

環境負荷を考慮した効率的なダム貯水池の水質浄化に関する基礎的研究

鳥取大学工学部 正会員 ○矢島 啓
 京都府警察本部 非会員 臼井 知弥
 神戸大学工学部 正会員 道奥 康治

1. はじめに 現在、水質汚濁が問題となっているダム貯水池において、様々な水質改善対策が行われている。しかし、貯水池内の曝気循環や流入水の直接浄化には、多額の費用（多くの場合は公的資金）がかかる。また、装置を運転するためには電気などのエネルギーを使用し、その代償として、CO₂ 排出などの環境負荷を発生させる。これまでの水質改善施策は、その効果を重視してきたが、これからは、水質改善効果に係る費用及び環境負荷を加えた3つの観点から、適切な水質改善施策を検討する必要がある。

本研究では、広島県にある H ダムを対象として、収集した資料から水質浄化に要するコストと環境負荷（CO₂ 排出量）を算定するとともに、数値シミュレーションを用いて、単位コスト及び単位 CO₂ 排出量に対する水質改善量の観点から最適な水質改善施策の評価を試みる。なお、H ダムでは、過去の研究において、長期の水質変動をシミュレートできる1次元貯水池水質予測モデル DYRSM-CAEDYM¹⁾が構築されている。

2. 浄化対策の設備等の運転コストと CO₂ 排出量の算定 まず、各種の水質浄化設備の浄化性能、建設費、運転コスト、使用電力量、A 重油使用量等の基礎データをヒアリングや収集資料をもとにまとめる。そして、それらのデータを用い、温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル²⁾に従い、それぞれの浄化対策における CO₂ 排出量の算定を行う。貯水池への流入水を直接浄化する対策として下水処理施設、プラスチック材料を用いるリバ・フレッシュ工法³⁾、濾過装置を用いる BCO ハピネスクリンウォーターシステム⁴⁾の3つを、貯水池内の水質改善を目標とした曝気循環装置として、高山ダムに設置されている散気管方式⁵⁾のものと H ダムに実際に設置されているものの2つを想定する。得られた水質浄化設備の運転コスト（建設費の減価償却も含む）と CO₂ 排出量を表-1 に、曝気循環装置の年間運転費用と環境負荷と性能を表-2 に示す。

表-1 水質浄化設備の運転コストと CO₂ 排出量

	水 1m ³ の処理に伴う		浄化能力（窒素）		浄化能力（リン）		備 考
	処理費用 (円)	CO ₂ 排出量 (tCO ₂)	処理前 (mg/l)	処理後 (mg/l)	処理前 (mg/l)	処理後 (mg/l)	
下水処理施設	137	0.000863	40.5	11.2	—	—	鳥取市秋里処理施設のデータ
リバ・フレッシュ工法	34.9	0.000008	11.4	9.3	1.5	1.1	
BCO ハピネスクリンウォーターシステム	14.8	0.00026	5.08	0.93	0.89	0.07	

※下水処理施設のリン浄化能力は、参考とした施設の実測で、処理後の方が濃度が高いため検討外とした。

表-2 曝気循環装置の年間運転費用と環境負荷と性能

1 基あたりの→	年間運転費用(万円)	年間 CO ₂ 排出量(tCO ₂)	空気量 (m ³ /min)
高山ダムの曝気循環設備	980	11	5.6
H ダムの曝気循環設備	1,062	53	3.7

3. 最適な水質改善施策の検討パラメータの算出 DYRSM-CAEDYM を用い、H ダムにおける流入負荷を変化させた場合と曝気装置を設置した場合の水質改善量から、単位コスト及び単位 CO₂ 排出量に対する水質改善量を求め、それら2つの評価軸から最適な水質改善施策の検討を行う。計算の対象年は、H ダムにおける水質変動の検証が行われている1994年のデータをもとに、以下の手順で評価に用いるパラメータを算定する。

- ① 水質改善施策の設定として、流入負荷については、T-N と T-P 濃度をそれぞれ25%、50%減少させた場合の検討を行う。この時の運転コストと CO₂ 排出量は、表-1 に示した値から単位量の T-N と T-P の除去に必要なコストと CO₂ 排出量を求め、その値に流入負荷の減少に伴う窒素やリンの除去量をかけて算定した。ただし、処理水の濃度などの条件が異なるため、必ずしも技術的に現実的でない可能性がある。また、曝

気装置については、高山ダムと同型の曝気装置を 1,5,10 基稼働させた場合と、H ダムに実際に設置されている曝気循環装置 8 基を稼働させた場合を検討した。曝気装置運転に伴う運転コストと CO₂ 排出量は表-2 の値を使用した。実際のシミュレーションでは、これらを組み合わせた全 34 ケースの計算を行い、ケースごとに、トータルの運転コスト(C)と CO₂ 排出量(E)を求めた。

- ② DYRESM-CAEDYM による計算結果から、ケースごとに、水質改善策を行ったことによる DO 濃度、T-N 濃度、T-P 濃度の改善量を算定する。例えば、DO 濃度の場合、DO の目標濃度 C_s を 5mg/l と設定して、平均的な酸素不足量 ϕ_p を求める。この ϕ_p を、水質改善策がない時の ϕ_p から差し引いた値を水質改善量 ΔP とした。

$$\phi_p = \iint \Delta C(z,t) A(z) dz dt / \int dt \quad \cdots (1)$$

ただし、式(1)中の $A(z)$ は水深 z における貯水池面積であり、DO 不足量 ΔC は次式により定義される。

$$\Delta C(z,t) = \begin{cases} C_s - C(z,t) & \text{if } C_s > C(z,t) \\ 0 & \text{if } C_s < C(z,t) \end{cases} \quad \cdots (2)$$

T-N 濃度及び T-P 濃度については、それぞれ目標値を 0.43mg/l、0.02mg/l とし、(2) 式を以下のように変更した。

$$\Delta C(z,t) = \begin{cases} C(z,t) - C_s & \text{if } C_s < C(z,t) \\ 0 & \text{if } C_s > C(z,t) \end{cases} \quad \cdots (2)'$$

- ③ 計算を行ったケースごとに、②で求めた水質改善量(ΔP)を①で求めたコスト(C)、CO₂ 排出量(E)で除すことにより、DO、T-N、T-P における 1 円あたりの改善量($\Delta P/C$)と 1tCO₂ あたりの改善量($\Delta P/E$)を算出する。

4. H ダムでの検討結果 1 円あたりの改善量($\Delta P/C$)と 1tCO₂ あたりの改善量($\Delta P/E$)を図-1～図-3 に示す。1 円あるいは 1tCO₂ あたりの改善量が大きいほど図の右上に示され、費用対効果が良く、環境負荷の小さい水質改善策であることを示している。すべての図において、▲で示したケース 7 (流入負荷 0%削減、高山ダムと同型の曝気循環設備 1 基を稼働) が想定したケースの中では最適な水質改善施策となった。また、次に良い結果が●で示したケース 8 (流入負荷 0%削減、高山ダムと同型の曝気循環設備 5 基稼働) となった。今回の検討条件では、流入負荷を削減するケースは、すべての流入水を浄化するため、膨大なコストと環境負荷を生じ、このような結果になった。

5. おわりに 本研究で最適な水質改善施策と評価したケースは、春期は窒素、リン濃度が高く、夏期には溶存酸素濃度が 3mg/l 以下の貧酸素域も大きく、十分に貯水池内の水質が改善されているとは言えない状態であった。今後は、満たすべき水質改善の目標を設定した上で評価する必要がある。また、水質改善のパラメータの選定と複数ある水質改善の評価指標の重み付けも考える必要がある。

本研究は、平成 18 年度科学研究費補助金(基盤研究(B))「総合的環境負荷と費用便益を考慮した貯水池水質浄化施策の最適化」、代表：道奥康治、課題番号 18360237 を受けて行われました。記して謝意を表します。

参考文献 1) 矢島啓ら：異高同時選択取水によるダム貯水池の水質保全効果に関する研究，水工学論文集，Vol.49，pp.1135-1140，2005． 2) 環境省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル，<http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/manual/chpt2.pdf> 3) NETIS (新技術情報提供システム)：(株)間組 リバ・フレッシュ工法 4) NETIS (新技術情報提供システム)：株式会社 ビー・シー・オー 循環型水質浄化システム (BCO ハピネスクリーンウォーターシステム) 5) 国土交通省近畿地方整備局：高山ダムの曝気循環設備について～曝気循環の概要と水質状況～ http://www.yodoriver.org/kizugawa/3rd/pdf/kizu_3rd_h01.pdf

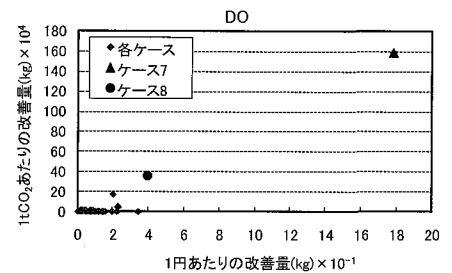


図-1 1 円あるいは 1tCO₂ あたりの DO 改善量

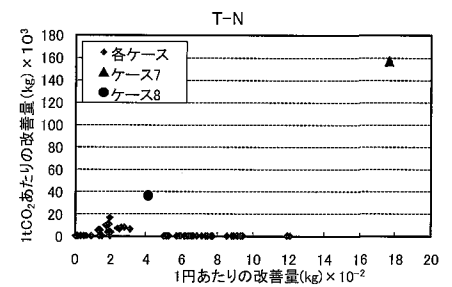


図-2 1 円あるいは 1tCO₂ あたりの T-N 改善量

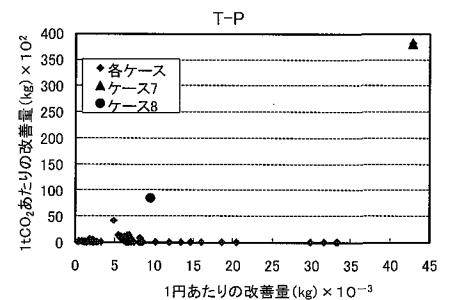


図-3 1 円あるいは 1tCO₂ あたりの T-P 改善量