

水温構造を考慮した深層曝気システムの必要送気量の評価

神戸大学大学院 学生員 ○小林 憂三
 神戸大学工学部 フェロー 道奥 康治
 阪神電鉄㈱ 正会員 小林 秀樹

1. はじめに

富栄養化の進んだ貯水池では深水層が貧酸素化し、底泥から栄養塩や金属の嫌氣的溶出などにより、水質汚濁が進行する。対象貯水池では、2004 年より酸素マイクロバブルを用いた深層曝気を開始し、水質が改善された。しかし、システムを連続運転しなくとも、必要なレベルに酸素濃度を維持するためにはシステムを間欠的に運転し、維持管理費用と機械系の償却を最小化することが得策である。そこで、2006 年度においては深水層の代表水深 (EL.160m) における溶存酸素濃度 DO が 10mg/L 以上で運転を停止し、5mg/L 以下で運転を再開する間欠運転を実施した。酸素は標高 EL.158.5m において 1000(l/hour) で供給された。ここでは、取水口以深を深水層と定義して、水温と溶存酸素の分布状況から必要送気量を評価する。

2. 観測結果

観測を開始した 2002 年 7 月から 2004 年の水温の観測値を図-1 に示す。受熱期に顕著に現れる温度躍層は曝気施設導入前の 2002 年、2003 年と、曝気施設導入後の 2004 年では、導入後の方がやや高い位置に移動している。これは、微小気泡の上昇にともなう攪乱に起因すると考えられる。図-2 には、2006 年の水温分布を示す。2006 年では、深層曝気開始後から躍層形成が弱く、さらに 7 月下旬の出水によって貯水池全層が一様に混合した。間欠運転にともなう溶存酸素濃度分布の経時変化を図-3 に示す。6 月下旬の曝気開始以降、深水層の酸素が回復している。しかし、停止期間が長期化した 9 月中旬において再び深層がやや貧酸素化した。

3. 深層曝気効率と成層安定度

システムの曝気効率を、送気酸素量に対する深層への酸素溶解量の割合として評価した。6 回の稼働期間における深層曝気効率を図-4 に示す曝気による溶解量を除く酸素は表層から大気への散逸や取放水口からの流失に相当する。送気酸素量に対するこれらの酸素損失割合を散逸率 R_d として定義する。深層曝気効率は、水温成層が最も安定している(Ⅲ)と(Ⅳ)の期間に高いことがわかる。

次に、水温成層と散逸率 R_d との関係を検証する。成層強度、すなわち成層の力学的成層安定度 S_t^{dy} は図-5 に示すような水域で、A の成層状

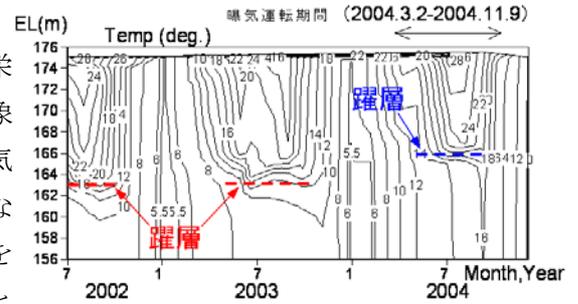


図-1 水温の Isoleth(2002 年~2004 年)

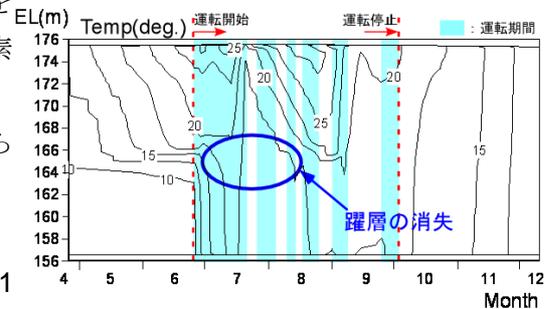


図-2 水温の Isoleth(2006 年)

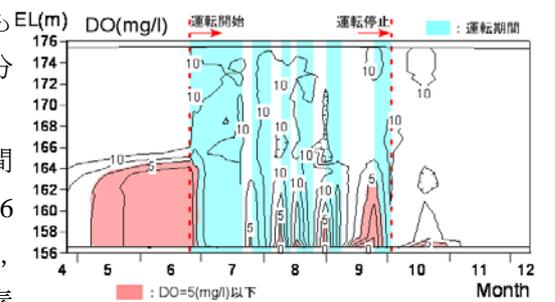


図-3 溶存酸素の Isoleth(2006 年)

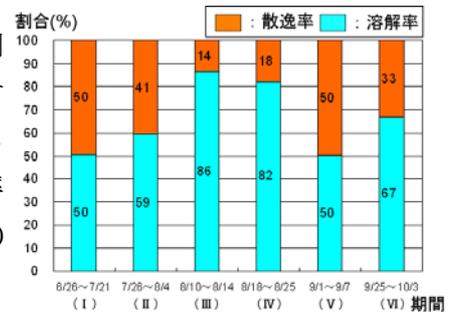


図-4 深層曝気の効率

キーワード：貧酸素化、深層曝気、間欠運転、成層安定度、曝気効率、酸素消費速度、必要送気量

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

態を B の均一密度状態にまで断熱的に混合させるのに要する仕事量に相当し，[A のポテンシャルエネルギー] - [B のポテンシャルエネルギー] として次式で表される。

$$S_i^{dy} = \int_0^H \{ \rho_m - \rho(z) \} g z A(z) dz \quad (1)$$

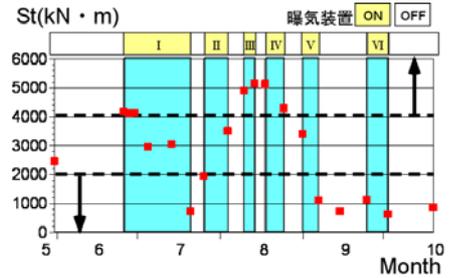
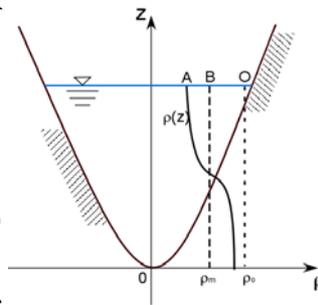


図-5 密度成層の定義

図-6 成層安定度の経時変化

成層安定度の時系列を図-6 に示す。(Ⅲ)と(Ⅳ)以外の稼働期間においては，成層安定度が 2000(kN・m)を下回り，曝気によって鉛直混合が促進されたことを示唆している。酸素の散逸率 R_d は最低成層安定度（稼働期間中の最も低い成層安定度）と図-7 のような負の相関関係を有する。(Ⅵ)の期間を除いて，両者を次式の線形関係に近似する。

$$R_d = -0.0092 \times S_i^{dy} + 58.166 \quad (2)$$

上式を用いれば成層安定度から散逸率を概算することが可能である。最低成層安定度が大きいほど，深層水と表層水との混合が抑制され，深層水へ供給された酸素は長時間滞留し溶解して溶解しやすいため深層曝気効率が向上する。(Ⅵ)の期間（9月26日～10月3日，図-7中の■）においては，酸素を多分に含む河川水が深層水へ流入し，式(2)の相関関係から離れている。

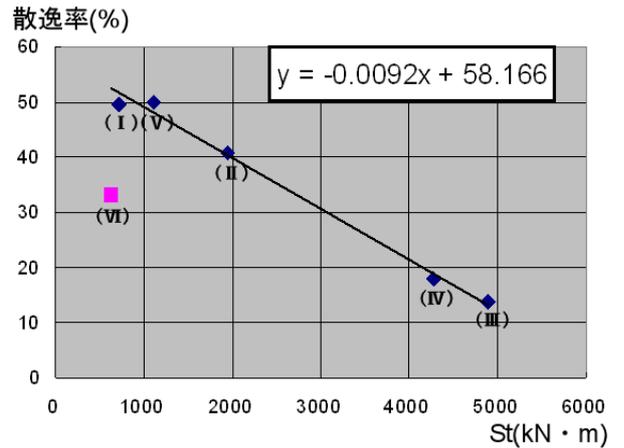


図-7 最低成層安定度と散逸率の相関

4. 酸素消費速度と曝気効率を用いた必要送気量の推定

間欠運転と水質観測を通して深層水の酸素消費特性が明らかになった。図-8 に示すように深層水の酸素消費速度は季節に依存し，受熱最盛期に最大となる。装置の稼働期間を成層形成期，成層最盛期，循環期の3期間に区分し，各期間の酸素消費量を必要酸素量として，式(2)を用いて最低成層安定度から酸素の散逸率を算出し必要送気量を推算した。最低成層安定度は，出水による顕著な成層破壊が見られなかった2003年の観測値から設定した。以上のようにして得られた必要送気量と装置の稼働率を表-1 に示す。成層最盛期に最も高い稼働率で装置を運転することが必要であり，次いで循環期に大きな稼働率を要する。これは，成層最盛期に生産された有機物が多量に滞留し，有機物の分解に多量の酸素が消費されることに起因している。曝気システムの運用については，装置の運転休止期間が長期化しないように留意し，期間毎の必要送気量を目安にしながら運転をすることが求められる。

酸素消費速度(kg/day)

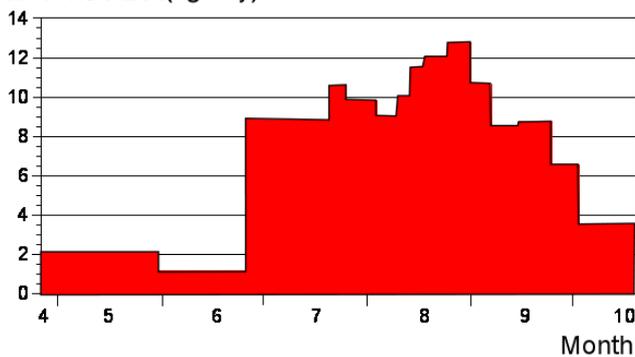


図-8 酸素消費速度の経時変化

表-1 必要送気量と稼働率

	成層形成期	成層最盛期	循環期
	4/15～6/1	6/1～9/15	9/15～10/31
期間(日)	45	105	45
最低成層安定度(kN・m)	1000	3000	1000
曝気効率(%)	51	70	51
酸素消費速度(kg/day)	-7	-13	-9
必要酸素量(kg)	315	1170	405
必要十分送気量(kg)	620	1685	795
稼働率(%)	43	59	55