

第 1 回 島地川ダム水質改善検討委員会（仮称）

委 員 会 資 料

平成 20 年 3 月 5 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. 島地川ダムの現況説明	
1.1 島地川ダムの位置	1
1.2 島地川ダムの諸元	2
1.3 貯水位変動図	4
1.4 島地川ダムの堆砂状況	6
1.5 島地川ダム貯水池周辺の地質	7
1.6 水質調査地点の位置	9
1.7 定期水質・底質調査の実施概要	11
1.8 島地川ダム湖の水質の現状	12
1.9 ヒ素に係る環境基準等	17
1.10 平成16年度 河川水辺の国勢調査（ダム魚介類調査）結果概要	18
2. 今までの検討・対策経緯	
2.1 第12回中国地方ダム等管理フローアップ委員会（平成19年1月16日）	23
2.2 「島地川ダム貯水池水質保全事業」の概要	23
3. 島地川ダムのヒ素実態把握	
3.1 島地川ダム湖のヒ素分布と量的把握	19
3.2 ヒ素の経年変化と収支解析	32
3.3 島地川ダム湖ヒ素汚染のメカニズム	37
4. 現時点での対応方針（案）	
4.1 ヒ素対策検討フロー	42
4.2 ヒ素対策検討方針	43
4.3 ヒ素対策の概算事業費	43
4.4 ヒ素対策の組合せと効果想定	45

1. 島地川ダムの現況説明

1.1 島地川ダムの位置



図 1-1 島地川ダムの位置図

1.2 島地川ダムの諸元

(1) 島地川ダムの目的

島地川ダムは、昭和 56 年竣工の重力コンクリート式多目的ダムで、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挙げる。

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、下流の水害を防止する。

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。

(2) 島地川ダムの諸元

ダムの諸元については、表 1-1 に示すとおりである。

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建設された多目的ダムで、堤高 89.0m、堤頂長 240.0m の重力式コンクリートダムである。

ダム下流面図を図 1-2 に示す。

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

また、放流設備については、表 1-2 に示すとおりである。

表 1-2 放流設備の諸元

放流設備	
洪水吐き	自然放流 1 門，自然越流 4 門
利水放流	ジェットフローゲート，高圧スライドゲート
低水放流	ジェットフローゲート，高圧スライドゲート
選択取水	多段式シリンダゲート

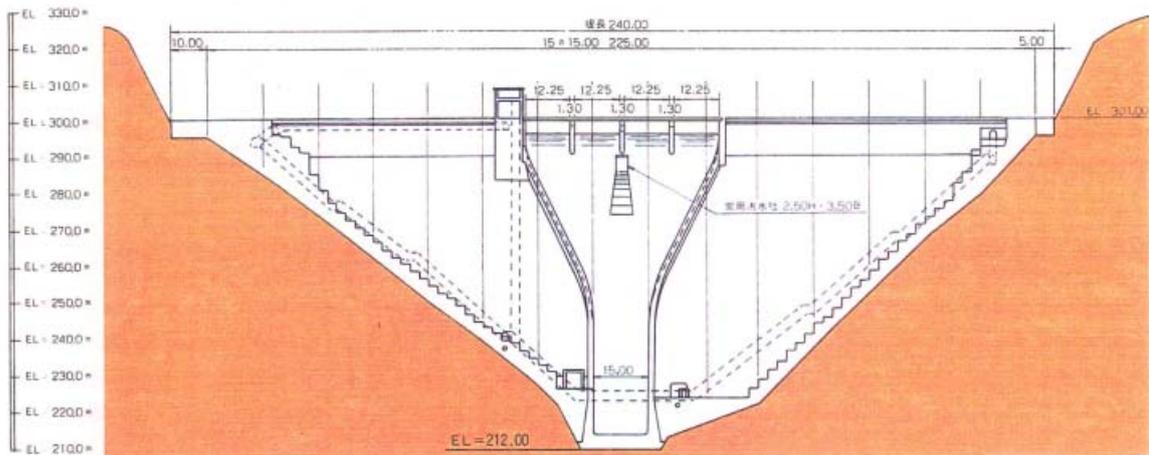


図 1-2 ダム下流面図

(3) 島地川ダム貯水池の諸元

島地川ダム貯水池は、32.0 km² の流域面積を有し、湛水面積が 0.80 km²、総貯水容量は 20,600,000 m³ である。

島地川ダム貯水容量配分図を図 1-3 に示す。

表 1-3 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

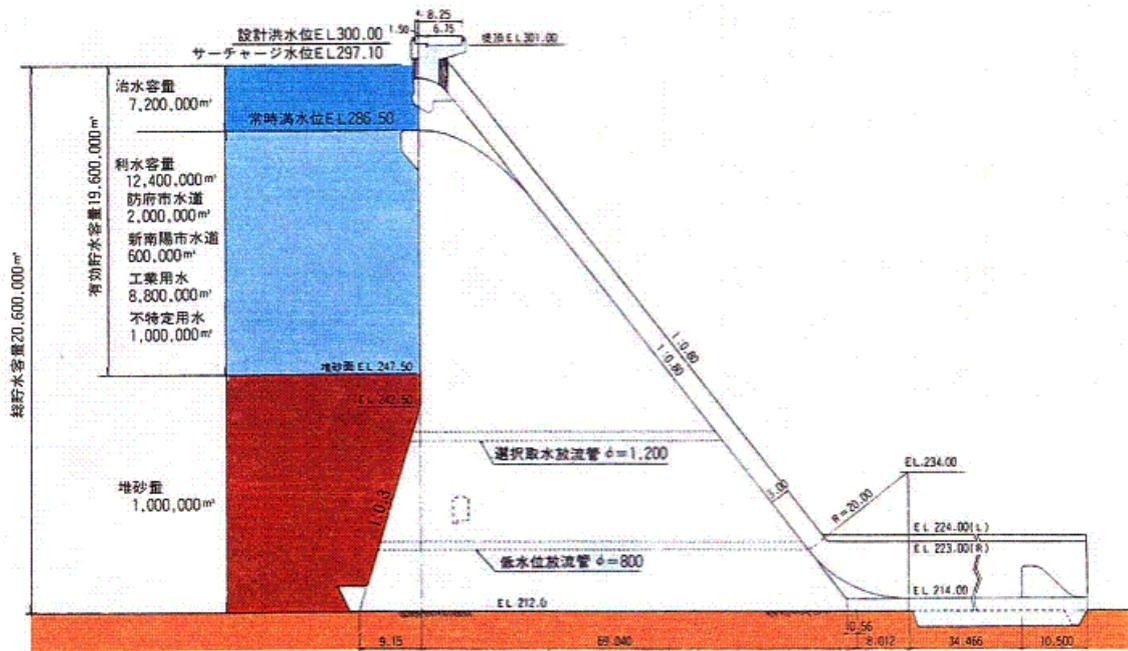
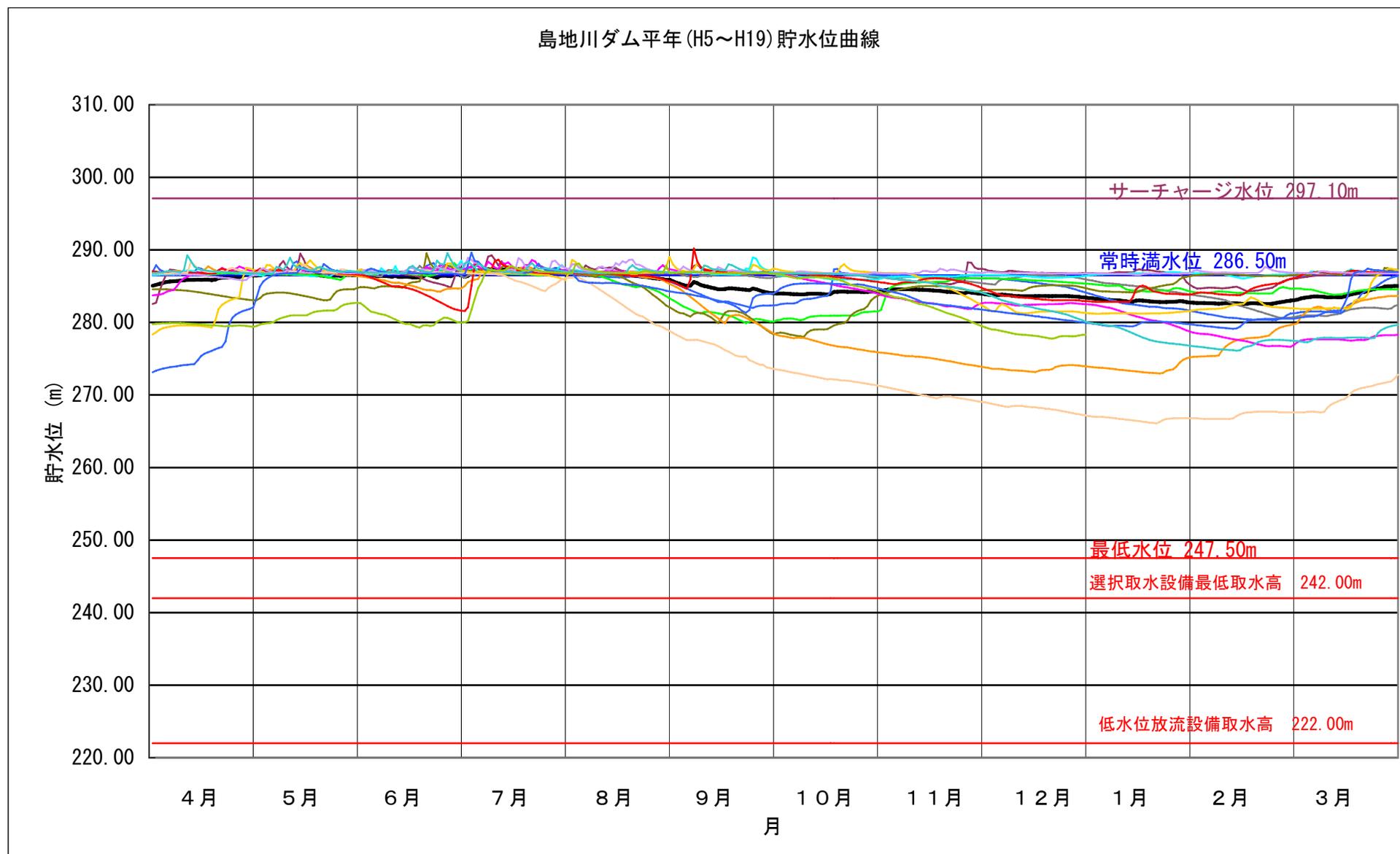
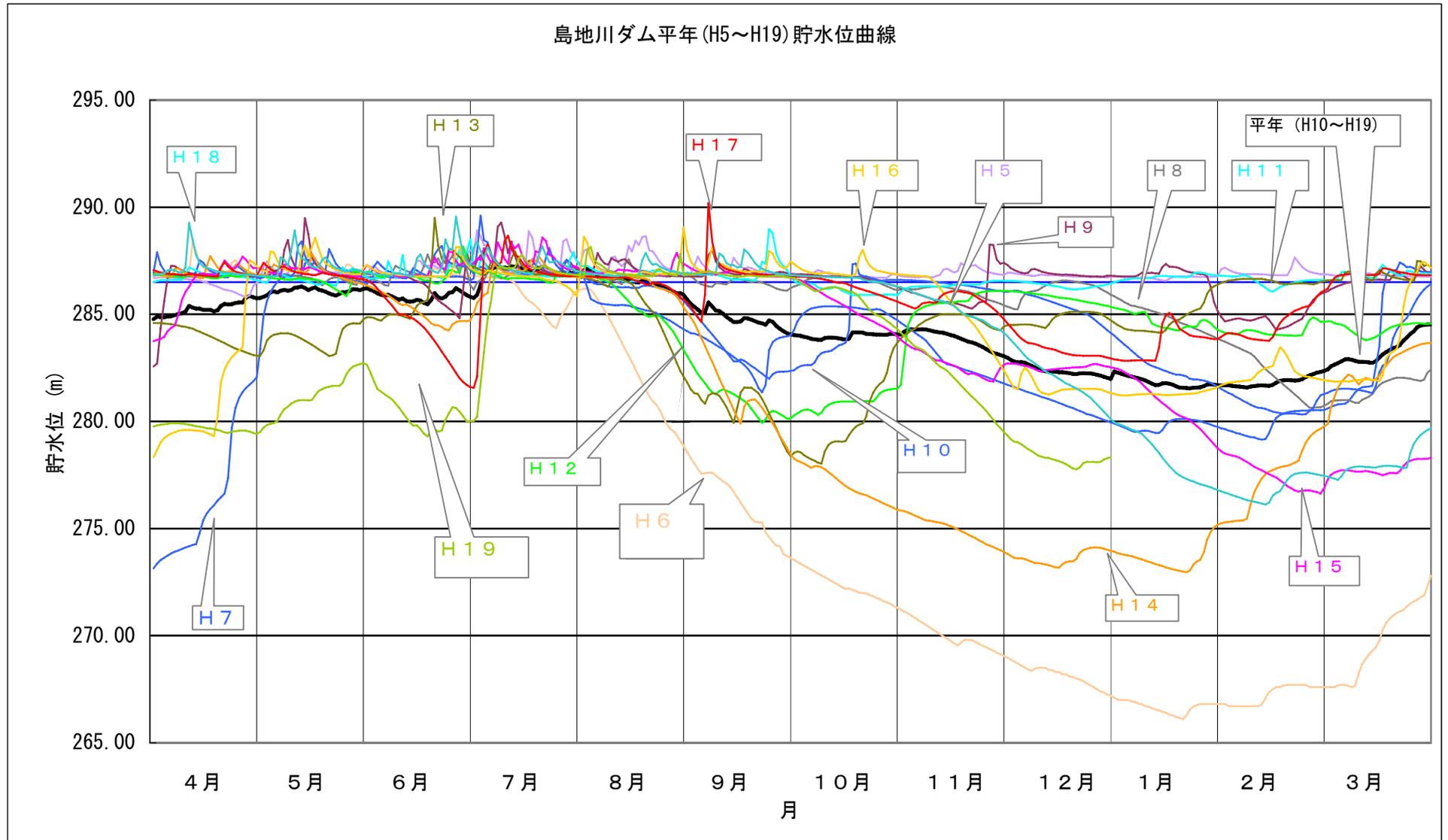


図 1-3 貯水池容量配分図及び越流部標準断面図

1.3 貯水位変動図



[拡大図]



1.4 島地川ダムの堆砂状況

島地川ダムの平成 17 年度までの総堆砂量は 258 千 m³ (年平均 10.3 千 m³) となっている。堆砂率は 25.8% であり、ほぼ計画値 (計画堆砂量/100 年) 通りに推移している。

平成 17 年時点の計画堆砂量に対する割合は 108% であり、実績比堆砂量は 336 (m³/km²/年) と、計画値 300 (m³/km²/年) を若干上回っている。

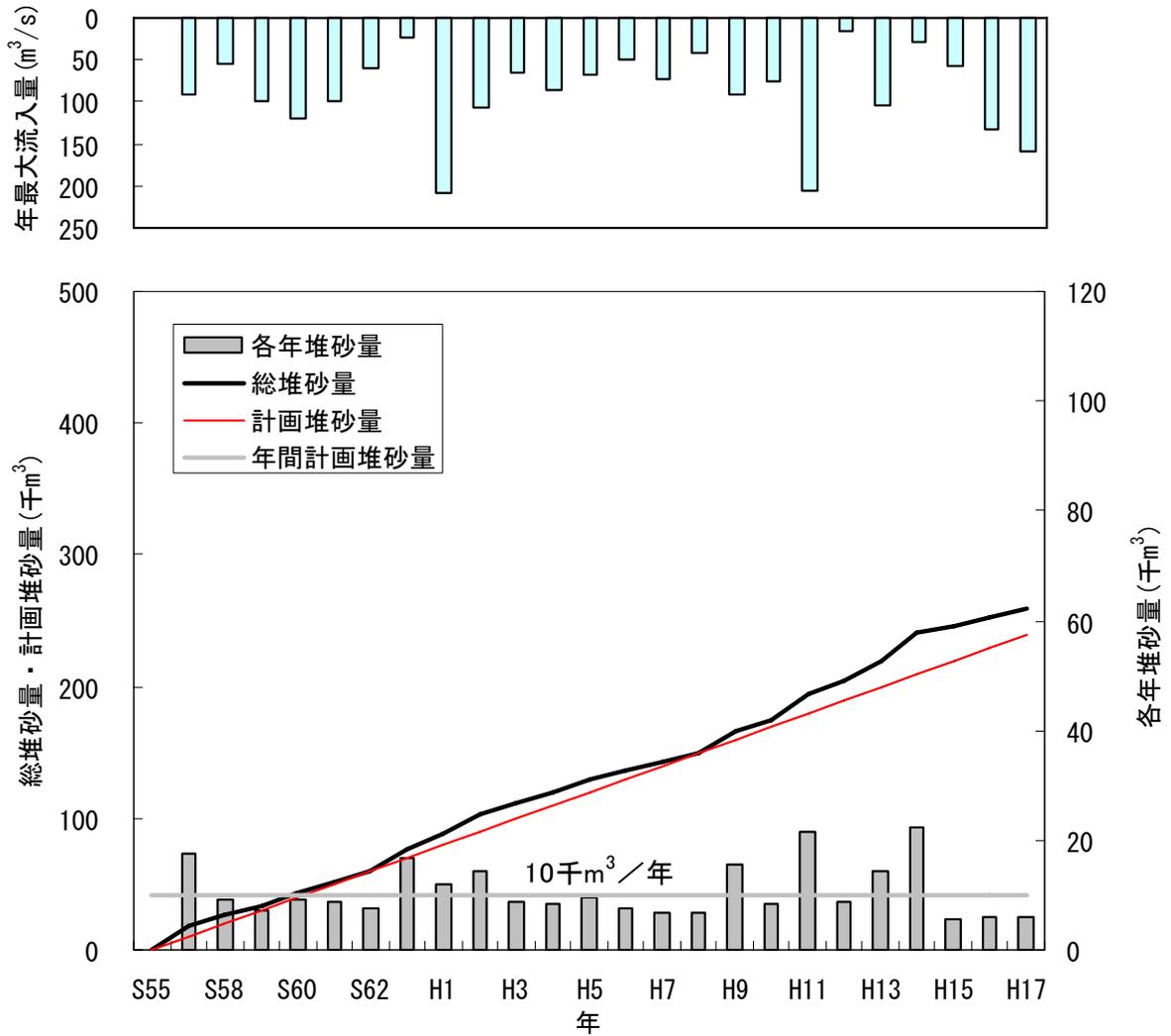


図 1-4 島地川ダム貯水池堆砂経年変化図 (平均河床高)

1.5 島地川ダム貯水池周辺の地質

(1) 地質概要

- ・ 島地川ダム湖周辺には、ほぼ全域にわたって片岩類（泥質片岩，砂質片岩の互層）が分布しており、これらの片岩類は周防変成岩（中世代高压型変成岩）に相当する。（図 4-5 参照）
- ・ 周防変成岩（中世代高压型変成岩）は、山口県下では島地川ダムを含む東部地域や、山口地域，宇部—小野田地域に広く分布する。
- ・ また，広域的には，九州北部から中国地方東部にかけて分布する三郡変成帯に属する。
- ・ 変成帯では，岩石が熱や圧力の変成作用を受けて形成された硫ヒ鉄鉱，黄銅鉱，黄鉄鉱が含まれる頻度が高いことが一般に知られている。したがって，島地川ダム湖周辺でも，地質にこれらの鉱物が含まれる可能性が十分にある。

(2) ヒ素との関連性

- ・ 変成帯に出現する頻度の高い硫ヒ鉄鉱（FeAsS）はヒ素を多く含み，また，黄銅鉱や黄鉄鉱にはヒ素が含まれる可能性がある。
- ・ 硫ヒ鉄鉱はヒ素と鉄，黄銅鉱は銅・鉄と硫黄，黄鉄鉱は鉄と硫黄の硫化鉱物であり，いずれも鉄を多く含む鉱物である。
- ・ 三郡変成帯に属する当該島地川ダム湖周辺地域の周防変成岩には，岩種や地域によらずヒ素を含む岩石が随所にあると考えられる。

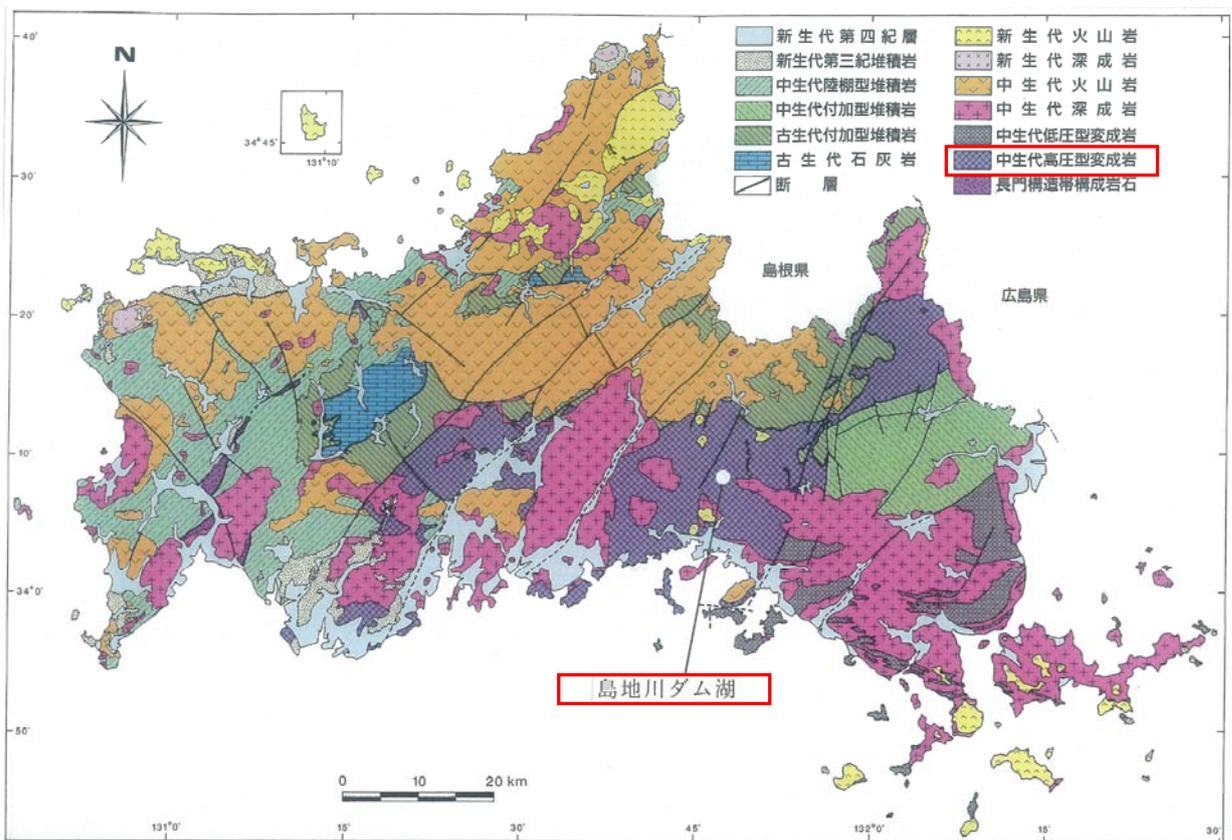


図 1-5(1) 山口県の地質図(山口県地学会・編者代表 西村祐次郎・松里英男：山口県の岩石図鑑)

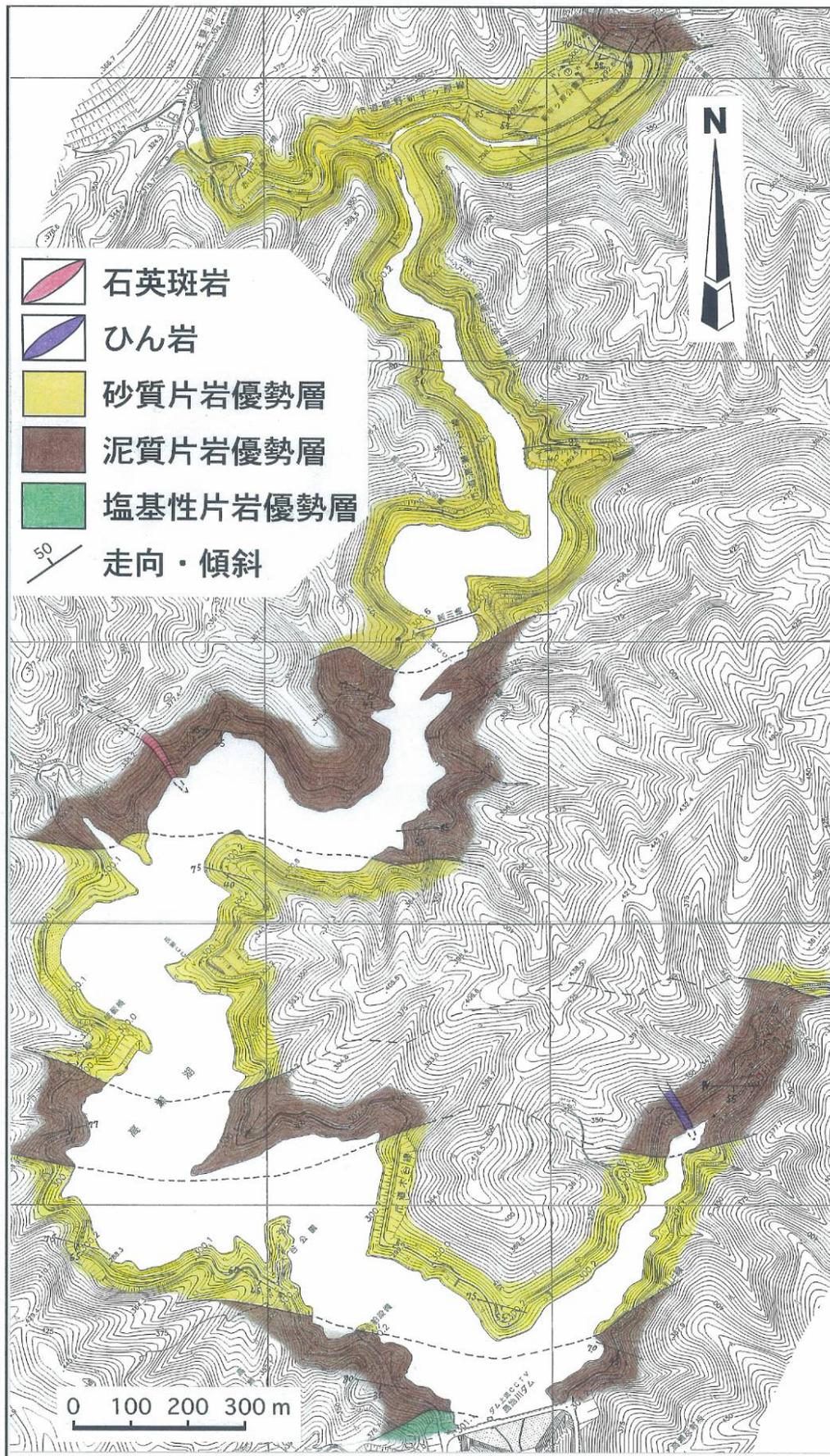


図 1-5 (2) 島地川ダム湖周辺の地質図

(佐波川水質調査業務報告書 島地川ダム湖のヒ素分布調査(平成 19 年 3 月))

1.6 水質調査地点の位置

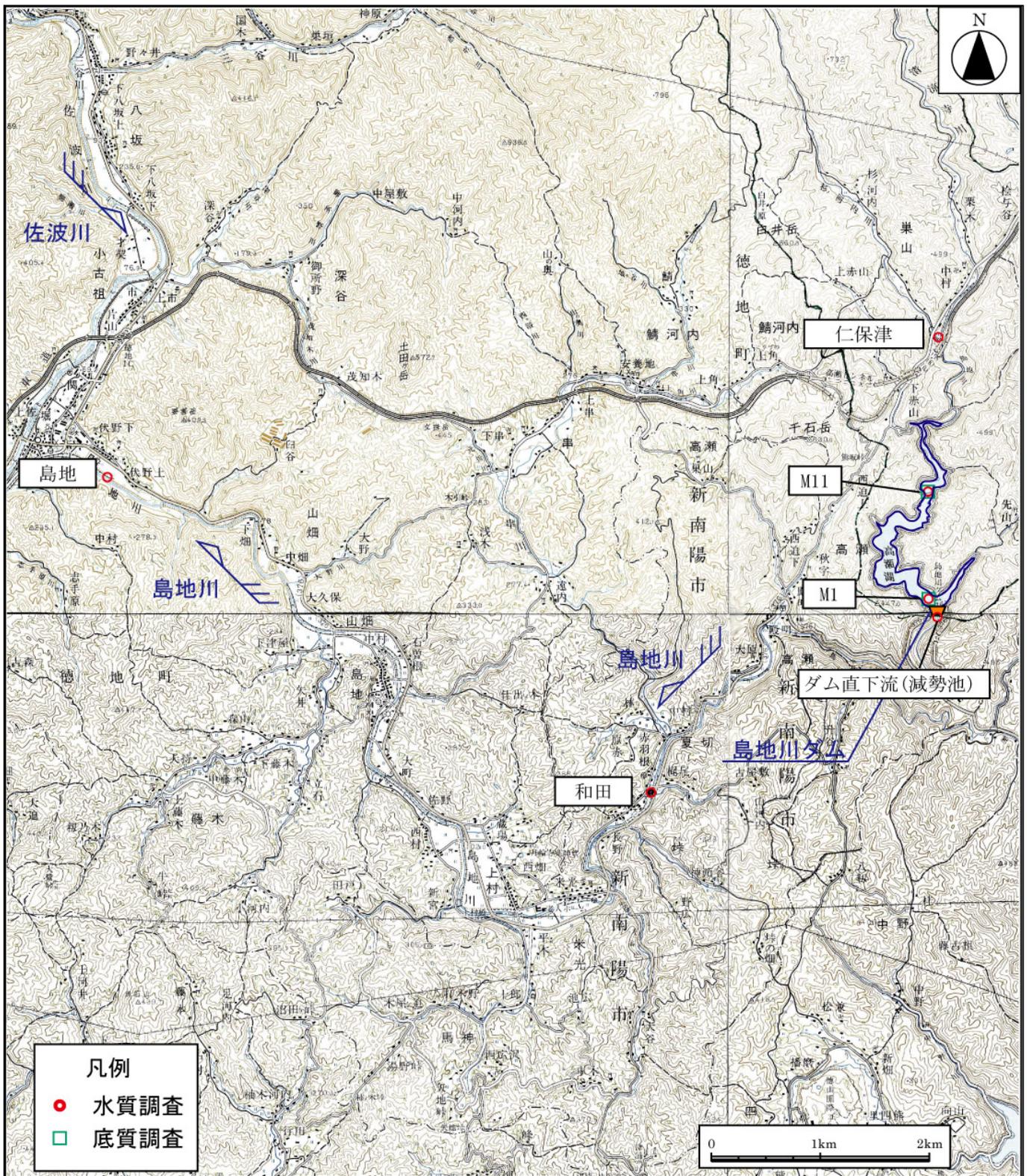


図1-6(1) 島地川ダムヒ素に係る定期水質・底質調査位置図(広域)

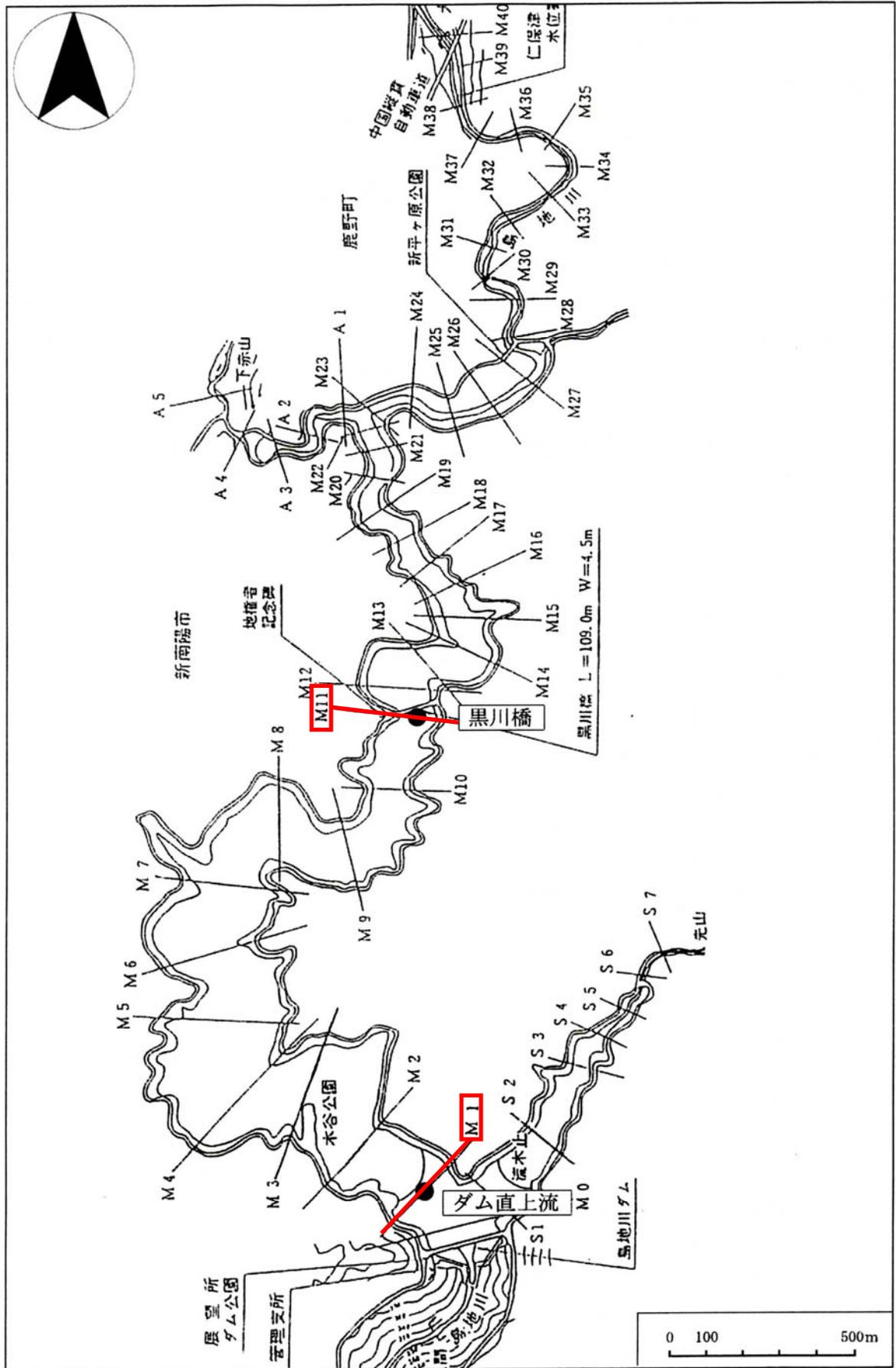


図 1-6(2) 島地川ダムヒ素に係る定期水質・底質調査位置図(貯水池内拡大)

1.7 定期水質・底質調査の実施概要

(1) 定期水質調査

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（生活環境項目・富栄養化関連項目等）。

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。

流入および下流河川では、定期調査をダム流入地点の仁保津、ダム下流のダム直下流、和田、島地地点において実施している。このうちヒ素濃度の調査は、平成 12 年度以降和田地点において毎月（年 12 回）実施している。また、仁保津地点においては、平成 12 年度のみ、年 12 回実施している。

表 1-4(1) ヒ素関係の定期水質調査の実施状況

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~H18	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~H18	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~H18	和田	流心	●年12回(月1回) ○年2回	●	●	●	●		●	○	○	

(2) 定期底質調査

ダム貯水池内の底質調査は、平成元年度以降、毎年、M1(ダム直上流)、M11(黒川橋)の 2 地点において CODsed 等 7 項目を年 2 回、平成 10 年度からは年 1 回の頻度でヒ素の溶出試験を含む 16 項目について実施している。

島地川水系では、流入および下流河川に調査点はなく、佐波川水系では河口部の佐波川大橋地点において調査を実施している。この底質調査は、平成 5 年度から平成 11 年度まで CODsed 等 3 項目を年 1 回実施、平成 12 年度以降はダム貯水池内と同様にヒ素の溶出試験を含む 16 項目を年 1 回 実施している。

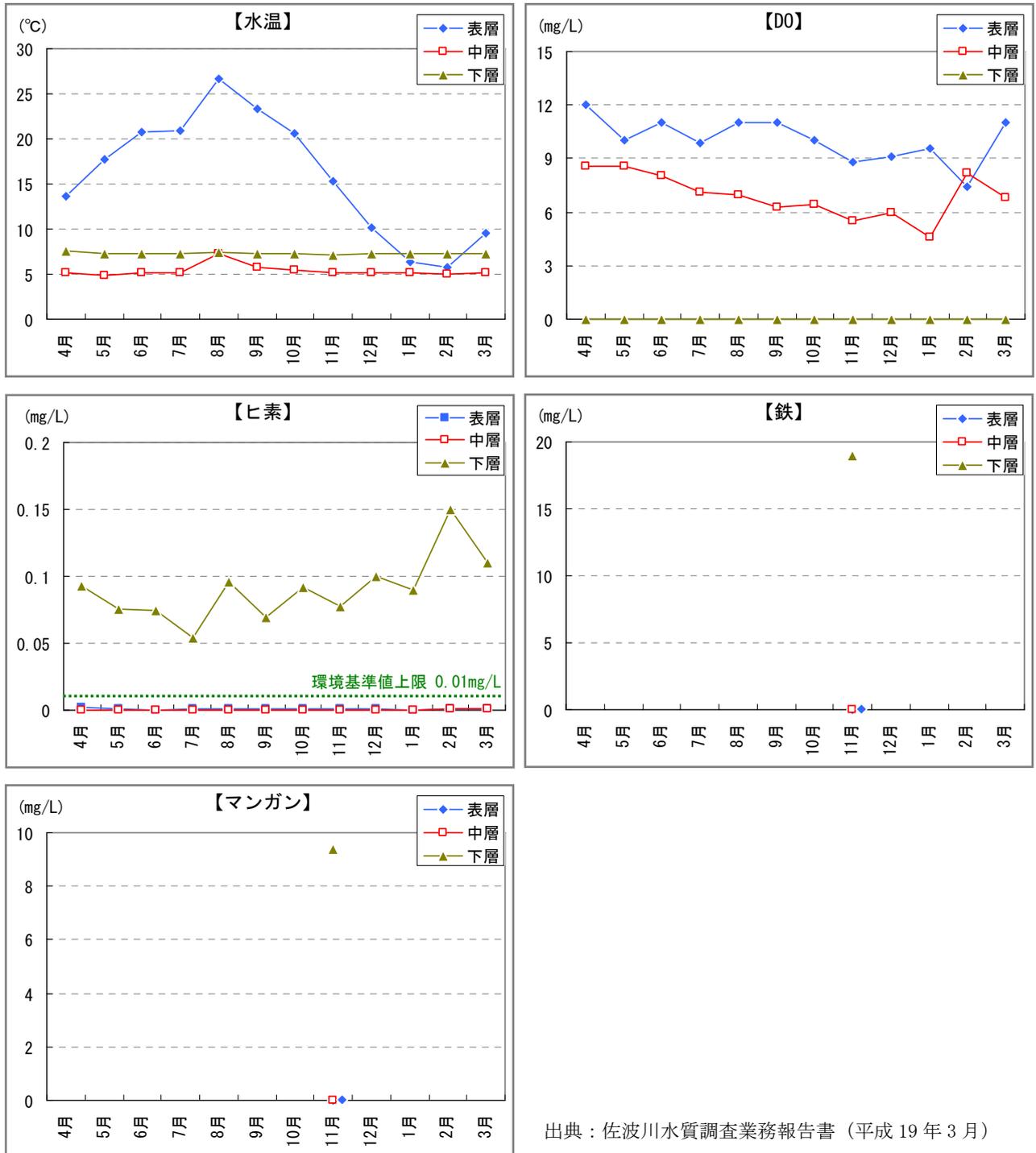
表 1-4(2) ヒ素関係の定期底質調査の実施状況

調査名	実施年度	調査地点	調査層	頻度	底質項目					
					ヒ素 (溶出)	ヒ素 (含有)	鉄 (含有)	マンガン (含有)	強熱 減量	硫化物
定期底質調査 (ダム貯水池内)	H1~H9	M1(ダム直上流) M11(黒川橋)	底泥	○年2回			○	○	○	○
	H10~H18	M1(ダム直上流) M11(黒川橋)	底泥	○年1回(5月)	○		○	○	○	○

1.8 島地川ダム湖の水質の現状

(1) 水質の現状

島地川ダム湖定期水質調査結果より、平成 18 年度のダム直上流地点 (M1) の表層・中層・底層水質の月別変化を図 1-7 に示す。底層 DO は年間を通じて無酸素状態にあり、底層ヒ素濃度は 0.05~0.15mg/L と環境基準 (0.01mg/L) を超過している。

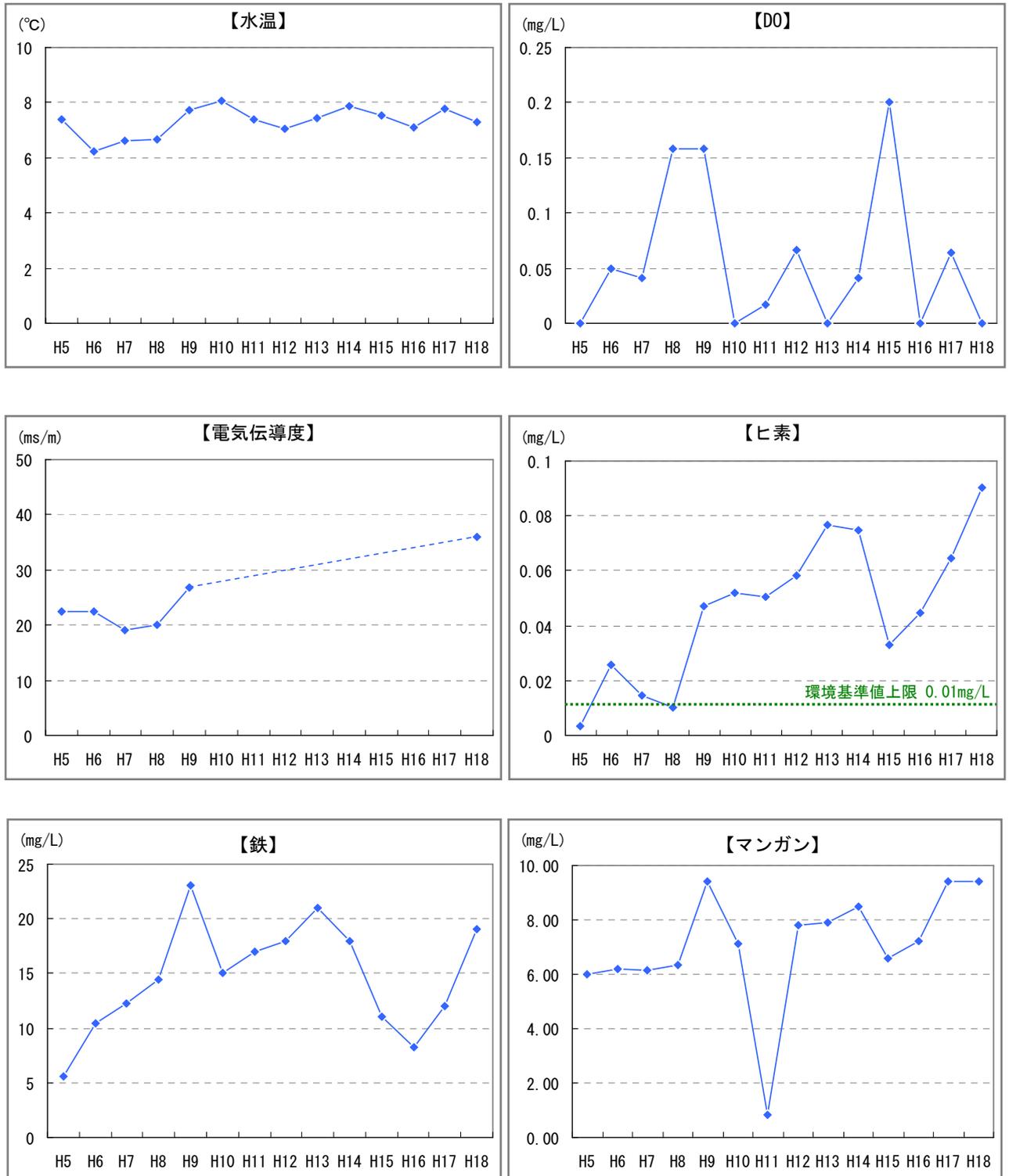


出典：佐波川水質調査業務報告書 (平成 19 年 3 月)

図 1-7 底層水質の季節変化 (平成 18 年度, M1)
(項目: 水温, DO, ヒ素, Fe, Mn)

(2) 水質の経年変化

島地川ダム湖定期水質調査結果より、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4-8に示す。底層ヒ素濃度は、経年的に上昇傾向にある。



出典：佐波川水質調査業務報告書（平成5年度～平成18年度）

図1-8 底層水質の経年変化（平成5～18年度，M1値の年平均）
（項目：水温，DO，電気伝導度，ヒ素，Fe，Mn）

(3) 水質の鉛直分布

島地川ダム湖水質調査（ヒ素調査）結果より、平成18年度のダム直上流地点（M1）の水質鉛直分布を図1-9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逆転傾向が認められ、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示唆される。

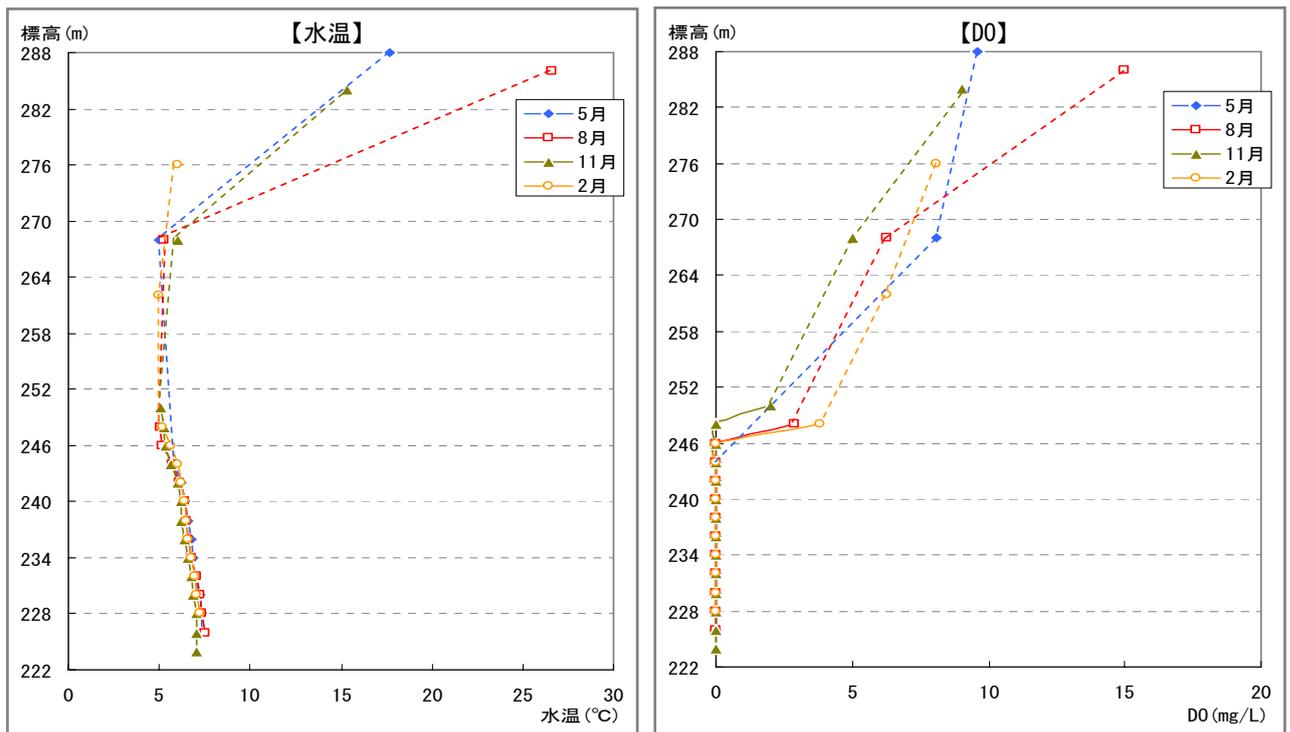
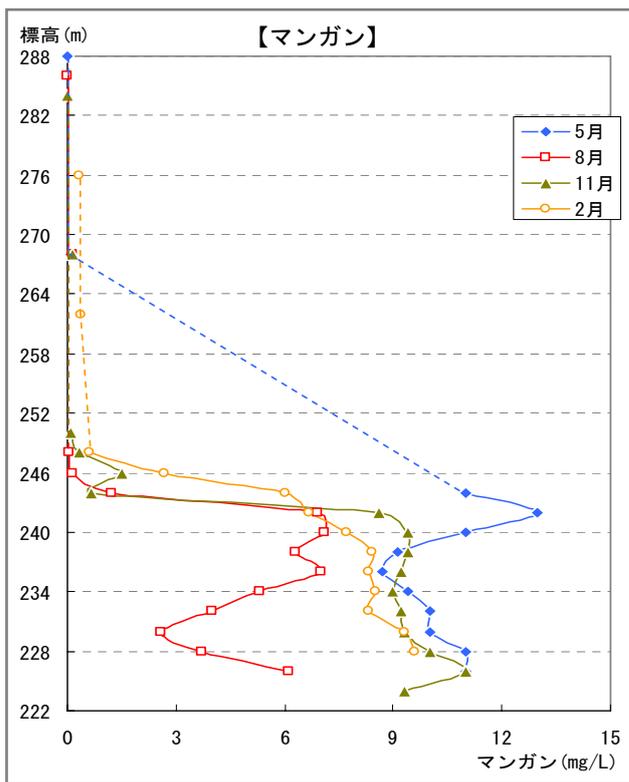
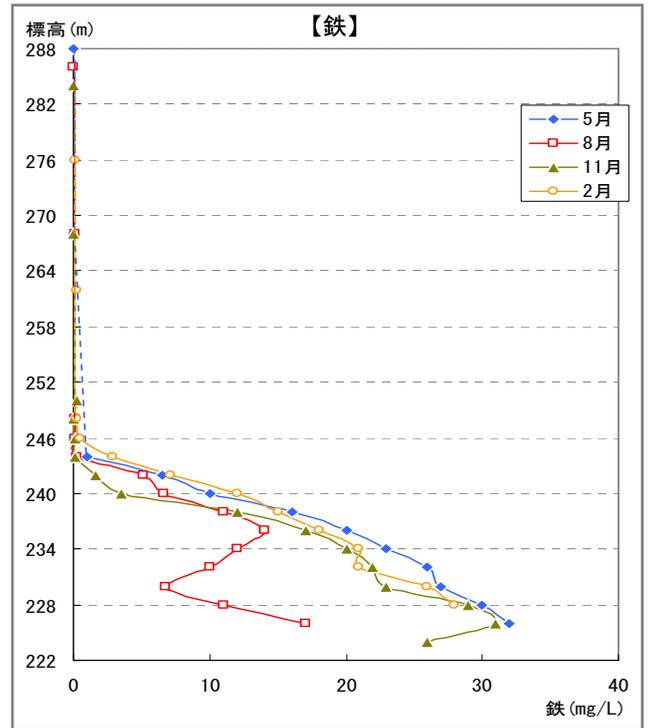
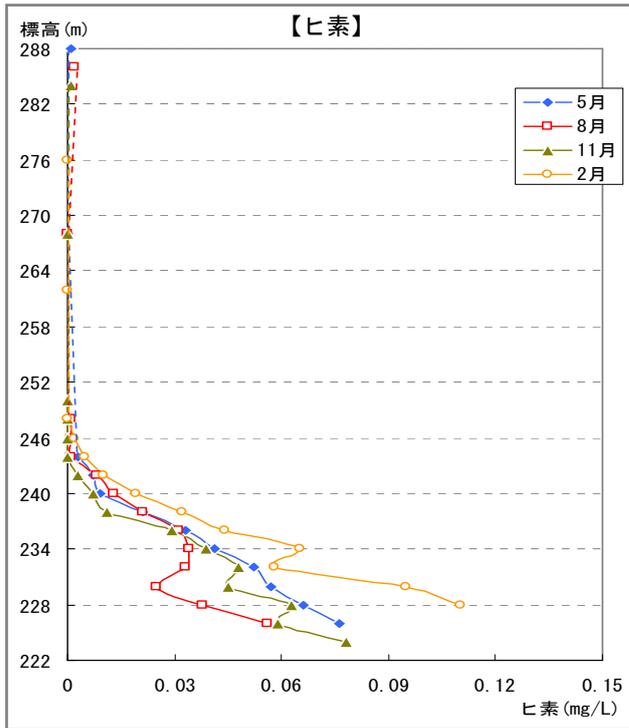


図1-9(1) 水質の鉛直分布（平成18年度，M1）（項目：水温，DO）



出典：佐波川水質調査業務報告書（平成19年3月）

図1-9(2) 水質の鉛直分布（平成18年度，M1）（項目：ヒ素，Fe，Mn）

1.8 ヒ素に係る環境基準等

(1) ヒ素に係る環境基準等

1) 水質環境基準

ヒ素の水質環境基準は、環境基本法に基づき、「人の健康の保護に係る環境基準」項目として、0.01mg/L以下と定められている。

人の健康の保護に関する環境基準は、昭和45年に閣議決定され、昭和46年12月に環境庁より告示された。当初、ヒ素の環境基準値は、0.05mg/L以下であったが、平成5年3月に環境庁から通達が出され、0.01mg/Lに改定され、現在に至っている。

2) 水道水質基準

水道水質基準は、水道法に基づき、0.01mg/L以下と定められている。

3) 土壤環境基準

ヒ素の土壤環境基準は、環境基本法に基づき、溶出量基準として0.01mg/L以下、含有量基準として農用地について15mg/kg未満と定められている。

土壤環境基準は、平成3年8月に環境庁より告示された。

4) 土壤汚染対策法に基づく指定基準

平成15年2月に施行された土壤汚染対策法においては、特定有害物質が「指定基準」を超えて存在する地域を「指定地域」と定め、適切に処理・処分することを求めており、ヒ素に関する指定基準は、土壤溶出量基準として0.01mg/L以下、土壤含有量基準として150mg/kg以下と定められている。

土壤汚染対策法に基づいて汚染土壤の処理・処分が求められるのは、人為的原因による場合であり、自然的原因による場合は土壤汚染対策法の適用対象にはならないが、「土壤汚染対策法の施行について(平成15年2月、環境省通達)」により、自然的原因であっても特定有害物質が指定基準を超えている土壤を処分する場合は適切な対応が求められている。なお、同通達では、自然的原因によるヒ素含有量の上限の目安を39mg/kgとしている。

表 1-5 ヒ素に係る環境基準, その他基準

基準	ヒ素基準値	根拠法令	摘要
水質環境基準 (人の健康の保護に係る環境基準)	0.01mg/L以下	環境基本法 昭和46年12月 環境庁告示第59号	・昭和46年当初基準 0.05mg/L以下 ↓ ・平成5年3月環境省通達以降 0.01mg/L以下
水道水質基準	0.01mg/L以下	水道法	
土壤環境基準	・溶出量基準 0.01mg/L以下 ・含有量基準(農用地) 15mg/kg未満	環境基本法 平成3年8月 環境庁告示第46号	
土壤汚染対策法に基づく指定基準	・溶出量基準 0.01mg/L以下 ・含有量基準 150mg/kg以下	土壤汚染対策法 土壤汚染対策法施行規則, 平成14年12月 環境省令第29号	・「土壤汚染対策法の施行について(平成15年2月、環境省通達)」により、自然的原因であっても特定有害物質が指定基準を超えている土壤を処分する場合は適切な対応が求められている。
土壤汚染対策法に基づき、「土壤の特定有害物質が自然原因によるものかどうかの判定方法」における自然的原因によるヒ素含有量の上限の目安：39mg/kg		土壤汚染対策法 平成15年2月 環境省通達・環水土第20号	

(2) 鉄, マンガンに係る環境基準等

1) 要監視項目の指針値

環境基本法に基づく「人の健康の保護に係る環境基準」に準じる項目として、人の健康に関連する物質であるが、公共用水域等における検出状況等からみて現時点では直ちに環境基準項目とはせず、引き続き知見の集積に努めるべき物質として 27 物質が要監視項目として設定され、指針値が示されている。

マンガンは、当該要監視項目に該当し、指針値は 0.2mg/L 以下と定められている。

2) 水道水質基準

鉄, 及びマンガンは、水道法に基づく水質基準項目に指定されており、基準値は鉄が 0.3mg/L 以下、マンガンは 0.05mg/L 以下と定められている。

表 1-6 鉄, マンガンに係る基準等

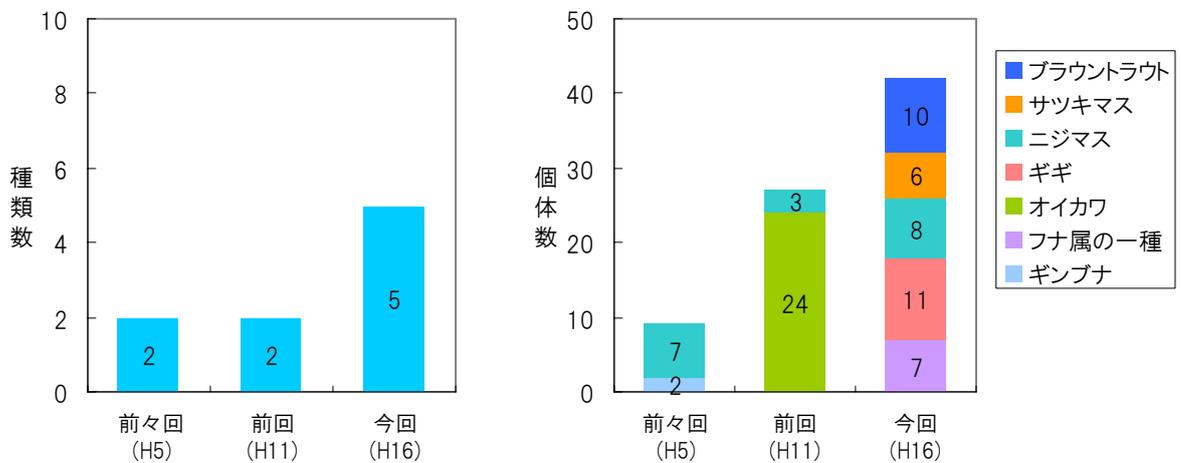
基準等	項目	基準値	根拠法令
要監視項目 (人の健康の保護に係る環境基準)	マンガン	(指針値) 0.2 mg/L 以下	環境基本法 昭和 46 年 12 月 環境庁告示第 59 号
水道水質基準	鉄	0.3 mg/L 以下	水道法
	マンガン	0.05 mg/L 以下	

1.9 平成16年度 河川水辺の国勢調査（ダム湖魚介類調査）結果概要

平成16年度 河川水辺の国勢調査（ダム湖魚介類調査）結果について、ダム湖内の調査点（No. 2, No. 3；参考資料⑥参照）における確認種、種類数、個体数について、前々回（平成5年）および前回（平成11年）と比較して図1-10に示す。

現地調査により湖内で確認された魚類は、1綱3目3科5種であった。捕獲された魚種のうち、サツキマス、ブラウントラウトは流入河川を含めてこれまで記録のない魚種であった。サツキマスはダム湖を海代わりに利用していると考えられる。

今回の調査結果は、過去の調査に比較して種類数、個体数ともに増加傾向が認められるが、その要因としては、降湖型サツキマスの出現、新しい魚種としてのブラウントラウトの侵入があげられる。



調査地点区分		ダム湖内(水面が広い)		
調査地点		No. 2, No. 3		
調査期		前々回 (H5)	前回 (H11)	今回 (H16)
種類数		2	2	5
捕獲個体数		9	27	42
種別 (% 構成 率)	ギンブナ	22.2		
	フナ属の一種			16.7
	オイカワ		88.9	
	ギギ			26.2
	ニジマス	77.8	11.1	19.0
	サツキマス			14.3
	ブラウントラウト			23.8

※ : 優先種1位
 : 優先種2位
 : 優先種3位

図1-10 捕獲魚種と種類数、個体数の経年比較

2. 今までの検討・対策経緯

2.1 第12回中国地方ダム等管理フォローアップ委員会（平成19年1月16日）

【島地川ダム定期報告書の総括】

第12回中国地方ダム等管理フォローアップ委員会において島地川ダム定期報告書の審議を行った。

審議は、1. 洪水調節、2. 利水補給実績、3. 堆砂、4. 水質、5. 生物、6. 水源地域動態について、島地川ダムが完成した昭和57年度から平成17年度までの24年間の評価を行った。

ダムの目的である洪水調節及び利水補給については、適正に効果を発揮している。また、貯水池及びその周辺の自然環境については、比較的安定した状態であると評価できる。

ただし、水質については、富栄養化現象としてアオコや乳白色のスカムが発生していることから、対策の検討・実施を進められたい。また、ヒ素が下流側の取水地点では環境基準値を達成しているものの、湖内底層で環境基準値を超過していることから、**抜本的な対策**についての検討・計画を推進されたい。

今後とも洪水調節、利水補給の役割を十分に果たしていくとともに、蓄積されたデータを活用し、水質環境はもちろんのこと、生物・社会環境にも配慮した適切なダム管理を図られたい。

2.2 「島地川ダム貯水池水質保全事業」の概要

【島地川ダム貯水池水質保全事業の概要】

① 事業期間	平成18年度～平成21年度（4年間）
② 事業費	約3億円
③ 事業内容	・アオコ対策 ・ヒ素対策
④ アオコ対策の経緯	・H18年度 対策工詳細設計 ・H19年度 対策工工事 ・H20年度 モニタリング
⑤ ヒ素対策の状況	・アオコ対策と同様のスケジュールを予定していたが、H18年度フォローアップで抜本対策の必要を指摘されたことから、現在、見直しを実施中。

3. 島地川ダムのヒ素実態把握

3.1 島地川ダム湖のヒ素分布と量的把握

(1) 底層水

1) 底層水のヒ素濃度分布

底層水のヒ素濃度を表 3.1-1 に、ヒ素濃度分布を図 3.1-1 に示す。

底層水のヒ素濃度は、水深分布、電気伝導度の分布に比例して、水深が深いほど濃度が高い傾向を示している。

ヒ素濃度の分布を局所的に見ると、環境基準 (0.01mg/L) を超過する範囲は、ダムサイト付近の M0~M3 と、中流部の M5~M8 付近であり、いずれも DO が 2mg/L 程度以下の貧酸素領域に対応している。

表 3.1-1 底層水のヒ素濃度 (平成 18 年度)

測線	ヒ素濃度(mg/L)		
	右岸	中央	左岸
M-0	0.002	0.100	0.001
M-1	0.001	0.100	0.029
M-1・2	0.013	0.030	ND
M-2	0.034	0.022	0.001
M-2・3	0.028	0.034	ND
M-3	0.003	0.004	ND
M-3・4	ND	ND	ND
M-4	ND	ND	ND
M-4・5	ND	ND	-
M-5	ND	ND	ND
M-5・6	0.001	0.002	0.120
M-6	0.013	0.088	0.046
M-6・7	0.034	0.024	0.006
M-7	0.001	0.003	0.002
M-7・8	0.001	0.035	ND
M-8	ND	ND	0.012
M-8・9	ND	0.001	0.004
M-9	0.001	0.001	0.002
M-10	0.002	0.002	0.001
M-11	0.001	0.001	0.001
M-12	0.001	0.001	0.001
M-13	0.001	0.001	0.001
M-14	0.001	0.001	0.001
M-15	0.002	0.001	0.001
M-16	0.002	0.002	0.001
M-17	0.002	0.002	0.002
M-18	0.002	0.002	0.002
M-19	-	0.002	-
S-1	ND	0.004	ND
S-2	ND	ND	ND
S-3	-	0.001	-

※ND：定量下限値以下

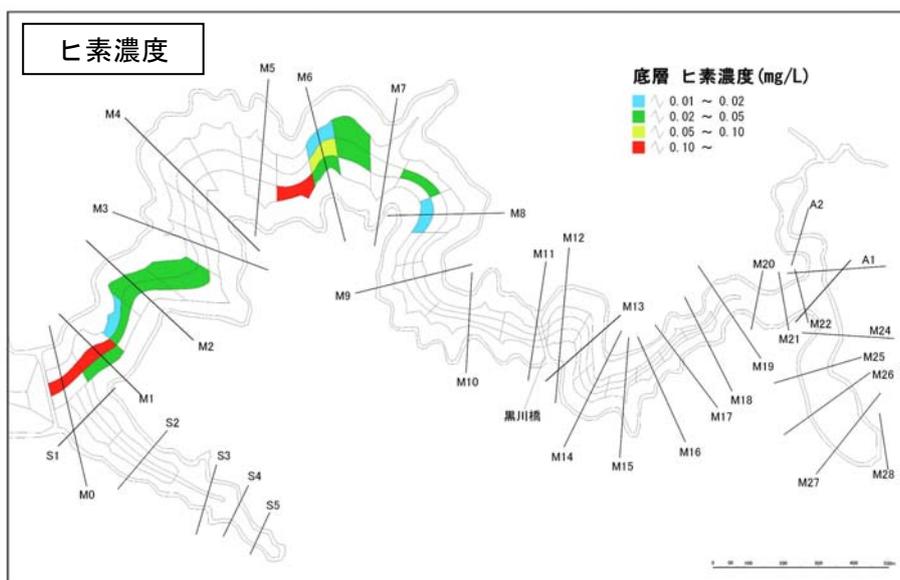


図 3.1-1 底層水のヒ素分布 (平成 18 年度)

2) 底層水のヒ素蓄積量

底層水のヒ素濃度分布より、標高毎のヒ素濃度平均値を求め、標高毎にヒ素濃度×容量を積算し、水質蓄積量を算定した。ヒ素濃度は、M0-M2 付近、M6・7 付近の各々で標高毎の分布が異なることから、それぞれの領域毎に標高毎の平均濃度と蓄積量を算定した。

標高毎の底層水容量、平均ヒ素濃度、ヒ素蓄積量を表 3.1-2 に、ヒ素濃度の鉛直分布を図 3.1-2 に示す。

底層水中のヒ素蓄積量は、ダムサイトに近い M0-M2 付近で約 4.1kg、ダム湖中流の M6・7 付近で約 1.9kg、合計で **6.0kg** 程度と算定される。

なお、底層水容量は、M0-M2 付近の EL.250m 以下、および M6・7 付近の EL.255m 以下の合計で約 266,600m³ となり、底層平均のヒ素濃度は 5,963g÷266,600m³ ≒0.022mg/L と算定される。

表 3.1-2 底層水のヒ素濃度鉛直分布と蓄積量（平成 18 年度）

標高 (m)	M0-M2付近			M-6.7付近		
	底層水容量 (m ³)	平均ヒ素濃度 (mg/L)	ヒ素蓄積量 (g)	底層水容量 (m ³)	平均ヒ素濃度 (mg/L)	ヒ素蓄積量 (g)
276.52	30246	<0.001	0.0	29092	<0.001	0.0
274.52	30246	-		29092	-	
272.52	30246	-		29092	-	
270.52	30246	-		29092	-	
268.52	30246	-		29092	-	
266.52	30246	-		29092	-	
264.52	30246	<0.001	0.0	29092	<0.001	0.0
262.52	30246	-		29092	-	
260.52	30246	-		19278	-	
258.52	30246	-		19278	-	
256.52	30246	-		19278	<0.001	0.0
254.52	30246	-		19278	0.001	19.3
252.52	30246	-		19278	0.002	38.6
250.52	18504	0.001	18.5	10386	0.003	31.2
248.52	18504	0.001	18.5	10386	0.014	145.4
246.52	18504	0.001	18.5	10386	0.069	716.6
244.52	18504	0.003	55.5	10386	0.092	955.5
242.52	18504	0.007	129.5			
240.52	13806	0.015	207.1			
238.52	13806	0.029	400.4			
236.52	13806	0.025	345.2			
234.52	13806	0.037	510.8			
232.52	13806	0.047	648.9			
230.52	8312	0.054	448.8			
228.52	8312	0.078	648.3			
226.52	8312	0.073	606.8			
小計			4,056.8			1,906.5
合計						5,963.4

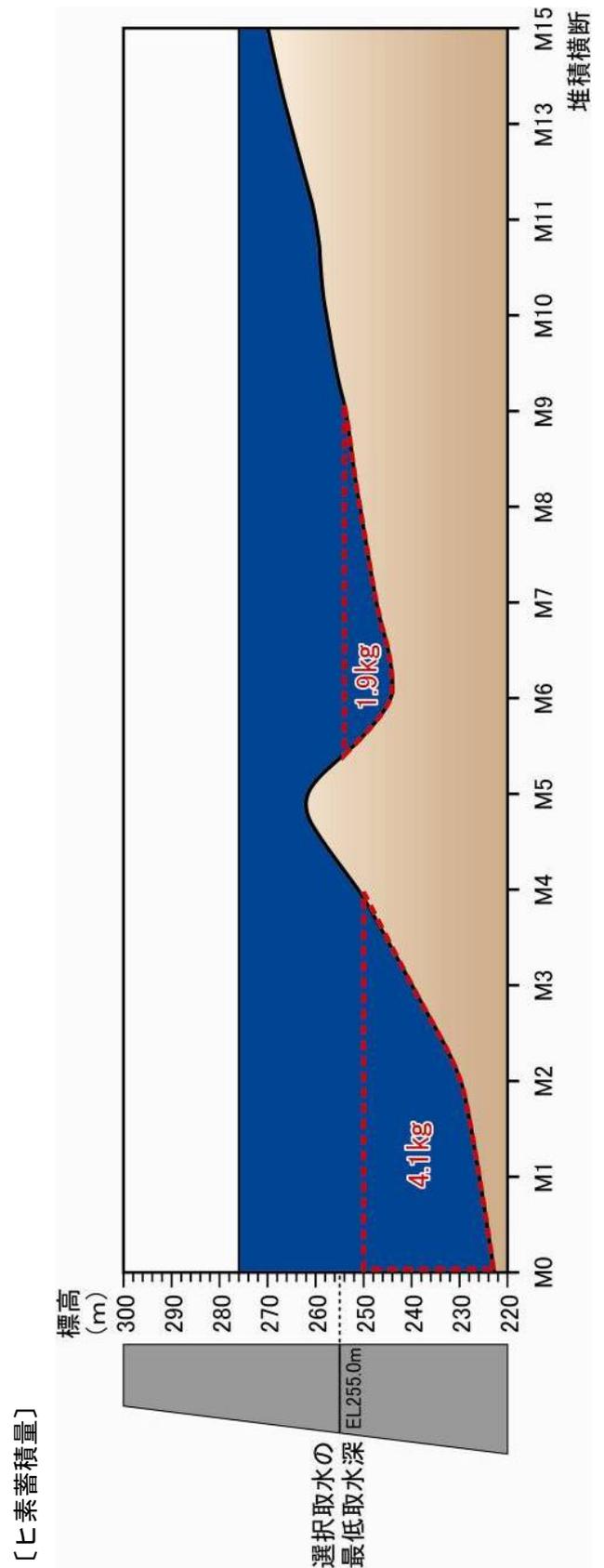
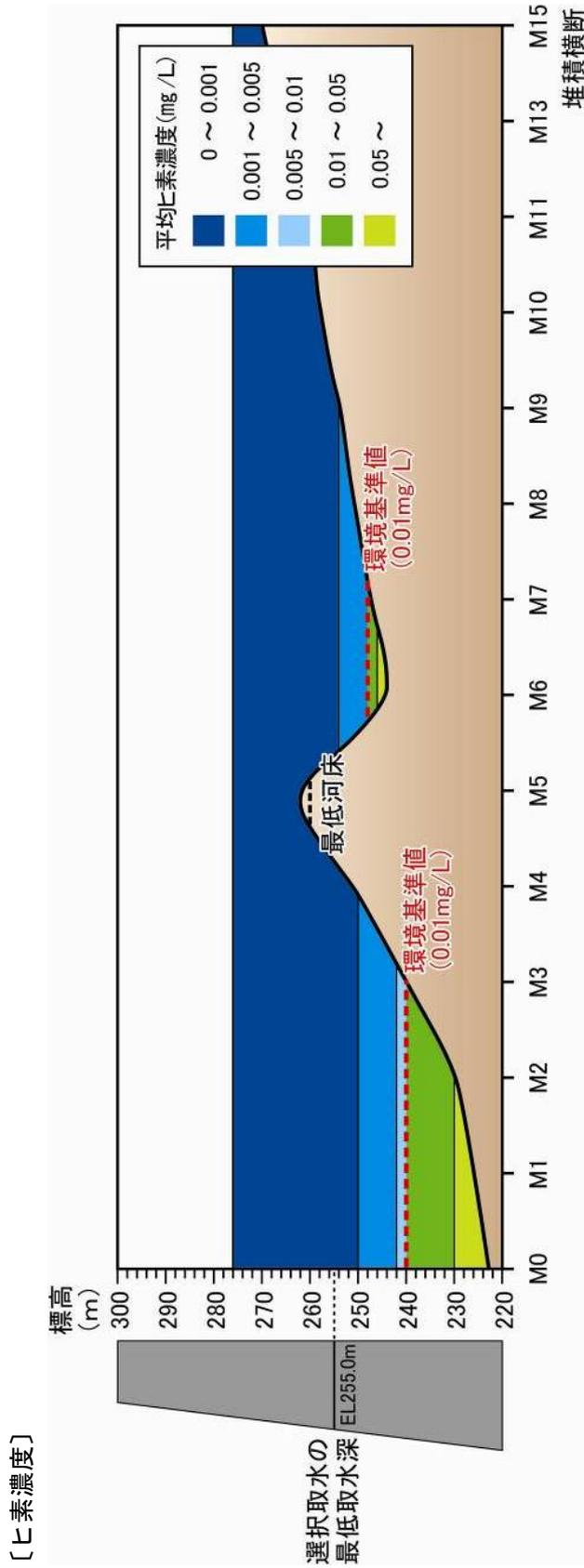


図 3.1-2 底層水のヒ素濃度・蓄積量分布 (平成 18 年度)

(2) 底泥

1) 底泥のヒ素含有量分布

底泥（底質）の調査位置図を図 3.1-3、ヒ素含有量を表 3.1-3、ヒ素含有量分布を図 3.1-4 に示す。

底泥のヒ素含有量は、湖底の水深が深いほど高い傾向にあるが、詳細に見ると、M0・中央及び左岸、M6・中央が 50mg/kg を超えて高いほか、M2・3 左岸、M5・6 左岸、M20・右岸等に局所的に高い部分がある。

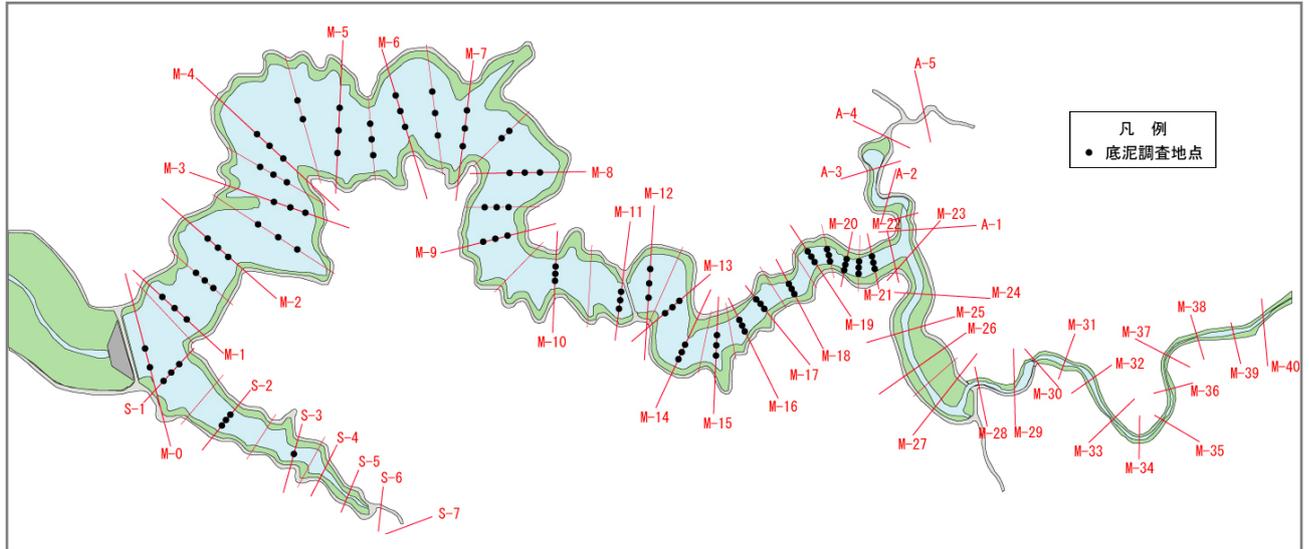


図 3.1-3 底泥のヒ素含有量調査位置図

表 3.1-3 底泥のヒ素含有量，蓄積量（平成 18 年度）

測線	ヒ素含有量(mg/kg)			ヒ素蓄積量(kg)			
	右岸	中央	左岸	右岸	中央	左岸	合計
M-0	-	53	56	-	40.9	36.8	77.7
M-1	21	33	38	12.8	28.4	25.2	66.3
M-1・2	25	43	30	9.5	23.1	12.4	45.0
M-2	38	31	37	13.5	15.5	14.3	43.3
M-2・3	42	49	51	16.5	23.5	17.3	57.3
M-3	40	38	28	17.3	17.4	8.2	42.8
M-3・4	35	40	36	17.0	20.6	11.8	49.4
M-4	26	39	25	14.0	22.3	9.1	45.5
M-4・5	32	29	-	18.8	18.1	-	36.9
M-5	30	25	30	19.1	16.8	12.9	48.8
M-5・6	32	34	78	16.2	22.6	31.8	70.6
M-6	24	53	39	9.1	34.7	15.0	58.8
M-6・7	35	39	43	12.5	24.0	15.6	52.0
M-7	26	32	34	8.7	18.5	11.5	38.7
M-7・8	36	38	-	11.0	20.1	-	31.0
M-8	29	29	38	8.0	13.9	10.7	32.6
M-8・9	29	32	31	6.8	13.0	7.4	27.2
M-9	32	32	31	6.2	10.7	6.1	22.9
M-10	20	29	28	3.5	8.8	5.0	17.3
M-11	23	34	29	2.6	6.6	3.3	12.5
M-12	28	29	25	3.8	6.7	3.4	13.9
M-13	28	26	24	3.2	5.1	2.7	11.0
M-14	29	28	27	2.5	4.2	2.4	9.0
M-15	26	25	22	1.6	2.6	1.3	5.5
M-16	24	29	24	1.2	2.5	1.2	5.0
M-17	26	23	22	0.6	0.9	0.5	2.0
M-18	23	24	20	0.3	0.6	0.3	1.2
M-19	20	18	21	0.5	0.7	0.5	1.7
M-19・20	18	12	22	0.5	0.3	0.3	1.1
M-20	180	18	13	2.6	0.4	0.2	3.2
M-20・21	17	10	13	0.2	0.2	0.2	0.6
M-21	11	16	14	0.2	0.4	0.2	0.8
S-1	37	42	34	11.6	18.6	11.6	41.9
S-2	25	45	49	3.5	9.0	7.5	20.0
S-3	-	34	-	-	4.3	-	4.3
合計							998.0

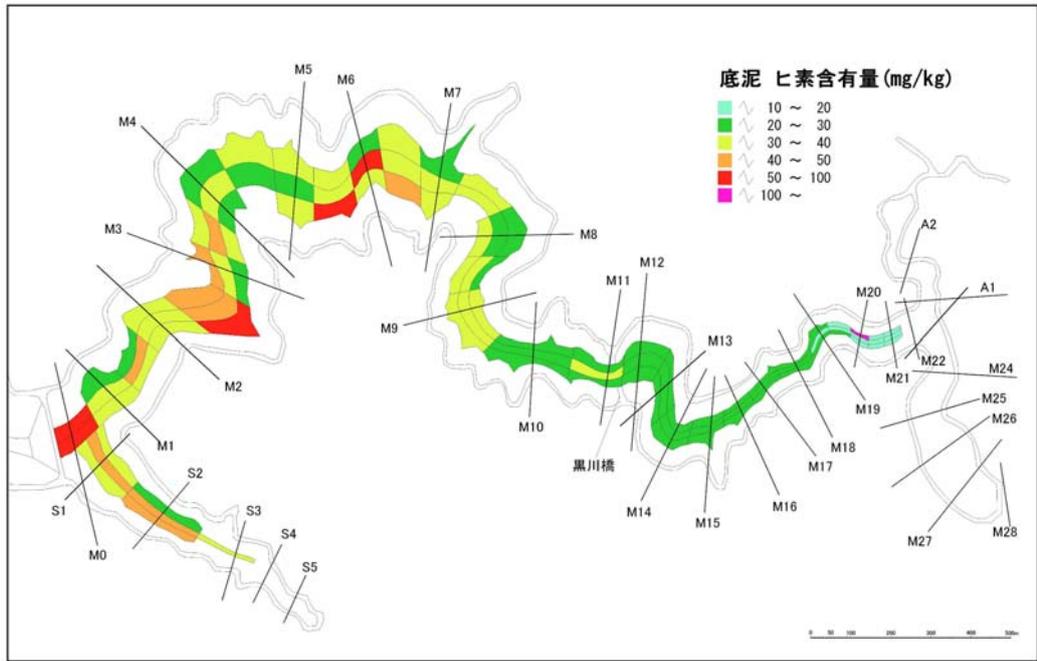


図 3.1-4 底泥のヒ素含有量分布 (平成 18 年度)

2) 底泥のヒ素蓄積量

a. ヒ素蓄積量の算定方法

底泥（底質）のヒ素含有量分布より、各測点に対応した湖底面積を求め、測点毎に湖底面積×底泥厚により底泥体積を算定した。底泥厚は、平成 12・13 年度のヒ素調査（柱状底泥調査）結果より、中央の底泥厚を 0.3m、左右両岸側を 0.15m とした。底泥面積は、調査時の水面幅の投影面積とした。底泥体積算定モデルを図 3.1-5 に示す。

底泥のヒ素蓄積量は、測点毎にヒ素含有量×底泥体積×底泥比重を積算して算定した。底泥の比重は、自然地盤・粘性土の平均値として 1.6^{*1}とした。

*1 出典：道路土工 用壁工指針，平成 11 年 3 月，(社)日本道路協会

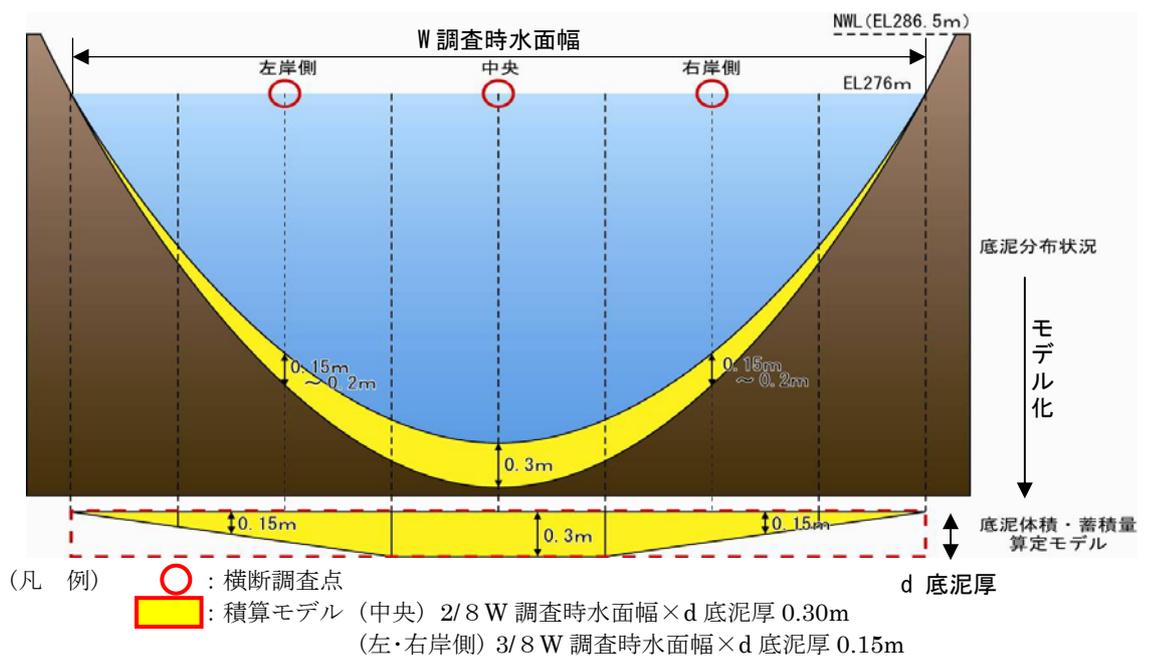


図 3.1-5 底泥体積算定モデル

b. ヒ素蓄積量の算定結果

測点毎のヒ素蓄積量を表 3.1-3 (前々頁), 蓄積量分布を図 3.1-6 に示す。

底泥におけるヒ素の蓄積量は, ダム湖全体で **998kg** と算定された。また, 蓄積量はヒ素含有量分布を反映し, M0-M2 付近, M6・7 付近で高くなっている。

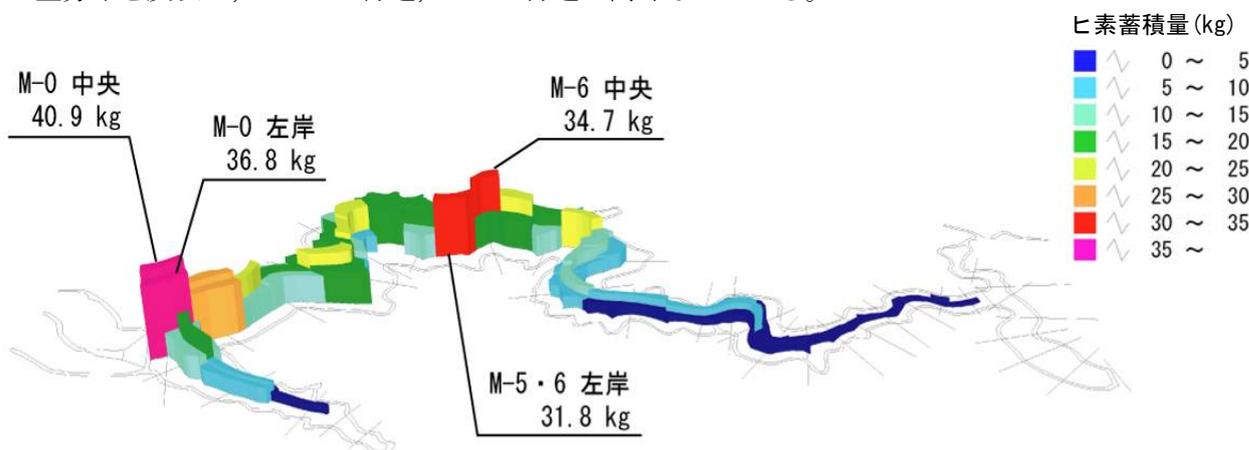


図 3.1-6 底泥のヒ素蓄積量分布 (平成 18 年度)

(3) 周辺土壌

1) 周辺土壌のヒ素含有量分布

周辺土壌の調査位置図を図 3.1-7, ヒ素含有量を表 3.1-4, ヒ素含有量分布を図 3.1-8 に示す。

周辺土壌のヒ素含有量は, M1・左岸, M15・左岸, M16・左右岸, M20・右岸, S4・左岸等が高くなっており, 比較的上流側に高濃度の土壌が分布する傾向にある。特に, M20・右岸は 451 mg/kg と特異的な値を示している。

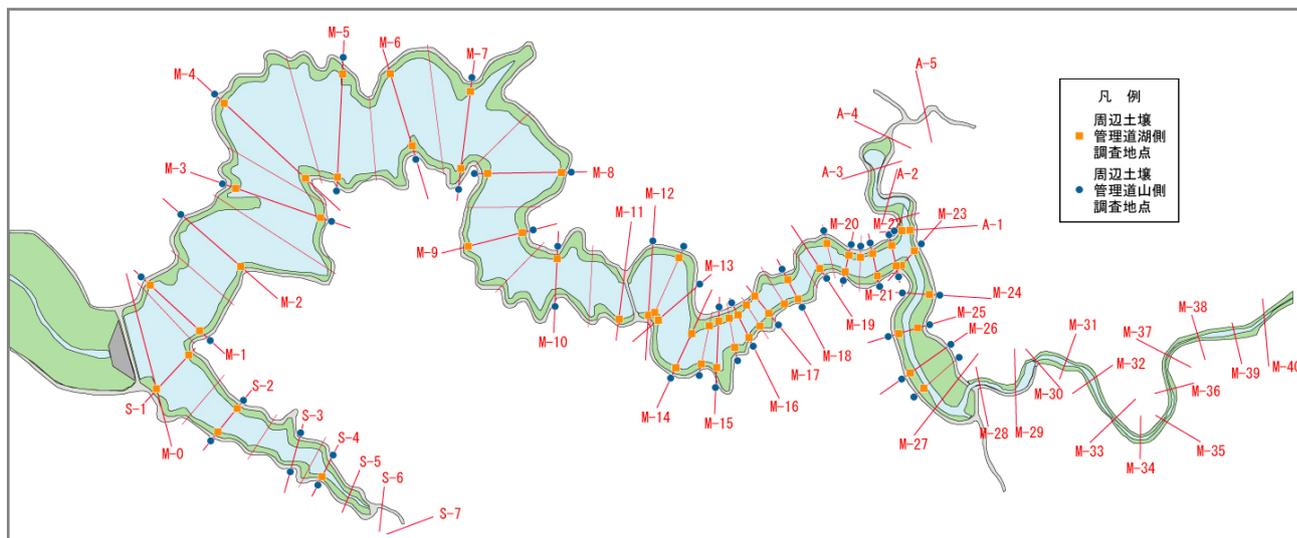


図 3.1-7 周辺土壌のヒ素含有量調査位置図

表 3.1-4 周辺土壌のヒ素含有量、賦存量

測線	ヒ素含有量(mg/kg)				ヒ素賦存量(kg)						合計
	右岸		左岸		右岸		左岸		合計	合計	
	管理道 山側	管理道 湖側	管理道 山側	管理道 湖側	管理道 山側	管理道 湖側	管理道 山側	管理道 湖側			
M-1	21.0	6.3	100.0	3.8	5.3	8.1	13.4	26.3	5.0	31.3	44.7
M-2	15.0	-	-	15.0	5.0	-	5.0	-	36.4	36.4	41.5
M-3	12.0	8.2	13.0	7.0	4.4	16.6	21.0	7.0	16.9	23.9	45.0
M-4	7.9	9.9	-	16.0	4.9	28.4	33.4	-	16.9	16.9	50.2
M-5	12.0	12.0	13.0	21.0	7.6	36.0	43.6	2.6	18.0	20.6	64.2
M-6	-	11.0	10.0	14.0	-	24.9	24.9	5.5	39.5	45.0	69.8
M-7	12.0	12.0	21.0	27.0	12.6	63.3	75.9	6.0	40.6	46.6	122.6
M-8	4.8	5.6	9.5	13.0	2.6	13.8	16.3	2.1	17.5	19.5	35.9
M-9	21.0	19.0	-	29.0	5.3	29.2	34.4	-	66.7	66.7	101.2
M-10	23.0	26.0	43.0	-	9.1	53.5	62.6	27.1	-	27.1	89.7
M-11	-	-	-	9.1	-	-	-	-	11.7	11.7	11.7
M-12	35.0	-	-	27.0	6.7	-	6.7	-	11.6	11.6	18.3
M-12・13	49.0	11.0	-	8.2	8.0	7.5	15.5	-	0.6	0.6	16.2
M-13	19.0	-	-	40.0	3.3	-	3.3	-	29.9	29.9	33.2
M-14	-	54.0	24.0	19.0	-	30.5	30.5	4.8	15.9	20.7	51.1
M-14・15	-	121.0	30.0	21.0	-	30.5	30.5	3.8	14.5	18.3	48.8
M-15	14.0	12.0	94.0	46.0	1.1	2.5	3.6	18.8	34.7	53.5	57.1
M-15・16	-	58.0	11.0	26.0	-	12.1	12.1	2.2	25.0	27.2	39.3
M-16	18.0	260.0	62.0	19.0	1.5	58.8	60.3	9.3	13.1	22.4	82.8
M-16・17	-	14.0	-	55.0	-	4.0	4.0	-	24.8	24.8	28.8
M-17	-	20.0	17.0	42.0	-	12.9	12.9	3.1	16.0	19.1	32.0
M-17・18	-	-	-	6.7	-	-	-	-	2.5	2.5	2.5
M-18	16.0	26.0	22.0	11.0	3.0	27.4	30.4	4.2	7.1	11.3	41.7
M-19	-	-	17.0	14.0	-	-	-	-	11.2	11.2	13.3
M-19・20	8.5	39.0	-	-	1.1	21.2	22.3	-	-	-	22.3
M-20	35.0	451.0	12.0	13.0	3.4	243.5	246.9	1.8	9.5	11.3	258.2
M-20・21	19.0	150.0	-	-	0.7	41.0	41.7	-	-	-	41.7
M-21	28.0	21.0	12.0	13.0	2.1	7.8	10.0	1.7	8.4	10.1	20.1
M-22	12.0	14.0	20.0	13.0	0.9	5.4	6.3	1.9	4.1	6.0	12.3
M-23	34.0	15.0	-	18.0	5.2	11.8	17.0	-	6.7	6.7	23.6
M-24	39.0	35.0	30.0	-	7.8	32.4	40.2	5.4	-	5.4	45.6
M-25	15.0	34.0	14.0	18.0	1.9	28.9	30.9	2.9	17.4	20.3	51.1
M-26	18.0	-	19.0	17.0	2.1	-	2.1	2.9	12.2	15.0	17.1
M-26・27	3.3	-	23.0	50.0	0.2	-	0.2	2.3	23.4	25.7	25.9
S-1	-	5.8	-	29.0	-	5.9	5.9	-	28.7	28.7	34.6
S-2	20.0	19.0	24.0	25.0	6.2	31.2	37.4	8.8	45.4	54.2	91.7
S-3	16.0	-	17.0	-	5.8	-	5.8	5.4	-	5.4	11.1
S-4	29.0	27.0	190.0	-	5.5	23.4	28.9	25.4	-	25.4	54.3
A-1	12.0	27.0	-	10.0	1.0	15.4	16.3	-	8.0	8.0	24.4
合計											1,875.4

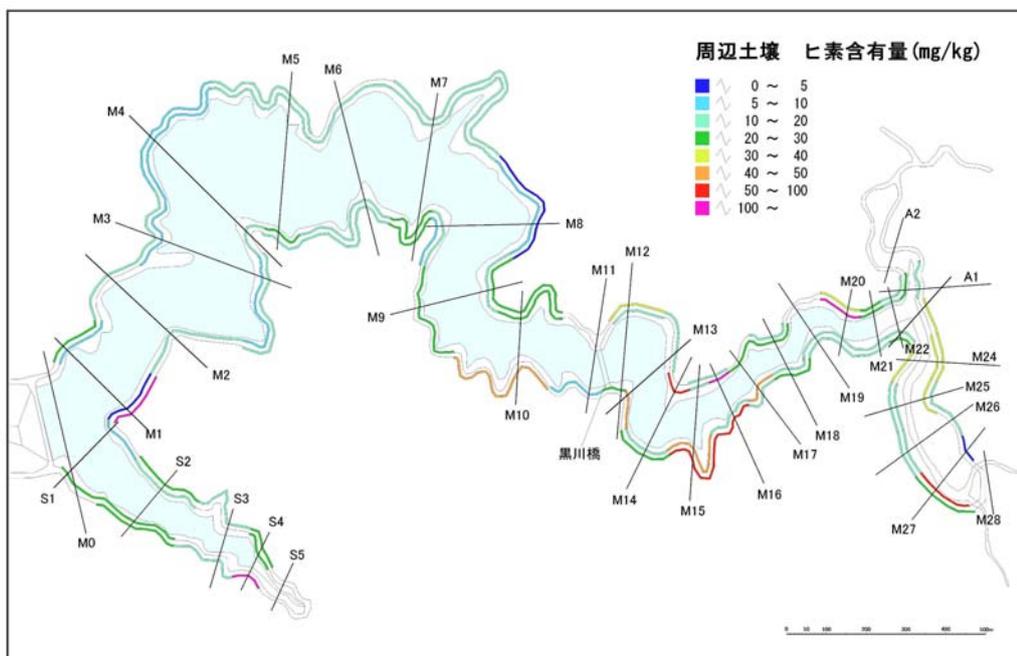


図 3.1-8 周辺土壌のヒ素含有量分布

2) 周辺土壌のヒ素賦存量

a. 周辺土壌の分布状況

周辺土壌の分布状況，ならびに土壌のヒ素賦存量算定モデルを図 3.1-9(1)に示す。

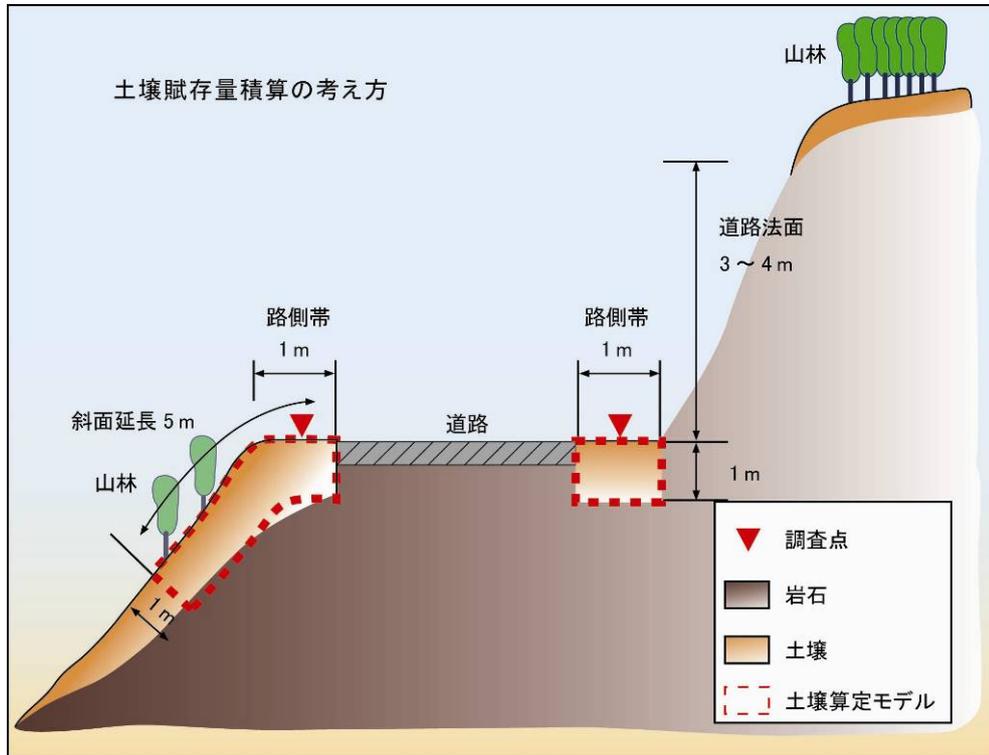


図 3.1-9(1) 周辺土壌の分布状況，土壌のヒ素賦存量算定モデル(1)

b. ヒ素賦存量（推定値）の算定方法

ヒ素賦存量（推定値）は，周辺土壌のヒ素含有量分布より，各測点に対応した湖岸延長×土壌分布幅×土壌厚により土壌体積を求め，測点毎にヒ素含有量×土壌体積×土壌比重を積算して算定した。土壌の比重は，自然地盤・粘性土の平均値として 1.6^{*2} とした。

周辺土壌（湖側）の土壌のヒ素賦存量算定モデルを図 3.1-9(2)に示す。

*2 出典：道路土工 用壁工指針，平成 11 年 3 月，(社)日本道路協会

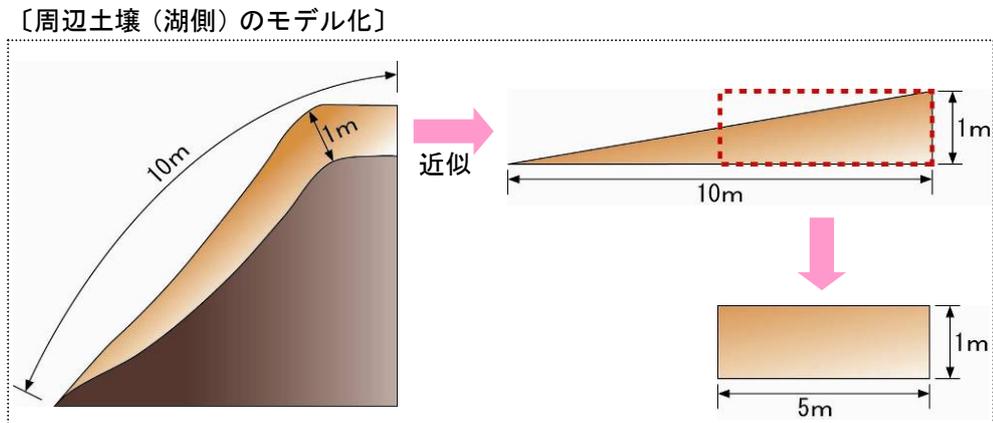


図 3.1-9(2) 土壌のヒ素賦存量算定モデル(2)

c. ヒ素賦存量（推定値）の算定結果

測点毎のヒ素賦存量を表 3.1-4（前々頁），賦存量分布を図 3.1-10 に示す。

周辺土壌のヒ素賦存量（推定値）は，湖岸全体で **1,875kg** と算定された。

また，既存文献によれば，土壌のヒ素含有量は一般的に 6～11mg/kg 程度*1 とされており，このことからヒ素含有量 10mg/kg 以上の土壌を“特定土壌”と定義し，そのヒ素賦存量を算定すると，周辺土壌全体で 1,755kg と算定された。

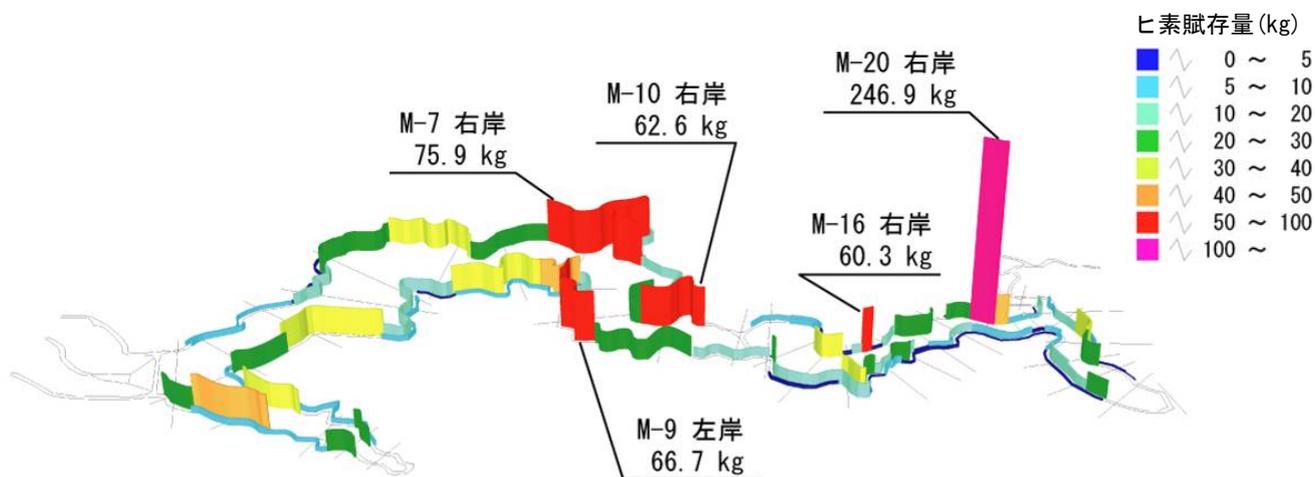


図 3.1-10 周辺土壌のヒ素賦存量（推定値）分布

注) *1：既存文献による土壌のヒ素含有量

類別	範囲・平均	文献
土 壤	0.1～40 6 ppm(mg/kg)	①化学同人 1972
土 壤	0.1～40 6 ppm(mg/kg)	②久永 明・中西 伸 1977
土 壤 (未耕地)	11.2 ppm(mg/kg)	③山形 登 1977
土 壤	数～数 10 6 mg/kg	④日本土壌肥料学会 1977
土 壤 (非汚染水田)	(表層土) 6.69 mg/kg	⑤浅見 輝男 2001
土 壤 (非汚染畑)	(表層土) 7.95 mg/kg	
土 壤 (非汚染森林)	(表層土) 6.23 mg/kg	

- (出 典)：①化学同人：環境における微量分析 1972
 ②久永 明・中西 伸：環境汚染物質の生体への影響 1977
 (Medical and Biological Effect of Environmental Pollutants 16)
 ③山形 登：微量元素 1977
 ④日本土壌肥料学会：土壌環境分析法 1997
 ⑤浅見 輝男：データで示すー日本土壌の有害金属汚染 (アグネ技術センター) 2001

(4) 岩石

1) 岩石のヒ素含有量分布

岩石の調査位置図を図 3.1-11、ヒ素含有量を表 3.1-5、ヒ素含有量分布を図 3.1-12 に示す。

湖岸周辺の岩石については、①堆砂測量横断の起点周辺（“周辺岩石”と称す）、ならびに②堆砂測量横断の湖水面付近の起点周辺（“湖岸岩石”と称す）において調査が実施されている。岩石のヒ素含有量は、上流側に比較的高濃度の岩石が分布する傾向にあるが、周辺土壤に比較して含有量は比較的低くなっている。

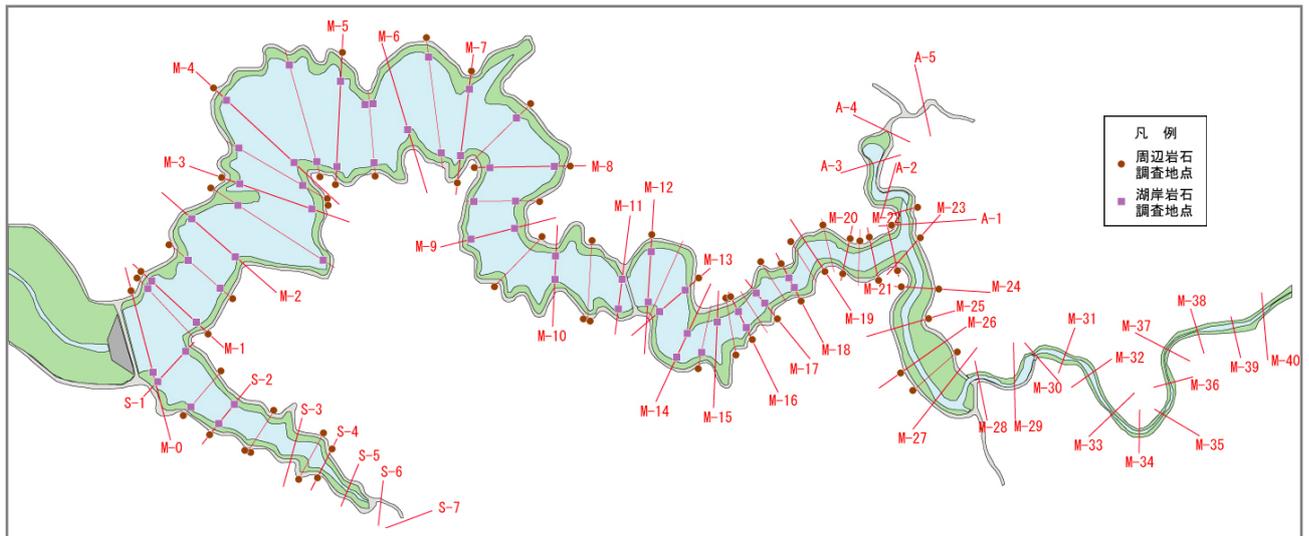


図 3.1-11 岩石のヒ素含有量調査位置図

表 3.1-5 岩石のヒ素含有量，賦存量

測線	ヒ素含有量 (mg/kg)		ヒ素賦存量 (kg)	
	右岸	左岸	右岸	左岸
M-0	2.40	4.0	1.9	1.6
M-0・1	8.8	-	5.2	-
M-1	19.9	9.1	20.0	12.7
M-1・2	19.3	12.1	51.3	17.4
M-2	8.9	9.8	15.2	23.3
M-2・3	6.2	17.0	16.9	49.8
M-3	8.2	8.0	10.7	11.7
M-3・4	4.0	19.1	7.4	16.2
M-4	23.4	17.0	60.3	16.6
M-4・5	2.4	37.0	8.0	23.8
M-5	26.6	36.0	67.9	50.4
M-5・6	3.2	7.9	5.0	17.6
M-6	-	4.7	-	9.3
M-6・7	5.5	5.6	10.3	6.5
M-7	17.2	23.3	98.4	25.7
M-7・8	6.4	-	19.3	-
M-8	6.6	22.7	16.3	21.6
M-8・9	19.7	1.0	28.4	1.4
M-9	3.4	2.0	5.2	6.8
M-9・10	5.4	5.1	3.6	14.8
M-10	22.0	6.3	64.9	30.3
M-10・11	15.0	9.5	32.0	13.8
M-11	6.5	3.2	14.9	8.1
M-12	22.4	10.0	29.1	8.7
M-13	18.4	5.2	26.8	7.1
M-14	8.0	6.3	9.6	9.4
M-14・15	-	10.2	-	8.9
M-15	3.0	-	2.0	-
M-15・16	4.3	9.0	1.2	11.3
M-16	14.5	38.1	11.0	61.0
M-17	11.0	28.4	14.1	35.6
M-17・18	2.6	-	2.4	-
M-18	9.4	37.6	11.1	26.1
M-18・19	4.6	-	3.7	-
M-19	-	8.3	-	4.7
M-19・20	9.3	-	9.3	-
M-20	6.2	9.6	4.7	6.2
M-20・21	4.2	-	2.0	-
M-21	7.3	1.3	3.9	0.9
M-22	-	26.0	-	24.0
M-23	3.6	-	7.3	-
M-24	36.0	5.8	58.2	7.9
M-25	5.1	-	5.7	-
M-26	-	0.9	-	1.0
M-26・27	4.6	13.0	2.7	10.6
S-1	3.7	5.5	4.5	10.6
S-1・2	22.4	4.0	29.0	5.6
S-2	11.5	4.7	17.7	13.5
S-2・3	10.3	6.8	19.8	11.5
S-3・4	3.0	1.2	2.4	0.8
S-4	4.6	4.9	4.9	4.6
A-1	3.0	-	1.0	-
A-1・2	-	6.8	-	7.0
合計			847.4	656.5

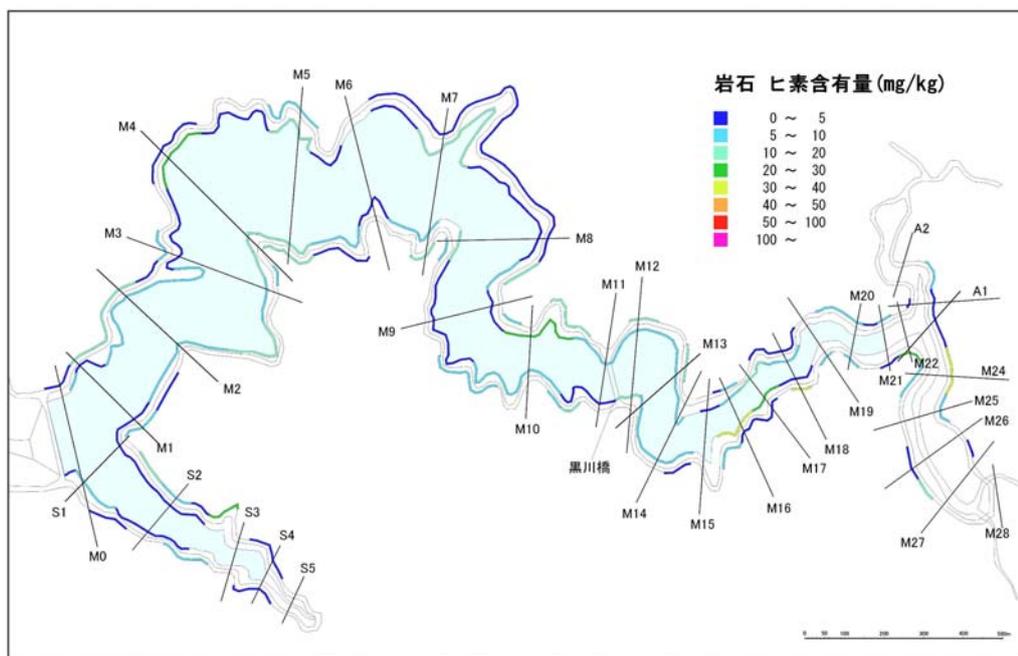


図 3.1-12 岩石のヒ素含有量分布

2) 岩石のヒ素賦存量

a. 岩石の分布状況とヒ素賦存量（推定値）の算定方法

岩石のヒ素賦存量（推定値）の算定に当たっては、調査区分に従い、①周辺岩石、②湖岸岩石について各々算定した後、両者を合計し、岩石賦存量を求めた。

周辺岩石、ならびに湖岸岩石のヒ素賦存量（推定値）算定モデルを図 3.1-13 に示す。岩石賦存量の算定に際し、対象範囲とする岩石分布幅×岩石厚は、周辺岩石、湖岸岩石ともに一律に 5m×1m とした。

なお、本ヒ素の岩石賦存量の算定は、上記モデルに基づく“試算”であり、湖岸周辺の岩石中のヒ素賦存量の目安を与えるもので、湖岸周辺の全体量を評価するものではない。

また、湖岸周辺からのヒ素流出の主体（主な発生源）は湖岸周辺土壌であると考えられ、岩石におけるヒ素の賦存量は参考値として算定したものである。

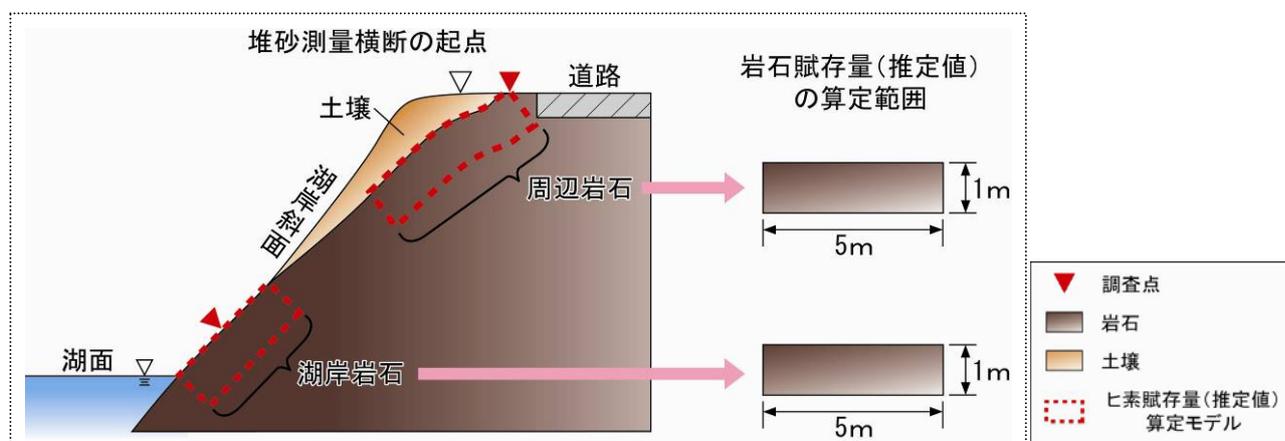


図 3.1-13 岩石（周辺岩石、湖岸岩石）のヒ素賦存量（推定値）算定モデル

b. 岩石のヒ素賦存量（推定値）

測点毎のヒ素賦存量を表 3.1-5（前々頁），賦存量分布を図 3.1-14 に示す。

周辺岩石全体のヒ素賦存量（推定値）は，湖岸全体で **1,504kg** と算定された。

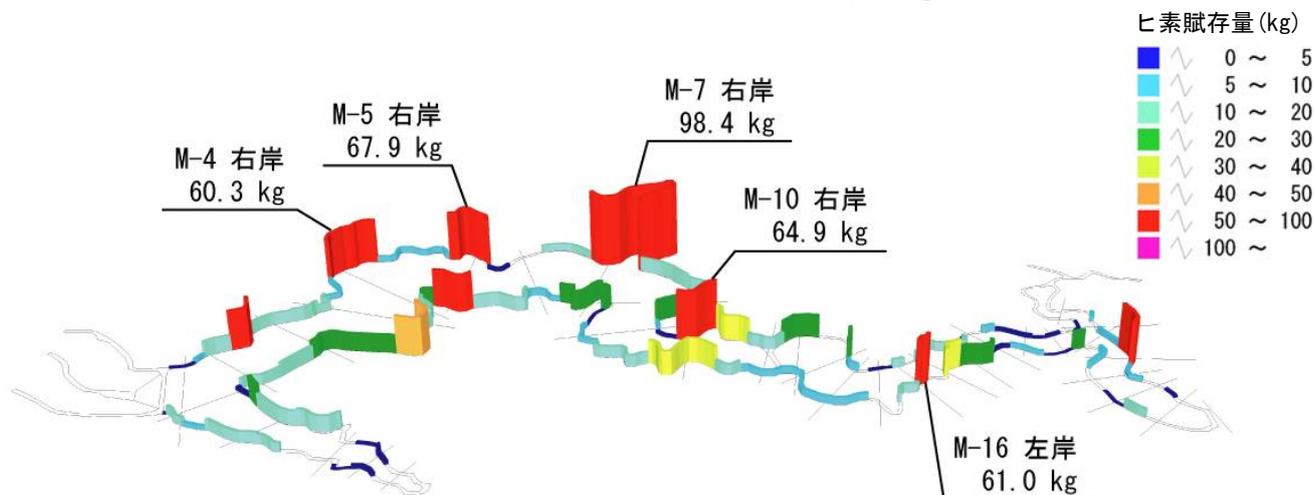


図 3.1-14 岩石のヒ素賦存量（推定値）分布（平成 18 年度）

(5) ヒ素蓄積量・賦存量（推定値）の量的比較

島地川ダム湖のヒ素分布状況について，水質，底泥の蓄積量，湖岸の周辺土壌，岩石（周辺岩石，湖岸岩石の合計）の賦存量を比較して表 3.1-6 に示す。

これによれば，蓄積量割合は水質 0.6%，底泥 99.4%となり，湖岸周辺より流入したヒ素の 0.6%は水質成分として，残り 99.4%は底泥に蓄積されることがうかがえる。

表 3.1-6 島地川ダム湖のヒ素蓄積量・賦存量（推定値）

区分	蓄積量 (kg)			賦存量 (kg)		
	水質	底泥	合計	周辺土壌	岩石	合計
ヒ素量	6.0	998.0	1,004.0	1,875.4	1,503.8	3,379.2
割合	0.6%	99.4%	100.0%	55.5%	44.5%	100.0%

6.2 ヒ素の経年変化と収支解析

(1) ヒ素経年変化

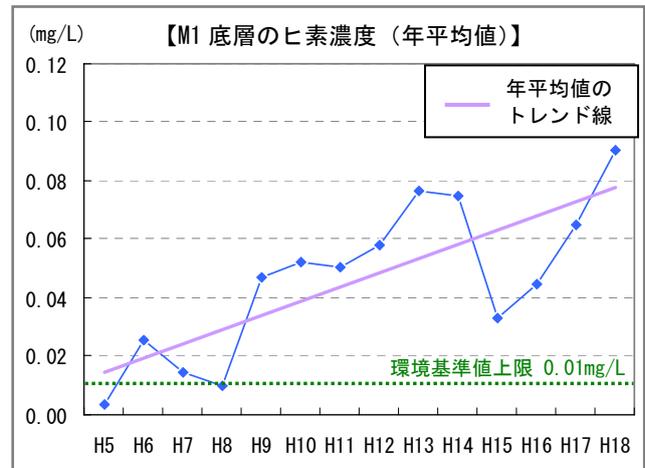
1) 底層水質

定期水質調査（平成 5～18 年度）より，M1・底層のヒ素濃度年平均値の経年変化を図 3.2-1 に示す。これによれば，底層水のヒ素濃度は，平成 5 年以降上昇傾向にあり，平成 5 年度の M1・底層のヒ素濃度年平均値は 0.004mg/L，平成 18 年度は 0.090 mg/L であった。

一方，最小自乗法による一次回帰式の傾きは 0.0049mg/L・年（＝年平均上昇率）となり，M1・底層のヒ素濃度は平成 5 年度時点で 0.015mg/L，平成 18 年度時点で 0.078mg/L と算定される。また，M1・底層のヒ素濃度が顕在化するのは平成 3 年度以降，環境基準の 0.01mg/L を超えたのは平成 4 年度であったと推定される。

【M1、M6,7 底層の年度別ヒ素濃度】

	ヒ素濃度年平均値 (mg/L)	
	M1底層 (定期水質調査)	M6,7底層 (追加調査)
H5	0.004	
H6	0.026	
H7	0.015	
H8	0.010	
H9	0.047	
H10	0.052	
H11	0.051	
H12	0.058	0.021
H13	0.077	0.037
H14	0.075	0.050
H15	0.033	0.024
H16	0.045	0.005
H17	0.065	0.063
H18	0.090	0.075



※定期水質調査(M1)ヒ素濃度年平均値は、H5～H11は年2回(5月と10月)の調査結果の平均値、
H12～H18は年12回(H17のみ11回)の調査結果の平均値
※追加調査(M6,7)ヒ素濃度年平均値は、各調査実施時における最下層のヒ素濃度の年平均値

図 3.2-1 底層水のヒ素濃度経年変化 (M1・底層)

図 3.2-1 の M1・底層のヒ素濃度 (年平均値) のトレンドを，平成 12～18 年度に実施されたヒ素追加調査による M6,7 底層のヒ素濃度 (年平均値) のトレンド (一次回帰式) と比較して，下図に示す。これによれば，M6,7 底層でヒ素濃度が顕在化するのは平成 9 年度以降で，M1・底層に比較して遅れるが，回帰式の傾きは 0.0061mg/L・年となり，M1・底層の年平均上昇率を上回っている。

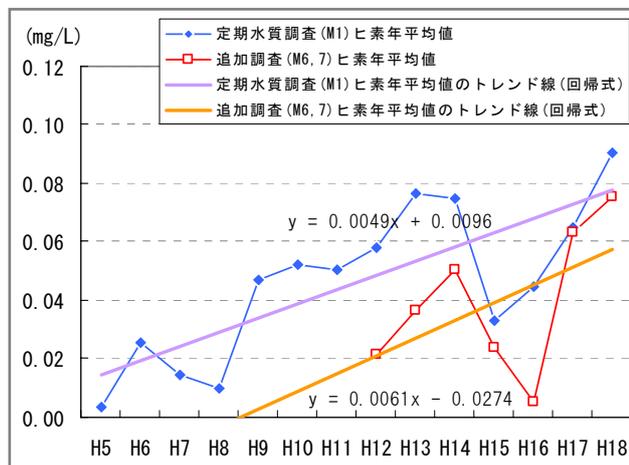


図 3.2-1(参考) 底層水のヒ素濃度経年変化の比較 (M1・底層, M6,7・底層)

2) 水質蓄積量

ヒ素鉛直分布調査（平成 11～18 年度）より，M1 ならびに M6,7（平成 11～16 年度は M7，平成 17,18 年度は M6 で調査）底層の水質蓄積量を，領域毎に水質濃度×容量を積算することにより算定した。水質濃度は，M1，M6,7 の各々で標高毎の分布が異なることから，それぞれの領域毎にヒ素濃度×容量を積算し，両者の合計値を水質蓄積量とした。

底層水のヒ素蓄積量経年変化を表 3.2-1, 図 3.2-2 に示す。本蓄積量の平成 18 年度値は 6.37kg と算定されたが，これと表 3.1-2 に示す平成 18 年度ヒ素分布調査を基に積算した蓄積量約 6.0kg はほぼ一致しており，ここでの積算方法は概ね妥当であると評価できる。

平成 18 年度の底層水のヒ素蓄積量は，表 3.1-2 より約 6.0kg である。一方，底層水質のトレンドより，底層水質は平成 3 年度より顕在化したものと考えられ，底層水へのヒ素蓄積も平成 3 年以降の 16 年間に蓄積したものとすると，底層水の年平均ヒ素蓄積量は 6.0kg/16 年 = 0.38kg/年と計算される。

表 3.2-1 底層水のヒ素蓄積量経年変化（M1 及び M6, 7）

	対象容量 (m ³)		平均濃度 (mg/L)		ヒ素蓄積量年平均値 (kg)		
	M1	M6, 7	M1	M6, 7	M1	M6, 7	合計
H11	186,486	-	0.024	-	4.56	-	4.56
H12	186,486	88,990	0.017	0.003	3.17	0.24	3.41
H13	-	-	-	-	-	-	-
H14	-	-	-	-	-	-	-
H15	-	-	-	-	-	-	-
H16	203,110	95,610	0.012	0.001	2.42	0.12	2.53
H17	194,798	137,934	0.026	0.017	5.04	2.31	7.34
H18	203,110	137,934	0.020	0.017	3.99	2.38	6.37

※対象容量は年毎に調査対象標高が最大のときの値を使用

※平均濃度は各標高のヒ素濃度の容積による加重平均値

※H11 の M6, 7 は調査未実施

※H13～H15 は，ヒ素の鉛直調査頻度が少ないため，本蓄積量算定には適用不可能であった。

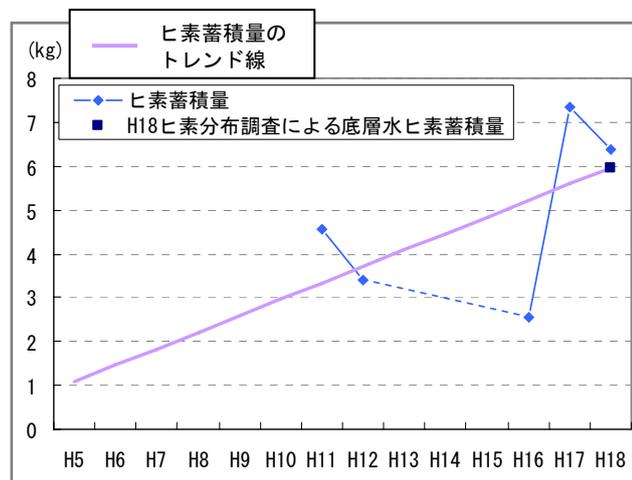


図 3.2-2 底層水のヒ素蓄積量経年変化（M1 付近及び M6, 7 付近）

3) 底泥含有量

定期底質調査（平成 5～18 年度）、追加底質調査（平成 11,12,15,16 年度）より、M1、M7 のヒ素含有量の経年変化を図 3.2-3 に示す。

これによれば、底質のヒ素含有量は、平成 11 年以降大きな変動はなく、M1 については 45mg/kg 程度で推移している。

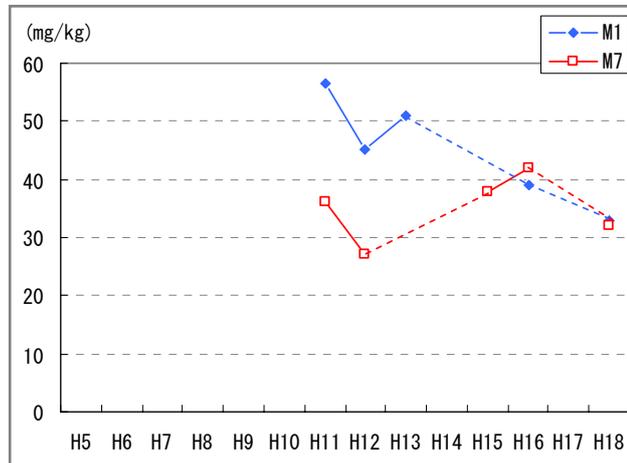


図 3.2-3 底質のヒ素含有量経年変化 (M1, M7)

4) 底泥蓄積量

底泥のヒ素蓄積量を、上流側 (M0～M4・5 (S1～S3 含む)) ならびに下流側 (M5～M21) の領域毎にヒ素含有量×湖底面積×底泥厚により算定した。なお、底泥厚は図 3.1-5 より、平成 18 年時点での横断平均厚を 0.20m とし、これがダム完成以降の 26 年間に蓄積したものとして各年の底泥厚を設定した。また、各領域の湖底面積は、EL.276m 以下の鉛直投影面積とした。

本蓄積量の平成 18 年度値は約 950kg と算定されたが、これと表 3.1-3 に示す平成 18 年度ヒ素分布調査を基に積算した蓄積量約 998kg はほぼ一致しており、ここでの積算方法は概ね妥当であると評価できる。

底泥ヒ素蓄積量の経年変化を表 3.2-2、図 3.2-4 に示す。

表 3.2-2 底泥のヒ素蓄積量の経年変化

	対象面積 (m ²)		平均底泥厚 (m)	平均濃度 (mg/kg)		底泥蓄積量 (kg)			H18ヒ素分布調査による底泥ヒ素蓄積量 (kg)
	下流側	上流側		下流側	上流側	下流側	上流側	合計	
H11	74,800	71,943	0.146	56.5	36.0	617.7	378.5	996.2	-
H12	74,800	71,943	0.154	45.2	27.0	519.8	298.8	818.6	-
H13	74,800	-	0.162	51.0	-	616.2	-	616.2	-
H14	-	-	0.169	-	-	-	-	-	-
H15	-	71,943	0.177	-	38.0	-	483.7	483.7	-
H16	74,800	71,943	0.185	39.0	42.0	538.6	557.8	1,096.4	-
H17	-	-	0.192	-	-	-	-	-	-
H18	74,800	71,943	0.200	33.0	32.0	493.7	460.4	954.1	998.0

※平均濃度について、下流側は M1、上流側は M7 の調査結果の年平均値を使用した。
下流側：M0～M4・5、S1～S3
上流側：M5～M21

島地川ダムは、昭和 56 年 3 月に完成し、平成 18 年度末で完成後 26 年が経過している。

平成 18 年度の底泥ヒ素蓄積量は表 6.1-3 より約 998kg であり、これがダム完成以降の 26 年間に蓄積したものとすると、底泥の年平均ヒ素蓄積量は $998\text{kg}/26\text{年}=38.4\text{kg/年}$ と計算される。これをダム湖のヒ素収支における年平均底泥ヒ素蓄積量とする。

昭和 56 年当初のヒ素蓄積量を 0 とし、平成 18 年度蓄積量 998kg を終点として傾き 38.4kg/年のトレンド線を描けば、図 3.2-4 のとおりである。

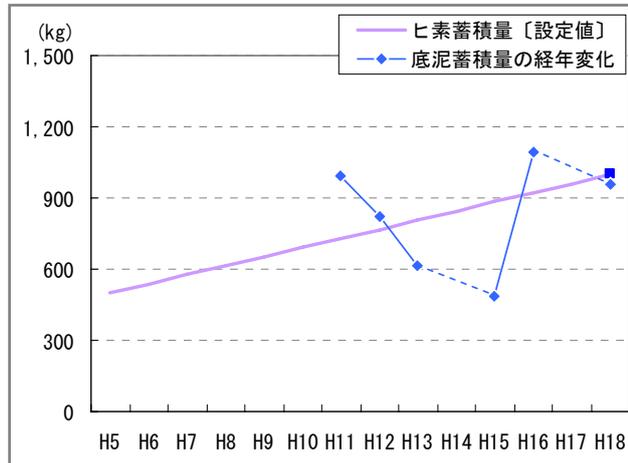


図 3.2-4 底泥のヒ素蓄積量の経年変化

(2) ヒ素収支

1) 流入（インプット）

a. 流域流入

定期水質調査において、島地川ダム流入地点である仁保津地点でヒ素濃度は検出されないことから、流域流入=0とする。

b. 湖岸周辺からの流入

流入量=ダム湖蓄積量（=水質蓄積量+底泥蓄積量）とする。

次項の「a. ダム湖蓄積」より、流入量=0.38kg/年+38.4kg/年=38.8kg/年となる。

2) 蓄積・放流（アウトプット）

a. ダム湖蓄積

ダム湖蓄積量=水質蓄積量+底泥蓄積量とする。

水質蓄積量は、図 3.2-2 より 0.38kg/年とする。

底泥蓄積量は、図 3.2-4 より 38.4kg/年とする。

水質蓄積量/(水質蓄積量+底泥蓄積量)は、平均的に 1.0%となり、流入ヒ素の 1.0%が水質として底層濃度を形成していると考えられる。

b. ダム湖からの放流

定期水質調査において、島地川ダム下流地点であるダム直下流地点、和田地点でヒ素濃度は検出されないことから、ダム湖放流=0である。

以上より、島地川ダム湖のヒ素収支を模式図で表せば、図 3.2-5 のとおりである。

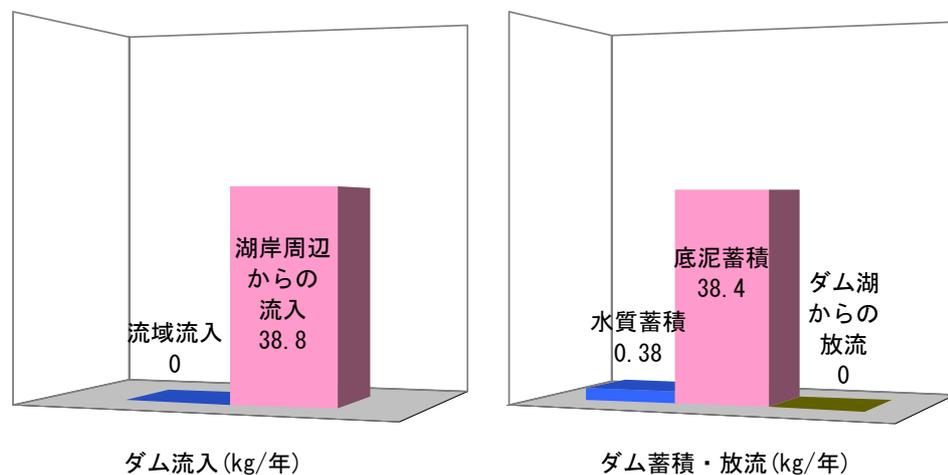


図 3.2-5 島地川ダム湖のヒ素収支（年収支）

3.3 島地川ダム湖ヒ素汚染のメカニズム

(1) ヒ素汚染のメカニズム

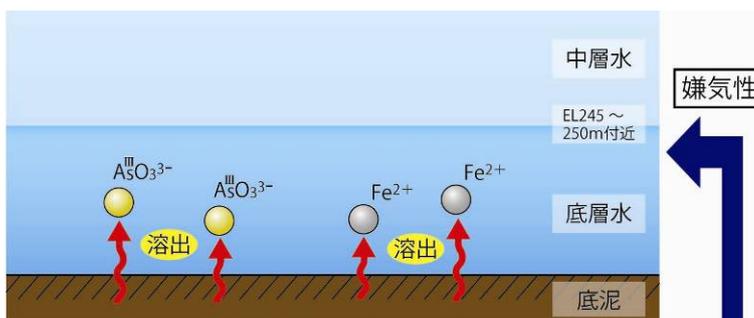
これまでの定量評価，経年変化，収支評価を基に，島地川ダム湖のヒ素汚染に係るメカニズムを以下に整理した。

【島地川ダム湖ヒ素汚染メカニズム】

- ① ヒ素の発生源は，主にダム湖周辺の土壌，岩石である。特に，局所的に高濃度にヒ素を含有する土壌が問題であり，降雨等に伴って流出し，懸濁物質としてダム湖に流入すると考えられる。場所的にはM20 右岸の寄与割合が13.2%程度と最も高く，続いてM7 右岸，M9 左岸等が高く，これらを合わせた寄与割合は，20.8%程度になるものと想定される。〔ヒ素の発生源〕
- ② ヒ素は，主としてダム湖周辺のヒ素を多く含む土壌から雨水等によって流出し，懸濁物質としてダム湖に流入する。〔ヒ素の流入〕
- ③ 懸濁物質としてダム湖に流入したヒ素は，懸濁物質に取り込まれたまま沈降したり，流入・沈降の過程で徐々に溶解して亜ヒ酸やヒ酸になった後，鉄の循環とともに水酸化鉄コロイドを形成し，沈降して底泥中に沈積する。〔ヒ素の沈積〕
- ④ 底泥中に水酸化鉄コロイドとして沈積したヒ素は，底層の貧酸素化に伴って，底泥中のFe, Mn が還元されて2価態として溶出すると同時に，水酸化鉄コロイド状態でFeに取り込まれていたヒ素も還元されて3価の亜ヒ酸イオンとして溶出し，底層水中に蓄積してヒ素濃度を上昇させる。〔ヒ素の溶出〕
- ⑤ 溶出した亜ヒ酸イオンは水中の溶存酸素に触れると酸化され，5価のヒ酸イオンとなる。ヒ酸イオンは，鉄があれば吸着されて水酸化鉄コロイドを形成し，再び沈降する。〔ヒ素の沈降〕
- ⑥ ダム湖底泥と底層水との間で，上記③，④，⑤の循環が繰り返される中で，定常状態としての底層水のヒ素濃度が形成される。(図 3.3-1 参照) 底層水中の蓄積割合は，底泥・底層を合わせた蓄積量の1.0%程度を占めている。〔ヒ素濃度の形成〕
- ⑦ 一方，ダム湖に流入したヒ素は，ダム湖底泥と底層水との間で循環が繰り返されるのみで，下流への放流は基本的にはないことから，経年的なヒ素の流入・蓄積に伴い，底泥，底層水中のヒ素蓄積量は徐々に増大し，底層水のヒ素濃度も経年的に上昇する。底層水(M1 底層)のヒ素濃度の上昇速度は年平均で0.0049mg/L程度，底層水へのヒ素蓄積量の上昇速度は年平均0.38kg程度と推定される。〔ヒ素の蓄積性(底層水)〕
- ⑧ ヒ素の年平均流入・蓄積量は，38.8kg程度と算定され，その大部分(99.0%)が底泥に蓄積される。〔ヒ素の蓄積性(底泥)〕

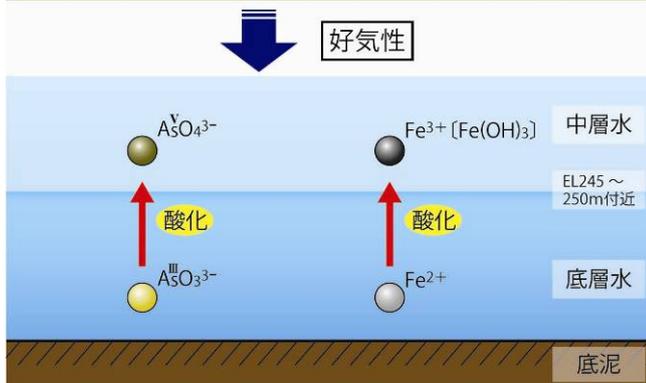
1. 溶出

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） $[Fe^{2+}]$ として溶出すると同時に、3価態の亜ヒ酸イオン $[As^{III}O_3^{3-}]$ 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。



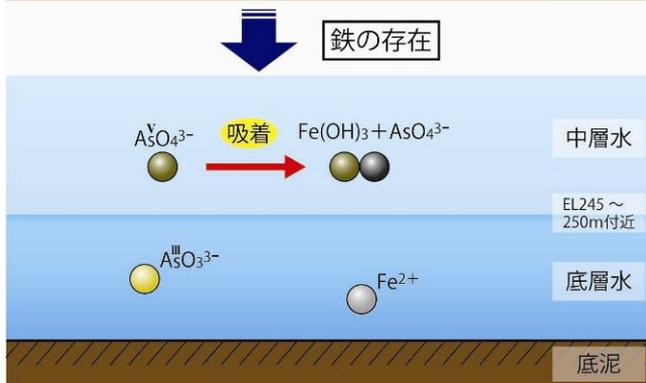
2. 酸化

溶出した亜ヒ酸イオン $[As^{III}O_3^{3-}]$ 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 $[As^V O_4^{3-}]$ となる。一方、第一鉄イオン $[Fe^{2+}]$ は酸化されると水酸化第二鉄 $[Fe(OH)_3]$ となって析出する。



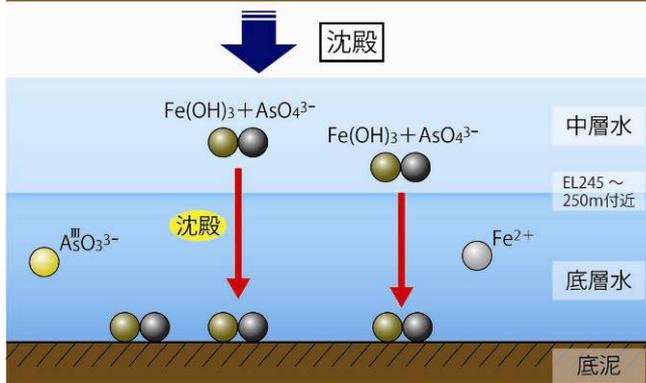
3. 鉄による吸着

酸化された5価態のヒ酸イオン $[As^V O_4^{3-}]$ は、鉄の存在があれば水酸化第二鉄 $[Fe^{3+}]$ に吸着されて水酸化鉄コロイド $[Fe(OH)_3 + AsO_4^{3-}]$ 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 $[Fe(OH)_3 + AsO_4^{3-}]$ 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 $[Fe(OH)_3 + AsO_4^{3-}]$ は、嫌気的環境下で再び還元されると、第一鉄イオン $[Fe^{2+}]$ と亜ヒ酸イオン $[As^{III}O_3^{3-}]$ に遊離し、再溶出が生じる。

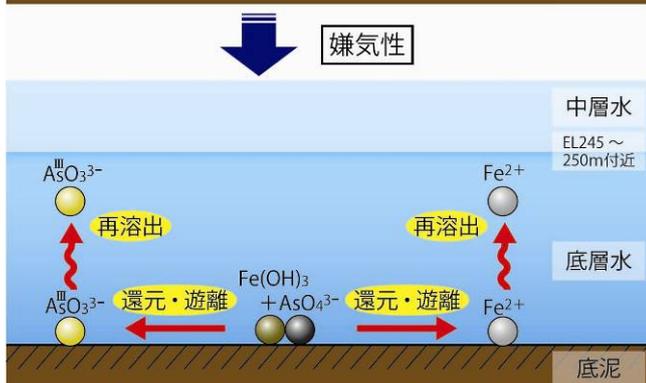


図 3.3-1 ダム湖底層・底泥におけるヒ素の循環モデル

(2) ヒ素の発生源

島地川ダム湖のヒ素発生源は、ダム湖周辺の土壌、岩石のうち、特に局所的に高濃度にヒ素を含有する土壌が問題である。ダム湖周辺の主な発生源となっている周辺土壌のヒ素賦存量の分布を表 3.3-1、図 3.3-2 に示す。

周辺土壌のヒ素賦存量（推定値）は、湖岸全体で 1,875kg と算定された。このうち、ヒ素含有量が最も多い M20・右岸の賦存量寄与割合が 13.2%程度と最も高い。

ヒ素賦存量の高い領域について、賦存量順に積算し、賦存量全体に占める割合を算定すると、ヒ素賦存量が 100kg 以上の領域[M20・右岸]の土壌体積は 399m³、ヒ素賦存量寄与割合は 13.2%、ヒ素賦存量が 50kg 以上の領域を合わせた土壌体積は 9,480m³、ヒ素賦存量寄与割合は 33.1%程度になるものと想定される。

表 3.3-1 ヒ素の主な発生源（周辺土壌のヒ素賦存量（推定値）・溶出寄与率）

対象範囲	対象湖岸距離 (m)	汚染土壌体積 (m ³)	賦存量 (kg)	賦存量寄与率	溶出総量 (kg)	溶出寄与率
① ヒ素賦存量 100kg 以上の領域 【 ■ (M20・右岸)】	129	399	246.9	13.2%	0.28	17.4%
② ヒ素賦存量 50kg 以上の領域 【 ■ + ■ 】	2,996	9,480	620.2	33.1%	0.71	43.8%
③ ヒ素賦存量 40kg 以上の領域 【 ■ + ■ + ■ 】	5,126	15,873	837.3	44.6%	0.89	54.8%

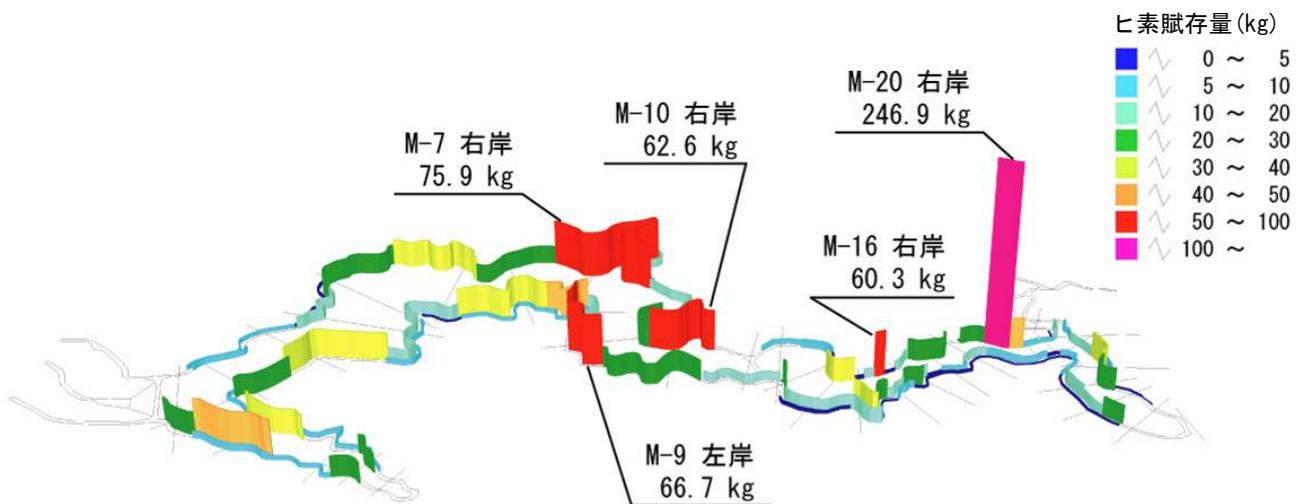


図 3.3-2 ヒ素の主な発生源 [H18 周辺土壌のヒ素賦存量（推定値）分布]

(3) 島地川ダム湖ヒ素汚染メカニズム模式図

これまでの検討結果より，島地川ダム湖のヒ素汚染に係る発生源，ヒ素収支（年収支），ヒ素蓄積のメカニズムについて，①ダム完成時（昭和56年），②平成5年，③平成18年（現状）を模式図にして図3.3-3に示す。

なお，本図中のヒ素賦存量（推定値）は，図3.1-9（土壌のヒ素賦存量算定モデル），図3.1-13（岩石のヒ素賦存量算定モデル）に基づく“試算値”であり，湖岸周辺の土壌と岩石中のヒ素賦存量の目安を与えるもので，湖岸周辺の全体量を評価するものではない。

また，湖岸周辺からのヒ素流出の主体（主な発生源）は湖岸周辺土壌であると考えられ，岩石におけるヒ素の賦存量は参考値として算定したものである。

*1：算定モデルに基づく試算値であり，湖岸周辺の全体量を評価するものではない。

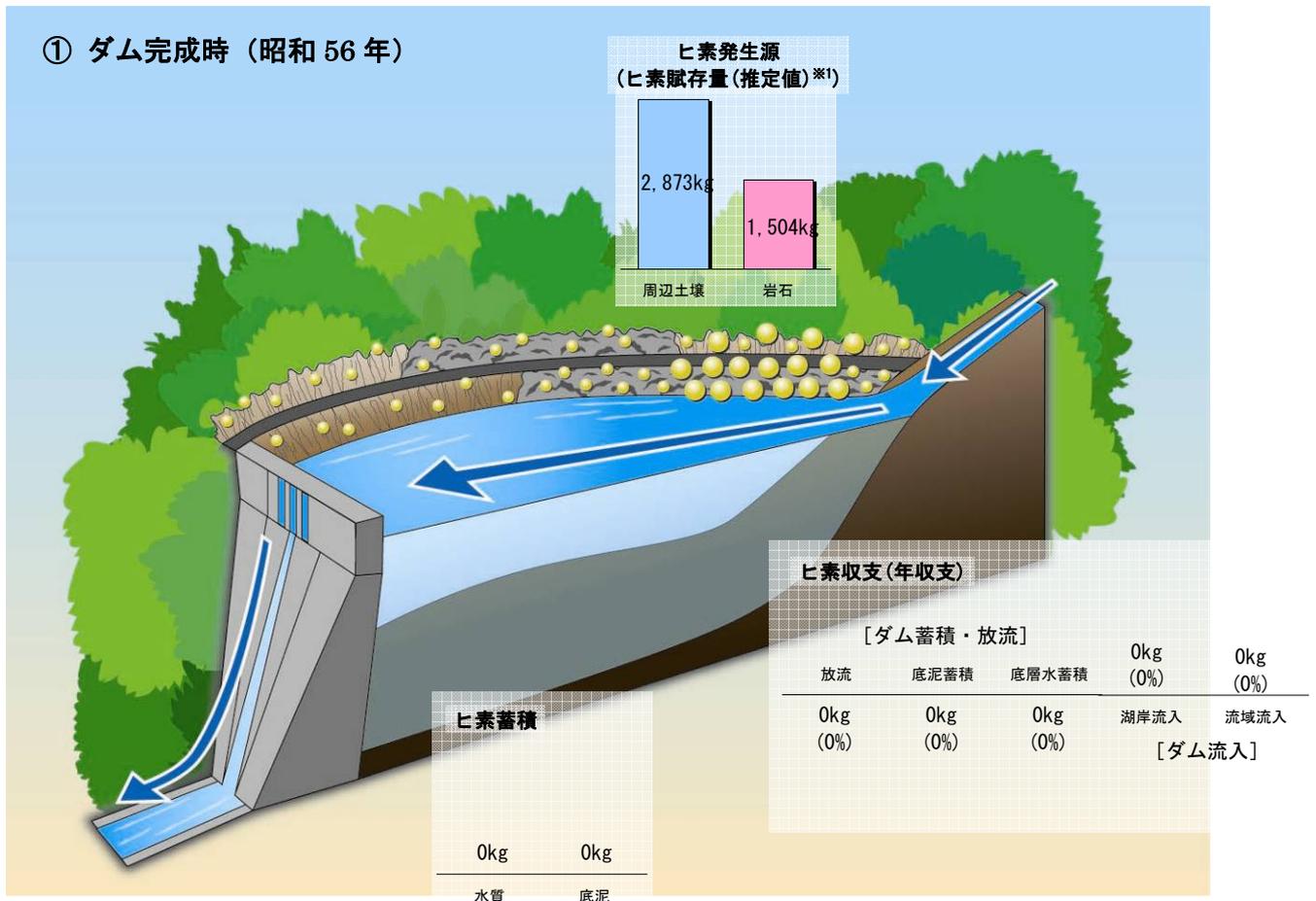


図3.3-3(1) 島地川ダム湖のヒ素汚染メカニズム模式図

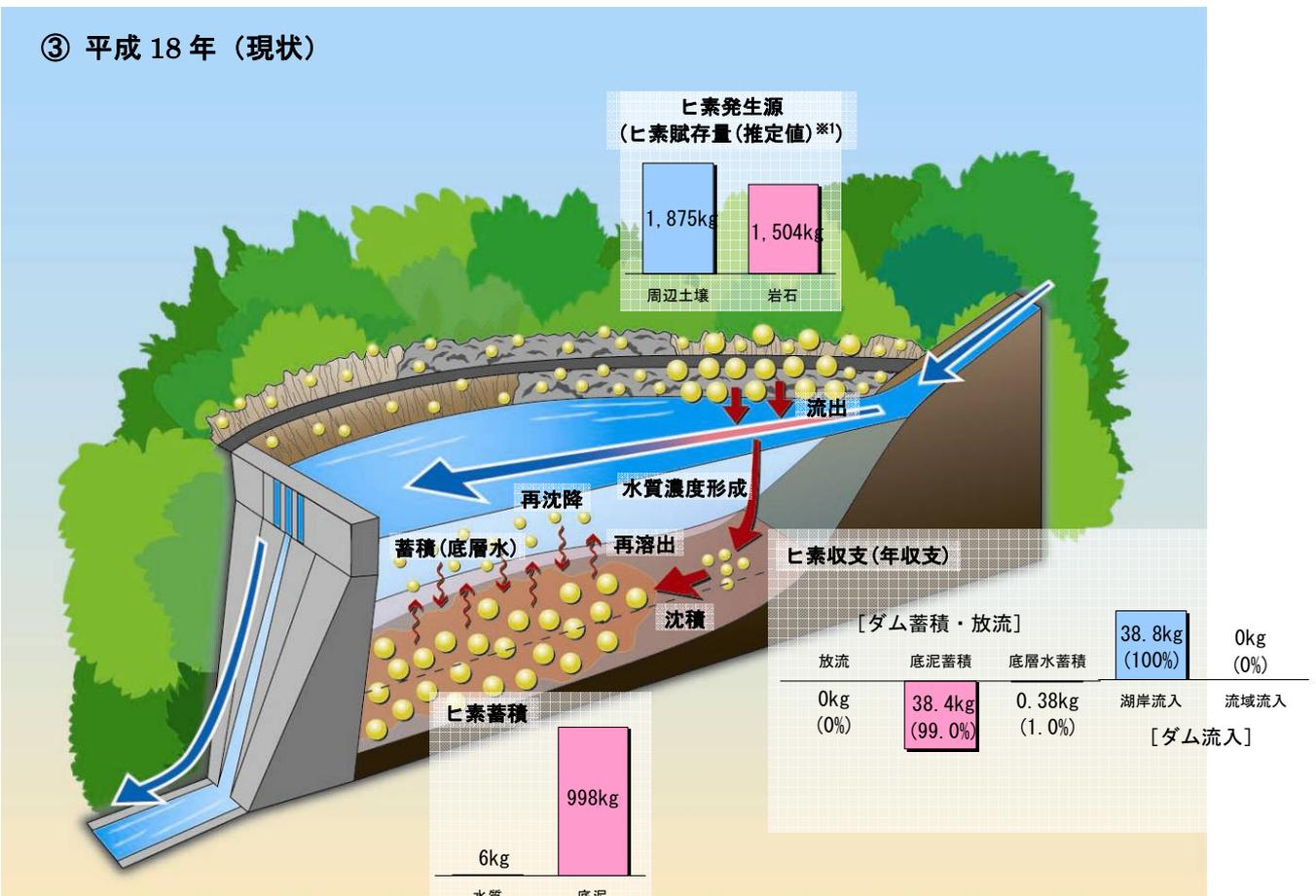
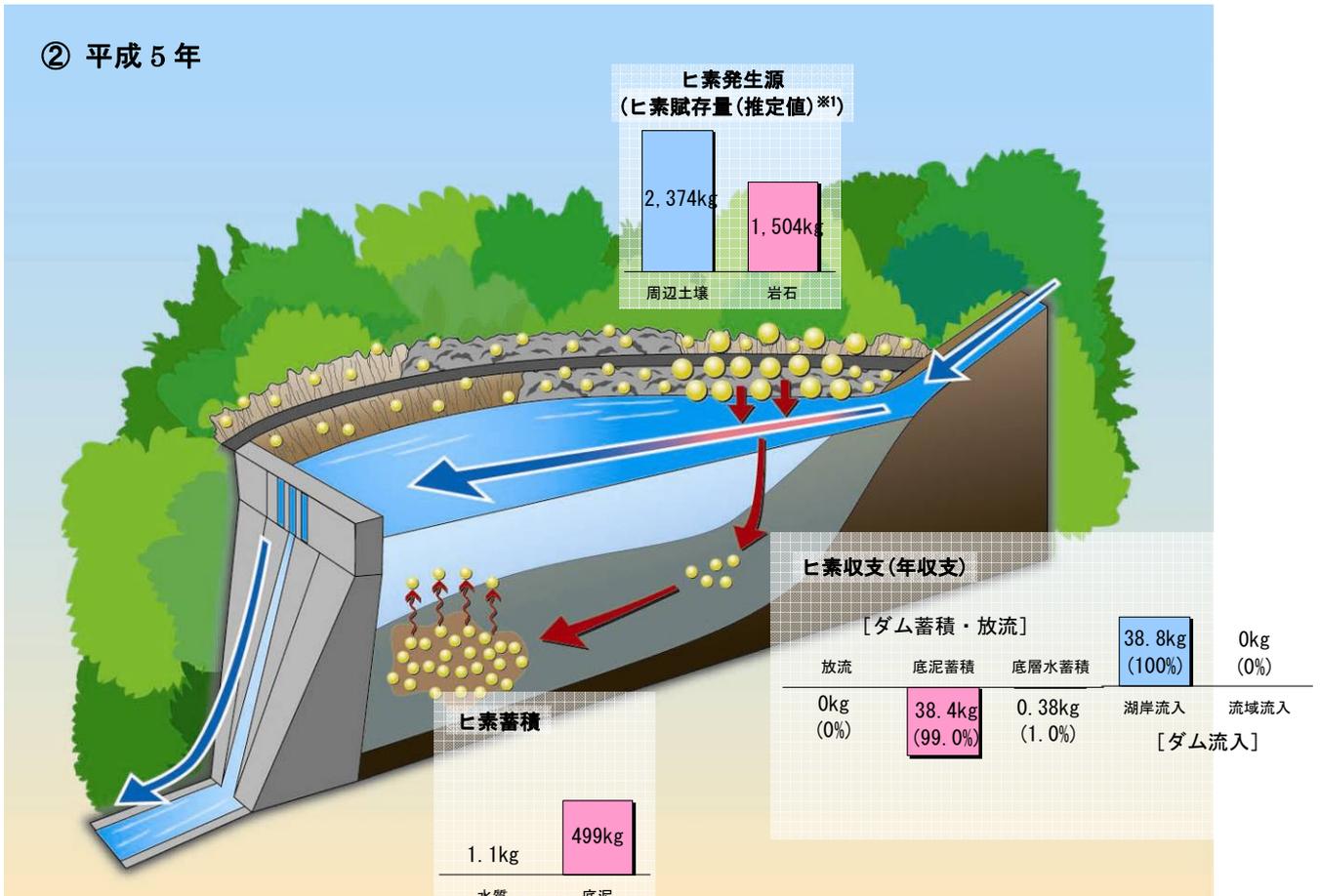
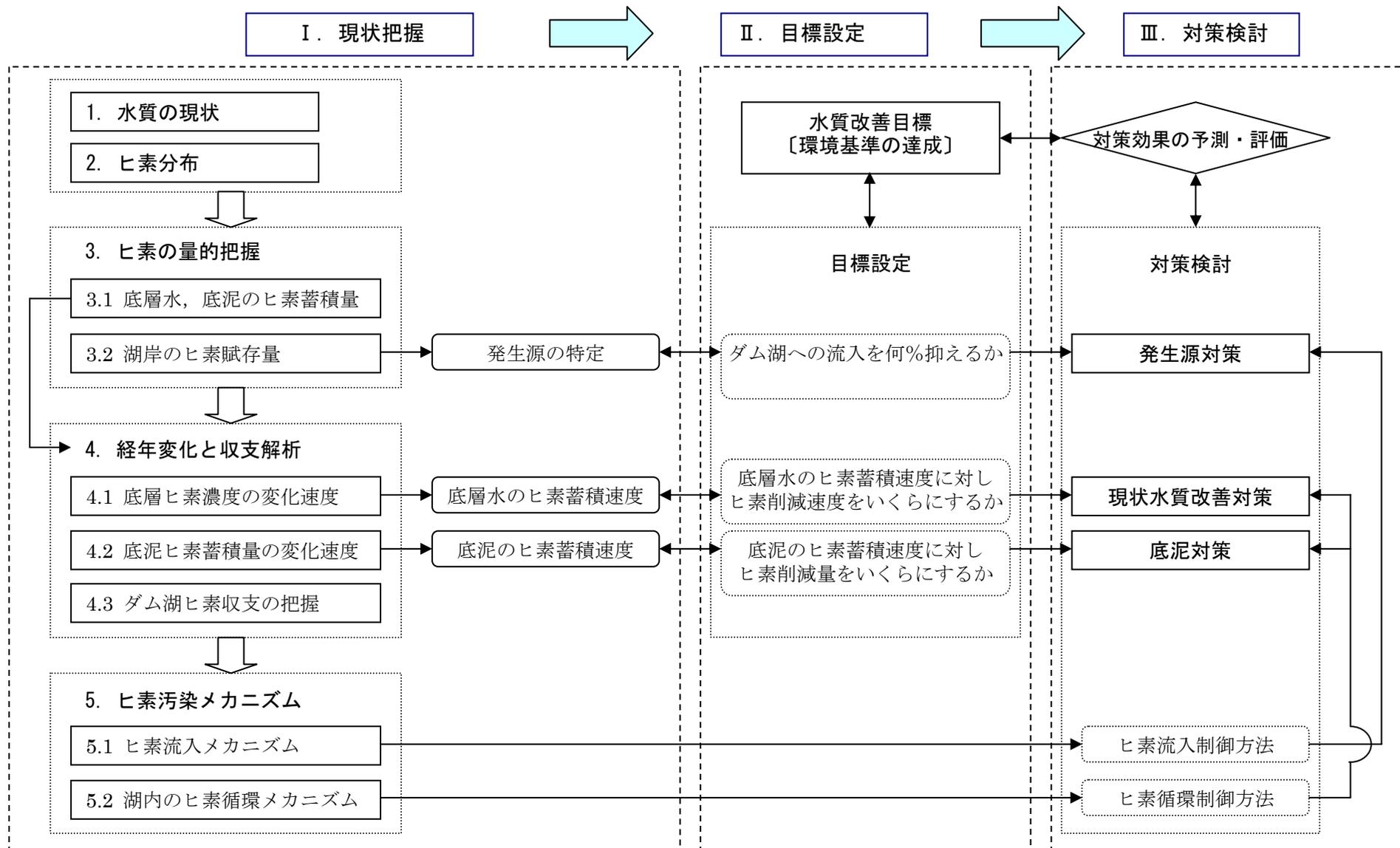


図 3.3-3(2) 島地川ダム湖のヒ素汚染メカニズム模式図

4. 現時点での対応方針（案）

4.1 ヒ素対策検討フロー



4.2 ヒ素対策検討方針

【ヒ素対策検討方針】

- ① 水質改善目標は、水質環境基準（ヒ素 0.01mg/L 以下）の達成を基本とする。
- ② ヒ素対策は、発生源対策、底泥対策、水質改善対策について検討するとともに、水質改善後も環境基準の達成を維持する方策を検討する。
- ③ 対策の組合せによる最適化の検討に当たっては、対策効果、現地への適用性に加えて、事業費、コスト便益評価、ライフサイクルコスト等を考慮する。

4.3 ヒ素対策の概算事業費

(1) ヒ素対策（案）と概算費用

発生源対策、底泥対策、現状水質改善対策について、工法（案）と概算費用を表 4-1 に示す。

表 4-1 ヒ素対策工法（案）と概算費用

分類	工法（案）	対策効果	対策規模	概算事業費	維持管理費
A. 発生源対策	法面保護工	A1 ヒ素流入負荷量削減率 13%	・ M20・右岸対象 ・ 湖岸延長約 129m ・ 対象面積 1,419m ²	0.4 億円	—
		A2 ヒ素流入負荷量削減率 23%	・ 湖岸延長約 711m ・ 対象面積 7,821m ²	2.2 億円	—
B. 底泥対策	浚渫・輸送・処分場処理	B1 底泥ヒ素蓄積量削減率 16%	・ 対象範囲：14,207m ² ・ 対象土量：2,845m ³	3.9 億円	—
		B2 底泥ヒ素蓄積量削減率 32%	・ 対象範囲：30,389m ² ・ 対象土量：6,359m ³	7.1 億円	—
C. 現状水質改善対策	底層水揚水・処理	C1 底層水ヒ素削減量 0.65kg/年	・ 処理水量：80.0m ³ /日 ・ 改善目標達成年数(想定)：30年	0.7 億円	3.0 百万円/年
		C2 底層水ヒ素削減量 1.19kg/年	・ 処理水量：150.0m ³ /日 ・ 改善目標達成年数(想定)：10年	1.0 億円	4.3 百万円/年
	深層曝気	C3 底層ヒ素濃度改善率 max 90%	・ 沈水式深層曝気装置 2 基 (11kw×1, 5.5kw×1) ・ 改善目標達成年数(想定)：2年	1.2 億円	3.6 百万円/年

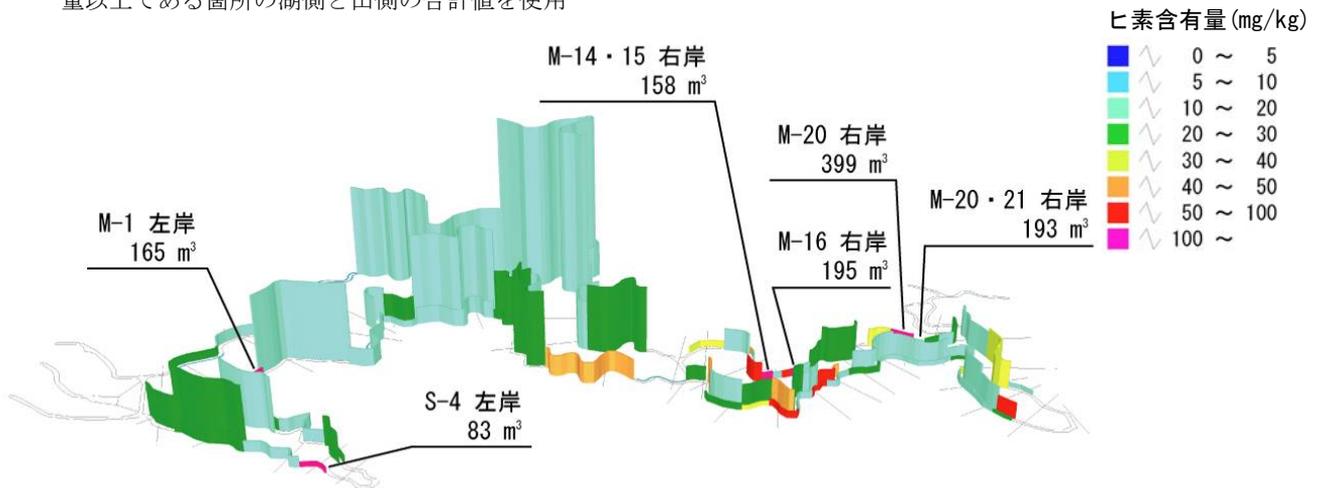
(2) 発生源対策の対象範囲

発生源対策について、工法（案）の適用対象範囲を表 4-2 に示す。

表 4-2 発生源対策の適用対象範囲

対策効果	対象範囲	対象湖岸距離 (m)	汚染土壌体積 (m ³)	汚染土壌体積寄与率	賦存量 (kg)	賦存量寄与率
A1 ヒ素流入負荷量削減率 13%	① ヒ素含有量 400mg/kg 以上の領域 【■ (M20・右岸)】	129	399	1.0%	246.9	13.2%
A2 ヒ素流入負荷量削減率 23%	② ヒ素含有量 100mg/kg 以上の領域 【■】	711	1,192	2.9%	436.1	23.3%

※上記表及び下記の図で使用されている体積等の数値は、各調査地点においてヒ素含有量が湖側・山側のいずれかで一定量以上である箇所のみ湖側と山側の合計値を使用

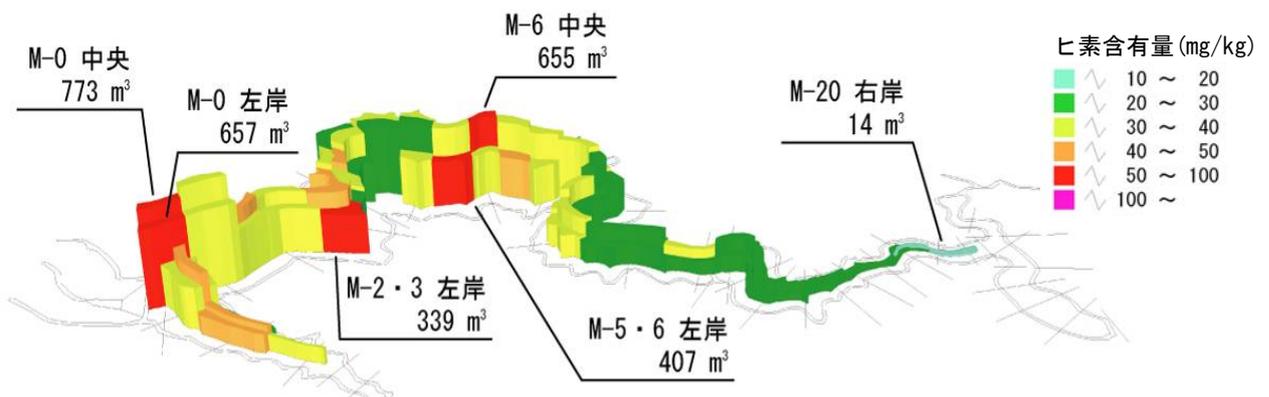


(3) 底泥対策の対象範囲

底泥対策について、工法（案）の適用対象範囲を表 4-3 に示す。

表 4-3 底泥対策の適用対象範囲

対策効果	対象範囲	対象面積 (m ²)	対象体積 (m ³)	蓄積量 (kg)	蓄積量寄与率
B1 底泥ヒ素蓄積量削減率 16%	① ヒ素含有量 50mg/kg 以上の領域 【■ + ■】	14,207	2,845	164.1	16.4%
B2 底泥ヒ素蓄積量削減率 32%	② ヒ素含有量 40mg/kg 以上の領域 【■ + ■ + ■】	30,389	6,359	315.7	31.6%



4.4 ヒ素対策の組合せと効果想定

(1) 対策の組合せケース

対策効果想定に当り、対策の組合せケースを表 4-4 のとおり設定した。

表 4-4 ヒ素対策の組合せケースの設定

分類・考え方	設定 ケース	発生源対策 (ヒ素流入負荷 量削減率=底泥 溶出量削減率)	底泥対策 (底泥ヒ素蓄積 量削減率=底泥 溶出量削減率)	現状水質改善対策		初期事業費	運用 30 年間 総費用
				底層水揚水 ・処理 (目標達成年数)	深層曝気 (目標達成年数)		
現状水質改善 対策：なし	1-1	A1 13%	B1 16%	—	—	4.3 億円	16.0 億円 (4 回)
	1-2	A2 23%	B2 32%	—	—	9.3 億円	23.5 億円 (3 回)
総合対策 ケース 1-2+現状 水質改善対策	2-1	A2 23%	B2 32%	C1 30 年	—	10.0 億円	25.0 億円 (3 回)
	2-2	A2 23%	B2 32%	C2 10 年	—	10.3 億円	25.7 億円 (3 回)
	2-3	A2 23%	B2 32%	—	C3 2 年	10.5 億円	25.7 億円 (3 回)
発生源対策 (M20) + 現状 水質改善対策	3-1	A1 13%	—	C1 30 年	—	1.1 億円	1.9 億円
	3-2	A1 13%	—	C2 10 年	—	1.4 億円	2.6 億円
	3-3	A1 13%	—	—	C3 2 年	1.6 億円	2.6 億円
現状水質改善 対策のみ	4-1	—	—	C1 30 年	—	0.7 億円	1.5 億円
	4-2	—	—	C2 10 年	—	1.0 億円	2.2 億円
	4-3	—	—	—	C3 2 年	1.2 億円	2.2 億円

※運用 30 年間総費用の () 内は、30 年間における底泥対策の実施回数

(2) 対策ケースの効果想定

各対策の組合せケースに対し、水質改善効果を想定すれば図 4-4 のとおりである。

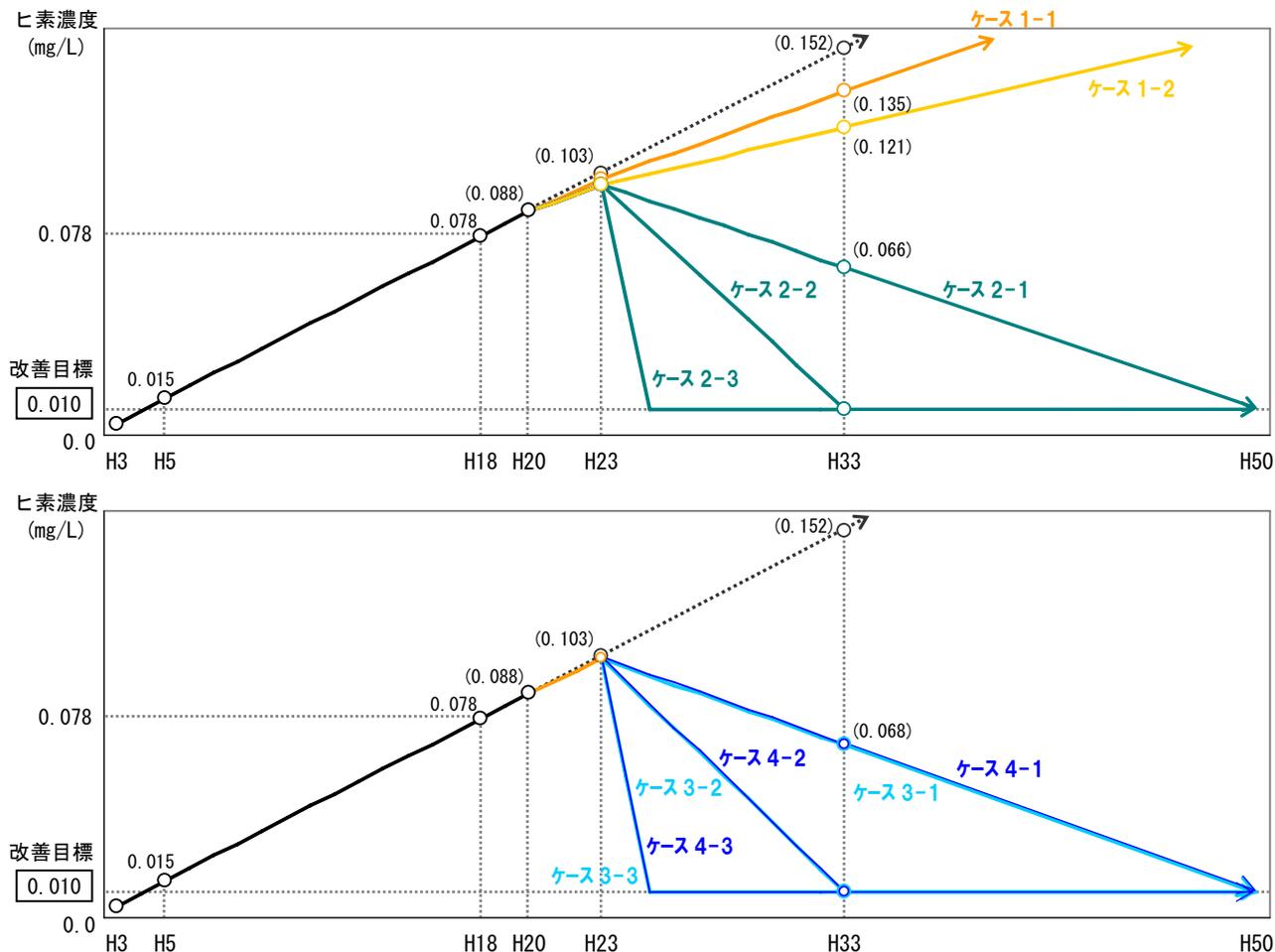


図 4-4 ヒ素対策の組合せケースの効果 [想定]