部分循環貯水池における水質浄化実験

神戸大学大学院	学生員	白澤静敏・松尾昌和
神戸大学工学部	正会員	神田徹・道奥康治
徳山工業高専	正会員	大成博文
㈱中電技術コンサル	正会員	松尾克美
㈱熊谷組	正会員	富川健太

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．本研究では，物質集積によって底層塩分が増加し冬季にも熱塩成層が安定に滞留する部分循環貯水池を対象にして，マイクロバブルを用いた再曝気・水質浄化を試みた．ここでは曝気循環による水質の変化，成層安定度からみた曝気効率などを報告する．

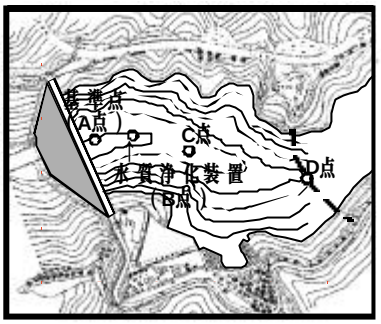

図-1　観測点と水質浄化装置の設置位置

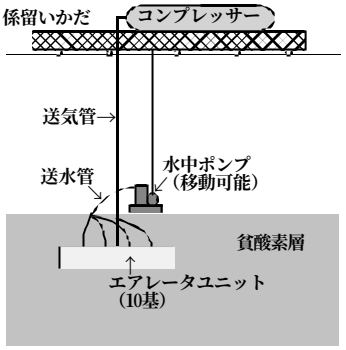

図-2　水質浄化装置

2. 貯水池の水文・水質特性 [1)]

図-1 には実験対象とした A 貯水池の観測点と水質浄化装置の設置位置を示す．貯水池は最大水深 32m，水平延長約 1000m のV字渓谷であり，交換率が低いため，成層化によって水質混合が生じにくい地形・水文条件を有する．そのため，①深層に無酸素水塊が形成され，9～11 月に最も拡大する，　②底層では溶存物質が高濃度に集積している，③底層水の高塩分が比重を増大させ，冬季においても成層が消失しない部分循環湖である，④底層には逆転水温成層が維持されている，など特異な水質構造を有する．

3. 曝気による水質変化

図-2 の水質浄化装置を用いて 1999 年 3 月 11 日からエアレータを水深 25～27m，水中ポンプを 24～26m に設置し，送気空気量 600～3000（l/hr）の範囲で曝気運転を開始した．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．例年よりも無酸素層の拡大が抑制され，2000 年 1 月に至っては本観測史上初めて無酸素層が消滅したことが図より確認される．さらに図-4 の EC についても，DO と同様に底層の高濃度層の発達が抑制され，2000 年 1 月に消滅した．また，図-5 の水温分布は，曝気によって水温成層が一様化し 2000 年 1 月に全層循環に至ったことを表している．

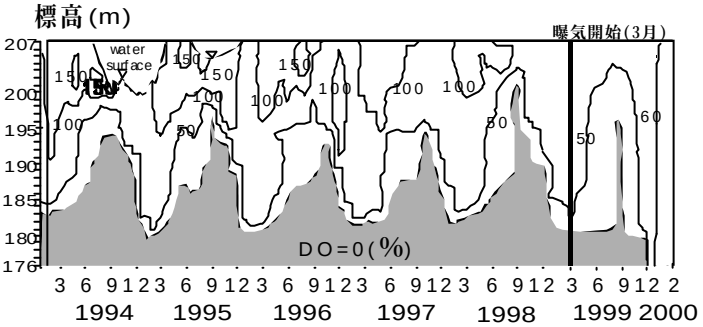

図-3　溶存酸素（DO）の季節変化

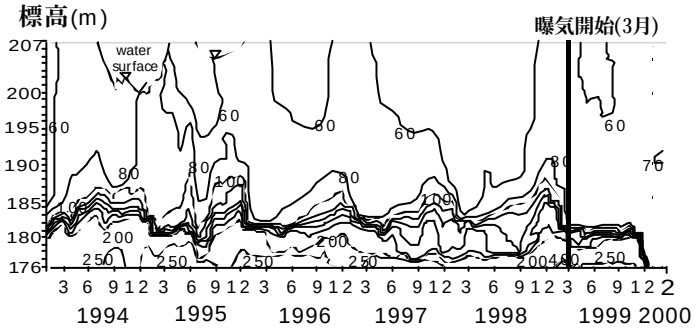

図-4　電気伝導度（EC）の季節変化

5. 成層安定度と曝気効率

曝気の循環効率を知るために密度成層の安定度を解析する．図-6 のような密度場に対してポテンシャルエネルギーP.E.を算定する．ある成層状態（図-6 の A）

キーワード：曝気循環，貯水池，成層安定度，富栄養化
〒657-8501　神戸市灘区六甲台町 1-1

に対する P.E.を P，A の状態から断熱的に混合させた仮想的な均質状態（同図の B）の P.E.を P' とする．各々1999 年 1 月の状態を初期値としてそれからの偏差をあらわしている．ここで $P'>P$ であり，力学的 P.E.を $P_{dy} \equiv P'-P$ と定義する．成層安定度が大きいほど P_{dy} は大きくなる．図-7 に P，P_{dy} の季節変化を示す．1999 年 3 月の曝気開始以前に比べて開始後は P が高い値を示している．これは成層安定度の増加を示すものではなく，一様化によって深層まで水温が上昇し，水体の熱エネルギーが増加したことを反映している．これに反して P_{dy} は曝気開始前より低い値を示す．これは曝気循環による混合促進によって成層安定度が減少していることと対応している．曝気システムからのエネルギー供給量は $W=\rho_r V g H_A \ln(1+H/H_A)$ で表され，図-8 にその累積値を表す．W は密度成層の一様化と鉛直循環の促進に消費される．P_{dy} の（96～98 年）平均値と 99 年値との差（$P_{dy}^{96\text{-}98}$-P_{dy}^{99}）と W の累積値との関係を図-9 に表す．3～7 月の受熱期においては両者に正の相関が認められ，ほぼ一定の効率で曝気循環が進行している．8～12 月の放熱期においては自然対流の熱的擾乱が付加されるので，正の相関関係からはずれる．そこで受熱期における成層変化に着目して，成層破壊効率ηを算定し図-10 に示す．各月の P_{dy} の変化率とともに，図-9 の傾きとして算定される P_{dy} の変化率の 4～7 月の平均値も図-10 の a 点として併記する．図中の M_H は気泡のスリップ速度に関するパラメータであり，横軸の P_n はプルーム数を表す．図-10 中の曲線は Asaeda らによる数値解析 [2] である．本貯水池で得られたηはこれらと同様の範囲に分布している．

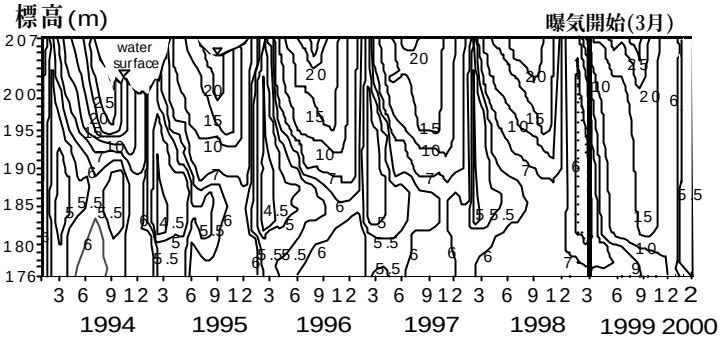

図-5　水温の季節変化

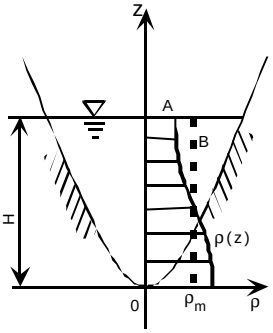

図-6　密度場の模式図

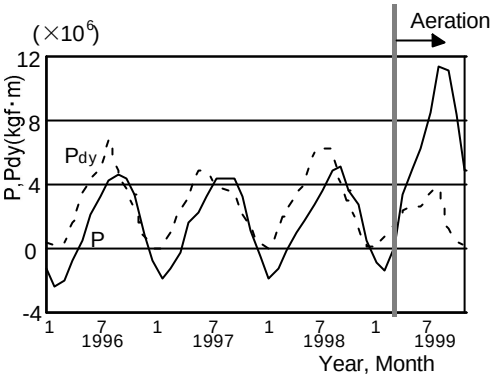

図-7　P，P_{dy} の経年変化

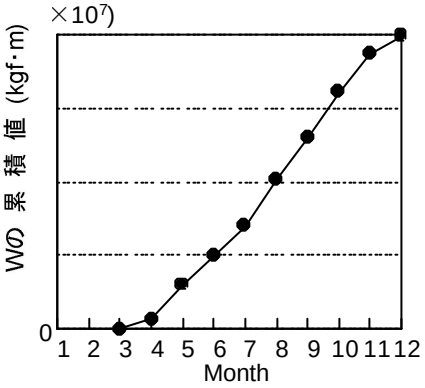

図-8　W の累積値

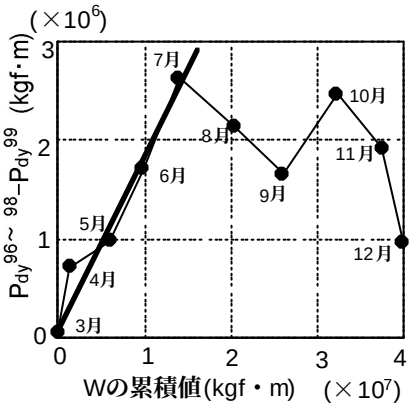

図-9　P_{dy} と W の累積値との相関

6. むすび

曝気運転にともなう水質や成層安定度の変化，曝気効率などを実証的に検討した．曝気システムを改造してマイクロバブル構成比が向上した場合の曝気効果などを検討し，より効率の高い浄化システムを開発していきたい．

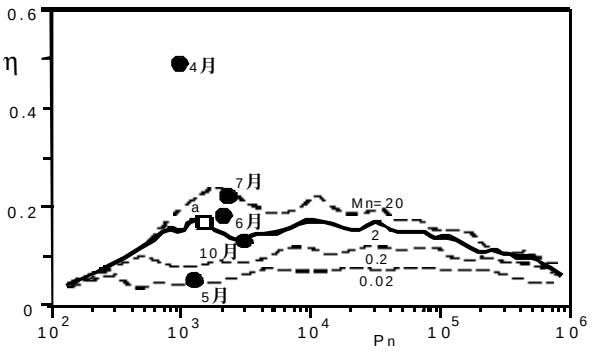

図-10　成層破壊効率

参考文献

1)　中村・神田・道奥・木戸・東野：部分循環貯水池における熱塩成層の季節変動，第 54 回年講

2) Asaeda, T. and Imberger, J.: J. Fluid Mech., Vol.249, 1993.