

島地川ダム湖底層における重金属類 の溶出対策について

川上 暁洋¹・村岡 和満²・井本 忠³

¹中国地方整備局 山口河川国道事務所 (〒747-8585 山口県防府市国衙1-10-20)

^{2,3}中国地方整備局 山口河川国道事務所 河川管理課 (〒747-8585 山口県防府市国衙1-10-20)

島地川ダム湖底層において、1994年から確認されていた環境基準値を超える自然由来の重金属類（ヒ素・鉄・マンガン）を水質改善装置（高濃度酸素溶解装置）の導入と運転により、ヒ素溶出の低減、及び生成した水酸化第二鉄〔Fe(OH)₃〕にヒ素を吸着させて底層水から取り除き、環境基準値等以下に低減させることができた。水質改善装置の効率的な運用を決定するために、適切な水質モニタリング計画を検討し、重金属濃度等の低減状況、底質の変化をとりまとめ、酸素消費速度の検討を行い、2012年4月から本格運用を開始することができた。

キーワード 島地川ダム湖、高濃度酸素溶解装置、ヒ素、鉄、マンガン

1. はじめに

ヒ素は、我が国において地域差は大きいものの、地下水、ダム湖底層水などで環境基準を超えて検出される場合がある。特にダム湖周辺の土壤にヒ素が含まれる場合（原因はほとんどの場合がその地域の地質由来であり、避けがたいケースが多い）、底層水及び底泥の嫌気化にともなってヒ素がダム湖底層水に溶出してくることが知られている。ダム湖はその目的の中に上水源としての利用が含まれている場合がほとんどであり、その対策が急務である。国土交通省山口河川国道事務所で管理している島地川ダムにおいても、1994年からダム湖底層水中に環境基準値（0.01mg/l）を超える濃度のヒ素が確認され、下流への利水補給には影響がないものの、年々高濃度化が進む状況であった。さらに、鉄、マンガン濃度についても高濃度化が進んでいたため、喝水時の貯水位低下で躍層が崩れ、上層と底層が攪拌される事により、濃度の高い重金属類等が流出し、下流域の水環境が悪化することが懸念されていた。

このため、山口河川国道事務所では、水質改善策として高濃度酸素溶解装置をダム貯水池底層部に導入し、ヒ素溶出の低減、及び生成した水酸化第二鉄〔Fe(OH)₃〕にヒ素を吸着させて底層水から取り除いている。

本研究では、水質改善装置の効率的な運用を決定するために、適切な水質モニタリング計画を検討し、重金属濃度等の低減状況、底質の変化をとりまとめ、酸素消費速度の検討を行った。

2. 島地川ダムの概要

島地川ダムは、一級河川佐波川水系島地川の山口県周南市大字高瀬地先に位置し、1981年に竣工した多目的ダムである。流域面積は32.0km²、ダム湖総貯水量は20,600千m³で、流域の大部分の94%は山林が占めており、支川沿いの谷底平野に水田集落が分布している。ダム地点の計画高水流量370m³/sのうち、290m³/sの洪水調節を行い、下流の水害を防除する洪水調節機能と、ダム地点下流で都市用水として192,000m³/日(2.22m³/s)を供給する利水機能を有している。



図-1 島地川ダム位置図

貯水池周辺には、ほぼ全域にわたって中生代高压型変成岩に相当する周防変成岩の片岩類が分布しており、これらの岩石には、熱や圧力の変成作用を受けて形成され

た硫と鉄鉱等が含まれている。硫と鉄鉱はヒ素と鉄の硫化鉱物であり、実際に島地川ダム周辺の土壌からはそれら自然由来のヒ素が高い濃度で観測される箇所が存在している。

3. 水質の状況と改善目標

島地川ダムでは、竣工してから5年目以降、底層の溶存酸素（以下DOと省略）がほとんど無い嫌気的な状態となっていた。また、EL250m以下で強固な躍層が形成され、冬季の循環が底層に届かないためDOが供給されず、EL250m以下の底層水は回転率0の状態であったと考えられる。このような場合には、自然現象により底層に酸素を供給することは期待できない。図-2に水質改善前の島地川ダムサイトの鉛直水質分布を示す。

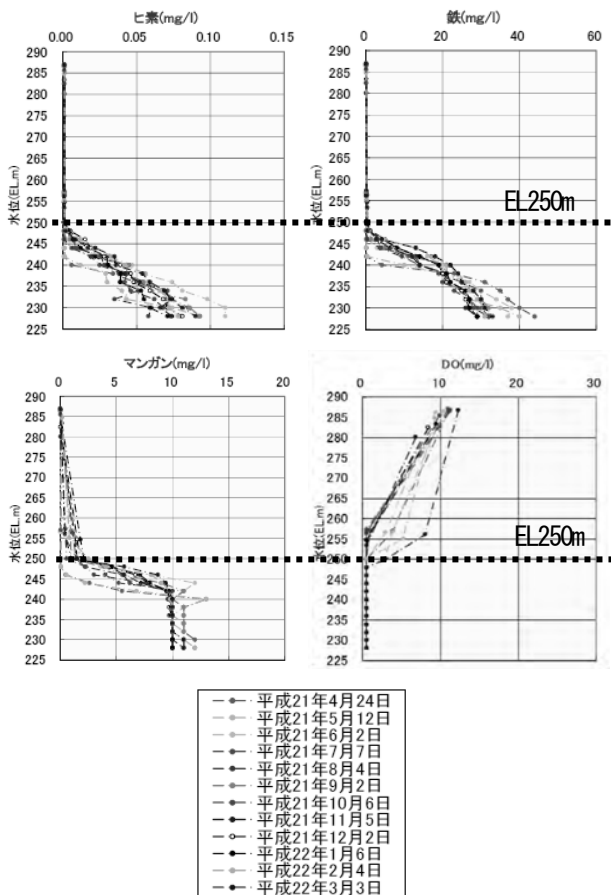


図-2 島地川ダムサイトの鉛直水質分布（2009年度）

水質改善として、図-2に示したEL250m以深を対象範囲とし、ヒ素については環境基準値（0.01mg/l）以下、鉄、マンガンについては環境基準値が無いことから、水の呈色が見られなくなることを目標とした。そのための参考として、水道水質基準の値を引用し、0.3mg/l以下（鉄）、0.05mg/l以下（マンガン）とした。

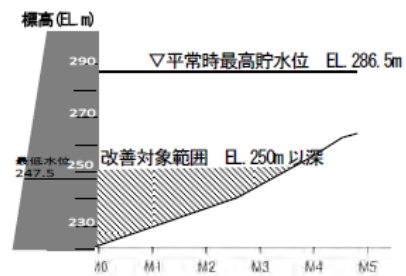


図-3 改善対象範囲（縦断面図）

4. 水質改善装置の概要と運用方法

通年で滞留しているEL250m以下の底層水に対して、自然現象により酸素を供給することができないことから、人工的に酸素供給を行うべく、高濃度酸素溶解装置を導入した。今回導入した高濃度酸素溶解装置は、高濃度酸素水を水平方向に拡散させるため、気泡により上層との混合を起こさない利点がある。また、ワイヤーを用いて上下方向に移動することができ、広範囲に高濃度酸素水を供給することが可能である。

2012年4月からの効率的な装置の運用方法を決定するために、導入後2年間については、重金属濃度の低減状況、底質の変化の状況、酸素消費速度を把握する試験運用および評価検討を行った。また、EL250m以深を2つの層（上層、下層）に分け、急激な改善により躍層が崩壊し底層の重金属類が一気に攪拌されるのを防ぐため、1年目は上層から高濃度酸素水を供給、酸化を促進し、重金属を下層に沈降させ、2年目は下層を同様に処理することとした。

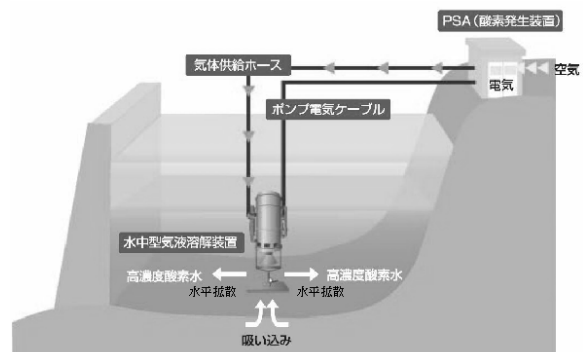


図-4 高濃度酸素溶解装置

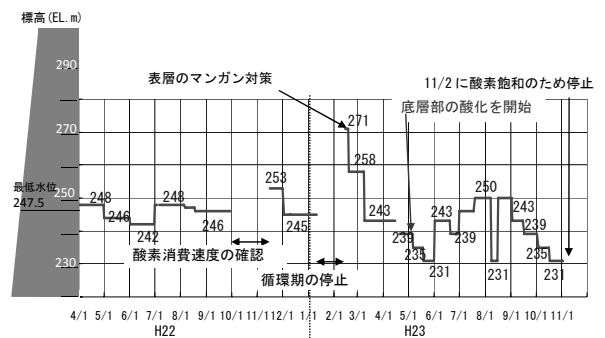
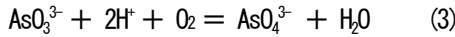
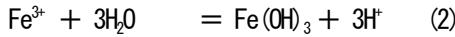
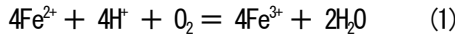


図-5 高濃度酸素溶解装置の吐き出し高

5. 水質改善のメカニズム

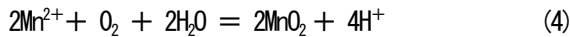
嫌気的な状態でヒ素、鉄、マンガンが高濃度化したダム湖底層に高濃度酸素水を供給したときの挙動を示す。

①酸化還元電位の低い鉄イオンが酸化され、水酸化鉄が形成される。また、亜ヒ素イオンが酸化されてヒ酸イオンになる。



②ヒ酸イオンが水酸化鉄に吸着され、水酸化鉄コロイド〔 $\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{AsO}_4^{3-}$ 〕となって沈降する。

③マンガンは標準酸化還元電位が鉄よりかなり高いため、順番として、鉄が減少した後、酸化されて二酸化マンガンとなる。



実際は2価と4価のマンガン化合物が生成されたり、分子内転位による3価のマンガンが生成されるなど複雑な現象が混在する。

出典「用水の除鉄・除マンガン処理」(平成18年：第3版、産業用水調査会)

6. 水質改善装置の効果

(1) 重金属濃度の低減状況

ヒ素、鉄、マンガンの経年変化を図-7、図-8、図-9に示す。2010年(平成22年)4月に高濃度酸素水を供給開始後、底層水に溶出していた重金属類は着実に減少しており、ヒ素・鉄は第3章で示した目標値(環境基準値等)以下を満足している。マンガンについても酸化が進んでおり、上層から徐々に減少し水質改善対象範囲(底層EL227m~EL250m)の中心となるEL240mの高さでは大幅な低下がみられる。

第5章で述べたように、マンガンは鉄が減少した後に酸化が始まることから、減少速度が遅く、底層でマンガン濃度が増加しているのは、EL250mの中層で酸化されたマンガンがゆっくり沈降して、底層で浮遊しているためと考えられる。

(2) 底質の変化

底質について、2001年度以降の調査結果を図-10に示す。経年変化として、ヒ素がやや上昇傾向、鉄・マンガンはやや減少傾向を示していたが、2010年5月以降上昇傾向にある。酸素供給前(2009年5月)と供給後(2011

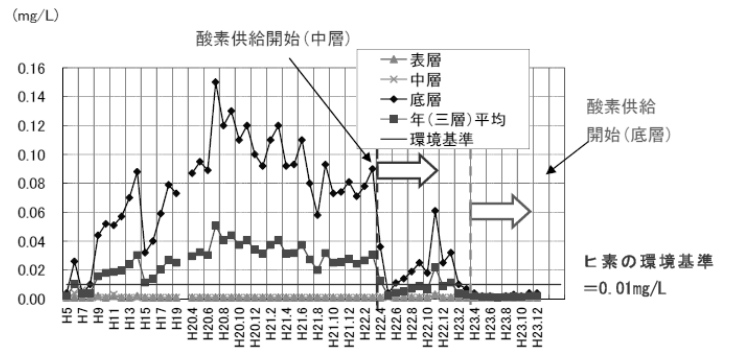


図-7 ヒ素の経年変化

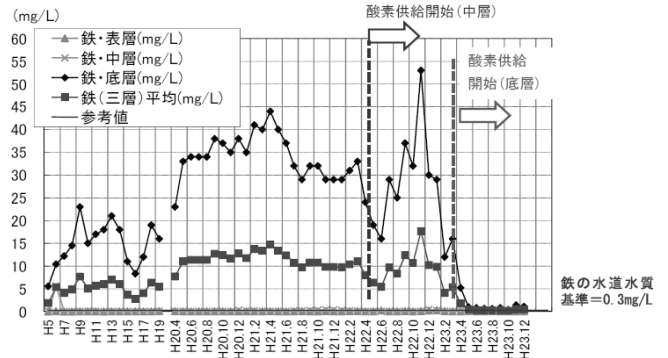


図-8 鉄の経年変化

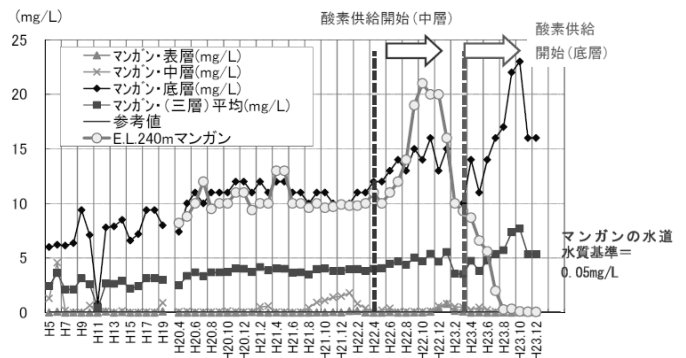


図-9 マンガンの経年変化

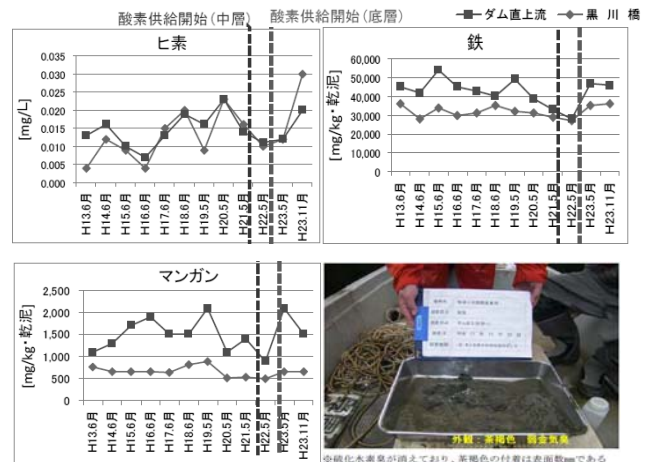


図-10 底質調査結果

年11月)の変化を比較すると、酸素供給前の変化幅の範囲内であるが、ダム直上流において、ヒ素、鉄、マンガ

ンと共に上昇していた。

また、底泥の表面数mmに茶褐色で弱金気臭の物質が付着しており、酸素供給前の黒色、灰色で弱硫化水素臭に比べて酸化が進んでいることが確認された。

(3) 酸素消費速度の検討

高濃度酸素溶解装置の運用方法を決定する際に必要な情報として、酸素消費速度を検討した。島地川ダムの底層水は、DOが0mg/lの嫌気的な状態で重金属類の濃度が高かったため、装置稼働当初は大きな酸素消費速度を示すと考えられた。一方、酸素を消費する物質が酸化された後には、出水時に栄養塩類等が上流から供給される場合に限り、酸素が必要であると想定された。このため、平成22年4月の酸素供給後の酸素消費速度を算出した。

a) 2010年6月

高濃度酸素発生装置による酸素濃度を90%（装置諸元上の設定値）、水中で溶解する気体の量を94%（水深40mで事前に実施した実証実験値）と仮定した場合、Case1 0.63 mg/L/日 となる。

b) 2010年9月～11月，2011年11月～12月

酸素供給の継続によりDOが飽和し、当面の装置運転の必要性が低下したことから、循環期の近づく秋季に装置を停止し、減少するDOの鉛直分布を確認した、1m毎のDO濃度(mg/L)と容量(m3)を乗じて、酸素供給範囲全体(EL.227m～EL.250m)の値を求めたところ、徐々に減少していることが確認された。

Case2: 2010年9月～11月の期間： $0.137(\text{mg/L/日})$

Case3: 2011年11月～12月の期間： $0.02(\text{mg/L/日})$

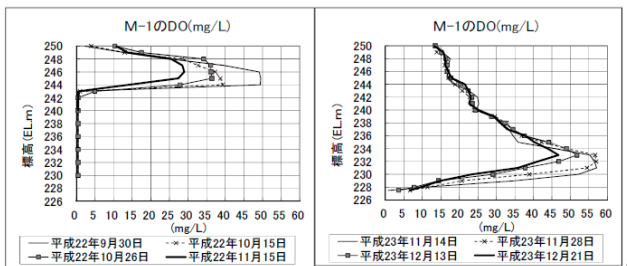


図-11 装置停止時のDO変化

7. 水質改善装置の運用方法

2010年度及び2011年度の高濃度酸素溶解装置の運用は、ダム竣工後29年間で蓄積された重金属類を酸化・沈降させるために実施した。このときの酸素消費速度はCase1となる。この2年間の運用により、鉄とヒ素はほとんど低減しており、マンガンについても最低水位(EL.247.5m)で 0.05 mg/l 以下を満足する状態にまで改善した。

2012年4月からの高濃度酸素溶解装置の本格運用は、『出水時に上流からある程度の重金属類が流入すること

を想定しながら、底層のDOが不足しないように酸素供給を継続し、底質からの重金属の再溶出を防ぐ』ことを目的として実施することとした。Case3は重金属類が低減した状態で、上流からある程度の重金属類が流入することを考慮していない値であることから、ある程度の重金属類が残っている状態であったCase2: 0.137 mg/L/日 を採用した。

この数値を用いて、酸素消費速度に釣り合う酸素を送るのに必要な酸素供給継続日数を計算すると、稼働率60.6%、1ヶ月に19日運転させればよいこととなり、表-1に示す運用案を決定した。2012年からはこの運用案に従い高濃度酸素溶解装置を運転中である。

表-1 高濃度酸素溶解装置の運用案

		月	火	水	木	金	土	日	必要日数
第1週	EL.247	9:00吐出高調整							10.2
第2週	EL.247					予備日	予備日	予備日	
第3週	EL.243	9:00吐出高調整							5.0
第4週	EL.239	9:00吐出高調整				予備日	予備日	予備日	3.3
第5週	EL.235	9:00吐出高調整							1.9
	EL.231			17:00吐出高調整		予備日	予備日	予備日	0.9

8. まとめ

一般に地下水汚染対策としてのヒ素の除去方法には、ゼロ価の鉄を混入する方法が知られているが、島地川ダム湖では底層水自体に高濃度化した鉄が存在していたことから、高濃度酸素水の供給で、鉄を酸化させ、ヒ素を除去するという環境に優しい工法を採用することができたと考えられる。以下に本論文のまとめを述べる。

- (1) 島地川ダム湖底層で高濃度化していた重金属類（ヒ素，鉄，マンガン）を，高濃度酸素溶解装置を導入したことで，底層水から取り除き，環境基準値等以下に低減させることができた。
- (2) 運転開始から2年間で取得した水質等のデータを基に，装置の運転日数を算出し，効率的な運用方法を決定することができた。
- (3) 2012年4月からは重金属類の再溶出を防ぐべく，決定した運用案に従って，順調に運転を継続中である。

謝辞：本論文執筆の背景である「島地川ダム湖の水質改善事業」を進めていく上で、島地川ダム水質改善検討委員会の委員長を務めていただいた山口大学名誉教授 中西 弘先生 他、各委員の方々からは、多数の貴重な意見や御助言をいただいた。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省山口河川国道事務所：平成23年度 島地川ダム水質改善計画検討業務。
- 2) 高井雄，中西弘：用水の除鉄・除マンガン処理，産業用水調査会。
- 3) 島地川ダム水質改善検討委員会：第7回委員会資料。

