

B-32

高濃度酸素水注入による貯水池の水質変化に関する現地観測

独立行政法人 ○津森ジュン 和田順之輔 田中 宏明、同済大学 李 建華
横川電機(株) 田中 克知 柴田 省三 松江土建(株) 福井真司

1. はじめに

湖沼やダム貯水池では、表層が温められる夏期には水温成層によって鉛直混合が抑制されるため底層では有機物分解等に伴い貧酸素化し、底泥から栄養塩、有機物、金属成分などの溶出速度が大きくなるため、これらの濃度が高くなる傾向があり¹⁾、富栄養化の促進に寄与していると考えられている。こうした底層での貧酸素化対策としては、浚渫の他、深層曝気が主に用いられてきたが、底層水の浮上、酸素溶解効率の改善などに課題があると考えられる。²⁾

著者らは、水温躍層を破壊することなく底層のみに飽和濃度を越える高濃度の溶存酸素を供給することに加え、水温躍層及び底層の水温、溶存酸素(DO)を連続モニタリングし自動制御することにより、効率的な酸素溶解機能を有する底層環境の改善を目的とした新しい高濃度酸素水注入システムの開発を行っている³⁾。

本研究では、同システムの有効性を確認するため、実際の貯水池で高濃度酸素水を注入することにより、水質変化がどのように起こるかを現地観測した。この結果、水温成層を維持したまま効率的な底層への酸素供給が行われていること、水温躍層を挟んで上層部が好気、嫌気、好気と互層構造になり、窒素濃度の嫌気層での低下が生じていることなどの知見を得たので報告する。

2. 現地実験

福島県三春ダム牛縊川前貯水池に高濃度酸素水注入システムを設置し、2002年7月23日から9月18日にかけて吐出条件を変化させた酸素供給実験⁴⁾を行った。牛縊川前貯水池は貯水容量約214千 m^3 、湛水面積約47千 m^2 、夏期平均水深約6.3mであり、高濃度酸素水注入システムの構成及び水質モニタリングの概要を図-1に示す。本システムは貯水池底層から低温の水を汲み上げた後、PSA酸素発生装置により発生させた酸素を圧力容器で溶解させ、DO濃度50mg/L以上とした高濃度酸素水を円盤形の吐出口より90 m^3/hr 又は30 m^3/hr の吐出量で貯水池底より50cm上に水平方向に吐出させ、多点の水温計とDOセンサ(横河電気, DO402G)により、モニタリングし、吸込DO濃度及び水温分布を制御条件として酸素水の供給制御を行った。

水質調査は図-1に示すA、B点とその他14地点、また流入及び流出地点で運転開始前後と運転状況に併せて適宜行った。調査項目はA、B点では携帯型多項目水質計(HORIBA, U-22XD)を用いて水深方向0.5mから6mまで50cm毎にpH、導電率、濁度、DO、水温、ORPを測定するとともに、バンドン採水器にて水深方向0.5m、1mから6mまでは1m毎に採水を行い $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_x\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、TN、DTN、TP、DTPとDOCについてそれぞれ自動分析装置(ブランルーベ, TRACCS2000)とTOC計(島津, 5000A)を用いて分析を行った。また、A、B点のその他の点では携帯型多項目水質計により水深方向0.5m、1.5m、3m、4m、5m及び6mにてpH、導電率、濁度、DO、水温、ORPを測定するとともに、流入、流出地点では採水分析を行い同様の項目の測定を行った。

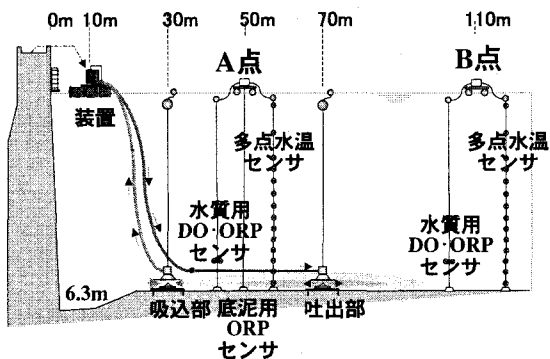


図-1 システム構成と水質モニタリングの概要

3. 実験結果

図-2にB点において湖底より50cm上(水深約5.5m)でセンサにより連続観測したORPとDO濃度の経時変化を示す。7月23日から7月28日にかけて酸素を溶解させずに流量90m³/hrの運転を行い、その後7月30日から8月11日に高濃度酸素水を流量90m³/hrで注入した。続いて8月12日から19日までは高濃度酸素水を流量30m³/hrで注入した後、8月19日に運転を停止した。酸素供給開始とともに底層でのDO濃度が上昇するとともに、運転停止に伴い徐々に酸素を消費している様子が確認できる。酸素供給中のDO濃度は約4mg/Lから約13mg/Lであり、この時、センサ位置での平均水温は15℃、飽和酸素濃量は約10mg/Lであり、底層中において過飽和が見られた。図-3、4に実験期間中のB点における水深方向の水温分布及びDO濃度の経時変化を示す。運転開始前の7月22日には貯水池の水深は平均約6.3mであり、前週の台風の影響によって明確な水温躍層は形成されていなかったが、上層と底層では10℃以上の水温差が生じていた。また、溶存酸素は水深4m以深では完全に消費されている状況となっていた。7月23日から7月28日にかけて酸素を溶解させずに流量90m³/hrの運転を行った結果、7月29日の水温データから明らかなように水温成層を破壊していないことを確認した。その後7月30日から8月11日に高濃度酸素水を流量90m³/hrで注入する実験を行った結果、図-3に見られるように水深4m以深の底層のみDO濃度が上昇し、中層に低酸素層が形成され、この溶存酸素構造は8月13日から15日の3日間に44mmの降雨がある時点まで継続した。また、この低酸素層(水深3から4m)では図-5に示すようにT-N、NH₄-N及びNO_x-Nの顕著な減少が確認された。

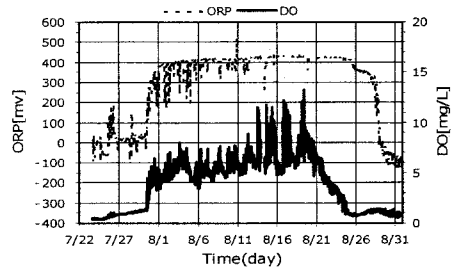


図-2 B点でのORPとDO濃度の経時変化

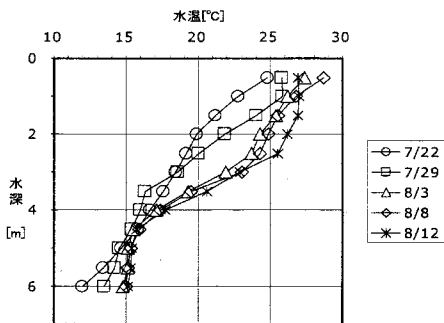


図-3 B点の水温鉛直分布の経時変化

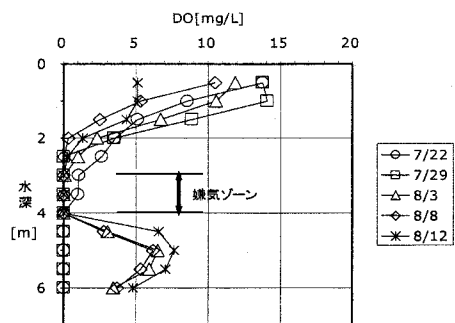


図-4 B点のDO鉛直分布の経時変化

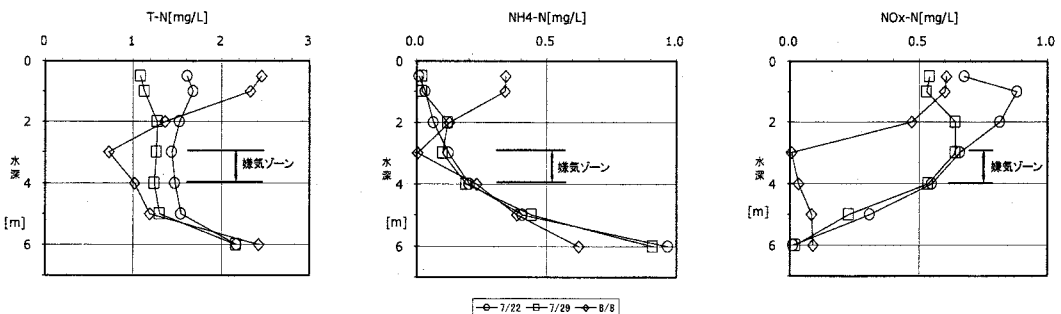


図-5 T-N、NH₄-N及びNO_x-Nの鉛直分布の経時変化

4. 底層部の酸素収支の試算

図一1に示す8月19日から8月25日までのD0濃度の変化は、中間層の低酸素層より下の水深4mから6.3mの底層で生じた酸素消費を示していると考え、底層部の水柱として高さ2.3m、底面積1.0m²について酸素消費量を計算した。8月19日に約10mg/LだったD0濃度が8月25日までの6日間に約1mg/Lまで減少していることから、1日あたり3,450mg・m⁻²・d⁻¹の酸素消費速度となる。これに対し7月30日から8月19日までに供給した酸素供給量はシステム吐出量、運転実績及び実験中に測定した吐出濃度46mg/L及び湖底面積約13,000m²から算定すると3,400mg・m⁻²・d⁻¹となる。これらを比較すると概ね収支が合う結果となったことから、上層部への酸素の移行が極めて少ないことが示唆され、本高濃度酸素水注入システムの酸素供給効率は良いと考えられた。一方、酸素消費要因について見ると、底泥及び水柱での酸素消費速度を室内実験で求めた結果⁵⁾から底泥は約1,200mg・m⁻²・d⁻¹(水温20℃)、水柱は約520mg・m⁻²・d⁻¹(水温20℃)であり、牛縊前貯水池においては底泥と水柱は同程度の酸素消費量であると考えられた。この結果からは現地観測の酸素消費が約2倍以上大きいこととなるため、現地観測結果の空間平均的な溶存酸素濃度の把握と室内試験による酸素消費速度の適用等に課題があると考えられた。

5. 結論

今回の実験により明らかになった知見は以下のとおりである。

- 1) 水温成層を維持することが可能であり、かつ効率的に底層への酸素供給が行われている。
- 2) 水面より鉛直方向へ好気、嫌気、好気と互層構造になった。

今後、より運転効率の適正化を図るため、酸素消費現象をより詳細に解明する必要があると考えられる。また、通常の貯水池では見られない好気、嫌気の互層構造が生じ、総窒素の低下も観測されたことから、この水質現象を解明する必要がある。

謝辞

今回の実験に関しては、国土交通省東北地方整備局三春ダム管理所の方々に多大なるご協力を頂きました。記して感謝します。

参考文献

- 1) 岩佐義郎編著：湖沼工学，山海堂，p. 279，1900
- 2) 道奥康治，神田徹，大成弘文博文，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.
- 3) 佐々木稔，田中宏明，李建華，和田順之輔，中村圭吾，柴田省三，田中克知，福井真司，底層環境改善のためのモニタリング技術と活用，環境システム制御学会誌，第7巻，pp. 237-240.
- 4) 田中克知，柴田省三，福井真司，田中宏明，佐々木稔，底質改善への気体溶解装置への適用(I)「気体溶解装置の適用とその制御」，第37回日本水環境学会年会講演集，p. 119，2003
- 5) 和田順之輔，津森ジュン，田中宏明，李建華，田中克知，柴田省三，福井真司，貯水池底質からの栄養塩溶出について，環境工学研究フォーラム講演集，2003