

底層への表層水供給による水質改善実験における最適供給流量の検討

九州大学工学部 学生員○堺 貴臣  
九州大学大学院工学研究科 フェロー 小松利光 正会員 藤田和夫 井上徹教  
学生員 長谷部崇 西元 誠  
西日本技術開発株式会社 正会員 井芹 寧

1. はじめに

ダム湖や貯水池などの閉鎖性水域では、富栄養化による水質悪化が大きな問題となっている。その原因の一つとして、夏期に形成される水温成層により底層部が貧酸素化し、堆積物からの栄養塩溶出量(内部負荷)が増大することが挙げられる。この問題の解決策として、溶存酸素(DO)の豊富な表層水を貧酸素化した底層部に送り込む水質改善技術が提案されている。本システムを用いたこれまでの研究から、底層部が貧(無)酸素化する夏期における水質改善効果はすでに証明されている<sup>1)</sup>。しかしながら、これまでの本システムにおける検討は、ある一定の供給流量に対するものであり、供給流量の水質改善効果に対する定量的な検討は行われていない。そこで本研究では、表層水の供給流量の異なる3つのケースについて現場実験を行った。また、この水質改善システムにより水質だけでなく底泥にも効果が表れることが予想されるため、未攪乱底泥コアを用いたバッチ系室内実験を行い、これらの結果をもとに水質底質改善に最適な流量について検討を行った。

2. 実験方法

(1)隔離水界実験現場実験

現場実験は2000年7月から8月にかけて、福岡県糟屋郡久山町に位置する井牟田池で行われた。井牟田池は最大水深約5.0m、面積約15,000m<sup>2</sup>の規模をもち、3月から10月までの期間は水温成層が発達して底層水は無酸素化する富栄養化した貯水池である。貯水池の中央部に、不透水性のシルトフェンスを用いて表面積10m×10mの隔離水界を設置した。隔離水界の中には、表層水を底層部に供給するシステムが備えられている。ポンプにより隔離水界中央部において獲得された表層水は隔離水界の外側水底に設置された熱交換器にパイプを通して送り込まれる。熱交換器は、供給水を内部に滞留させることによって、供給水の温度を底層部の水温に近づける。ここで熱を奪われた供給水は、隔離水界内に設置されたディフューザーにパイプを通して送り込まれ、底層水と混合される(図-1 参照)。

表層水の供給流量が、0.05l/sec(Case-1)、0.1l/sec(Case-2)、0.2l/sec(Case-3)の3つのケースについて、それぞれ約1週間、表層水を連続供給した。ポンプを稼働させている期間、多項目水質計(HYDROLAB-DS4a)を隔離水界中央部の水底から0.5mの位置に固定して水質の連続測定を行った。また、実験の前後に鉛直方向にも0.5m間隔で水質を測定した。測定項目は、水温、電気伝導度、DO濃度、pH、濁度、酸化還元電位、水深およびChl.a濃度である。さらに採水による分析調査として、それぞれの実験の前後に水底から0.5mの位置で採水をし、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Nの濃度を測定した。

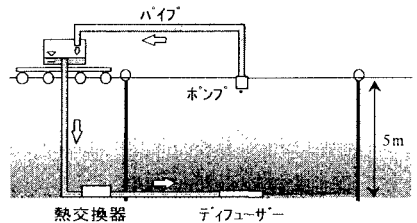


図-1. 隔離水界概略図

(2)コア-バッチ系室内実験

a)栄養塩溶出実験；隔離水界中央部において採取した未攪乱底泥コアを3サンプルとリファレンスとして底泥がなく窒素曝気した現場ろ過水で満たされたコアを1サンプル使用し、コア-バッチ系室内実験を行った(図-2 参照)。夏期における底層の環境を再現するため、底泥コアは20℃に温度を保ち、暗条件とした。実験開始から1,2,3,4,6,9日目に採水を行い、栄養塩濃度を測定し、その変化量から栄養塩溶出速度を算定した。採水直前のみ水を攪拌し、採水後は窒素曝気した現場ろ過水を採水量と同量だけ緩やかに加えた。

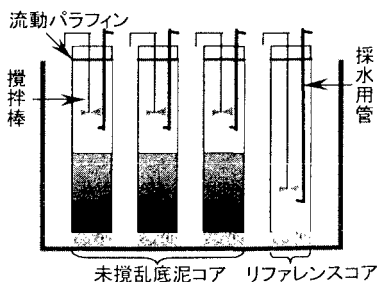


図-2. コア-バッチ系室内実験概略図

b)底泥による酸素消費速度(SOD)測定実験；実験条件は、栄養塩溶出実験と同様としたが、直上水には空気曝気した現場ろ過水を使用した。実験開始から6日間、毎日採水を行い、DO濃度の測定をし、その変化量からSODを算出した。

### 3. 実験結果および考察

図-3 に実験開始( $t=0$  と定義)から 4 日目までの底層での DO 濃度の経時変化を示す。Case-1 の DO 濃度は、実験開始からほぼ一定で  $0.1\text{mg/l}$  と低い値をとっており、表層水供給の影響は表れていないと思われる。Case-2 では、実験開始から DO 濃度が徐々に増加し、極大に達した後、DO 濃度が減少していく傾向が見られる。Case-3 では、Case-2 と比較すると、実験開始直後の DO 濃度の増加が顕著であるが、極大に達してからは同様に減少傾向にある。表層水の供給流量が一定であることから、これらの DO 濃度の変化には底泥の酸素消費が大きく影響していると考えられる。ここで、室内実験の結果として、SOD と DO 濃度の関係を図-4 に示す。図中のプロットの傾向を見ると、DO 濃度の増加に伴い SOD 値も増加する関係にあることがわかる。この関係から、図-3 の DO 濃度の変化について考えてみる。無酸素状態の底層水に表層水が混合されることにより DO 濃度が増加する。これに伴う底泥の活性化により SOD 値も増加し、約半日後を境に SOD が供給される酸素量を上回る。そのため、供給された以上の DO が底泥によって消費される。これに伴い底層の DO 濃度は次第に減少していくが、このとき SOD が DO 濃度に依存していることから、SOD も減少し始める。そして、SOD と供給水からの酸素供給速度が釣り合った定常点に近づいたものと考えられる。Case-2 と Case-3 では、DO 濃度の時間変化は定性的には同様の傾向を示すが、SOD が供給酸素量を上回る点(極大点)に達するまでの時間には差が生じている。これは、供給流量が多いほど表層水と底層水が混合しやすいため、DO 濃度の増加割合が大きくなり、底泥の酸素消費が活発になるまでの時間も短くなったためと考えられる。また、図-3 において一時的に DO 濃度が不安定な期間がいくつか見られる。その原因として、熱交換器の冷却能力は一定であるのに対し、昼夜の表層水に温度差が生じるため供給水の密度が変化したことなどが考えられるが、現時点では明らかでない。

図-5 に隔離水界において、実験の前後に採った水の  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  濃度についての分析結果を示す。Case-1 と Case-3 では  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  濃度の減少が確認でき、効果が表れているものと考えられる。Case-2 において、実験前の  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  濃度が低いのは、実験開始数日前にディフューザーの点検を行ったときの鉛直混合による影響が考えられる。図-6 に栄養塩溶出実験の結果として  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  濃度の経時変化を示す。時間の経過と共に  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  濃度が増加しており、約  $20\text{mg/m}^2\text{/day}$  の溶出速度を持つことがわかる。Case-2 においても、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  濃度の増加は見られないので底泥からの  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  の溶出は抑制されていたものと考えられる。

### 4. 結論

現場実験の DO 濃度に関しては、Case-1 ではほとんど影響が見られなかった。また、Case-2 と Case-3 では、底泥が活性化するまでの時間に差が生じるものの、定常状態に近づけば DO 濃度にそれ程大差はないことがわかった。また、どのケースにおいても  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  の溶出抑制効果は表れていたが、実験後の  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  濃度の値を比較すると供給流量の多い順に溶出抑制効果が大きいことがわかった。

参考文献 1)小松利光, 岡田知也, 中村由行, 中島信一, 長谷部崇, 藤田和夫, 井芹寧: 閉鎖性水域底層への表層水供給による水質改善効果, 海岸工学論文集, No.46, pp.1111-1115, 1999.

2)中村由行, 井上徹教, 山室真澄, 神谷宏, 石飛裕: 未攪乱底泥コアを用いた連続培養系での酸素消費・溶出試験, 海岸工学論文集, No.43, pp.1091-1095, 1996.

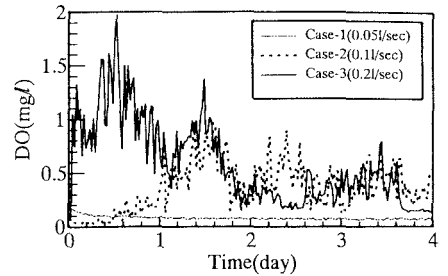


図-3. DO 濃度の経時変化

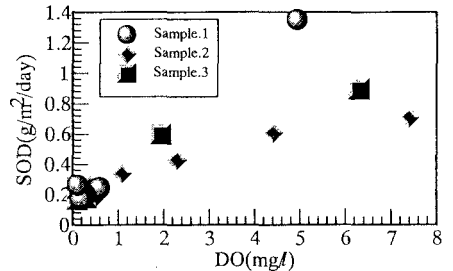


図-4. SOD と DO 濃度の関係

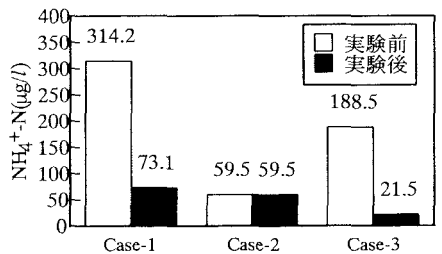


図-5. 現場実験前後での  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  濃度

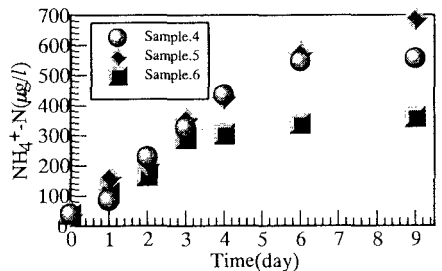


図-6.  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  濃度の経時変化