

貯水池における水質浄化システム運用の最適化に関する検討

神戸大学大学院	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 裕輔

1. はじめに

貯水池の水質を改善するために様々な浄化システムや施策が検討されている。これまで、水質浄化システムの性能は水質改善効果によって評価されることが多く、費用対効果を考慮に入れてシステムの妥当性を定量的に評価した例はない。その理由として、施策費用（Cost）や施策効果（Benefit）などの評価指標としてどのような変数を取り、如何に費用対効果（B/C）を定量化するかという基準が明確でないことがあげられる。本研究では、水質改善施策の一例として図-1 のようなマイクロバブルを用いた深層曝気システムを対象とし、様々な送気条件に対する水質改善効果を水質モデルによって解析し、水質浄化に要する電力とその効果の関係を求める。これより費用対効果に相当するパラメータを算出し、これを最小化するような水質浄化システムの運用形態を検討する。

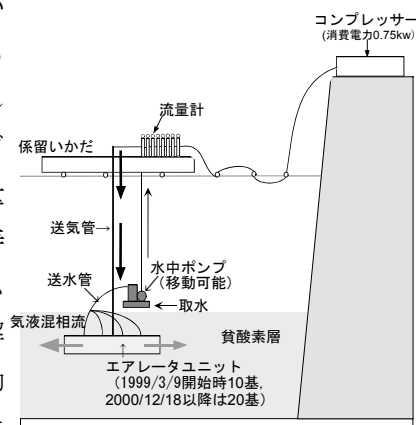


図-1 水質浄化システム

2. 費用対効果

(1)費用（Cost）： 一般的に、「費用＝施設建設費＋施設運用費」で評価される。問題を総合的に捉えれば、電気エネルギーの生産に要する天然資源の損失、地球温暖化の要因である CO₂ 排出や温暖化の対策費用もまた水質浄化費用に算入するべきかもしれない。しかし、現時点でこれら进行评估することは困難であるため、ここでは簡便に、施設運用費に直接反映される「送気量」を費用の代替指標とする。

(2)効果（Benefit）： システム運用にともなう水質改善効果としては、池内水質や放流水質の改善度、下流域の浄水場でのろ過障害の減少、あるいは、下流の河川環境の改善、など様々な環境項目が関連している。現時点ではこれらを総合的に評価するための方法論が確立されていないため、便宜上、各水質項目の「水質改善度」をもって水質浄化システムの効果を評価する。

3. 水質改善度（効果）

水質解析に基づいて、深層曝気による「水質改善度（WQCR）」を「自然状態における水質濃度と深層曝気を施した場合の水質濃度との偏差」として次式のように定義する。

$$WQCR_i = WQNA_i - WQAR_i \quad (1)$$

ここで、 $WQCR_i$ ：ある水深における第 I 水質項目の水質改善度(mg/l)、 $WQAR_i$ ：深層曝気を実施した場合のある水深における第 I 水質項目の濃度(mg/l)、 $WQNA_i$ ：深層曝気を実施しない場合（自然状態）の第 I 水質項目の濃度(mg/l)、である。ただし、溶存酸素の場合には水質改善により濃度が増加するため以下のように表す。

$$WQCR_{DO} = WQAR_{DO} - WQNA_{DO} \quad (2)$$

対象貯水池における取放水口の位置や水温構造を考慮して、標高 EL.185m 以深を「深水層」と定義する。深水層における第 I 水質項目の年平均改善度 ACR_i を次式のように定義する。

$$ACR_i = \frac{\iint WQCR_i \cdot Adzdt}{\iint Adzdt} \quad (3)$$

キーワード：貯水池水質シミュレーション、深層曝気、費用対効果、水質改善度、最適化

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

ここで、 A は、貯水池の水平面積(m^2)、 z は貯水池の高さ(m)である。

溶存酸素 DO, 溶存態マンガン U-Mn に関し、送気量にともなう年平均水質改善度 ACR_i を図-2(a)~(b)に示す。同図より、適正な送気量は水質改善度が最大値に達する前後に対応すると考えられる。また、対象項目毎に水質改善が最大値に達する送気量は異なるため、貯水池の問題に応じていずれの水質項目を改善目標とするかを検討する必要がある。

4. 送気量 (Initial Cost) と総送気量 (Running Cost)

問題を簡略化すれば、送気量は施設の大きさ、すなわちシステムの初期投資 (Initial cost) に相当し、総送気量はシステムの運用費用 (Running cost) に対応する。そこで、前述の検討に加え、運転費用に直接反映される送気量と施設規模を反映する総送気量を評価軸にとり、これらと水質改善度との関係から水質浄化システムの最適な運用形態と運用規模を検討する。

(1) 総送気量 (送気量×運転期間) の設定

総送気量の設定にあたっては、施設運転の ON/OFF の時間区切りを 1 ヶ月単位とし、計算開始日以降、9 月までの毎月 1 日を運転開始日と設定した。放熱期には全層混合が生じるため、運転終了日を 10 月末日とした。

(2) 水質改善度に基づく送気量 (施設規模) と総送気量 (運転費) の最適化

平均水質改善度 ACR_i を評価指標と (送気量, 総送気量) との関係を検討する。図-2 には、送気量と総送気量変化にともなう各水質項目の改善度の変化を示す。図中の点線は、単位送気量あたりの水質改善量 (= 水質改善効率 $WQCE_i$) であり、次式で定義する。

$$WQCE_i = \frac{\iint WQCR_i \cdot A dz dt}{\int (Q_{air}) dt} \quad (4)$$

ここで、 $WQCR_i$: ある水深における水質項目 i の改善度、 Q_{air} : エアレータからの送気量(l/h)、である。

図-2(a)の溶存酸素の場合、曝気運転期間が長いほど、また送気量が大きいくほど、水質改善度が増加する。一方、改善効率に着目すれば、送気量が小さいほど改善効率が高くなり、送気量 600(l/h)において最も高い改善効率が得られている。しかし、水質改善度を考慮すると (送気量-総送気量) の組み合わせが必ずしも最も効果的な水質改善に相当するとは限らない。水質改善度を優先した場合、最適な (送気量, 運転期間) の組み合わせは楕円で囲まれた領域に対応すると考えられる。図-2(b)の溶存態マンガンの場合にも同様にして、楕円で囲まれた領域で最適な (送気量, 運転期間) の組み合わせが得られる。

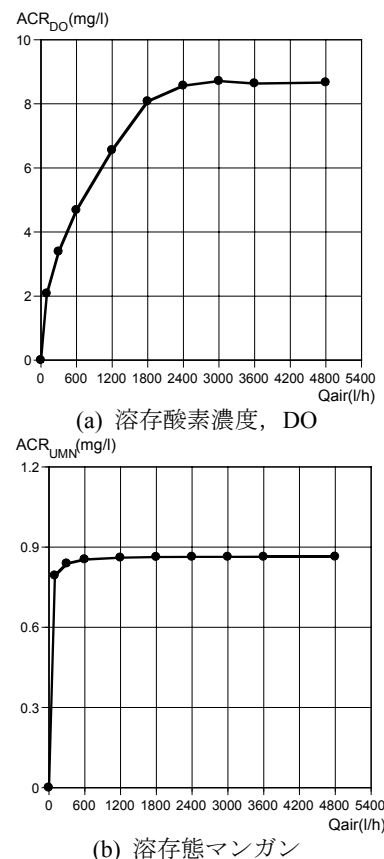


図-2 平均水質改善度

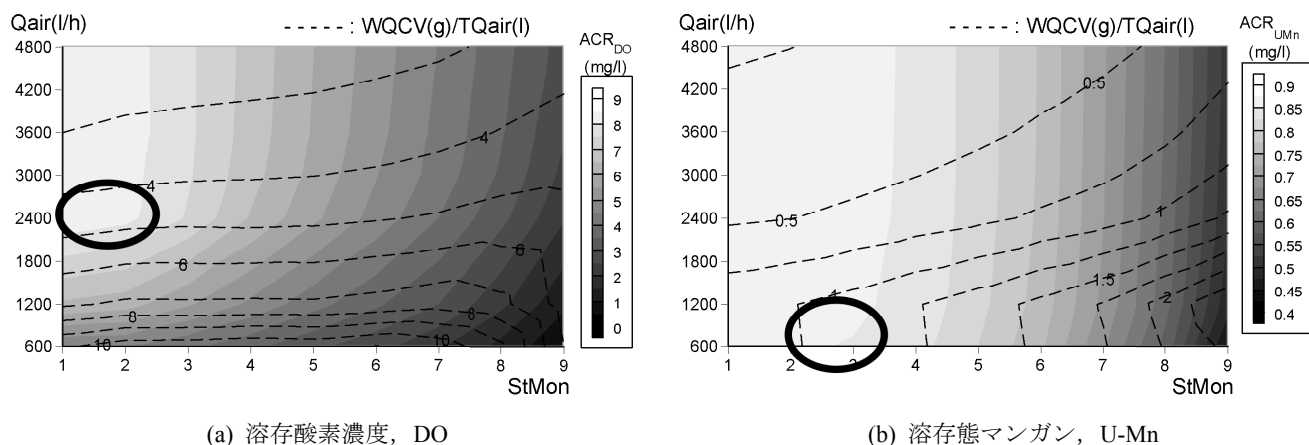


図-3 平均水質改善率 $WQCE_i$ と (送気量 Q_{air} , 運転期間 $StMon$) の関係