

神戸大学工学部

尼崎市役所

(株)栗本鐵工所

フェル・正会員 神田徹・道奥康治

正会員 ○松尾昌和

非会員 田中裕紀

1. はじめに

富栄養貯水池においては底層が貧酸素化し、有機物が分解されないまま多量に堆積するため様々な水質障害が発現する。実験対象としたSダム貯水池は最大水深 32m、貯水量 $1.95 \times 10^6 \text{ m}^3$ の多目的貯水池であり、富栄養化が進行している。年交換率が低い ($\alpha=2\sim5$) ことから、受熱期には安定な成層が発達して、鉛直方向の水交換が抑制される。夏期において表層では多量の藻類が発生し溶存酸素が過飽和となる一方、底層の貧酸素化が顕著で底質から様々な物質が高濃度に溶出している。ここでは曝気開始前を第Ⅰ期、1999年3月11日から2000年8月までを第Ⅱ期、それ以降を第Ⅲ期とし、曝気による水質の変化、他の深層曝気システムとの性能比較などを報告する。

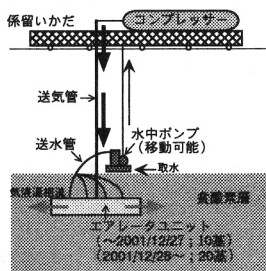


図-1 水質浄化装置

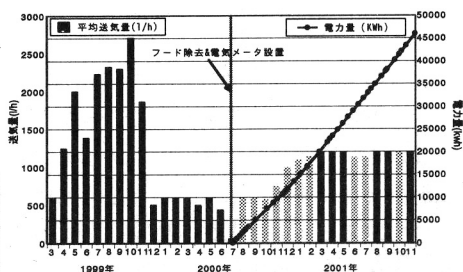


図-2 送気量と電力量の累積値

2. 水質変化からみた深層曝気の効果

図-1に水質浄化装置を示す。送気量は図-2に示すように、貯水池の状況を把握して適宜変化させた。基準点で観測された溶存酸素濃度 DO、電気伝導度 EC、水温の季節変化をそれぞれ図-3, 4, 5に示す。図-3において第Ⅱ期に吐出部での気泡の滞留によって発生した大気泡が鉛直混合を誘起しているが、第Ⅲ期では鉛直混合をとまなわないマイクロバブルによる深層曝気が成功したため、第Ⅰ期と同様の成層構造が維持されている。ECを見ると、第Ⅰ期（曝気前）で見られた底層での高濃度層は第Ⅱ期、第Ⅲ期においてともに消失している。DOについても、第Ⅰ期に比べると第Ⅱ、Ⅲ期での無酸素層の存在期間が相当程度短縮され、貧酸素層の体積も縮小している。以上から、第Ⅲ期において深層曝気の効果があられている。

3. 酸素消費速度を考慮に入れた必要送気量の算定

第Ⅲ期に無酸素層の存在期間を短縮したものの、その発達を完全に阻止することはできなかった。その原因として送気量不足が考えられる。そこで貯水池がもつ酸素要求量を求め、必要な送気量の算定を行う必要がある。ここでは光合成が酸素収支に影響しない水深 13m 以深の無光層を対象として必要酸素量を概算する。酸素消費速度を DO の時間減少率から求めた場合、既に無酸素化している層での消費速度も見かけ上 0 と評価されるため、貯水池が潜

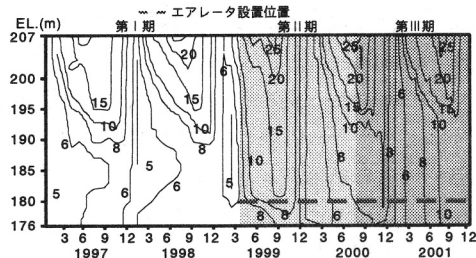


図-3 水温の季節変化

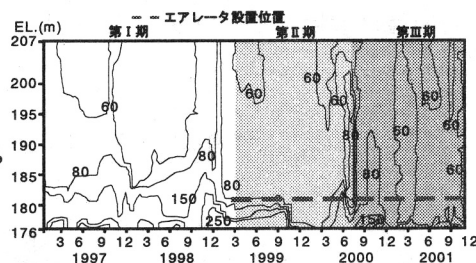


図-4 電気伝導度 (EC) の季節変化

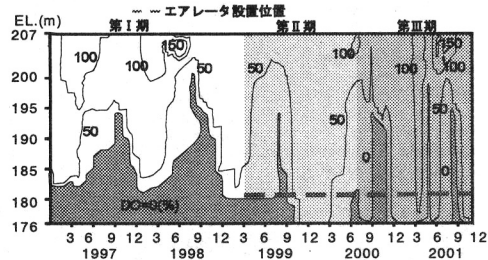


図-5 溶存酸素 (DO) の季節変化

表-1 貯水池（水深 13m 以深）の酸素減少速度 (g/m³/月)

	2～3月	3～4月	4～5月	5～6月	6～7月	7～8月	8～9月	9～10月	10～11月
'95～'98の平均	1.256	1.016	1.401	1.318	1.338	1.290	1.417	1.442	1.832

在的に持つ酸素要求量を推定することができない。そこで、有機物の分解による酸素消費量が式(1)で表されるものとし、観測データに基づいて同式中の k , θ を回帰し、COD（化学的酸素要求量）(mg/l) と水温（℃）から深層の酸素消費速度を決定した。その結果が表-1 である。これと式(2)から推算される適正送気量を表-2 に示す。

$$\frac{d(DO)}{dt} = k \cdot COD \cdot \theta^{T-20} \quad (1)$$

$$(\text{必要送気量}) \times (\text{溶解効率}) = (\text{酸素減少量} = \text{酸素要求量}) \quad (2)$$

これより、受熱期にかけて送気量が多く必要なことがわかり、季節毎の送気量の最適値が推算される。

4. 従来型の深層曝気システムとの性能比較

従来型の深層曝気システムを設置している A ダム貯水池、B ダム貯水池の水質浄化に要する費用を算出し、S ダム貯水池との費用便益の比較を行う。但し、各貯水池の水質浄化は達成できているものとする。また、実際にシステムにかかった費用を管理していないため、S ダム貯水池の浄化システムに設置した電気メータからわかる累積電力量と S ダム貯水池のコンプレッサによる送気量の関係（図-2）から A、B 各ダム貯水池における送気量に対する浄化システムの消費電力量、および電気料金（関西電力の業務用電気料金表）を求め、1m³ 当たりの水質浄化費用を式(3)より算定した。結果を表-3 に示す。

$$[\text{水質浄化費用}] = [\text{電力量 (料金)}] / [\text{曝気対象水塊の容量}] \quad (3)$$

表-3 より送気量から水質浄化に要する費用を概算すると、マイクロバブルを用いた曝気システムは溶解効率が高いため、少ない送気量で高い効果を達成でき経済的であると判定される。

5. マイクロバブルを用いた深層曝気システムその他ダム貯水池への適用

本曝気システムを他の二つのダム貯水池に設置することを想定し、浄化システムの施設容量を酸素消費速度とマイクロバブルの溶解効率から概算する。ここでは、S ダム貯水池での溶解効率を C、D ダムでの水深に応じて比例増加させて見積もる。マイクロバブルの発生量を最大化するために必要な送気量はエアレータ 1 基当たり 60(l/h) 程度である¹⁾。表-4 から C ダム貯水池では 16 基、D ダム貯水池では 14 基のエアレータが必要であると推定される。

5. むすび

S ダム貯水池の送気量は季節的に応じて変化させる方が経済的である。従来型の曝気システムと比較すると、本浄化システムは運転費用が廉価である。また、本システムを他のダム貯水池へ設置する場合の施設規模を概算した。

(参考文献)

1) 神田・大成・道奥・白澤・松尾：マイクロバブルを用いた深層曝気による貯水池の水質浄化，土木学会関支部年講，2001。

兵庫県県土整備部河川開発課，姫路土木事務所には観測にあたりご協力を頂いた。

表-2 適正送気量

適正送気量(l/h)	2～4月	5～7月	8～10月
1995年	1530	1610	1460
1996年	1110	1610	1460
1997年	1460	1120	1960
1998年	1450	1630	2210
平均	1390	1490	1770

表-3 単位体積当たりの水質浄化費用

ダム名(送気量)	曝気方式	曝気期間	総送気量(l)	単位体積当たりの水質浄化費用(円)
Sダム(1.39m ³ /h) (1.77m ³ /h) (1.77m ³ /h)	マイクロバブル方式	2月～4月	2.97×10 ⁶	0.84
		5月～7月	3.29×10 ⁶	0.97
		8月～10月	3.87×10 ⁶	1.15
		2月～10月の合計	1.01×10 ⁷	2.96
Aダム(72m ³ /h)	底層水循環方式	7月～10月	2.13×10 ⁸	6.53
Bダム(348m ³ /h)	エアリフト方式	7月～11月	1.00×10 ⁹	8.92

表-4 酸素消費速度と必要送気量

Cダム	2～4月	5～7月	8～10月
酸素減少速度(mg/l/月)	1	2.12	2.92
必要送気量(l/h)	330	690	950

Dダム	2～4月	5～8月
酸素減少速度(mg/l/月)	0.96	1.30
必要送気量(l/h)	710	840