

第 2 回 島地川ダム水質改善検討委員会

委員会資料

平成20年12月9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	島地川ダム水質改善対策の検討方針	1
1.1	島地川ダムについて	1
1.1.1	島地川ダムの位置	1
1.1.2	島地川ダムの目的	2
1.1.3	島地川ダムの諸元	2
1.1.4	貯水池の諸元	3
1.2	島地川ダム底層の水質について	4
1.2.1	水質調査の実施状況	4
1.2.2	鉛直水質	5
1.2.3	水質の経年変化	6
1.2.4	水質の経月変化	7
1.2.5	底層の溶存酸素とヒ素の分布	8
1.2.6	島地川ダムヒ素汚染メカニズム模式図（修正）	9
1.2.7	島地川ダム湖におけるヒ素溶出・循環メカニズム	11
1.3	深層曝気及び底層水揚水・処理設備の工法紹介	12
1.4	水質目標（案）	16
1.4.1	利水上問題となる物質及び想定される問題	16
1.4.2	赤水・黒水発生の可能性について	18
1.4.3	水質現況の整理	22
1.4.4	水質目標の設定	23
第2章	島地川ダム水質対策工法（案）	28
2.1	島地川ダム水質改善効果	28
2.2	底層水揚水・処理法の考え方について	29
2.3	島地川ダム水質改善設備の比較	30
第3章	まとめ	31

第1章 島地川ダム水質改善対策の検討方針

1.1 島地川ダムについて

1.1.1 島地川ダムの位置

島地川ダムは、佐波川水系島地川の山口県周南市大字高瀬地先に位置する多目的重力式ダムで、佐波川総合開発の一環として建設され、昭和56年に竣工した。



図 1-1 島地川ダムの位置図

1.1.2 島地川ダム

島地川ダムは重力コンクリート式の多目的ダムで、洪水調節、流水の正常な機能維持、都市用水の供給を目的としている。以下にこれらの概要をあげる。

a. 洪水調節

ダム地点の計画高水流量 370 m³/s のうち、290 m³/s の洪水調節を行い、下流の水害を防除する。

b. 流水の正常な機能の維持

ダム地点下流の既得用水の補給を行う等、流水の正常な機能の維持をはかる。

c. 都市用水の供給

ダム地点下流の都市用水として、192,000 m³/日 (2.22 m³/s) を供給する。

1.1.3 島地川ダムの諸元

島地川ダムの諸元は、表 1-1 に示すとおりである。

表 1-1 島地川ダムの諸元

ダムの諸元	
位置	山口県周南市大字高瀬 (旧新南陽市)
形式	重力式コンクリートダム
堤高	89.0m
堤頂長	240.0m
堤体積	317,000m ³
非越流部標高	EL. 301.0m
越流部標高	EL. 296.75m

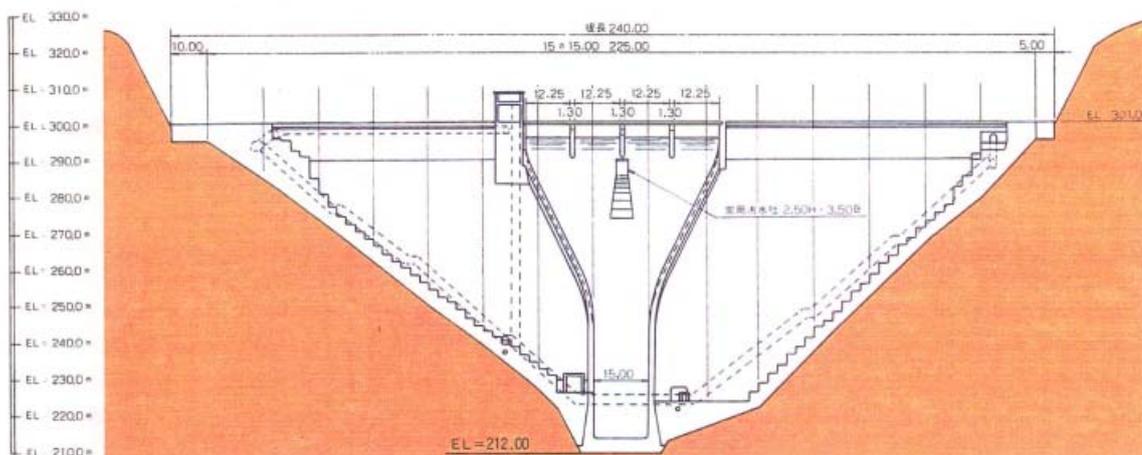


図 1-2 ダム下流面図

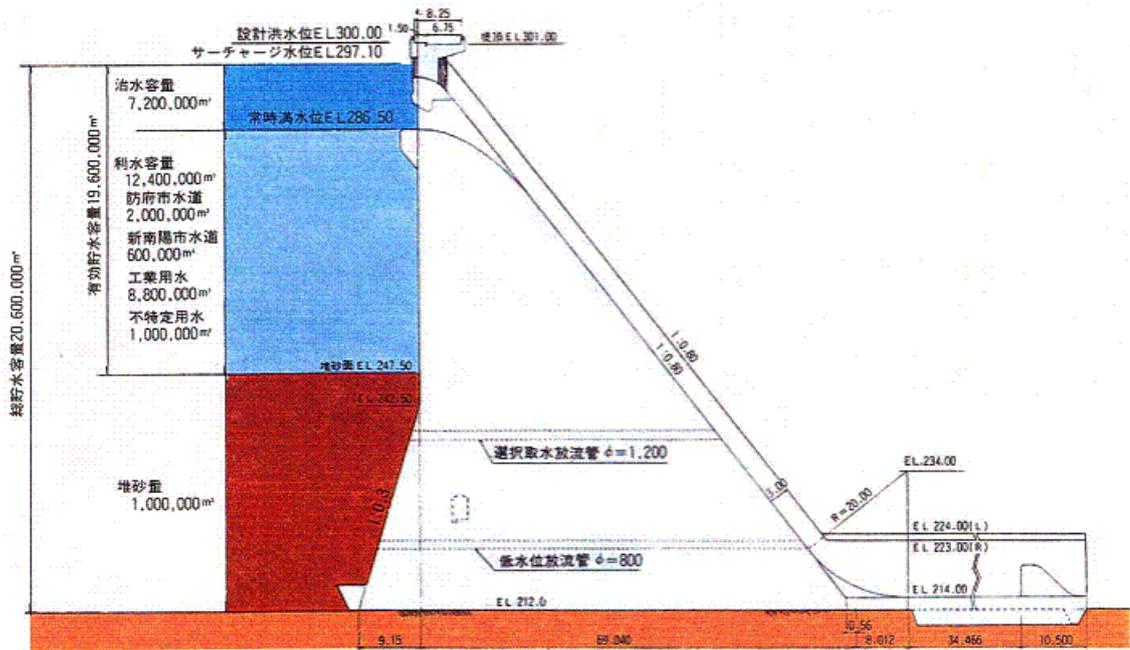


図 1-3 貯水池容量配分図及び越流部標準断面図

1.1.4 貯水池の諸元

貯水池の諸元は、表 1-2 に示すとおりである。

表 1-2 島地川ダム貯水池の諸元

貯水池諸元			
流域面積	32.0 km ²	利水容量	12,400,000 m ³
湛水面積	0.80 km ²	堆砂容量	1,000,000 m ³
総貯水容量	20,600,000 m ³	常時満水位	EL. 286.5 m
有効貯水容量	19,600,000 m ³	サーチャージ水位	EL. 297.1 m
洪水調節容量	7,200,000 m ³	設計洪水位	EL. 300.0 m
常時満水位貯水容量	13,400,000 m ³	最低水位	EL. 247.5 m

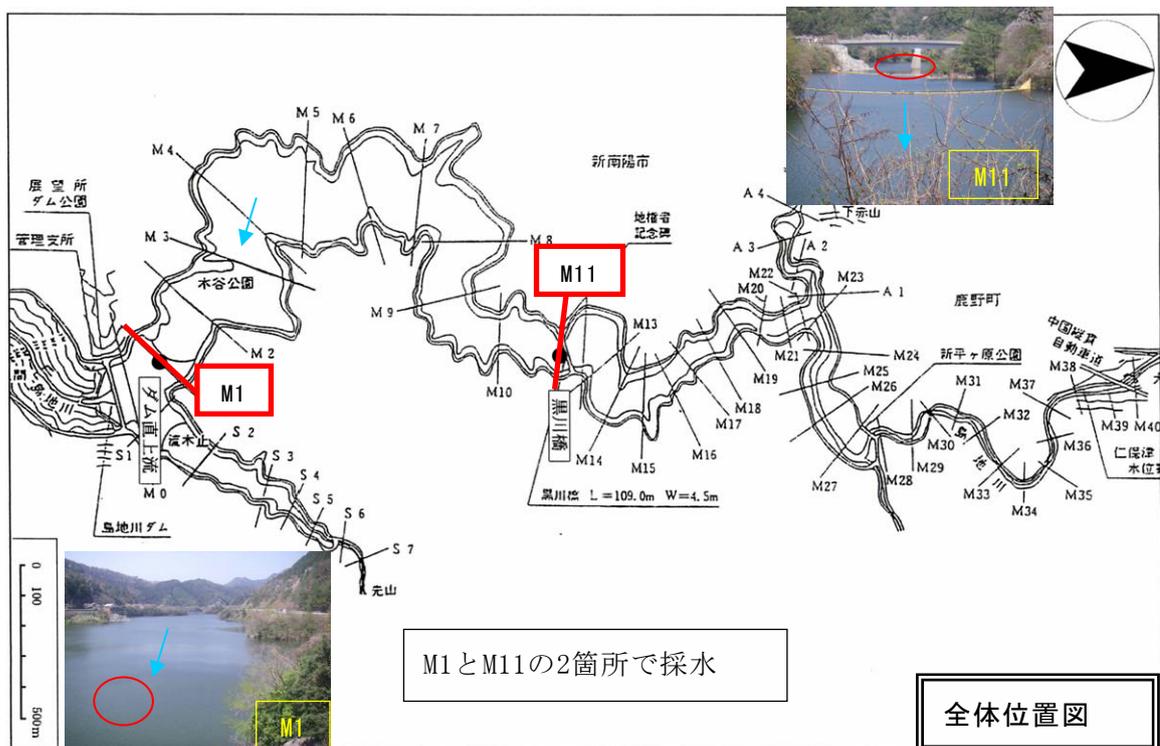
なお、島地川ダムの回転率（貯水池交換回数）は H5～H18 の 14 年平均で 4.3（回／年）（※対常時満水位の貯水量で算出）である。

1.2 島地川ダム底層の水質について

1.2.1 水質調査の実施状況

ダム貯水池内の定期調査は、昭和57年度以降、毎年、M1(ダム直上流)、M11(黒川橋)の2地点、表層・中層・底層の3層において実施している。

ヒ素濃度の調査は、平成5年度から定期調査に加えられ、平成5年度から平成11年度まで年2回、平成12年度以降毎月(年12回)実施している。



1.2.2 鉛直水質

平成19年度のダム直上流地点（M1）の水質鉛直分布を図 1-4に示す。底層の無酸素層は概ねEL. 250m以深にあり、ヒ素、鉄、マンガン濃度も無酸素層に対応して高くなっている。また、底層の水温もEL. 250m付近を境に中層より底層が高いことが特徴である。これは底層の無酸素化に伴う底泥からの金属塩類の溶出により、底層水の密度が高くなっていることが原因と考えられる。

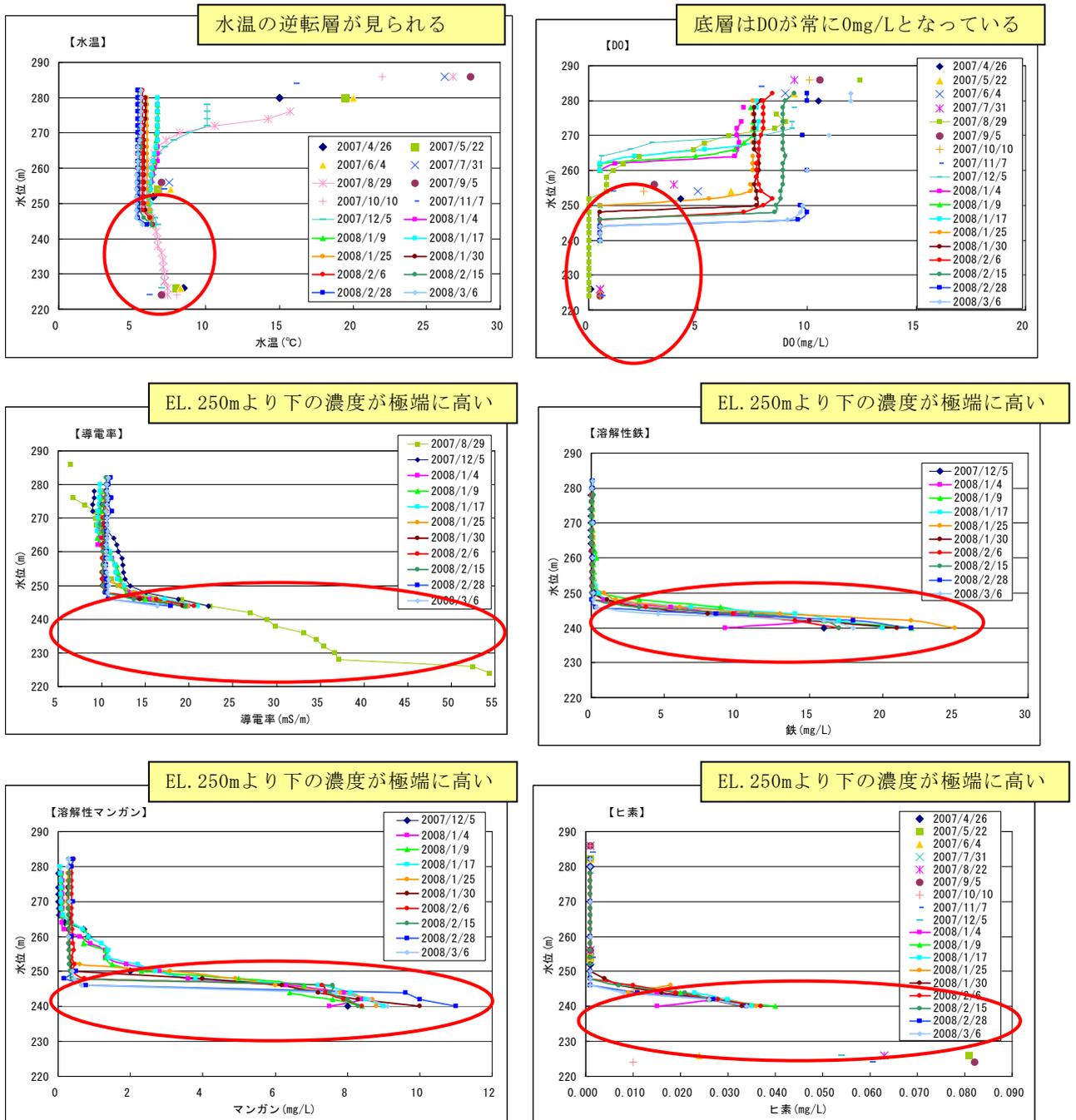
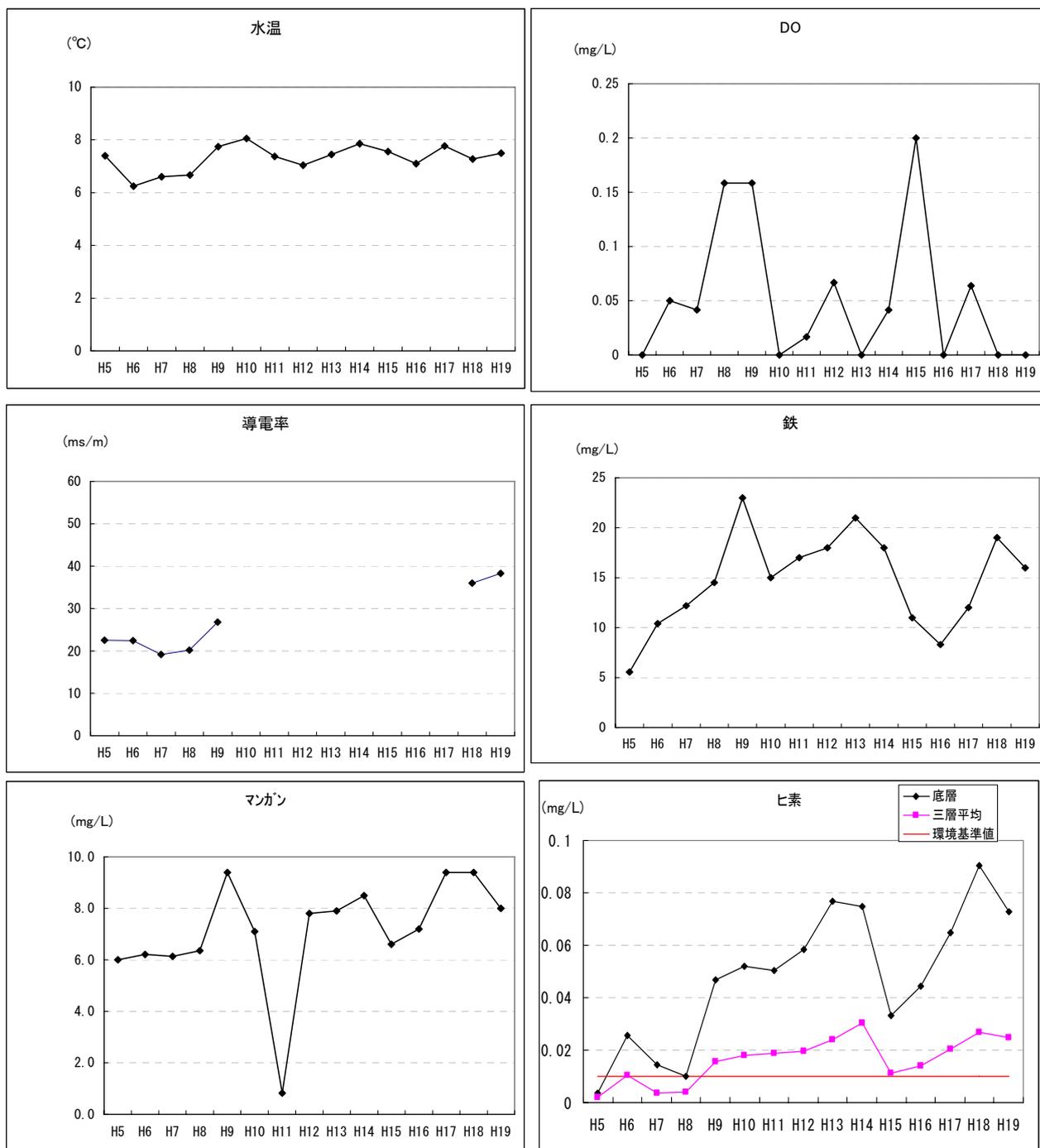


図 1-4 水質の鉛直分布（平成 19 年度，M1）

1.2.3 水質の経年変化

ヒ素濃度が顕在化しはじめた平成5年度以降の定期水質調査結果について、ダム直上流地点（M1）の底層水質の経年変化（年平均値）を図 1-5に示す。ヒ素濃度は鉄濃度とよく似た傾向にあり、経年的に上昇傾向にある。



※ヒ素三層平均の数値は各年1～12月平均値

図 1-5 底層水質の経年変化（平成5～19年度，M1 値の年平均）

1.2.4 水質の経月変化

ダム直上流地点（M1）のDO経年変化の詳細は以下に示すとおりであり、ダム供用時当初以外は、底層のDOは常に0に近い値を示している。

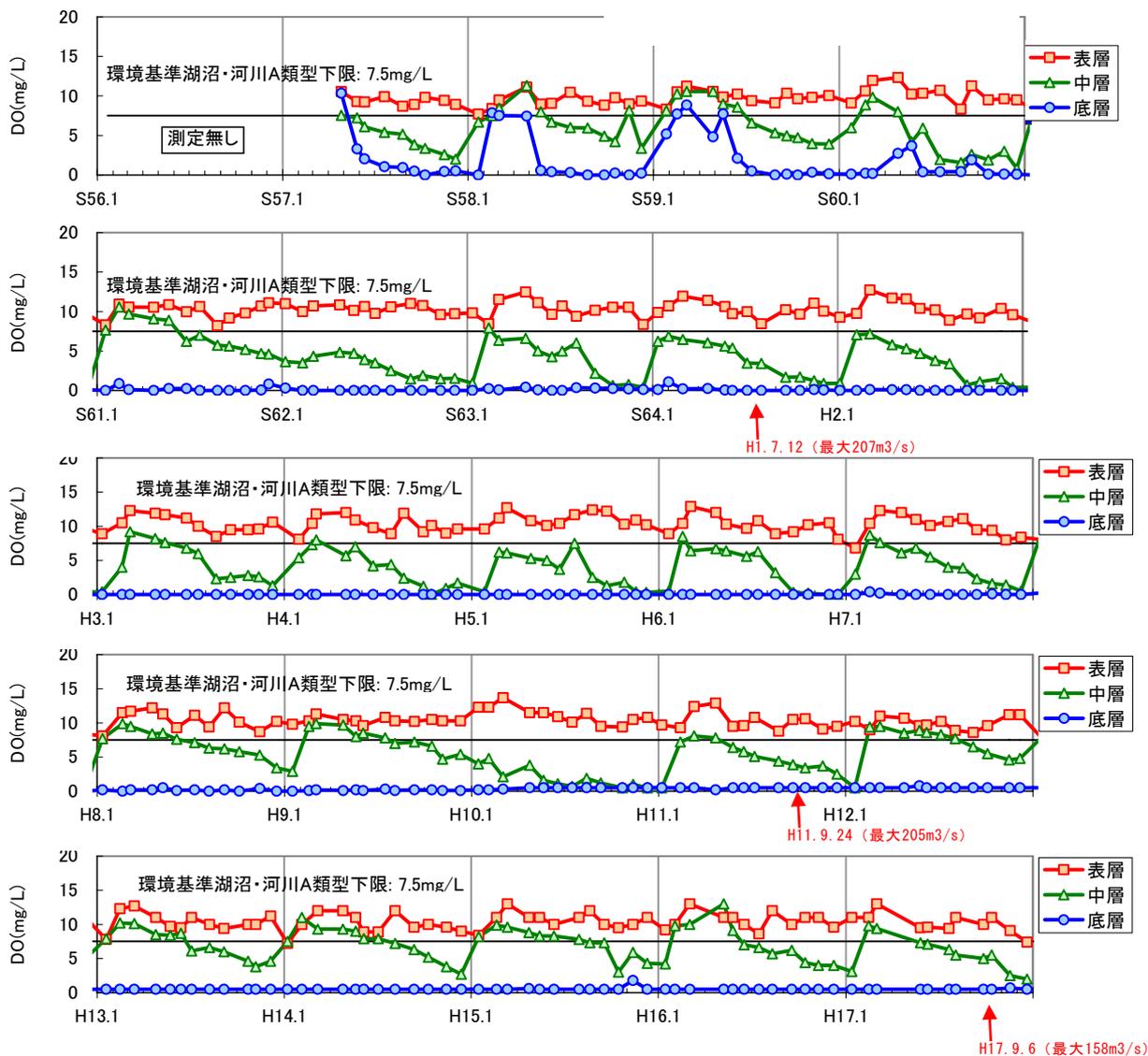
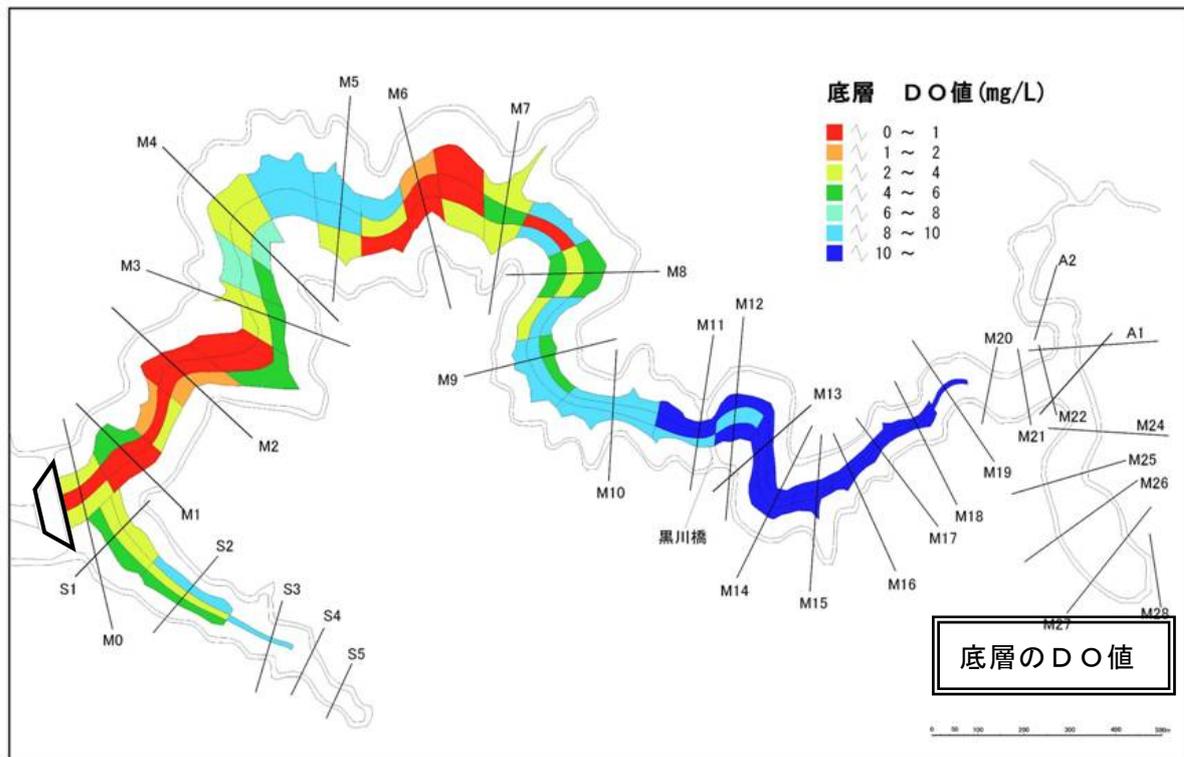


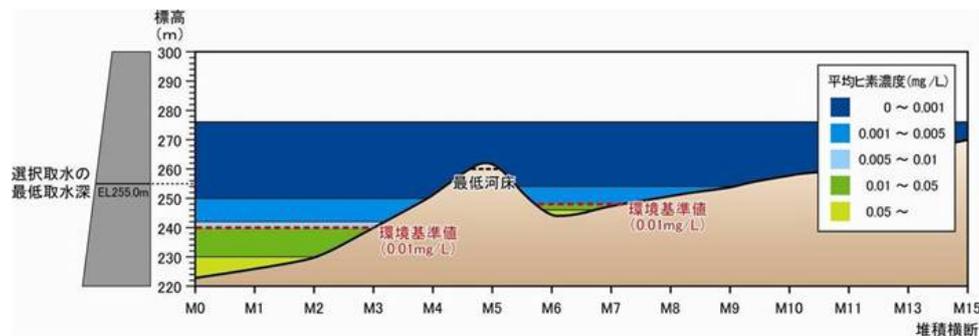
図 1-6 底層の DO 経年変化詳細 (M1)

1.2.5 底層の溶存酸素とヒ素の分布

島地川ダム底層のDO値は以下のとおり推定されており、M1、M6を中心に底層のDOが0に近い値を示している。また、これに対応するように、ヒ素の濃度が高くなると推定されている。



平成18年度調査結果による推定値



平成18年度調査結果による推定値

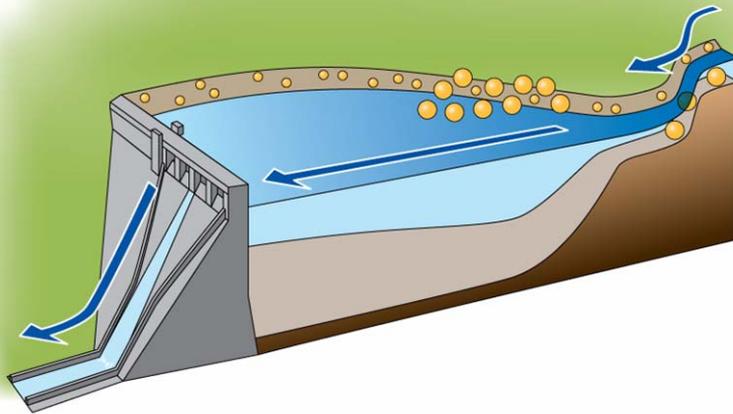
図 1-7 島地川ダム水質調査位置及び底層のDO、ヒ素推定結果

1.2.6 島地川ダムヒ素汚染メカニズム模式図（修正）

第1回委員会で提示したヒ素汚染メカニズム（第1回資料p.34）について、貯水池流入端における出水時の水質調査、底質調査の結果を基に修正を行った（参考資料2，3を参照）。

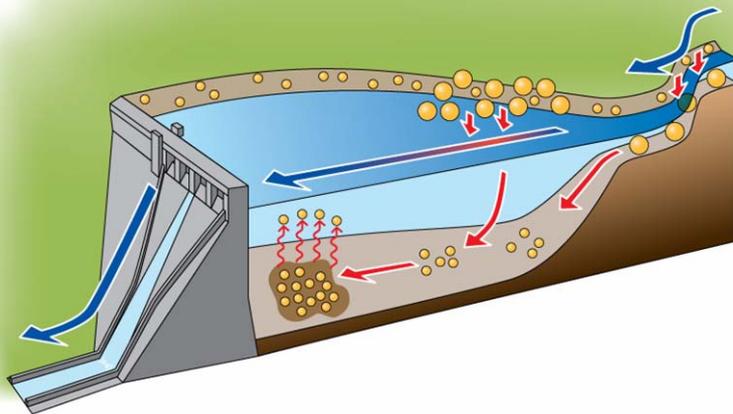
調査の結果、出水時に集水域からの流入があることが把握された。

①昭和56年（ダム完成時）



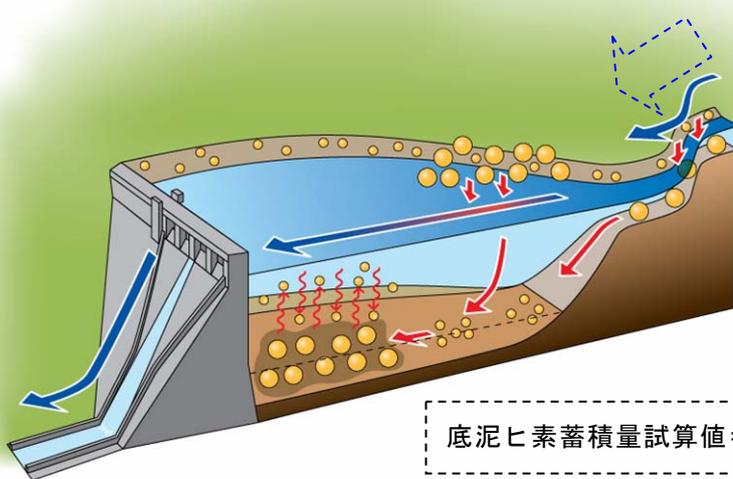
集水域や湖岸周辺土壤に分布

②平成5年（ヒ素調査開始）



出水時等に貯水池に流入し、底部に蓄積、底層の嫌気により溶出

③平成20年（現状）



出水時に上流より流入=400kg*
(ただし、高流量時のSS成分による流入分のみ)

出水時等のさらなる底部沈積、底層の嫌気による溶出と曝気による再沈降を繰り返し、底層濃度が上昇

*：試算法は参考資料2で示す

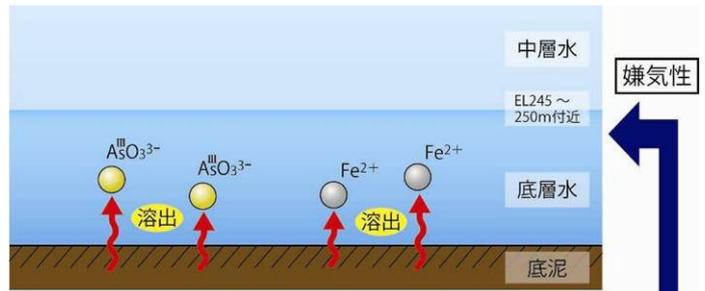
底泥ヒ素蓄積量試算値=1000kg

図 1-8 島地川ダムヒ素汚染メカニズム模式図

1.2.7 島地川ダム湖におけるヒ素溶出・循環メカニズム

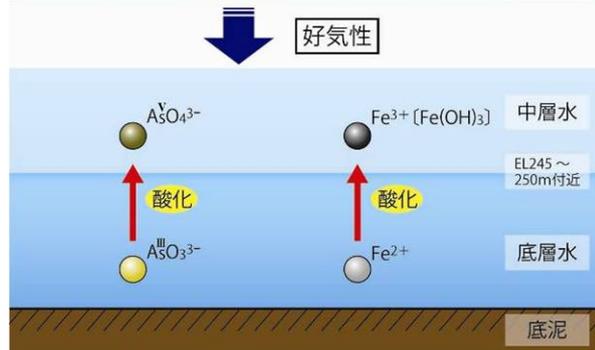
①溶出

底泥中に水酸化コロイドとして沈積したヒ素は、嫌気的環境下で還元され、鉄が2価態（第一鉄イオン） $[\text{Fe}^{2+}]$ として溶出すると同時に、3価態の亜ヒ酸イオン $[\text{As}^{\text{III}}\text{O}_3^{3-}]$ として溶出し、底層水中に蓄積して底層ヒ素濃度を上昇させる。



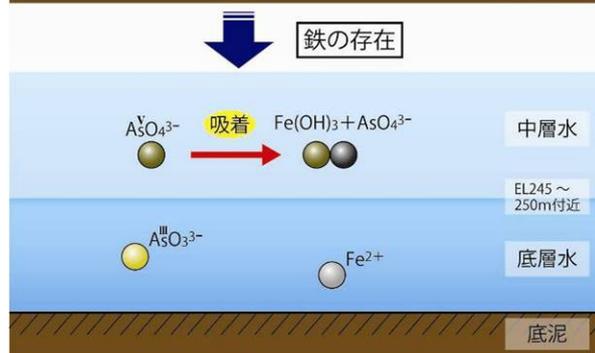
②酸化

溶出した亜ヒ酸イオン $[\text{As}^{\text{III}}\text{O}_3^{3-}]$ は、水中で拡散し有酸素層に達すると、水中の溶存酸素によって酸化され、5価態のヒ酸イオン $[\text{As}^{\text{V}}\text{O}_4^{3-}]$ となる。一方、第一鉄イオン $[\text{Fe}^{2+}]$ は酸化されると水酸化第二鉄 $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ となって析出する。



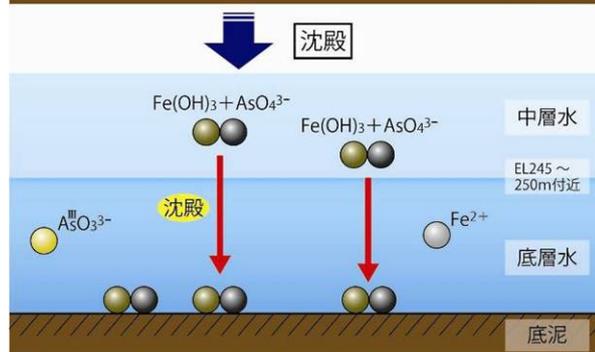
③鉄による吸着

酸化された5価態のヒ酸イオン $[\text{As}^{\text{V}}\text{O}_4^{3-}]$ は、鉄の存在があれば水酸化第二鉄 $[\text{Fe}^{3+}]$ に吸着されて水酸化鉄コロイド $[\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{AsO}_4^{3-}]$ を形成する。



④沈殿（鉄との共沈）

ヒ素が鉄に吸着されて生成された水酸化鉄コロイド $[\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{AsO}_4^{3-}]$ は凝集・沈殿し、底泥表面に沈積する。（鉄との共沈）



⑤再溶出

底泥表面に沈積した水酸化鉄コロイド $[\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{AsO}_4^{3-}]$ は、嫌気的環境下で再び還元されると、第一鉄イオン $[\text{Fe}^{2+}]$ と亜ヒ酸イオン $[\text{As}^{\text{III}}\text{O}_3^{3-}]$ に遊離し、再溶出が生じる。

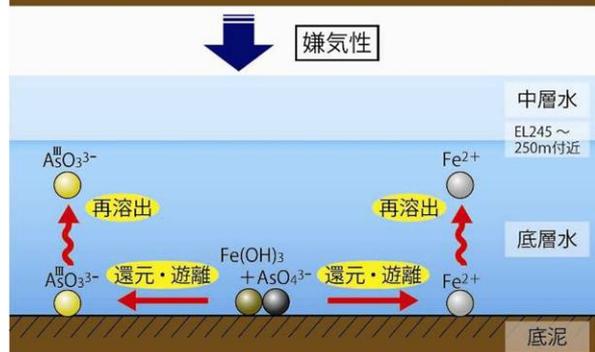


図 1-9 ダム湖底層・底泥におけるヒ素の循環モデル

1.3 深層曝気及び底層水揚水・処理設備の工法紹介

「第1回島地川ダム水質改善検討委員会」において、「費用対効果からは現状水質改善対策が有利であると考えられ、深層曝気と底層水処理についての情報収集・費用対効果の検討の上、どちらかを選択する」と方向づけられた。

ここでは、深層曝気と底層水処理についての事例を収集するとともに、最近、中国地整内で実験がなされた高濃度酸素（酸素溶解方式）の事例についても紹介する。

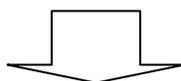
ここで、深層曝気にはマイクロバブルによる手法もあるが、下の理由で今回の検討対象とはしない。

- ・他の深層曝気に比べて横方向の広がりが小さい。
- ・島地川ダムのように水深が50m～60mもあるダムでの実績がない。
- ・現実的には、底層水を水上に揚水してマイクロバブルで溶け込ませて底層に送るという手法になり、底層水揚水・処理と同様の工法となる。

なお、高濃度酸素（酸素溶解方式）については、深層曝気設備の一つとして位置づけられるが、本検討の目的を考慮し、沈水式及び浮上槽式の深層曝気設備とは別立てで検討することとする。

設備方式の区分

深層曝気			底層水揚水・処理
沈水式	浮上槽式	高濃度酸素 (酸素溶解方式)	



本検討における区分

深層曝気		高濃度酸素 (酸素溶解方式)	底層水揚水・処理
沈水式	浮上槽式		

1) 深層曝気概要

深層曝気は無酸素、貧酸素化状態にある貯水池の底層にDOを供給することを目的とし、沈水式と浮上槽式の2種類が存在する。ただし、浮上槽式は酸素溶解効率には優れるが、維持管理費用が高額になること、水上に大規模浮体構造物が存在し、景観や湖内の船の航行面で不利である。このため、深層曝気設備の検討は沈水式で行うこととする。

	[沈水式]	[浮上槽式]
装置概略図		
装置設置イメージ	<p>Aダム貸与資料より</p>	<p>奈良市水道局（布目ダム）HPより</p> <p>浮上槽</p> <p>平成18年度中部地方ダム等管理フォローアップ委員会資料（水資源機構 中部支社）より</p>
原理	底層に設置した装置へ底層水を取込み、取込んだ水に地上から引き込んだ空気を気泡状にして混合、DOを溶け込ませた水を再度底層へ返送する	
特徴	二重管が長さが溶解効率につながるため、浮上槽式よりも1台当たりの能力が劣る。	水上に大規模な浮上槽が存在するため、景観や湖内の船の航行に影響を与える。ジャバラ管の更新に莫大な費用がかかる（15年で1億円程度）。

	[沈水式]	[浮上槽式]
価格	○ 50,000～70,000千円/基（制作，据付）×2基 =120,000千円	× 150,000千円/基（制作，据付）×2基=300,000 千円
維持管理	○ (1,000千円/10年+700千円/年)×2基=1,600 千円/年	× (100,000千円/15年+500千円/年)×2基= 14,300千円/年
運転費	△ 16.5kw×12ヶ月=2,000千円/年	○ 11.2kw×12ヶ月=1,350千円/年
LCC (30 年)	○ 120,000千円+1,000千円/10年×2基×2+ (1,400千円/年+2,000千円/年)×30= 226,000千円	× 300,000千円+100,000千円/15年×2基+ (1,000千円/年+1,350千円/年)×30= 570,500千円

2) 高濃度酸素（酸素溶解方式）概要

高濃度酸素（酸素溶解方式）設備は、水温の低い底層の水を気体溶解装置に取り込み、酸素発生装置からの酸素を高濃度に溶解させ、同じ密度流または酸素改善を行う場所へ返送する設備である。水深のある箇所では酸素を溶解させるため、溶解効率が良く、吐出水が水平に緩やかに拡散する特徴がある。

<p style="writing-mode: vertical-rl;">装置概略図</p>	<p style="text-align: right;">メーカーパンフレットより</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl;">装置設置イメージ</p>	<p style="text-align: center;">気液溶解装置</p> <p style="text-align: right;">酸素発生装置室</p> <p style="text-align: right;">Eダム貸与資料より</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl;">原理</p>	<p>底層に設置した底層水を気体溶解装置に取り込み、取込んだ底層水に酸素発生装置からの酸素を水圧により高濃度に溶解させ、酸素改善を行う場所へ返送する。</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl;">特徴</p>	<p>水平方向に拡散し鉛直方向にはほとんど拡散しない（吐出高さより上下2m程度）。吐出速度の観測値は最大値で4mm/sec程度と小さい。 ポンプ、コンプレッサーに加え、酸素発生装置の維持管理が必要となり、深層曝気よりも維持管理費が高価となる。</p>

3) 底層水揚水・処理概要

底層水揚水・処理は高濃度の金属類を含む底層水を取水し、水質浄化プラントで浄化した後、貯水池表層に戻す方式である。水質浄化プラントは酸化・沈殿・ろ過処理を行い、確実に水質改善が行える特徴があるが、高価である。

<p style="writing-mode: vertical-rl;">装置概略図</p>	
<p style="writing-mode: vertical-rl;">装置設置イメージ</p>	<p style="text-align: center;">水質浄化プラント概要</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl;">原理</p>	<p>底層水を揚水し、プラントにより溶存態鉄の曝気による酸化・懸濁態化により沈澱処理を行う。</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl;">特徴</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・確実に水質処理ができる。 ・処理が進み、ある程度の濃度になると処理効率が低下する。 ・浄化プラント建設費（42m³/hの処理量の事例で、初期コスト＝440（百万円）、運転コスト（60百万円：2カ年）が高価である。

1.4 水質目標（案）

1.4.1 利水上問題となる物質及び想定される問題

水源である貯水池の水に鉄、マンガン、ヒ素が高濃度に含まれる場合、以下のような水道水及び工業用水、農業用水などの利水上の問題が懸念される。

表 1-3 金属類が及ぼす影響

	ヒ素	鉄	マンガン
環境基準	0.01mg/L以下	—	—
水道水質基準等の基準値	0.01mg/L以下	0.3mg/L以下（呈色現象を考慮して設定）	0.05mg/L以下（呈色現象を考慮して設定）
水道施設の機能障害	—	浄水施設内で酸化されることにより、多量の沈殿物が発生し、フィルターの目づまりやパイプへの吸着を起こす可能性がある。	マンガン自体が触媒となって水槽や配管に酸化物を付着させ、送水能力低下や黒水を引き起こす。
飲料水の味・におい	味にもにおいも無い。	金属味であり、苦味の原因となる。また、硬度が高くなると胃腸を害し、下痢を起こしたり、石けんへの泡立ち等にも影響する。また、硫化水素によるにおいが発生する可能性もある。	同左
健康被害	長期間飲用した場合、皮膚障害や手足の角化症、正常細胞の癌化、奇形誘発などの慢性中毒を生じる。	—	中毒症状になると、歩行困難や指の震え、筋力の低下などの障害があげられる。ただし、毒性はそれほど強いものではなく、水道水質基準は健康被害面よりも利水面から決められている。
農業用水や工業用水への被害	植物に対する毒性が強く、土壌中の濃度が上昇した場合には植物に過剰障害が現れて生育が阻害される。	—	写真現像、プラスチック工業、食品工業などの業種によってはさまざまな化学反応に触媒として作用し障害を与える。
自然生態系（魚類等）への影響	三酸化二ヒ素の水圏環境生物に対する急性毒性は、甲殻類に対しては強い。	魚類では高濃度イオン水による体内のイオン輸送能の低下等が生じ、死に至る場合もある。	同左
ヒ素対策時の効果	—	ヒ素への対策により鉄も同時に除去される。	鉄の改善後に効果が現れる。長期的にはマンガンにも効果あり。

資料)「水質調査の基礎知識」(近畿地方整備局近畿技術事務所、平成8年2月)

「ダム貯水池水質用語集」((財)ダム水源地環境整備センター、平成18年3月)

「海と湖の化学 微量元素で探る」(京都大学学術出版会、平成17年3月)

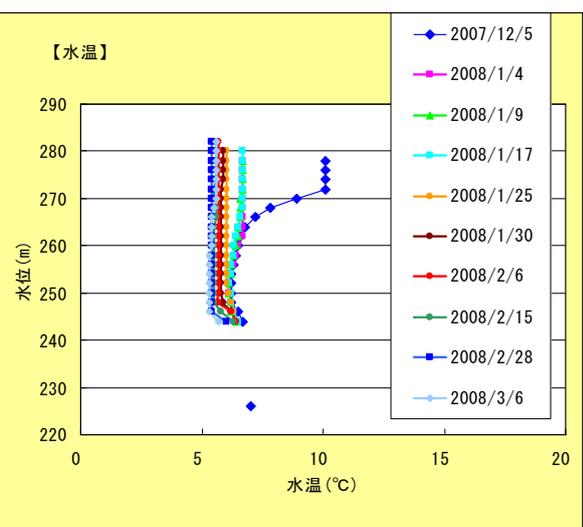
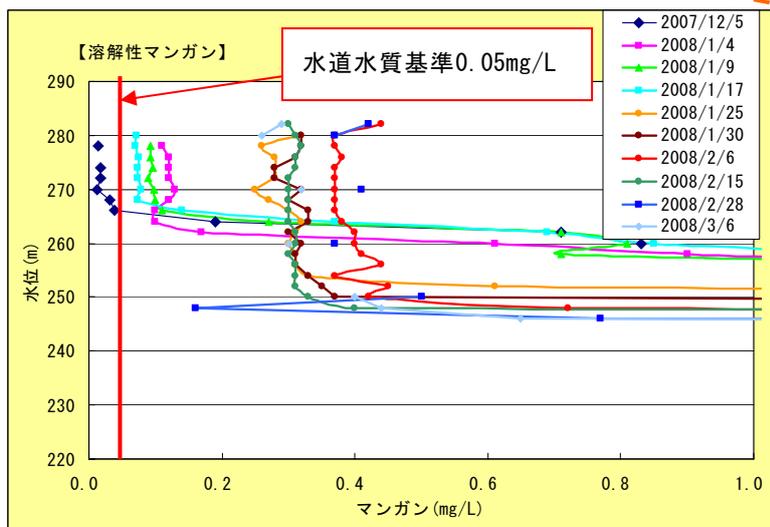
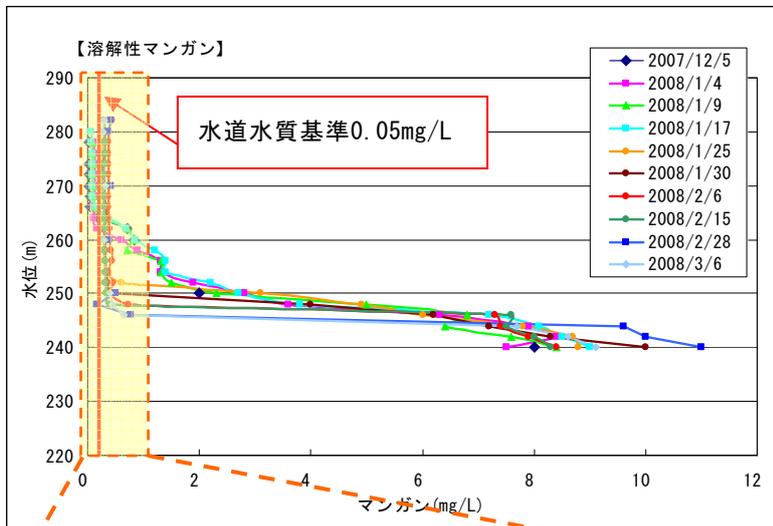
「普通肥料の公定規格の設定又は変更に係る食品健康影響評価について」(食品安全委員会、平成16年10月21日)

「平成18年度 第1回有害金属対策策定基礎調査専門検討会 参考資料」(環境省、平成18年12月26日)

1.4.2 赤水・黒水発生の可能性について

島地川ダムでは金属類の濃度が高いのは、現時点ではEL. 250m付近より下の層であり、下流への放流に関して問題は生じていない。しかし、これまでに島地川ダムでは鉄に由来する赤水と、マンガンに由来する黒水がそれぞれ1回ずつ観測されている。

現象	発生日	備考
赤水	平成7年1月～2月 ※平成7年1月21日の貯水位は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表層水で鉄濃度1.4mg/L、マンガン濃度2.4mg/L (調査時貯水位E.L.266.33m)
黒水	平成19年12月末～3月 12/5から1/4の間に循環期が発生	平成20年2月6日 M-1表層水で溶解性マンガン濃度0.44mg/L (調査時貯水位E.L.282.05m)



平成7年の赤水も、循環期に水位低下が起こり、金属類を表層まで巻き上げた可能性がある。次ページ以降で当時の状況を推定した。

平成5年から平成19年までの水位は図 1-10に示すとおりであり、島地川ダムでは水位の低下は冬季に起こる事が多く、循環期と一致する。また、平成7年1月21日の水位は過去最低の水位であった。

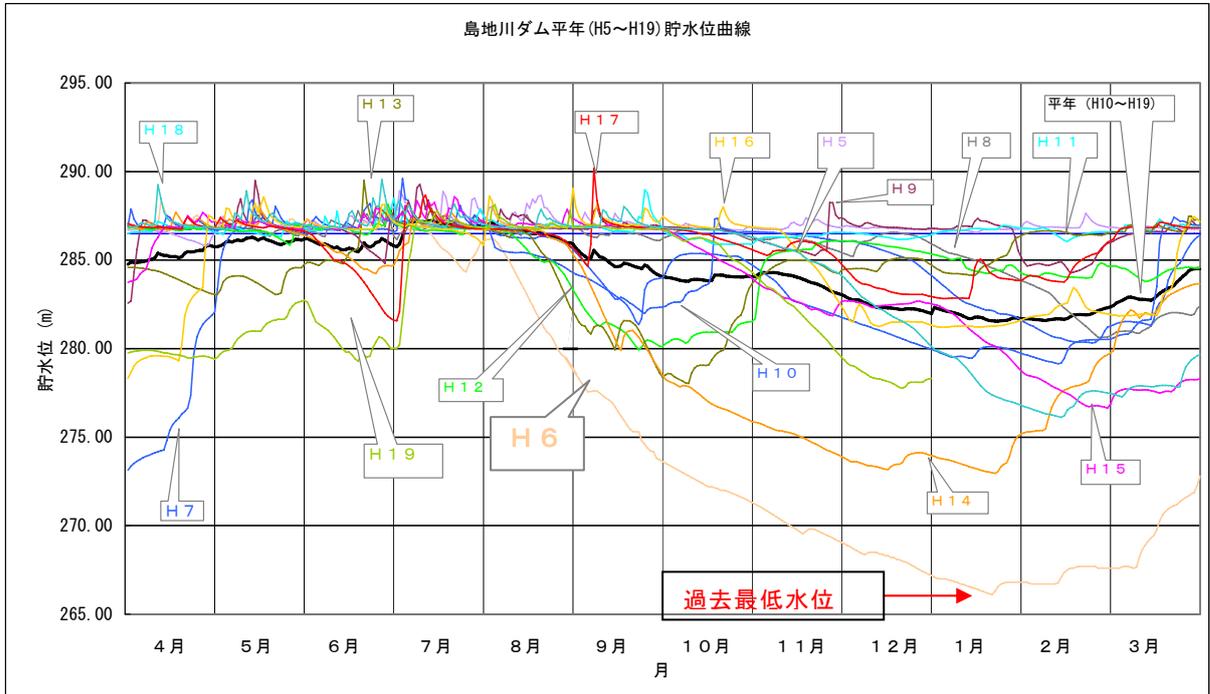


図 1-10(1) 貯水位曲線 (拡大図)

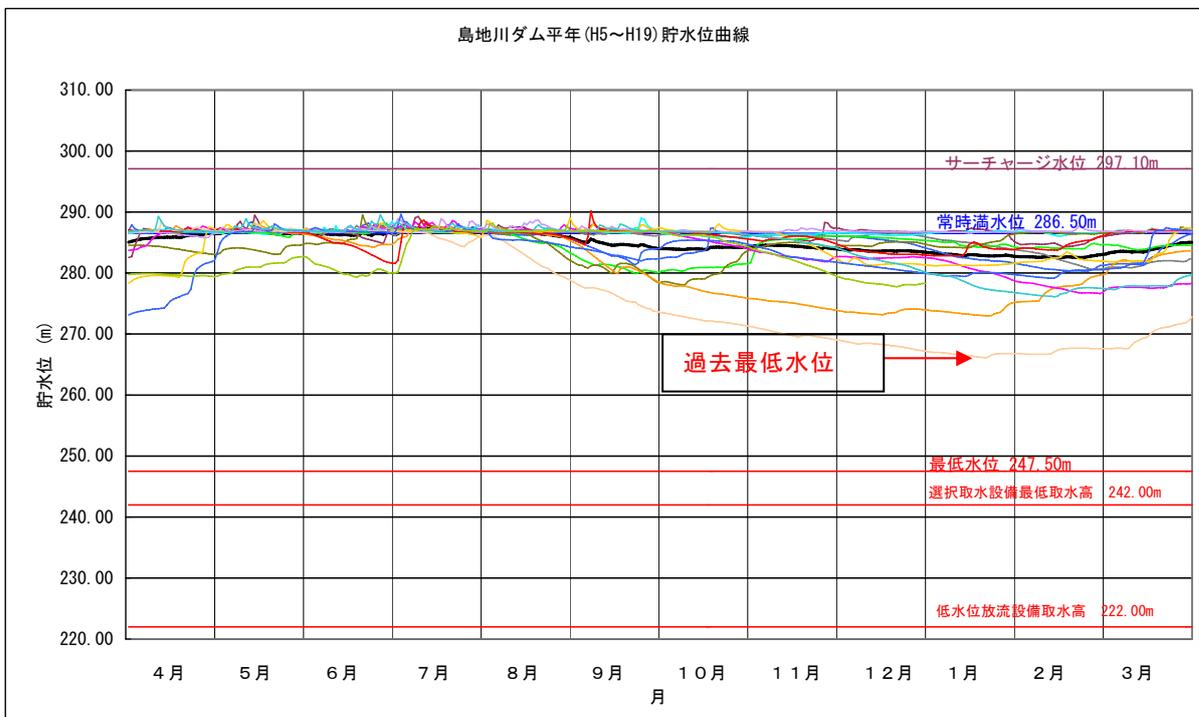
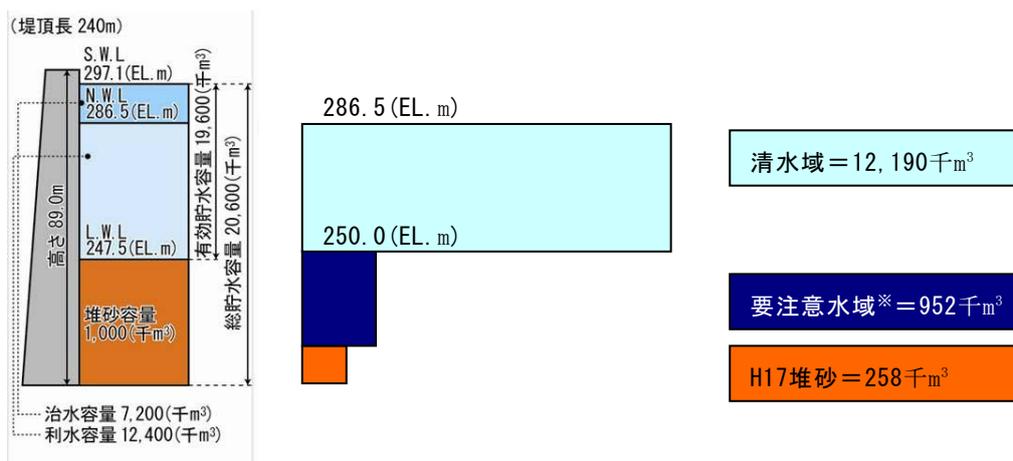


図 1-10(2) 貯水位曲線

この時の清水域、要注意水域の状況は以下のとおりと推定され、常時満水時に比べて清水域が大きく減少している。

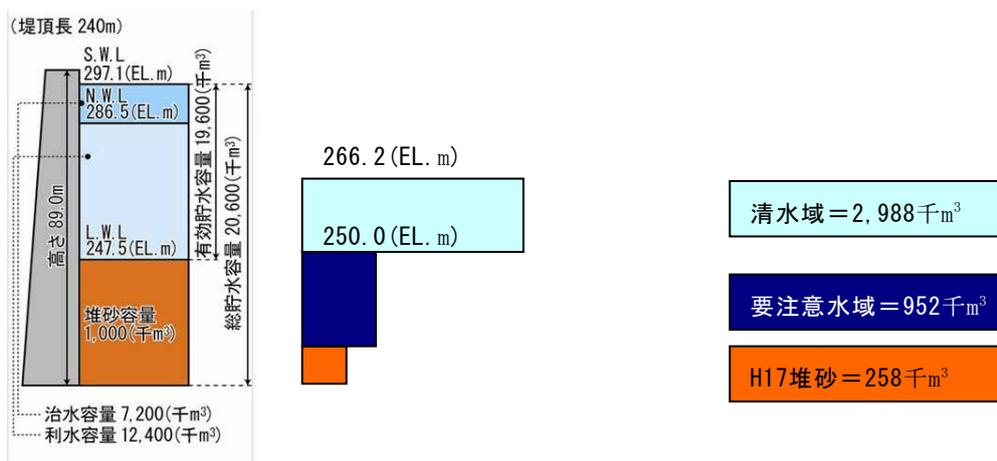
- ①最低水位EL. 247.5m～EL. 250mの貯水容量=210千 m^3
- ②最低水位EL. 247.5m～EL. 266.2mの貯水容量=3,198千 m^3
- ③堆砂容量（平成17年実績）=258千 m^3
- ④EL. 250m以下の貯水量=堆砂容量1,000千 m^3 +210千 m^3 -258千 m^3 =952千 m^3

●常時満水時



※要注意水域とは嫌気化による底質からの溶出が生じている水域を指す。

●既往最大満水時（平成7年1月21日）



この状況で完全混合が起こった場合、鉄・マンガン・ヒ素のいずれにおいても水道水質基準等の基準値は満足できない状況になる。

●貯水池循環により完全混合した場合

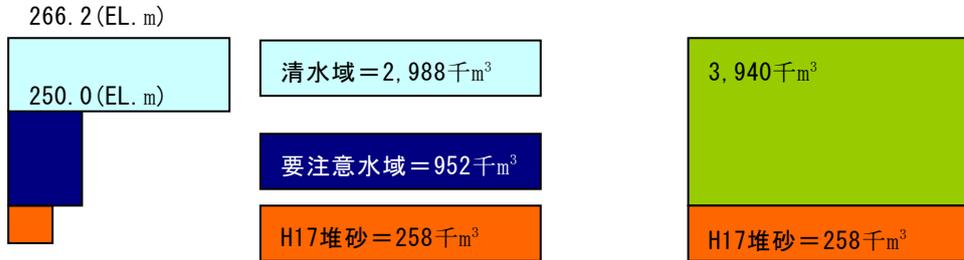


表 1-4 湯水時に完全混合した際の貯水池金属類濃度

	清水域	要注意水域*	完全混合時
鉄	0mg/L	14.7mg/L	3.55 mg/L
マンガン	0mg/L	7.1mg/L	1.72 mg/L
ヒ素	0mg/L	0.048mg/L	0.012 mg/L

※濃度はM1底層のH5～H19平均値を用いた

なお、M6については、ダム施工時に沈殿池が作られ、M1付近とは隔離されている領域であるが、M5とM6の中間地点よりM3付近に向けて仮排水路でつながれていた経緯があり、ここからM1付近に流入している可能性がある。このため、ここを要注意水域 = 952千m³に含んで計算した。

また、M1付近の水質が改善された場合には、密度勾配によりM6地点から徐々にM1付近に水塊が移動した結果、M6付近の水質も改善される可能性がある。このため、M6付近についての対策の優先度は低く、M1付近に行った対策の効果に応じて、M6付近の対策を検討すればよいと考えられる。

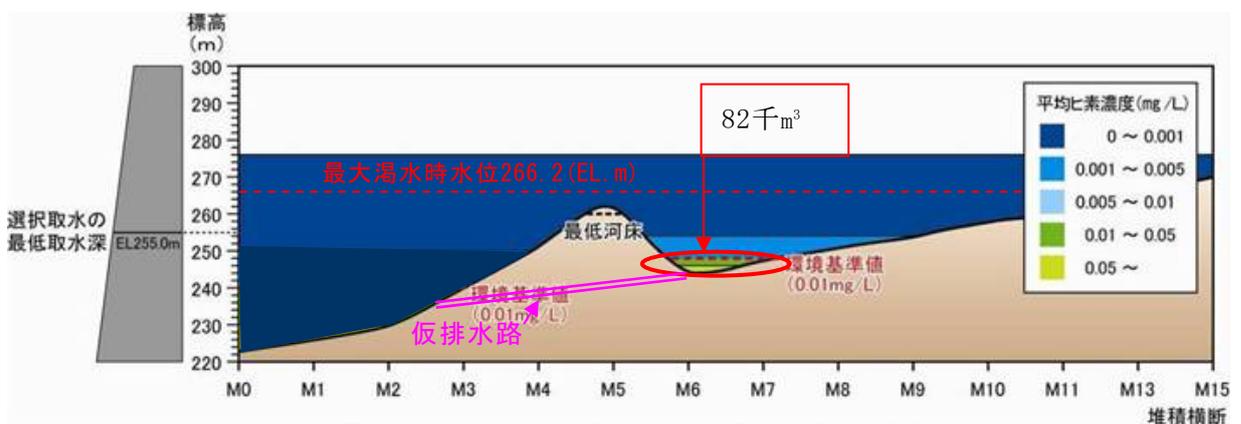


図 1-11 M6付近の容量と仮排水路の関係

1.4.3 水質現況の整理

島地川ダムではヒ素を例にとると、金属類の濃度分布は以下のようになっていると推測される。

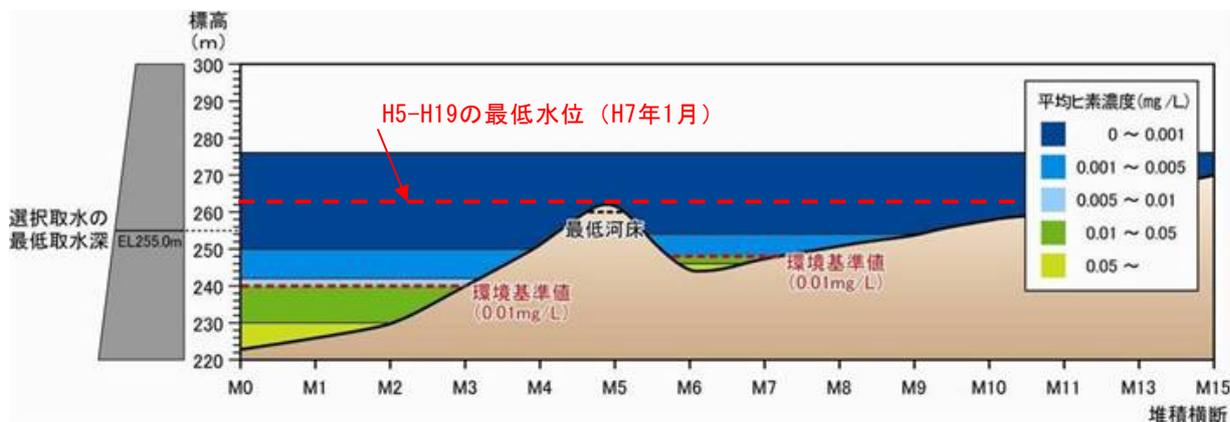


図 1-12 島地川ダム底層のヒ素推定結果

島地川ダムでの水質現況を整理すると以下のとおりであり、現況の水質を改善することが必要である。

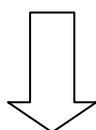
- ヒ素については、表層・中層・底層の年間平均値が環境基準を超えている。
- 供用後26年間の間に、赤水・黒水が1回ずつ発生しており、経年的に上昇傾向にある（図 1-5）ことを踏まえると発生頻度が上昇する可能性がある。
- M1やM6付近の底層では、常にDOや金属類等が環境基準や水道水質基準等の各種基準を満足していない。
- ダム計画上、要注意水域である250(EL.m)を下回る高さまで水位が低下することを見込んでおり、この領域の水質も水道水及び工業用水及び農業用水などの利水に使う可能性がある。

1.4.4 水質目標の設定

島地川ダムにおける水質目標は、①流域住民の方々が安心して利用できる貯水池、河川空間、②ダム下流などでの水利用者への安心、安全、を提供できることとして、以下を設定する。

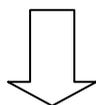
管理目標：安全で快適な貯水池・放流水とすること。

目標その1：環境基準が設定されているヒ素は環境基準を満足する（ヒ素＝0.01mg/L）



環境基準は表層～底層の年平均値で評価されるが、底層の濃度が高いため、底層水の水質改善が必要

目標その2：貯水池及び放流水の色の呈色を防ぐ（鉄＝0.3mg/L、マンガン＝0.05mg/L）



環境基準はないが、呈色する濃度を水質目標として設定する。H7, H20の赤水, 黒水現象は底層と表層の混合が原因であるため、底層水の水質改善が必要。

水質目標

- | | | |
|------|---|-----------------------------------|
| ヒ素 | ： | 環境基準値（＝0.01mg/L以下）を満足する |
| 鉄 | ： | 貯水池および放流水の色の呈色を防ぐ（参考値＝0.3mg/L以下） |
| マンガン | ： | 貯水池および放流水の色の呈色を防ぐ（参考値＝0.05mg/L以下） |

ただし、鉄・マンガンの水質目標（参考）値については、水道水（飲料水）基準と同レベルの基準値であり、ダム貯水池、ダム放流水に関してこの目標数値で設定するには過大と考えられるため、今後さらに検討を進め決定する。

これらの目標を満足するために、深層曝気設備や高濃度酸素水質改善装置を設置する場合、次にDOに関する参考目標を設定することになる。

【ダム事例によるDO値設定に関する参考値】

- 島地川ダムにおいて、ヒ素が0.01mg/L以上を示す箇所（図 1-14で色のついた部分）はDOが2mg/L以下の貧酸素地域に概ね該当し、DOが4mg/L以上の箇所ではほとんど溶出していない。
- 島地川ダムにおいて、鉄・マンガン・ヒ素の挙動は概ね一致しており（図 1-15参照：特に鉄とヒ素は挙動が近い）、ヒ素が改善されるDO濃度になれば、鉄・マンガンも改善される可能性が高い（ただし、マンガンは鉄が改善された後に改善に向かうと考えられる）。
- 島地川ダムにおいて、平成15年度に行った実証実験結果によれば、DOが4mg/Lでヒ素が定量限界まで低減している（図 1-16）。

- Gでは底層のDOが常に2mg/L以上であるため、ヒ素の溶出が確認されていない。また、2mg/Lを記録した平成6年8月であっても、7月～9月の平均値は3.9mg/Lと速やかにDOが回復している（図 1-18）。

DO設定参考値： 重金属類の酸化・沈降および溶出抑制に必要な溶存酸素については常に2mg/L以上であり、概ね4mg/L以上が必要

※ 現時点での参考値であり、今後詳細な検討を行う

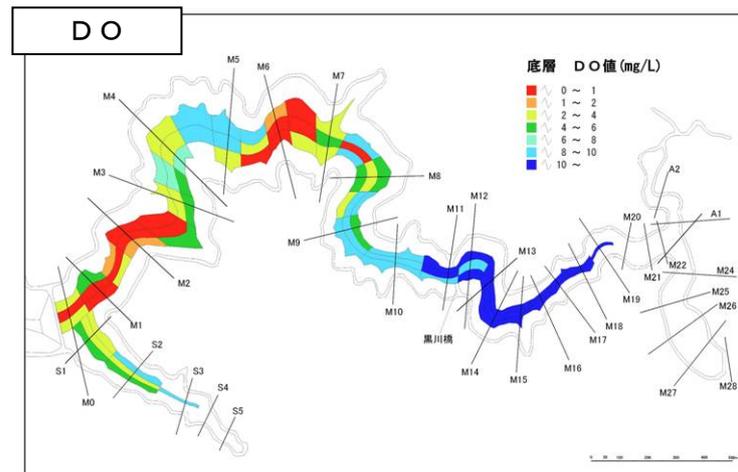


図 1-13 島地川ダム底層のDO分布推定結果

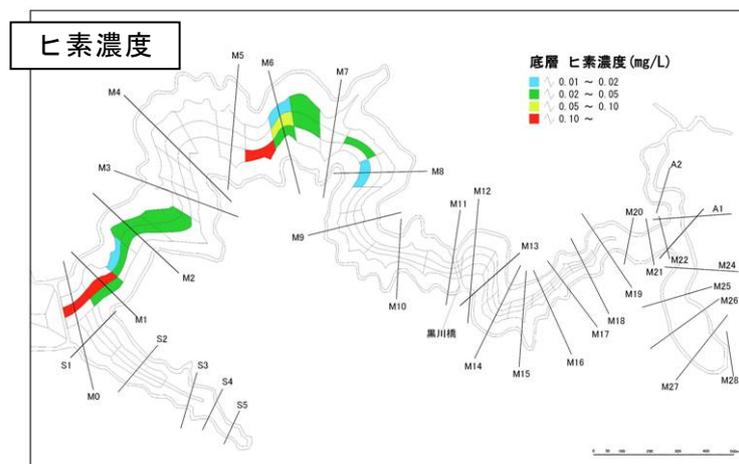


図 1-14 島地川ダム底層のヒ素分布推定結果

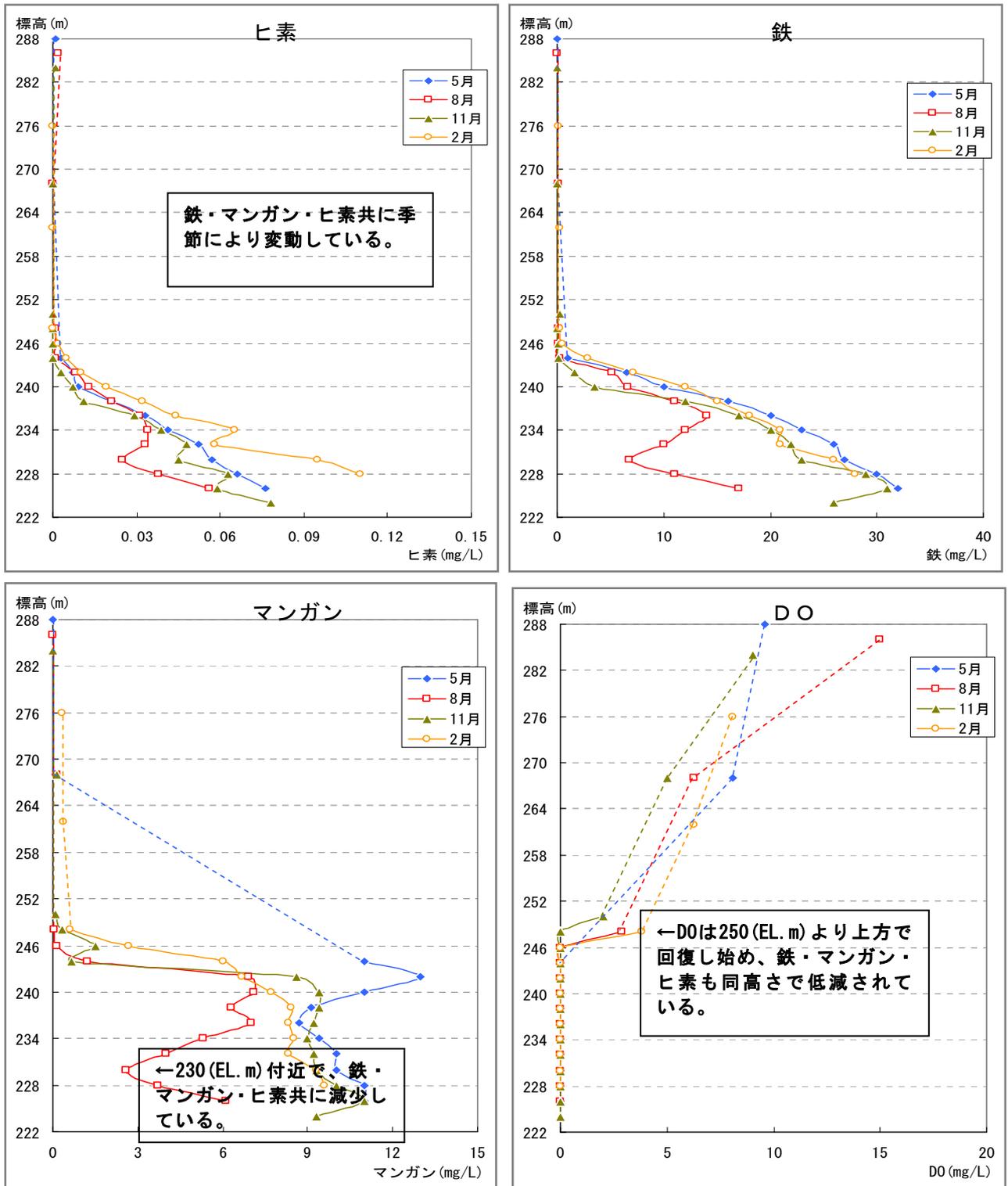


図 1-15 水質の鉛直分布 (平成 18 年度, M1) (項目: ヒ素, Fe, Mn, DO)

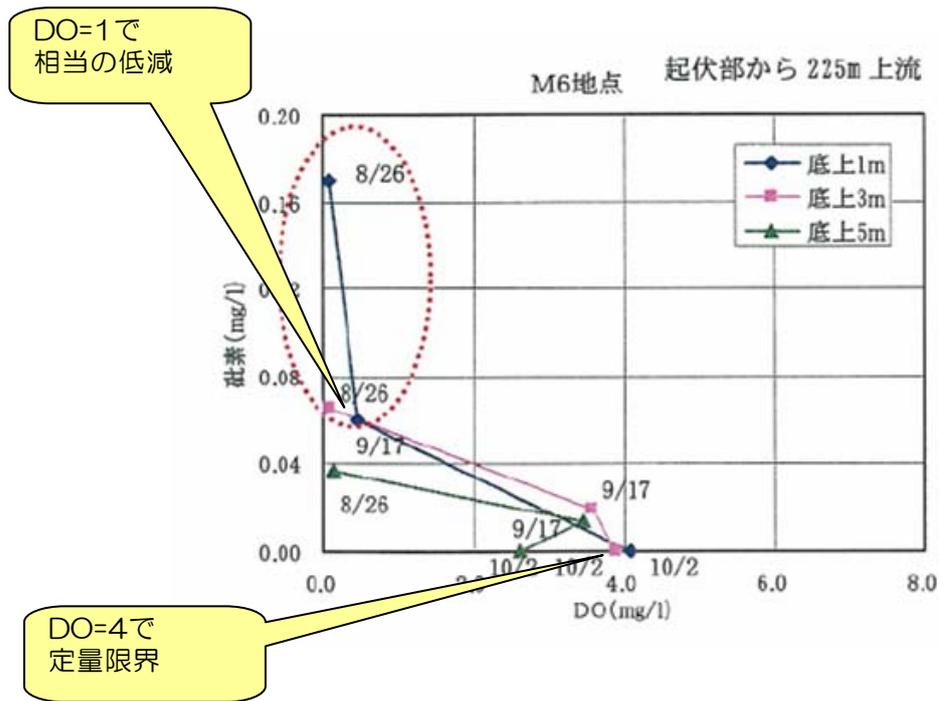


図 1-16 島地川ダム：マイクロバブル実証実験時のヒ素の挙動

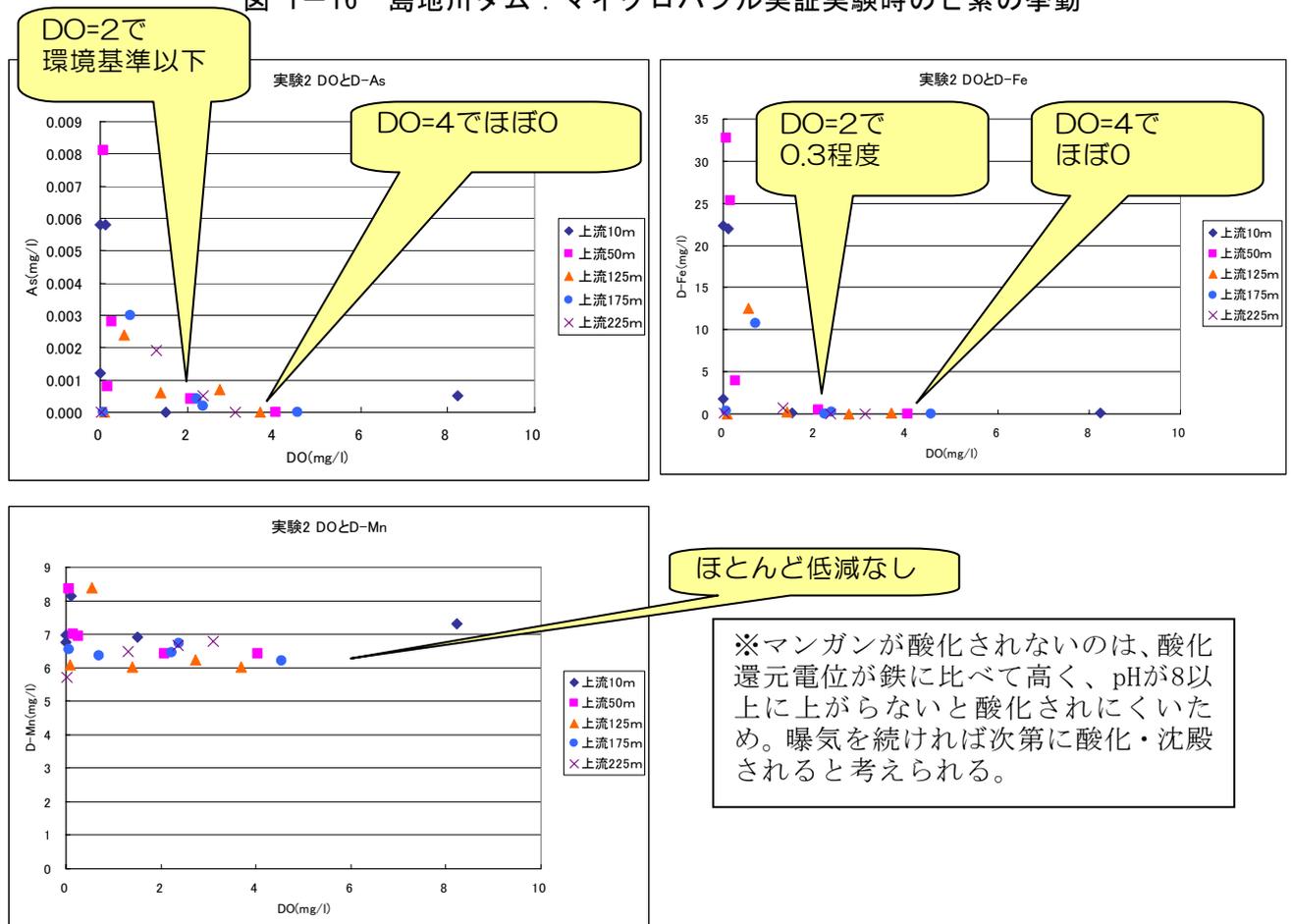


図 1-17 島地川ダム：高濃度酸素（空気供給）実験時の鉄・マンガン・ヒ素の挙動

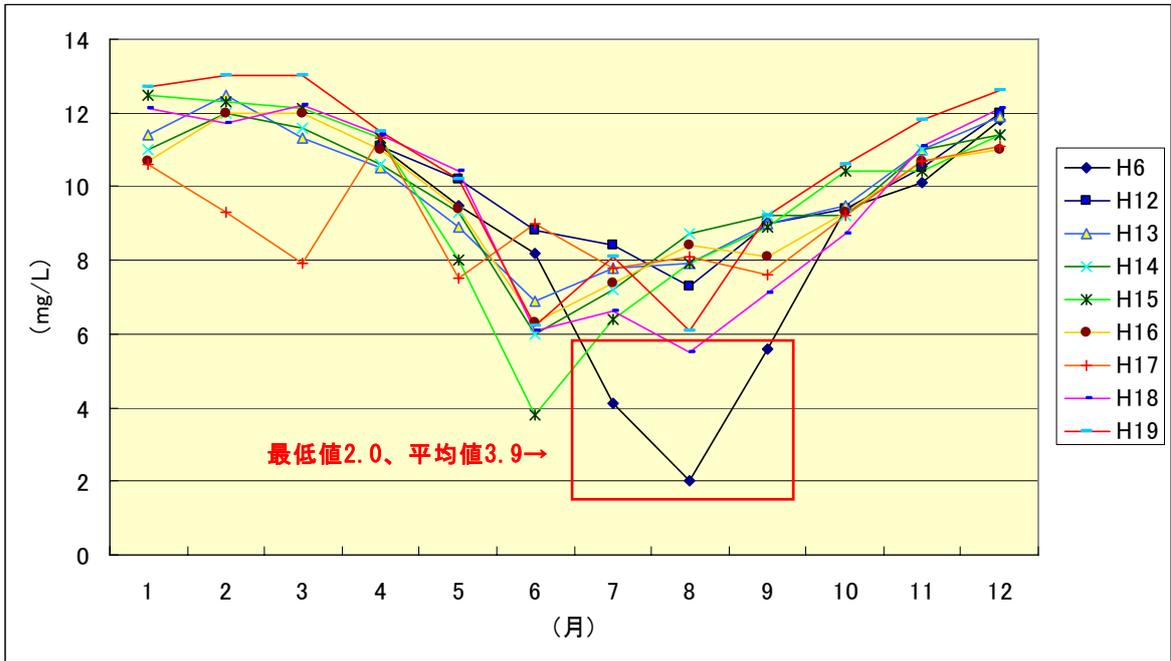


図 1-18 Gダムの底層のD0濃度

第2章 島地川ダム水質対策工法（案）

2.1 島地川ダム水質改善効果

各対策ごとに、水質改善効果を想定すれば下図のとおりである。

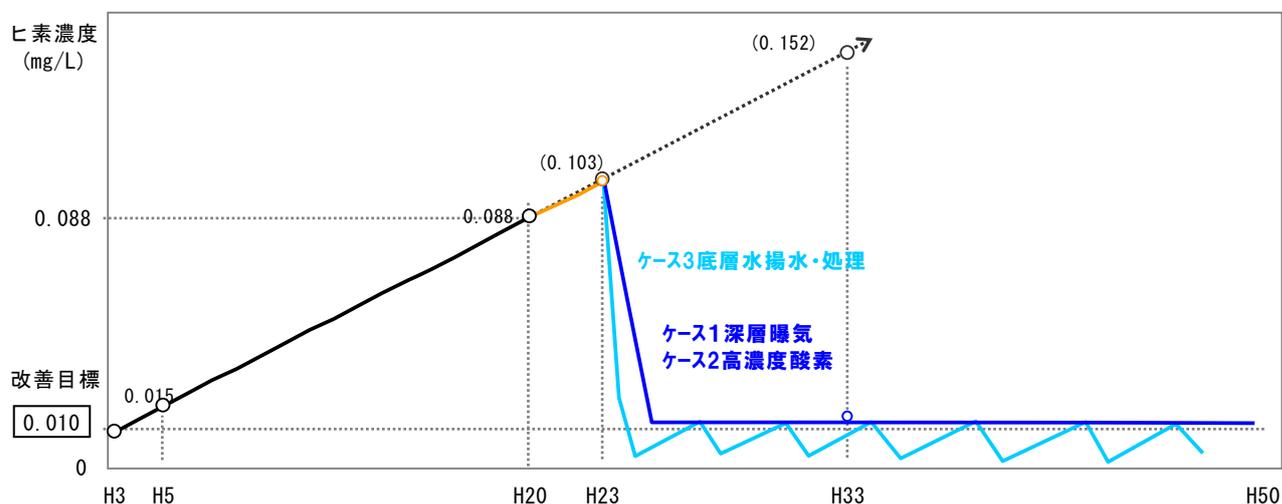


図 2-1 ヒ素対策の効果〔想定〕

※ケース1 深層曝気やケース2 高濃度酸素によるヒ素濃度改善効果は、実験結果や既存事例では比較的速やかに低減する（数ヶ月程度）と考えられる。しかし、1年目は試験運転であると想定されることから、深層曝気の経年的な運用による改善は、2年間の運用により改善目標を達成できると考える。また、ケース3 底層水揚水・処理は処理する規模により異なるが、温水時のリスクを低減するため、すみやかに低減する必要がある。ケース1、ケース2同様、運用2年程度を目標とする規模の施設が必要である。

ケース3について、表2-1に示すとおり各項目を0にしたことを想定すると、マンガンが0.31年（4ヶ月程度）で水質目標を超過することになる。このため、一端水質を改善した後も、目標を満足するために断続的な運転を行う必要がある。

表 2-1 1年当たりの濃度上昇率（過去のトレンドより）

項目	水質目標	M1における年平均値（H5～H19）の1年当たりの濃度上昇	濃度が0から水質目標を超えるまでの年数
鉄	0.3mg/L	0.6 mg/L	0.5年
マンガン	0.05mg/L	0.16 mg/L	0.31年
ヒ素	0.01mg/L	0.006 mg/L	1.67年

※要注意水域の濃度はM1底層のH5～H19平均値を用いた

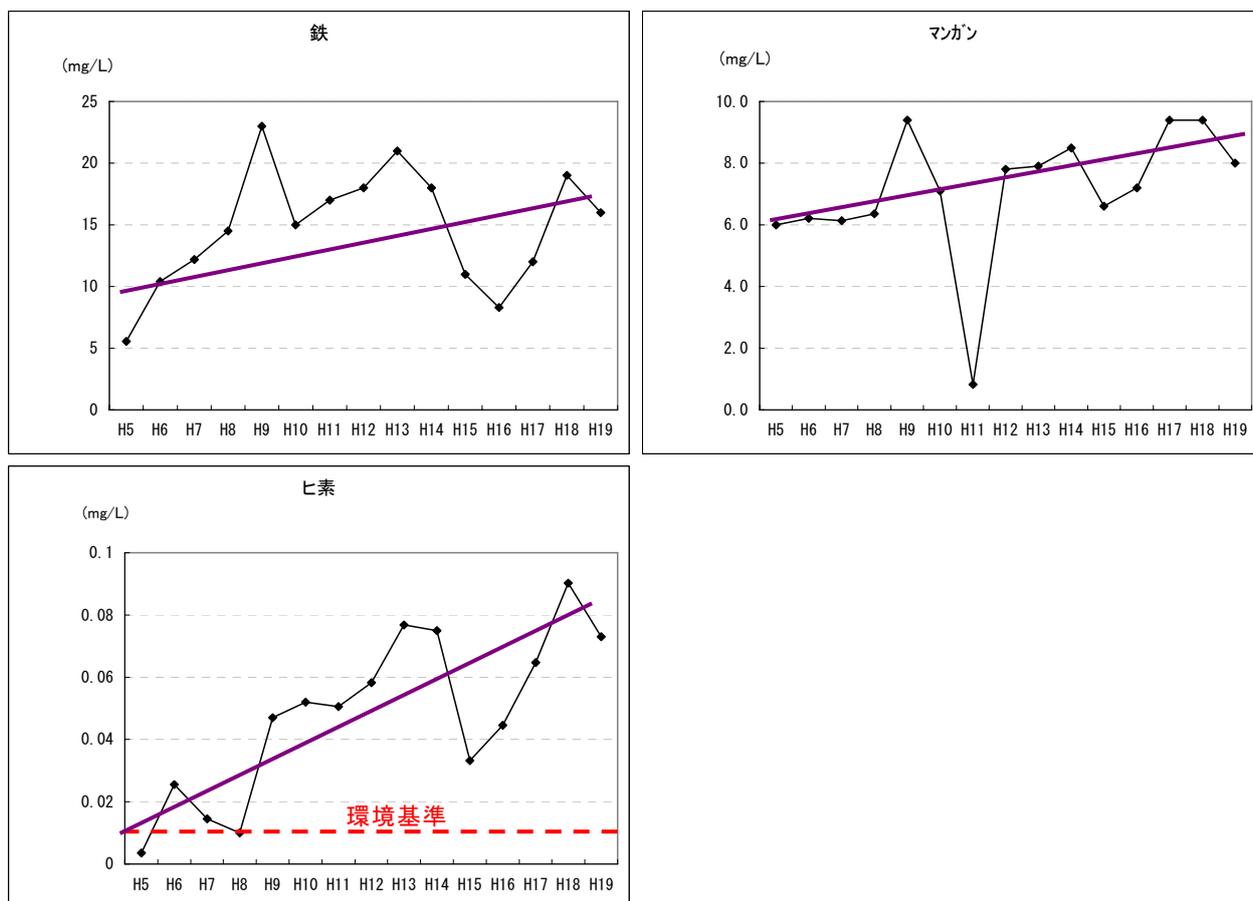


図 2-2 各項目のトレンド [M1 平均値より想定]

2.2 底層水揚水・処理法の考え方について

なお、第1回委員会で提示のあった「底層水揚水・処理法」は、「利水として使用する量だけを処理する」という考え方である。

維持流量 $0.12\text{m}^3/\text{s}$ を底層水から処理すると考えた場合、

$$0.12\text{m}^3/\text{s} = 10,368\text{m}^3/\text{日} \quad \text{より、} \quad 952\text{千} / 10,368 = 91.8$$

91.8日での処理が必要となる。

このため、底層水揚水・処理法は要注意水域 $=952\text{千m}^3$ を目標年（2年程度）で処理すると考えた方が、規模が小さくなる。

以上より、底層水揚水・処理法の検討はコストの面から、他ダム事例と同じように「対象範囲を2年程度かけて改善する」として行うものとする。

2.3 島地川ダム水質改善設備の比較

表 2-2 水質改善設備の比較

装置形式	沈水式深層曝気装置	高濃度酸素溶解装置	底層水揚水・処理
原理	底層に設置した装置へ底層水を取込み、取込んだ水に地上から引き込んだ空気を気泡状にして混合、DOを溶け込ませた水を再度底層へ返送する	底層に設置した底層水を気体溶解装置に取込み、取込んだ底層水に酸素発生装置からの酸素を水圧により高濃度に溶解させ、酸素改善を行う場所へ返送する。	底層水を揚水し、プラントにより溶存態鉄の曝気による酸化・懸濁態化により沈澱処理を行う。
効果・効率	◎溶存態鉄の曝気による酸化・懸濁態化による沈澱処理は、一般に比較的簡単に実現可能であり、ヒ素は鉄と共沈して除去されるため、鉄と同様の処理効果が期待できる。 ◎国内実績が多く、3案中最も維持管理費が安い。	◎溶存態鉄の曝気による酸化・懸濁態化による沈澱処理は、一般に比較的簡単に実現可能であり、ヒ素は鉄と共沈して除去されるため、鉄と同様の処理効果が期待できる。 ◎吸引、吐出はともに水平に緩やかに行なわれ密度流に沿って高濃度の酸素水へ水平に拡散する。 ◎上下方向の移動が可能である。	◎溶存態鉄の曝気による酸化・懸濁態化による沈澱処理は、一般に比較的簡単に実現可能であり、ヒ素は鉄と共沈して除去されるため、鉄と同様の処理効果が期待できる。 ◎ろ過による除マンガン装置を加えることで、マンガン対策が可能となる。
問題点	△吐出し高さの変更には潜水夫が必要であり、運用上変更できない。 △水温成層が弱い場合には水平方向に広がりにくい。	△酸素発生装置と酸素溶解装置の両方が必要で、コストが割高になる。 (酸素溶解ではなく、空気溶解の場合はコストが削減できる。ただし、窒素も溶解されることによる生物への影響検討が必要である)	△初期の改善効果は高いが、一定量を処理し、濃度が低下してからは効率が低下し、一定以上は改善効果が得られない。 △実績が少なく、不確定要素が大きいいため、水質目標値を満足できない可能性がある。
事例における水質目標	底層の溶存酸素濃度=4~5mg/L	底層からの栄養塩の溶出を減少させ、アオコの発生を抑える。	鉄：0.181mg/L以下 マンガン：0.116mg/L以下 ヒ素：0.001mg/L以下
維持管理項目	・コンプレッサーの整備点検 ・エアホースの交換 ・装置本体の維持管理	・コンプレッサーの整備点検 ・酸素発生装置の整備点検 ・気体溶解装置の整備点検 ・エアホースの交換	・揚水ポンプ整備・交換 ・凝集沈殿プラント運転、維持管理 ・汚泥処理、余水処理
係留及び景観	◎係留はシンカとワイヤーのみであり、かつ沈水式のため、景観上の障害にはなりにくい。	○船上式の場合は貯水池の景観障害となる。湖底アンカー式の場合、ワイヤーなどの係留設備が必要であり、若干貯水池の景観障害となりうる。	○水質浄化プラントが立つため、182m ² (7m×26m)の用地面積が必要であり、若干貯水池の景観障害となりうる。
総合評価	総合評価：○ ◎係留設備が簡易で景観影響が少ない。 ◎1基辺りでは、コストが最も安い。 ○国内実績が多い △改善高さが10m程度と限られるため、改善範囲全体(水深60m)に効果を得るためには3基程度必要な可能性がある。 △吐出し高さの変更ができず、曝気効果の範囲が制限される。	総合評価：○ ◎DOの供給効果が高い。 ◎改善高さは4m程度であるが、吐出し高さが自由に変更できるため、1基の曝気効果範囲が深層曝気よりも広い。 ◎効果を見ながら適切な高さに変更するなど、順応的な管理を行うことができる。 △現行の高濃度酸素供給装置の都合上、50m以深は酸素溶解ではなく空気溶解となる(ただし、50m以深は水圧が高いので30mg/L程度の吐出しが可能であるので問題はない)。 △湖底アンカー式の場合でも、係留設備は沈水式深層曝気装置に比較して大きい。	総合評価：△ ◎当面は確実に対象範囲の水質を改善できる。 ◎吸込み口を深めに設定しておけば、改善範囲全体に効果を及ぼすことが可能である。(吸込み上部が高濃度であっても吸込み高さにまで沈降してくる) △徐々に効率が低下し、最終的には水質目標値まで水質を改善できない可能性がある。 △水質改善年度を他手法と同様にした場合、コストが大幅に高い。 △水質を改善した後も断続的な運転をするか、あるいは水質改善後の溶出対策(DO供給)として更なる工法の設置が必要となる。

<参考> 1基当たりの概算費用(底層水揚水・処理は目標を満足できる規模の設備1基としている)

概算費用※M1のみの対策	LCC(30年)	◎：最も安い	142,000千円	○：比較的割高であるが、「空気」溶解方式であればさらに削減が可能	285,000千円 (210,000千円【空気溶解】)	△：最も高い	1,060,000千円
初期コスト		70,000千円/基(制作,据付)	70,000千円	90,000千円/基(制作,据付)	90,000千円	440,000千円程度 (2年で処理が完了する処理水量を想定)	440,000千円
維持管理費		1,000千円/10年(エアホース交換費) 700千円/年(コンプレッサー保守点検費) 運転費(電気代) ・2,000千円/年(当初の2年間) 11kW×12ヶ月 ・1,500千円/年(3年目以降) 11kW×9ヶ月(3年目以降、循環期である12月~2月は停止)	72,000千円(30年)	1,000千円/10年(エアホース交換費) 1,500千円/年(コンプレッサー・酸素発生器保守点検費保守点検費) 運転費(電気代) ・6,300千円/年(当初の2年間) 36kW×12ヶ月 ・4,800千円/年(3年目以降、循環期である12月~2月は停止) 36kW×9ヶ月(3年目以降)	195,000千円(30年) ※ただし、「空気」溶解方式であれば、120,000千円程度	30,000千円/年(当初の2年間：揚水ポンプ整備・交換、凝集沈殿プラント運転、維持管理、汚泥処理、余水処理) 20,000千円/年(3年目以降：断続運転であり、負荷が小さいため、電気代や薬品代や汚泥処理費などが安くなる)	620,000千円(30年)

第3章 まとめ

- 水質目標

目標

安全で快適な貯水池・放流水とする

水質目標

ヒ素 : **環境基準値 (=0.01mg/L以下) を満足させる**

鉄 : **水の呈色を抑える (参考値=0.3mg/L以下)**

マンガン : **水の呈色を抑える (参考値=0.05mg/L以下)**

(水質目標補足)

ダム事例よるヒ素・鉄の酸化および溶出抑制効果が考えられるDO値(常時2mg/L以上、概ね4mg/L以上)を参考値とし具体的な目標DO値の設定を進める。

鉄・マンガンの呈色対策設定値についても検討を進め、再整理を行う。

- 水質改善工法

水質改善工法としては、深層曝気工法、高濃度酸素水工法の2工法について、さらに詳細な検討(DO供給可能範囲、詳細コスト、設置基数等)を進める。