

第Ⅱ部門

酸素マイクロバブルを用いた貯水池深層曝気システムの運用合理化検討

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(株) 学生員 小林 秀樹

1. はじめに

栄養塩負荷の大きな貯水池では受熱期における深層の貧酸素化により、底泥から栄養塩や金属が嫌氣的に溶出し、水質汚濁が進行する。研究対象の貯水池では、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、システムの連続運転は酸素を過剰に供給したことから、必要最小限の酸素濃度を維持する程度にシステムを間欠的に運転し、電力と機械システム償却を抑制することが必要となった。そこで、2006年においては深層の代表水深(EL.160m)における溶存酸素濃度DOが10mg/L以上となった場合にシステムを停止し、5mg/Lまで低下した場合に運転を再開する間欠運転を実施した。曝気はEL.158.5mの高さにおいて1000(l/hour)の酸素供給量で実施した。本研究では、取水口以深の深層を対象として、水温と溶存酸素の分布状況から酸素回復率を分析し、曝気システムの合理的運用策を検討する。

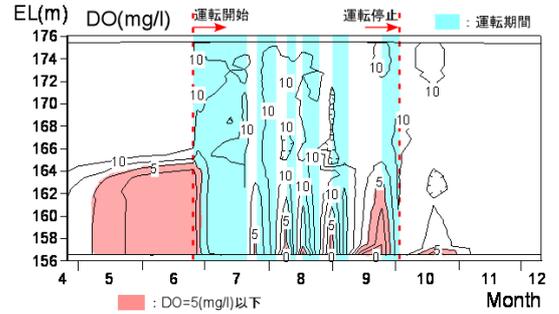


図-1 溶存酸素の Isopleth

2. 深水層の酸素収支

間欠運転ともなう溶存酸素濃度分布の経時変化を図-1に示す。6月下旬の曝気開始以降、深水層は好氣的環境に維持されている。しかし、装置の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時期が認められ、曝気システムの運転停止は長期化しないことが望ましいことがわかる。曝気システムの間欠運転と水質観測を通して深層の酸素消費速度と曝気による酸素回復速度に関する知見を得た。深水層における酸素消費速度の時系列を図-2に示す。酸素消費は季節に依存し、受熱最盛期に最大となることがわかる。次に、システム稼働中の深層曝気効率を、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。稼働した6期間における深層曝気効率を図-3に示す。曝気により溶解量を除く酸素は表層から大気へ散逸したり、取放水口からの流失する。送気酸素量に対するこれらの酸素損失量の割合を散逸率  $R_d$  として定義する。深層曝気効率は、最も成層が安定している(Ⅲ)と(Ⅳ)の期間に高いことが明らかになった。

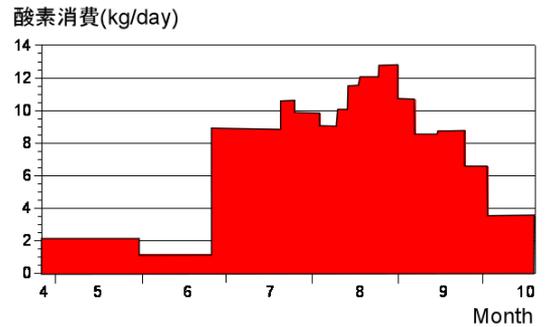


図-2 酸素消費速度の経時変化

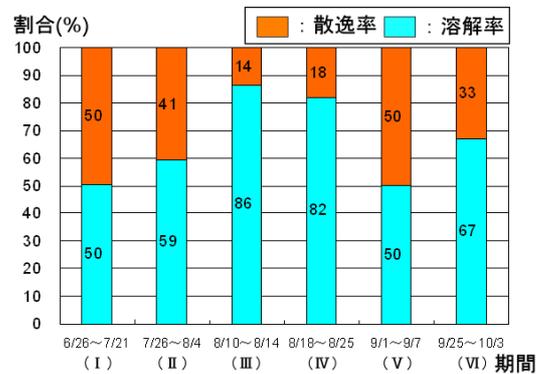


図-3 深層曝気の効率

次に、水温分布から成層強度を求め散逸率  $R_d$  との関係を検証する。密度成層の力学的成層安定度  $^1)S_t^{dy}$  は次式で評価される。

$$S_t^{dy} = \int_0^H \{\rho_m - \rho(z)\}gzA(z)dz \quad (1)$$

$S_t^{dy}$  は断熱的に密度が均一となるまで鉛直混合させるのに要する仕事量である。成層安定度の時系列を図-4に示す。(Ⅲ)と(Ⅳ)

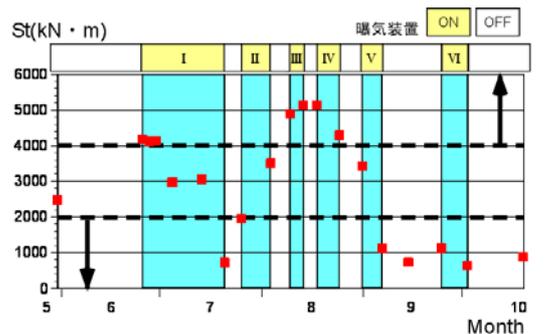


図-4 成層安定度の経時変化

以外の稼働期間においては、2000(kN・m)を下回る成層安定度を有していることから、曝気により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（装置運転期間中の最も低い成層安定度）と図-5 のような相関関係を有する。(VI)の期間を除いて、両者は次式の線形関係を有する。

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

上式を用いれば成層安定度から散逸率の概算が可能である。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ていたことを意味し、深層へ供給された酸素は深層に滞留し溶解しやすい状態に維持されるので深層曝気効率が向上する。(VI)の期間（9月26日～10月3日、図-5中の■）においては、酸素を多分に含む河川水が深層へ流入するため、酸素収支に河川流入が影響を及ぼし、式(2)の関係から離れていると考えられる。

受熱期において成層安定度が低下する要因としては、曝気と河川流入による混合が考えられる。間欠運転を導入した2006年度においては7月に大きな出水があったため、河川流入の影響が大きいものと推察される。ここでは、成層破壊におよぼす二つの要因の影響を個別に評価するために、曝気を実施しなかったと仮定して水温解析<sup>2)</sup>を実施し、河川流入のみの影響を受けた場合の成層安定度  $S_t^{dy}$  を算定する。シミュレーションで得られた  $S_t^{dy}$  の時系列を観測値とともに図-6に示す。おおよそ二回の成層強化と二回の急激な成層弱化を確認できる。河川流入による成層弱化の影響のみを考慮したシミュレーション結果（図-6中の赤線）と河川流入と曝気の擾乱効果がともに反映された観測値（図-6中の緑色の記号）との差が、曝気による成層安定度の減少に相当する。同図より2006年においては出水による成層安定度の減少が支配的であり、成層弱化の影響によって酸素の散逸が大きくなったことが考えられる。

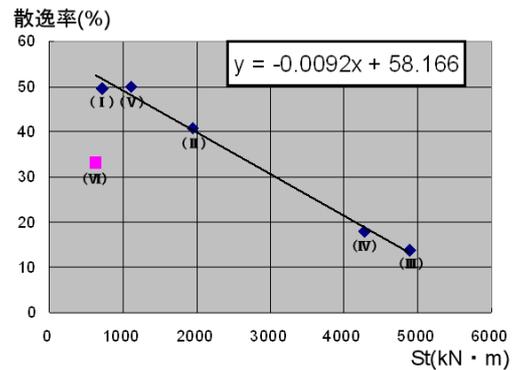


図-5 最低成層安定度と散逸率の相関

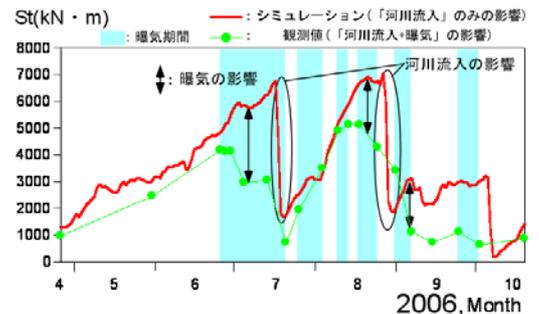


図-6 曝気なしを仮定した解析成層安定度

### 3. 観測結果と必要送気量の算出

装置を運用する期間を成層形成期、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求めた。ここで、各期間における酸素消費速度は図-2の情報をもとに算出し、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となる。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が主因と考えられる。

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

### 4. 結論

期間毎の必要送気量を目安にしながら、また装置の運転休止期間が長期化しないように運転に留意することが望ましい。さらに、気象、水文量から貯水池のおおよその成層状態を推測し、それに応じた運転をすることが曝気システムの合理的運用に結びつくものと考えられる。

### 参考文献

- 1) 道奥康治：水温成層と熱循環が水質に及ぼす影響，陸水環境論，pp.64-66
- 2) Jason Antenucci and Alan Imerito：The CWR Dynamic Reservoir Simulation Model Science Manual, 2000.