

ダム底層の嫌気化による重金属類の溶出に対する対策について（中間報告）

井本 忠¹

¹中国地方整備局 山口河川国道事務所 河川管理課（〒747-8585 防府市国衙一丁目10番20号）



ダム建設後約30年経過し、ダム底層水内に高濃度の重金属類が確認されている。渇水時には水位低下により、上層と低層が攪拌され濃度の高い重金属類の流出が懸念されるため、ダムの重金属の発生源の特定および溶出原理を考察するとともに、対策手法の検討を行った。

キーワード ダム環境、水質改善、委員会

1. 概要

(1)流域の概要

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。

島地川ダムの流域面積は32.0km²で、流域の大部分は山口県旧鹿野町に含まれ、旧徳地町との町境に位置する千石ヶ岳（標高924m）に源を発する島地川支川清涼寺川と杉河内川の流域に二分される。

流域の土地利用は、山林が大部分を占めるが、両支川沿いの谷底平野には水田集落が分布する。

島地川ダム湖流域の概観を、下図に示す。



図-1 島地川ダム位置図 写真-1 島地川ダム全景

(2)島地川ダム貯水池の概要

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。

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。

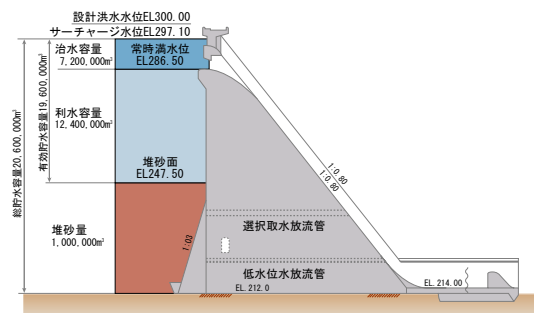


図-2 貯水池容量配分図及び越流部標準断面図

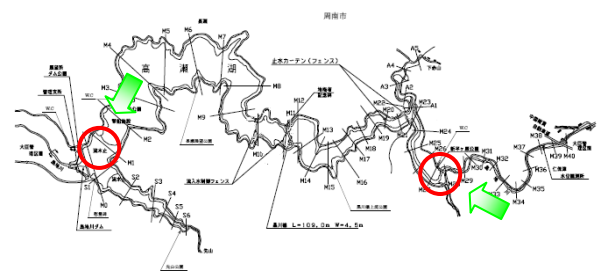


図-3 島地川ダム平面図



写真-2 ダムサイトを望む



写真-3 上流部流入支川

2. 現状と課題

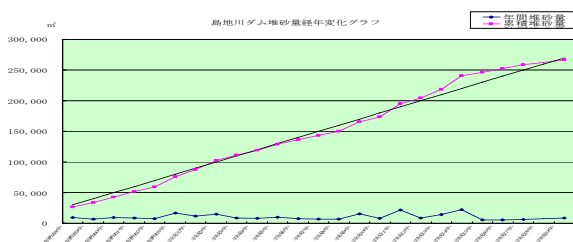
島地川ダム貯水池内では、平成6年より堤体付近の底層で高濃度の重金属類が確認されている。また、湧水時には選択取水設備により底層水を下流域に放流することとなり、下流域の水環境が懸念される。

このような状況から早急に貯水池の水質改善を行う必要がある。

(1) 島地川ダムの堆砂状況

島地川ダムの堆砂状況は約30年を経過した時点で30%の堆砂率で堆砂計画と比較しても概ね良好である。よって流入する土砂等への対策は行わないものとする。

表-1 島地川ダムの堆砂状況



(2) 島地川ダムの水質

島地川ダムでは重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、通常時の下流への放流に関して問題は生じていない。しかし、湧水時には躍層が崩れ上層と低層が攪拌される事により、濃度の高い重金属類の流出が懸念される。さらに、これまでの調査により年々重金属類の濃度が濃くなっていることが確認されるため、早急な水質改善対策が必要となる。

表-2 ダムサイト(M-1)における重金属類の鉛直分布

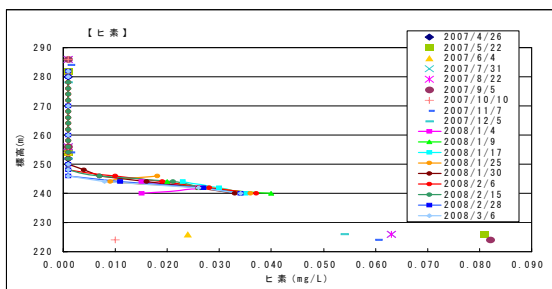
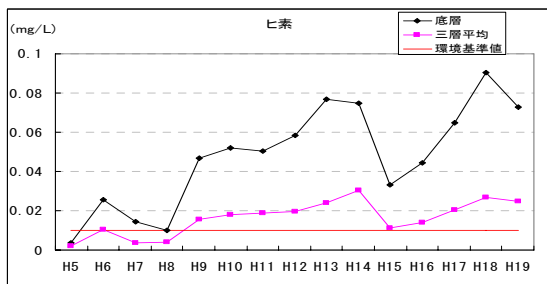


表-3 ダムサイト(M-1)における重金属類の経年変化



また、底層のEL. 250m付近からDOが極端に減少しており、無酸素化に伴う底泥からの金属塩類の溶出が起これ、それに伴い底層水の重金属類の密度が高くなっている。

表-4 ダムサイト(M-1)におけるDOの鉛直分布

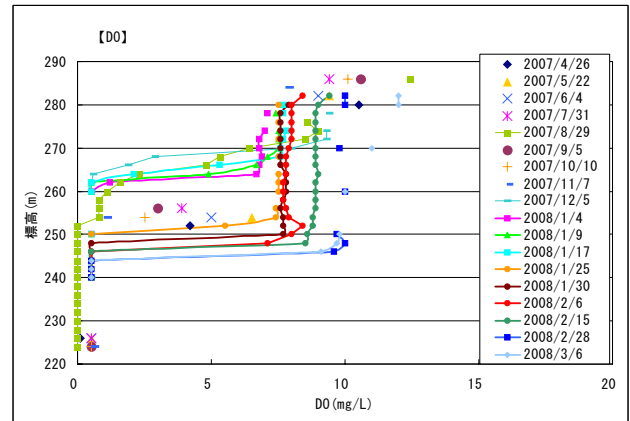


表-5 鉄の鉛直分布

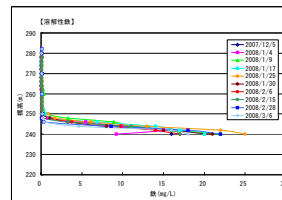
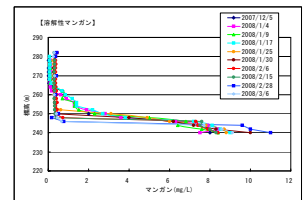


表-6 マンガンの鉛直分布



(3) 重金属類溶出・循環のメカニズム

重金属類の溶出・循環のメカニズムは下記のとおりである。

a) 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。

b) 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。

c) 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。

d) 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）

e) 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

[Fe²⁺] と亜ヒ酸イオン [As^{III}O₃³⁻] に遊離し、再溶出が生じる。

これらの事象を下図にまとめる。



図-4 底層の嫌気化による重金属類溶出・循環のメカニズム

3. 解決策と解決策に至るまでの経緯

島地川ダム湖周辺における重金属類の実態把握に関

する調査を基に、島地川ダム水質改善検討委員会のアドバイス等も踏まえ、ダム湖水質改善対策について目標達成までのスケジュール、コストを踏まえた最適対策工法の検討を行った。

(1) 水質改善達成目標

管理目標を定めるに当たり安全で快適な貯水池・放流水とすることを目標とした。

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

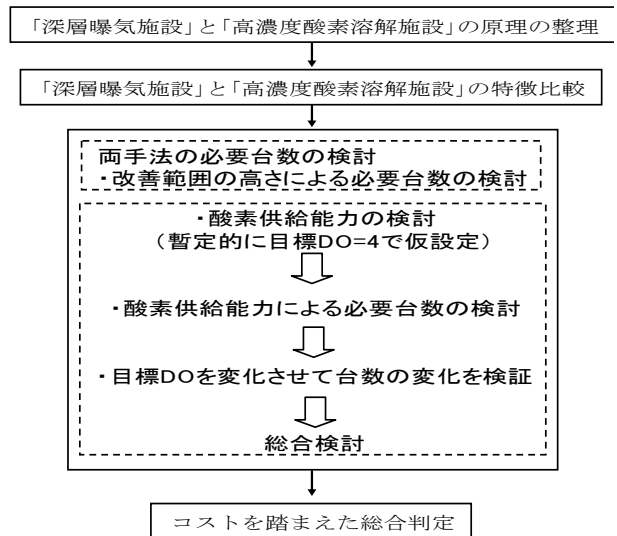
(参考値=0.3mg/L 以下)

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)

(2) 検討フロー

検討を進めるに当たり一般的には、深層曝気施設、高濃度酸素溶解施設、底層水揚水・処理施設が考えられるが「島地川ダム水質改善検討委員会」において、コスト及び効果の面から、深層曝気施設と高濃度酸素溶解施設の2案で詳細検討を進めることとの意見を受けたため、2案で詳細な検討を行った。



(3) 島地川ダム水質改善効果検討

各対策ごとに、水質改善効果を想定した。いずれも運用2年程度での改善ができる規模を導入する条件で検討することとした。

a) 水質改善効果の範囲

深層曝気施設は、国内ダムの事例を基にすると、高さ方向の改善範囲は10m、高濃度酸素溶解施設の改善高さは島地川ダムでの実証実験結果より、4m程度となっている。ただし、高濃度酸素溶解施設は上下移動が可能であり、要注意水域である250(EL.m)から、改善しながら徐々に下に降ろすことで広い範囲に適用できる。なお、

水平方向については、深層曝気で1kmまで広がるという報告があり、高濃度酸素でも1km広がると報告されているが、どちらも改善範囲が地形により制限されるまで効果が及んでおり（地形に沿って酸素水塊が斜面を上ることはない）、本来はもっと広く効果が及ぶと考えられる。よって、M0～M3の長さ方向600mに効果を及ぼすことが可能であると考えられる。

吐き出し口での溶存酸素濃度は水深によって変化するが、水深約20m程度の時に深層曝気施設では10mg/L程度、高濃度酸素施設では30 mg/L程度である。



図-5 深層曝気施設の配置

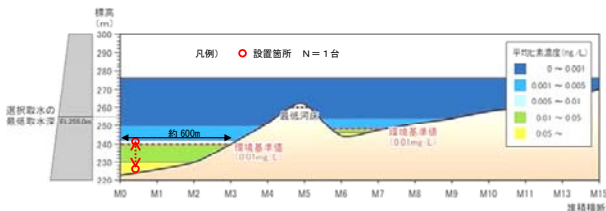


図-6 高濃度酸素溶解施設の配置

表-7 改善範囲の検討

	深層曝気装置	高濃度酸素溶解装置
装置規模(標準)	空気吐出力 72~105m ³ /h	送水量 90~120m ³ /h
装置の高さ	約16m	約4m
高さ方向の移動	×	○(M0~M3の距離600mは1基で効果が及ぶ)
水平方向の効果	○(M0~M3の距離600mは1基で効果が及ぶ)	○(M0~M3の距離600mは1基で効果が及ぶ)
水平方向の移動	×	×/○(フロート船式であれば移動可)
高さ方向の効果	約10m	約4m
改善効果(他ダム事例)	吐き出し部で DO=10mg/l程度(水深20m) 600mの距離で2mg/l程度(水深20m)	吐き出し部で DO=30mg/l程度(水深20m) 600mの距離で6mg/l程度(水深20m)

b) 施設規模の比較

島地川ダムでH16に行われた高濃度酸素溶解施設の実証実験結果より、島地川ダムの底層が要求する酸素消費速度は 0.23g/m³・日と算定された。改善対象範囲は 880,000m³であることから、202.4 kg/日となる。このため、酸素供給能力より、深層曝気 1台、高濃度酸素溶解施設 1台となるが、改善範囲が最低 20m必要であることから、深層曝気 2台、高濃度酸素溶解施設 1台が必要であると判断される。

表-8 施設規模の検討

装置形式	深層曝気装置	高濃度酸素溶解装置
装置の規模	空気吐出力 96 m ³ /n	送水量 120m ³ /h
システム全体	15kW	22.5kW (内、酸素発生装置10kW)
共有酸素能力	220kg/日	263kg/日
上下運動の可否	上下運動は不可	上下運動が可能

c) 設備ランニングコストの比較

a)、b)での検討結果を踏まえ深層曝気2台、高濃度酸素溶解施設1台でのランニングコスト(30年)の比較を行うと、深層曝気の方が割高となる。

表-9 設備のランニングコスト比較

装置形式	設備種別	設備単価	設備総単価	
概算費用	LCC (30年)	△-2台必要なためコストで高	△10,000千円	○-1台当たりのコストは高いが、1台△11,000千円で済むため、コストで有利である。
	初期コスト	70,000千円/基(製作、据付)	70,000千円×2基 = 140,000千円	100,000千円/基(製作、据付)
維持管理費	電気費(電圧70V)	1,000千円/10年(商品交換費)	1,000千円/10年(商品交換費)	1,000千円/10年(商品交換費)
	電気費(電圧70V)	700千円/年(保守点検費)	85,000千円(30年) × 2基 = 170,000千円	1,200千円/年(保守点検費)
総合評価	電気費(電圧70V)	△2,600千円/年(当初の2年間)	△5,200千円/年(当初の2年間)	△3,900千円/年(当初の2年間)
	電気費(電圧70V)	15kWh × 12ヶ月/年	△2,000千円/年(30年合計)	22.5kWh × 12ヶ月/年
総合評価	電気費(電圧70V)	15kWh × 9ヶ月/年	△1,350千円/年(30年合計)	△2,900千円/年(30年合計)
	電気費(電圧70V)	△2,000千円/年(30年合計)	△4,000千円/年(30年合計)	△2,900千円/年(30年合計)
総合評価	電気費(電圧70V)	△2,000千円/年(30年合計)	△4,000千円/年(30年合計)	△2,900千円/年(30年合計)
	電気費(電圧70V)	△2,000千円/年(30年合計)	△4,000千円/年(30年合計)	△2,900千円/年(30年合計)

d) 総合判断

上記の検討により施設の効果範囲、施設規模、ランニングコストの比較を行った結果高濃度酸素溶解施設の設置が妥当であると判断した。

5. 今後の課題とその改善方策(案)

今後の課題として「島地川ダム水質改善検討委員会」の中で下記の様な提言がなされた。

- ・ 蒸発残留物の組成について分析を行う。
- ・ 酸素消費量について、検討を加える。
- ・ 水質モニタリング項目に陰イオンを加える。
- ・ 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)
- ・ 流入河川の降雨時の水質調査を継続する。
- ・ 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。
- ・ 施設の維持管理電源について、管理用発電を検討する。

以上を踏まえたうえで下記の内容について今後検討していくこととする。

施設設置後の定期的なモニタリング調査を行い、その上で効果的な施設運用を定める対策施設の効果検証等を行っていく。また、対策施設等の整備により消費電力量への大幅な増加が見込まれるため管理用発電等の整備によるランニングコストの抑制を図ると共にダムエネルギーの効果的な利用を図る。