

水温成層を有する貯水池での水質浄化装置を考慮した水質モデルの構築

中国電力株式会社 正会員 ○石田 泰隆
呉工業高等専門学校 正会員 黒川 岳司

1. 序論

貯水池の水質汚濁を解決するための水質浄化装置の一つに流動促進装置がある。装置を導入することで、貯水池の底層付近での貧酸素状態が改善されることが期待されるが、導入例は多くなく、効果の評価も十分とはいえない。そこで本研究では、貯水池内の水理・水質現象を把握するために水質モデルを構築し、水質挙動を明確にすることで、装置稼動時の水質改善効果について定量的に評価することを目的とした。

2. 対象貯水池と水質改善装置の概要

対象とする貯水池は平均水深が約 6m、最深部が約 10m、総貯水量が約 112000m³の一般的なため池である。対象貯水池には最深部付近の近浮体部と水流発生部から成る流動促進装置（（株）共立「みずきよ」、型式：Mk-III）が設置されている。浮体部にはポンプが設置されており、表層水を湖底に設置してある水流発生部へと圧送している。運ばれてきた表層水は、水流発生部において後方から周囲水を吸引することで、周囲の底層水と攪拌混合しながら水平方向へと噴出される。装置の効果は、底層水の貧酸素化を防ぐとともに、水平方向への噴流により装置の効果は遠方にまで及ぼさせるというものであり、鉛直混合を生させることで水温成層を弱める。

3. 貯水池水質変化モデル

水質改善装置による水質の改善効果を、既往の研究の流動・水質モデル¹⁾を用いて検討する。モデルは鉛直 1 次元とし、溶存酸素収支モデルと、鉛直循環モデルから構成される。

3-1 溶存酸素収支モデル

本研究で使用するモデル式では溶存酸素濃度 DO(mg/l)を水質の指標として用いる。植物プランクトンの光合成による酸素生産、呼吸や死滅、死滅後沈降しながらデトリタスとして受ける分解時における酸素消費、拡散による酸素の拡がり、表層での再曝気、底泥での酸素消費といった影響を考慮して溶存酸素収支の計算を行った。

3-2 貯水池での水温収支モデル

対象貯水池と同様の一季成層型の貯水池を対象としたモデルである次の Dake-Harleman 式によって、水温分布を求めた。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = K_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \frac{1}{\rho_w C_w} \frac{\partial q(z)}{\partial z} \quad (1)$$

ここで、 $q(z)$ は式(1)に基づいてパラメータ化された水深方向への日射エネルギーの透過に関する関数であり、 $T(^{\circ}\text{C})$ は水温、 $K_z(\text{m}^2/\text{s})$ は鉛直渦動粘性係数、 $t(\text{sec})$ は時間、 $D(\text{m}^2/\text{s})$ は拡散係数、 $\rho_w(\text{kg}/\text{m}^3)$ は水の密度、 $C_w(\text{J}/^{\circ}\text{C}/\text{g})$ は水の定比熱容量である。また、日射エネルギーは太陽の動きに依存した短波日射量と、気温と風速に依存する蒸発熱量の差が支配的な役割を占める。

3-3 水表面の水温低下による鉛直混合

表層の水温低下に伴う鉛直混合を、図-1 に示すような単純なモデルに置き換えた。モデルは鉛直 1 次元とし、水平方向からの影響は一樣とした。上層の水温 T_n が水温の低下に伴い下層の水温 T_{n+1} を下回る場合、密度差の発生によって T_n と T_{n+1} は鉛直混合される。このとき、水温・DO、Cp、Dt といった各ポテンシャルは $(T_n + T_{n+1}) / 2$ として計算が実行される。

3-4 風による乱れ

風による水面との摩擦力から水域内において流れが発生する。この流れによって、水域内の鉛直混合が発生する。計算では、まず風の応力による鉛直流速分布を求めた上で、流速分布と密度分布から、成層の安定・不安定の指標であるリチャードソン数 Ri を算出し、鉛直渦動粘性係数 K_z を導いた。式(2)に鉛直渦動粘性係数を求める式を示す。

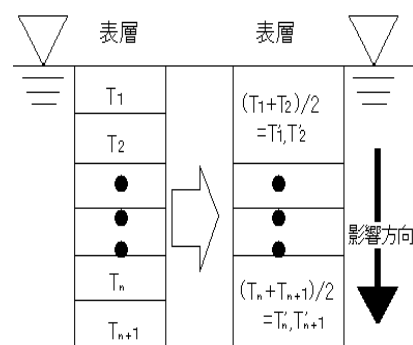


図-1 水表面水温低下による鉛直混合モデル

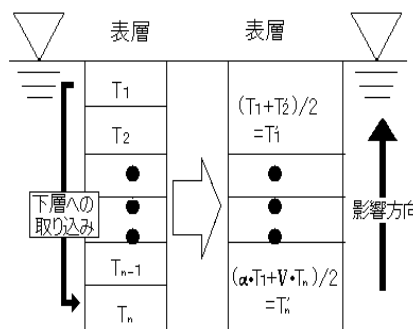


図-2 水質改善装置による鉛直混合モデル

$$K_z = K_{z0} f(R_i) \quad (2)$$

ここで、 $K_{z0}(m^2/s)$ は中立状態における鉛直渦動粘性係数、 $f(R_i)$ はリチャードソン数の関数である。

3-5 水質浄化装置による鉛直循環モデル

水質浄化装置は表層付近の溶存酸素の多い水をポンプによって底層に送っている。したがって、図-2 に示すように、底層において高温で密度の小さい水(T_1)が、底層の低温で密度の大きい水(T_n)と混合される。この結果生じる浮力による混合は、各層の間の密度差により区別し、不安定状態($T_i < T_{i-1}$)となった混合上下層の平均化を実行し、安定状態($T_i > T_{i-1}$)では送水量分だけ混合されるものとしてモデル化した。

3-6 数値モデルの24時間周期の再現性

図-3、図-4 はそれぞれ水温、DO の初期値と 24 時間後の計算値を示している。数値モデルの初期値と計算値を比較した結果、水温変化に関しては水質改善装置の『効果あり』、『効果なし』ともに、気温変化に伴ってほぼ 24 時間前の温度分布と一致する形への水温変化が表現されており、十分な 24 時間周期の再現性が得られた。一方で、DO 分布に関しては水温上昇時に関する挙動に問題はないが、水温低下時の鉛直混合が鋭敏に行われすぎていると考えられる。原因としては、実際の水温低下に伴う鉛直混合では全体が一様に混合されるのではなく、局所的に混合が生じているのに対し、今回モデル式に取り入れた表層水温低下に伴う鉛直混合モデルは表層の水温が下層の水温を下回った瞬間に水温・DO・Cp・Dt の各ポテンシャルの混合が完了するように仮定したためであると考えられる。

4. 計算結果及び考察

4-1 長期間シミュレーションによる水質挙動

実測データを下に 5 日間のシミュレーションを行い貯水池の水温、DO の鉛直分布の時間変化について考察する。なお、午前 10 時における初期値は 2008 年 10 月 15 日の実測データを使用した。図-5、図-6 はそれぞれ水温、DO の初期値と 5 日後の計算値を示している。『効果なし』の場合、水温は徐々に低下し、DO は少しずつ増加していく。また、『効果あり』の場合、水温・DO とともに少しずつ増加していく。『効果あり』及び、『効果なし』の結果を比較してみると、水表面と底面の水温差が『効果なし』は変化が無いが『効果あり』では初期差 0.4℃から 0.3℃へと成層が弱まっている。DO は『効果なし』の場合でも十分回復されるという結果が得られた。このように水質浄化装置の影響がある場合の水質改善効果を把握することができた。

5. 結論

本研究では、水質改善装置の稼働を考慮した貯水池での水質モデルの構築を行い、長期間にわたる水質挙動の把握も行った。以下に得られた知見を列挙する。

- (1) 水温収支モデルと溶存酸素収支モデル、及びこれらに鉛直循環モデルを組み込んだモデル式により、装置未稼働時と装置稼働時における水温変化の 24 時間の時間的な挙動を十分に表現できた。
- (2) 長期的なシミュレーションを行うことで装置の確実な水質改善効果を把握できた。

参考文献

- 1) 中野光隆，黒川岳司：小規模な貯水池に導入された流動促進装置による溶存酸素の改善効果：土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集，II-047，2007

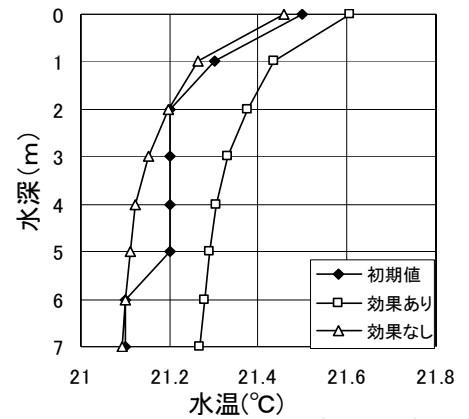


図-3 水温鉛直分布(24 時間)

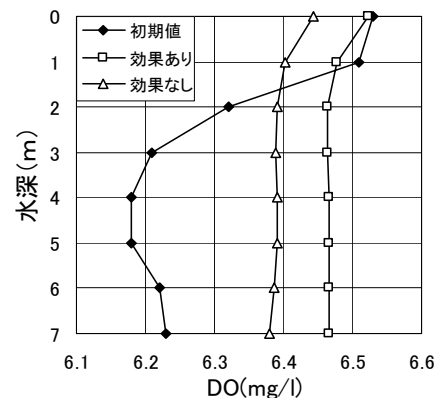


図-4 DO 鉛直分布(24 時間)

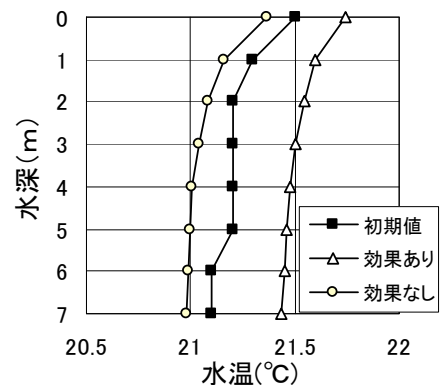


図-5 温度鉛直分布(5 日目)

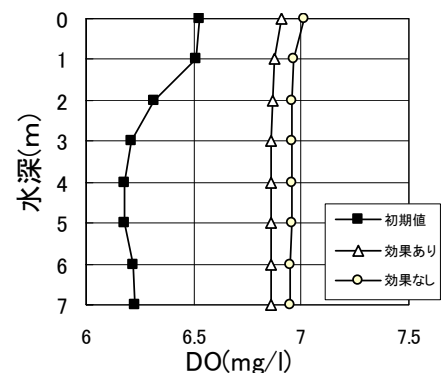


図-6 DO 鉛直分布(5 日目)