

第 4 回 島地川ダム水質改善検討委員会

委員会資料

平成21年12月

国土交通省 中国地方整備局 山口河川国道事務所

目 次

第1章	第3回委員会での決定事項と課題に対する対応方針	1
1.1	陰イオンに関する水質調査結果	2
1.2	蒸発残留物の組成について	3
1.3	島地川ダム実証実験時の酸素消費量について	4
1.3.1	M1とM6の類似性について	4
1.3.2	酸素消費量の検討	7
1.4	ダム湖以外での高濃度酸素溶解装置の事例収集	11
1.5	管理用発電の検討状況	17
1.6	底層に蓄積されるヒ素の対応手法検討	18
第2章	島地川ダムの水質改善事業の状況報告	19
2.1	高濃度酸素溶解装置の進捗状況	19
2.2	高濃度酸素溶解装置の設計	20
第3章	高濃度酸素溶解装置の運用（案）	22
第4章	水質モニタリング調査（案）	33
第5章	まとめ	35

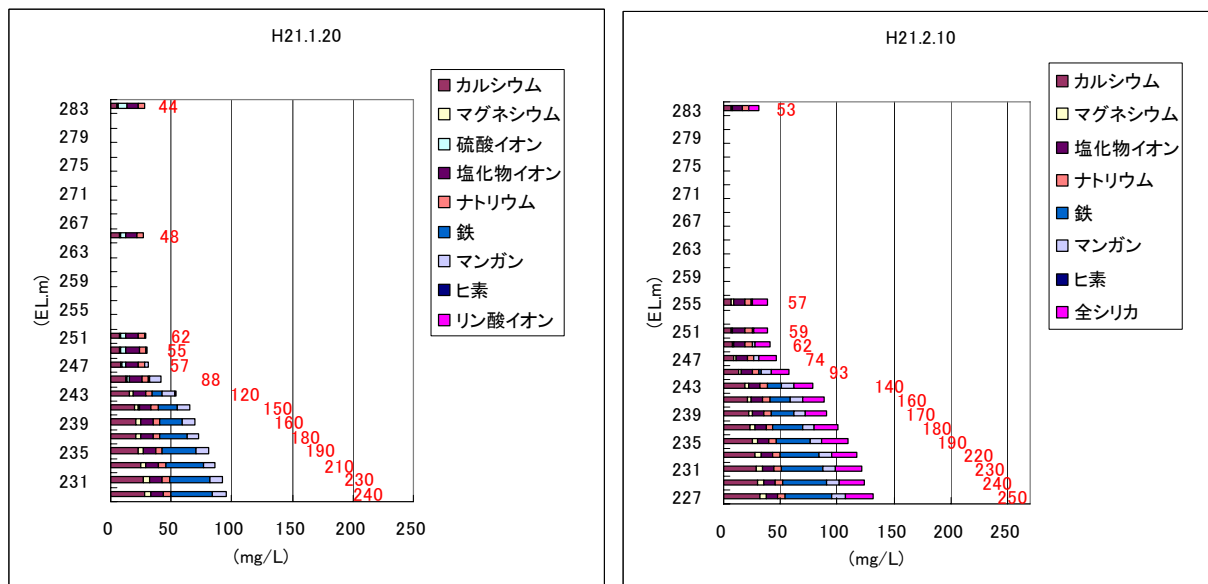
第1章 第3回委員会での決定事項と課題に対する対応方針

表 1-1 第3回委員会での決定事項と課題に対する対応方針

第3回委員会決定事項	提言の背景	第4回委員会での検討方針
◆水質モニタリング項目に陰イオンを加える。	酸素消費量の妥当性を検討するため。	分析項目にシリカを追加し、調査結果をグラフ化した (p. 2)。
◆蒸発残留物の組成について分析を行う。	同上	M-1 底層水をICP発光分光分析法によって分析した結果を記載している (p. 3)。
◆酸素消費量について、検討を加える。	機器の容量不足、過大な設計を防ぐため。	提案された「酸素消費量実験」について、島地川ダムは底層の鉄の量が多く、採水時の酸化を防げないと予想されたため、実施していない。その代わりに既存データを用いて以下の検討を行った。 ・M1とM6の水質には類似性があり、M6の結果をM1に適用することに問題はないと考えられる (p. 4～)。 M6における実証実験時の鉄の酸化に使われた酸素量を化学反応式を基に検討した (p. 7～)
◆水質改善装置としては、高濃度酸素溶解装置で了承するが、事例は少ないため、水処理分野の情報も収集して参考とする。高濃度酸素溶解装置 (120m ³ /h)・1台で検討を進める。	高濃度酸素供給はダムにとっては新技術であっても、水処理の世界では一般的な技術であることから、耐用年数の参考とするため。	他分野も含めて高濃度酸素供給事例を掲載した。「高濃度酸素溶解装置 (120m ³ /h)・1台」を設置するための設計は完了しており、現在設置工事中である。 (p. 11)
◆施設の維持管理電源について、管理用発電を検討する	自然エネルギーの有効活用により、水質改善装置導入による維持管理コストを削減するため。	管理用発電のB/Cを概略検討したところ、1.45～1.76となり、導入の可能性はあると判断された (p. 17)。現在導入に向けて検討中である。
◆ダムにおけるヒ素の物質収支を算定するとともに底層に蓄積されるヒ素への対応を検討する。また、流入水についても対応を検討する。	将来的なヒ素への対応方針の確認のため。	出水時の水質調査が行えなかったことにより、ヒ素の物質収支の再算定は実施せず。底層に蓄積されるヒ素への対応について、検討した (p. 18)。
◆流入河川の降雨時の水質調査を継続する。	ヒ素の流入状況をより詳細に把握するため。	今年の出水は7月19日～26日に中国・九州北部豪雨があったが、水質調査は不可能であった。それ以外は50m ³ /sを越える出水はなかった。今後も調査を継続する。
◆モニタリング調査では、生物（魚類など）調査を視野に入れる。（特に酸素が供給された後）	水質改善により魚類の生息環境が広がり、ブラウントラウト等の冷水魚に金属の蓄積が生じる可能性があるため。	一般にはダム深層部の調査は実施しないが、酸素供給後の河川水辺の国勢調査時に補足調査の実施を検討する。

1.1 陰イオンに関する水質調査結果

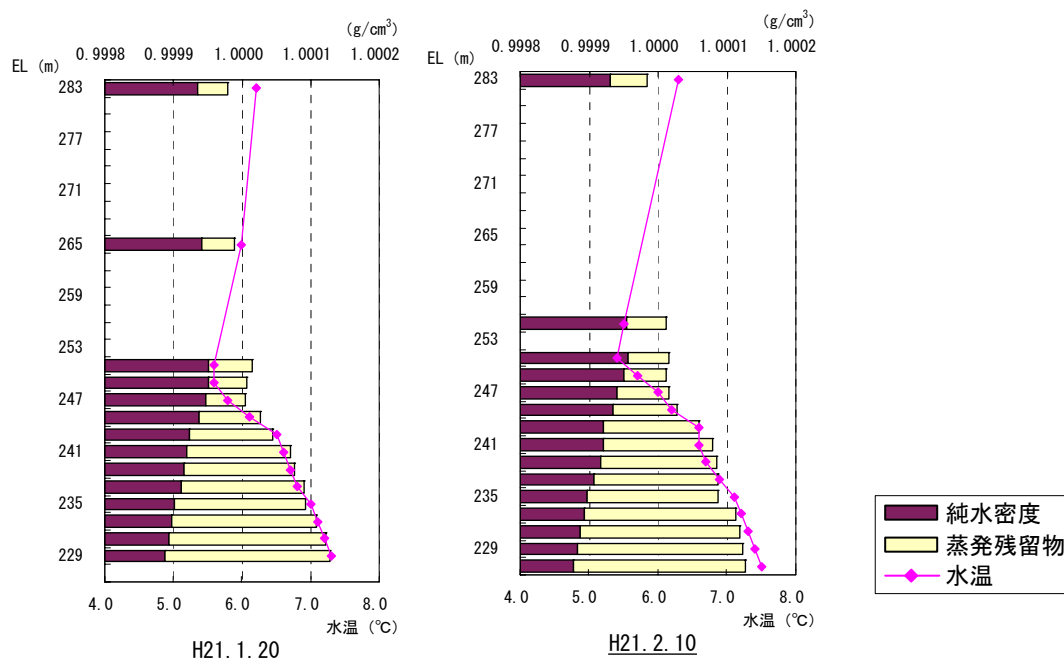
陰イオンも含めたM1における水質調査結果を図1-1に示す。金属類の内訳を見ると、EL250m付近までは溶存物質中の組成はほぼ一定である。それ以深では水深が増すにつれて増加した項目は全シリカ、ナトリウム、カルシウム、マグネシウム、ヒ素、鉄及びマンガンであり、増加量に着目すると特に鉄及びカルシウムが大きかった。



※赤字は蒸発残留物の値を示す

図1-1 蒸発残留物及び金属類等の鉛直分布

水温から求めた水の密度及び蒸発残留物の鉛直分布を図1-2に示す。溶解している金属類によって、下層で水温が高い逆勾配が形成されていると考えられる。



※純水密度は「化学便覧 基礎編(昭和41年9月25日 社団法人日本化学会)」より引用した。

図1-2 水の密度及び蒸発残留物の鉛直分布

1.2 蒸発残留物の組成について

M-1 底層水をICP発光分光分析法によって分析した結果を図 1-3に示す。

図 1-1に示した元素以外では、Br（臭素）、I（ヨウ素）、S（硫黄）、Se（セレン）などがあげられる。

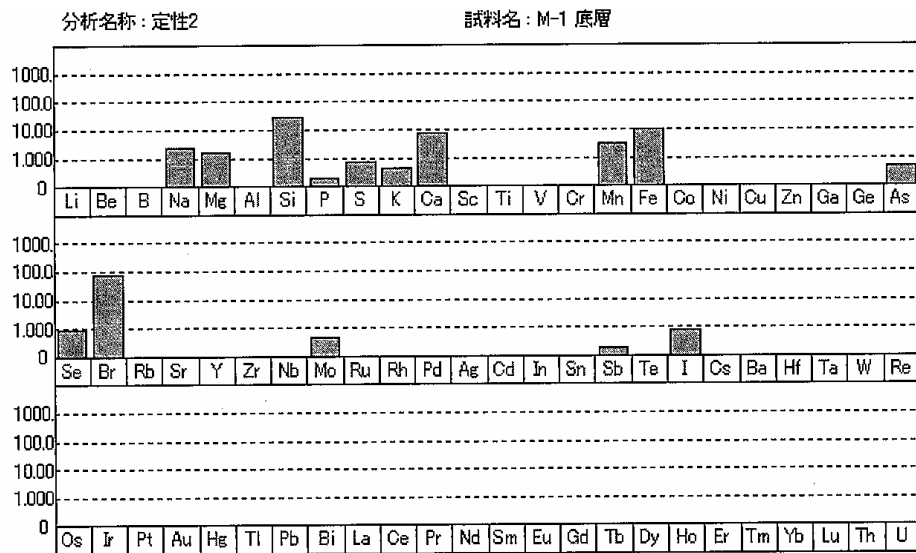


図 1-3 ICP 発光分光分析法による分析結果

1.3 島地川ダム実証実験時の酸素消費量について

1.3.1 M1とM6の類似性について

第3回委員会で提示した高濃度酸素溶解装置の性能に関する検討については、平成16年にM6で実施された実験の結果を基に検討したものである。

装置の導入はM1にされることから、ここでは、M1とM6の水質の類似性について確認を行った。その概要は以下に示すとおりである。

- 全体的に、表層の水質、底層での水質はM1とM6で極めて類似している。
- 水温成層が形成される水深や、急激に水温変化のある水温躍層の水深が一致している。また、躍層の位置とDOが減少状況についても、極めて類似している。
- 下層の水質について、M1とM6間で導電率、鉄、マンガン、ヒ素の濃度が概ね一致している。
- DOがほぼ0になり金属類が溶出している高さは、M1ではEL.250m以下に対し、M6ではEL.255m以下と5mほど高さの差が生じている。
- M6底層で得られた酸素消費量を用いて、M1に導入する機器の諸元を決めることは問題ないと考えられる。

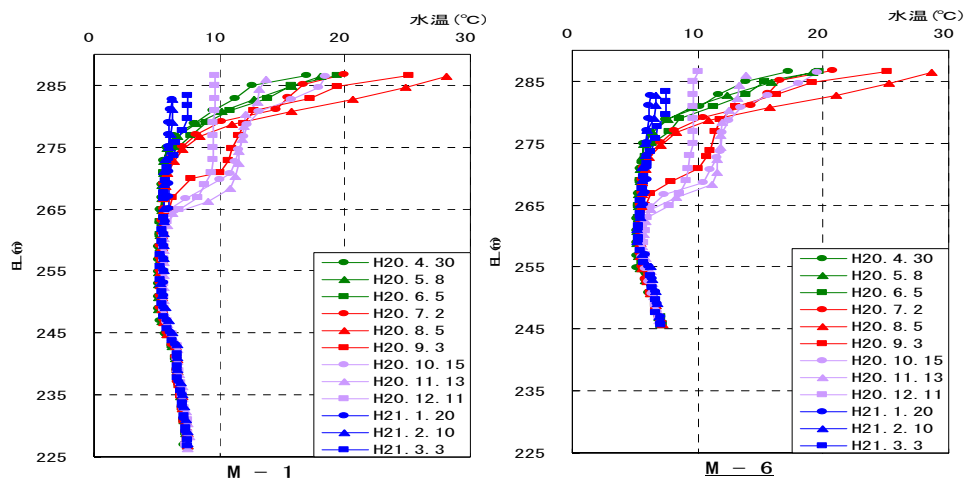


図 1-4 水温の鉛直分布（平成 20 年度）

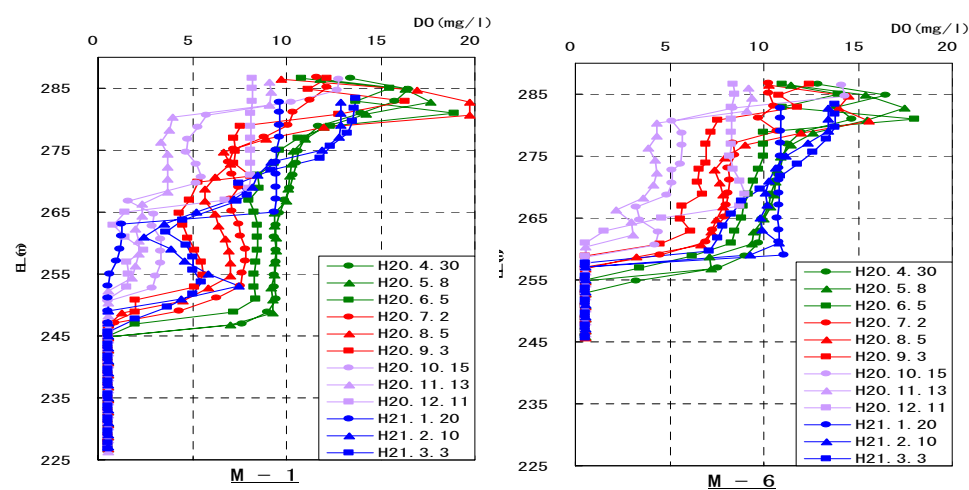


図 1-5 DO の鉛直分布（平成 20 年度）

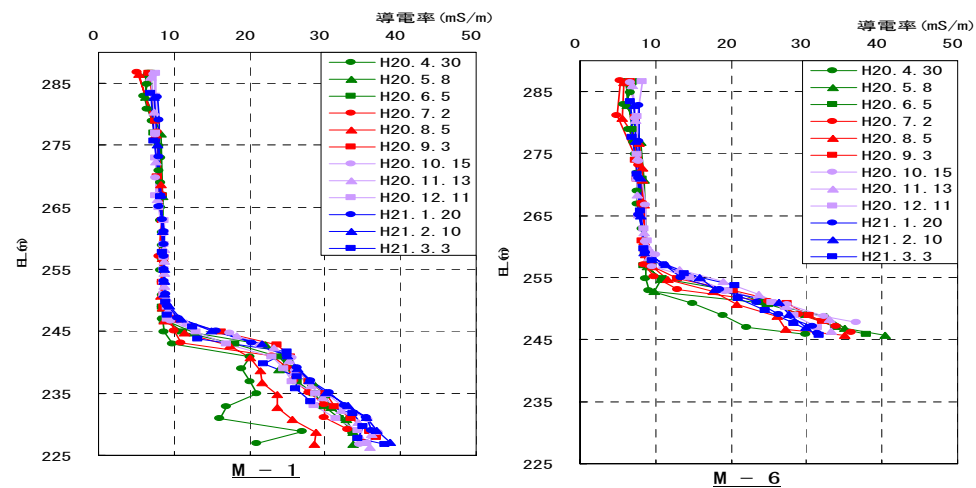


図 1-6 導電率の鉛直分布（平成 20 年度）

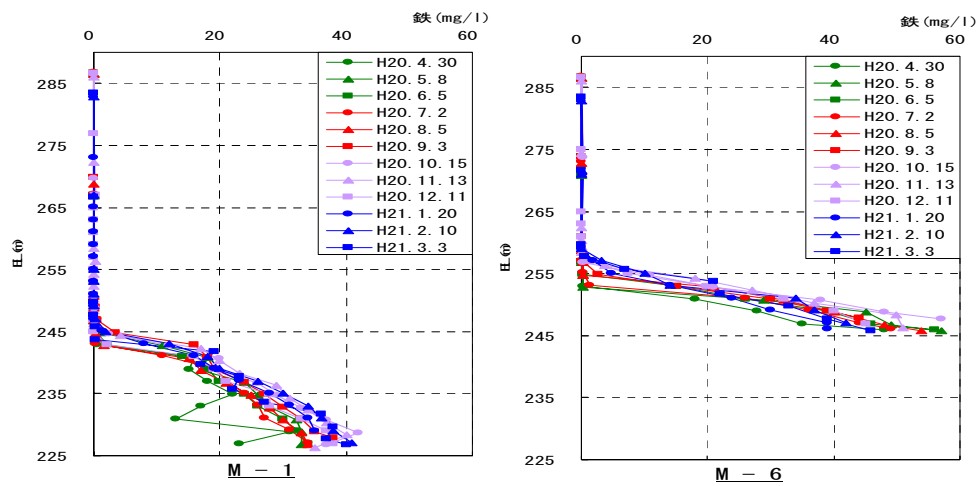


図 1-7 鉄の鉛直分布 (平成 20 年度)

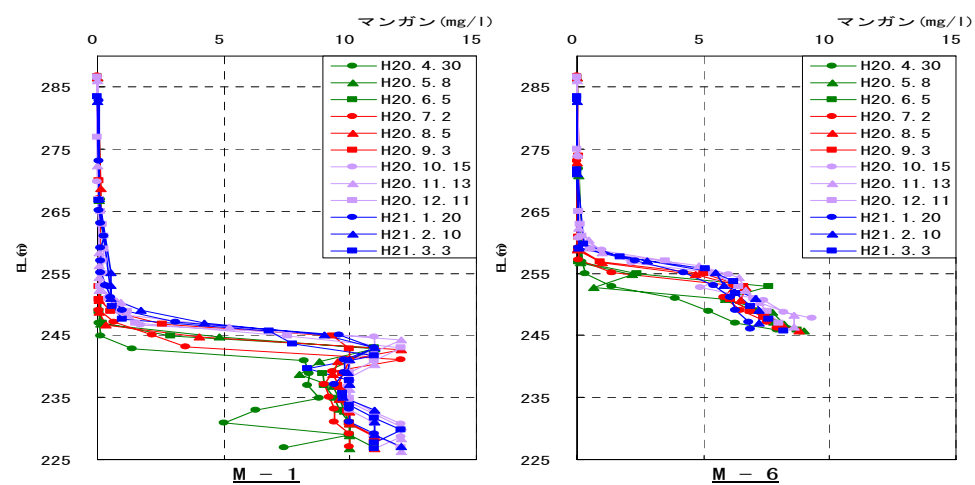


図 1-8 マンガンの鉛直分布 (平成 20 年度)

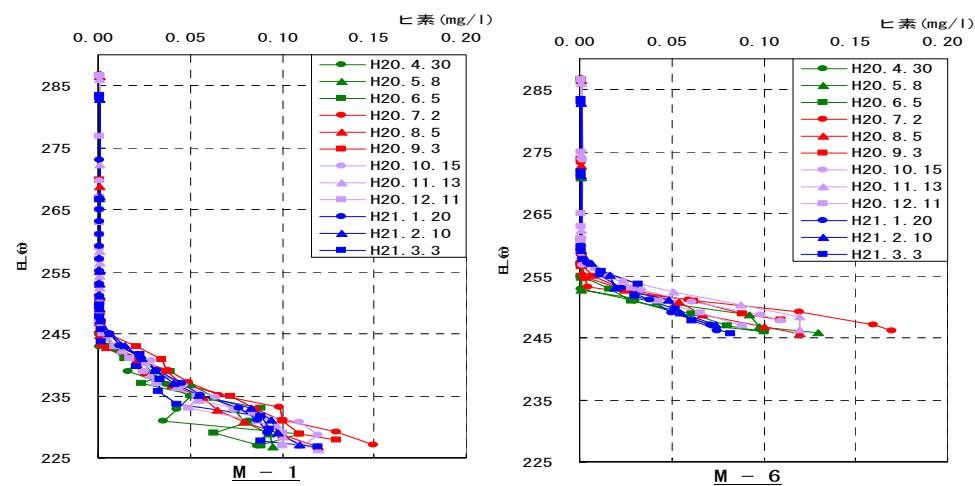


図 1-9 ヒ素の鉛直分布 (平成 20 年度)

1.3.2 酸素消費量の検討

平成16年にM6で実施された実証実験時の結果を基に、酸素消費量 ($0.23\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$) を設定している。この時に確認された金属類の変化を基に、これらの酸素消費量を化学反応式を基に検討した。

【参考】酸素消費量の算定

日時	時間	供給酸素量
H16.7.12 9時～H16.7.16 15時	102 h	$7.2\text{Nm}^3/\text{h}$
H16.7.16 15時～H16.7.22 15時	114 h	$4.5\text{Nm}^3/\text{h}$



供給酸素量 (m^3/h)	1mol当たりの 酸素の重さ (g/mol)	時間 (h)	標準状態での1 m^3 当たりのmol数 (mol/m^3)	総供給酸素量 (kg)
$7.2 \times 92\% \times 77\%$	32	102	$1,000/22.4$	743
$4.5 \times 92\% \times 94\%^{\ast}$	32	114	$1,000/22.4$	634
				計 1,377

※ $4.5\text{Nm}^3/\text{h}$ 、水深40mでは94%が溶解すると試算される

このとき改善された範囲はM6の底層～251 (EL. m) の 109千m^3 であり、7/12～9/4の54日間で全て消費されて $\text{D0}=0$ に戻ったことから、

$$1,377\text{kg} / 109\text{千m}^3 / 54\text{日} = 0.23\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$$

第3回委員会資料より

(1) 酸化による鉄の変化

無酸素の状態、鉄は溶解して二価、三価のイオンとなっている。その溶解度は以下のとおりであり、M6底層ではpHが5～7程度であったことから、そのほとんどは二価鉄であると考えられる。このため、全ての鉄が Fe^{2+} と仮定して検討を行った。

●溶解度積 (25°C)

水酸化鉄 (Ⅱ)

$$\text{Fe}(\text{OH})_2 : [\text{Fe}^{2+}] [\text{OH}^-]^2 = 8.0 \times 10^{-16}$$

水酸化鉄 (Ⅲ)

$$\text{Fe}(\text{OH})_3 : [\text{Fe}^{3+}] [\text{OH}^-]^3 = 6.0 \times 10^{-36}$$

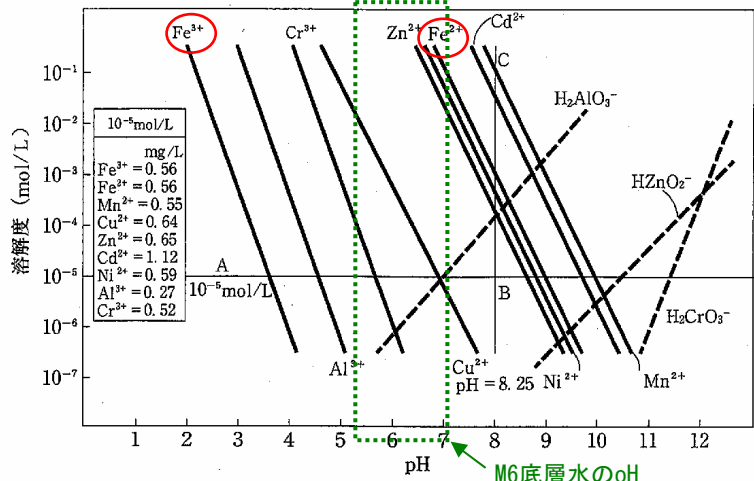


図 1-10 pHと金属類の溶解度の関係

出典：「公害防止の技術と法規 水質編」(社) 産業環境管理協会

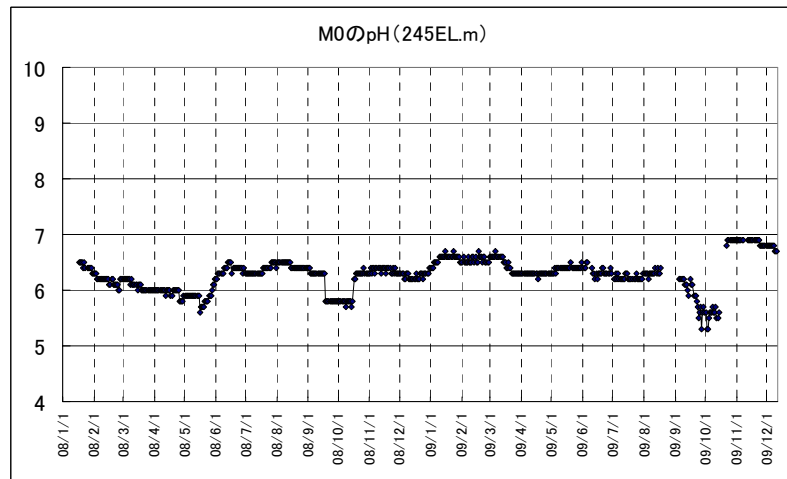
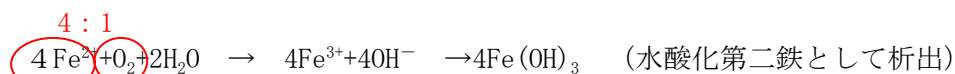


図 1-11 M0におけるpH観測結果

二価鉄は以下のとおり酸化され、水酸化第二鉄が析出する。この時、鉄の原子量が56、酸素の分子量が32であることから、鉄224gに対し、酸素32gが反応する。



$$4 \times 56\text{g} : 32\text{g} = 7\text{g} : 1\text{g}$$

よって、鉄の質量の1/7が化合する酸素の質量である。

(2) 溶解性鉄の酸化に使われた酸素量の検討

7/7～7/26 (※高濃度酸素溶解装置の運転期間は7/12～7/22) の間に、鉄の酸化に消費された酸素は217kgであったと算出された。

表 1-2 溶解性鉄の低減状況 (平成16年 : M6)

標高 (EL. m)	7/7 鉄 (mg/L)	7/26 鉄 (mg/L)	鉄減少量 (mg/L)	容積 (m³)	鉄減少量 (kg)	酸素減少量 (kg)
251	7	0.78	6.22	27,575	171.5	24.5
250	10	0.75	9.25	21,871	202.3	28.9
249	13	0.72	12.28	17,240	211.7	30.2
248	16	0.69	15.31	12,609	193.0	27.6
247	19	0.66	18.34	10,007	183.5	26.2
246	22	0.63	21.37	7,404	158.2	22.6
245	26	0.59	25.41	5,559	141.2	20.2
244	32	0.68	31.32	3,713	116.3	16.6
243	38	0.77	37.23	2,250	83.8	12.0
242	45	0.86	44.14	786	34.7	5.0
241	52	0.95	51.05	393	20.1	2.9
				109,407	1,516	216.7

※水質データは機器から上流10mでの観測値 斜体は内挿あるいは外挿値

(3) D0 上昇に使われた酸素量の検討

7/7～7/26のD0上昇に使われた酸素量は1,140kgであると考えられる。

表 1-3 7/26の酸素の含有状況（平成16年：M6）

標高 (EL. m)	7/9 D0 (mg/L)	7/26 D0 (mg/L)	酸素増加量 (mg/L)	容積 (m ³)	酸素含有量 (kg)
251	0.3	0.4	0.1	27,575	2.8
250	0.2	0.2	0	21,871	0.0
249	0.2	16.9	16.7	17,240	287.9
248	0.2	20	19.8	12,609	249.7
247	0.1	20	19.9	10,007	199.1
246	0.1	20	19.9	7,404	147.3
245	0.1	20	19.9	5,559	110.6
244	0.1	20	19.9	3,713	73.9
243	0.1	20	19.9	2,250	44.8
242	0.1	20	19.9	786	15.7
241	0.1	20	19.9	393	7.8
				109,407	1139.6

※水質データは機器から上流10mでの観測値 斜体は内挿あるいは外挿値

(4) 化学反応式を基にした酸素消費量

酸素供給により速やか（実証実験の期間である2週間）に反応する物質として鉄・ヒ素等が考えられるが、ヒ素は濃度が小さいことから、酸素消費量は小さい。平成16年の実験の際には、鉄の酸化に217kg、D0上昇に1,140kg、合計1,357kgが消費されており、酸素消費速度は概ね以下のとおりであると考えられる。

$$1,357 \text{ kg} / 109 \text{ km}^3 / 54 \text{ 日} = 0.23 \text{ g} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$$

実験開始から2週間の段階では16%が鉄の酸化に使われ、残りのほとんどはD0上昇分として水中に含有されていたと考えられる。

なお、酸素供給は7月22日に終了しており、その後9月4日まで水中の酸素が消費されていくが、図 1-3 (ICP分析結果)を参考にとすると、硫化物イオンや7/22以降に新たに溶出したFe (鉄)などの酸化に使われたと考えられる。

1.4 ダム湖以外での高濃度酸素溶解装置の事例収集

ダム以外の高濃度酸素溶解装置の事例を収集し、装置の概要、装置の特徴、耐用年数、留意事項を整理した。

表 1-4 ダム以外の高濃度酸素溶解装置の事例

名称	対象（目的）	導入事例	備考
A. 高濃度酸素溶解装置	産業廃水・下水道・養殖業・水耕栽培・河川・湖沼等	和歌山県A川（平成9年） 静岡県B湖（平成13年） 神奈川県釣り堀（平成15年2月） 大阪府C川（平成16～17年） 三重県D湖（平成21年9月） 東京都E水族館（平成21年3月） 新潟県コイの養殖池	
B. 河川浄化システム	河川	愛知県F川（平成16年）	
C. 高濃度溶存酸素活性汚泥処理システム	活性汚泥	20 事例ほど（メーカー聞き取り）	
D. 下水圧送管硫化水素抑制システム	汚水圧送管	高濃度酸素発生装置（PSA）の開発のみ	PSA の特徴把握のため聞き取り

◆聞き取りにより得られた内容

- 高濃度酸素を貧酸素の水に溶け込ませることにより水質を改善する技術は既に事例がいくつかみられる。
- 浅い水域や排水、養殖池、水族館、水耕栽培等に活用されているが、ダム貯水池のように深いところを対象にした技術はまだ始まったばかりである。
- 事例調査（聞き取り調査）の結果を総合的に判断すると、酸素発生装置（PSA）やコンプレッサなどは消耗が激しく（特にPSAでは窒素の吸着・排出に際し30秒に1回切り替えを行う）、15年が耐久年数の限度であり、毎年の維持管理も必要であるとわかった。PSAは40年の歴史があり、これらの情報の不確定要素は小さい。
- 酸素溶解装置については、構造が単純なため、30年以上の耐久年数であると考えられる。長い期間稼働している装置（水域の改善事例：平成9年～、工場排水の改善事例：設置後20数年）において、未だに交換はされていないとのことであった。

表 1-5 施設の耐久年数及び30年コスト

品名（耐久年数）	単価	30年コスト（工事費含まない）
酸素発生装置：15年	800万	1600万
コンプレッサ：15年	220万	440万
制御盤：15年	300万	600万
溶解装置（水中ポンプ含む） ：30年*	5000万	5000万
合 計	—	2640万（7640万*）

*：溶解装置については、30年以上の耐久年数が考えられるが、ここでは30年で交換した場合の算出も行った。

表 1-6 維持管理に伴う費用

作業		単価	実施頻度
通常点検（人件費）		50万	1年
通常点検（パーツ代）	酸素発生装置	10万	1年
	コンプレッサ	25万	1年
	ウィンチ	1万	1年
異常時の追加点検		200万	通常点検で以上が認められた場合
合 計		—	$86万 \times 30年 +$ $200万 \times 追加点検回数$ $= 2580万 + \alpha$

(1) 高濃度酸素溶解装置（A社）

対象	河川・湖沼ならびに産業廃水・下水道・養殖業・水耕栽培
内 容	高濃度の酸素を対象水に溶かして水質を改善する
原理・特徴	圧力をかけた酸素ガスの中に対象水を吹きかけ水玉状で落下させ、水に溶解している酸素以外の気体を酸素に置き換え、元の箇所に戻る。
導入年数	最も古いもので12年　：　平成9年から導入されている。
特徴	・対象水を揚水して返送するため、対象は水深5mの水域が最も効率的である。 ・深い層に供給するには別途水中ポンプとコンプレッサーが必要となる。
想 定 さ れ る 耐 久 年 数	ゼオライト：5年 PSA：15年 水中ポンプ：15年 溶解装置：30年 制御盤：10年 ※平成9年導入の装置（通水量580L／分）の実績では、これまでに水中ポンプのみが交換されている。
ランニングコスト	300千円／年（対象水量4,000m ³ 、酸素発生装置3.7kW、水中ポンプ7.5kW、8ヶ月稼働の場合：電気代除く）

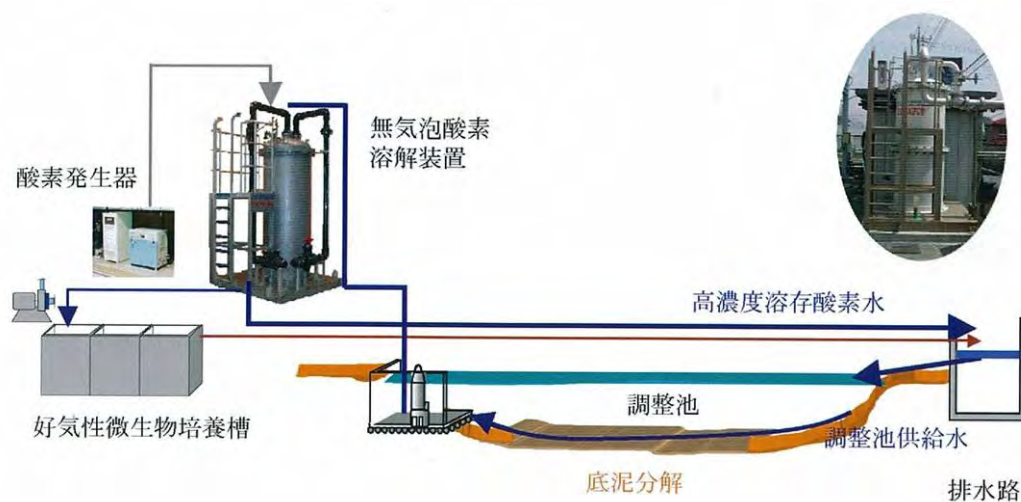


図 1-12 システム概要（メーカーパンフレットより）

(2) 河川浄化システム（B社）

対象	河川・湖沼や産業排水
内 容	高濃度酸素溶解水及び超微細気泡により水質を改善する
原理・特徴	酸素発生装置からの酸素と貧酸素水をエジェクター内部で混合し、底層に噴射する。 超微細酸素気泡も発生させる。
導入年数	5年
特徴	水深1.5m～2.7mの範囲で導入
想定される耐久年数	基本的に15年と想定される。1年に1回部品交換が必要である。 ゼオライト：15年 PSA：15年 水中ポンプ：15年 溶解装置：15年 ※平成16年導入の装置の実績では、これまでに交換されたものはない。
ランニングコスト	修繕部品費（機器費）2,000千円 維持管理費（人件費）3,000千円 電気代は20時間／日運転の場合で3,200千円程度

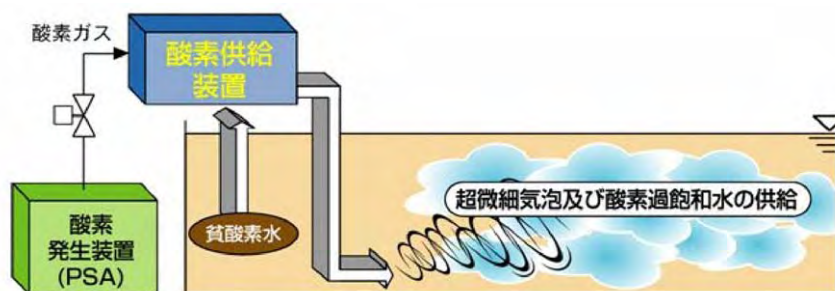


図 1-13 システム概要（メーカーパンフレットより）

(3) 高濃度溶存酸素活性汚泥処理システム（C社）

対象	食品、ケミカル、製紙工業からの廃水
内 容	高濃度酸素溶解水及び超微細気泡により水質を改善する。
原理・特徴	酸素ガスを対象水に溶け込ませ、活性汚泥の処理能力を2～3倍に向上させる。
導入年数	20数年前から導入している。
特徴	・既設の活性汚泥に付加するだけで、システムが実現できる。 ・酸素発生はPSA以外に液化ガスを用いることも可能 ・エジェクターで対象水をどんどん入れ替えるため、溶解効率がよい。 ・機械は24h、通年の連続運転となっている。劣化の激しいポンプは予備も設置している（対象の1/2の規模のポンプを3台設置する）。
想定される耐久年数	・20数年前から導入しているが、まだ設備を交換したことはない。 ・1年に1回程度のメンテナンスが必要である。
ランニングコスト	—

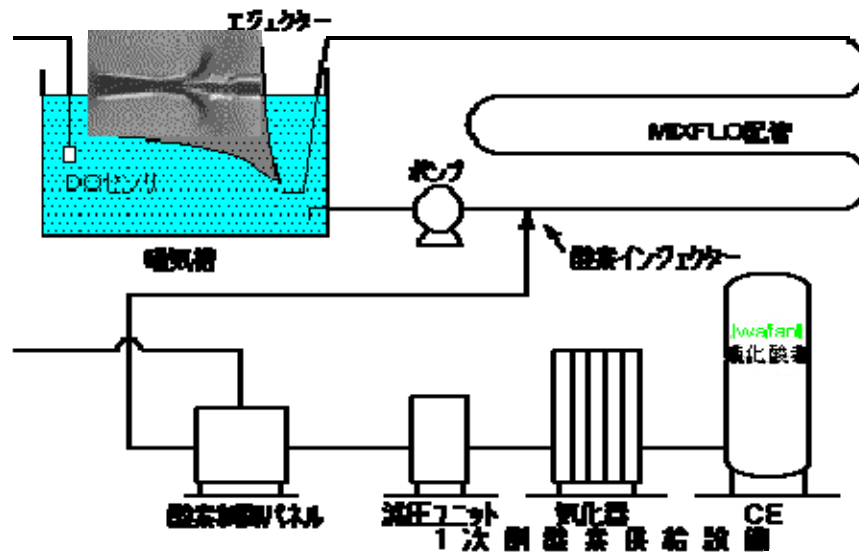
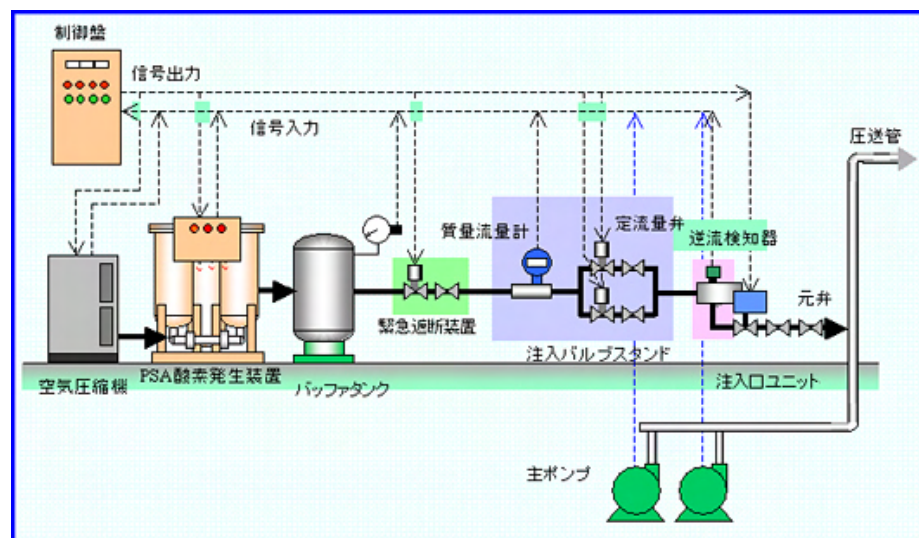


図 1-14 システム概要（メーカーウェブサイトより）

(4) 高濃度酸素発生装置（D社）

対象	下水道やポンプ場、ゴミ溶融炉、銅の精錬等
内 容	PSA*（酸素発生装置）
原理・特徴	吸着剤（ゼオライト）による大気中の窒素を吸着し、高濃度の酸素を発生する。 酸素ポンプが不要でメンテナンス性が高い。
導入年数	1972年に生産開始
特徴	酸素発生能力は50Nm ³ ～8000Nm ³ の実績がある。 酸素純度は90-93%
想定される耐久年数	これまでの経験によると、10～20年が耐久年数（15年が一つの目安） 窒素の吸着・排出は30秒に1回切り替えを行うことから消耗が激しい。バルブの消耗や減圧ポンプのへたりに部品交換が必要である。
ランニングコスト	電気代で約10,000千円／年（年間300日、24時間連続、電気代kWhあたり15円にて試算） 部品交換、修理費用として約7,000千円／年（年1回、作業期間は約1週間）

*Pressure and Swing Adsorption



※図示したシステムはD社製のPSAを元にしたシステム。

図 1-15 システム概要（メーカーウェブサイトより）

1.5 管理用発電の検討状況

第3回委員会で指摘のあった「管理用発電」について、費用対効果の概略検討を行った。

表 1-7 管理用発電のB/C算定結果

最大使用水量	売電単価※1	消費電力量	B/C
Q=1.4m ³ /s	8.6円/kWh (3.5+5.1)	水質装置+管理支所 (360MWh)	1.45
		水質装置のみ (250MWh)	1.43
	10.5円/kWh (3.5+7.0)	水質装置+管理支所 (360MWh)	1.76
		水質装置のみ (250MWh)	1.75

※1 売電単価は、中国電力株式会社が純粋な電気価値として考える3.5円/kWhにRPS付加価値(平成20年度のRPS取引価格：平均5.1円/kWh、最高7.0円/kWh、)を加えて算出した。

※2 年間発電電力量はH5～H19年の平均値を用いた

表 1-7のとおり、施設の維持管理の電源として、管理用発電の導入は可能性があると考えられたため、現在、詳細な検討を行っているところである。

1.6 底層に蓄積されるヒ素の対応手法検討

これまでの委員会において、ヒ素を貯水池から除去することについての指摘があった。
これに対し、島地川ダムにおける当面の対応方針を以下のとおり検討した。

【第3回委員会での結論】

●ヒ素を貯水池から除去する手法（案）

- （１）流入土砂対策 ⇒ 貯砂ダム
- （２）土砂通過対策 ⇒ 排砂バイパス
 - ⇒ 環境放流管の新設
 - ⇒ 選択取水設備（既存）の運用



●第3回委員会での結論

流入ヒ素（細粒土砂）対策手法

- 現在のヒ素流入量調査は、H20年6月の出水時（発生確率 1 / 1 程度）に1回観測したデータのみを使用した検討であり、検討の判断材料としてはデータが不足している。
- ヒ素をダムに蓄積させない各手法については、コストや効果の面を再度精査していく必要がある。
- 今後も出水時の調査を継続して行い、ヒ素対策のみでなく、ダムの堆砂、下流河川的环境保全等の観点からの必要性も踏まえて検討を行う。

【事務局の対応方針】

- 堆砂は計画どおりであり、現状では貯砂ダムの新設、排砂バイパスの新設、浚渫は困難。
- 確かに「ダム湖という系」にヒ素という物質が蓄積されることは変わらないが、今回の水質改善事業で「貯水池の水」からはヒ素が取り除かれるので、当面はこの事業の成り行きに注視する。
- 水質改善事業の効果の安定と、事業評価実施時期を踏まえ、供用開始から5年後に再検討する。

第2章 島地川ダムの水質改善事業の状況報告

2.1 高濃度酸素溶解装置の進捗状況

今年度は前半に高濃度酸素溶解装置の詳細設計が行われ、8月末に完了している。これを受け、高濃度酸素溶解装置の設置工事が行われているところである。また、11月より管理用発電の詳細設計が3月末完了に向けて実施予定となっている。

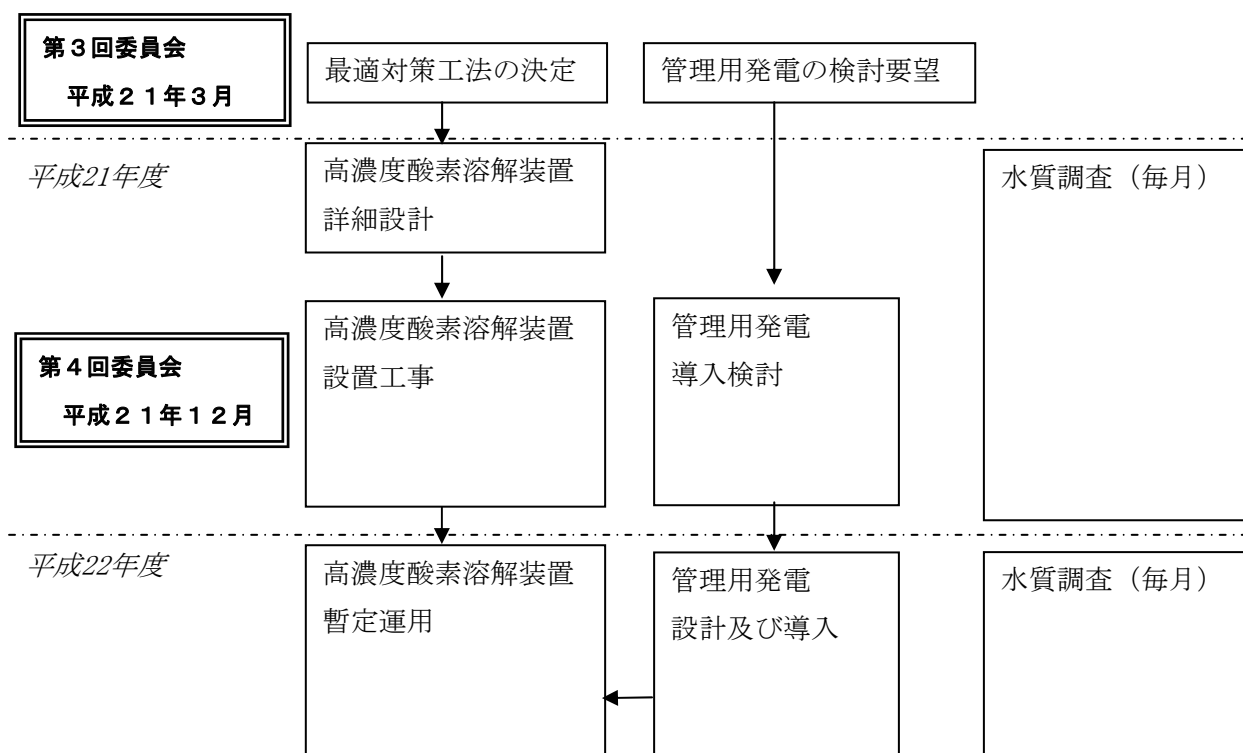


図 2-1 平成21年度の事業実施状況及び平成22年度の予定（案）

2.2 高濃度酸素溶解装置の設計

高濃度酸素溶解装置について、設計時に検討した結果、陸上部は繫船設備内に設置することが最適だと判断された。

本装置の水中部は、湖底に設置された水中アンカーによって固定され、これは第3回委員会からの提言を踏まえ、M1地点の最深部に設置する計画とした。

一方、陸上部については以下の条件よりダムサイト右岸側にある繫船設備内とした。

- ・ ケーブル、エアー管長が短くできることから、水中部の酸素溶解装置の近傍であること。
- ・ 電源の供給が容易であること。
- ・ 上屋を設置できるスペースが確保されていること。
- ・ 現状の景観を損なわない設置方法が採れること。

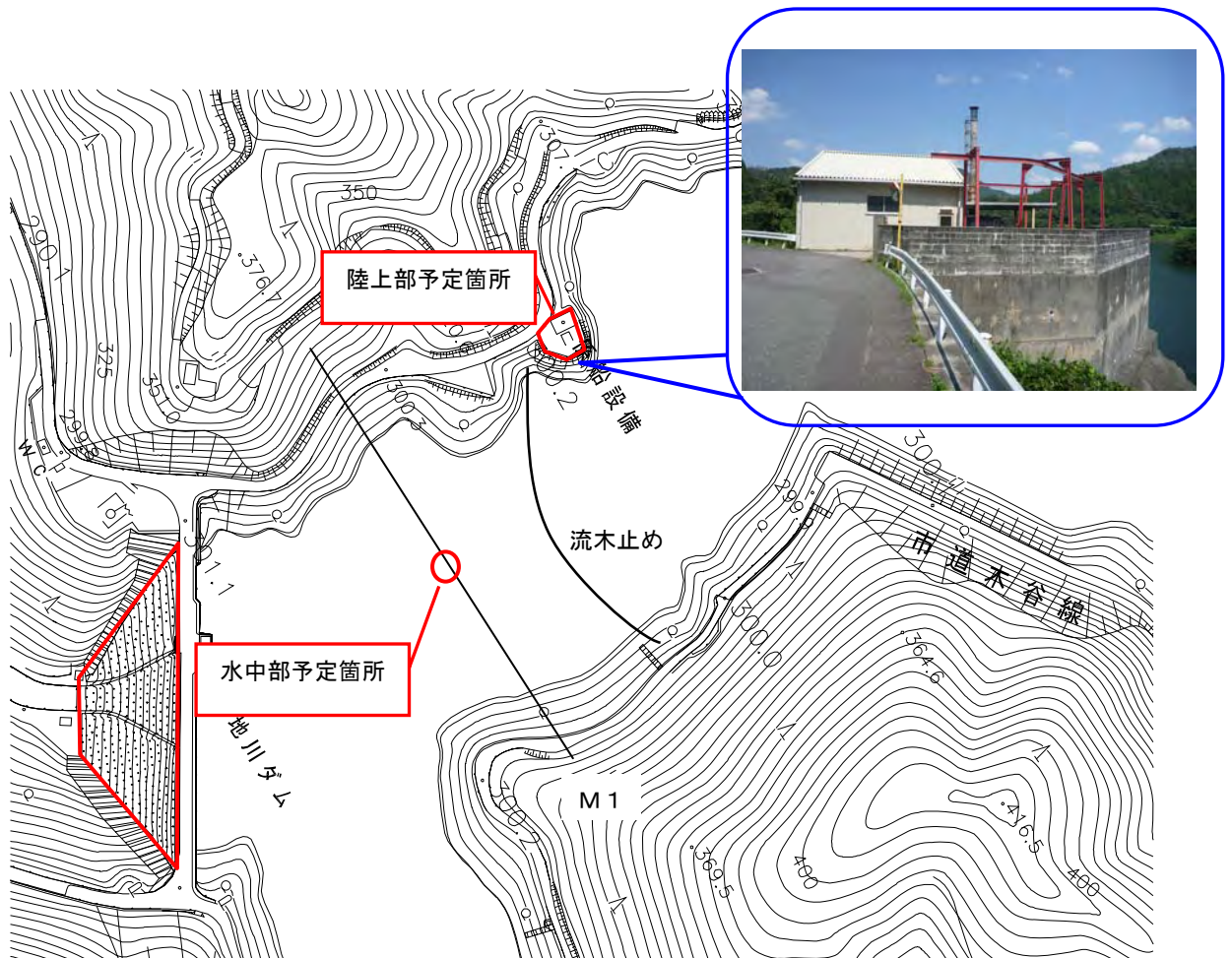


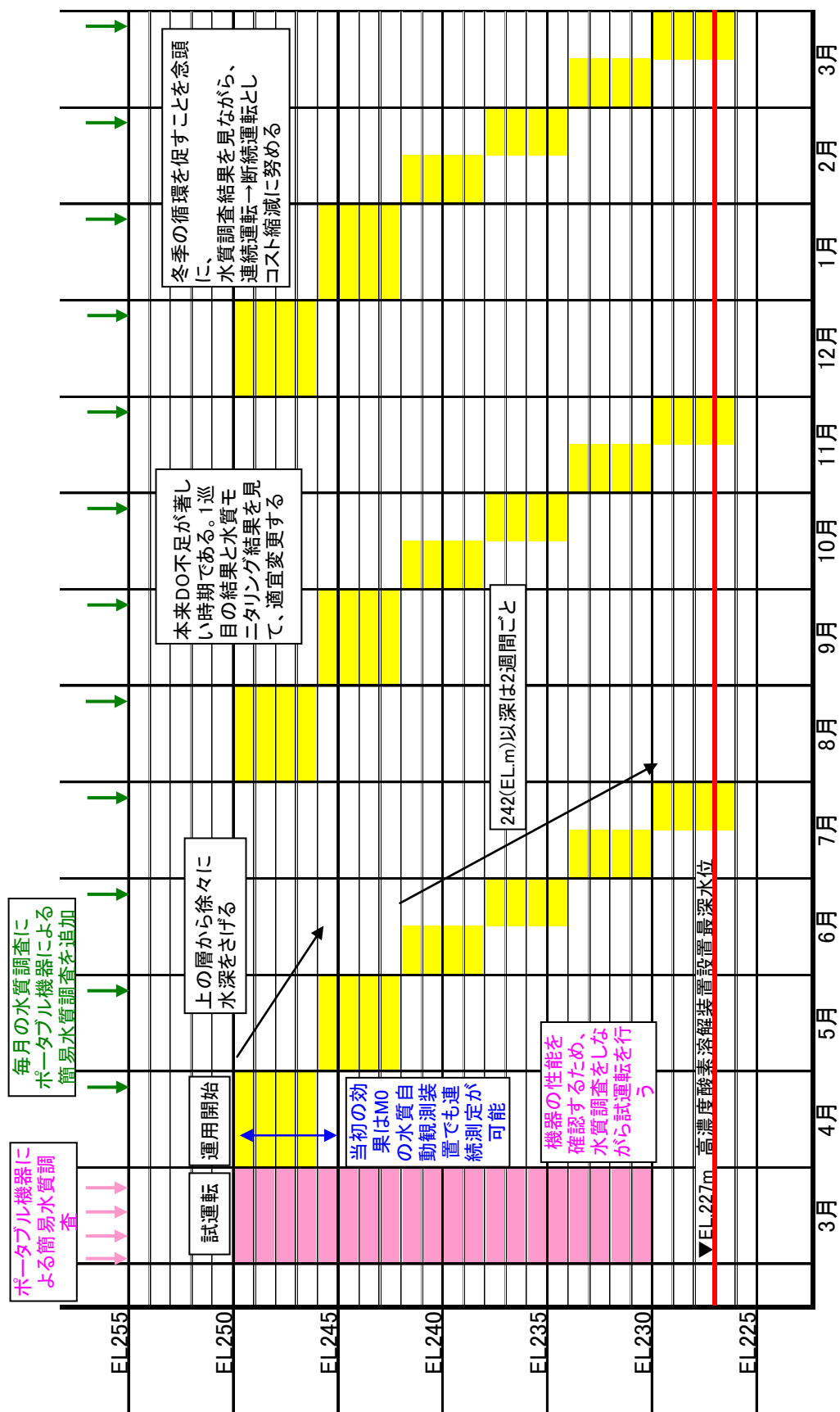
図 2-2 水中部及び陸上部の設置箇所

第3章 高濃度酸素溶解装置の運用（案）

本章では、高濃度酸素溶解装置の運用事例や水質調査結果（定期調査や貯水池底層の金属類等の水質調査）を踏まえ、高濃度酸素溶解施設導入直後の概略運用（運用開始1年目）を作成した。

表 3-1 概略運用案

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



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

選定根拠 1：吐き出し高さは、金属類が高濃度である範囲（EL.250m以深）を対象とする。

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。また水温の逆転層もこの範囲で生じている。酸素供給はこの範囲を対象とする。

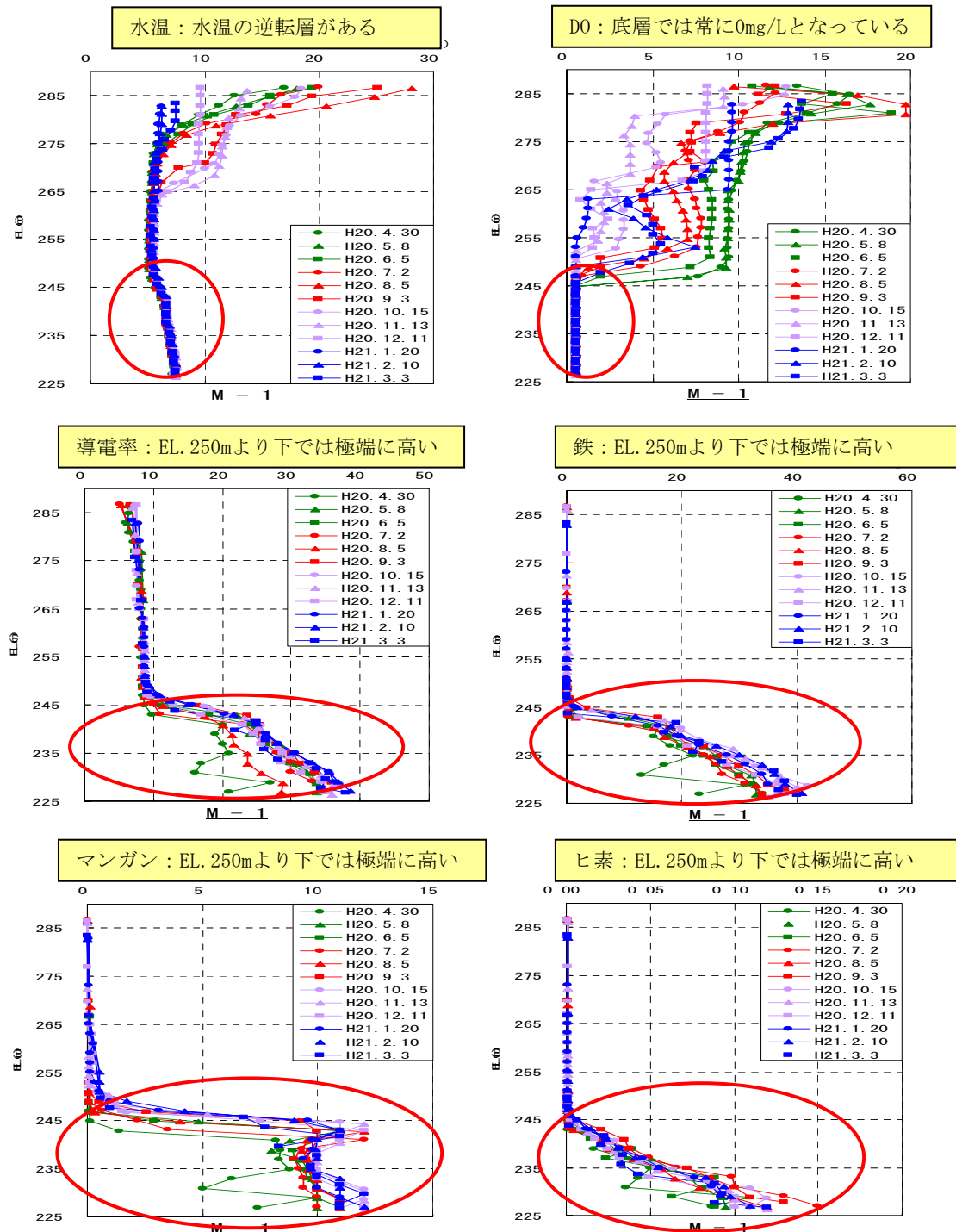


図 3-2 水質の鉛直分布（平成 20 年度, M1）

選定根拠2：高濃度酸素水の吐き出し高さは、上から下に向けて進める。

島地川ダムの平成16年の実証実験結果より、酸素供給高さには小さな循環が生じると考えられる。この現象を上から起きた場合と下から起きた場合の違いを検討した。

(1) 上から改善していく場合の水温勾配の変化

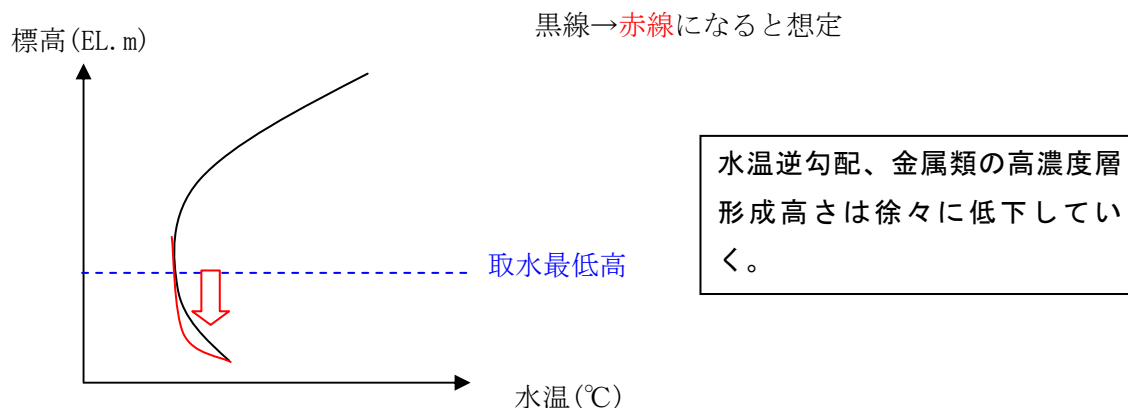


図 3-3 上から改善していく場合の水温勾配の変化イメージ

小さな循環が上層との循環とつながり、表層からの循環が底層まで届いていくようになると想定される。

(2) 下から改善していく場合の水温勾配の変化

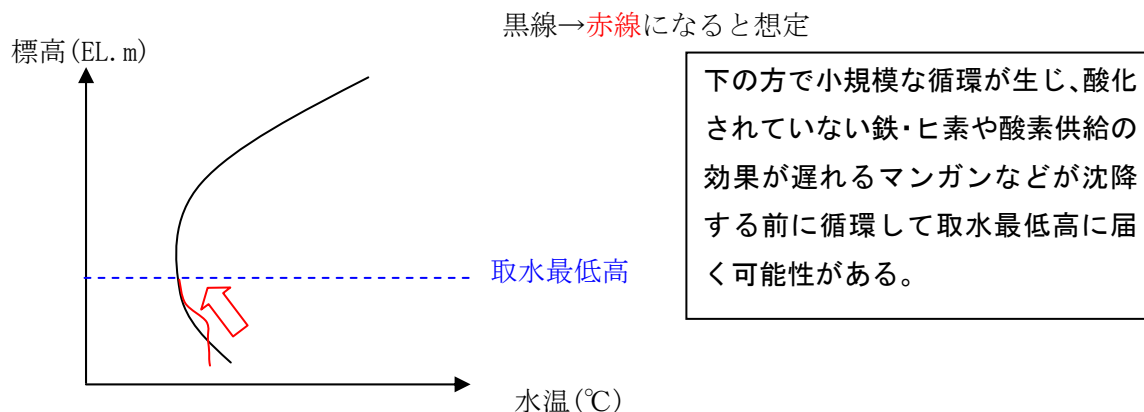


図 3-4 下から改善していく場合の水温勾配の変化イメージ

下層で生じた小さな循環が徐々に上層とつながり、酸素供給の効果が遅れるマンガンなどは取水最低高さまで届いてしまう可能性があると考えられる。

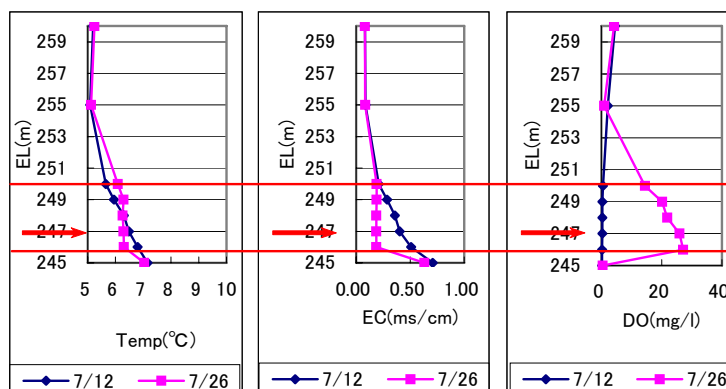
現在の選択取水の運用は表層から3m程度の位置で取水しており、常時満水位に近い場合には取水高さにおける金属類の高濃度化は想定されないものの、渇水時の危険性や（安全・安心な水質の観点より）取水可能高さを狭めてしまうことから、(1)の案に劣ると考えられる。

平成16年度にM6で行われた、装置下流175mの水質データを下に示す。改善範囲の4mにおいて、DOの増加、それに伴うECの低減が認められる。水温が平均化していることから、この範囲では循環が生じていると考えられる。

なお、この範囲の上下では水質にほとんど変化がない。

基準高	水深	7月12日			7月26日		
		運転開始			14日目		
		Temp	EC	DO	Temp	EC	DO
		°C	ms/cm	mg/L	°C	ms/cm	mg/L
286.3	0.5	26.66	0.052	9.13	28.13	0.040	8.75
285.0	1.8	22.14	0.051	13.24	26.94	0.042	14.34
280.0	6.8	14.65	0.045	9.08	14.41	0.042	9.44
275.0	11.8	10.84	0.052	7.88	11.06	0.050	7.40
270.0	16.8	7.21	0.076	8.28	7.23	0.076	8.22
265.0	21.8	5.54	0.079	6.19	5.51	0.079	5.85
260.0	26.8	5.20	0.081	4.44	5.24	0.081	4.14
255.0	31.8	5.09	0.085	2.13	5.12	0.084	0.91
250.0	36.8	5.65	0.207	0.48	6.08	0.190	14.50
249.0	37.8	5.94	0.285	0.34	6.29	0.189	20.10
248.0	38.8	6.30	0.357	0.31	6.25	0.186	21.80
247.0	39.8	6.48	0.403	0.25	6.29	0.185	25.90
246.0	40.8	6.80	0.509	0.22	6.30	0.185	27.10
245.0	41.8	7.15	0.707	0.17	7.03	0.630	0.44

酸素水吐出水深EL=247
酸素供給範囲246～250



以上より、島地川ダムにおける水質改善の開始当初には、金属類が高濃度化した底層水が取水高さまで上昇する（密度解消により底層での循環が生じる）ことは避けるべきであり、金属類濃度の低いEL. 250mから開始し、表層との水交換が生じる範囲を広げながら徐々に下層に進めていくことが望ましいと考えられる。

選定根拠3：M6での実験結果より、改善高さは4mとして設定する。

平成16年に行われた島地川ダムでの高濃度酸素溶解装置の実証実験時（M6：水深20m程度）では、水深40mの時に水質改善効果範囲（高さ方向）は4m程度であった。“1.3.1 M1とM6の類似性について”で示したとおり、M1とM6の水質は類似しており、M1においても水質改善効果範囲（高さ方向）は4m程度であると考えられる。

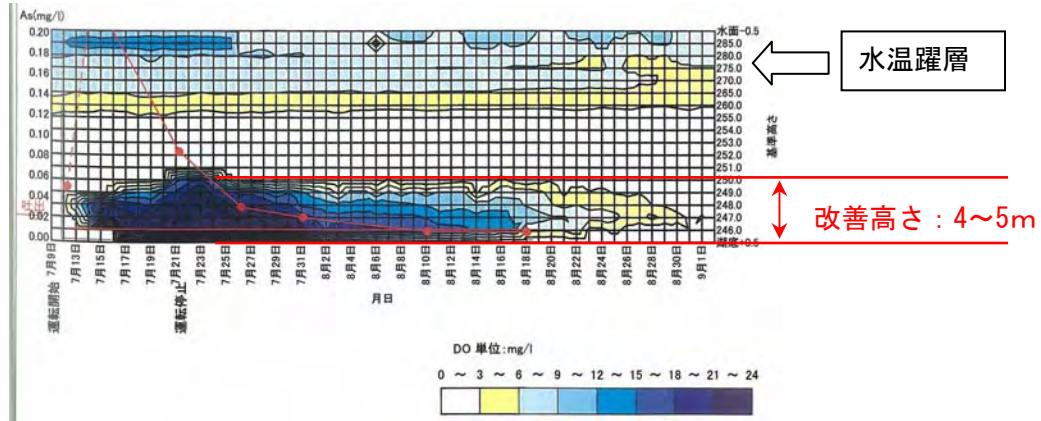


図 3-5 M-6におけるDOの改善効果（装置下流 50m）

なお、改善効果が明確になるよう、効果範囲は重ならないように運用する。

**選定根拠4：酸素供給量と酸素消費速度の関係より、242～250 (EL.m) では1ヶ月に4mずつ、
242 (EL.m) 以深は2週間に4mずつ水深を下げる。**

1年目の運用案の検討にあたり、以下の条件（仮定）を設定した。

- 底層での酸素消費速度は、M6での実験値である $0.23\text{g}/\text{m}^3/\text{日}$ を用いる。
- 底層以外の層は導電率の濃度に比例して酸化される物質があると想定する。
- ただし、表層での導電率は酸化されない物質質量であると考え、それぞれの層から減じる。
- 吹き出し周辺のDOはM6及び灰塚ダムの実験値より、 $\text{DO}=30\text{mg}/\text{L}$ まで上昇すると想定する。
- 施設から吐き出された酸素は上流の底に届くまでの間に徐々に消費される（250EL.mの高さから吐き出された酸素水はM1では $\text{DO}=30\text{mg}/\text{L}$ 、M4の底で $\text{DO}=4\text{mg}/\text{L}$ となり、その間の濃度は直線的に変化している）と仮定する。

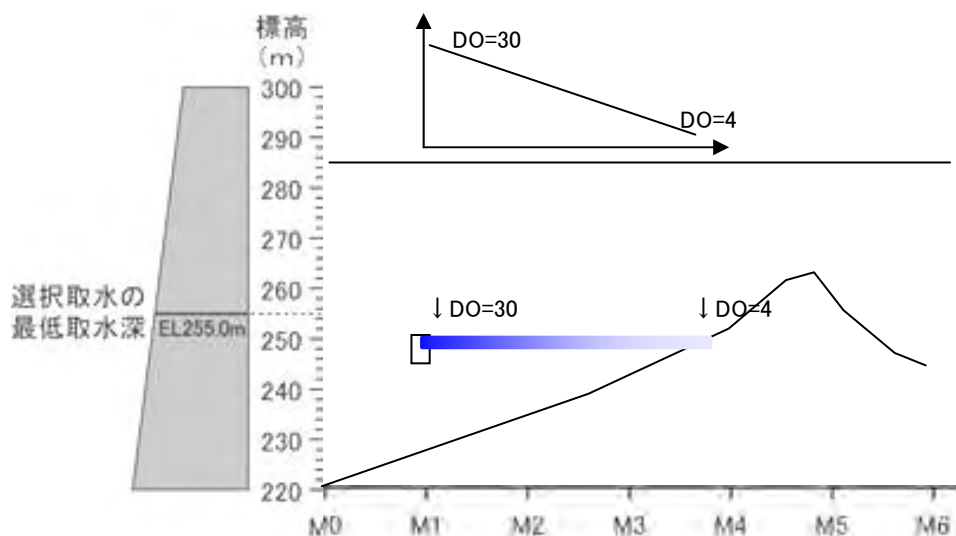


図 3-6 酸素濃度の仮定

この仮定の条件において、吐き出す酸素量と物質の酸化によって減少する酸素量、酸素濃度上昇量の関係から、対象とする層（1m刻み）全体を $4\text{mg}/\text{L}$ 以上にするまでの時間を求めた。

この結果、250EL.m付近は20日弱の日数が、230EL.m付近では2日弱の日数が必要だと考えられた。さらに水質だけでなく、対象範囲の底質を酸化させる時間を見込み、242～250 (EL.m) では1ヶ月、242 (EL.m) 以深は2週間、その高さで固定するものとした。

なお、灰塚ダムにおいて、吐き出し速度を変化させてもDO拡散の程度は変わらないことが確認されており、運用の検討対象としなかった。

表 3-2 吐き出し速度別のDO拡散状況の比較（灰塚ダム NO.13地点、 $\text{DO}10\text{mg}/\text{L}$ 以上）

吐き出し速度	NO	対象標高	初期日	DO (mg/L)	終期日	DO (mg/L)
10cm/s	①	EL. 212. 0m	H19. 7. 28	11. 30	H19. 8. 1	21. 08
	②	EL. 212. 0m	H19. 8. 13	11. 79	H19. 8. 18	25. 51
20cm/s	③	EL. 212. 0m	H20. 7. 7	14. 72	H20. 7. 11	27. 17
	④	EL. 211. 5m	H20. 8. 29	10. 70	H20. 9. 8	21. 50
30cm/s	⑤	EL. 211. 5m	H20. 9. 12	13. 92	H20. 9. 16	22. 42
	⑥	EL. 211. 0m	H20. 9. 16	14. 16	H20. 9. 19	18. 73
	⑦	EL. 211. 5m	H20. 9. 23	12. 78	H20. 9. 26	18. 22
	⑧	EL. 211. 5m	H20. 10. 6	13. 91	H20. 10. 10	19. 37

表 3-3 1 m ごととの酸素供給の必要な日数（酸素消費速度を基に試算）

↓ 装置から最も離れた地点での濃度

標高	①容量(千m ³)計算結果	②1m 当たりの容量(千m ³)	③導電率(mS/m)	④表層の導電率(6.1)との差	⑤吐き出し周辺のDO(mg/L)	⑥必要酸素(kg/日)消費分	⑦改善目標DO(mg/L)	⑧平均改善DO(mg/L)	⑨必要酸素2(kg/日)濃度上昇分	⑩必要酸素(kg/日)計	⑪必要日数※
	計画堆砂より推定	①より	観測値	③-6.1	灰塚ダム、島地川ダムでの観測値	観測値0.23g/m ³ /日 × ④/32.6 × ②	第3回委員会より	⑤と⑦の平均値	⑧ × ⑨		⑩×4(効果範囲)/165 ※2
250	1210	87	9.8	3.7	30.0	2.27	4.0	17.00	1479.0	1481.3	14.1
249	1123	87	10.05	3.95	30.0	2.42	4.0	17.00	1479.0	1481.4	14.1
248	1036	96	10.3	4.2	30.0	2.84	4.0	17.00	1631.7	1634.6	15.5
247	940.0	113	12.15	6.05	30.0	4.81	4.0	17.00	1915.5	1920.3	18.3
246	827.3	103	14	7.9	30.0	5.76	4.0	17.00	1755.9	1761.7	16.7
245	724.1	94	14.4	8.3	30.0	5.52	4.0	17.00	1603.3	1608.9	15.3
244	629.7	86	14.8	8.7	30.0	5.26	4.0	17.00	1457.7	1463.0	13.9
243	544.0	78	18.7	12.6	30.0	6.90	4.0	17.00	1319.0	1325.9	12.6
242	466.4	70	22.6	16.5	30.0	8.13	4.0	17.00	1187.2	1195.3	11.4
241	396.6	62	22.95	16.85	30.0	7.43	4.0	17.00	1082.3	1069.8	10.2
240	334.1	56	23.3	17.2	30.0	6.74	4.0	17.00	944.4	951.2	9.0
239	278.5	49	25.45	19.35	30.0	6.69	4.0	17.00	833.5	840.2	8.0
238	229.5	43	27.6	21.5	30.0	6.51	4.0	17.00	729.4	735.9	7.0
237	186.6	37	27.95	21.85	30.0	5.73	4.0	17.00	632.3	638.1	6.1
236	149.4	32	28.3	22.2	30.0	5.00	4.0	17.00	542.2	547.2	5.2
235	117.5	27	28.6	22.5	30.0	4.29	4.0	17.00	458.9	463.2	4.4
234	90.5	23	28.9	22.8	30.0	3.62	4.0	17.00	382.6	386.3	3.7
233	68.0	18	30.1	24	30.0	3.12	4.0	17.00	313.3	316.4	3.0
232	49.6	15	31.3	25.2	30.0	2.62	4.0	17.00	250.8	253.5	2.4
231	34.8	11	31.7	25.6	30.0	2.08	4.0	17.00	195.4	197.4	1.9
230	23.3	9	32.1	26	30.0	1.58	4.0	17.00	146.8	148.4	1.4
229	14.7	6	33.25	27.15	30.0	1.19	4.0	17.00	105.2	106.4	1.0
228	8.5	4	34.4	28.3	30.0	0.83	4.0	17.00	70.5	71.3	0.7
227	4.4	3	35.25	29.15	30.0	0.52	4.0	17.00	42.8	43.3	0.4
226	1.8	1	36.1	30	30.0	0.27	4.0	17.00	22.0	22.2	0.2
225	0.5	0	36.95	30.85	30.0	0.10	4.0	17.00	8.1	8.2	0.1
224	0.1	0	37.8	31.7	30.0	0.02	4.0	17.00	1.2	1.2	0.0
223	0.0	0	38.7	32.6	30.0	0.00	4.0	17.00	0.0	0.0	0.0

↑ H21.100のデータ 0.23 g/m³/日 赤字は代表させた日数(ブロックの最大値) ↑

青色は内挿あるいは外挿

※：効果範囲を4mとすれば、灰塚ダムの実験値(M-4)にあたる600m上流では30日弱必要)に概ね一致する。

※2：120(m³/h) × 32g/22.4L × 5% (陸上からの酸素量) × 90% (PSAからの最低酸素発生率) × 100% (水中での酸素溶解効率) ※3 × 24h/1000(g → kg)

※3：島地川ダムの実証実験において、5%の酸素供給の際に、水深40mで発生した酸素が全て溶解している。このため、⑤において全てDO=30としている。

設定条件：酸化される物質量は導電率より表層の値を引いた値に比例すると仮定

吐出し周辺（下流方向50m）のDOを灰塚ダムや島地川ダム実証実験での観測値30mg/L、対象範囲の端部を改善目標のDO=4mg/Lとし、濃度は直線的に分布していると仮定。

なお、この設定値は以下の灰塚ダムで得られている結果と概ね一致する。

- 島地川ダムと同規模（120m³/h）の機器が導入されている、灰塚ダムの平成20年のNO. 8の結果では、上流500mのNO. 13には20日後に、上流700mのNO. 14には40日後（運転停止期間及び高さ変更期間を除いた場合）に酸素が到達している。

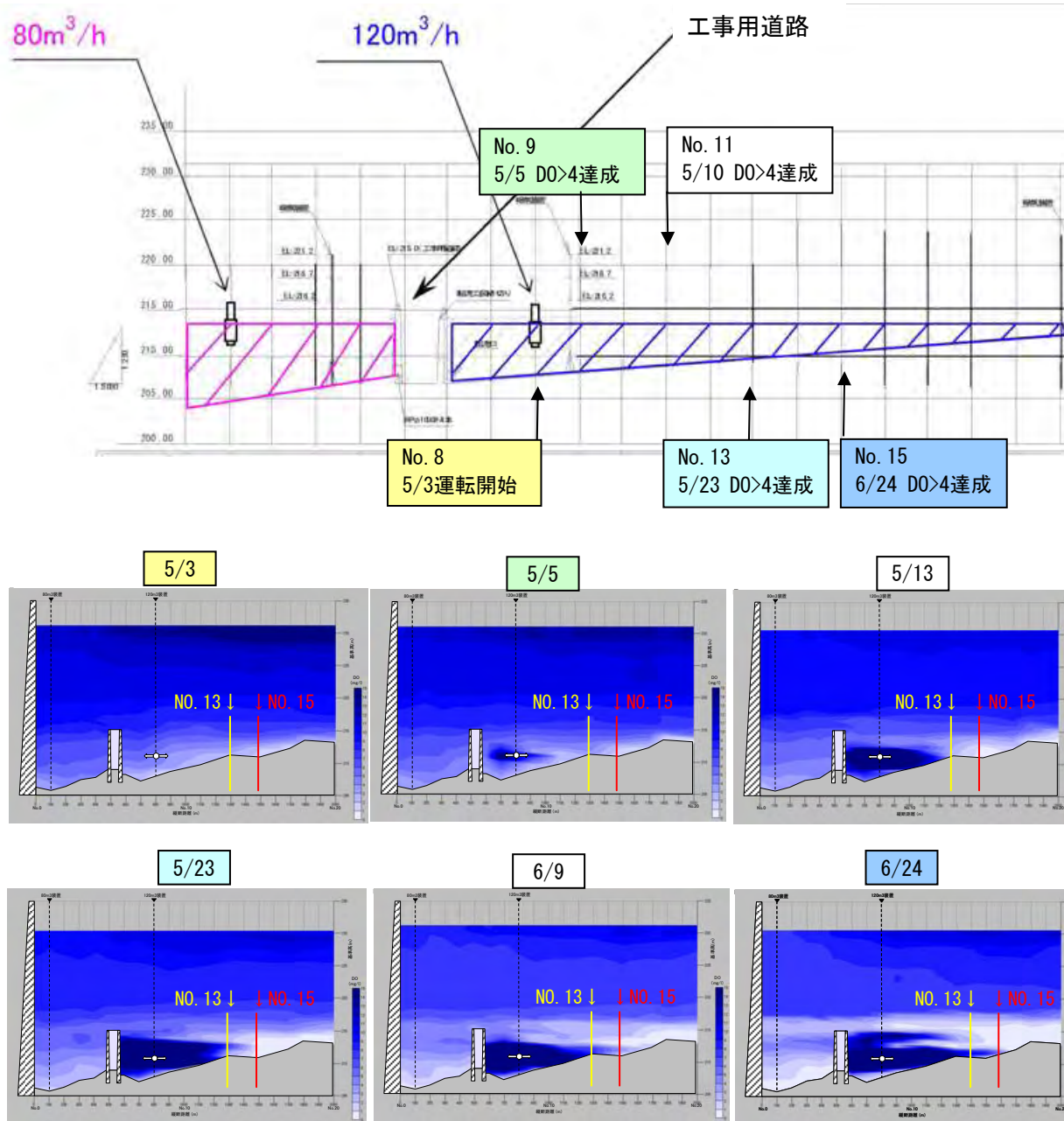


図 3-7 灰塚ダム NO. 8 における酸素の到達状況

選定根拠5：水質モニタリングを適切に実施し、コスト縮減のため、適切に運転時間を設定する。

N0.8地点の高濃度酸素溶解装置は島地川ダムで導入予定と同規模（120m³/h）であるが、運転1年目（平成19年）と運転2年目（平成20年）で運転時期が変化している。これは酸素が十分に行き渡り、運転が不要と判断された時期に停止されたものである。

平成20年の7/30～8/28には30日間の停止が、10/4～10/23には20日間の停止があった。これは一度酸化された底層水及び底泥の酸素消費速度が低下していることを意味すると考えられる。ただし、長期停止翌月の9月、11月にフル稼働を行っていることから、この酸素消費速度の低下は恒久的なものではないと考えられる。

表 3-4 月ごとの運転日数（灰塚ダム：M0.8）

	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
H19			27	22	16	19	1	
H20	18	24	26	3	28	11	30	19

※H19は7/5～11/5 5/3～12/19

2巡目以降は、1巡目の改善により酸素消費速度が小さくなっている可能性、本来DO不足が著しい時期であり、酸素消費速度が高まる可能性の両面があり、不確定要素が大きい。このため、1巡目の結果と水質モニタリング結果を見て、適宜変更する必要がある。

これら運転時間の短縮は電気代の削減のみならず、運転時間を減らすため部品の耐用年数を延ばす効果が生じ、コスト縮減となる。このため、今後の維持管理コストの低減を積極的に提言していくものとする。

なお、図 3-1において、3順目に冬季の循環期にあたり、250 (EL. m) 以深に循環を回復させることで運転時間を短くすることができる可能性がある。

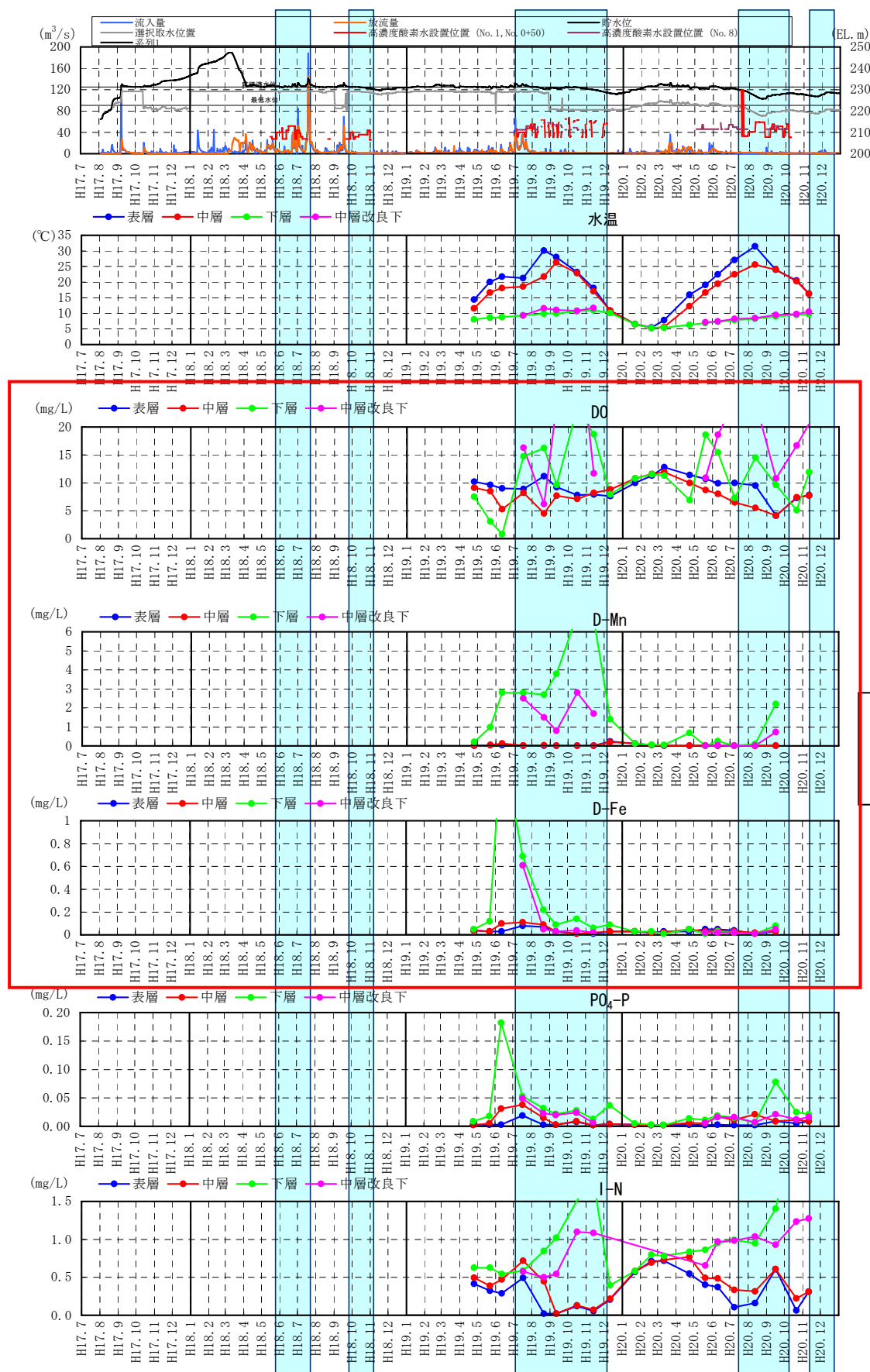
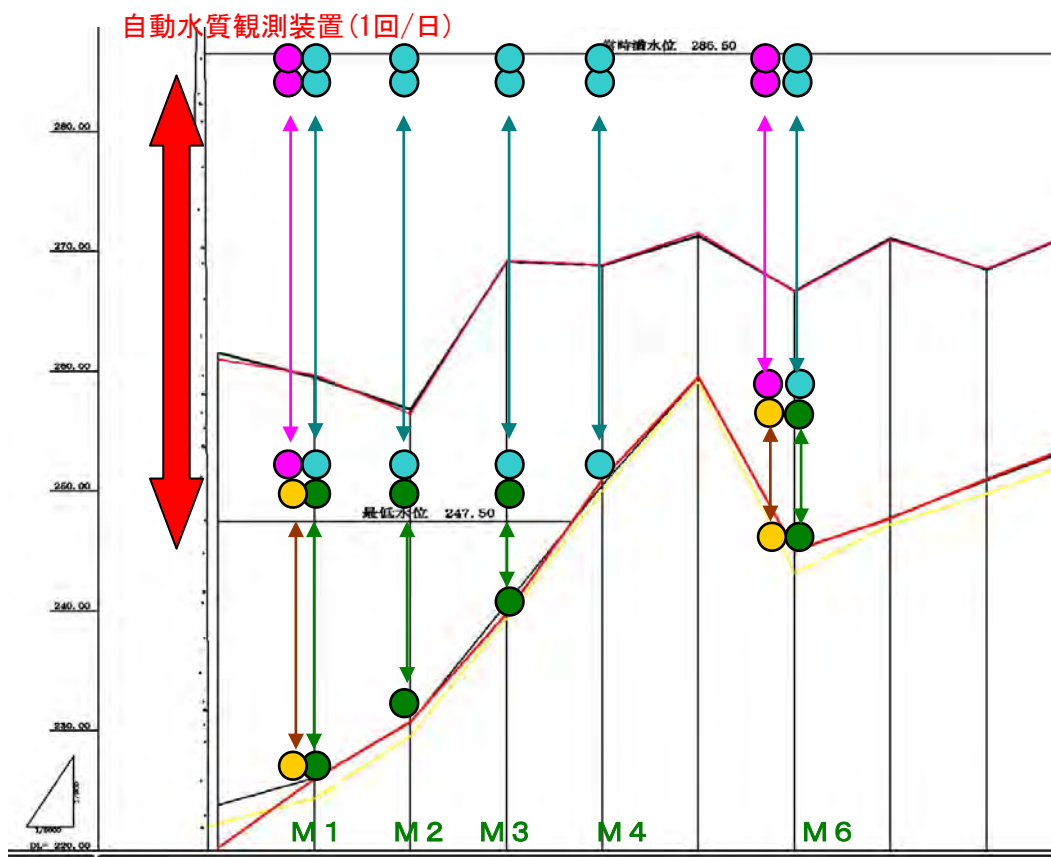


図 3-8 灰塚ダム : No. 7 の経日変化

第4章 水質モニタリング調査（案）

【水質モニタリング方針】

- EL. 245mまでは、ダムサイト（M0）の自動水質観測装置により、毎日（9：00）のデータを取得する。
- ポータブル機器による簡易水質調査により、水深方向及び水平（縦断）方向の改善効果を確認する。縦断方向はM0～M6（200mピッチ）とし、水深方向はM1～M4が250EL.mより上層が5mピッチ、下層が2mピッチとする。M6に限り、255EL.mより上層が5mピッチ、下層が2mピッチとする。測定項目は水温、D0、ECとする。
- 採水分析として、D0、鉄、マンガン、ヒ素、蒸発残留物を測定する（定期採水の項目は別途実施）。



【簡易水質調査】

- 5m間隔で測定（1回/月）
- 2m間隔で測定（1回/月）

【採水分析】

- 5m間隔で測定（1回/月）
- 2m間隔で測定（1回/月）

※水温が急激に変化する高さ（水温躍層）においては、水温のみ1mピッチで観測する。

表 4-1 水質モニタリング調査（案）

	モニタリング目的	モニタリング項目	形式	モニタリング手法	地点	深度	頻度	モニタリング時期		備考
								施工中	施工後	
運転管理	ダム管理上必要な基礎データ入手	【自動水質観測装置】 水温、濁度、EC、pH、DO、クロロフィル a	常時 (既設)	センサーによる水深方向の自動計測(表層～245EL. m)	M 0	1m毎	連続監視	毎日	毎日	・継続的な維持管理を適切に実施
運用検証調査	①施設整備後の水質改善状況を詳細に把握 ②施設効果の評価 運用ルール見直し検討	【簡易水質調査】 水温、DO、EC	小型船舶利用	多項目水質センサーを湖内に投入、深度方向に計測	M 1、M 2、M 3、M 4、M 6	(250EL. mより上層)表層から1m、以降5m毎 (250EL. mより下層)2m毎	月1回の定期水質調査時に併せて実施	毎月	毎月	・試験運用中の1年(12回) ・本格運用後の1年(12回)
		【採水分析】 DO、鉄、マンガン、ヒ素、蒸発残留物	小型船舶利用	・所定の深度から採水し、室内試験を行う。 ・採水時に透明度、色度、を計測し、試験水の水温、pHを計測	M 1、M 6	・表層、EL. 250m、以下2m毎	月1回の定期水質調査時に併せて実施	毎月	毎月	・試験運用中の1年(12回) ・本格運用後の1年(12回)

● 水質改善対策について

導入施設

導入施設は、高濃度酸素溶解装置である。

- ・ 機械基数 1 基 (M1 付近)
- ・ 導入機械能力 送水量は120m³/h

供用開始

平成22年4月より供用開始の予定である。

高濃度酸素溶解装置の運用 (案)

- ・ 要注意水域の上端250 (EL. m) から運転を開始し、1 ヶ月ごとに 4 m の範囲を改善させながら下降させ、242 (EL. m) まで到達したら、2週間に 4 m ずつ下降させる。最下層が終了したら、再度要注意水域上端まで上昇させる。
- ・ 3巡目にあたる平成21年12月からは、水質改善結果を見ながら適宜間欠運転を行う。
- ・ 要注意水域の水質調査等モニタリングを実施する。
(毎月の定期採水の際に、簡易水質計 (ポータブル機器) による連続測定を実施する。範囲はM1 ~ M6 とする。)
- ・ 冬季の大循環が回復した水域は改善対象外とする。