

微量金属を対象としたダム湖富栄養化対策技術の開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 19～平 22

担当チーム：水質チーム

研究担当者：南山 瑞彦、久岡 夏樹

【要旨】

日本の多くのダム貯水池では、春季から秋季にかけて、表層水が温められることにより底層水との温度差が生じ、水温躍層が形成される。このような状況下では鉛直方向の水の混合が抑制されるため貯水池の底層は貧酸素状態となり、底泥から金属類などの溶出が増加し、貯水池の水質に悪影響を及ぼす。このため、水温躍層を破壊することなく効果的に底層の溶存酸素(DO)濃度を広範囲にわたり回復させることを目的として、高濃度酸素水供給装置を用いて検討を行った。また、高濃度酸素水供給による底層の微量金属類濃度の低減についても検討を行った。その結果、水温躍層下の溶存酸素濃度は飽和状態以上にまで上昇し、微量金属濃度を低減させることが出来た。また、高濃度酸素水供給装置の稼働開始時期や運転条件について検討し、ダム湖底層の貧酸素状態を改善し、微量金属濃度を低減させるための運転方法を提案した。

キーワード：高濃度酸素、溶出抑制、鉄、貯水池、底泥

1. はじめに

日本の多くのダム貯水池では、春季から秋季にかけて水温躍層が形成される。このような状況下では、鉛直方向の水の混合が抑制されるため、底層への酸素供給が抑制される。一方、ダム貯水池に供給された有機物や貯水池内で発生した藻類は、底層に沈降した後微生物により分解され、その際に溶存酸素(DO)が消費される。これらの要因から、有機物濃度の高い貯水池においては、水温躍層が形成される時期に底層が貧酸素状態となる。このような状態においては、好気性生物の棲息は困難となるとともに、底泥から栄養塩、有機物や金属などの溶出が増加し、貯水池の水質に悪影響を及ぼす。

底層の貧酸素化対策としては、底層部に空気や酸素を供給する深層曝気方式¹⁾が主として用いられてきたが、水平方向への拡散が不十分である点や、吐き出し高さの変更が困難である点などが課題としてあげられる²⁾。新たな微細気泡発生装置を用いた方式³⁾や、DOの豊富な表層水を底層へ送り込む方法⁴⁾などが検討されているが、底層の貧酸素状態を完全に解消させるのは未だ困難な状況である。また、気泡噴流により鉛直混合流を起こし、水温躍層を破壊してDOが豊富な表層水を底層へ送る曝気循環方式では、本来富栄養化の対策を目的としたものであるため、底層のDO改善がされ

にくいことに加え、躍層破壊による底層水の浮上や底泥の巻き上げといった課題³⁾がある。水温躍層が破壊されると、底層の貧酸素化で底泥から溶出した栄養塩類が表層へ供給されるためアオコの原因となったり、雨天時にダム貯水池へ流入した土砂などが貯水池全体にいきわたり、濁水の長期化を引き起こしたりと問題が生じるため、水温躍層を破壊しない対策が必要だと考えられる⁵⁾。このため、水温躍層を破壊することなく、効果的に底層のDO濃度を広範囲にわたり回復させることを目的として、高濃度酸素水供給装置を開発した。

本研究では、顕著な貧酸素化と金属の溶出が見られるダム貯水池に高濃度酸素水供給装置を適用し、水温躍層を保持しつつ底層の酸素濃度が広範囲に上昇させることが可能かどうかの検証を行うとともに、金属濃度の低減に関する検討を行った。

2. 実験装置

本研究に用いた高濃度酸素水供給装置を図-1に示す。装置は大きく分けて酸素発生装置と気液溶解装置の2つの装置によって構成される。

(1) 水圧を利用した酸素溶解

酸素溶解部である気液溶解装置は、装置の内部と外部を遮断せず、装置内外で水圧が一致するような構造とした。これにより、装置を設置した水深の水圧を利用して酸素を溶解させることができるため、

吐出後の発泡を伴わない効率的な高濃度酸素水の供給が可能である。また、酸素は酸素発生装置（PSA）により、空気中の酸素濃度（21%）を高めた（90%以上）ものを使用した。これにより、高濃度酸素水のDO濃度は50～70mg/Lとすることができる。

(2) 上昇流の抑制

酸素を溶解させた状態で水平方向に吐出させることにより上昇流を抑制し、水温躍層を破壊することなく高濃度酸素水を供給するような構造とした。吐出後に気泡が生じないため、それによる上昇流や底泥の巻上げが抑制される。

(3) 気液溶解装置の上下移動

気液溶解装置に接続されたワイヤーをウインチで操作することで、吐出部の位置を上下させることができるような構造とした。これにより、任意の水深に高濃度酸素水を供給することが可能である。

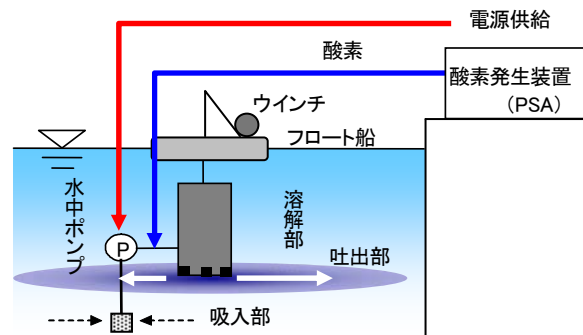


図-1 高濃度酸素水供給装置

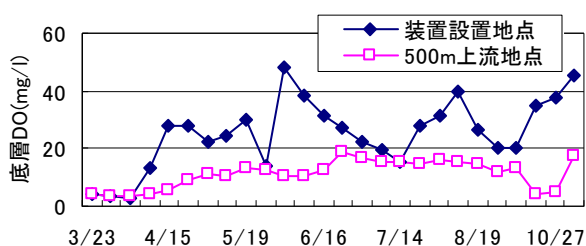


図-2 地点別底層溶存酸素濃度

3. 酸素供給による微量金属削減効果の評価

3.1 実験方法

ダムの堤体付近に高濃度酸素水供給装置を設置し、定期的に装置設置地点付近、およびダム堤体から上流へ向かって100mおきに10地点観測地点を設け、DO濃度等の水質測定、および採水を行い、実験室へ持ち帰ってから栄養塩類、微量金属類等の濃度測定を行った。

3.2 結果と考察

装置設置地点のダム湖底層のDO濃度は、実験開始直後から上昇し、実験期間中常に過飽和な状態を維持していた。装置設置地点から500m上流の地点においても貧酸素状態が改善されており、広範囲にわたって高濃度酸素水供給による効果があることが確認された(図-2)。実験開始前から形成し始めていた

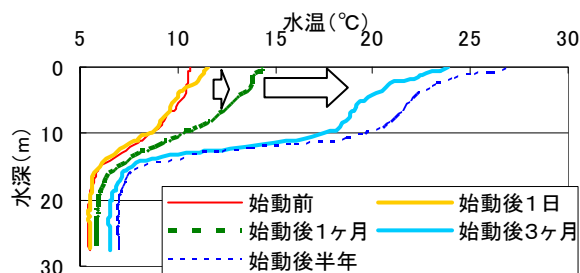


図-3 装置設置地点の水温鉛直分布

水温躍層は装置の稼働にかかわらず維持されており、水温躍層を破壊することなく高濃度酸素水の供給が行われていたことが確認された(図-3)。

溶存態鉄(D-Fe)と溶存態マンガン(D-Mn)の濃度経時変化を図-4、5に示す。装置稼働後しばらくは底層のD-Fe、D-Mn濃度が低く保たれていたが、6月に大きく上昇した。これは、4月下旬から5月上旬にかけて大量発生した藻類の死骸が沈殿し、その死骸から溶出したことや、死骸分解の際に底泥内の酸素が消費され、その際に底泥に含まれていた微量金属類が還元され溶出したことが推察される。その他の影響としては、降雨による攪乱の影響が考えられるが、

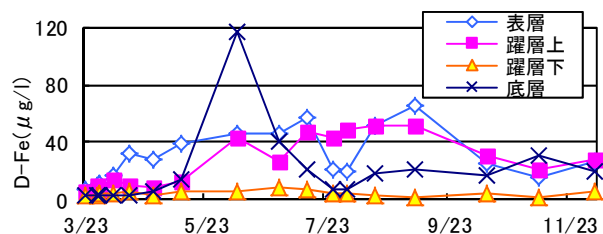


図-4 D-Fe濃度の経時変化

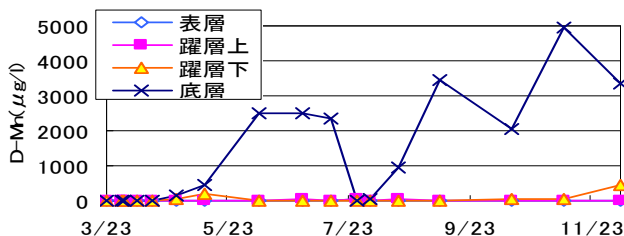


図-5 D-Mn濃度の経時変化

はっきりとした原因は特定できなかった。濃度上昇後D-Feはすぐに低減したが、D-Mnはしばらく高い値を保っており、9月、11月にも濃度の上昇が確認された。これは、マンガンが中性付近のpHでは化学的に酸化されにくいことによると考えられる。

4. 運転方法の改善による対策システムの提案

4.1 実験方法

ダムの堤体から130m上流側に高濃度酸素水供給装置を設置し、6月22日から7月19日までは酸素を用いて、7月20日から実験終了までは空気を用いて高濃度酸素水の供給を行った。また、高濃度酸素水生成時に発生する余剰空気を、水温躍層を破壊しない程度に水中に放出した。高濃度酸素水の供給による効果を把握するため、定期的に装置設置地点付近、およびダム堤体から上流へ向かって100mおきに10地点観測地点を設け、DO濃度等の水質測定、および採水を行い、実験室へ持ち帰ってから栄養塩類、微量金属類等の濃度測定を行った。

4.2 結果と考察

4.2.1 水温

実験開始前から形成し始めていた水温躍層は装置の稼働にかかわらず維持されており、水温躍層を破壊することなく高濃度酸素水の供給が行われていたことが確認された(図-6)。

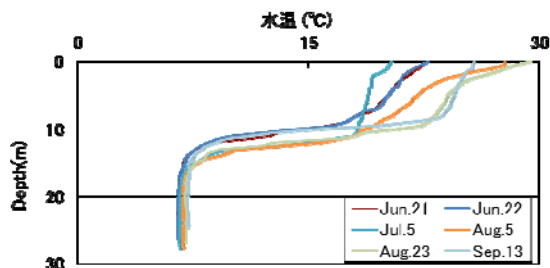


図-6 装置設置地点の水温鉛直分布

4.2.2 DO濃度

酸素を用いて実験を行った2009年度と、空気を用いて実験を行った2010年度の、装置設置地点のダム湖底層におけるDO濃度を比較すると、供給する高濃度酸素水の酸素濃度の違いによる底層DO濃度の差はみられるものの、どちらも実験開始直後から上昇した(図-7)。しかし、酸素を用いた実験では実験期間中常に過飽和な状態を維持していたのに対し、空気を用いた実験では高濃度酸素水の供給を続けていたにもかかわらず、底層の貧酸素化が確認された。

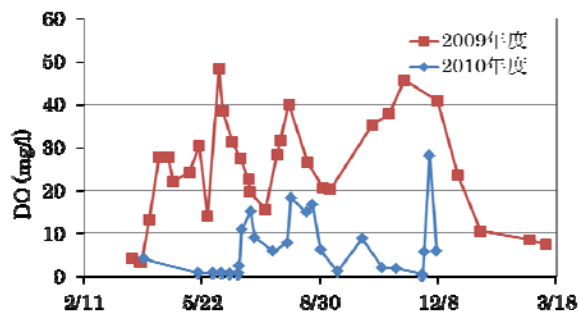


図-7 DO濃度の経時変化(装置設置地点)

装置設置地点から500m上流の地点(No. 5)における酸素濃度を比較すると、酸素濃度の上昇が確認された2009年度に対し、2010年度は酸素濃度の上昇は確認されなかった。空気を用いた実験では広範囲にわたっての効果は確認されなかった(図-8)。

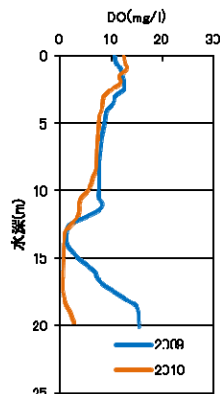


図-8 DO 濃度

4.2.3 pH

酸素ではなく空気を用いて実験を行ったため、酸素供給時と比較してpHの低下が抑制されていた。水中へ放出し、水面へ浮上してきた余剰空気を採取し、その成分を測定したところ、二酸化炭素濃度が空気と比較して高い値を示したことから、底層で有機物が分解される際に発生する二酸化炭素が余剰空気の浮上に伴って大気中へ放出され、これによって底層のpHの低下が抑制されたと考えられる(図-9)。

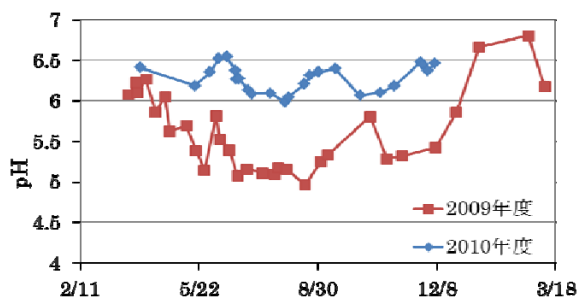


図-9 pHの経時変化(装置設置地点)

4.2.4 金属濃度

溶存態鉄(D-Fe)、溶存態ヒ素(D-As)、および溶存態マンガン(D-Mn)の濃度経時変化を図-10、図-11、図-12に示す。

D-Feは、装置稼働後常に表層と底層の濃度が同等程度であり、底泥からの溶出が抑制されていた(図-10)。

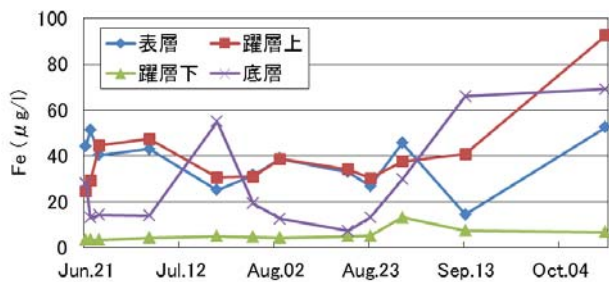


図-10 D-Fe濃度の経時変化(装置設置地点)

D-AsもD-Feと同様に、装置稼働後常に表層と底層の濃度が同等程度であり、底泥からの溶出が抑制されていた(図-11)。

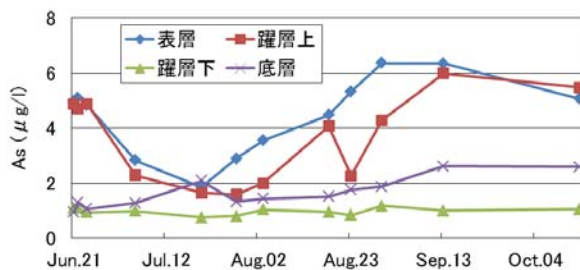


図-11 D-As濃度の経時変化(装置設置地点)

D-Mnは、装置稼働直後にいったん濃度が低下したがすぐに上昇し、高い値を保ち続けた。8月2日にいったん低下したものの、その後はまた上昇し続け、その後低下はしなかった。濃度が高い値を保ち続けた原因としては、高濃度酸素水の生成に空気を用いたことによってDO濃度がD-Mn濃度を低下させるほど上昇しなかったことが考えられる(図-12)。

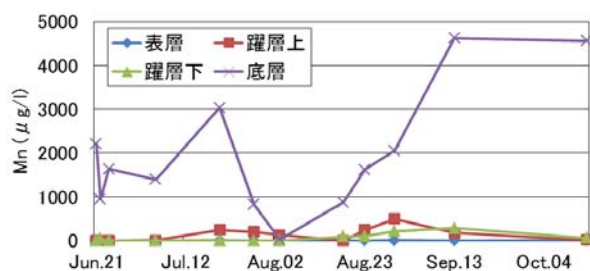


図-12 D-Mn濃度の経時変化(装置設置地点)

5. まとめ

高濃度酸素水供給装置を用いてダム湖底層に高濃度酸素水を供給した結果、水温躍層を維持したままダム湖底層の貧酸素状態が広範囲にわたり改善された。また、底層のD-Fe、D-Mn濃度の低下が確認され

た。しかし、底層で高い酸素濃度を保っていたにも係わらず微量元素濃度の上昇が見られたことから、貧酸素状態の改善だけでは底層の微量元素濃度を低く保つことは難しいことがわかった。

また、空気を用いて生成した高濃度酸素水をダム湖の低層へ供給した結果、水温躍層を維持したままダム湖底層のDO濃度を上昇させることができたが、酸素を用いて生成した高濃度酸素水を供給した実験系よりDO濃度は低く、拡散範囲も狭かった。しかし、余剰空気を水中に開放することによってpHの低下を抑制することができた。また、底層のD-Fe、D-As濃度が表層と同程度に抑制されていることが確認された。なお、D-Mn濃度は高い値を保ち続けていたことから、D-Mn濃度を低下させるための技術手法の確立は今後の課題である。

参考文献

- 1) 中村悟、梶谷隆志：布目ダムにおける深層曝気装置の水質改善効果、ダム技術、No. 164、pp. 42 - 52 (2000)
- 2) 国土交通省中国地方整備局山口河川国道事務所、島地川ダム水質改善検討委員会、第2回委員会資料、p. 30 (2008)
- 3) 道奥康治、神田徹、大成博文、森口昌仁、松尾昌和、松尾克美：曝気形態と貯水池深層水質との関係について、水工学論文集、第46巻、pp. 1091-1096 (2002)
- 4) 小松利光、長谷部崇、松永崇、井上徹教、藤田和夫、井芹寧、西元誠、稲垣晃：底層への表層水連続供給による貯水池の水質改善実験、水工学論文集、第45巻、pp. 1207-1212、(2001)
- 5) 田作光良、檜枝俊輔：日吉ダムにおける冷濁水対策の取組み、平成19年度近畿地方整備局研究発表会論文集、調査・計画・設計部門Ⅱ、No. 3、pp. 1-4

Development of a method to control metal release from sediment of a dam reservoir by supplying water with supersaturated dissolved oxygen

Budgeted: Grants for operating expenses, General account

Research Period: FY2007-2010

Research Team: Water Environment Research Group (Water Quality)

Author: MINAMIYAMA, Mizuhiko, HISAOKA, Natsuki

Abstract: The release of metals from bottom sediment sometimes significantly affects water quality through eutrophication in dam reservoirs. Various studies have been conducted on countermeasures for controlling the release of metals from the sediment by supplying oxygen to water using air, either by the microbubbles system or by injecting surface water into the bottom layer of dam reservoirs. We investigated a novel water quality restoration technology: using pure oxygen gas to supply water with supersaturated dissolved oxygen to the bottom layer, to control the release of metals from the sediment.

Key words: Supersaturated dissolved oxygen, Control of metal release, Iron, Reservoir, Sediment.