

第2回 島地川ダム水質改善検討委員会

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 —

1. 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
- 1.2) 島地川ダム底層の水質について
- 1.3) 深層曝気設備及び底層水揚水・処理の事例紹介
- 1.4) 水質目標（案）

2. 島地川ダム水質対策工法（案）

- 2.1) 底層水揚水・処理法の考え方について
- 2.2) 島地川ダム水質改善効果
- 2.3) 島地川ダム水質改善設備の比較

3. まとめ

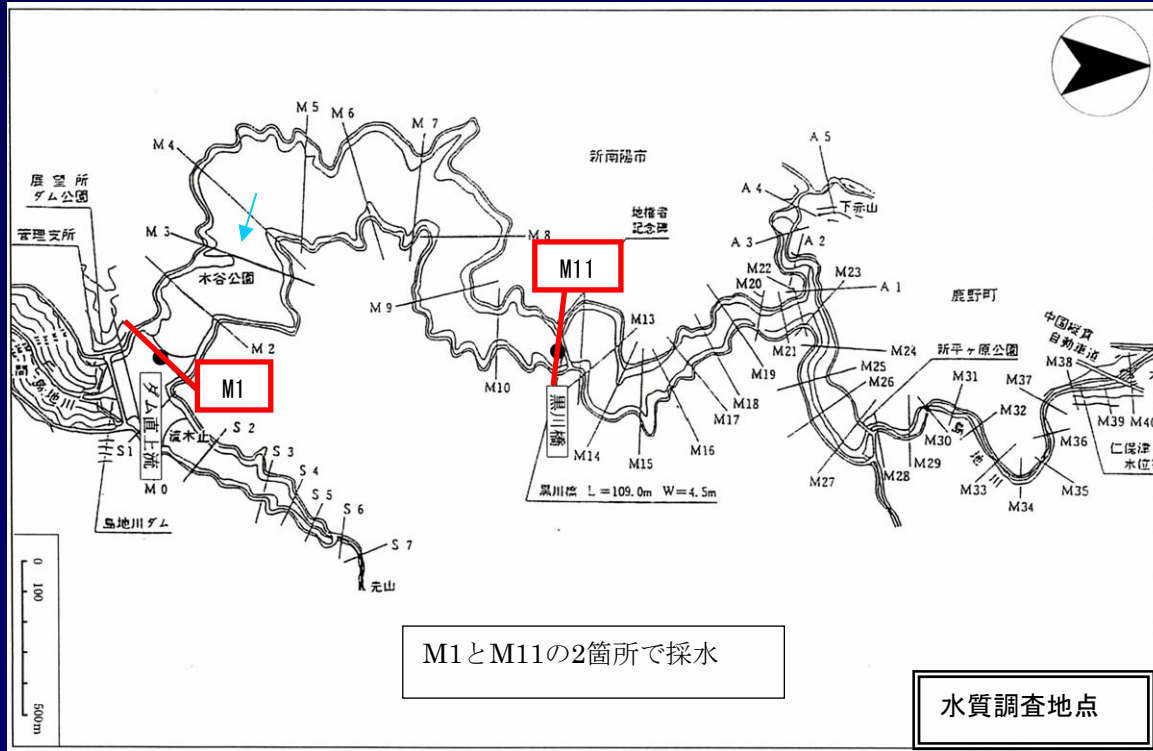
1. 島地川ダム水質改善対策の 検討方針

1.1 島地川ダムについて

1. 島地川ダム水質改善対策の 検討方針

1.2 島地川ダム底層の水質について

■水質調査の実施状況



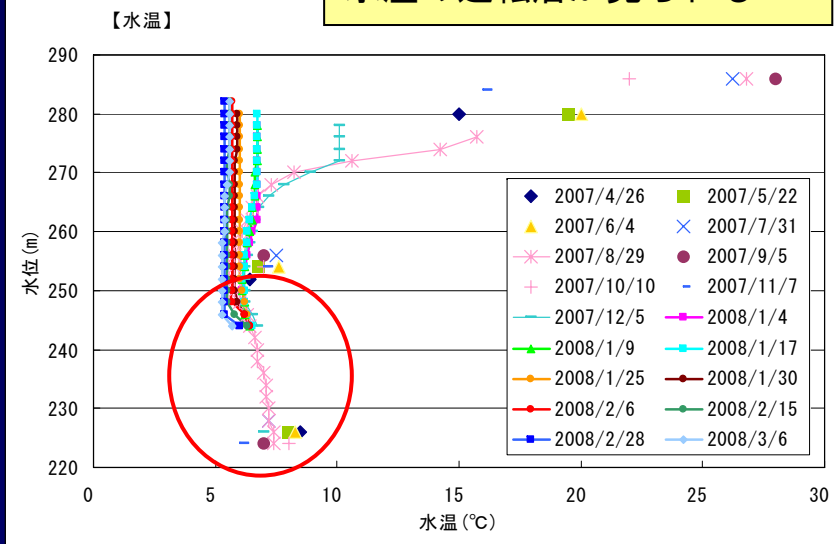
昭和57年度以降、毎年
ヒ素濃度の調査は平成5年度から



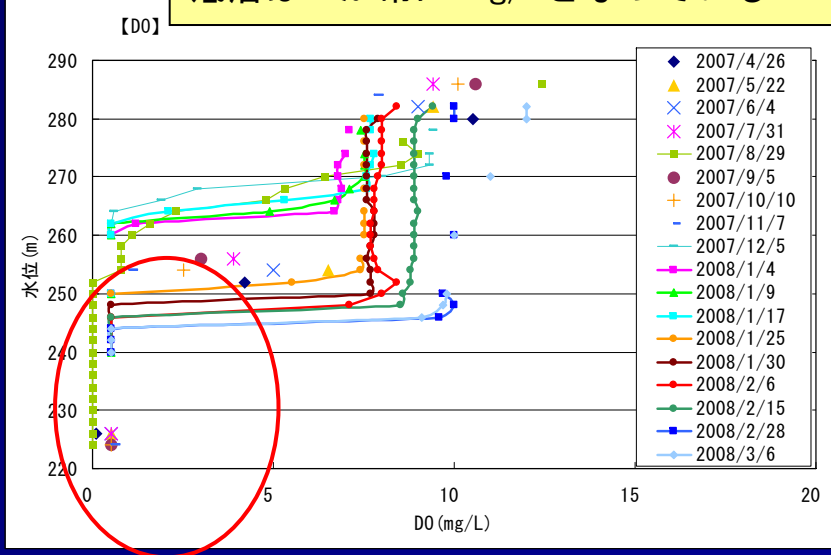
調査名	実施年度	調査地点	調査層	頻度	水質項目								
					水温	pH	DO	濁度	導電率	ヒ素	溶解性鉄	溶解性マンガン	
定期水質調査 (ダム貯水池内)	S57~H4	M1(ダム直上流) M11(黒川橋)	表層 中層 底層	●年12回(月1回) ○年1回	●	●	●	●					
	H5~H11	M1(ダム直上流) M11(黒川橋)	表層 中層 底層	●年12回(月1回) ○年1回(ヒ素2回)	●	●	●	●		年2回 ○	○	○	
	H12~H19	M1(ダム直上流) M11(黒川橋)	表層 中層 底層	●年12回(月1回) ○年1回	●	●	●	●		●	○	○	
定期水質調査 (島地川)	S57~H19	仁保津	流心	●年12回(月1回) ○年1回	●	●	●	●		H12のみ 12回 ●	H10~ ○	H10~ ○	
		ダム直下流 島地	流心	●年12回(月1回)	●	●	●	●					
	S57~H11	和田	流心	●年12回(月1回) ○年2回	●	●	●	●			H10~ ○	H10~ ○	
	H12~H19	和田	流心	●年12回(月1回) ○年2回	●	●	●	●		●	○	○	

鉛直水質調査結果

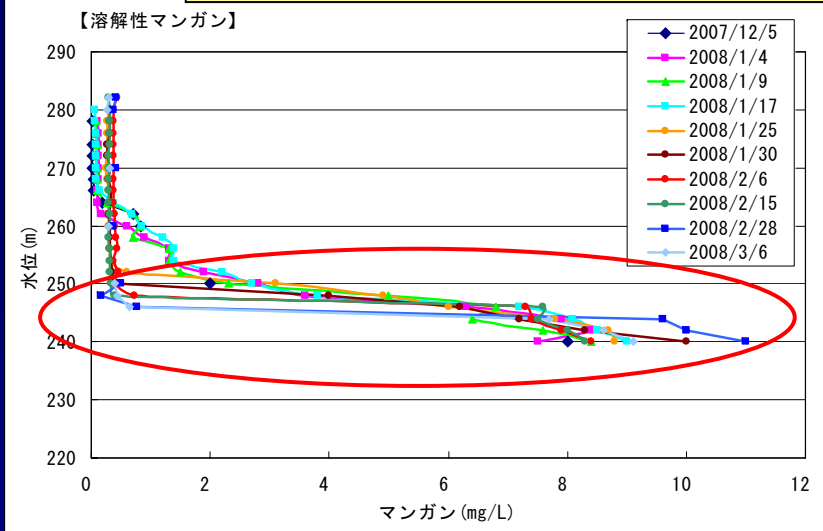
水温の逆転層が見られる



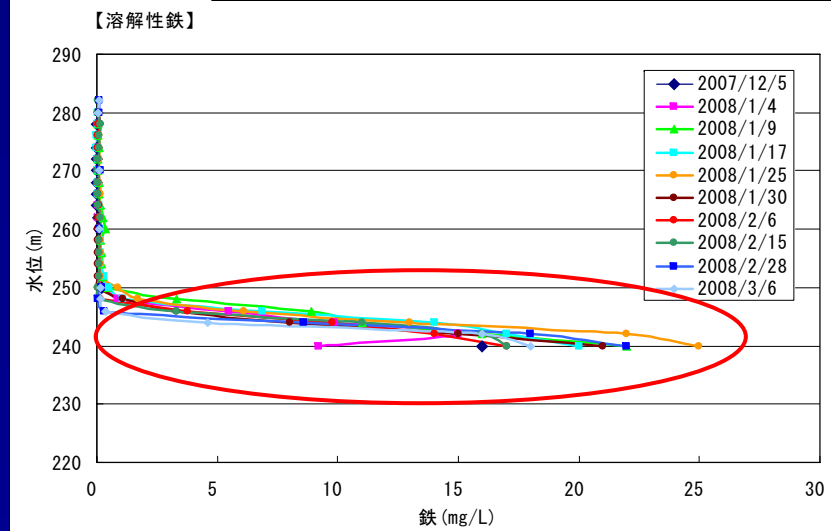
底層はDOが常に0mg/Lとなっている



EL. 250mより下の濃度が極端に高い

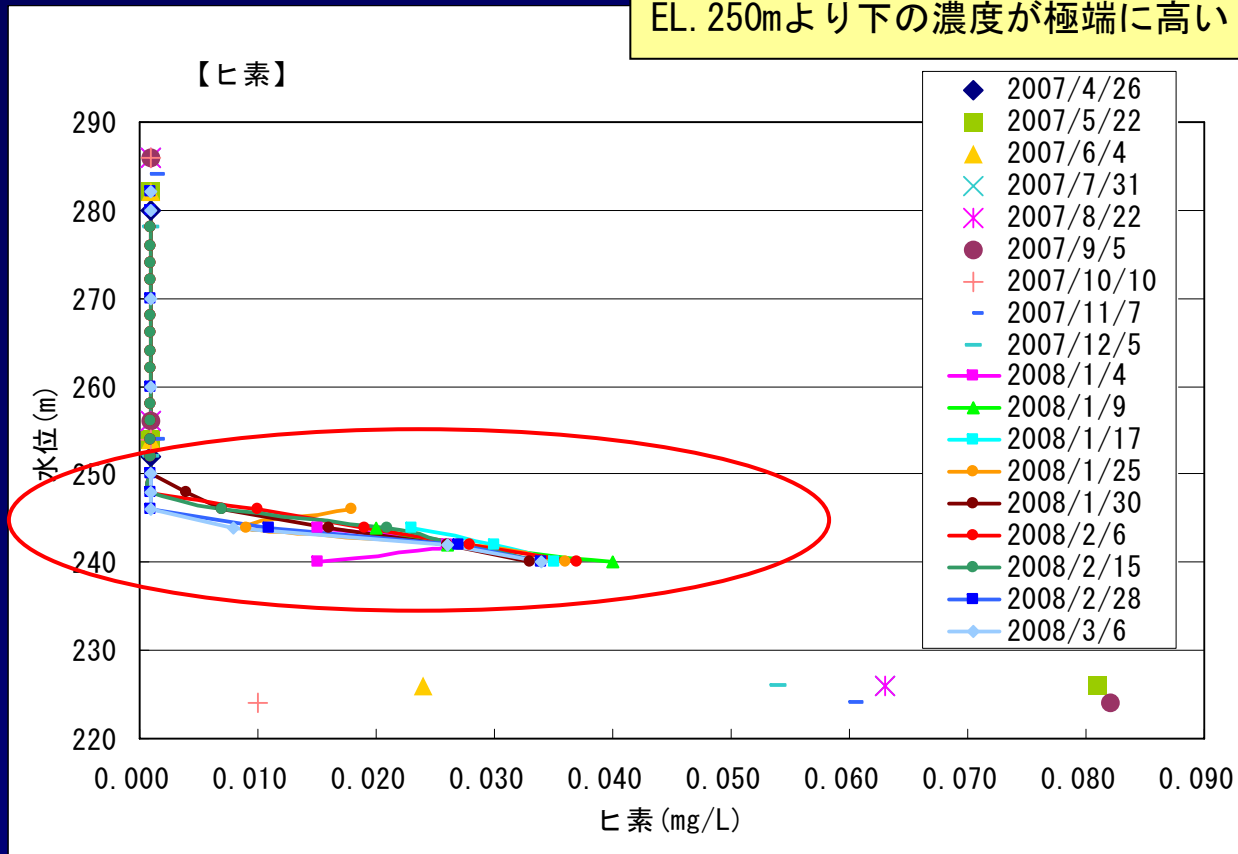


EL. 250mより下の濃度が極端に高い



■鉛直水質調査結果

EL. 250mより下の濃度が極端に高い



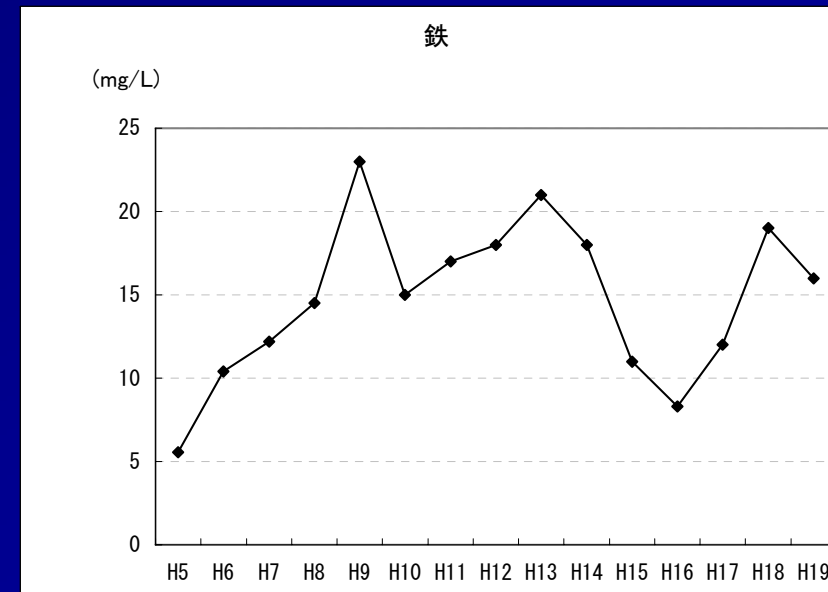
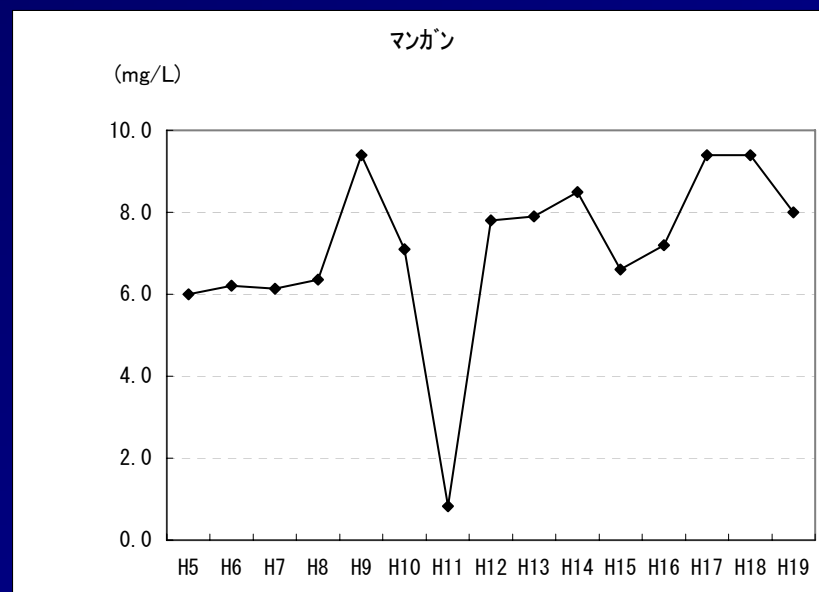
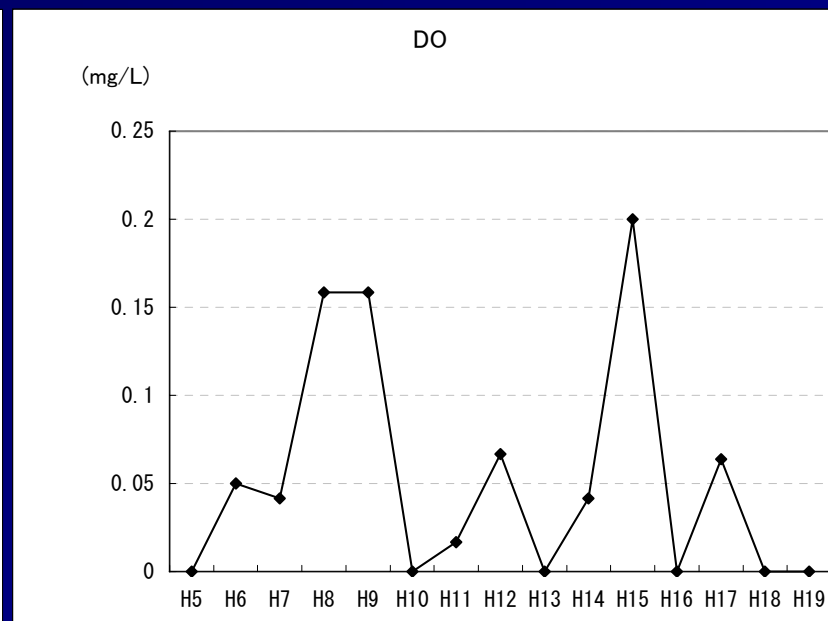
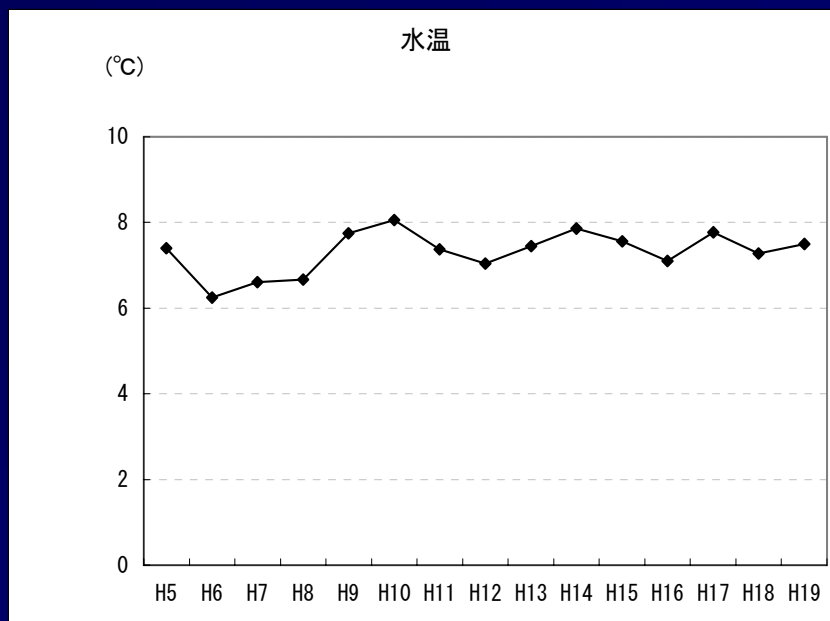
底層の無酸素化→底泥からの金属塩類の溶出



底層水の密度が高くなっていることが原因

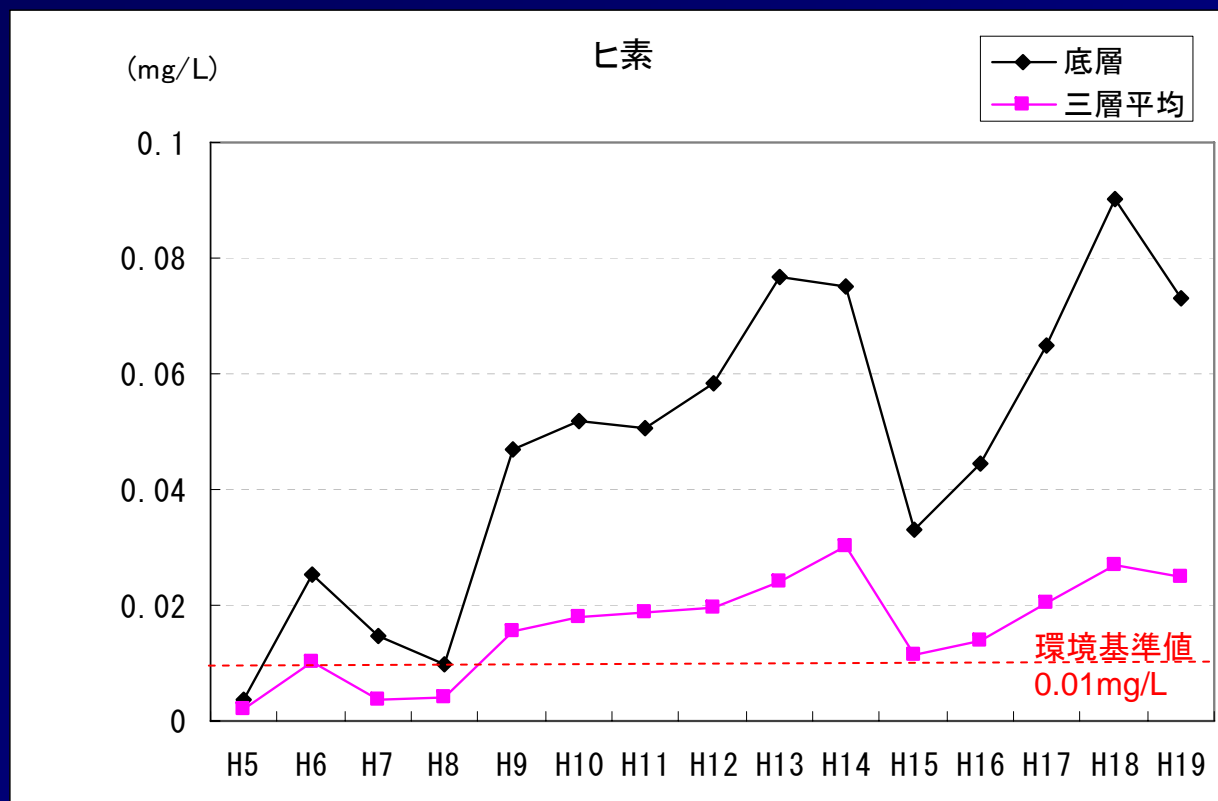
■ 水質(底層)の経年変化

M1(底層)の年平均値



■水質の経年変化

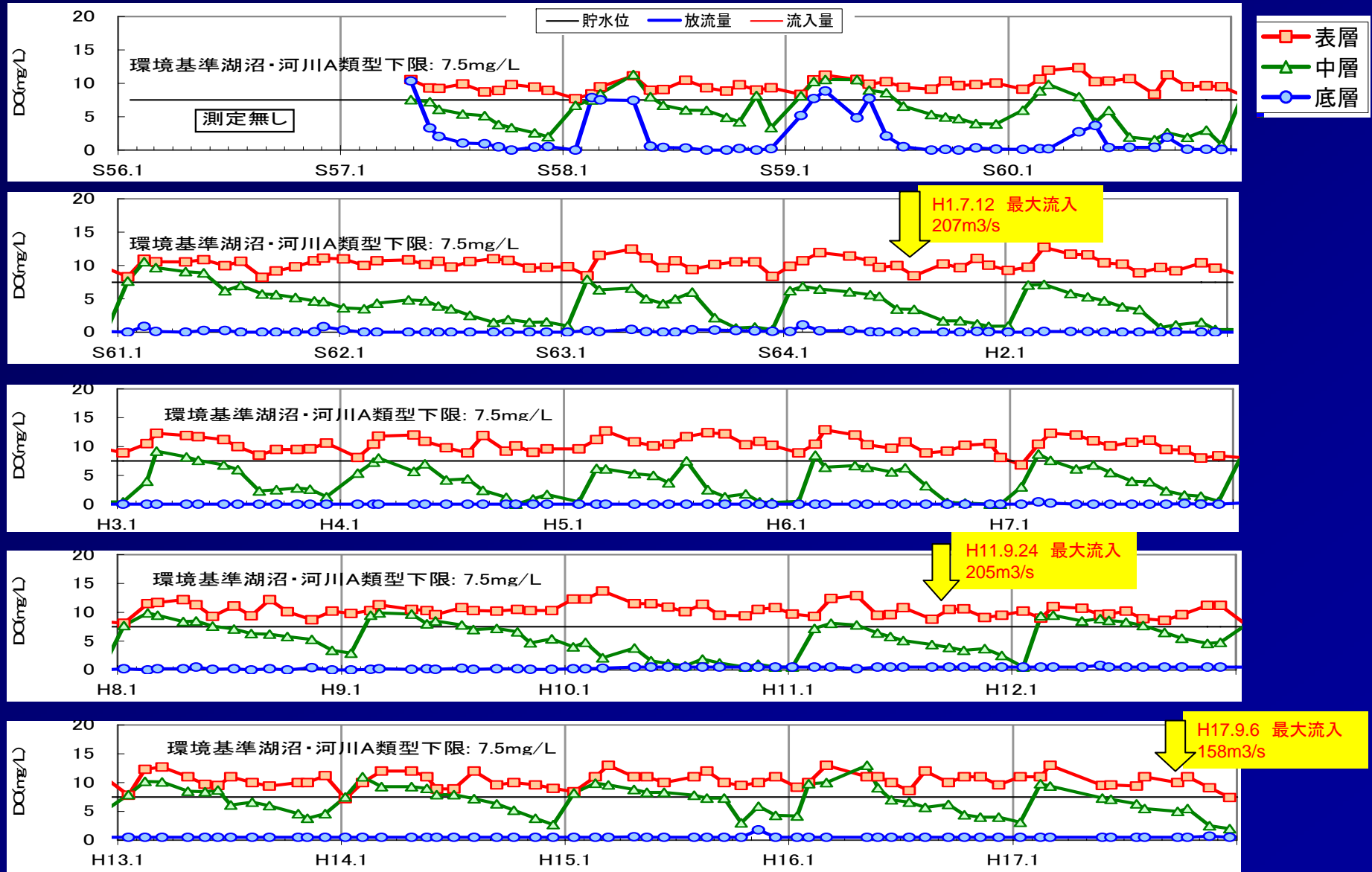
M1の年平均値



- ・ヒ素は環境基準を超過している
- ・鉄濃度とヒ素濃度はよく似た傾向にある
- ・経年的に上昇傾向
- ・平成7年に貯水池が赤色を呈した。
- ・平成20年に貯水池が黒色を呈した。

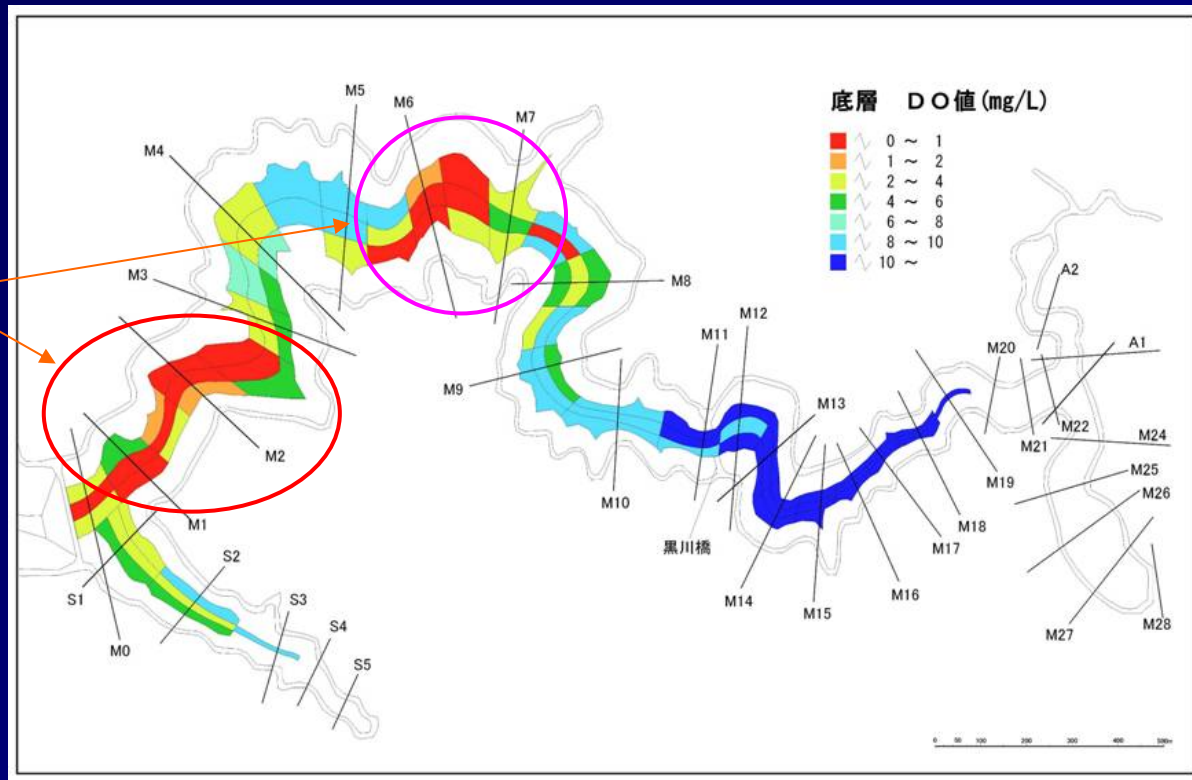
→ 26年間で2回発生

■ 水質の経月変化



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

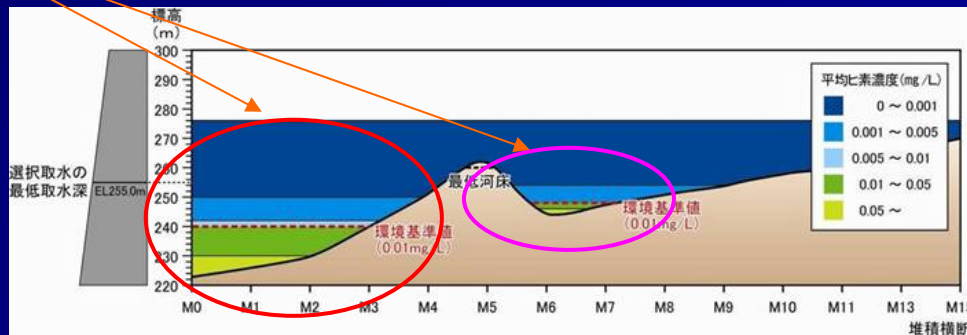
■底層の溶存酸素とヒ素の分布



0に近い

底層のDO値

ヒ素濃度
高い



ヒ素濃度の分布

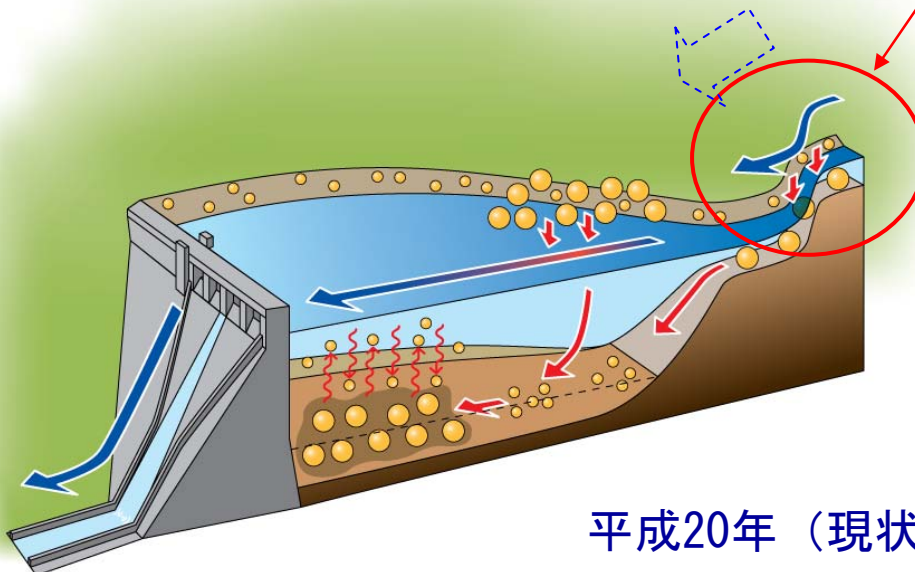
■ 島地川ダムヒ素汚染メカニズム模式図(修正)

出水時の水質調査、底質調査



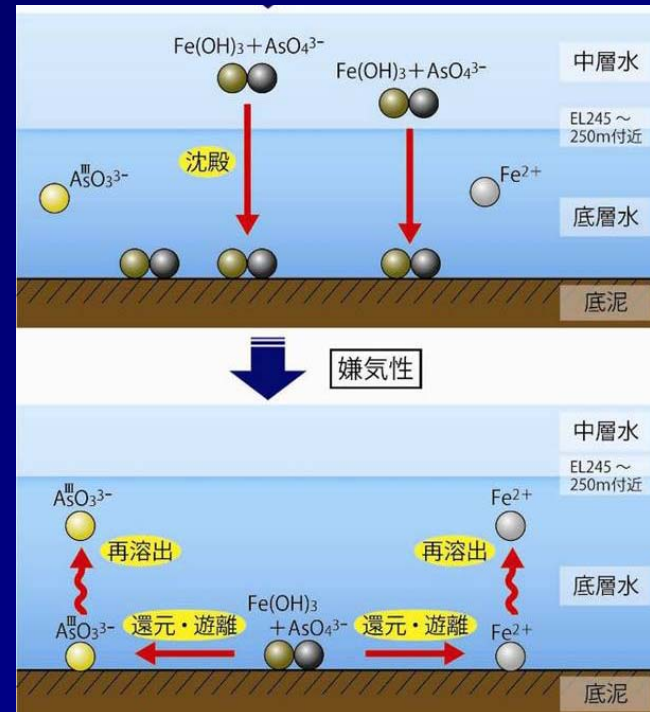
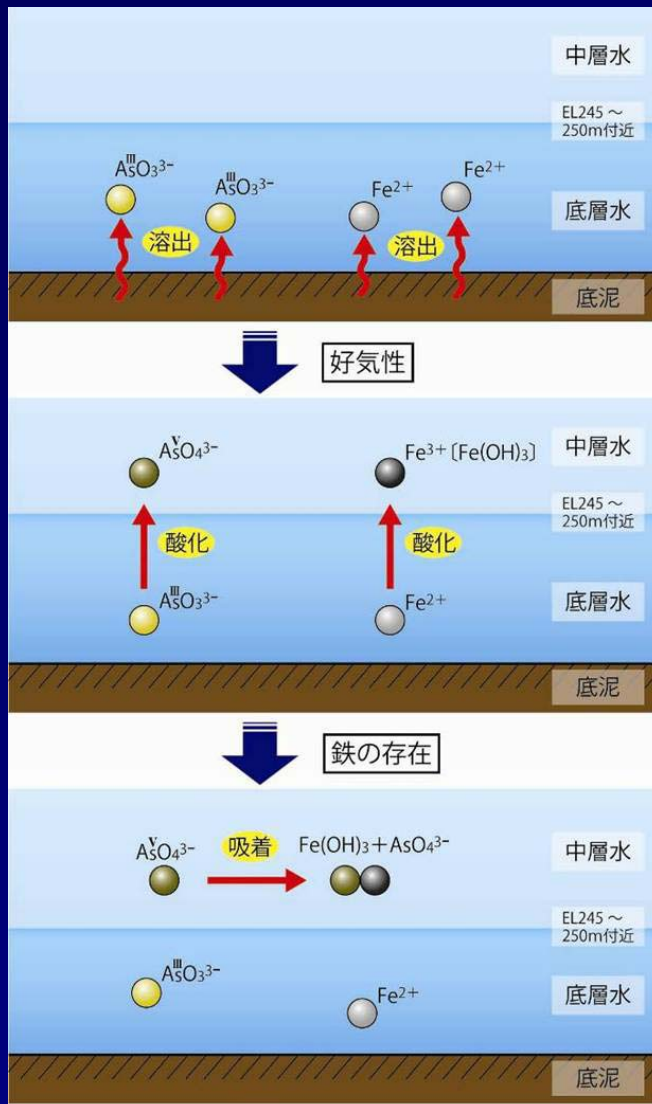
出水時にウォッシュロードや掃流砂、浮遊砂として**集水域からの流入がある**

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)



平成20年(現状)

■ 島地川ダム湖におけるヒ素溶出・循環メカニズム



- ・酸素の状態によって溶出と沈殿を繰り返す
- ・ヒ素は鉄に吸着される

1. 島地川ダム水質改善対策の 検討方針

1.3 深層曝気設備及び 底層水揚水・処理の事例紹介

■底層水揚水・処理及び深層曝気設備の事例紹介

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		

■ 深層曝気設備の方式について

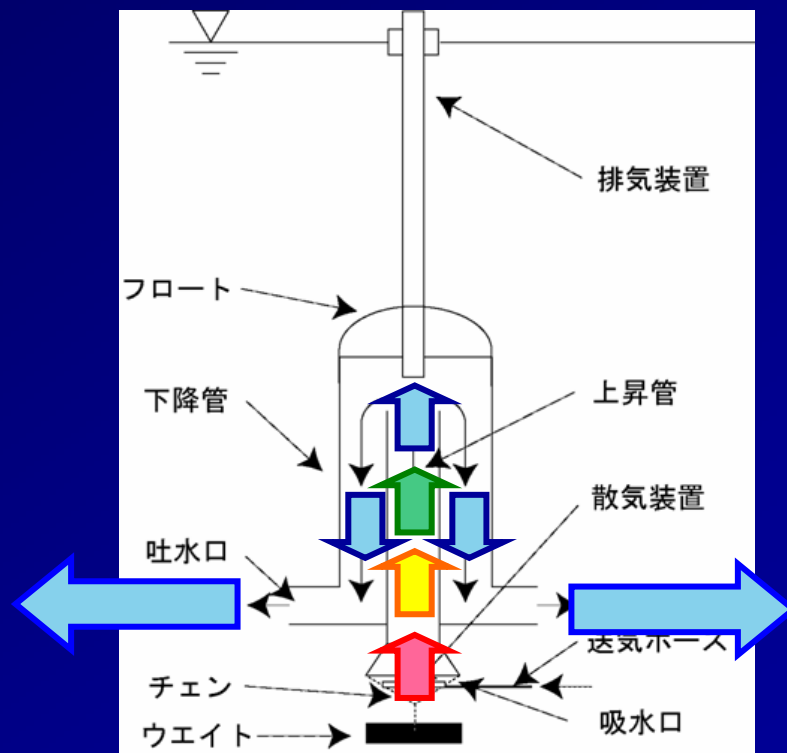
底層に設置した装置へ底層水を取込む



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する

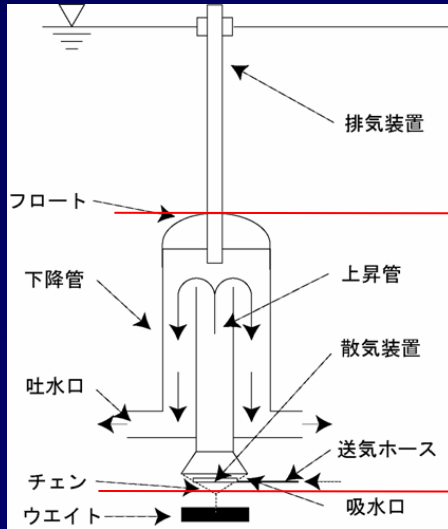


DOを溶け込ませた水を再度底層へ返送する



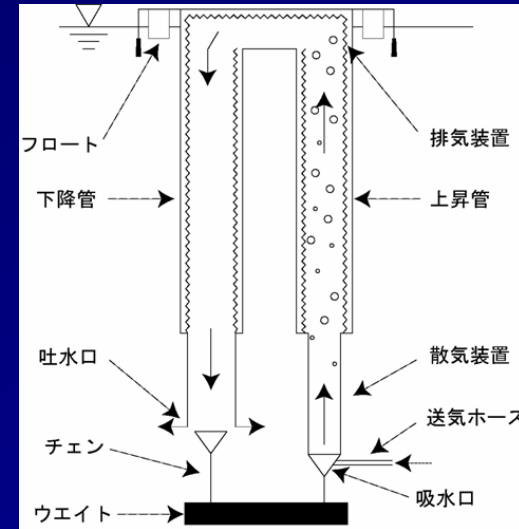
■ 深層曝気設備の方式について

〔沈水式〕

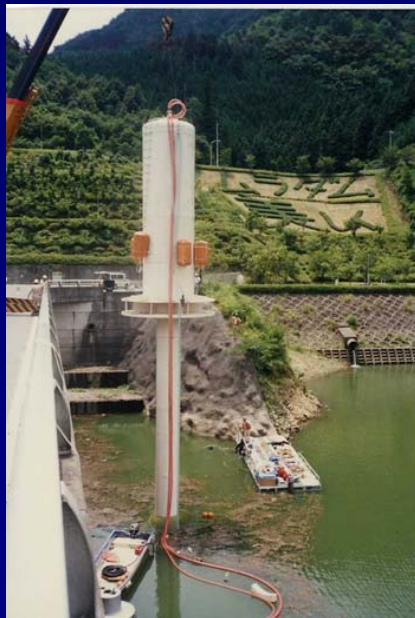


混合延長が長いほど空気溶解が進む

〔浮上槽式〕



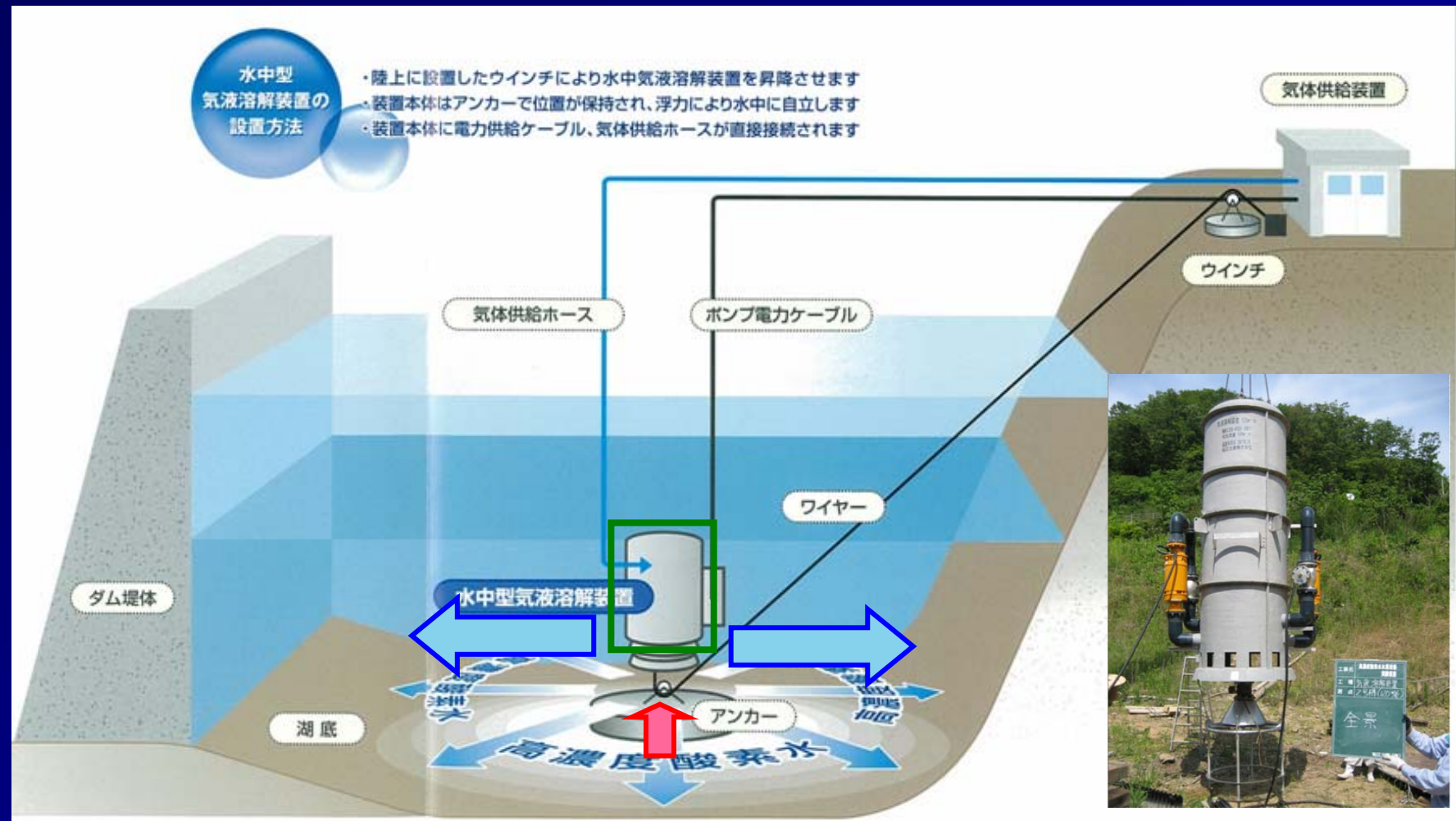
浮上槽



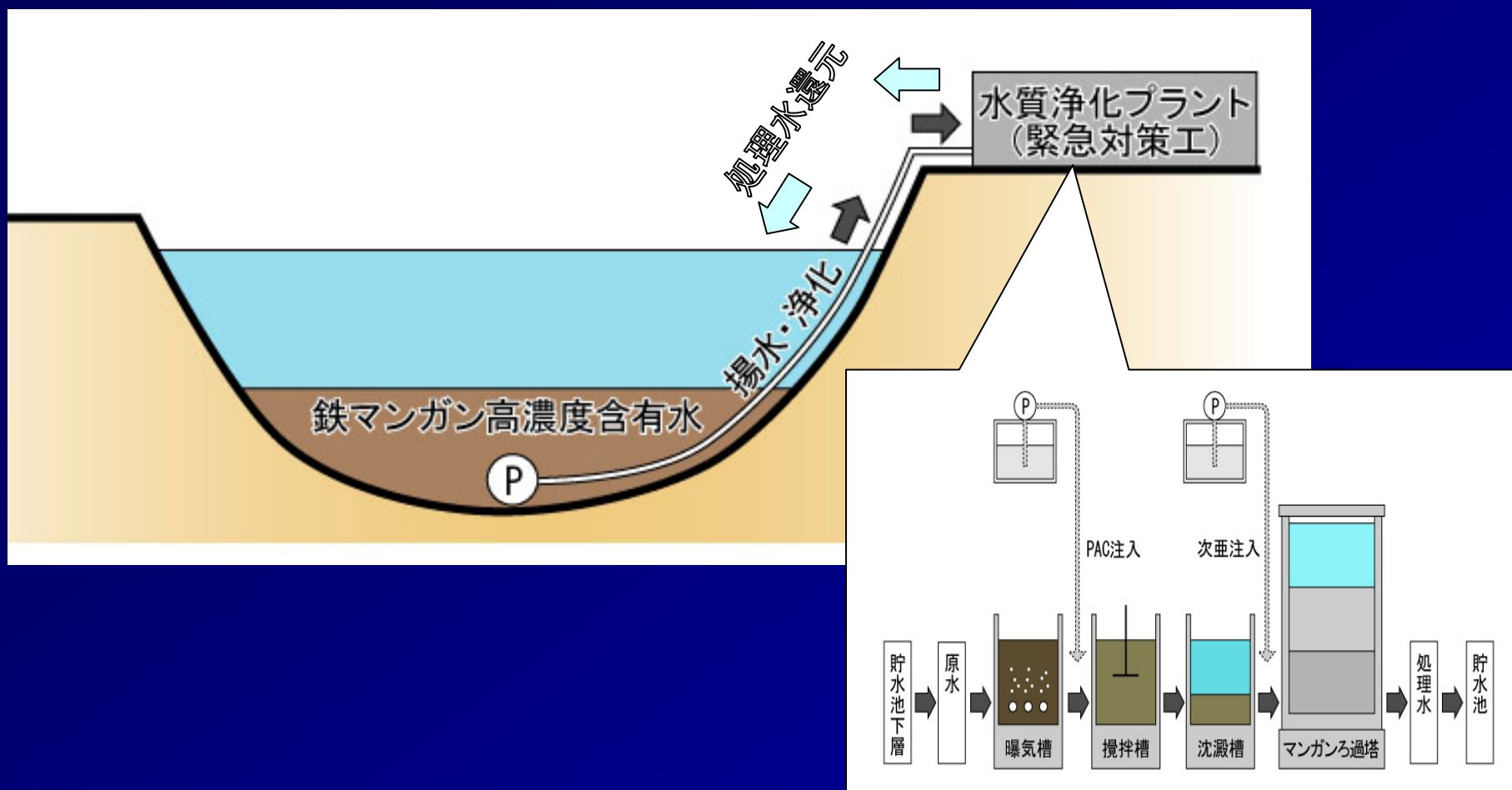
- ・水上に大規模な浮上槽が存在するため、景観や湖内の船の航行に影響を与える。
- ・ジャバラ管の更新に莫大な費用がかかる。(15年で1億円程度)

■高濃度酸素(酸素溶解方式)について

底層に設置した装置へ底層水を取込み、地上施設から高濃度にした酸素を送りこみ、底層において底層水と気泡を水圧により混合、DOを溶け込ませた水を底層へ返送する。



■底層水揚水・処理について



底層水を揚水し、地上に設置したプラントにより曝気(または化学薬品等の投入)による酸化・懸濁態化により沈澱処理を行い、処理水を返送する。

1. 島地川ダム水質改善対策の 検討方針

1.4 水質目標(案)

■ 利水上問題となる物質及び想定される問題

	ヒ素	鉄	マンガン
環境基準	0.01mg/L以下	—	—
水道水質基準	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	味もおいも無い。	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。

■ 利水上問題となる物質及び想定される問題

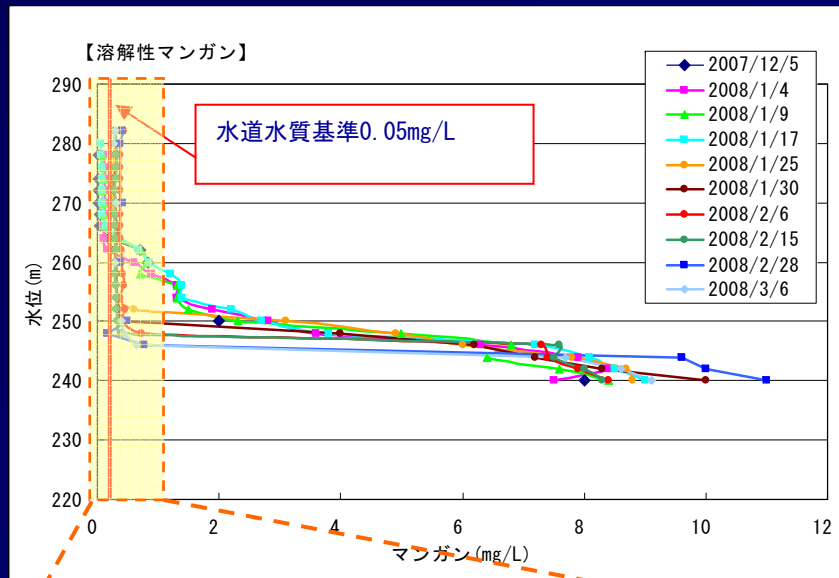
	ヒ素	鉄	マンガン
農業用水や工業用水への被害	植物に対する毒性が強く、土壌中の濃度が上昇した場合には植物に過剰障害が現れて生育が阻害される。	—	写真現像、プラスチック工業、食品工業などの業種によってはさまざまな化学反応に触媒として作用し障害を与える。
自然生態系（魚類等）への影響	三酸化二ヒ素の水圏環境生物に対する急性毒性は、甲殻類に対しては強い。	魚類では高濃度イオン水による体内のイオン輸送能の低下等が生じ、死に至る場合もある。	同左
ヒ素対策時の効果	—	ヒ素への対策により鉄も同時に除去される。	鉄の改善後に効果が現れる。長期的にはマンガンにも効果あり。

■ 赤水・黒水発生の可能性について

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

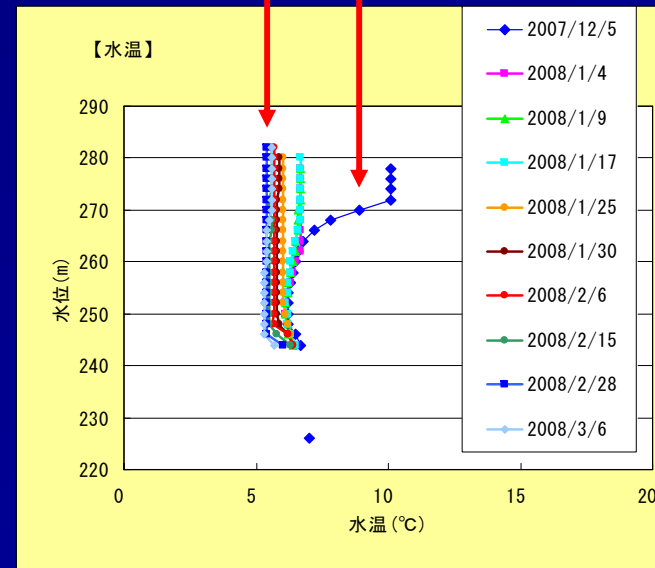
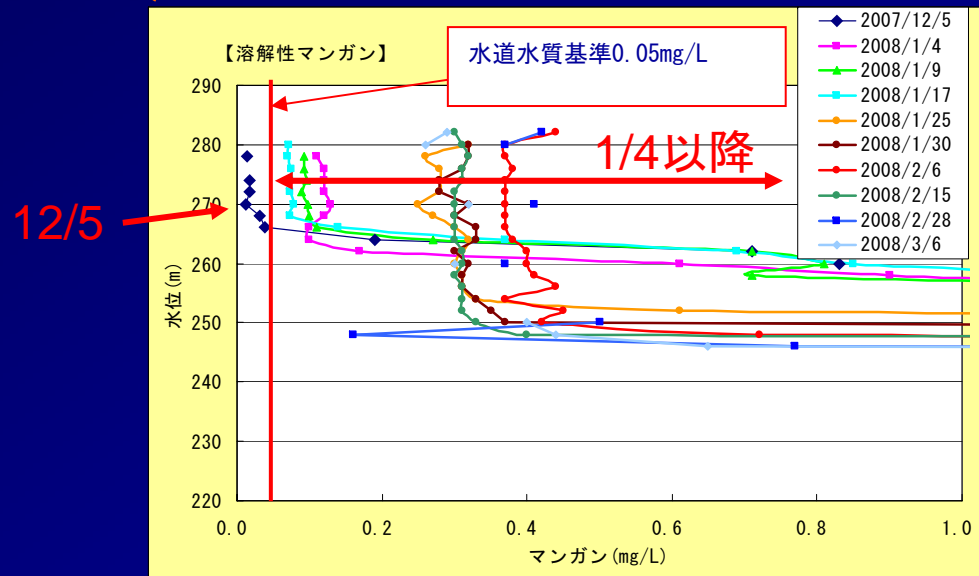
現象	発生日	備考
赤水	平成7年1月～2月 平成7年1月21日（貯水位 266.24(EL. m)であり、ダム管理開 始からの最低水位）	平成7年1月19日 M-1表層水で 鉄 1.4mg/L マンガン 2.4mg/L （調査時貯水位E. L. 266.33m）
黒水	平成19年12月末～平成20年3月	平成20年2月6日 M-1表層水で 鉄 0.08mg/L マンガン 0.44mg/L （調査時貯水位E. L. 282.05m） 12/5から1/4の間に循環期が訪 れた結果、250(EL. m)より上層 にマンガンが供給されている。

■ 黒水発生時の状況



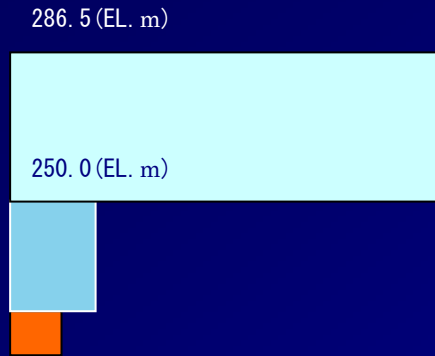
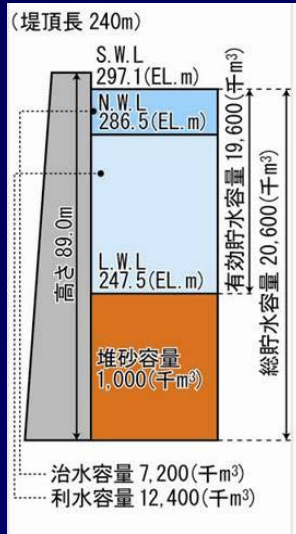
平成19年12月末～平成20年3月
(黒水)

黒水発生時には水温成層が壊れ
循環期に入っていた。



■ 渇水発生時の状況

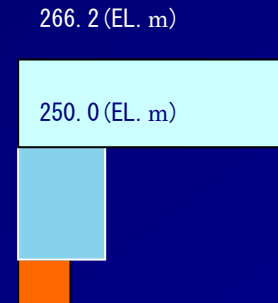
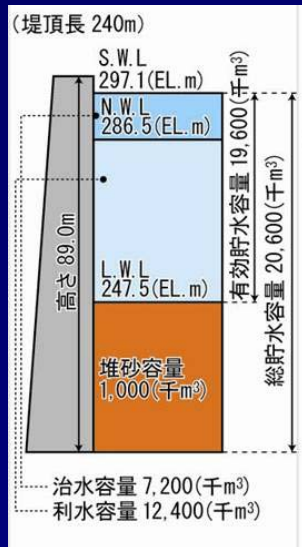
常時満水時



清水域 = 12,190 千m³

要注意水域 = 952 千m³

H17堆砂 = 258 千m³



既往最大渇水時(平成7年1月21日)

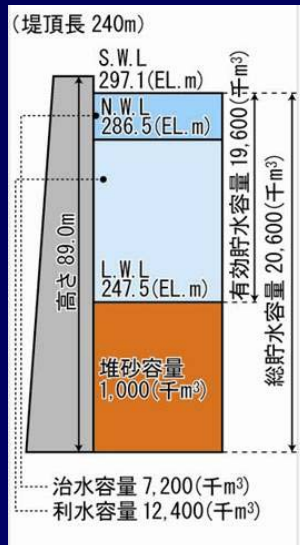
清水域 = 2,988 千m³

要注意水域 = 952 千m³

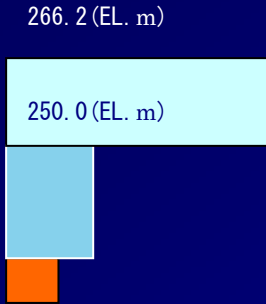
H17堆砂 = 258 千m³

← 清水域が少ない

■ 渇水発生時の状況



既往最大渇水時(平成7年1月20日)



清水域 = 2,988 千m³

要注意水域 = 952 千m³

H17堆砂 = 258 千m³

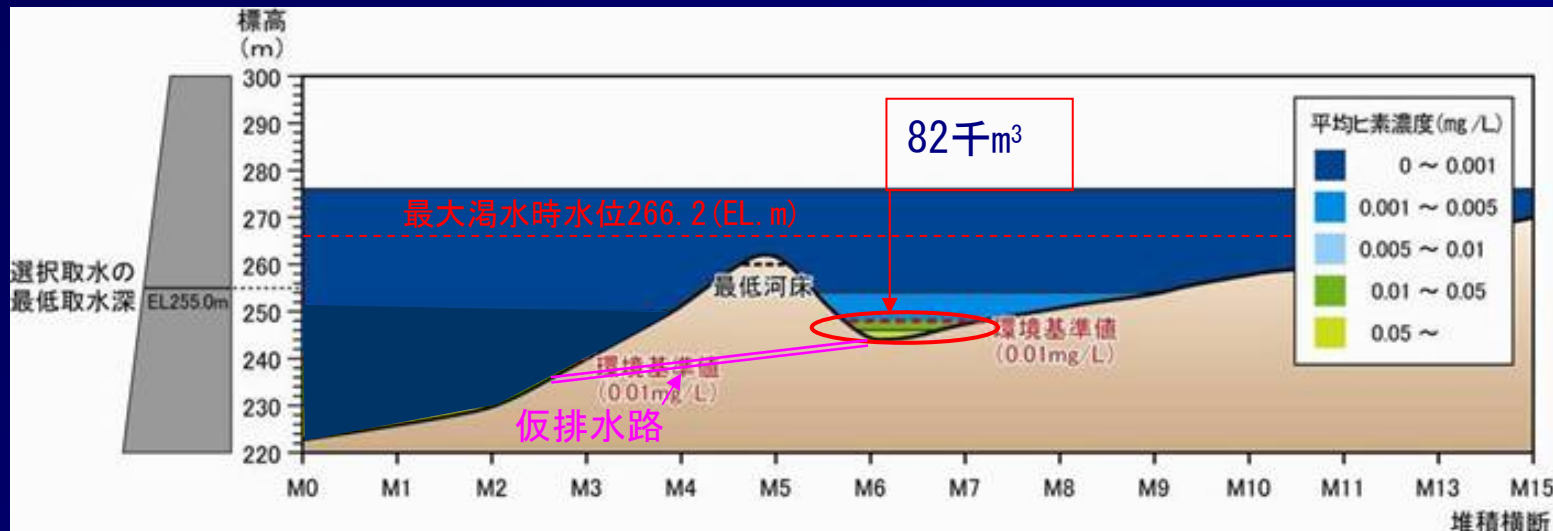
3,940 千m³

H17堆砂 = 258 千m³

	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

※要注意水域の濃度はM1底層のH5~H19平均値を用いた。

■ M6の扱い



M6はダム施工時に沈殿池がつかられ、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っていた経緯があり、M1付近に流入している可能性がある。



M1で水質改善を行えば、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、M6付近の水質も改善される可能性がある。



検討に際しては、M1対策を主として、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る。

■水質現況の整理

- ヒ素＝表層・中層・底層の年間平均値が環境基準を超過
- 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。
- 赤水・黒水が1回ずつ発生（供用後26年間 発生確率1／13）

■水質目標の設定

管理目標：安全で快適な貯水池・放流水とすること。

流域住民の方々が安心して利用できる貯水池・河川空間の確保
ダム下流の水利用者への安心・安全を図る

水質目標

ヒ素 : 環境基準が設定されているヒ素は環境基準を満足させる
(0.01mg/L以下)

鉄・マンガン : 貯水池及び放流水の色の呈色を防ぐ
(参考値として鉄=0.3mg/L、マンガン=0.05mg/L)

■水質目標の設定

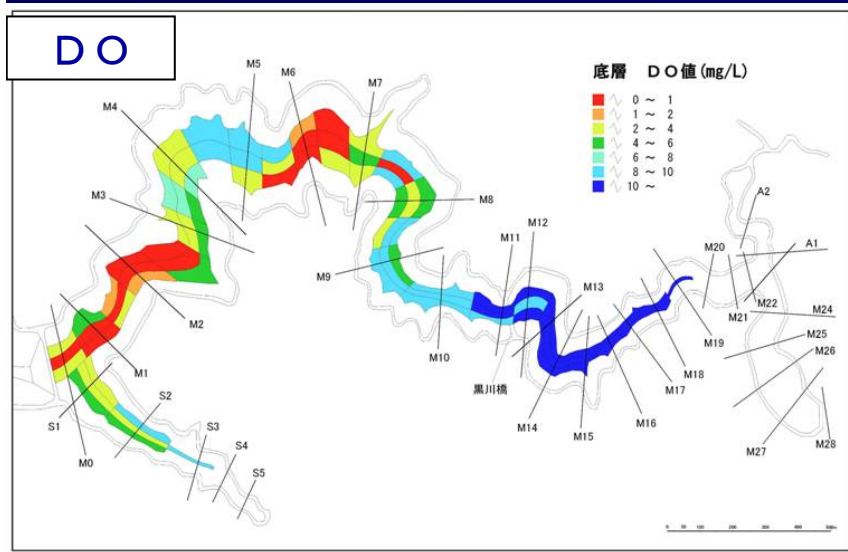
水質目標としてヒ素の環境基準を満足しようとした場合

- 島地川ダムでは表層・中層で概ね0.001mg/Lを満足している。
- 底層ヒ素濃度は上昇傾向にある。
- 三層平均値の環境基準値(0.01mg/L)を満足するためには底層のヒ素濃度を下げる必要がある。
- 渇水時には要注意水域である250(EL.m)以深も使用する。



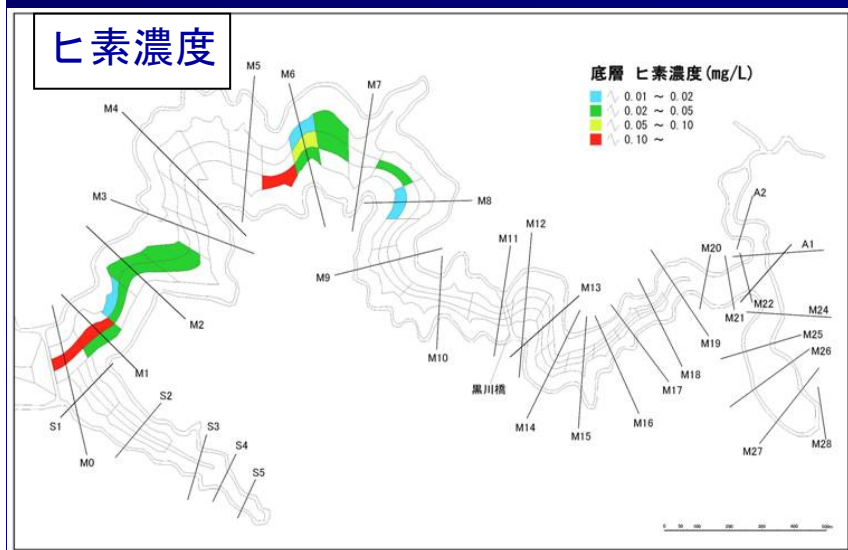
現況の底層水質を改善することが必要

■水質目標の設定 (DO供給による低減効果1)

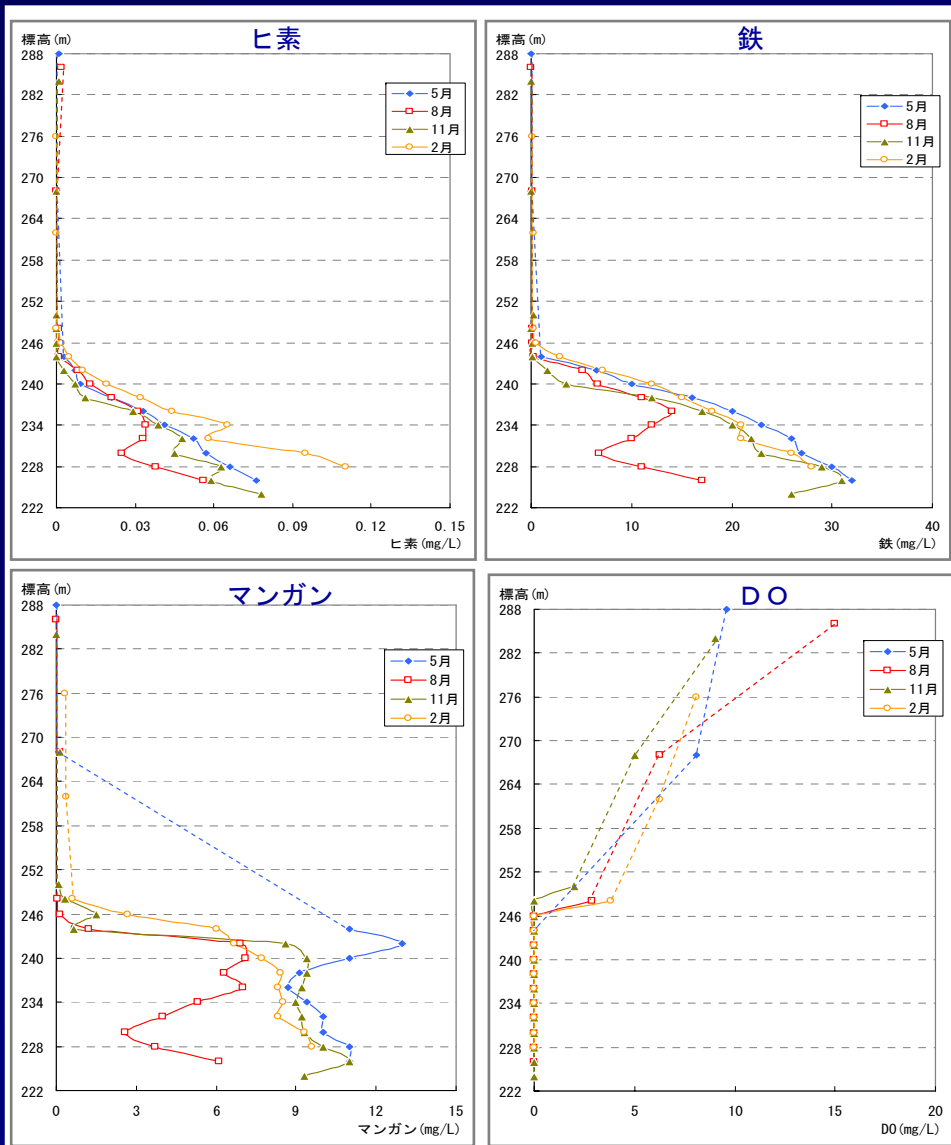


島地川ダムにおいて、

- ・ヒ素が0.01mg/L以上を示す箇所はDOが2mg/L以下の貧酸素地域に概ね該当
- ・DOが4mg/L以上の箇所ではほとんど溶出していない



■水質目標の設定 (DO供給による低減効果2)

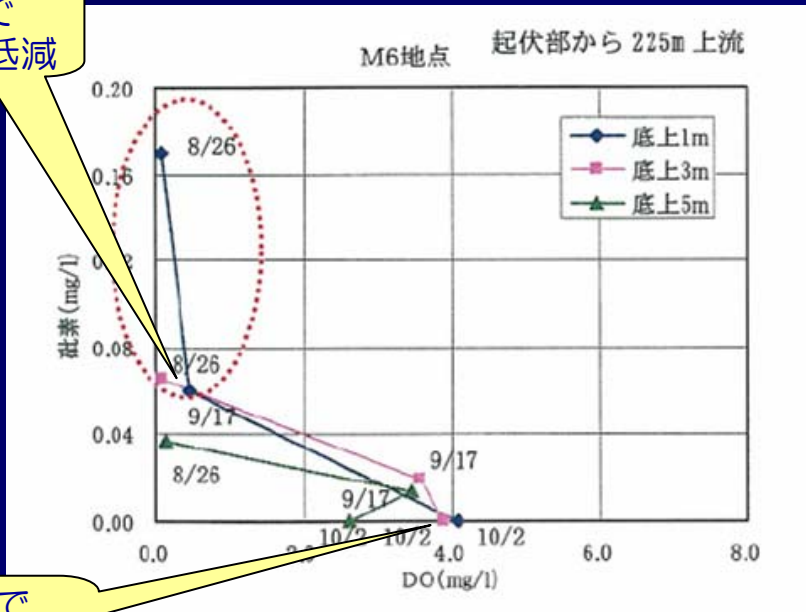


島地川ダムにおいて

- ・鉄・マンガン・ヒ素の挙動は概ね一致している
- ・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。

■水質目標の設定 (DO供給による低減効果3)

DO=1で
相当の低減



DO=4で
定量限界

島地川ダムでのマイクロバブルを使用した実証実験においてDOが2mg/Lで概ね基準を満足、4mg/Lで定量限界まで低減している。

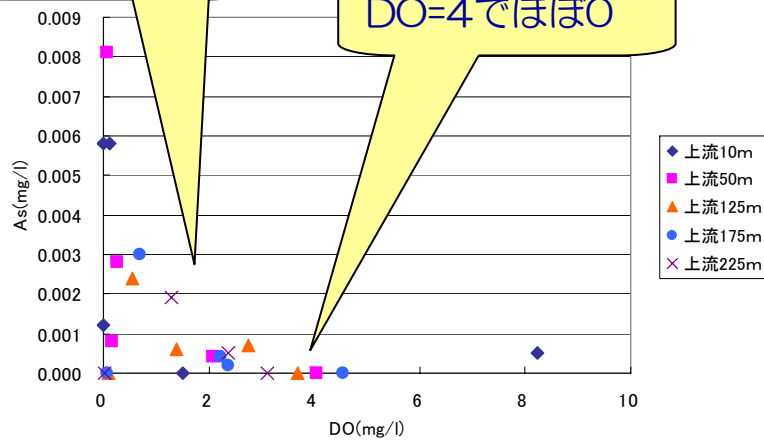
マイクロバブル実証実験結果(ヒ素)

■水質目標の設定 (DO供給による低減効果4)

DO=2で
環境基準以下

ヒ素

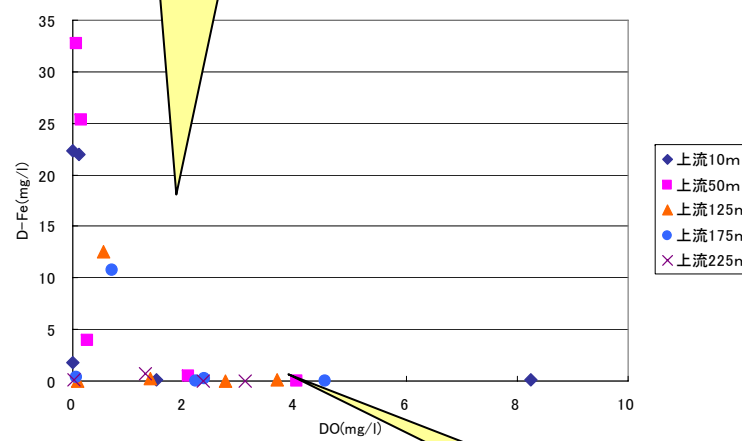
実験2 DOとD-As



DO=2で
0.3程度

鉄

実験2 DOとD-Fe

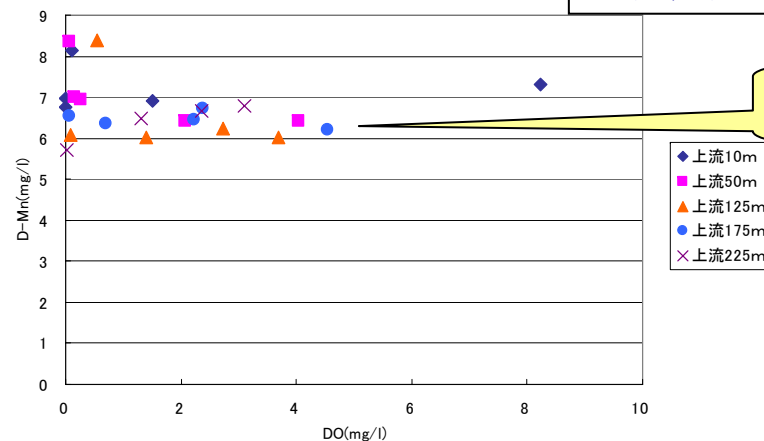


DO=4で
ほぼ0

ほとんど低減なし

マンガン

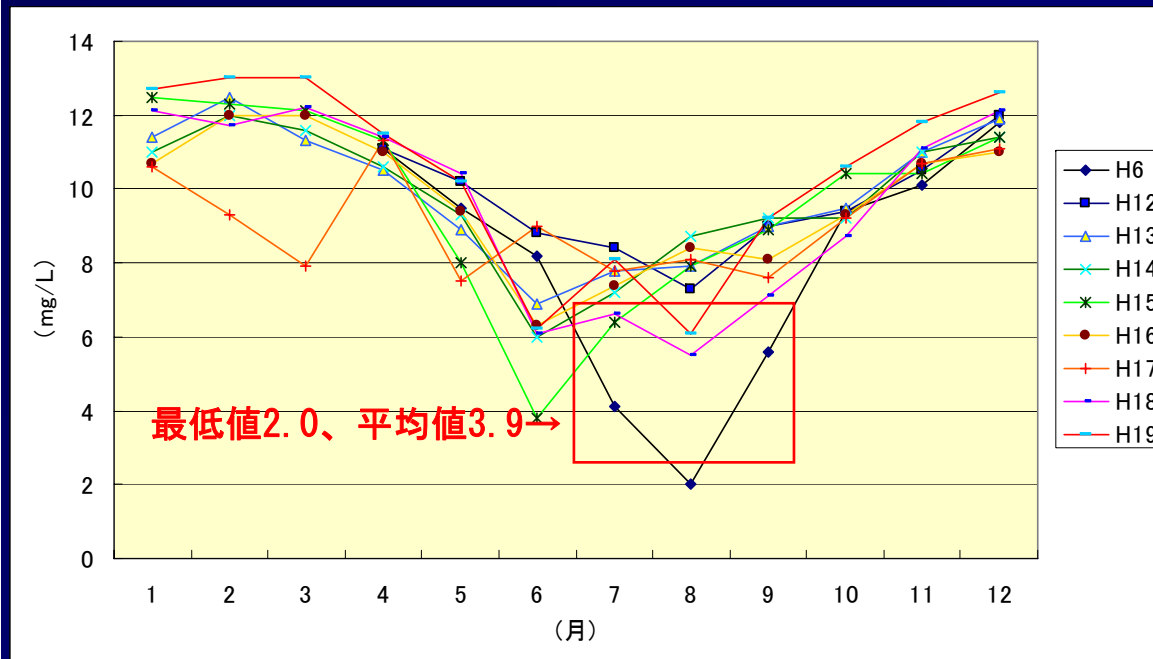
実験2 DOとD-Mn



※マンガンが酸化されないのは、酸化還元電位が鉄に比べて高く、pHが8以上に上がらないと酸化されにくいいため。曝気を続ければ次第に酸化・沈殿されると考えられる。

高濃度酸素(空気供給)実証実験結果

■ 水質目標の設定 (DO供給による低減効果5)



Gダムにおいて

- ・常にDOが2mg/L以上
- ・3ヶ月平均では4mg/Lでヒ素が出ていない。

2. 島地川ダム水質対策工法(案)

2. 島地川ダム水質対策工法(案)

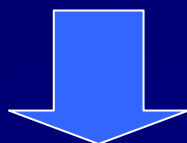
2.1 底層水揚水・処理法の考え方 について

■底層水揚水・処理法の考え方

要注意水域を2年間(Fダム事例)で処理する場合

$$952,000\text{m}^3 \div (365 \times 2) = 1,304\text{m}^3/\text{日}$$

(Fダム事例 平均日処理量 = 1,226m³/日)



8倍

利水として使用する量だけを処理する場合

$$0.12\text{m}^3/\text{s} = 10,368\text{m}^3/\text{日}$$

(要注意水域を91.8日で処理
することに相当)

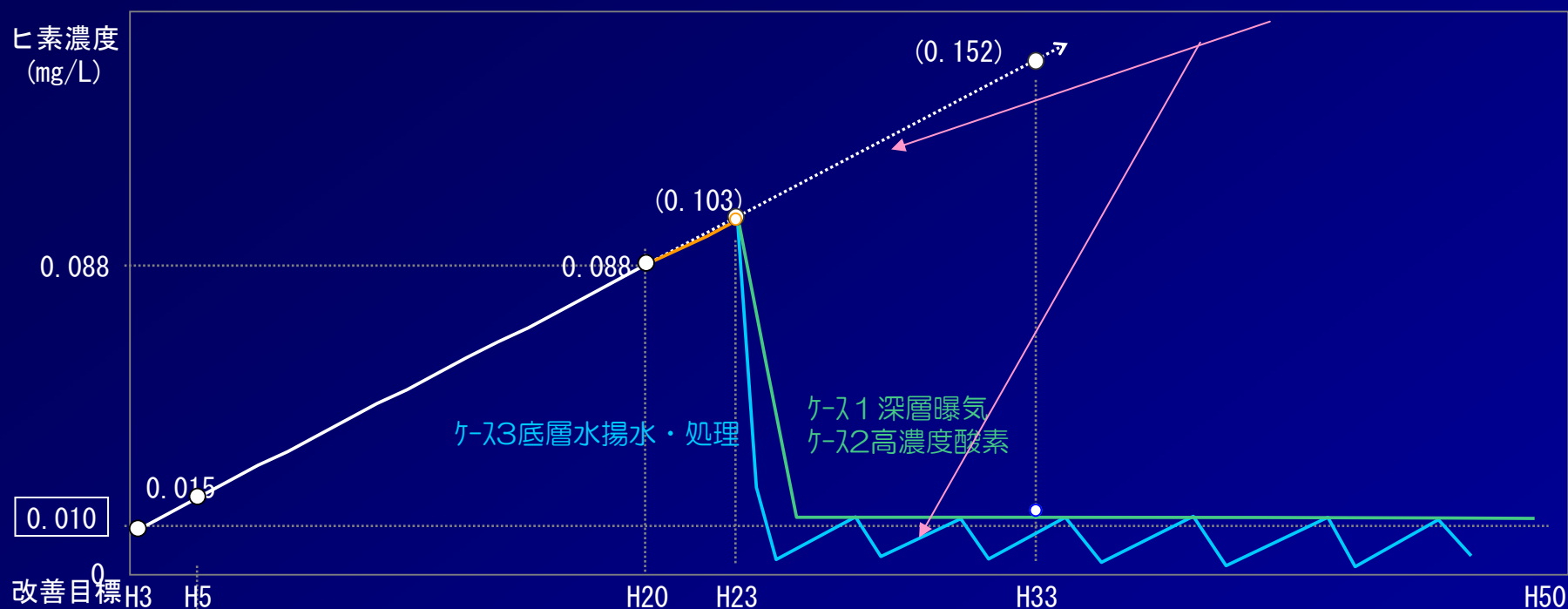
工法比較に際しては、他工法との横並びも考え
2年間での水質改善を考慮して比較を行う

2. 島地川ダム水質対策工法(案)

2.2 島地川ダム水質改善効果

■ 島地川ダム水質改善効果

傾きはH5～H19のトレンドを用いた



ケース1 深層曝気、ケース2 高濃度酸素

実験結果や既存事例を踏まえ(概ね90%程度の改善効果)、
深層曝気を経年的に運用することにより、運用2年程度で改善目標を達成できると考える

ケース3 底層水揚水・処理

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

2. 島地川ダム水質対策工法(案)

2.3 島地川ダム水質改善設備の比較

■ 島地川ダム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。	△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ため、水質目標値を満足できない可能性がある。

■ 島地川ダム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
事例における水質目標	底層の溶存酸素濃度＝4～6mg/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	<ul style="list-style-type: none"> ・コンプレッサーの整備点検 ・エアースホースの交換 ・装置本体の維持管理 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・エアースホースの交換 	<ul style="list-style-type: none"> ・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、182m²(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。

■島地川ダム水質改善設備の比較(参考値)

(参考) 各装置1基当たりの概算比較

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	
概算費用 ※M1のみの対策	LCC (30年)	◎	142,000千円	○	285,000千円	△	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 (エアース交換費) 700千円/年(コンプレッサー保守点検費)	72,000千円(30年)	1,000千円/10年(エアース交換費) 1,500千円/年(コンプレッサー・酸素発生器保守点検費)	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)

■島地川ダム水質改善設備の比較(総括案)

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
総合評価	<p>総合評価：○</p> <p>◎係留設備が簡易で景観影響が少ない。</p> <p>◎1基辺りでは、コストが最も安い。</p> <p>○国内実績が多い</p> <p>△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。</p> <p>△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。</p>	<p>総合評価：○</p> <p>◎DOの供給効果が高い。</p> <p>◎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。</p> <p>△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以深は水圧が高いため30mg/L程度の吐出しが可能であるので問題はない）</p> <p>△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。</p>	<p>総合評価：△</p> <p>◎当面は確実に対象範囲の水質を改善できる。</p> <p>△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。</p> <p>△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。</p> <p>△水質を改善した後に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。</p>

今後の検討にあたっては、底層水揚水・処理を除いたDO供給を目的効果とする深層曝気工法2工法での検討を進める

3. まとめ

■まとめ

水質目標

目標 : 安全で快適な貯水池・放流水とすること。

水質目標 : ヒ素 = 環境基準値0.01mg/L以下
鉄・マンガン = 水の呈色を抑える

水質目標の補足)

- 鉄・マンガンについて

鉄 = 0.3mg/L以下

マンガン = 0.05mg/L以下

を参考値として今後、島地川ダムでの目標設定値について再整理を行う

- DO値について

DO値を常時2mg/L以上、概ね4mg/L以下

を参考値として今後、具体的数値の検討を進める

■まとめ

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(2次選定)。