

1. はじめに、貯水池など閉鎖水域における富栄養化対策の1つとしてエアレーションによる曝気循環が考えられ、一部では既に実施されている所もある。しかしながら、その水質改善効果については必ずしも明らかでない。本報は、このエアレーションによる水質改善効果に関する課題を、水理学的立場より明らかにすることを目的に、富栄養化関連水質に及ぼす流れの影響を数値解析手法を用いて検討したものである。

2. エアレーションに伴う流れ

エアレーションに伴う流れは、曝気方式、曝気水深、注入空気量、周囲水の密度(温度)分布などによって影響されるが、その挙動の解明は未だ十分でなく、重要な研究課題の1つとなっている。ここでは、著者らが開発を進めているこうした流れの数値解析手法を用いて流れを仮定し、以下の解析を行うことにする。対象とする流れの場は、直径20m、水深16mの開鎖水域を想定し、図-1に示すような空間分割を行う。円筒座標系を用い、図-1に示したコントロール・ボリュームについて展開された水の連続式、運動量保存則、水温収支則及び気泡密度収支則を使って、水深8.5mの位置に連続的に $3.5 \times 10^6 \text{ Nm}^3/\text{min}/\text{m}^2$ の空気を注入した際の流速分布を計算する。この数値解析モデルの詳細については既に報告しているので、ここでは省略するが、静水圧分布を仮定し、気泡のslipを無視した単純化モデルである。得られた結果は図-2に示すようであるが、流速値自体はともかくとして定性的にはほぼ妥当であることが確認されている。

3. 富栄養化関連水質の解析法

2.で述べたエアレーションに、伴う流れの場において富栄養化に関係が深いと考えられるフロロフィルQ(植物プランクトン量の指標)、炭素(動物プランクトン量の指標)、無機及び有機態窒素、無機及び有機態リン、COD、濁度の8水質項目及び水温の変化を解析する。そのための数学モデルは、著者らが既報で報告しているものと同様であり円筒座標系を用いたとき、次のように示される。なお水温の収支則は既報と同一であり、ここでは省略する。

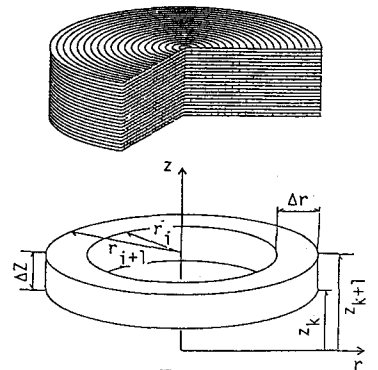


図-1 解析に用いたコントロール・ボリューム

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \frac{2}{r_{i+1}^2 - r_i^2} \left| C_i v_r \right|_{r=r_i}^{r=r_{i+1}} + \frac{1}{\Delta z} \left| C_i v_z \right|_{z=z_k}^{z=z_{k+1}} = \frac{2}{r_{i+1}^2 - r_i^2} \left| r D_{ciz} \frac{\partial C_i}{\partial r} \right|_{r=r_i}^{r=r_{i+1}} + \frac{1}{\Delta z} \left| D_{ciz} \frac{\partial C_i}{\partial z} \right|_{z=z_k}^{z=z_{k+1}} + S_{ci}$$

ここに S_{ci} は濃度の発生、消滅項及び沈降項であり、各水質濃度、すなわちフロロフィルQ濃度 C_p 、炭素濃度 C_x 、無機、有機態窒素濃度 C_{IN} 、 C_{IO} 、無機、有機態リン濃度 C_{IP} 、 C_{IO} 、COD濃度 C_{COD} 、濁度 C_{SS} について以下のようである。

$$C_p: \quad S_{Cp} = (G_p - D_p) C_p + \frac{1}{\Delta z} \left| C_p \cdot W_{Cp} \right|_{z=z_k}^{z=z_{k+1}}, \quad \text{ここに } G_p = S_p \cdot R_p \cdot \theta_p^{T-20} \cdot \frac{I_s}{I_s} \exp\left(1 - \frac{I_s}{I_0}\right) \cdot \frac{C_{IN}}{K_{IN} + C_{IN}} \cdot \frac{C_{IP}}{K_{IP} + C_{IP}}$$

$$D_p = R_{Cp} \cdot \theta_{Cp}^{T-20} + C_g \cdot \frac{K_{Cp}}{K_{Cp} + C_p} \cdot C_x$$

$$C_z; S_z = (\alpha Q_z G_z - D_z) C_z, \text{ここに } C_z = C_0 \frac{K_{op}}{K_{op} + C_p} \cdot C_p, D_z = R_z \cdot \theta_z^{T-20}$$

$$C_{IN}; S_{C_{IN}} = -\beta G_p C_p + \beta (1 - Q_z) G_z C_z + R_N \theta_N^{T-20} (C_{ON} - \beta C_p - \gamma C_z) + \frac{E_{C_{IN}}}{\Delta z}$$

$$C_{ON}; S_{C_{ON}} = \beta G_p C_p - \beta (1 - Q_z) G_z C_z - R_N \theta_N^{T-20} (C_{ON} - \beta C_p - \gamma C_z) + \frac{1}{\Delta z} [(C_{ON} - \gamma C_z) \cdot W_{C_{ON}}]_{z=k}^{z=k+1}$$

$$C_{IP}; S_{C_{IP}} = -\delta_p \cdot G_p \cdot C_p + \delta_p (1 - Q_z) G_z C_z + R_p \theta_p^{T-20} (C_{op} - \delta_p C_p - \delta_z C_z) + \frac{E_{C_{IP}}}{\Delta z} + \frac{1}{\Delta z} [C_{IP} \cdot W_{C_{IP}}]_{z=k}^{z=k+1}$$

$$C_{op}; S_{C_{op}} = \delta_p \cdot G_p \cdot C_p - \delta_p (1 - Q_z) G_z C_z - R_p \theta_p^{T-20} (C_{op} - \delta_p C_p - \delta_z C_z) + \frac{1}{\Delta z} [(C_{op} - \delta_z C_z) \cdot W_{C_{op}}]_{z=k}^{z=k+1}$$

$$C_{COD}; S_{C_{COD}} = K_p \cdot G_p \cdot C_p - f_c C_{COD} + \frac{E_{C_{COD}}}{\Delta z}$$

$$C_{SS}; S_{C_{SS}} = \frac{1}{\Delta z} [C_{SS} \cdot W_{C_{SS}}]_{z=k}^{z=k+1}$$

なお、各式の記号は、一部を除けば既報の通りであり、紙面の都合上ここでは省略する。各水質濃度収支則を手えられた離条件の下で、Runge-Kutta法を用いて数値解析すれば、その変化が求まることになる。

4. 解析結果とその考察

図-2に示された流速場は、 Δt 及び Δz を1.0mとして計算されたものであるが、その値をそのまま用いると数値解の安定条件より Δt が4秒程度となり、膨大な計算時間を必要とする。このため水質解析にあたっては、 $\Delta t = \Delta z = 2.0m$ とし、得られた流速値を平均化して用いることにした。計算は、動物プランクトン濃度、COD、濁度を除く各水質濃度の初期値、気象条件に実際の貯水池における実測値を用い、各濃度の生成、消滅係数及び拡散係数は過去の経験により十分に調整された値を用いた。なお、比較のために、静水状態で拡散のみを考えた場合についても同様の計算を実施した。

図-3は以上のようにして得られた結果の一例である。各図には、計算開始時より48時間後の水温、フロロフィル α 、無機態窒素及びリンの各計算値と初期値を示している。同図より、鉛直流が卓越する曝気位置を含むカラムにおいて、各計算値は、水深方向の混合効果により、ほぼ一様となっているのに対し、流速の小さい最遠部(20m地点)では、そうした効果が比較的小さく、静水状態との差はみだれずかであることがわかる。しかしながら、水温及びフロロフィル α の分布については、最遠部でも循環流の存在によって、表水層での低減効果が認められる。しかし、こうした効果がどこまで物流混合によるのか、またそれに伴う各水質濃度変化が生物・化学的变化にどの程度寄与しうるかについては、より長期間のシミュレーション結果をみなければならぬ。今後、より実際に近い条件下での長期間の解析を進め、課題の解明を図っていきたい。

参考文献

○——初期値 ———静水状態 ---流水のある場合(曝気位置) ---流水のある場合(曝気との位置より20mの地点)

1) 松尾他: 空気をアルム
の数値解析, 第38回年講
概要集, 1983
2) 岩佐他: 貯水池における
富栄養化の数値解析
京大防災年報 24-B, 1981

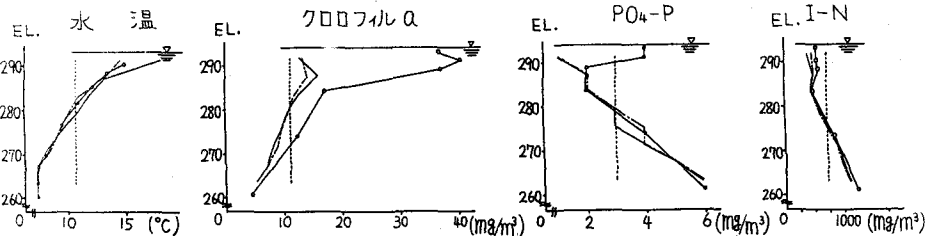


図-3 水温及び水質濃度分布の比較(48時間後)