

貧酸素水域への酸素供給技術の開発(その2)

Application of Gas Dissolving System to Water Environments (II)

田中 克知^{*1} 柴田 省三^{*2} 石井 浩市^{*3}
 TANAKA Katsutomo SHIBATA Shozo ISHII Kouichi

近年、横河電機では水に酸素を高濃度に溶解させる技術を用いて、ダム貯水池の水質や底質の改善を提案している。横河技報Vol. 47, No. 2(2003)では、貯水池において、底泥の巻上げを起さずに貧酸素状態となっている下層のみへの酸素供給に成功した事例を紹介した。今回は水道水源である貯水池において、下層が貧酸素状態となっているために溶出したマンガンをリンを、高濃度酸素溶解水の供給により低減した事例を報告する。

In recent years, Yokogawa has started proposing solutions for the improvement of water quality and/or bottom sediment in dam reservoirs using our technology that dissolves oxygen into water at high concentration. In Yokogawa Giho Vol.47 No.2 (2003), we introduced a successful example that we efficiently only supplied oxygen to the oxygen-depleted bottom layers of a reservoir, avoiding stirring up bottom sediment.

This time, we report another successful experiment that we carried out at a reservoir serving as a source of tap water and confirmed that the supply of water containing a high concentration of dissolved oxygen could reduce increasing manganese and phosphorus resulting from the oxygen-depleted bottom layers.

1. はじめに

水道水源におけるダム貯水池水の割合は、昭和40年の11.7%から平成10年の37.8%へと大幅に増大した。このことは水資源の有効利用が図られた反面、富栄養化など水質問題を起し易い閉鎖性水域の割合が増えたことを意味する。

近年では、図1のように貯水池への流入水質の悪化や気象変化(温暖化)により植物プランクトンの増殖速度が増し、それにより様々な水質問題が発生している。

植物プランクトンの増殖は、それ自体浄水場における凝集障害、ろ過障害、異臭味などの問題を引き起こすが、長期的には下層に死骸が堆積することで微生物の分解活動により溶存酸素が減少し、還元的な状態となることで鉄・マンガンをヒ素・リンなどが水に溶出し易い形態へと変化する。リンなどの栄養塩類の溶出は、さらに植物プランクトンの増殖を促進し悪循環となる。また、硫化水素、アンモニア、メタン、臭気等も還元的な状態で生成される。

当社では、貧酸素状態の下層への酸素注入技術を開発

し、実証実験を継続している。前回は、その下層のみに酸素を供給することに成功した事例を報告した⁽²⁾。今回は、貧酸素状態の下層から溶出するマンガンの濃度の低減策について報告する。

2. マンガン(Mn)濃度の年間推移と酸素供給

閉鎖性水域では、図2で示すように、春から夏にかけて水温差による貯水池の成層化が進み、それに伴い上層のMn濃度は低減し、下層のMn濃度は溶出により上昇していく。秋から冬の循環期には下層の高濃度のMnが

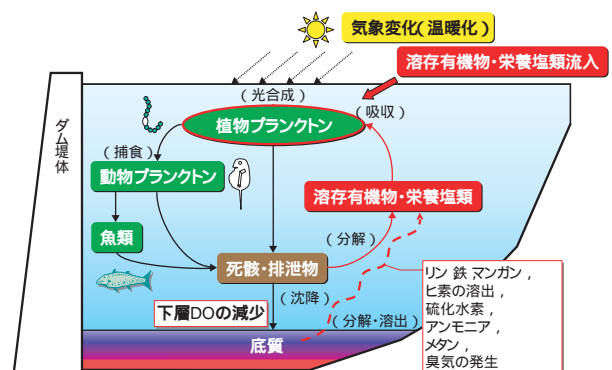


図1 富栄養化に伴う水質の悪化

*1 環境システム営業本部 企画・技術部

*2 IA事業本部 環境機器事業部 PMK部

*3 IA事業本部 環境機器事業部

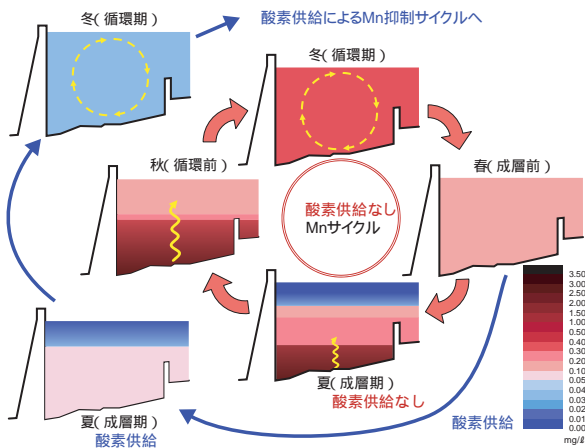


図2 閉鎖性水域のMn溶出サイクルと酸素供給

上層と混合し、貯水池全体に高濃度のMnが分布していく。冬から春は、循環により全体の溶存酸素濃度が高くなり、Mnの溶出は起こらない。

春から夏にかけて下層に酸素を供給することで、下層のMn溶出を抑制し、冬に循環期を迎えても全体のMn濃度は低濃度に抑えることができる。

このように貯水池下層への酸素供給がMnの溶出を抑えることができれば、年間を通じてMn濃度が水道水質基準値(0.05 mg/l)以下の原水を得られる水域があることを演算結果より想定した。

3. 実証実験

3.1 実験概要

今回の実験場所である岩手県綾里川ダムは多目的ダムであり、大船渡市三陸町の水道水源となっている。下流にはUF膜(限外ろ過膜)の浄水場が建設されており、マンガンによる膜の目詰まりや、溶解性マンガンの膜通過が問題となっている。UF膜は濁質・一般細菌の除去は可能であるが、溶解性の物質は除去できない。

水道のマンガン濃度基準値は、配水管へのマンガン付着および蓄積・剥離(黒水・赤水等)を防ぐため、0.05mg/l以下となっている。図2で示すように、夏期の上層水であれば基準値以下の水質となっているが、混合期を迎える秋から冬は下層から上層までマンガン濃度が上がり、水道水質基準濃度を超えている。

本実験の目的は、上水道における取水のマンガン濃度を低減するため、貯水池下層からのマンガン溶出を効果的に抑制する方式を検討することにある。

3.2 実験方式

実験は、下層に酸素を供給できるとされる以下の3

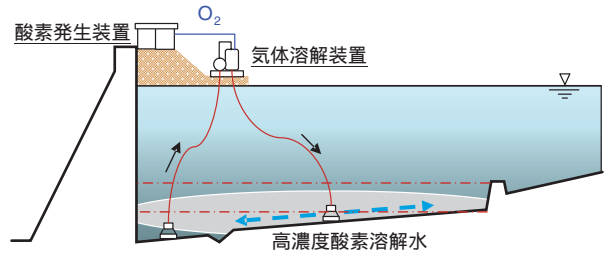


図3 高濃度酸素溶解水方式(酸素)

方式について行った。

- (1) 高濃度酸素溶解水方式(酸素)
- (2) 微細気泡方式(酸素)
- (3) 曝気循環方式(空気)

(1) 高濃度酸素溶解水方式(酸素)

図3のように、下層から冷たい水を気体溶解装置に引き込み、高濃度酸素溶解水として同じ水温の下層へ戻す。完全に酸素が溶解しており、気泡が含まれていないので酸素水は上昇することなく下層に留まる。貧酸素で問題となる下層のみに酸素を供給する当社の工法である。

装置仕様

- ・装置構成： コンプレッサ PSA(酸素発生装置) 気体溶解装置
- ・消費電力： 8.2 kW(合計)
- ・供給ガス： 酸素
- ・酸素量： 3.5 Nm³/min
- ・吐出水量： 30 m³/h
- ・吐出DO： 50 mg/l 以上

(2) 微細気泡方式(酸素)

図4のように、酸素ガスを微細気泡として水中に放出する。気泡の径が小さくなるとその上昇スピードが遅くなることから酸素が溶解する時間が長くなり、酸素移動効率が高くなる。

装置仕様

- ・装置構成： コンプレッサ PSA(酸素発生装置) 微細気泡用メンブレンフィルタ
- ・消費電力： 3.8 kW(合計)

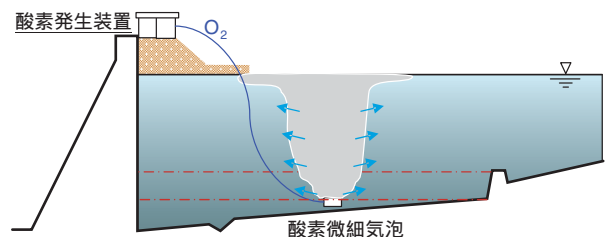


図4 微細気泡方式(酸素)

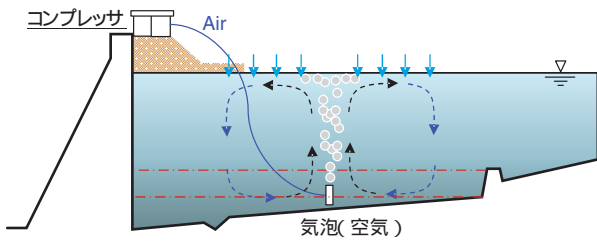


図5 曝気循環方式(空気)

- ・供給ガス：酸素
- ・酸素量：3.7 Nm³/min
- ・酸素移動効率：約70%

(3) 曝気循環方式(空気)

図5のように、曝気のエアリフト効果により吐出口以上での循環を起こし、表層の溶存酸素を下層へ送る方法である。

装置仕様

- ・装置構成：コンプレッサ
- ・消費電力：3.5 kW(のみ)
- ・供給ガス：空気
- ・空気量：0.9 m³/min
(上記空気量は1.5 kWで可)

3.3 測定方法

水質分析項目はマンガン、リン、窒素を分析し、供給酸素との関連等を解析する。測定ポイントを、図6に示す。

(1) 手計測項目(多項目水質計による鉛直分布測定)

- ・測定項目：水温 / 溶存酸素濃度(DO) / 酸化還元電位(ORP) / 濁度 / pH / 導電率
- ・頻度：実験期間中4回(事前 前半 中間 最後)
- ・測定ポイント：3カ所 A, B, Cポイント

(2) 水質分析項目(採水して水質分析)

- ・測定項目：マンガン(Mn)、溶解性マンガン(D-Mn) / 全リン(T-P)、溶解性全リン(D-T-P) / 全窒素(T-N)、溶解性全窒素(D-T-N)
- ・頻度：実験期間中3回(事前 中間 最後)
- ・測定ポイント：3カ所(A, B, C)各水深毎

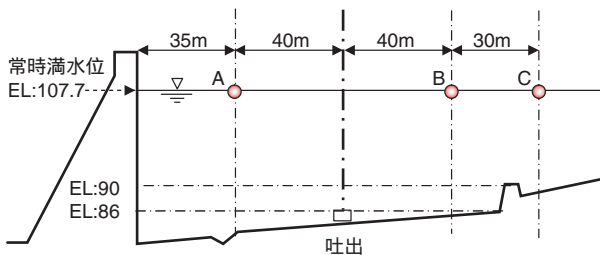


図6 測定ポイント(水平)

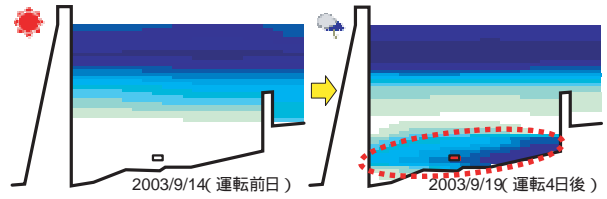


図7a 高濃度酸素溶解水方式

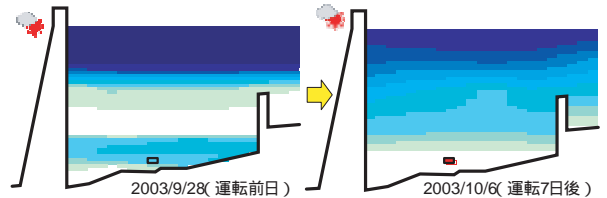


図7b 微細気泡方式

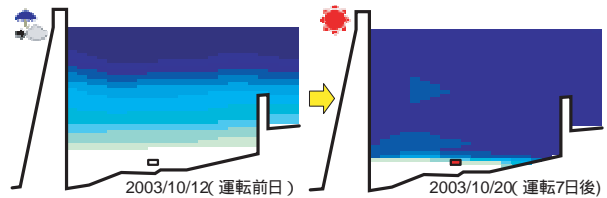


図7c 曝気循環方式

3.4 実験結果

3.4.1 DO分布

高濃度酸素溶解水方式(図7a)は、下層部のみのDO値が上昇した。(DO値が高いため、後工程の実験への影響を考慮して運転4日後で停止。以降の実験は7日後で停止。)

微細気泡方式(図7b)は、緩やかな循環により中層までのDO値上昇が観察された。高濃度酸素溶解水方式の酸素が下層に残っていたが、7日後には消失し、下層のDO値は上昇しなかった。

曝気循環方式(図7c)は循環により、曝気吐出口(EL86 m)以上では均一なDO上昇を確認できたが、曝気吐出口以下の下層DO値はほぼゼロとなった。

3.4.2 溶解性マンガン・溶解性リン濃度分布

高濃度酸素溶解水方式(図8a)は、4日後で装置を停止したがこの短期間で上層に影響を与えず、下層のマンガン・リンを低減している。EL:102 m以上の水域は、マンガンの水道水質基準値である0.05 mg/l以下を維持している。

微細気泡方式(図8b)は、緩やかに下層のマンガンの中層、上層に移動させているのが分る。リンは全層において低減方向にある。

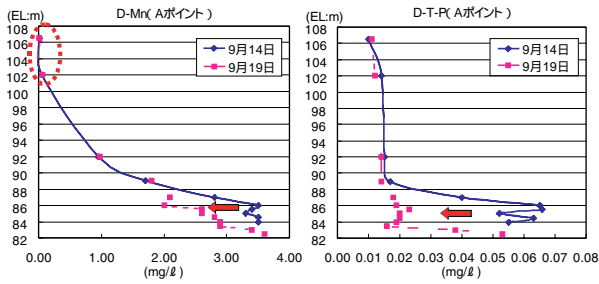


図 8a 高濃度酸素溶解水方式

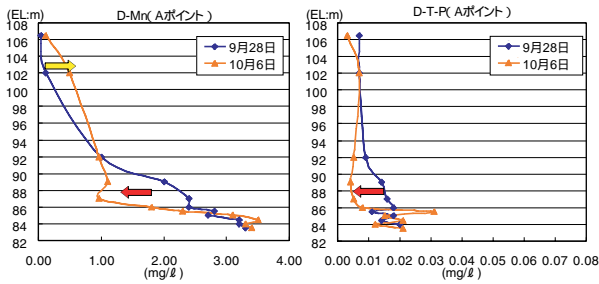


図 8b 微細気泡方式

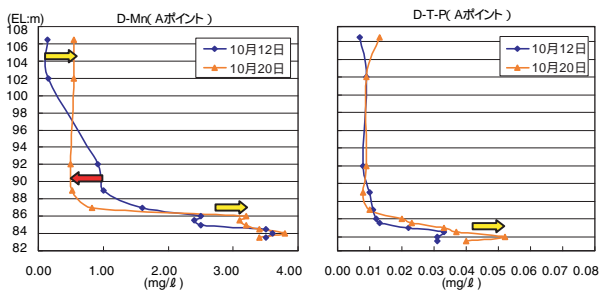


図 8c 曝気循環方式

曝気循環方式(図8c)は、吐出口以上では鉛直方向にマンガン、リンとも濃度は一様となる。吐出口以下では酸素が入らないため、リンの溶出、マンガンの溶出傾向が見られる。

マンガン量は、高濃度酸素溶解水方式だけが巻き上げなどの影響を上層に与えず、下層のマンガンを低減していることが分る。

4. まとめ

今回の実験結果をまとめると、表1のように下層に酸素を供給することでマンガン濃度を低減し、巻き上げを起こさずにマンガンの水道水質基準である0.05 mg/l以下の水域(表層水)を維持したのは、高濃度酸素溶解水方式

表1 Mn対策実験結果

	下層DO	巻上の影響	取水Mn	P
高濃度酸素溶解水方式				
微細気泡方式	x		x	
曝気循環方式	x	x	x	x

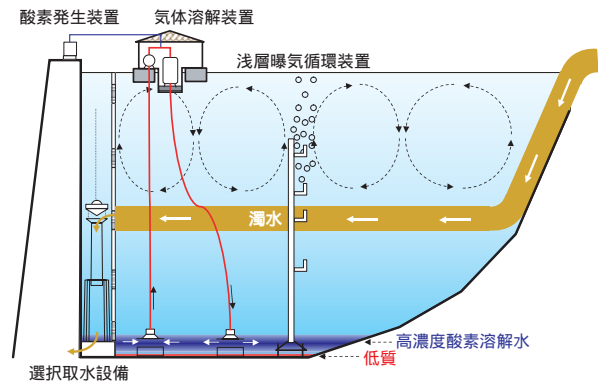


図 9 ダム貯水池における水質保全対策

式だけであった。曝気循環方式、微細気泡方式など気泡を利用する工法では、その吐出口以下に酸素は入らないこと、および巻き上げによる上層のマンガン・リン濃度の上昇が確認された。

この実験結果より、マンガンの溶出対策など下層の水質・底質改善には、高濃度酸素溶解水方式が有効と思われる。

一方、曝気循環方式は、下層のDOおよび水質の改善は見込めないが、植物プランクトンが既に多く発生している場合は、光が無いところに植物プランクトンを追いやり繁殖を抑制することができる。このため、巻き上げを起こさない水位での浅層曝気循環方式が、多くのダム貯水池で植物プランクトン対策として採用されている。

以上のことより、富栄養化対策を総合的に行うためには、図9のように示す方式を提案する。

下層の水質・底質改善に有効な高濃度酸素溶解水方式(当社工法)

植物プランクトン対策に有効な浅層曝気循環方式の組み合わせが有効と思われる。

さらに選択取水設備との組み合わせで、水道における適水質水質の選択取水、および濁水対策、冷水対策に有効である流動制御システムの併用が望ましい。

5. おわりに

本業務は、岩手県大船渡地方振興局より、「綾里川ダム貯水池マンガン溶出対策実験業務委託」として請けたものである。本データの使用に当たり、この場をお借りしてお礼を申し上げます。

本実験が、貯水池等閉鎖性水域の水質改善の一助になれば幸いである。

参考文献

- (1) 丹保恵仁, 小笠原統一, 浄水の技術, 1985, p. 320-322
- (2) 田中克知, 柴田省三, 石井浩市, "貧酸素水域への酸素供給技術の開発", 横河技報, vol. 47, no. 2, 2003, p. 45-48