	6,271	375,152	13.6%	6,271	13.6%	375,152		
36	H17.7.3	梅雨前線	250	64	0	14,999	98	14,902	390,054	13.6%	14,902	13.6%	390,054		
37	H17.9.6	台風4号	366	158	34	24,782	4,589	20,193	410,247	13.6%	20,193	13.6%	410,247		
38	H18.4.11	前線	196	52	28	13,019	803	12,216	422,463	13.6%	12,216	13.6%	422,463		
39	H18.5.10	前線	148	66	20	11,678	830	10,848	433,312	13.6%	10,848	13.6%	433,312		
40	H18.6.26	梅雨前線	184	66	28	15,056	1,103	13,953	447,265	13.6%	13,953	13.6%	447,265		
41	H21.7.20	梅雨前線	159	125	27	31,370	13,556	42,662	465,277	13.6%	42,662	13.6%	465,277		
42	H22.7.12	梅雨前線	299	92	52	31,499	6,837	24,662	489,939	13.6%	24,662	13.6%	489,939		
43	H23.5.10	低気圧	318	84	52	22,398	3,393	19,005	508,944	13.6%	19,005	13.6%	508,944		
平均放流割合															
						223,079	39,287	183,793			183,793	13.6%	183,793		
H13-H23D117年						589,659	90,615	508,944			508,944	13.6%	508,944		
S57-H23D297年						7,723	1,589	6,134			6,134	19.0%	6,134		
						20,757	3,687	17,070			17,070	31.7%	17,070		
						171	70	101			101	31.7%	101		
						459	161	298			298	31.7%	298		

重金属類の貯留量の算出方法

①②流入量: No.4~No.43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放流量: 放流量とSS、SS負荷量とSS、SS負荷量とSS、SS負荷量とSSの相関式から算出

④放流割合: No.31~43については、No.31~43の平均放流割合×流入量として算出

⑤貯留量: ①+②-③

2.2.2 水中に溶解している重金属量の変化

ここでは、水中に溶解している重金属量の変化を算出した。算出期間は高濃度酸素溶解装置稼働前後として、平成22年2月（対策前）と平成23年11月（対策後）を対象とした。

算出手法としては、酸化対象範囲であるEL.250m以深において、1 mごとの濃度と貯水容量を掛け合わせて物質量を算出した。なお、測定がされていない高さについては、内挿により算出した。

その結果、平成22年2月から平成23年11月の間に、以下の変化が確認された。

全鉄は対策前に約7,500kg存在していたが、対策後にはほとんど見られなくなった。

全マンガンは対策前に約5,000kg存在していたが、対策後にはほとんど見られなくなった。

全ヒ素は対策前に約16kg存在していたが、対策後にはほとんど見られなくなった。

全ヒ素については定量下限値(0.001mg/L未満)を安全側で0.001mg/Lとして計算しており、実際はさらに小さいと考えられる。

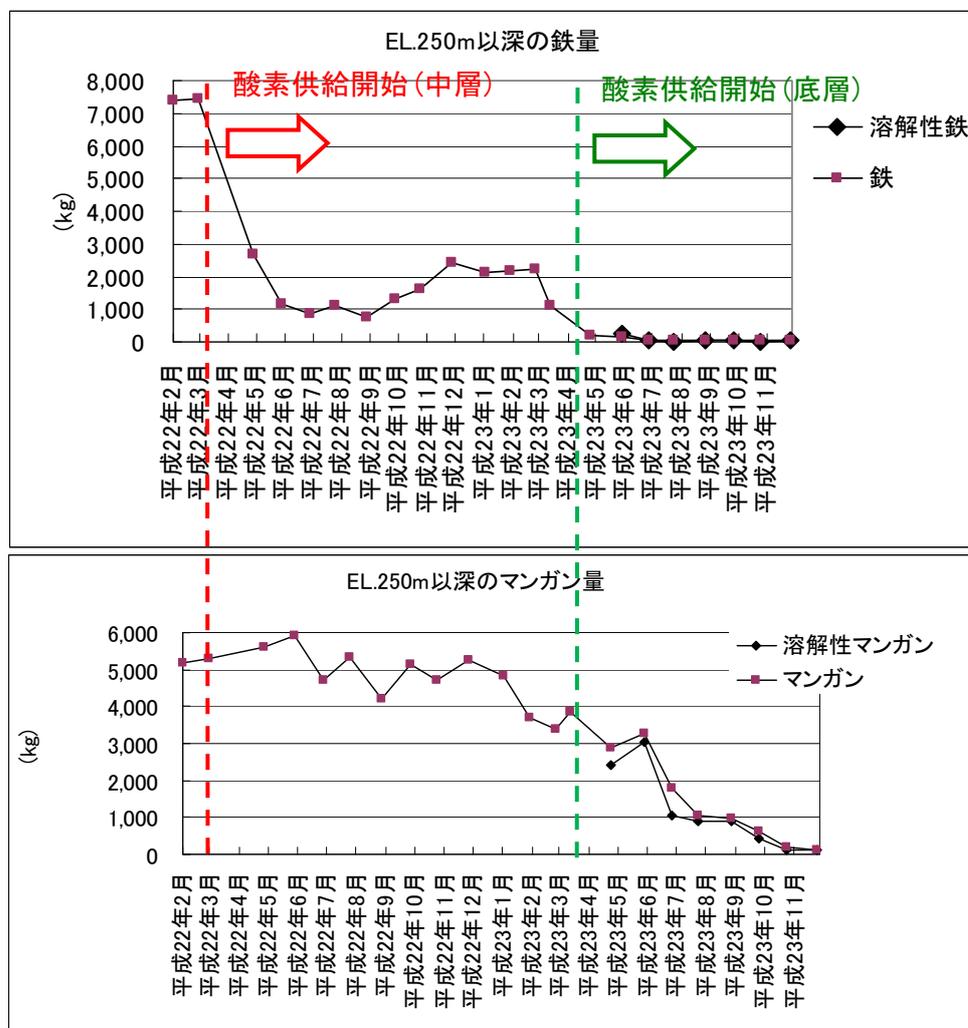


図 2-24 平成 22 年 2 月以降の鉄・マンガンの存在量 (EL. 250m 以深)

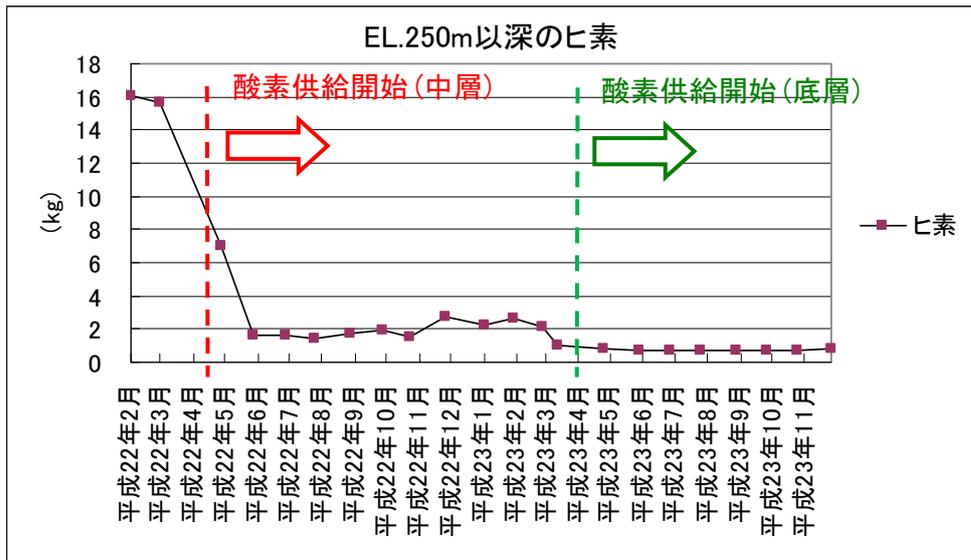


図 2-25 平成 22 年 2 月以降のヒ素の存在量 (EL. 250m 以深)

酸化の遅いマンガンについては、高さ 1 m ごとの濃度に貯水容量を乗じて 5 m ごとの水中に溶解しているマンガン量の経月変化を整理した (図 2-26)。

EL. 245m~EL. 250mは平成22年6月~9月に減少しているが、同時期にEL. 235m~L. 245mの範囲で増加傾向にある。これはEL. 245m~L. 250mの溶解性マンガンが酸化して10m程度沈降したと考えられる。この結果より、酸化されたマンガンは徐々に沈降すると考えられる。

マンガン全体を見ると、平成23年2月までは概ね横ばいであり、本格的に水中から減少したのは平成23年1月以降であると推測される。

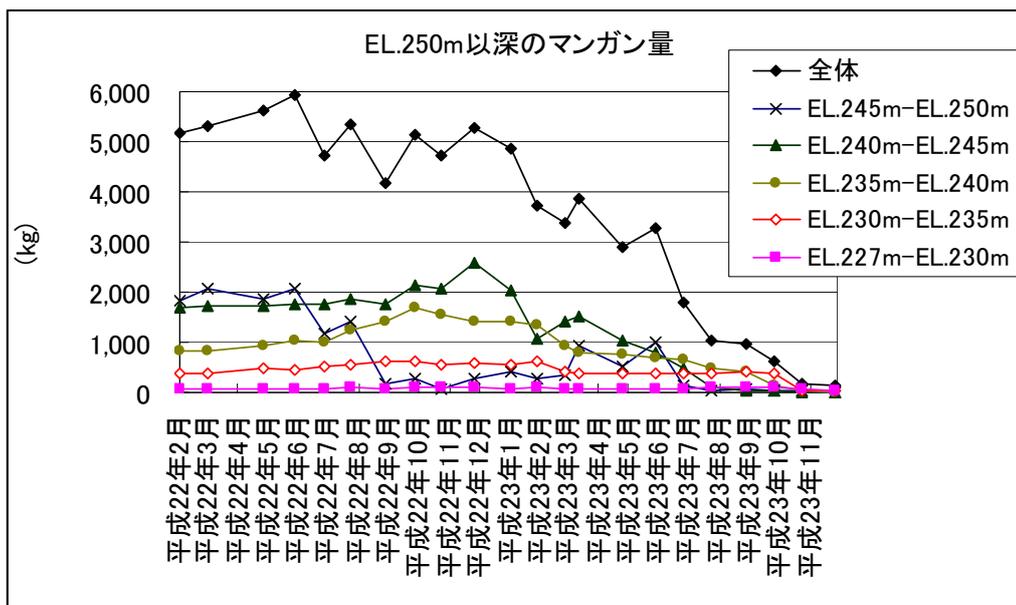


図 2-26 平成 22 年 2 月以降の高さごとのマンガン量 (EL. 250m 以深)

2.3 酸素消費速度の検討

貯水池の水が酸素を消費する速度を把握することで、必要な酸素供給量を把握することができる。高濃度酸素溶解装置運用時に必要な情報として、昨年に引き続き酸素消費速度を検討した。

2.3.1 平成23年11月～12月

10月27日の調査の結果、M-1～M-3の全範囲において、目標として設定されたD0=4mg/Lを越え、当面の酸素供給の必要性が低下したことから、今年度も装置の稼働を中断し、酸素消費速度を算出とした。

11月2日に高濃度酸素溶解装置を止め、11月14日、11月28日、12月13日、12月21日の4回の調査)におけるDOの変化から酸素消費速度を検討した。

D0に1m毎の容量を乗じて、酸素供給範囲全体(EL. 227m～EL. 250m)の酸素量(g)の変化を求め、酸素供給範囲全体(EL. 227m～EL. 250m)の容量(m³)で除して酸素消費速度を求めた。その結果、11/14→12/21の37日間では0.02(mg/L/日)と極めて小さい値であった(表2-3参照)。

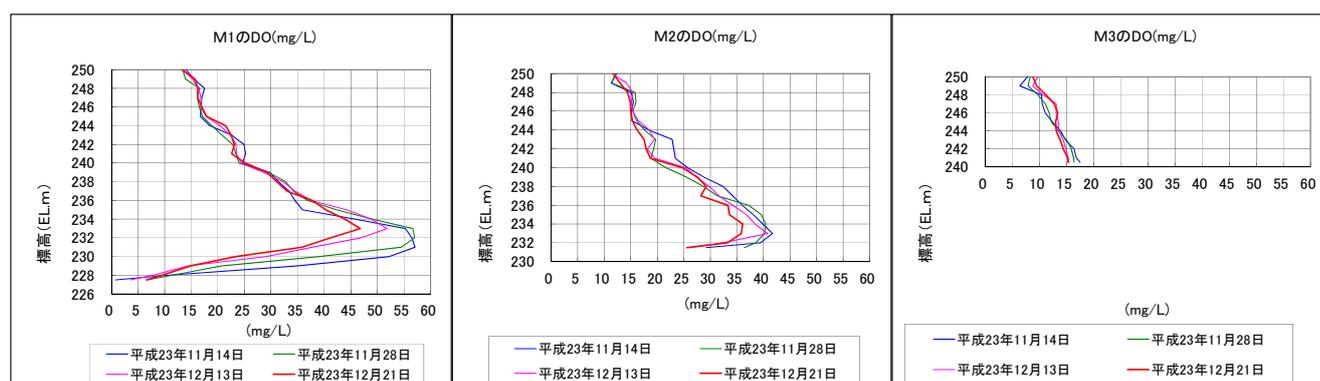


図 2-27 平成23年11月～12月の溶存酸素の変化

表 2-3 平成23年11月～12月の酸素消費速度 (M-1, M-2, M-3平均) [mg/L/日]

11/14→11/28	11/28→12/13	12/13→12/21	11/14→12/21
0.03	-0.02	0.06	0.02

2.3.2 平成22年9月～11月

参考までに、昨年の同時期（酸素供給範囲はEL. 242m～EL. 250m）の酸素消費速度は9/30→11/15の46日間で0.137(mg/L/日)であった（表 2-4参照）。

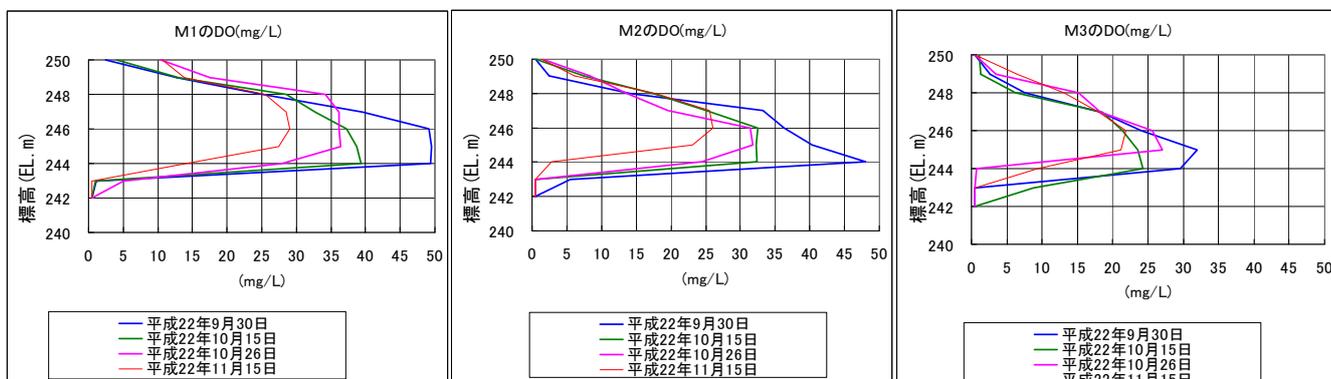


図 2-28 平成22年10月の溶存酸素の変化

表 2-4 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

2.3.3 平成22年4月～6月（酸素供給開始直後）

酸素供給開始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推定値となる。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、この期間の酸素消費速度は0.47～0.63 mg/L/日と算出された（第5回委員会資料参照）。

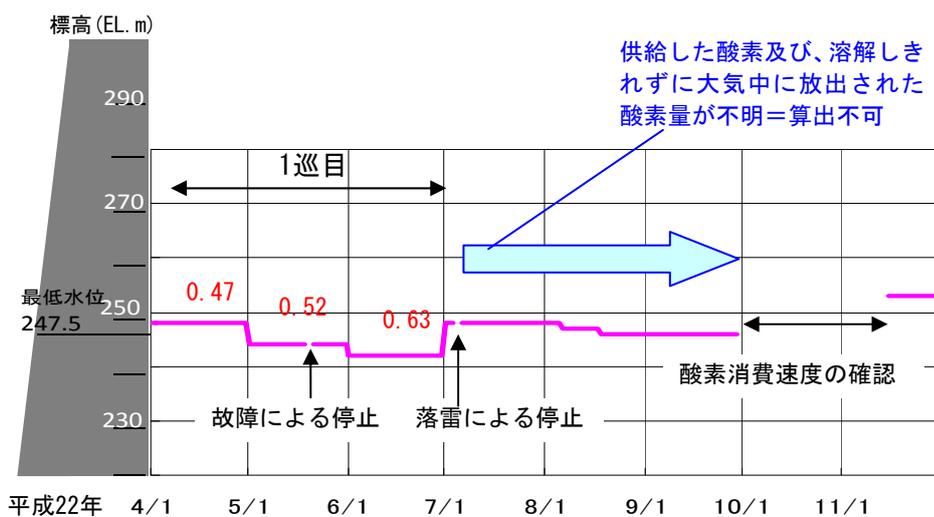


図 2-29 酸素供給開始直後の酸素消費速度

2.4 マンガンの減少に関する検討

マンガンが酸化時に減少する速度を把握することで、マンガン低減に要する期間を知ることができる。このため、マンガンの減少が大きく進んだ平成23年の水質調査結果を基にマンガンの減少速度を検討した。

2.4.1 溶解性鉄・溶解性マンガンの追加による酸化状況の検討

平成23年4月より月1回の頻度で溶解性マンガンの鉛直分布を調査した。上層から下層にかけて順調に全マンガン、溶解性マンガンが減少している。底層部は上層からの沈降があるため、やや上昇しているが、11月現在でEL.228mにおいても低減が見られることから酸化が始まっていると考えられる。

表 2-5 全マンガンの鉛直分布 (mg/L)

EL. m	H23. 4. 27	H23. 5. 31	H23. 6. 29	H23. 7. 27	H23. 8. 30	H23. 9. 28	H23. 10. 27	H23. 11. 28
表層		0.011	0.007	0.008	0.011	0.008	0.016	0.019
285	< 0.005	0.15	0.016	0.008	0.010	0.012	0.100	0.016
280	0.008	0.007	0.017	0.021	0.014	0.012	0.017	0.014
275	0.012	0.007	0.009	0.012	0.015	0.013	0.021	0.016
270	0.010	0.008	0.007	0.012	0.014	0.014	0.020	0.023
265	0.27	0.017	0.060	0.064	0.083	0.10	0.310	0.21
260	0.54	0.83	0.20	0.056	0.055	0.054	0.066	0.024
255	0.25	0.38	0.23	0.064	0.100	0.012	0.062	0.029
250	0.25	2.5	0.21	0.065	0.20	0.067	0.076	0.040
249								
248	0.91	3.0	0.38	0.10	0.21	0.075	0.098	0.045
247								
246	3.3	3.3	0.40	0.12	0.19	0.071	0.084	0.043
245					0.20	0.087	0.084	
244	1.3	2.3	0.54	0.17	0.20	0.090	0.076	0.034
243			1.5	0.23	0.18	0.11	0.078	0.040
242	8.2	5.3	2.8	0.27	0.17	0.12	0.090	0.040
241			4.1	0.29	0.19	0.14	0.095	0.054
240	8.7	6.6	5.6	2.0	0.28	0.34	0.11	0.072
239		7.5	7.0	2.6	0.34	0.38	0.14	0.072
238	8.8	8.0	7.3	3.4	2.1	0.74	0.15	0.084
237	9.3	8.3	7.7	4.6	3.8	1.1	0.23	0.10
236	9.2	8.3	8.2	6.1	6.0	1.3	0.26	0.13
235	9.2	9.1	8.9	8.0	7.0	1.4	0.29	0.12
234	9.2	9.6	10	8.8	9.3	5.2	0.37	0.57
233	9.0	9.4	9.5	9.9	10	9.3	0.62	0.95
232	9.8	9.7	9.9	10	11	11	1.5	1.3
231	9.4	9.7	11	12	13	14	2.4	1.9
230	11	10	11	13	14	14	2.6	3.2
229	11	9.7	11	13	15	17	3.1	4.7
228	14	11	12	15	16	18	14	6.8
底層		11	14	16	17	22	23	16

凡例) ■ : 0.05mg/L~1.0mg/L ■ : 1.0mg/L~5mg/L以上 ■ : 5mg/L以上 ■ : 10mg/L以上

溶解性マンガンが1.0mg/L以下に減少した後、同じ高さの全マンガンが減少するまでしばらく時間がかかっている。例えば、昨年度の改善範囲（EL. 242m～EL. 250m）において溶解性マンガンは6月に参考目標値である0.05mg/Lを満足したが、同範囲で全マンガンが0.05mg/Lを満足するのは5ヶ月後の11月下旬であった。これは、粒径の小さい懸濁体マンガン（全マンガン－溶解性マンガンで算出）の沈降速度が小さいことが理由として考えられる。

表 2-6 溶解性マンガンの鉛直分布（mg/L）

EL. m	H23. 4. 27	H23. 5. 31	H23. 6. 29	H23. 7. 27	H23. 8. 30	H23. 9. 28	H23. 10. 27	H23. 11. 28
表層		0.008	0.005	0.008	0.011	0.008	0.015	0.019
285	< 0.005	0.01	0.012					
280	0.005	0.005	0.013					
275	0.005	0.005	0.009					
270	0.005	0.005	0.006					
265	0.26	0.006	0.018					
260	0.48	0.66	0.01					
255	0.19	0.30	0.01		0.097			
250	0.19	2.2	0.010			0.016	0.031	0.013
249								
248	0.81	2.6	0.016					
247								
246	2.3	3.0	0.013					
245			0.012	0.013	0.012	0.015	0.027	0.011
244	0.95	2.3						
243			0.008					
242	7.1	4.9						
241			0.26	0.026	0.023			
240	6.8	6.1				0.016	0.031	0.032
239			4.3					
238	7.3	7.7						
237			5.6	4.2	3.4			
236	8.0	8.3						
235			7.6			0.54	0.053	0.061
234	8.3	9.1						
233			8.8	9.8	10			
232	9.6	9.5						
231			11					
230	8.0	10				14	1.6	3.0
229			11	13	15	16	2.2	4.5
228	13	11				18	14	6.5
底層		10	14	16	17	22	22	16

凡例) ■ : 0.05mg/L～1.0mg/L ■ : 1.0mg/L～5mg/L以上 ■ : 5mg/L以上 ■ : 10mg/L以上

※調査のない高さの着色は内挿値を元に判断した。

溶解性鉄は昨年度の改善範囲（EL. 242m～EL. 250m）において4月時点で既に参考目標値である0.3mg/Lを満足している状況であり、5月下旬には貯水池全体で0.3mg/Lを満足していた。一方、全鉄は1ヶ月遅れの6月下旬にEL. 232mより上層で0.3mg/Lを満足するようになった。

鉄とマンガンの減少の順番を見ると、全鉄の減少→溶解性マンガンの減少→全マンガンの減少となっていることがわかる。

なお、全鉄もマンガンと同様、0.3mg/L程度の低濃度になると、濃度低下に時間がかかるようになっていく。粒子の細かい懸濁体鉄（全鉄－溶解性鉄で算出）の沈降速度が小さいことが理由として考えられる。

表 2-7 全鉄の鉛直分布 (mg/L)

EL. m	H23. 4. 27	H23. 5. 31	H23. 6. 29	H23. 7. 27	H23. 8. 30	H23. 9. 28	H23. 10. 27	H23. 11. 28
表層		0.05	< 0.03	0.04	0.06	< 0.03	< 0.03	< 0.04
285	< 0.03	0.05	0.07	0.04	0.05			
280	< 0.03	0.05	0.04	0.03	0.05			
275	0.06	0.04	< 0.03	0.03	0.04			
270	0.11	0.05	< 0.03	< 0.03	< 0.03			
265	0.03	0.07	< 0.03	0.03	0.04			
260	0.05	0.07	0.08	< 0.03	< 0.03			
255	0.04	0.05	< 0.03	< 0.03	< 0.03			
250	0.04	0.11	< 0.03	< 0.03	0.03	0.03	0.05	0.04
249								
248	0.07	0.12	0.04	0.04	0.03			
247								
246	0.16	0.16	0.04	< 0.03	0.03			
245			0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04
244	0.08	0.12	0.04	0.05	0.03			
243			0.10	0.04	0.03			
242	0.37	0.20	0.09	0.03	0.03			
241			0.06	0.04	0.04			
240	0.50	0.31	0.07	0.07	0.04	0.05	0.06	0.06
239		0.25	0.14	0.07	0.04	0.05	0.07	0.09
238	0.54	0.27	0.15	0.08	0.04	0.06	0.07	0.08
237	0.63	0.31	0.14	0.09	0.07	0.10	0.09	0.09
236	0.69	0.36	0.09	0.13	0.10	0.09	0.12	0.11
235	0.75	0.42	0.19	0.17	0.12	0.08	0.11	0.10
234	0.61	0.52	0.14	0.20	0.13	0.13	0.11	0.20
233	0.72	0.55	0.26	0.18	0.17	0.19	0.16	0.27
232	0.83	0.59	0.30	0.21	0.20	0.23	0.16	0.32
231	0.95	0.68	0.38	0.26	0.23	0.33	0.20	0.40
230	1.8	0.75	0.42	0.31	0.29	0.41	0.22	0.72
229	2.4	0.64	0.54	0.34	0.44	0.52	0.25	0.92
228	5.2	0.93	0.58	0.54	0.46	0.63	0.49	1.10
底層		1.0	0.82	0.63	0.59	0.81	0.37	1.40

凡例) ■ : 0.3mg/L～1.0mg/L ■ : 1.0mg/L～5mg/L以上 ■ : 5mg/L以上

※調査のない高さの着色は内挿値を元に判断した。

また、11月28日に底層の鉄濃度が上昇しているが、11月2日に高濃度酸素溶解装置を止めたことが要因として考えられる。M-1底層のD0は6.6mg/Lと十分であるものの、これは底層から1m上部の計測値であることから、底層直上部ではD0がなくなっており、再溶出したものと考えられる。

また、マンガン濃度を見ると、全マンガン、溶解性マンガン共に底層付近で減少し、その直上のEL. 229m～EL. 230mで増加していることから、底層部で小循環が起こっている可能性も考えられる。

表 2-8 溶解性鉄の鉛直分布 (mg/L)

EL. m	H23. 4. 27	H23. 5. 31	H23. 6. 29	H23. 7. 27	H23. 8. 30	H23. 9. 28	H23. 10. 27	H23. 11. 28
表層		0.040	0.030	0.04	0.05	< 0.03	< 0.03	0.04
285	< 0.030	-						
280	-	-						
275	-	-						
270	-	-						
265	-	-						
260	-	-						
255	0.03	0.05	0.03	< 0.03	< 0.03			
250						< 0.03	< 0.03	< 0.03
249								
248								
247								
246								
245						< 0.03	0.04	< 0.03
244								
243								
242								
241								
240		0.03				< 0.03	0.03	0.06
239								
238	0.23							
237								
236				< 0.03	0.03			
235			0.03			< 0.03	0.08	0.04
234								
233								
232								
231								
230						0.09	0.07	0.38
229						0.16	0.07	0.39
228	3.6					0.15	0.08	0.47
底層		0.220	0.13	0.24	0.16	0.23	0.06	0.42

凡例) ■ : 0.3mg/L～1.0mg/L ■ : 1.0mg/L～5mg/L以上

※調査のない高さの着色は内挿値を元に判断した。

2.4.2 マンガンの減少速度の検討

マンガンの減少速度は、当初のマンガンの濃度と酸化還元電位（マンガンのより先に酸化される物質の大小）に関係すると考えられる。当初のマンガンの濃度と30日当たりの減少速度を図2-30に示す。

水深によっては上からの沈降によりマンガンの濃度が増加する場合があります、減少速度が負の値を取ることもある。

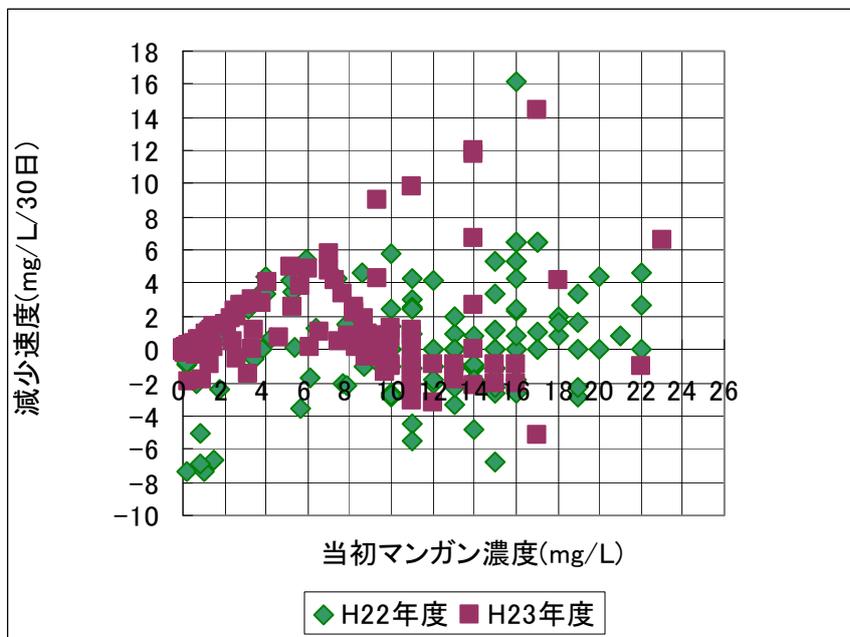


図 2-30 当初のマンガンの濃度とマンガンの減少速度の関係

マンガンの減少が大きく進んだH23年度の値を用いて、図2-30からマンガンの酸化の順番が来ていると考える時期を除き、かつ減少速度がマイナスであるデータを削除すると（上層からのマンガンの沈降成分の影響を受ける範囲）、関係式は図2-32のように整理される。

EL. m	H23. 4. 27	H23. 5. 31	H23. 6. 29	H23. 7. 27	H23. 8. 30	H23. 9. 28	H23. 10. 27	H23. 11. 28
表層								(mg/L)
285	< 0.005	0.15	0.016	0.008	0.010	0.012	0.100	0.016
280	0.008	0.007	0.017	0.021	0.014	0.012	0.017	0.014
275	0.012	0.007	0.009	0.012	0.015	0.013	0.021	0.016
270	0.010	0.008	0.007	0.012	0.014	0.014	0.020	0.023
265	0.27	0.017	0.060	0.064	0.083	0.10	0.310	0.21
260	0.54	0.83	0.20	0.056	0.055	0.054	0.066	0.024
255	0.25	0.38	0.23	0.064	0.100	0.012	0.062	0.029
250	0.25	2.5	0.21	0.065	0.20	0.067	0.076	0.040
249								
248	0.91	3.0	0.38	0.10	0.21	0.075	0.098	0.045
247								
246	3.3	3.3	0.40	0.12	0.19	0.071	0.084	0.043
245					0.20	0.087	0.084	
244	1.3	2.3	0.54	0.17	0.20	0.090	0.076	0.034
243			1.5	0.23	0.18	0.11	0.078	0.040
242	8.2	5.3	2.8	0.27	0.17	0.12	0.090	0.040
241			4.1	0.29	0.19	0.14	0.095	0.054
240		6.6	5.6	2.0	0.28	0.34	0.11	0.072
239		5.5	7.0	2.6	0.34	0.38	0.14	0.072
238		5.2	7.3	3.4	2.1	0.74	0.15	0.084
237		5.7	7.7	4.6	3.8	1.1	0.23	0.10
236		5.2	7.2	6.1	6.0	1.3	0.26	0.13
235		5.2	7.2	8.0	7.0	1.4	0.29	0.12
234		5.2	7.2	9.3	9.3	5.2	0.37	0.57
233		5.2	7.2	10	10	9.3	0.62	0.95
232		5.2	7.2	11	11	11	1.5	1.3
231		5.2	7.2	14	14	14	2.4	1.9
230		5.2	7.2	14	14	14	2.6	3.2
229		5.2	7.2				3.1	4.7
228		5.2	7.2				14	6.8
底層		5.2	7.2				23	16

図 2-31 マンガン減少速度算出対象範囲

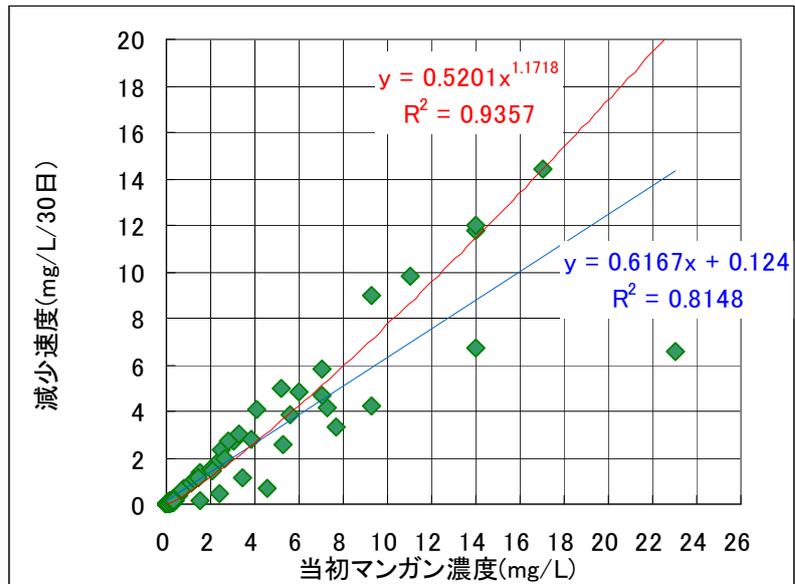


図 2-32 マンガン減少速度の算出結果

累乗近似（赤線）の方が相関係数が大きいものの、安全側を用いて減少速度の低い線形近似（青色）を用い、実際に確認された減少速度の最大値14.4[mg/L/30日]を上限とした。

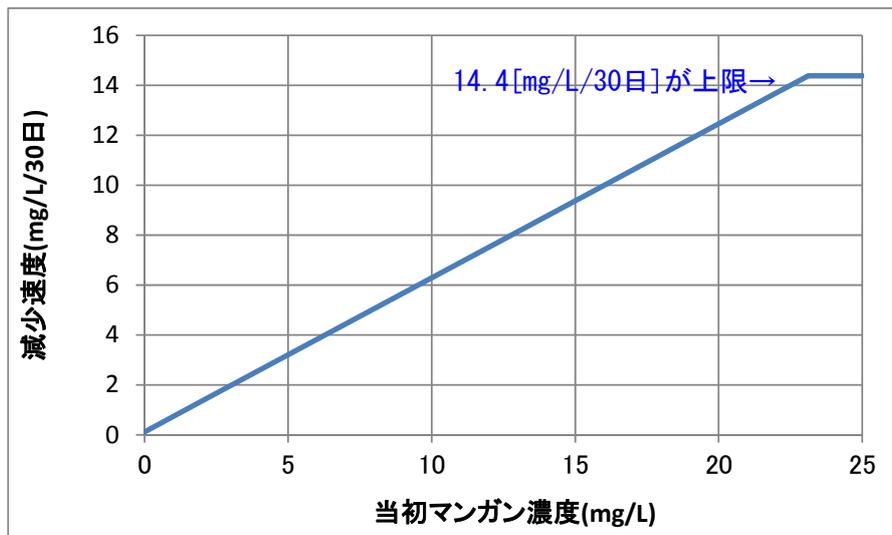


図 2-33 当初のマンガン濃度とマンガン減少速度の関係

マンガンの減少速度[mg/L/30日] $=0.6167 \times$ 当初マンガン濃度[mg/L] $+ 0.124$
 なお、減少速度は14.4[mg/L/30日]を上限とする。

今後はDOの不足がないように高濃度酸素溶解装置を運用することから、常にマンガンは速やかに酸化される状態にあり、上記の式で求められると考えられる。

2.5 水質簡易計測結果（DO、pH、EC）と重金属類濃度の関係

平成23年度の高濃度酸素溶解装置の運用により、ダム供用後、底層部に徐々に貯留された鉄・ヒ素の大部分を低減することができた。マンガンについては、EL. 240m以深を除き、水道水質基準値(0.05mg/L)を満足しており、最低水位(EL. 247.5m)では低減が完了している。

このように概ね水質改善が完了できたことから、H24年度以降の運用にあたっては、重金属類の詳細調査は行わず、1 mごとの計測が低コストで行われる簡易計測による水質調査結果を判断根拠として検討を行うことが効率的である。

このため、水質簡易計測結果（DO、pH、EC）を運用時の判断資料として使えるかどうかを確認するため、以下の検討を行った。

- 鉄については、溶存酸素があれば速やかに酸化すること、ヒ素は水酸化鉄に吸着され共沈することから、水質簡易計測結果を基に濃度を類推する重金属類はマンガンのみとする。
- ただし、マンガン以外の物質（マンガンよりも酸化されやすい物質）量がマンガンの減少速度に関係している可能性があるため、鉄とマンガン濃度の関連性を検討する。

pHはマンガンの酸化に関係があり、pHが高いほど溶解度積が小さいことから、イオンが水に溶けにくくなるため、酸化速度が早いと考えられる。

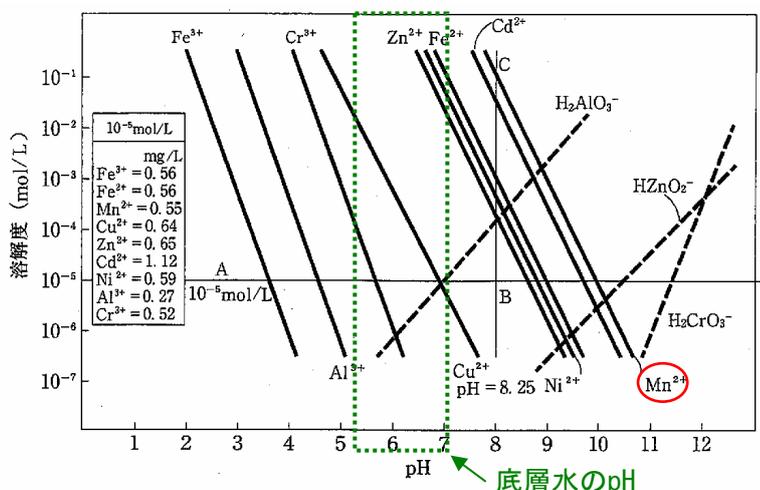


図2-34 pHと重金属類の溶解度の関係

出典：「公害防止の技術と法規 水質編」(社) 産業環境管理協会

このため、pHとマンガン濃度の関係を整理した(図2-35)。データはマンガン濃度が大きく変化した平成23年4月～11月のデータを用いた。

一見、pHが高いほどマンガン濃度が低いように見えるが（図2-35左図）、pHが高い層は表層であり、これは光合成により炭酸イオンが使用されたことによるpHの上昇である（図2-35右図）。一方でマンガンは下層ほど高い傾向にあることから、底層部のpHは6~7の範囲である。

よって、島地川ダム底層部のpHはマンガンの酸化には影響していないと考えられる。

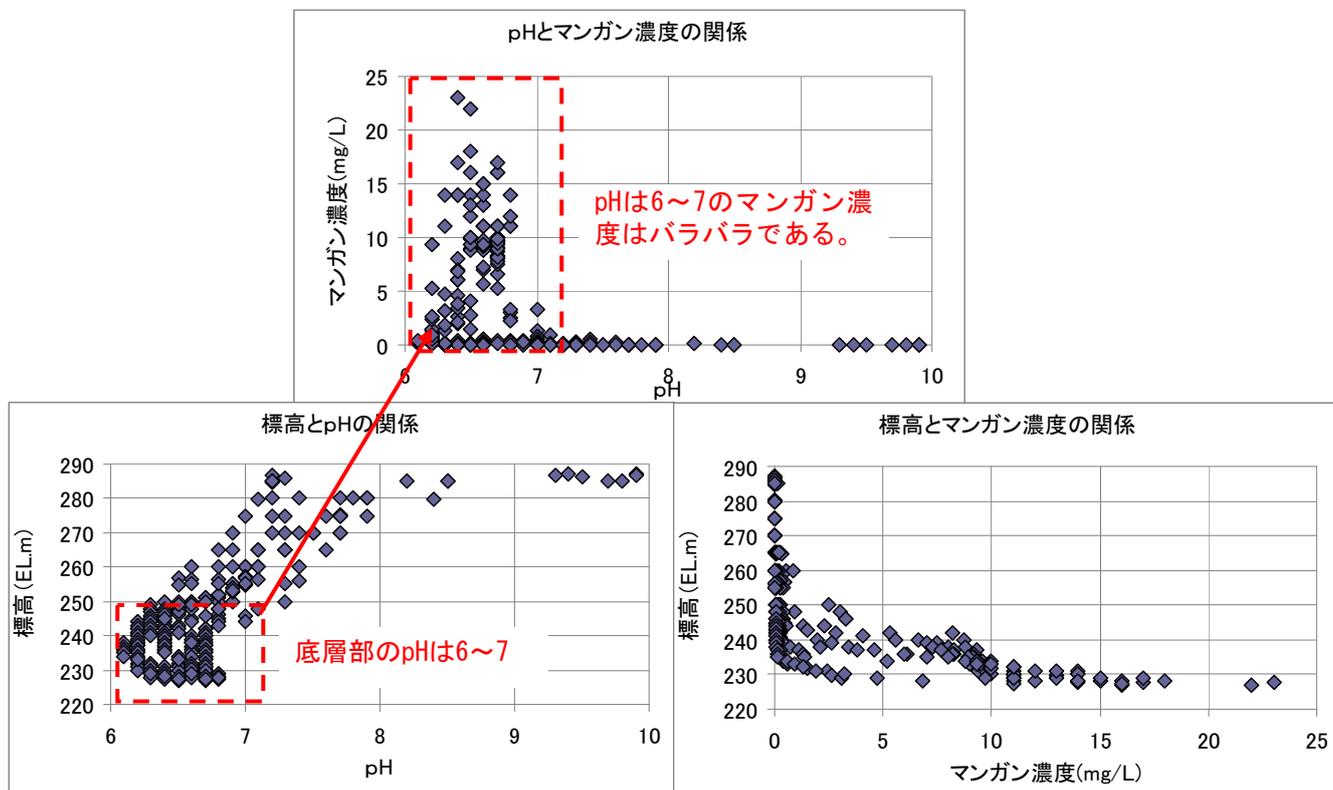


図2-35 pHとマンガンの濃度及び標高の関係

次に、DOの上昇がpHを変化させているかを検討した。pHが高くなるのは表層であり、これは光合成によるものである。DOの上昇により、pHは変化していないと考えられる。

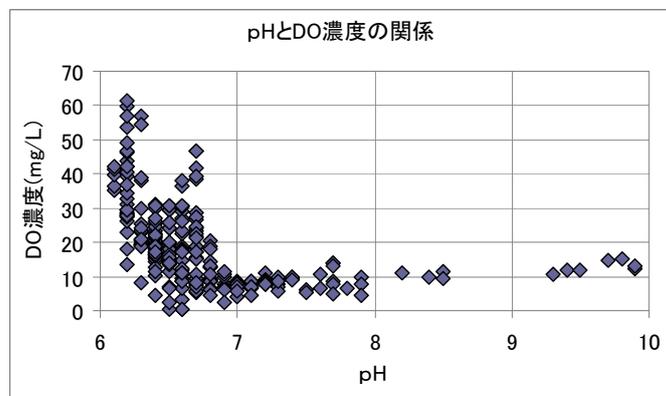


図2-36 pHとDOの関係

ECとマンガン濃度の関係は図2-37のとおりであり、酸化が進むにつれて関係性が変化しており、9月と10月の間にECとマンガンの関係が大きく変化している。今後も関係性は一定とはならず、ECからマンガン濃度を推定することは難しいと考えられる。

ECは溶解した物質の総量に関係するため、マンガンの変化がECを変化させるのは一部に留まるためであると考えられる。

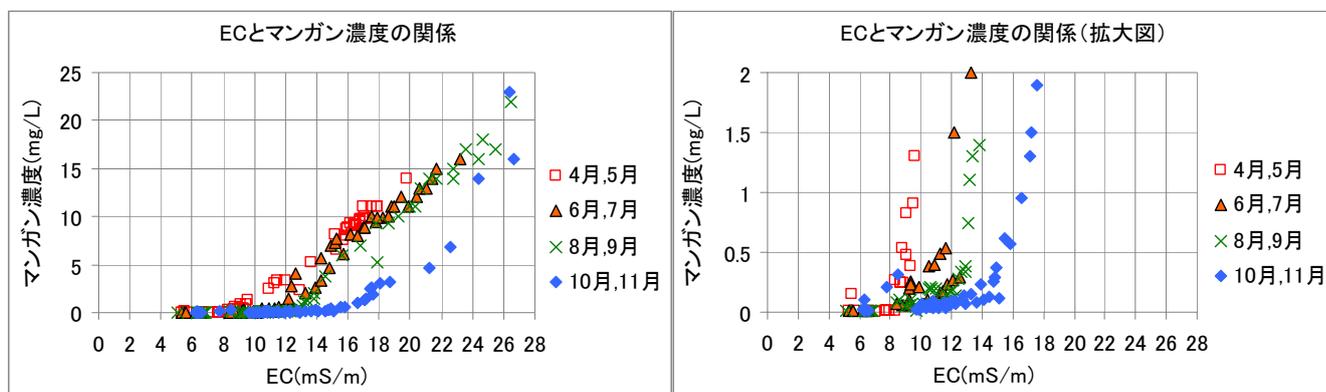


図2-37 ECとマンガンの関係

鉄濃度とマンガン濃度の関係は図2-38のとおりであり、関係性が一定ではない。4月～5月は鉄濃度の減少がマンガンの減少よりも大きかったが、その後徐々にマンガンの減少が進んでおり、鉄が0にならなくてもマンガンが酸化していることがわかる。

なお、11月は高濃度酸素溶解装置の停止後の結果であり、鉄、マンガンの再溶出によりマンガンに比べて鉄の比率が上昇している。

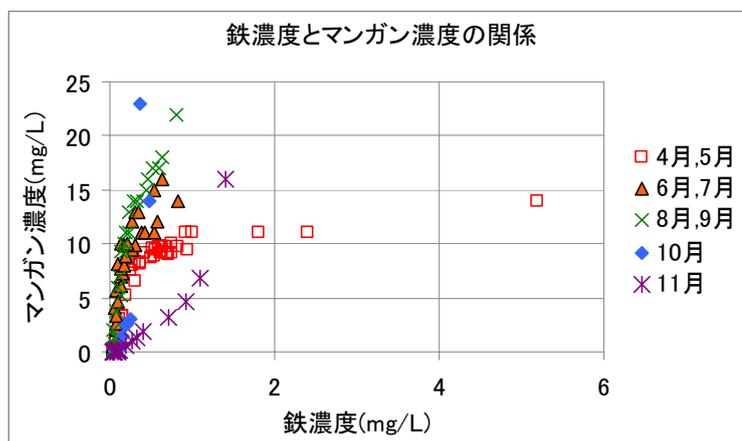


図2-38 鉄濃度とマンガンの関係

以上より、簡易水質計測結果のうち、酸素供給高さの判断に使えるデータはD0のみであることがわかった。

2.6 M-6におけるマンガン存在量と今後の対応について

これまでに、水質改善範囲はM-1付近を対象に行っている。しかし、M-6付近で重金属類が高濃度化しており、冬季に貯水位が低下した場合など、ここから重金属類がM-1へ流入する可能性もある。このため、酸化に時間のかかるマンガンについて、この範囲に存在する物質を求め、M-6を対象にした対策の必要性を検討した。

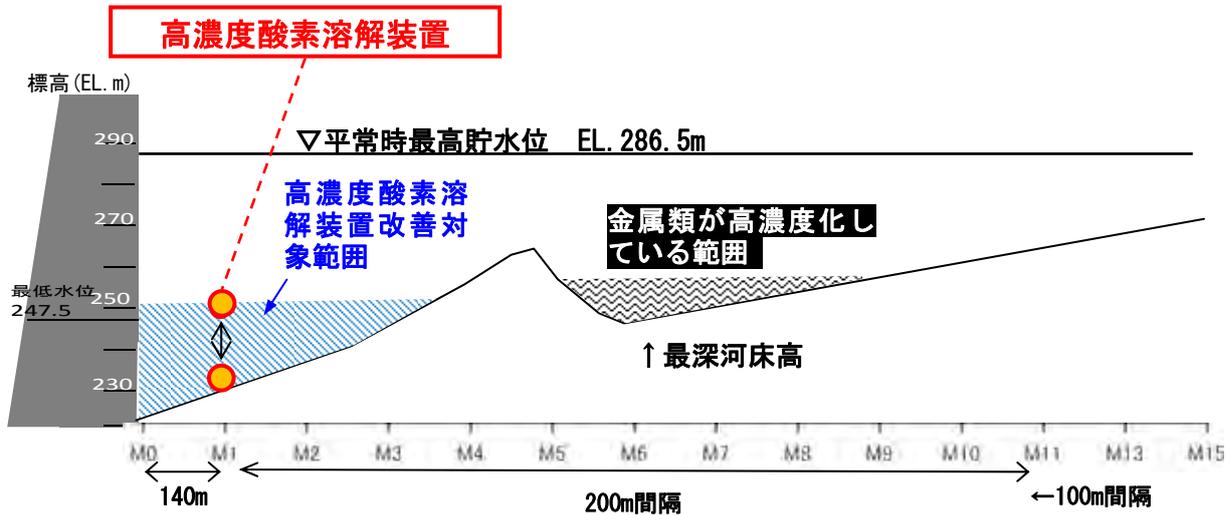


図 2-39 水質保全装置の鉛直縦断位置図

M-6における水質調査結果を以下に示す。濃度の高いEL. 255m以深のマンガンの存在量を、貯水位1m当たりの[濃度×貯水量]で算出すると、水中のマンガン存在量は2,394kgとなった。M-6付近のマンガン量は、M-1付近に平成22年2月に含まれていた量の約46%となった。

調査年月日：平成23年11月28日

貯水位		286.41m								
地点		M-6(計器測定)				M-6				
測定水深		水温	DO	導電率	pH	ヒ素	鉄	マンガン	溶解性マンガン	蒸発残留物
EL(m)	水深(m)	℃	mg/L	mS/m	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
286.1	(0.3)	13.6	9.7	6.2	7.1	0.001	0.03	0.014	0.012	58
285.0	(1.4)	13.4	9.6	6.2	7.1	0.001	0.03	0.019		48
280.0	(6.4)	13.2	8.7	6.2	7.0	0.001	0.03	0.012		47
275.0	(11.4)	13.2	8.7	6.2	7.0	< 0.001	0.03	0.013		51
270.0	(16.4)	12.7	8.7	6.2	7.0	< 0.001	0.04	0.011		49
265.0	(21.4)	11.0	6.4	6.9	7.0	0.001	0.08	0.052		52
260.0	(26.4)	6.0	1.5	9.4	6.7	< 0.001	0.06	0.14		66
255.0	(31.4)	5.7	< 0.5	18.9	6.5	0.006	2.4	6.9	6.7	87
253.0	(33.4)	6.0	< 0.5	29.9	6.6	0.056	37	9.0		180
251.0	(35.4)	6.3	< 0.5	34.0	6.7	0.073	43	9.2	9.1	190
249.0	(37.4)	6.5	< 0.5	38.3	6.8	0.11	55	9.4		220
247.0	(39.4)	6.9	< 0.5	42.1	6.9	0.14	62	9.8	9.3	250
246.0	(40.4)	7.0	< 0.5	46.1	6.9	0.17	78	12	11	270

M-6 底層に存在する重金属類については、これまでにあまり濃度の変化が見られない。平成21年～平成23年の3年間に於いても、表 2-9 (No. 41～43) に示す出水の存在にも関わらずほとんど濃度は変化していない (図 2-40)。この理由として、表 2-9に示すとおり、各出水時の迎水位は最低でもEL. 281.55m (H17.7.3) であることから、既往の出水では重金属類が高濃度化しているEL. 255m以深には流れが到達していないと推察される。このため、M-6 底層は今後も現状を維持する可能性が高いと考えられる (溶出した重金属類による密度勾配により安定している)。

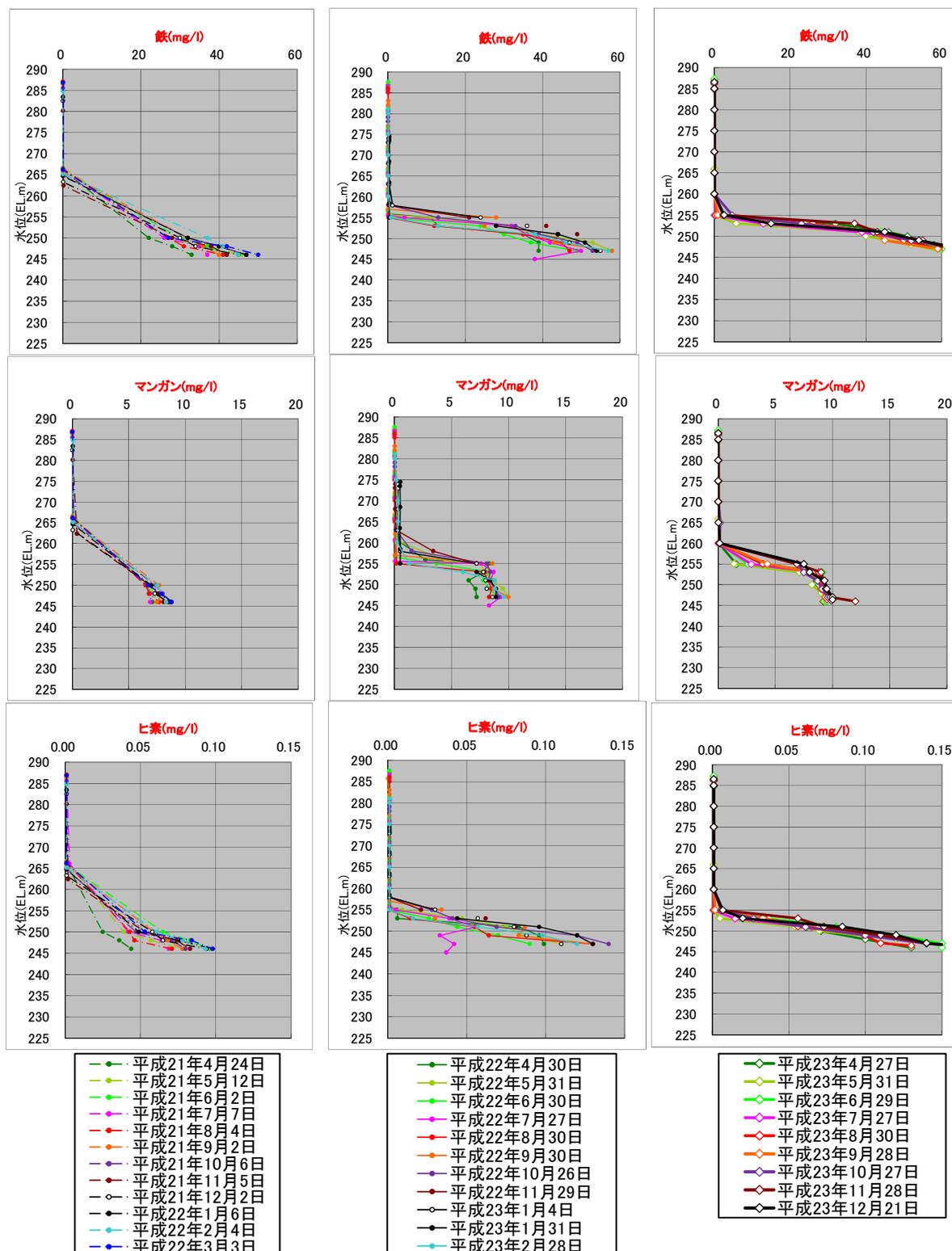


図 2-40 M-6における重金属の鉛直分布 (再掲)

表 2-9 既往の洪水調節実績

No.	年月日	原因	総雨量(mm)	最大流入量 (m ³ /s)	迎水位 (EL. m)
1	S57. 7. 13	梅雨前線	95	53	-
2	S57. 7. 16	梅雨前線	166	90	-
3	S57. 7. 23	梅雨前線	204	54	-
4	S58. 6. 21	梅雨前線	148	54	286. 93
5	S58. 7. 16	梅雨前線	220	52	286. 79
6	S59. 8. 22	台風 10 号	197	100	286. 58
7	S60. 6. 23	梅雨前線	214	119	286. 82
8	S60. 6. 27	梅雨前線	222	128	288. 27
9	S61. 6. 15	梅雨前線	240	99	286. 76
10	S61. 7. 15	梅雨前線	153	71	287. 45
11	S62. 7. 19	梅雨前線	143	61	287. 70
12	S62. 8. 13	降雨	117	62	286. 88
13	H1. 7. 12	梅雨前線	172	207	287. 64
14	H1. 9. 10	降雨	53	52	287. 03
15	H2. 6. 15	降雨	251	107	286. 96
16	H3. 7. 4	梅雨前線	178	65	287. 39
17	H3. 7. 29	台風 9 号	121	59	287. 06
18	H4. 8. 8	台風 10 号	186	85	285. 24
19	H5. 7. 2	梅雨前線	139	68	287. 75
20	H5. 7. 17	梅雨前線	178	68	287. 21
21	H5. 7. 27	台風 5 号	159	72	286. 93
22	H7. 7. 2	梅雨前線	221	73	286. 67
23	H7. 7. 22	梅雨前線 台風 3 号	106	65	287. 04
24	H9. 5. 8	低気圧	163	79	286. 75
25	H9. 5. 13	低気圧	218	76	287. 02
26	H9. 6. 28	台風 8 号	206	76	284. 76
27	H9. 11. 26	前線	202	93	285. 58
28	H10. 10. 17	台風 10 号	175	76	283. 67
29	H11. 6. 29	梅雨前線	123	92	287. 48
30	H11. 9. 24	台風 18 号	141	205	287. 44
31	H13. 6. 19	梅雨前線	178	105	286. 00
32	H15. 8. 28	前線	62	56	286. 88
33	H16. 8. 1	台風 10 号	201	70	285. 80
34	H16. 8. 30	台風 16 号	195	132	286. 85
35	H16. 9. 7	台風 18 号	91	63	286. 97
36	H17. 7. 3	梅雨前線	250	64	281. 55
37	H17. 9. 6	台風 14 号	366	158	284. 73
38	H18. 4. 11	前線	196	52	286. 91
39	H18. 5. 10	前線	149	68	287. 20
40	H18. 6. 26	梅雨前線	184	66	287. 75
41	H21. 7. 20	梅雨前線	159	125	286. 95
42	H22. 7. 12	梅雨前線	299	92	288. 02
43	H23. 5. 10	前線及び 低気圧	318	84	286. 80

なお、もし仮にM-1の底層部にマンガン全てが移動した場合でも、M-1付近は高濃度酸素溶解装置によりD0が高い状態に維持されているため、4～5ヶ月程度で現状（最低水位（EL. 247.5m）で水道水質基準を満足する状態）になると考えられる。

このため、利水への障害等は発生しないと考えられることから、M-6を対象に高濃度酸素溶解装置を増設する必要はないと考えられる。

なお、M-6に存在する重金属類について、渇水時に出水が来た場合などの特殊な状態が発生した場合には、臨時水質調査を実施し、M-1、M-6及び放流水の水質を監視することとする。

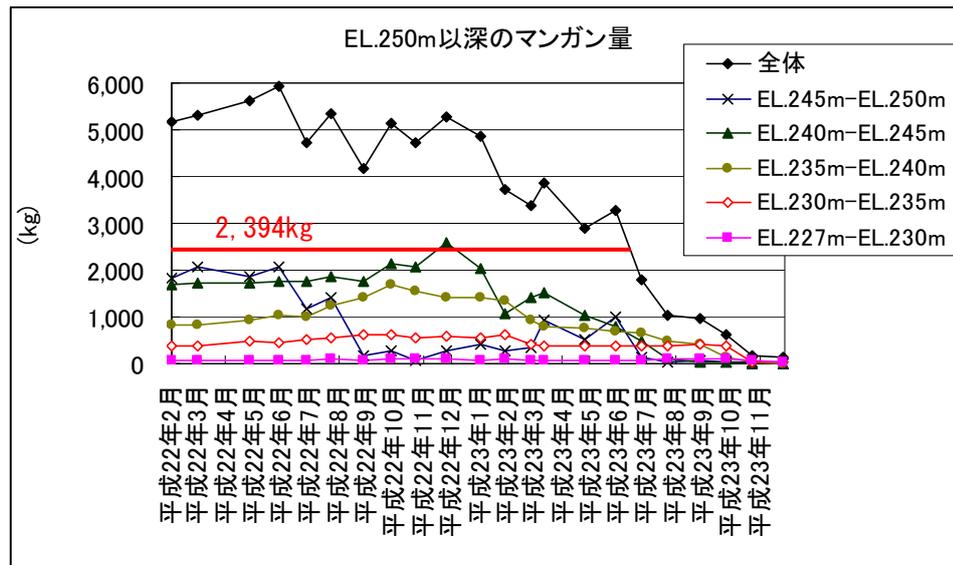


図 2-41 M-1におけるマンガン量(EL. 250m以深)の推移

2.7 高濃度酸素溶解装置稼働により得られた結果のまとめ

平成22年4月よりM-1で高濃度酸素溶解装置を運用し、詳細な水質モニタリングを行うことで、以下の知見を得た。これを基に平成24年度以降の装置の運用を検討することとする。

表 2-10 得られた結果のまとめ

得られた結果	検討箇所
鉄とヒ素は酸化が早く、酸素供給により水中の鉄・ヒ素は速やかに沈降させられる。	2.1.1 金属濃度等の低減状況
マンガンは酸化は遅いものの、2年目には底層まで酸化が進み、最低水位(EL. 247.5m)までは改善は完了した。	2.1.1 金属濃度等の低減状況
水深が60m近くある箇所での酸素供給であり、D0は通常よりも多く溶解する。M-3付近までD0を供給するためには、M-1のD0は50mg/Lを超える状況もありうる。	2.1.3 水温・D0・pHの鉛直分布
ダム供用後の29年間で508 tの鉄、17 tのマンガン、0.30 tのヒ素が貯水池に貯留された。	2.2.1 貯水池への物質収支
平成22年2月にM-1底層部に存在した鉄は約7,500kg、マンガンは約5,000kg、ヒ素は約16kgであったが、平成23年11月にはいずれもほとんどみられなくなった。	2.2.2 水中に溶解している重金属量の変化
酸素供給2年目にあたる平成23年11月14日～12月21日の37日間で0.02(mg/L/日)であり、酸素供給が進むにつれ、酸素消費速度は減少していった。	2.3 酸素消費速度の検討
マンガンの減少速度[mg/L/30日]=0.6167×当初マンガンの濃度[mg/L]+0.124と試算された。	2.4 マンガンの減少に関する検討
底層のpHは酸素供給前後で変化せず6～7であり、マンガンの酸化にpHは関係していない。 また、ECとマンガン濃度の関係は時期によって変化するため、ECのみでマンガン濃度は推定できないが、ECが10mS/mを下回れば概ねマンガンがなくなっている。 水質簡易計測結果のうち、酸素供給高さの判断に使えるデータはD0のみである。	2.5 水質簡易計測結果(D0、pH、EC)と重金属類濃度の関係
M-6に重金属類が高濃度化したまま残存しているが、M-6を対象に高濃度酸素溶解装置を増設する必要はない。	2.6 M-6におけるマンガン存在量と今後の対応について

第3章 今後の高濃度酸素溶解装置の運用方法（案）

3.1 使用する電力について

島地川ダムでは第3回委員会の提言を受けて管理用発電施設の設置を検討し、ダム右岸側にある利水放流管を通過する放流量を用いて以下のとおり発電する計画として現在工事を進めている。

発電された電力は高濃度酸素溶解装置（22.5kW：年間連続運転時200MWh）と島地川ダム管理支所（年間110MWh程度）に供給されるが、全量を賄えるように設計されていることから、基本的に高濃度酸素溶解装置と管理支所に必要な電力以上の発電能力がある。よって管理用発電施設からの電力量を条件とはせずに検討する。

表 3-1 管理用発電施設の発電能力

有効落差（最大）	61.0 (m)
最大使用水量	1.20 (m ³ /s)
最大出力	510 (kW)
年間可能発電電力量	3,128* (MWh)

※年間約1千戸分の年間消費電力に相当

CO₂削減量：2,355t-CO₂/年

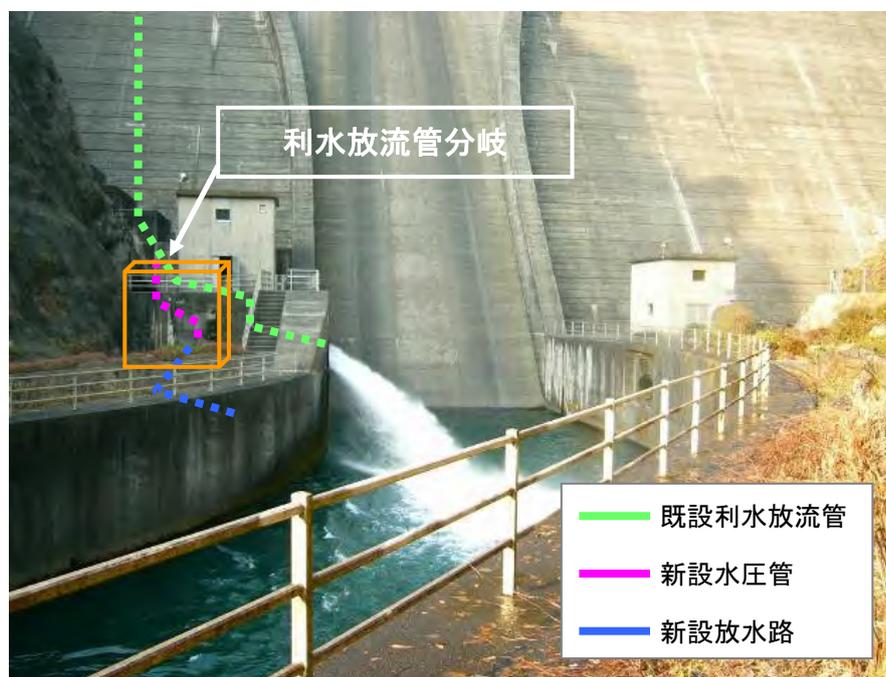


図 3-1 管理用発電施設のイメージ

3.2 高濃度酸素溶解装置の運用方針（案）

平成22年度及び平成23年度の高濃度酸素溶解装置の運用は、ダム竣工後29年間に貯留された重金属類を酸化・沈降させるために実施した。

このため、上層より状況を水質の変化を把握しながら、徐々に下層に下げて行った。

しかし、これまでの運用により、鉄とヒ素はほとんど改善が終了しており、マンガンについても最低水位(EL. 247.5m)で水道水質基準を満足する状態にまで改善している。

このため、今後の高濃度酸素溶解装置の運用については、「底層のD0が不足しないように酸素供給を継続し、底質からの重金属の再溶出を防ぐ」ことを目的として実施する。

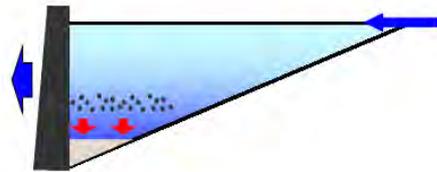


図 3-2 H23の運用方針:底層部に溶解している重金属を酸化・沈降させる

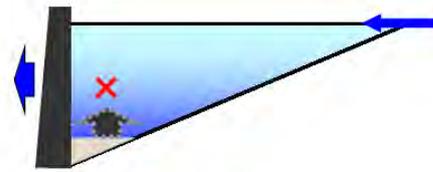


図 3-3 H24以降の運用方針:D0供給を継続し、底層部に沈降した重金属の再溶出を防ぐ

高濃度酸素溶解装置の運用に最も重要な情報となる、酸素消費速度は以下のとおりである。

表 3-2 これまでに得られた酸素消費速度

Case	酸素消費速度	計測年月	備考
Case1	0.02mg/L/日	平成23年11～12月	酸化される物質は概ね酸化された状態
Case2	0.137mg/L/日	平成22年9～11月	高濃度酸素溶解装置の運用が2巡目を迎えた状態
Case3	0.63mg/L/日	平成22年4～6月	ダム供用後に貯留された栄養塩類や金属類等に酸素を消費される状態

これを基に、既に一定の酸素濃度がある場合に、酸素消費速度に釣り合う酸素を送るのに必要な酸素供給継続日数を検討した。各高さにおける必要日数は次ページに記すとおりとなる。

なお、既に水質改善が完了している高さとしてEL. 249m～EL. 250mは対象外とした。

Case1の場合、4 mごとに必要な日数を積算すると1日当たり0.088日となることから、装置の稼働率が8.8%で賄えることになる。ただし、これは出水がない期間による算出であり、上流からの栄養塩類や金属類の流入がない状態といえる。Case 2の場合は0.606日であることから1稼働率は60.6%、1ヶ月には19日運用させればよいことになる。Case 3の場合は必要日数が1を超えており、酸素の消費に供給が間に合わないが、これは水質改善当初のものであり今後は想定されない。

Case 1

標高	①1m当たりの容量 (m3)	②必要酸素(kg/日) 消費分	③必要日数
	ダムコンデータより	観測値0.02g/m3/日 × ①	②/(164.3/4(効果範囲4m) ※
248	87000	1.7	0.042
247	56788	1.1	0.028
246	52058	1.0	0.025
245	47534	1.0	0.023
244	43216	0.9	0.021
243	39104	0.8	0.019
242	35197	0.7	0.017
241	31495	0.6	0.015
240	28000	0.6	0.014
239	24710	0.5	0.012
238	21625	0.4	0.011
237	18746	0.4	0.009
236	16073	0.3	0.008
235	13606	0.3	0.007
234	11344	0.2	0.006
233	9288	0.2	0.005
232	7437	0.1	0.004
231	5792	0.1	0.003
230	4352	0.1	0.002
229	3119	0.1	0.002
228	2091	0.0	0.001
227	1268	0.0	0.001

赤字は代表させた日数(ブロックの最大値) ↑ 赤字合計 0.088

Case 2

標高	①1m当たりの容量 (m3)	②必要酸素(kg/日) 消費分	③必要日数
	ダムコンデータより	観測値0.137g/m3/日 × ①	②/(164.3/4(効果範囲4m) ※
248	87000	11.9	0.290
247	56788	7.8	0.189
246	52058	7.1	0.174
245	47534	6.5	0.158
244	43216	5.9	0.144
243	39104	5.4	0.130
242	35197	4.8	0.117
241	31495	4.3	0.105
240	28000	3.8	0.093
239	24710	3.4	0.082
238	21625	3.0	0.072
237	18746	2.6	0.062
236	16073	2.2	0.054
235	13606	1.9	0.045
234	11344	1.6	0.038
233	9288	1.3	0.031
232	7437	1.0	0.025
231	5792	0.8	0.019
230	4352	0.6	0.015
229	3119	0.4	0.010
228	2091	0.3	0.007
227	1268	0.2	0.004

赤字は代表させた日数(ブロックの最大値) ↑ 赤字合計 0.606

Case 3

標高	①1m当たりの容量 (m3)	②必要酸素(kg/日) 消費分	③必要日数
	ダムコンデータより	観測値0.63g/m3/日 × ①	②/(164.3/4(効果範囲4m) ※
248	87000	54.8	1.334
247	56788	35.8	0.871
246	52058	32.8	0.798
245	47534	29.9	0.729
244	43216	27.2	0.663
243	39104	24.6	0.599
242	35197	22.2	0.540
241	31495	19.8	0.483
240	28000	17.6	0.429
239	24710	15.6	0.379
238	21625	13.6	0.332
237	18746	11.8	0.287
236	16073	10.1	0.246
235	13606	8.6	0.209
234	11344	7.1	0.174
233	9288	5.9	0.142
232	7437	4.7	0.114
231	5792	3.6	0.089
230	4352	2.7	0.067
229	3119	2.0	0.048
228	2091	1.3	0.032
227	1268	0.8	0.019

赤字は代表させた日数(ブロックの最大値) ↑ 赤字合計 2.786

Case 2 を採用した場合の 5 週間ごとの運用（案）を以下に示す。

Case 2			
標高	①1m当たりの容量 (m3)	②必要酸素(kg/日) 消費分	③必要日数
	ダムコンデータより	観測値0.137g/m3/ 日×①	②/(164.3/4(効果範 囲4m)※
248	87000	11.9	0.290
247	56788	7.8	0.189
246	52058	7.1	0.174
245	47534	6.5	0.158
244	43216	5.9	0.144
243	39104	5.4	0.130
242	35197	4.8	0.117
241	31495	4.3	0.105
240	28000	3.8	0.093
239	24710	3.4	0.082
238	21625	3.0	0.072
237	18746	2.6	0.062
236	16073	2.2	0.054
235	13606	1.9	0.045
234	11344	1.6	0.038
233	9288	1.3	0.031
232	7437	1.0	0.025
231	5792	0.8	0.019
230	4352	0.6	0.015
229	3119	0.4	0.010
228	2091	0.3	0.007
227	1268	0.2	0.004

赤字は代表させた日数(ブロックの最大値) ↑ 赤字合計 0.606

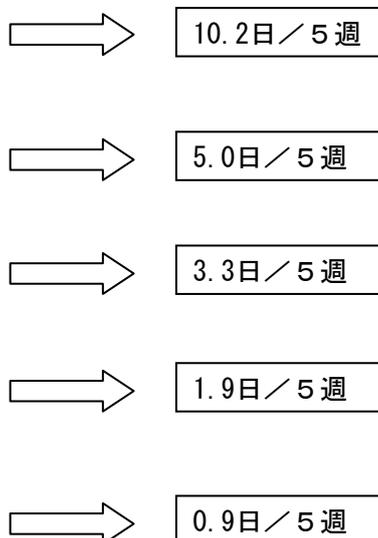


図3-4 高さごとに必要な日数 (35日ごと)

		月	火	水	木	金	土	日	必要日数
第1週	EL.247	9:00吐出高調整							10.2
第2週	EL.247					予備日	予備日	予備日	
第3週	EL.243	9:00吐出高調整							5.0
第4週	EL.239	9:00吐出高調整							
第5週	EL.235	9:00吐出高調整							1.9
	EL.231			17:00吐出高調整		予備日	予備日	予備日	

M-3底層高さ
M-1,2底層高さ

図3-5 平成24年度の運用（案）

Case 2 を採用することによる酸素消費速度に不確実性が存在するため、実際は必要日数が変化するが、これは次のとおり対応する。

<運用の検討方針>

- 酸素供給が不要と想定される日数は予備日として設定する（EL. 243mの週は土日の装置の操作が必要となるため予備日を設定しない）。
- 実際には高さごとの必要日数が変わることが考えられるが、これは予備日の運用で対応することとし、基本的な運用は変更しない。
- 平成23年11月～平成24年1月の装置の停止により、酸素が届きにくい最深部からの溶出がみられたことから、平成24年度は冬季も運転する。
- 管理用発電の設置以降（平成25年2月）は、点検等で発電が行われない場合には装置を停止する（冬季【12～2月】に買電が必要な場合、装置は停止する）。

Case2(平成22年秋季)は、改善途中の状態であることから、酸素消費速度が過大なである可能性がある。このため、予備日は使わなくても、既に余裕のある状態である。一方で、底層直上は局所的に酸素消費速度が高い可能性がある。

以上を踏まえ、平成24年度は図3-5に着色した高さ（予備日は休止）で運用を行いながら、M-1～M-3の簡易水質調査を実施し、予備日の今後の取り扱いについてのデータを取得することとする。

<平成24年度>

- 4月～5月の1巡目は、予備日には停止する。
- M-1～M-3の簡易水質調査（毎月）を実施し、D0の過不足を確認する。また、今後のために表面の泡の発生状況との関係を把握しておく。
- 5月下旬の調査でM-1～M-3底層部のD0を確認し、D0>4mg/Lを満たせなければ、その後予備日は運転する。
- EL. 247mは貯水容量が大きいことから、M-3でD0>4mgを満たせなければ予備日に運転することとする。

3.3 平成25年以降の運用方針（案）

平成24年度には図3-5の運用を行いながら、M-1からM-3のD0の状況を監視するとともに、表層での泡の発生状況と底層部でのD0の飽和状況の関係を把握する。

この結果を用いて、平成25年度以降は以下の考え方で運用の見直しを行う。

<平成25年度の修正方針>

- 酸素供給日数に過不足が生じた場合には、予備日を他の高さで調整する。
- 酸素の飽和状態が継続していた場合、予備日は機器の停止日とする。
- 停止に関して、表面の泡の発生頻度から底層の酸素の飽和状況がわかるようになった場合は、停止の判断目安とする。
- 酸素が不足していた場合、M-1からM-3の臨時調査を継続しながら運用を再検討する。（ただし、平成22年～平成23年の2年間で酸素消費速度が0.02mg/L/日（Case1）まで低下したことから、装置の能力が不足する可能性は小さいと考えられる）

第4章 水質モニタリング調査（案）

4.1 今後の水質調査の考え方

4.1.1 重金属類

平成23年12月現在で底層部(EL. 228m)付近でマンガン濃度の減少がみられることから（図2-6参照）、底層部でもマンガンの酸化が始まっていることがわかる。

最深部に数mの酸素を供給しにくい範囲があるが、この範囲の容量は小さく、現状で既に貯水池の管理上の問題（赤水、黒水問題や下流へのヒ素の放流）は発生しにくい状況になったと考えられる。

以上から、今後は1ヶ月ごとの定期調査で底層(EL. 227m付近)の鉄・マンガン・ヒ素の濃度を監視し、これらが高くなった場合には、翌月にEL. 230m以深の鉄・マンガン・ヒ素を1mピッチで測る計画である。

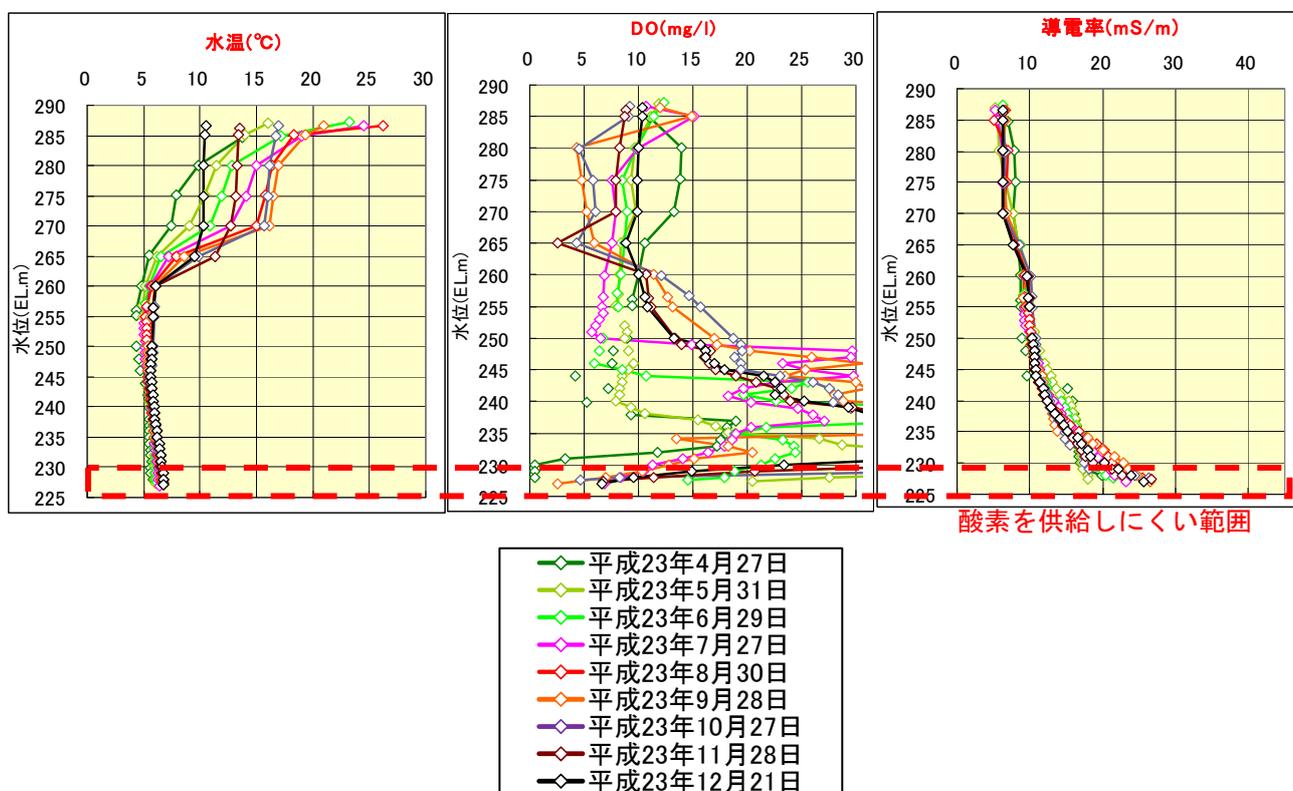


図4-1 平成23年度の鉛直水質調査結果

4.1.2 簡易計測項目（水温、DO、EC）

平成23年12月現在で底層に十分なDOが存在するものの、冬季の全層循環により底層のDOが上層と混合し、水圧の減少によりDOが溶けきれなくなって大気中に放出されると推測される。また、Case2の酸素消費速度を用いたことによる妥当性の確認も必要である。このため、平成24年度は簡易計測項目によりDO等の状況を監視し、装置運用の効果を把握するものとする。

4.2 高濃度酸素溶解装置の運用のための水質調査

底質からの再溶出を防ぐため、D0の状況を把握し、運用の妥当性を確認することが必要である。EL. 243m以深の水質はダムサイトの水質自動観測装置の対象外となることから、水質調査業務による最低限の水質調査は必要である。このため、以下にモニタリング（案）を記載する。

なお、異常湧水時や黒水・赤水発生時の対応は、「改訂ダム貯水池水質調査要領」に従い、特にM-6の状況に注目して水質調査を行う。

4.2.1 平成24年度水質調査計画

表 4-1 M-1において実施中の水質モニタリング調査（月1回）

地 点		M-1(計器測定)			M-1 (分析項目)		
測定水深		水温	D0	導電率	ヒ素	鉄	マンガン
EL (m)	水深 (m)	℃	mg/L	mS/m	mg/L	mg/L	mg/L
286.5	表層	▲	▲	●	▲	●	●
285.0		●	●	●			
280.0		●	●	●			
275.0		●	●	●			
270.0		●	●	●			
265.0		●	●	●			
260.0		●	●	●			
255.0		●	●	●			
250.0		●	●	●	▲※	●※	●※
248.0		●	●	●			
246.0		●	●	●			
244.0		●	●	●			
242.0		●	●	●			
240.0		●	●	●			
239.0		●	●	●			
238.0		●	●	●			
237.0		●	●	●			
236.0		●	●	●			
235.0		●	●	●			
234.0		●	●	●			
233.0		●	●	●			
232.0		●	●	●			
231.0		●	●	●			
230.0		○	○	○	○	○	○
229.0		○	○	○	○	○	○
228.0		○	○	○	○	○	○
227.0	底層	▲	▲	●	▲	●	●

- 凡例) ●：水質モニタリングとして実施 ▲：定期水質調査で実施
 ▲※：定期水質調査は中層で実施するため、貯水位によって高さが異なるが、中層の結果で代用する。
 ●※：▲※と同じ高さで実施する。
 ○：最深部での調査の結果、ヒ素・鉄・マンガンのいずれかが目標値(ヒ素=0.01mg/L、鉄=0.3 mg/L、マンガン=0.05 mg/L)を超える範囲で上昇傾向にある場合に翌3ヶ月間実施する。

表 4-2 M-2, M-3での水質モニタリング調査 (月1回)

地 点		M-2 及び M-3 (計器測定)		
測定水深		水温	DO	導電率
EL (m)	水深 (m)	°C	mg/L	mS/m
286.5	表層	●	●	●
285.0		●	●	●
280.0		●	●	●
275.0		●	●	●
270.0		●	●	●
265.0		●	●	●
260.0		●	●	●
255.0		●	●	●
250.0		●	●	●
248.0		●	●	●
246.0		●	●	●
244.0		●	●	●
242.0		●	●	●
241.0	M-3底層	●	●	●
240.0		●	●	●
239.0		●	●	●
238.0		●	●	●
237.0		●	●	●
236.0		●	●	●
235.0		●	●	●
234.0		●	●	●
233.0		●	●	●
232.0		●	●	●
231.5	M-2底層	●	●	●

4.2.2 平成25年度以降水質調査計画

表 4-3 M-1において実施中の水質モニタリング調査（月1回）

地 点		M-1(計器測定)				M-1 (分析項目)		
測定水深		水温	D0	導電率	pH	ヒ素	鉄	マンガン
EL(m)	水深(m)	℃	mg/L	mS/m	-	mg/L	mg/L	mg/L
286.5	表層	▲	▲	●	▲	▲	●	●
285.0		○	○	○	○			
280.0		○	○	○	○			
275.0		○	○	○	○			
270.0		○	○	○	○			
265.0		○	○	○	○			
260.0		○	○	○	○			
255.0		○	○	○	○			
250.0		▲※	▲※	●※	▲※	▲※	●	●
248.0		○	○	○	○			
246.0		○	○	○	○			
244.0		○	○	○	○			
242.0		○	○	○	○			
240.0		○	○	○	○			
239.0		○	○	○	○			
238.0		○	○	○	○			
237.0		○	○	○	○			
236.0		○	○	○	○			
235.0		○	○	○	○			
234.0		○	○	○	○			
233.0		○	○	○	○			
232.0		○	○	○	○			
231.0		○	○	○	○			
230.0		○	○	○	○	○	○	○
229.0		○	○	○	○	○	○	○
228.0		○	○	○	○	○	○	○
227.0	底層	▲	▲	●	▲	▲	●	●

凡例) ●：水質モニタリングとして実施 ▲：定期水質調査で実施
 ▲※：定期水質調査は中層で実施するため、貯水位によって高さが異なるが、中層の結果で代用する。
 ●※：▲※と同じ高さで実施する。
 ○：最深部での調査の結果、ヒ素・鉄・マンガンのいずれかが目標値(ヒ素=0.01mg/L、鉄=0.3 mg/L、マンガン=0.05 mg/L) を超える範囲で上昇傾向にある場合に翌3ヶ月間実施する。

表 4-4 M-2, M-3での水質モニタリング調査 (月1回)

地 点		M-2 及び M-3 (計器測定)		
測定水深		水温	DO	導電率
EL (m)	水深 (m)	°C	mg/L	mS/m
286.5	表層	○	○	○
285.0		○	○	○
280.0		○	○	○
275.0		○	○	○
270.0		○	○	○
265.0		○	○	○
260.0		○	○	○
255.0		○	○	○
250.0		○	○	○
248.0		○	○	○
246.0		○	○	○
244.0		○	○	○
242.0		○	○	○
241.0	M-3底層	○	○	○
240.0		○	○	○
239.0		○	○	○
238.0		○	○	○
237.0		○	○	○
236.0		○	○	○
235.0		○	○	○
234.0		○	○	○
233.0		○	○	○
232.0		○	○	○
231.5	M-2底層	○	○	○

凡例) ○ : M-1最深部での調査の結果、ヒ素・鉄・マンガンのいずれかが目標値 (ヒ素=0.01mg/L、鉄=0.3 mg/L、マンガン=0.05 mg/L) を超える範囲で上昇傾向にある場合に翌3ヶ月間実施する。

第5章 まとめ（事務局（案））

高濃度酸素溶解装置について

- ・ ダムサイト底層部に溶出していた鉄とヒ素はそのほとんどが酸化・沈降した。
- ・ マンガンについても、最低水位(EL. 247.5m)で水道水質基準を満足する状態にまで改善した。
- ・ 運用の参考のため、簡易項目の水質モニタリング調査を1年間継続し、必要に応じて追加する。
- ・ 装置の運用については5週で1サイクルとし、基本的な日程を設定した。なお、平成24年度に1ヶ月に一度行うD0の鉛直分布の結果を基に、D0が不足する箇所を予備日に供給することとする。
- ・ 平成24年度に表層の気泡の発生状況と底層部のD0の状況を整理し、予備日について見直しを行う。

今後の留意事項について

- ・ 底質の重金属類の濃度について、今後も監視を続け、フォローアップ委員会に報告を行う。ヒ素についてはこれまでに溶出試験を用いてきたが、含有量も合わせて調査を行う。
- ・ M-6に存在する重金属類について、湧水時に出水が発生した場合などには臨時水質調査を実施し、M-1、M-6及び放流水の水質を監視する。