

貧酸素水域への酸素供給技術の開発

Development of the Technology of Oxygen Supply to Hypoxic Waters

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

現在、湖沼、ダム貯水池等では、生活排水等の流入により水質悪化が進み、水中の微生物の酸素消費のために夏季には底層から貧酸素状態となる。底泥が酸素不足になると、藻類の異常増殖を引き起すリンなど栄養塩の溶出、水道水質の悪化につながる鉄・マンガンの溶出、悪臭を放つ硫化水素の発生など、水を利用するうえでの様々な問題を生じさせる。

水環境改善への要望が高まるなかで、当社では計測・制御・情報の技術を展開し、環境を直接改善するソリューションを提供できると考えている。今回、貧酸素状態となっている底層に高濃度酸素溶解水を直接供給するシステムを開発した。貯水池にて実証実験を行い、底層のみへの酸素供給により、貧酸素状態の改善に成功したので報告する。

An aggravation of water quality in lakes and dam reservoirs has been progressing by inflow of domestic sewage and the like, and then oxygen consumption of microbes in water leads to an oxygen-depleted state at a bottom of water in summer. As sludge of the bottom sedimentation becomes a shortage of oxygen, the lakes and reservoirs cause various problems when using water such as an elution of nutritive salt including phosphor which causes an abnormal growth of a seaweed, an elution of iron manganese which leads to the aggravation of tap-water quality, and a generation of hydrogen sulfide that releases a bad smell. With the increasing requests for the improvement of water environment, YOKOGAWA can supply solutions which directly improve water environment using our technologies of measurement, control, and information, because YOKOGAWA has developed the system that supplies directly the high-concentration-oxygen-dissolved water to the oxygen-depleted bottom. This paper describes an actual experiment in a reservoir which successfully proved the direct high-concentration-oxygen-dissolved water supply to the reservoir bottom has a marked effect on the improvement of the oxygen-depleted state.

1. はじめに

現在、湖沼、ダム貯水池等では、生活排水や畜産排水、産業排水などが流入している。これらに含まれる物質は、植物性プランクトンの栄養となり、アオコや赤潮のようなある種の植物プランクトンの異常な増殖現象を引き起こす。

これらの死骸は水底に沈降し、微生物により分解されるために、多くの溶存酸素を必要とし(好気分解)、表層から底層への酸素供給が十分でないと、底層は酸素不足になってしまう。そして貧酸素状態では、微生物による

還元反応(嫌気分解)が促進され、この時に底泥からは、藻類の異常増殖を引き起すリン等の栄養塩の溶出、水道水質の悪化につながる鉄・マンガンの溶出、悪臭を放つ硫化水素の発生などが起こる。このように貧酸素状態が、水を利用するうえで、様々な問題を引き起こす大きな要因となっている。

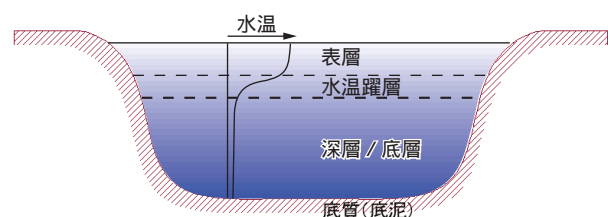


図1 夏季成層型

*1 環境システム営業本部 企画・技術部

*2 制御プロダクト事業本部 環境機器事業部 技術部

*3 制御プロダクト事業本部 環境機器事業部



図2 実験風景

貧酸素状態は、流入してくる水質の悪化によるものだけでなく、その水域の形状、水の流れ、気象条件などによっても大きく変化する。日本の比較的水深が深い貯水池では、春から夏にかけての暖かい時期に、水温の違いによる成層化が進む場合が多い。図1では、貯水池の形状等の特性として水の入れ替わりが少なく、夏場のような暖かい時期に、はっきりと水温による成層化が進む例を示している。このような貯水池の性格を、夏季成層型と呼んでいる。水面付近では温度が高く、ある程度水深が下がると、急に温度が低下するように成層化が進む場合が多い(急に温度が下がる層を水温躍層という)。このような状態では、水温により水の密度が異なるため表層水と底層水との循環・混合が起こらなくなり、底層への酸素供給がなくなる。このように、底層の貧酸素状態は、流入水質の悪化だけでなく、貯水池の形状等にも大きく影響される。

貯水池の水質悪化の要因は、流入してくる負荷によるものが大きい、底泥に蓄積された物質もやがて貧酸素状態で様々な水環境悪化を引き起こす。現在では物理的に底泥を回収する浚渫など、土木的な対策が多くとられている。薬品を使用する場合もあるが、水環境に悪影響を及ぼすことも多く、底質(底泥など底を構成する堆積物や基盤を意味する)の改善に有効な手立ては少ない。

ダム貯水池ではこれまで、底層の貧酸素状態を改善するために、従来より全層曝気、または深層曝気などを行ってきた。全層曝気は気泡により全層の循環を起こし、成層を破壊し、表層の酸素を底層に送り込むものである。深層曝気は、深層部で曝気を行い、その酸素移動により底層のみ酸素を供給する工夫がなされているものである。しかし、従来の空気による曝気方法では、気泡上昇が引き起こす底泥の巻き上げや、大量の水移動による底層の濁質分の拡散が生じてしまう。折角底層に沈降した物質が、この水の動きで再浮上し、水質に悪影響を及ぼす恐れがある。

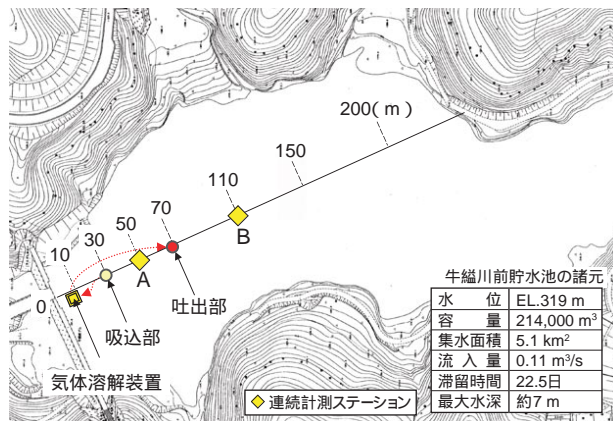


図3 実験場所概略

このように、底泥の巻き上げをおこさず、本来貧酸素状態を改善すべき底質(底泥)のみに、効率よく酸素を供給できる技術はこれまでなかった。

当社は、酸素を高濃度に水に溶かすことが可能な気体溶解装置を用いることにより、溶存酸素濃度(DO) 50 ~ 70 mg/l という高濃度酸素溶解水の生成に成功した。これにより、ダム貯水池等の貧酸素問題を改善するため、底層のみに効率よく酸素を供給する新しいシステムを開発し、検証実験を行ったのでその知見を以下に報告する。

2. 気体溶解装置の概要

高濃度酸素溶解水は、酸素が気泡となって水上に気散する無駄が無い。また、気泡のように上昇しないため、底層のみ広く効率よく酸素を供給できるという大きな特長がある。

気体溶解装置は、溶解タンクにポンプで原水を送水し、酸素発生装置(PSA: Pressure Swing Adsorption)から、90 ~ 95%濃度の酸素を発生させ溶解タンクに供給する。タンク内はゲージ圧で約0.1 MPaで加圧することで、酸素の溶解効率を向上させると共に、大気開放しても気泡を発生させないように制御している。

一般に大気(1気圧、酸素濃度20.9%)中では、水温15の水の飽和溶存酸素濃度は約10 mg/lであるが、本装置は、酸素ガスの利用および圧力等の制御により、水温15のダム水で50 ~ 70 mg/lの酸素水を生成することができる。この高濃度酸素溶解水を貯水池の底層部にのみ供給する実験を行い、その効果を確認した。

3. 実験概要

本実験では、

- ・底層にのみ酸素を供給する
- ・運転制御方法の確立

を目的とし、次の4つの実験を行った。

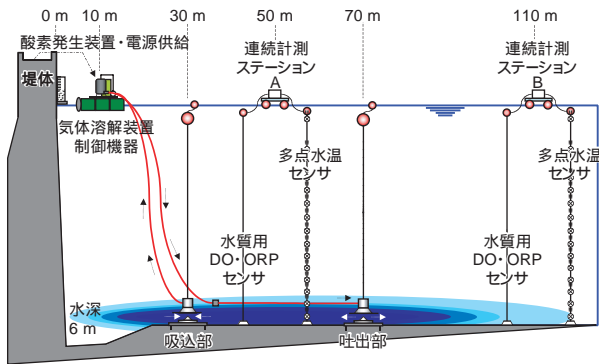


図4 本実験のシステム構成

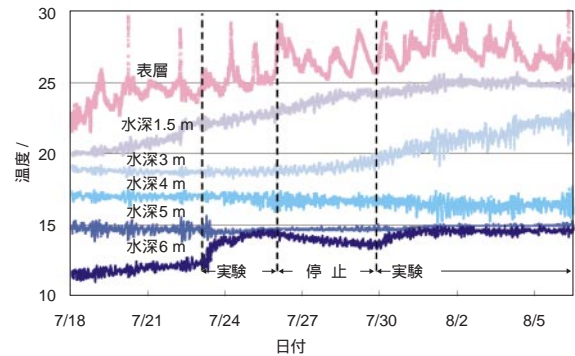


図5 各水深の水温変動

- 実験 : 酸素溶解なしで水を循環させ(流量90 m³/h), 装置運転による水移動での表層酸素の取り込み, および底層の溶存酸素上昇がないことを確認する。
- 実験 : 貧酸素状態から, 高濃度酸素水の供給を全量運転(流量90 m³/h)で行う。
- 実験 : 実験 に引き続き, 高濃度酸素水の供給を流量 $\frac{1}{3}$ 運転(流量30 m³/h)に落とし, 少量での効果を確認する。
- 実験 : 実験 の後, 装置を停止し, 底層の溶存酸素濃度を元の0 mg/lにした(整池)後, 高濃度酸素水の供給を流量 $\frac{1}{3}$ 運転(流量30 m³/h)で行う。

実験場所: 国土交通省 東北地方整備局 三春ダム牛瀬川前貯水池(図3)

装置能力: 吐出水量 90 m³/h または 30 m³/h
吐出水溶存酸素濃度(DO) 50 ~ 70 mg/l

実験期間: 平成14年7月~9月

気体溶解装置および制御機器はフロートに搭載し, 堤体より10 mの場所に係留した(図2および図4)。酸素発生装置は陸上に設置し, 気体溶解装置まで配管した。吸込部と吐出部は堤体よりそれぞれ30 m, 70 mの位置の水底より50 cm上に設置した。両者とも全水平方向の吸い込み・吐出が可能で円盤形となっている。

また, 装置の制御運転およびモニタリング用に連続測定用の各種センサを配置しており, 堤体より50 m(A点), 110 m(B点)の位置に, 水温(水底より50 cm毎に設置)/溶存酸素濃度(DO)(水底より1 m上に設置)/酸化還元電位(ORP)(水底より1 m上に設置)センサを配置した。

その他, 16ポイントをポータブル多項目水質計で, 各水深毎, 任意の測定日に計測した。

図5は実験 を行った時の水深毎の水温の時間変化を示したものである。装置から吐出した水の勢いにより, 水が上下方向に攪拌され成層を壊さないよう運転制御を行った。具体的には, 水底(水深6 m)と水底から2 m上(水深4 m)の水温差が確保できるように制御を行い, 水温差が無くなると装置を停止し, 水温差の復帰と共に運

転を再開させた。また, 底層水の溶存酸素濃度が上昇し, 貧酸素状態から脱した場合, 運転の効率を考え装置を停止させるという制御も同時に行った。

図5の表層水温は日照による変化が大きくなっている。実験 を連続運転にて7月23日から開始した。水深5 m以下ではあるが, 上下方向の攪拌を生じ, 水底(水深6 m)の温度上昇を生じている。26日に装置を停止して, 水底の温度低下を図った後, 31日より水深4 mと6 m間の水温差による制御運転(実験)を行い, 約45%の稼働率となった。

4. 実験結果および考察

実験 では図6に示したように本装置による水の循環だけでは底層の溶存酸素濃度は上昇せず, 表層からの酸素の移動が無いことが確認できた。図6~10の測定ポイントは全て図3のBポイントである。

実験 では酸素を供給して実験 同様の制御を行った結果, 図7のように下層部のみに酸素を供給できることが確認できた。ここで特徴的なことは, 溶存酸素濃度が上昇した底層と表層の間に溶存酸素濃度ゼロの層が存在することである。このことは, 本装置が温度成層を破壊せず, 装置による高濃度酸素溶解水の供給だけで, 底層の貧酸素状態を改善できたことを示している。前述したように制御運転を行っており, 稼働率は約45%であるにも関わらず, 安定して酸素を供給できた。

実験 では実験 に引き続き, 吐出流量を $\frac{1}{3}$ の30 m³/hに落とし制御運転を行った。その結果, 吐出速度がさらに減少したことにより上下方向の混合が抑えられ, 結果として安定した連続運転となった。

その後, 約2週間運転を停止し, 水中や底泥の酸素消費により底層に酸素が無い状態まで復帰させた。(図9)

実験 では, 底層の溶存酸素濃度をゼロに戻して, 始めから30 m³/hの酸素供給運転を行った。その結果, 実験 同様上下方向の混合は認められず, 運転8日後では底層の溶存酸素濃度が20 mg/l付近まで上昇し, 吐出流

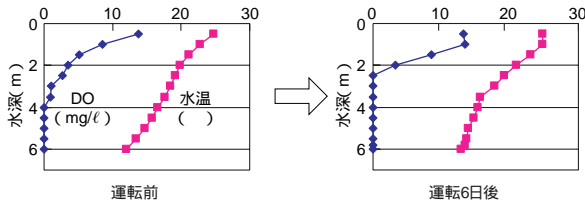


図6 実験 (水の循環のみ、酸素溶解無し)

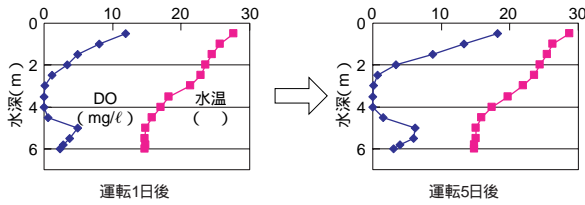


図7 実験 (酸素供給, 全量運転)

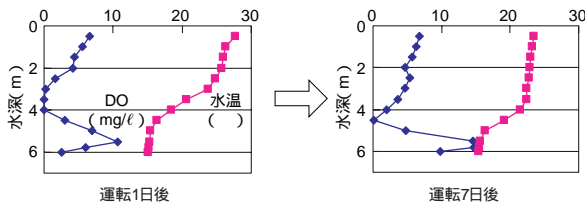


図8 実験 (実験 に引き続き酸素供給, 1/3 運転)

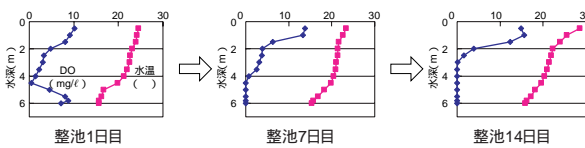


図9 整池(底層のDOをゼロに戻す)

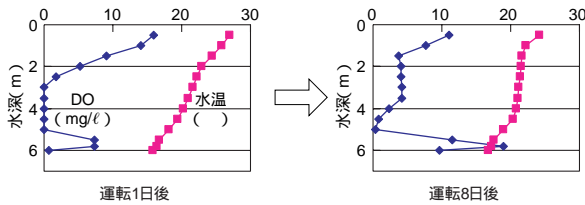


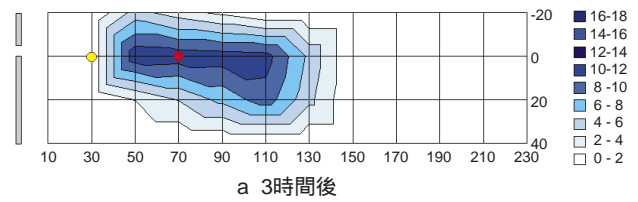
図10 実験 (酸素供給, 最初から 1/3 運転)

量 30 m³/h でも十分に底層に酸素を供給できることが分かった。

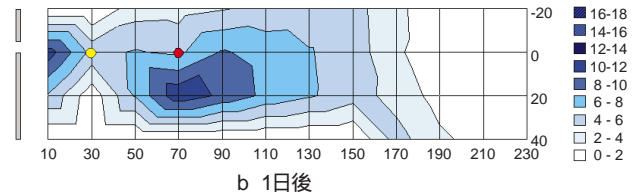
図 11a から d は、30 m³/h で運転した実験 での水深 5 m の溶存酸素濃度の水平分布である。運転後 3 時間では、吐出口より約 70 m 上流側 (図の右側) まで酸素水が到達した。さらに一日後では、5 m の水深がある水域全体に酸素が行き渡っている。

以上の結果、気体溶解装置による高濃度酸素溶解水を用いることで以下のことが可能となることを確認した。

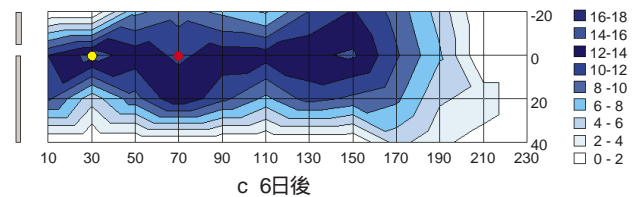
底泥の巻き上げを起こさずに、水底直上に吐出口を配置できるため、効率よく底層部のみへの酸素供給が行える。水温による成層を破壊しないことで、ダム貯水池での濁水対策や冷水対策に有効な選択取放水の運用幅を広げられる。



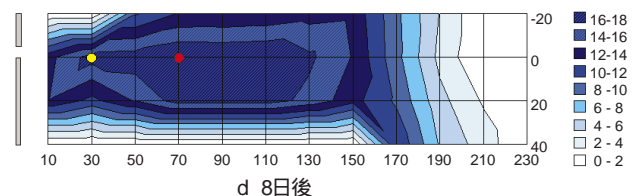
a 3時間後



b 1日後



c 6日後



d 8日後

図11 実験 水深 5 m の DO 水平分布

底層の状態を監視することにより、目的とする領域への酸素供給量制御が可能であり、効率的な貧酸素対策が実現できる。

5. おわりに

本実験で、高濃度酸素水の直接供給が湖沼やダム貯水池に対し、貧酸素状態を効率よく解消できる新たな底層の水質・底質改善技術として期待できることが確認できた。今後は、底質の改善技術として浚渫頻度の削減も実現可能ではないかと大いに期待している。

尚、この三春ダムでの実験は、独立行政法人 土木研究所、松江土建株式会社との共同研究の成果である。

最後に、国土交通省 東北地方整備局 三春ダム管理所には実験場所をご提供頂いたことを、この場をお借りしてお礼を申し上げます。

参考文献

- (1) 佐々木稔他, “底層環境改善のためのモニタリング技術と活用”, 環境システム計測制御学会誌, 第2号, 第7巻, 2002, p. 237-240
- (2) 楠田哲也 編著, “自然の浄化機構の強化と制御”, 技報堂出版, 1994, p. 111-120