

中層貧酸素化に対する最適曝気施設設計の検討

神戸大学大学院 学生員 小林 秀樹
 (株) 東日本旅客鉄道 学生員 小谷 英之
 神戸大学工学部 フェロー会員 道奥 康治

1. 研究の目的

貯水池における貧酸素化は、金属・栄養塩の溶出をもたらすため閉鎖性水域の水環境を考える上で重要な問題である。対象貯水池では深水層の貧酸素化を抑制するために深層曝気装置を運用し、深水層の酸素回復には一定の効果をおさめた。しかし、ここ数年、深層曝気の効果範囲外である躍層上部（中層）の貧酸素化が顕著となり浄水工程に支障が生じている（図-1(a)）。本研究では、中層の貧酸素化を解消するために表-1 に示すよ

表-1 中層曝気装置の概略図、及び曝気方式

	沈水式曝気装置	間欠式揚水筒	散気管式曝気装置
概略図			
曝気方式	酸素供給型	混合型	酸素供給・混合型

うな三つの形式の曝気装置による中層曝気を提案し、水質シミュレーションによりそれぞれの水質改善効果や費用便益などの技術的・経済的指標を評価し、三つの曝気装置について適切な施設規模を考察する。

2. 貯水池モデルの概要と水質の再現

本研究で用いた水質モデルは、鉛直次元 Lagrange 型モデルである。貯水池は鉛直方向の N 層に分割され、流れや混合にともなう質量収支に応じて各層の標高・厚さが変化する。モデルは、河川流入に伴うせん断乱流や水面熱収支といった貯水池の水理現象をモデル化した①水理モデル、植物プランクトン、溶存酸素濃度、無機・有機栄養塩（窒素、リン）、金属（鉄、マンガン）等の水質収支をモデル化した②水質モデル、各種曝気装置をモデル化した③曝気モデルから構築されている。

水質モデルによる 2003 年の溶存酸素濃度の解析結果と観測結果との比較を図-1 に示す。懸案となっている中層での貧酸素化や、深層曝気による酸素回復が再現されており、モデルによる水質の再現性は良好であると判断される。

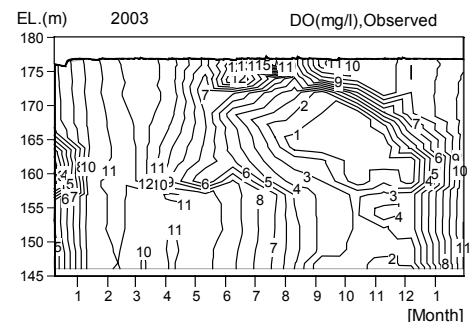
3. 技術指標による評価

本モデルに表-1 に示すような曝気装置のサブモデルを組み込み、装置ごとにモデルケース（施設台数：1 基、5 基、10 基、施設全体の総送気量：1000～30000l/min）を想定して、中層曝気にもなう水質変化を仮想的に再現した。ここでは、中層曝気による水質改善効果を溶存酸素の改善度を用いて評価する。

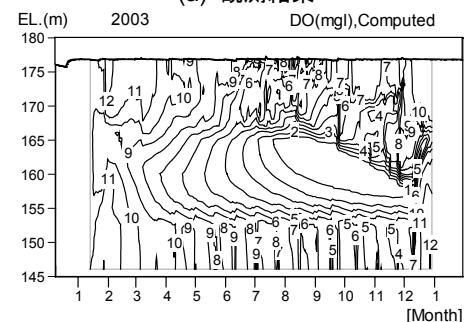
まず「目標溶存酸素濃度に対する貯水池 DO の不足量」一すなわち、「酸素不足量 DOL」を次式で定義する。

$$DOL(z, t) = DOTA - DOAR(z, t) \quad (1)$$

ここで、DOTA(mg/l)：溶存酸素濃度の目標値、DOL(mg/l)：時間 t、標高 z での DOTA に対する酸素不足量、DOAR(mg/l)：時間 t、標高 z での溶存酸素濃度である。DOTA に関しては、水質・生態系



(a) 観測結果



(b) 解析結果

図-1 DO のイソプレット（2003 年）

キーワード：貯水池の水質シミュレーション、中層貧酸素化、中層曝気シミュレーション

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

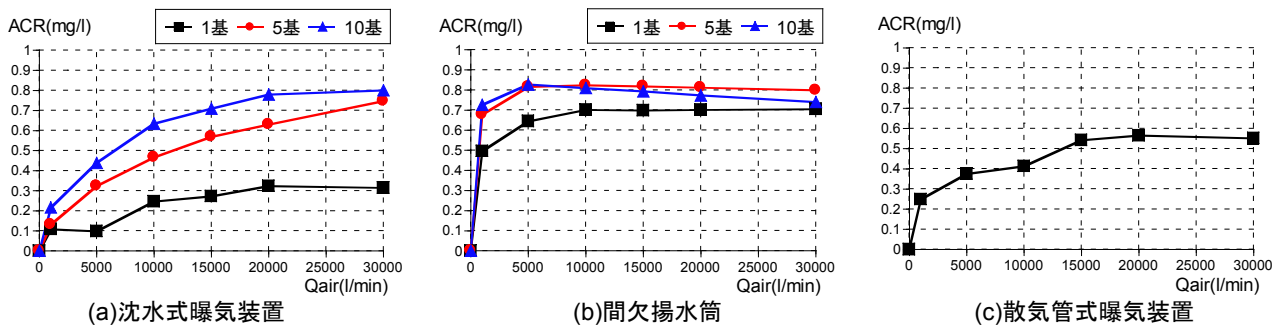


図-2 各曝気装置における総送気量，施設台数を変化させた場合の年平均酸素改善度 ACR

に障害が出る目安の濃度として 5mg/l を設定する。

次に曝気効果の指標として「酸素改善度」(or 曝気なしの酸素不足量と曝気ありの酸素不足量との偏差：不足量の減少量)を次式で定義する。

$$DOCR(z, t) = DOL_0(z, t) - DOL(z, t) \quad (2)$$

ここで， $DOCR(\text{mg/l})$ ：時間 t 、標高 z での酸素改善度， $DOL_0(\text{mg/l})$ ：中層曝気なしの場合の酸素不足量である。

ケース間の簡便な比較のために，中層における年平均酸素改善度 ACR を次式により定義する。

$$ACR = \frac{\iint DOCR(z, t) \cdot A(z) dz dt}{\iint A(z) dz dt}$$

ここで， A ：標高 z における貯水池の水平面積(m^2)である。

各装置の(総送気量，施設台数)を変化させた場合の ACR を図-2 に示す。同図より，最適な施設規模(最適総送気量，最適台数)は水質改善度(「技術指標」と考える)が最大値に達する前後に対応している。

4. 経済指標を考慮した評価

図-2 から施設規模の拡大に伴い，改善度の上昇率，すなわち改善効率は低下していることがわかる。そこで技術指標に加え，経済指標(費用便益比)によって曝気効率を考慮に入れた評価を行う。費用便益比は，年々の便益，維持費用が耐用年数を通じて一定とし，次式で定義される。

$$\frac{B}{C} = \frac{B}{O + \alpha_{IT} K} \quad (4), \quad \alpha_{IT} = \left\{ \sum_{n=1}^T \frac{1}{(1+i)^n} \right\}^{-1} \quad (5)$$

ここで， $B(\text{mg/l})$ ：年々の便益であり，年平均酸素改善度 ACR とする。 $O(\text{円})$ ：年々の維持管理費であり，総送気量に伴う年間の電力料金(関西電力調べ)とする。 $K(\text{円})$ ：初期投資費であり，各装置の 1 基当りの設備費に施設台数を乗じたものである。 α_{IT} ：単位固定投資当りの年間資本係数であり， $T(\text{年})$ ：耐用年数(20 年と仮定)， i ：利子率(0.1 と仮定)である。

図-3 に各曝気装置の総送気量，施設台数を変化させた場合の ACR, B/C の変化を示す。図-3 から ACR, B/C の組み合わせが最大となる総送気量，施設台数が，両指標を考慮した最適施設規模と判断される(同図の楕円部分)。また，中層曝気に適した曝気装置は B/C が最も高い間欠式揚水筒であると考えられる。

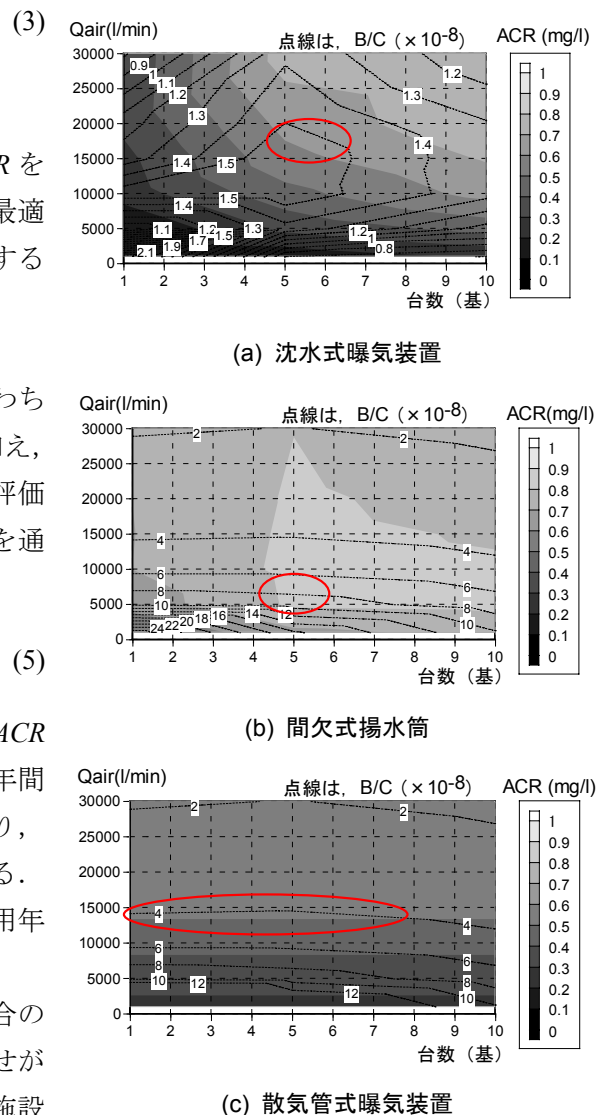


図-3 各曝気装置における総送気量，施設台数を変化させた場合の ACR, B/C