

第Ⅱ部門

貯水池中層部の貧酸素化に関する水質シミュレーション

神戸大学工学部
 (株)東日本旅客鉄道
 神戸大学大学院

フェロー会員 道奥 康治
 正会員 小谷 英之
 学生会員 釜谷 知佳

1. 研究の目的

貯水池の貧酸素化は、底泥堆積層からの栄養塩・金属の嫌気的な溶出や、浄化効率の低下など、様々な水質障害をもたらす。本研究で対象とする貯水池では、深水層の貧酸素化対策として深層曝気が実施されているが、近年、曝気効果が到達しない水温躍層の上面での酸素消費が顕著になり、中層部での貧酸素化が深刻化している。本研究では、鉛直次元の水質解析モデルを用いて水質挙動を再現し、中層における貧酸素化の機構を明らかにする。

2. 水質モデルの概要

本研究で用いる水質シミュレーションモデルでは、貯水池内を N 層に分割し、各層の水温、密度、水質濃度に関する収支を水質生態系過程に基づいて定式化されている。層の標高・厚さは池内の移流や混合など水理現象にともなう体積収支に応じて伸縮、上下移動する Lagrange 型の層モデルである。本モデルは、貯水池内外の物理現象が定式化された①水理モデル、生物化学的反応に伴う水質成分の生産・消費が定式化された②水質生態系モデル、図-1 の沈水式深層曝気装置による水中の酸素収支と曝気循環を再現した③曝気モデルから構築されている。

3. 沈水式曝気装置のモデル化

沈水式曝気装置にともなう流れ・混合と酸素収支を図-1 のようにモデル化する。沈水式曝気装置は装置の下端に設置された散気管から送気し、曝気筒内の水と気泡群とともに上昇させて水中へ酸素を供給する深層曝気装置である。モデルでは、気泡上昇に伴う気液混相ブルームが気相流（空気）と液相流（連行水）からなると考える。高さ z における気相流量を $Q_a(z)$ とし、液相流量は装置下端の連行流量 Q_{in} に等しいと考える。高さ z における気相から液相への単位時間当りに溶解する気体体積（溶解流量）を $Q_d(z)$ とする。つまり、装置内を通過する過程において連行水（液相）には単位時間当り $\int Q_d(z) dz$ の酸素が供給され、貯水池水へ吐出される。

(1) 高さ Z における気相流量： $Q_a(Z)$

$$Q_a(Z) = \left(\frac{P(z_b)}{P(Z)} \right)^{0.71} \cdot Q_{diff} - \int_{z_b}^Z \left(\frac{P(z)}{P(Z)} \right) \cdot Q_d(z) dz \quad (1)$$

ここで、 $P(z)$ (kPa) は高さ z (m) における絶対圧力、 Q_{diff} (m³/sec) は地上での送気量をエアレータの設置水深に換算した送気量（実送気量）である。

(2) 高さ z における溶解流量： $Q_d(z)$

$$Q_d(z) = \pi d_b \cdot N(z) \cdot v_w(z) \quad (2)$$

ここで、 $v_w(z)$ (m/s) は気泡の溶解速度、 d_b (m) は気泡の平均直径、 $N(z)$ は気泡個数である。

上式は、気泡溶解量が [気-液境界面の表面積] × [気泡個数] × [気泡溶解速度] であることを表す。

4. 水質の再現

貯水池の深層曝気が開始された後の 2003 年における貯水池水質の観測結果とモデルによる再現結果を図-2,3 に示す。図-2 から、季節変化に伴う水温の増減や、躍層の標高等の水温構造に関する観測結果がモデルによってほぼ良好に再現されていることがわかる。溶存酸素濃度について見ると、図-3 から中層における貧酸素化や、深層

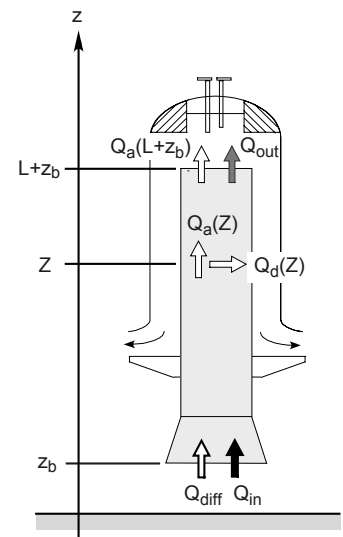


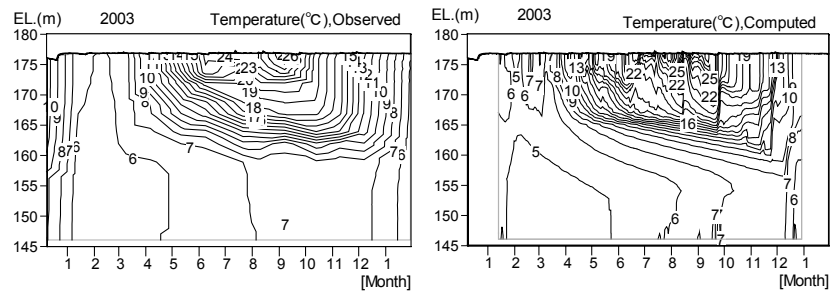
図-1 沈水式曝気装置

曝気による深水層の貧酸素水塊の解消などが再現されており，対象貯水池の酸素環境をほぼ再現していると判断される。

5. 中層貧酸素化メカニズムの解明

水質解析を試みた 2003 年の解析結果に基づいて中層の酸素消費メカニズムを考察する．本研究で用いた溶存酸素濃度の収支には，図-4 に示す水質素過程が反映されている．この中でも貧酸素化をもたらす要因となる各酸素消費項，植物プランクトン(CP)の呼吸・死滅，非生物態有機物であるデトリタス(DT)の好氣的分解， NH_4 から NO_3 への硝化，底泥堆積層の有機物分解・金属溶出の 4 つの現象による酸素消費量の中層 (EL.165 m) における時系列変化を図-5 に示す。

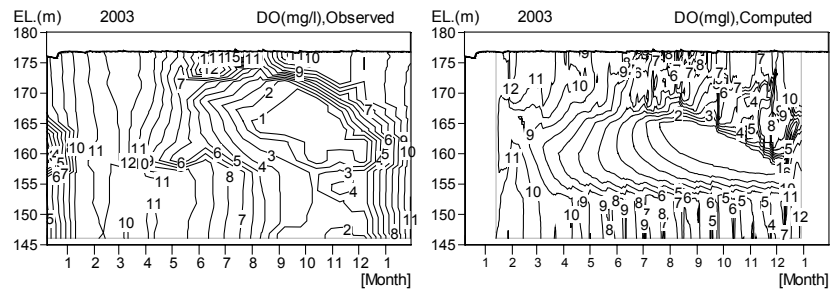
放熱期においては，底泥堆積層，及びデトリタス DT の分解による酸素消費量が他の成分より卓越し，受熱期には DT の好氣的分解による酸素消費量が卓越することがわかる．底泥による酸素消費は，底泥堆積面における拡散現象として記述されており，底泥の DO は周期的に 0 であることから常に酸素消費があると仮定されている．そのため貯水池水の DO が豊富な放熱期において，酸素消費が過大に評価される．次に DT の酸素消費を詳細に見るため，図-6 に DT (解析値) の季節変化を示す．図-6 から受熱期において値が増加するのは，有機物生産量の増加や，水温上昇に伴い好氣的分解が活発であるためと考えられる．受熱期において DT は躍層上部に滞留し，その後，躍層位置の低下に伴い深水層へと降下している．DT の供給源となる有機物(ON,OP)の沈降は，ストークスの抵抗則により記述されているため，水温躍層の発達にともなう密度勾配の急増が沈降速度の低下をもたらし，躍層上部における有機物の滞留とそれによる酸素消費を促進している (図-7)．以上より中層貧酸素化メカニズムについてまとめると，放熱期においては底泥堆積層，及び DT の好氣的分解の相乗作用により酸素が消費され，受熱期に内部生産が活発になると，安定度を増した躍層付近に有機物が浮遊し，好氣的分解が酸素消費を加速することが明らかとなった。



(a) 観測結果

(b) 解析結果

図-2 水温のコンター図 (2003 年)



(a) 観測結果

(b) 解析結果

図-3 溶存酸素濃度 DO のコンター図 (2003 年)

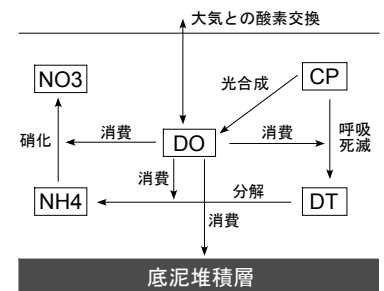


図-4 貯水池における DO 収支

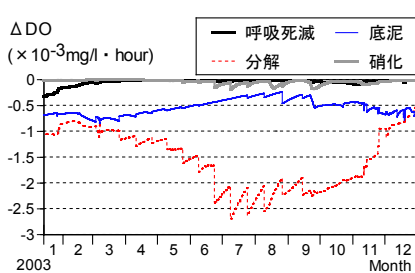


図-5 中層の酸素消費

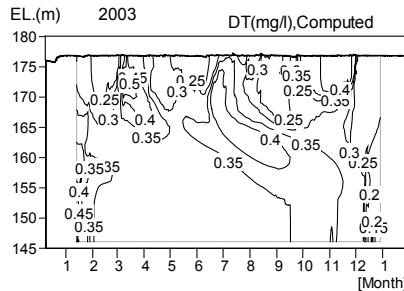


図-6 デトリタスのコンター図

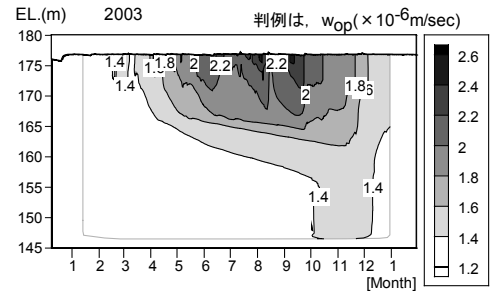


図-7 沈降速度 OP のコンター図