

VII-45

高濃度酸素水によるダム湖の水質改善に関する研究

岩手大学工学部 学生員 ○柳澤雄介
 岩手大学工学部 正会員 伊藤 歩 相沢治郎 海田輝之
 横河電機株式会社 川島 勇

1. はじめに

日本の多くのダム湖では、夏季に水温成層が生じる。底部付近に豊富に存在する有機物を分解するために酸素が消費されるが、成層化した表層水と深層水は混合されないで、底層は貧酸素状態となる。貧酸素状態では、底泥から栄養塩、有機物や金属などが溶出しやすくなる。本研究では、底層から湖水を汲み上げて、酸素溶解装置により強制的に酸素を高濃度に溶解させた後に、再び底層に吐出させるシステムを用いて底層の DO を回復させ、水質の改善効果を検討することを目的とした。

2. 調査地点及び調査方法

調査対象とするダムは、岩手県大船渡市三陸町にある総貯水容量 486,000m³ の多目的ダムの綾里川ダムである。調査期間は平成 16 年 8 月 25 日から平成 16 年 12 月 2 日で、この間に計 9 回の調査を行った。水質改善のために今回使用した装置は、圧力スイング吸着（Pressure Swing Adsorption: PSA）法を使用した酸素発生装置、気体溶解装置から構成されている。高濃度酸素水の吐出口の形状は、送水用のパイプに金属製の円盤を垂直に組み合わせたものであり、放射状に酸素水が放出される。本研究での調査地点の概略を図-1 に示す。堤体から 19m 地点の底層の湖水を汲み上げ、高圧の状態酸素を溶解させ、高濃度（DO が 30mg/l 前後）の酸素水を流量約 47L/min で堤体から 55m 地点の底層に再び戻した。調査地点は、堤体から 35、95、145m の地点をそれぞれ A、B、C とした。各地点において、底部から 0.5、1.0、2.0、3.0、5.0、10.0、15.0、20.0m、湖面から 0.5m 地点の湖水を採取した（但し、B、C 地点では 15、20m 地点を省いた）。現地では、上記採水地点の水温、DO、pH、ORP、EC を測定した（但し、底部から 0.5m 地点では水温と DO のみを測定した）。また、採水した試料を持ち帰り、T-Mn、溶解性 Mn、T-Fe、溶解性 Fe、T-N、NH₄-N、NO₃-N、NO₂-N、T-P、PO₄-P を測定した。なお、調査最終日には鉛直方向の混合が生じており、特に C 地点で顕著であった。

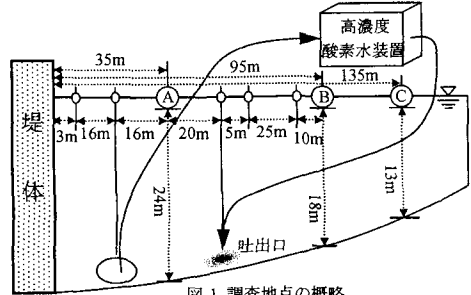


図-1 調査地点の概略

3. 調査結果及び考察

3.1 DO

図-2 に装置運転開始 0 日目の A、B、C 地点での DO の鉛直分布を示す。各地点において、湖面から水深 4m 付近までの DO は約 9mg/l で、水深 4~10m の間で DO が急激に減少し、A、B 地点の 15m 以深では DO はほぼ 0 であり、硫化物臭を呈していた。C 地点でも下層部は 1mg/l 以下であった。図-3 に A 地点での DO の鉛直分布の経時変化を示す。装置運転開始 5 日目より、底部から 2~3m 付近で DO の上昇が見られ、その後徐々に増加していき、最終的に、底部から 0.5m 地点で 3.3、2 及び 3m 地点で 9mg/l 程度まで上昇した。底部から 2~3m 地点での増加が最も顕著で、底部から 0.5、1m 地点での増加は緩やかであった。これは、底泥の酸素消費の他に、返送水のわずかな水温の上昇のためと考えられる。なお、調査最終日でも、B、C 地点の 15m 以深では DO の回復は見られなかったが、堤体から 3、19（汲み上げ口）、55（吐出口）、60、85m 地点では底層で DO の上昇が見られ、底部から 2、3m 地点（水深 23~24m）で DO が最大となった。これより、酸素水が吐出口からほぼ水平方向に広がっていたことがわかった。

3.2 ORP

図-4 に A 地点での ORP の鉛直分布の経日変化を示す。当初、底層部では ORP はマイナスで還元状態であったが、徐々に上昇し、プラス側に移行した。なお、B、C 地点では調査期間中に還元状態が進行していた。

3.3 Mn 及び Fe

図-5 に装置運転開始 0 日目の A、B、C 地点での溶解性 Mn の鉛直分布を示す。なお、全地点で T-Mn に対する溶解性 Mn の比は約 0.8~0.9 であった。A、B、C 各地点の底部から 1m 地点の濃度は、各々 2.4、1.2、0.96mg/l であり高濃度であった。図-6 に各地点の底部から 3m 地点の溶解性 Mn の経日変化を示す。ここでは、装置運転開始 15 日前

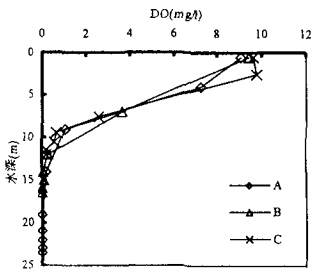


図-2 装置運転開始 0 日目の DO の鉛直分布

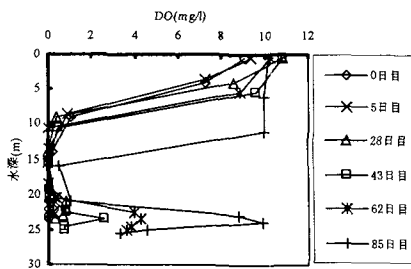


図-3 A 地点の DO の鉛直分布の経日変化

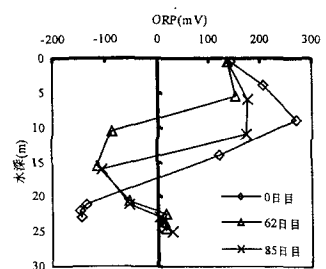


図-4 A 地点の ORP の鉛直分布の経日変化

と0日目の濃度の平均値を初期値 C_0 とし、 C_0 に対する比として示した。A,B,C 各地点の C_0 は 2.4、1.2、0.84mg/l であった。B,C 地点では、濃度は緩やかに増加し、装置運転開始 62 日目で初期値の約 1.7 倍となった。一方、A 地点ではほぼ横ばいで、装置運転開始 85 日目で約 1.1 倍となり、Mn の溶出が A 地点では抑制されたことが分かった。なお、C 地点の 85 日目で急激に濃度が低下しているが、これは鉛直方向の湖水の混合による希釈のためである。

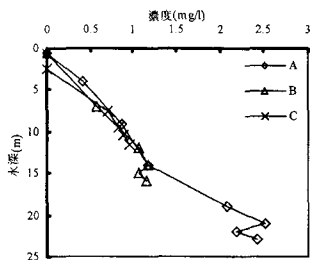


図-5 装置運転開始0日目の溶解性 Mn

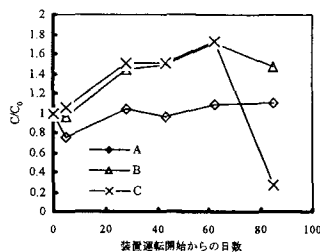


図-6 溶解性 Mn の経日変化

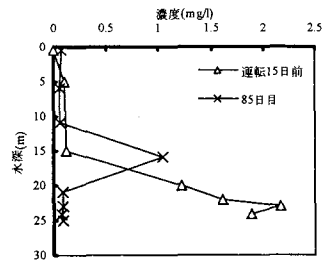


図-7 A 地点の溶解性 Fe の鉛直分布

図-7 に A 地点の溶解性 Fe の鉛直分布を示す。装置運転開始 15 日前では、表層の 3 地点は約 0.002~0.1 mg/l であり、水深 11m 以深では、徐々に濃度が増加し、底部から 2m 地点で 2.2 mg/l であった。一方、装置運転開始 85 日目では、表層の 3 地点は約 0.06mg/l となり、底部から 1、2、3、5m 地点では約 0.09mg/l となった。表層での濃度変化はほとんどないが、底層では最大で約 2mg/l と著しく減少した。なお、B,C 地点ではこのような濃度の減少は全く見られなかった。

3.4 $PO_4\text{-P}$ 及び $NH_4\text{-N}$

図-8 に A 地点の $PO_4\text{-P}$ の鉛直分布を示す。底層の 3 地点において、装置運転開始 0 日目は 0.035mg/l 付近に分布しているが、9 日目、43 日目と時間が経過するにつれ濃度が大きく減少し、85 日目では約 0.005mg/l まで減少した。図-9 に A,B,C 各地点での底部から 3m 地点の $PO_4\text{-P}$ の初期濃度に対する経日変化を示す。各地点の C_0 は 0.034、0.0046、0.0032 であった。装置運転開始から A 地点の濃度は緩やかに減少していき、85 日目では初期値の約 0.13 倍となった。一方、B 地点では、装置運転開始 9 日目の濃度が初期値の 2 倍を超え、以降その水準が続いた。C 地点では、装置運転開始から 62 日目で初期値の約 1.5 倍となった。底部から 1,2m 地点でも同様であった。前述したように、底層において溶解性 Fe が大きく減少したことから、 $PO_4\text{-P}$ と溶解性 Fe が反応し、 $FePO_4$ として析出したと考えられる。また、 $Fe(OH)_3$ としても析出しているとも考えられる。

図-10 に A,B,C 各地点での底部から 3m 地点の初期濃度に対する $NH_4\text{-N}$ の経時変化を示す。各地点の C_0 は 0.47、0.21、0.16mg/l であった。各地点とも緩やかに増加しており、62 日目では B,C 地点が 2.1、1.6 倍であるのに比べ、A 地点では 1.2 倍と低かった。底部から 1,2m でも同様な傾向が見られるので、A 地点の底層では $NH_4\text{-N}$ の増加が抑制されたといえる。なお、溶解性 Mn でも見られたように、調査最終日では急激に濃度が低下していた。

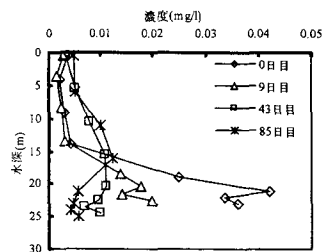


図-8 A 地点 $PO_4\text{-P}$ の鉛直分布の経日変化

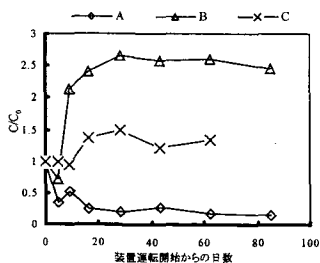


図-9 $PO_4\text{-P}$ の経日変化

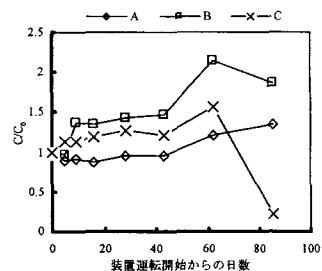


図-10 $NH_4\text{-N}$ の経日変化

4. まとめ

底層が貧酸素化したダム湖の底部に高濃度酸素水を供給することにより、底層部の DO が回復し、ORP を増加させることが出来た。さらに、溶解性 Mn の溶出の抑制、溶解性 Fe と $PO_4\text{-P}$ の濃度を大幅に減少することができた。

参考文献

- 1) 地下水水質の基礎, 日本地下水学科編, 理工図書
- 2) Water Treatment Plant Design, ASCE&AWWA, McGraw Hill, 1990