

第II部門 費用対効果を考慮した深層曝気施設の運用

神戸大学工学部	学生員	○小林 秀樹
神戸大学工学部	フェロー	道奥 康治
(株)建設技術研究所	正会員	西口 祐輝
神戸大学大学院	学生員	酒谷 祐輔

1. はじめに

富栄養化が進行した貯水池の水質改善対策として、様々な形式の水質浄化システムが導入・運用されてきた。ある程度の投資をしてエネルギーを供給すれば、それなりの水質改善効果はあらわれるが、必ずしも効率的に施設が運用されているとは限らない。しかし、ダム貯水池は言うまでもなく公益に資するものであり、公的資金を投入して建設し付帯設備を整備する限り、水質改善施策を講ずる場合にも費用便益を勘案することが不可欠である。本研究では、水質浄化システムの運用にともなう費用・効果を定量的に評価し、費用対効果の観点から水質解析モデルを用いて浄化システムの最適な運用形態を検討する。

2. 水質浄化システム運用にともなう費用・効果

対象としたA貯水池では、水質改善対策としてマイクロバブルによる深層曝気施設が導入されている。この施設を対象として費用対効果を考慮した運用方法のあり方を検討する。本報では費用として電力料金を考える。深層曝気施設の電力はコンプレッサーと水中ポンプで消費されている。水中ポンプは常時定格電力で稼動している。コンプレッサーは送気量とともに消費電力が変化するため、消費電力の観測値と定格稼動時の電力から推定した消費電力 $W(\text{kw})$ を送気量 $Q(\text{l/h})$ の関数として次式で与える。

$$W = 1.204E-4 Q + 2.086E-1 \quad (1)$$

式(1)に水中ポンプの消費電力を加えたものが曝気施設の運転費用に対応すると考えられる。水中ポンプとコンプレッサーによる総消費電力は次式で与えられる。

$$W = 1.204E-4 Q + 3.9086 \quad (2)$$

式(2)に日本の平均電力料金 13.34(yen/kw)を乗じたものを費用とした。

次に、深層曝気による水質改善効果を評価する。評価指標としては溶存酸素（以下 DO とする）を用いる。DO 濃度が 2(mg/l)以下にまで貧酸素化すると、金属や栄養塩が嫌氣的に溶出し、様々な水質障害が発現する。嫌氣的溶出が生ずる DO の閾値に注目し、DO 濃度 2(mg/l)以下の水塊（貧酸素水塊）の体積を考える。ここで、水質改善とともに増加する指標の方が水質改善効果の最大値を評価する上で便利である。そこで、ある曝気容量(Q_{air})に対する貧酸素水塊の体積 $V_{2Q_{\text{air}}}$ と深層曝気を行わない自然状態(Q_0)での貧酸素水塊の体積 V_{2Q_0} との差を水質改善効果 (VOD_2) とみなして次式のように定義する。

$$VOD_2 = \iint V_{2Q_{\text{air}}} A(z) dz dt - \iint V_{2Q_0} A(z) dz dt \quad (3)$$

ここで、 $A(z)$ は、標高 z における貯水池の水平面積である。

またA貯水池は水質環境基準で湖沼C類型に分類されるため DO 濃度の環境基準は 5(mg/l)以上である。これより、貧酸素水塊と同様に DO 濃度 5(mg/l)以下の低酸素水塊の体積を考え、ある曝気容量(Q_{air})に対する水塊の体積 $V_{5Q_{\text{air}}}$ と深層曝気を行わない自然状態(Q_0)での低酸素水塊の体積 V_{5Q_0} との差を水質改善効果 (VOD_5) として次式のように定義する。

$$VOD_5 = \iint V_{5Q_{\text{air}}} A(z) dz dt - \iint V_{5Q_0} A(z) dz dt \quad (4)$$

式(3)、(4)中の $\iint$ は、体積と時間の積分を意味する。体積積分においては、大気交換によって酸素が供給される表層や光合成で酸素が生産される有光層を除外する必要がある。そこで、溶存酸素の観測結果を考慮

Hideki KOBAYASHI, Kohji MICHIOKU, Yu-ki NISHIGUCHI, Yu-suke SAKATANI

して（図-1 参照），貧酸素化が顕著となる標高 195m よりも低い深層層を対象として体積積分を行う．また，積分期間は計算開始日（1 月 11 日）から，自然対流が起り始める 10 月末日までとした．

以上のような方法で水質改善効果を評価し，様々な送気量に対して水質シミュレーションを実施した．これより得られた水質改善効果と送気量との関係を図-3 に示す． VOD_2 は 600(l/h) 以上の送気量で， VOD_5 は 1200(l/h) 以上の送気量で，それぞれ最大値に漸近する．これより，水質改善効果の評価方法によって，効果を最大とする送気量が異なることがわかる．送気量が 3000(l/h) 以上においては，送気量の増加にともなう水質改善効果の変化は少なく，また若干の変動が見られる．これは大きな送気量においては送気量の増加とともに鉛直混合が発生し，表層の高温水が下方へ連行されて深層水温が上昇するためであると考えられる．曝気施設から供給されるエネルギーのうち，鉛直混合へ消費されたエネルギーを評価するために，密度成層のポテンシャルエネルギーに基づく成層安定度 S_t^{dy} を以下のように評価する．

$$S_t^{dy} = \int_0^H \{ \rho_m - \rho(z) \} g z A(z) dz \quad (5)$$

ここで $\rho(z)$ は標高 z における密度， ρ_m は貯水池全体の体積平均密度， g は重力加速度である．

曝気循環によって混合が生じた水体は，運動エネルギーを得ることから曝気がない状態よりも成層安定度は小さくなる．こうして求めた成層安定度 S_t^{dy} を図-4 に示す．送気量の増加によって成層安定度が低下し，鉛直混合にともない水質改善効果が生じたことが裏付けられる．

3. 費用対効果

このように，深層曝気に要する費用や水質改善効果を評価し，費用対効果(B/C)算定した結果を図-5 に示す．費用対効果 (VOD_2/Cost , VOD_5/Cost) を最大にする送気量はそれぞれ 500(l/h), 1100(l/h) であることがわかる．

4. 結論

水質改善効果 (VOD_2, VOD_5) を最大にする送気量と，費用対効果 (VOD_2/Cost , VOD_5/Cost) を最大にする送気量とは異なることが明らかになった．本研究によって，費用対効果を考慮に入れた深層曝気施設の運用についての考え方が示された．

参考文献

- 1) 岩佐義明：湖沼工学，山海堂，1990
- 2) 道奥康治：水温成層と熱循環が水質に及ぼす影響

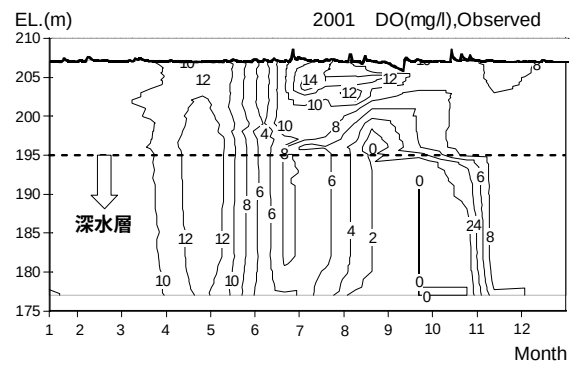


図-1 深層層の定義

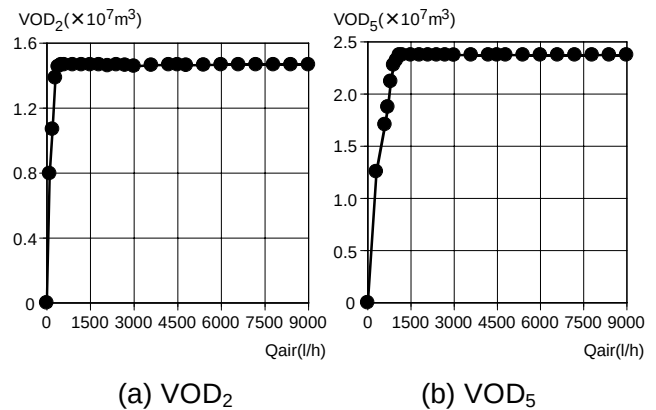


図-3 水質改善効果

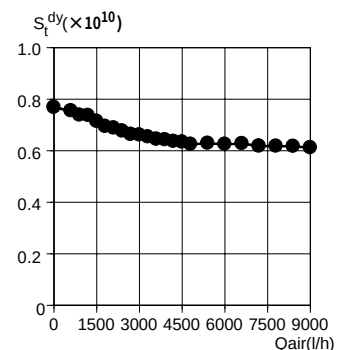


図-4 成層安定度

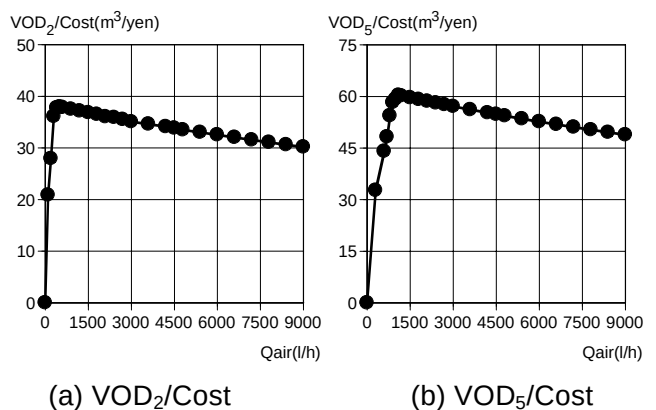


図-5 費用対効果(B/C)