

貯水池の熱塩循環におよぼす深層曝気の影響

神戸大学大学院 学生員 ○酒谷 祐輔
 神戸大学工学部 正会員 道奥 康治
 神戸大学大学院 学生員 西口 祐輝
 神戸大学大学院 学生員 佐々木茂太

1. はじめに

富栄養化が進行した貯水池においては深水層が貧酸素化し、様々な水質障害が生ずる。受熱期に貧酸素層が拡大すると広範囲の湖底潤辺から塩分が溶出し、周囲水の比重が増加して発生する密度流は、塩分とともに熱を底層へ輸送する¹⁾。本研究では、深層曝気により、貧酸素水を縮小させ熱塩プルームの発生抑制する水質浄化の効果を水質モデル解析によって考察する。

2. 熱塩プルームモデル

熱塩プルームによる底層への熱塩輸送現象を以下のようにモデル化した²⁾。溶存酸素濃度 DO が 2.0mg/l 以下になると、プルームが発生するとみなす。図-1,2 のように、底泥からの塩分溶出、周囲水からの水温・体積・各水質項目の連行を考慮して、プルームの熱塩輸送を再現し、底層への汚染物質の滞留、逆転水温成層の形成など諸現象との関連性を検討する。

3. 曝気循環混合モデル

図-3 のように、気液混相の気泡噴流を気相（空気）と液相（連行水）に分けて考え、高さ z_j における気相の流量を Q_{aj} 、液相の流量を Q_{pj} とする。また、第 j 層において、気泡噴流（直径 D_j ）へ取り込まれる周囲水の流量を ΔQ_{pj} 、気泡噴流から周囲水へとけ込む空気量（曝気量＝溶解流量）を Q_{dj} 、密度、水質濃度を (ρ_j, C_{ij}) とする。気泡噴流による第 j 層での浮力フラックス B_j は $B_j = gQ_{aj} - g(\rho_{pj} - \rho_{j-1})/\rho_{j-1} \cdot Q_{pj-1}$ である。ここで、 ρ_j は貯水池第 j 層の密度、 ρ_{pj} は気泡噴流の液層の密度である。また、この時 B_j が負に転じると、プルームが水平に貫入する。第 j 層における水圧を p_j 、 P_{air} を大気圧とすれば、第 j 層での気相流量 Q_{aj} は $Q_{aj} = (P_{j-1}/P_j)^{0.71} Q_{aj-1} - Q_{dj}$ で表される。気泡噴流の液相は第 j 層毎に周囲水から ΔQ_{pj} だけ連行される。よって、 Q_{pj} (ρ_{pj} , $C_{pi,j}$) だけの質量、物質量が第 j 層へ加わる。また、第 j 層の酸素溶解流量 Q_{dj} は、溶存酸素 DO の収支式に考慮され、[気-液境界面の表面積] × [気泡個数] × [気泡の溶解速度] とし、 $Q_{dj} = 4\pi d_j N_j v_{wj}$ で表わす。ここで、気泡の溶解速度は v_{wj} 、気泡の平均直径は d_j 、気泡個数は N_j とする。

4. 熱塩輸送量の算定

(1) 無次元流量 Q'_p

熱塩プルームの流量 Q'_p （無次元表示）は著者らの理論³⁾に基づいて $Q'_p = \tan\beta \cdot \delta_p'^2 \cdot u_p'$ で表される。ここで、 β はプルームを三角形断面と考えた場合の最深部角度である。さらに層厚 δ_p' 、流速 u_p' は $\delta_p' = 3.2s^{1/5}$, $u_p' = 0.39s^{3/5}$

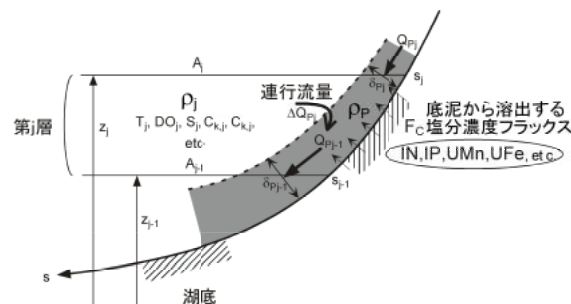


図-1 熱塩プルームモデル

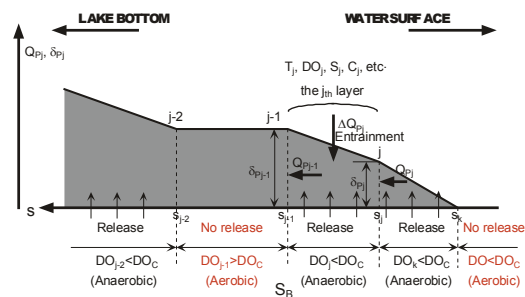


図-2 塩分溶出

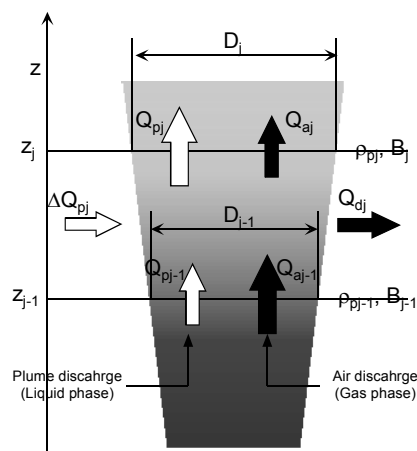


図-3 曝気循環混合モデル

キーワード：熱塩プルーム、深層曝気、熱塩輸送量

連絡先：〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 Phone: (078)803-6056, FAX: (078)803-6069

で表され、 s' は無次元流程距離である。

(2) 総熱輸送量 Θ_T

プルームが有する熱エネルギーの指標としてプルームの水温 T_p と貯水池第1層（底層）の水温 T_l との差 ($T_p - T_l$) をとり、 Q'_p を乗じてプルームの熱輸送量を計る指標とする。よって総熱輸送量 Θ_T は $\Theta_T = Q'_p (T_p - T_l)$ で表される。図-4 に2002年における総熱輸送量 Θ_T （計算値）と水温（計算値）の季節変化を示す。

(4) 塩分輸送量 ϕ_s

熱塩プルームによる塩分輸送量はプルーム底層（第1層）との塩分濃度差($S_p - S_l$)と Q'_p との積 ϕ_s によって、 $\phi_s = Q'_p (S_p - S_l)$ のように定義する。図-5 に2002年における塩分輸送量 ϕ_s （計算値）と塩分（計算値）の季節変化を示す。

5. 解析結果

図-6 において、曝気循環を考慮することにより水温構造の変化が再現できている。また、底層付近の貧酸素領域の縮小が再現できている。同様に、図-4,5 において、熱塩プルームの発生標高が低くなるとともに、熱塩プルームによる底層への熱塩輸送量が減少している。このことから溶存酸素量の制御と熱塩輸送量の関係を確認できる。

<参考文献>

- 1) 道奥・神田・石川：土木学会論文集 No.740/II-64,2003年
- 2) 道奥・松尾・香川・斉藤：水工学論文集，第47巻，2003年
- 3) 道奥・藤田・高橋・藪本：水工学論文集，第45巻，2001年

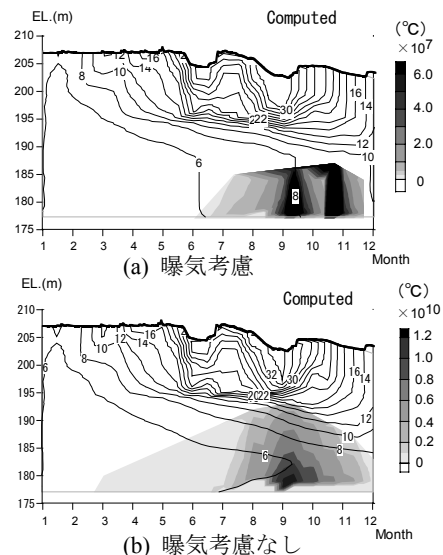


図-4 総熱輸送量（2002年）

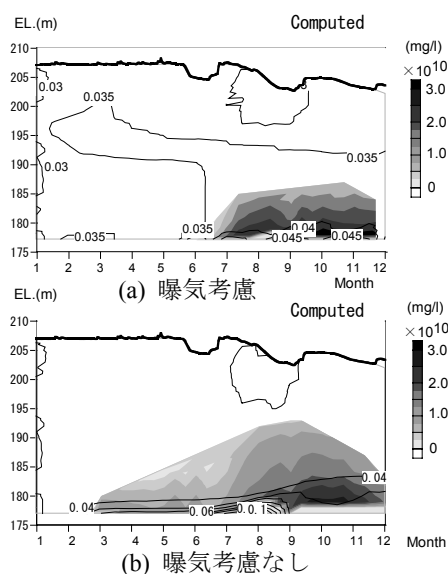


図-5 塩分輸送量（2002年）

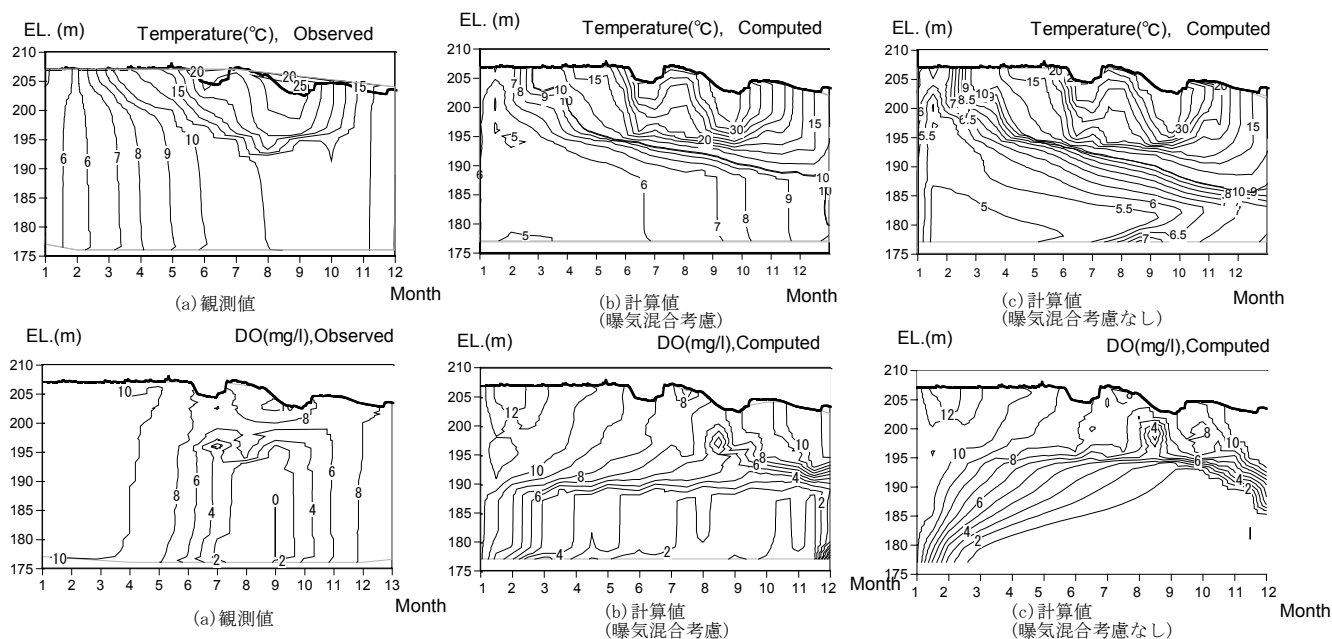


図-6 水温、溶存酸素の季節変化（Sダム2002年）