

## 環境負荷を考慮した深層曝気システムの経済評価と運用方式の検討

神戸大学大学院 学生員 ○大川 奈津子  
 神戸大学工学部 フェロー 道奥 康治  
 神戸大学大学院 学生員 小林 憂三

### 1. はじめに

水質汚濁が進行した貯水池に対して様々な水質改善施策が導入され、その有用性が報告されている。しかし、費用便益を考慮に入れて水質浄化施策の妥当性を評価した事例は少ない。

対象貯水池では、2004年、マイクロバブル・エアレータを用いた深層への酸素曝気によって、図-1に示すように、水温躍層を維持したまま深層の酸素

が回復し水質が改善された<sup>1)</sup>。さらに、2006年、コンプレッサや酸素発生器の運転/停止を間欠的に繰り返す、システムの消耗と消費エネルギーを最小化するための効率的な運用を検討した<sup>2)</sup>。

本研究では、水質シミュレーションにより水質浄化施策の経済評価方法を提案し、浄化システムの合理的な運用方式を検討する。

### 2. 環境負荷を考慮した水質改善効果の経済評価

ダム貯水池の水質汚濁や貧酸素化にともなう環境障害の多くは有機物の生産と分解に起因することから、ここでは貯水池の溶存酸素不足量をBODとみなして下水処理費用に換算し、水質改善の便益を評価する。

正常な水環境の維持に必要な溶存酸素濃度を流入河川水温相当の飽和濃度  $DO_{rmax}(mg/L)$  と設定し、貯水池の酸素不足総量  $M_S(g)$  を式(1)で定義する。

$$\text{if } DO(Y) \leq DO_{rmax} \text{ then} \tag{1}$$

$$M_S = \int_{Y_B}^{Y_S} \{DO_{rmax} - DO(Y)\} A(Y) dY$$

ここで、 $Y_S$  は水面標高、 $Y_B$  は池底の標高 (=EL.156.5m)、 $DO(Y)$  は標高  $Y$  における溶存酸素濃度、 $A(Y)$  は標高  $Y$  における貯水面積である。

曝気による酸素不足総量の削減分  $M_B$  は次式で表される。

$$M_B = M_{SN} - M_{SA} \tag{2}$$

ここで、 $M_{SN}$  は曝気がない状態での酸素不足総量、 $M_{SA}$  は曝気を実施した時の酸素不足総量である。図-2、図-3に2004年(連続曝気運転)、2006年(間欠曝気運転)の曝気による酸素不足総量の削減分  $M_B$  を示す。

曝気により  $M_B$  だけ BOD が低下したと考えると、貯水池全体の仮想的な平均 BOD は次式のように算出される。

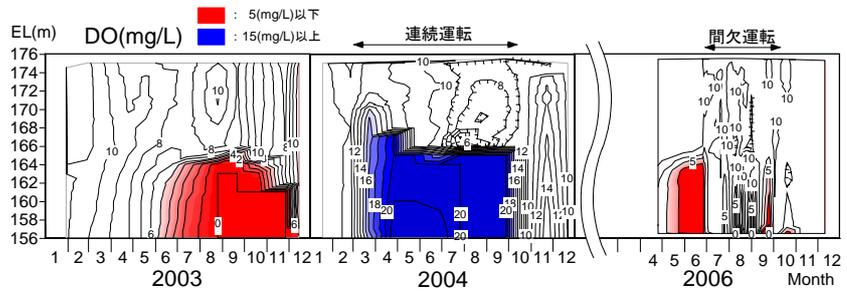


図-1 各年における溶存酸素濃度分布

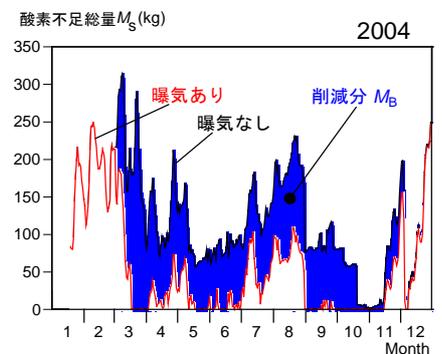


図-2 酸素不足総量の削減分(2004)

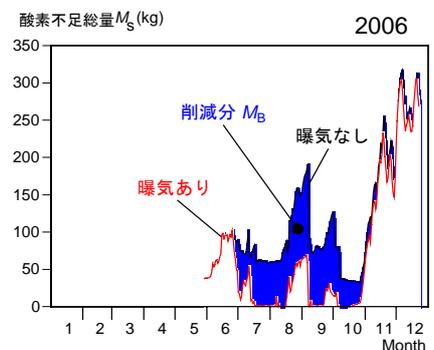


図-3 酸素不足総量の削減分(2006)

$$BOD = \frac{M_B}{\int_{Y_B}^{Y_S} A(Y)dY} \quad (3)$$

この貯水池水を放流した場合の総有機物負荷量  $M_{BOD}$  は

$$M_{BOD} = \int_{t_e}^{t_s} BOD \times Q_{out} dt \quad (4)$$

である。ここで、 $Q_{out}$ は流出量(m<sup>3</sup>/hour)、 $t_s$ は曝気開始時間、 $t_e$ は曝気終了時間である。公共下水道における汚水処理費用を参照して、BODの処理総量 34,509(t)に対し 19,445(百万円)の費用が掛かることから、1年あたりの水質改善効果価値  $B_A$ (円)が次式のように算出される。

$$B_A = M_{BOD} \times \frac{19445}{34509} \quad (5)$$

### 3. 浄化システム運用における費用便益分析

年価値法により浄化システム運用の費用  $C_A$ (円)は

$$C_A = C_1 \times \frac{r}{1 - (1+r)^{-n}} + C_2 \quad (6)$$

となる。ここで、 $C_A$ は1年当たりの費用、 $C_1$ は設備投資費用(Initial Cost)、 $C_2$ は年間運転経費(Running Cost)、 $r$ は利子率、 $n$ は耐用年数である。このように得られた費用対効果  $B_A/C_A$ を表-1に示す。2006年は、曝気運転の開始が遅れたため、費用対効果は小さい結果となった。ここでは、曝気による「BODの減少効果」しか考慮していないため、 $B_A/C_A < 1$ となっている。

### 4. 溶存酸素濃度の変化に応じた浄化システムの運用の検討

溶存酸素濃度の目標値とその対象を表-2の(a)~(d)の四種類に設定し、水質シミュレーションに基づいて、費用対効果  $B_A/C_A$ を算出した。表-3に運用結果を示す。DO目標値が高い方の(b)、(d)の費用対効果が大きい。DO目標値の対象が深水層の平均よりも、湖底上4mの方が運転回数が多くなり、費用対効果が同等または大きくなる((a)と(c)、(b)と(d)の比較)。これは、下層ほど酸素消費が大きいためである。図-4、図-5に運用(b)、(d)におけるDO時系列を示す。運用(b)と(d)では、平均休止時間が短く、下層水質が良好に管理できる運用(d)が望ましい。

表-1 費用対効果

	2004年	2006年
費用対効果 $B_A/C_A$	0.34	0.20

表-2 浄化システムの自動運用

	目標値の対象	DOの目標値(mg/L)
(a)	深水層の平均	5~DO <sub>rmax</sub>
(b)	深水層の平均	DO <sub>rmax</sub> ~15
(c)	湖底上4m	5~DO <sub>rmax</sub>
(d)	湖底上4m	DO <sub>rmax</sub> ~15

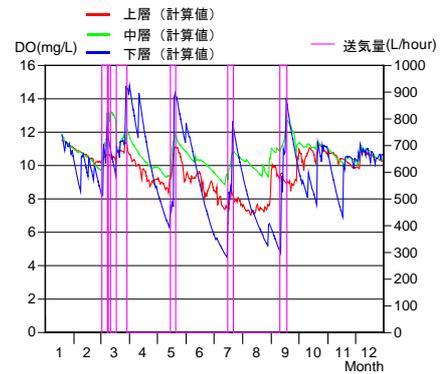


図-4 運用(b)におけるDO時系列

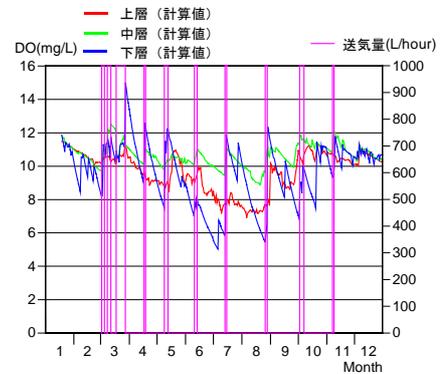


図-5 運用(d)におけるDO時系列

表-3 曝気実施期間における運用結果

	$B_A/C_A$	稼働率 (%)	運転回数 (回)	総稼働時間 (日)	平均運転時間 (日)	平均休止時間 (日)
(a)	0.10	1.3	2.0	3.3	1.7	123.9
(b)	0.36	15.5	6.0	39.0	6.5	35.3
(c)	0.20	3.3	5.0	8.4	1.7	48.5
(d)	0.36	14.3	10.0	35.8	3.6	21.5

### 5. 参考文献

- 1) 道奥康治・酒谷祐輔・松尾克美・尾田敏範・原義晴：酸素マイクロバブルを用いた貯水池の水質浄化システム，水工学論文集，第50巻，pp.1357-1362，2006。
- 2) 道奥康治・小林憂三・青木千夏・原義晴・松尾克美：成層安定度を考慮した深層曝気の必要送気量の推算，水工学論文集，第52巻，pp.1279-1284，2008。