

曝気式循環施設の貯水池水質対策としての吐出空気規模に関する研究

東北大学大学院工学研究科 学生会員 ○王 孟涛

東北大学大学院工学研究科 正会員 梅田 信

1.はじめに

ダム貯水池は、治水や利水における役割を果たしており、社会基盤施設として非常に重要なものである。しかしながら、貯水池内に栄養塩類の蓄積が進むと、藍藻類等の植物プランクトンの異常増殖が発生し、アオコ等の水面の着色現象や上水の異臭味障害などが発生し、景観や水利用に著しく障害を及ぼすことがある。アオコ抑制対策として、曝気式循環施設が利用されることが多い。これは、密度（水温）差によって成層化している貯水池において、気泡の浮力により周囲の水塊を連行させ、貯水池内に循環流を発生させることにより、アオコ現象を抑制するものである（曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル, 2005）。

しかし、その設置計画の手法については、必ずしも確立した指針は未だ無く、流動数値シミュレーションを併用しながら半ば経験的に設置規模等を決定せざるを得ない。そこで、本研究では従来の知見も参照しつつ、簡易な指標により合理的な施設規模を求めるための検討を実施した。

2.研究方法

2.1 表層水温勾配

アオコの発生の原因となる藍藻類の増殖は、貯水池内の水温成層と関連がみられることが指摘されている。アオコ発生指標として用いられている表層水温勾配は、式（1）で表される。

$$K = -\frac{T_1 - T_2}{D_1 - D_2} \quad (1)$$

ここに、 T_1 ：表層（水面付近）の水温（℃）、 T_2 ：水深 3m の水温（℃）、 D_1 ：表層水温 T_1 の測定水深（m）、 D_2 ： T_2 の測定水深 3m である。 K が 0.5(℃/m) を超過すると、アオコが発生する可能性が高くなるという知見が既往研究で研究されている。本研究も表層水温勾配を指標とし、曝気式循環施設の効果を評価する。

2.2 解析モデル

本研究は貯水池の鉛直一次元水温解析モデル（梅田信・落合, 2012）を使用する。基礎方程式を（2）および（3）に示す。

$$\frac{dV_{rsv}}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = K\left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) + S \quad (3)$$

ここに、 V_{rsv} ＝貯水量、 Q_{in} ＝流入量、 Q_{out} ＝放流量、 T ＝水温、 K ＝拡散係数、 S ＝水温の生成項である。

また、曝気により生じる流動に関しては（Asaeda and Imberger, 1993）による二重ブルームモデルで表現される。貯水池モデルと曝気モデルの両者の接合は（梅田, 2005）により構築された。

2.3 従来の施設規模指標

曝気式循環施設の施設規模についての指標としては、土木研究所により約 25 年前に提唱された k 値が近年はも用いられている。これを参考に施設を設置した水資源機構のダムで有害藍藻類の抑制に成功している（今本ら, 2013）。式（4）に k 値の定義を示す。

$$k = \frac{\sum \sqrt{Q_B}}{A} \quad (4)$$

ここで、 Q_B は曝気循環装置 1 基あたりの吐出空気量 [L/min]、 A は貯水池の湛水面積 [km²] を表している。既往研究では、概ね 200 から 300 以上の k 値を満たすと十分な施設規模であるとされている。

3.計算条件

福島県内に位置する三春ダムを対象とし、解析を行った。参照した現地状況についてのデータの対象期間は 2011/1/1～2011/12/31 とした。この実際のダム貯水池の条件に対して、貯水池の規模が異なる条件を設定した解析を行った。このような条件に対する曝気式循環施設の必要規模を算定するために、本来の貯水池容積 V に倍率をかけ、七つの仮想容積を設定した。合計 8 つの容積を図 1 に示す。また、貯水池の容量に対する水理学的条件を一定に保つという意味で、貯水池の回転率に維持した。そのため、容積とともに流入量と放流量も同じ倍率をかけ与えた。計算時間ステップを 60 秒、鉛直方向の計算メッシュを 0.5m とした。各貯水池の

キーワード：ダム貯水池、アオコ、曝気式循環施設、表層水温勾配、施設規模

連絡先：〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 環境水理学研究室 022-795-7453

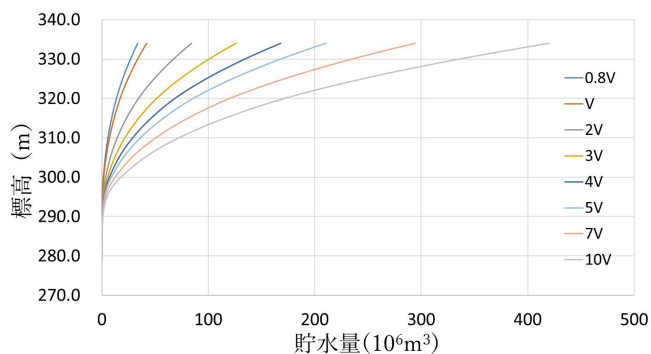


図1 ダム貯水池水位と貯水量曲線

条件に対する最適と考えられる施設規模を表層水温勾配によって評価した。本研究は曝気式循環施設の総空気量規模に着目するため、1基当たりの吐出空気量は三春ダムの実績にしたがって、 $3.7\text{m}^3/\text{min}/\text{台}$ と設定した。

4. 計算結果

本来の貯水池規模 V の場合において、曝気なし、2台、4または8台を設定する時の表層水温勾配の時系列を算出した。その結果を図2に示す。また、評価基準の $0.5(^{\circ}\text{C}/\text{m})$ を超過した日数はそれぞれ74日、23日、4日、0日となった。図2から、曝気式循環施設の台数の増設につれて表層水温勾配が減少するのが見られた。また、全2台から全4台への増設は効果が明らかに見えるが、さらに全4台から全8台へ増設するのは大きな改善が見られなかった。したがって、貯水池規模が V の場合において、最適台数が4台であると考えられる。

以上のような定性的な方法を用い、表層水温勾配の時系列の図式および $0.5(^{\circ}\text{C}/\text{m})$ を超過する日数の比較することにより、各貯水池規模におけるそれぞれの最適施設規模を求めた。吐出空気量と気泡噴流量が線形ではなく、ほぼ空気量の1/2乗に比例するという水理学的な特性が考慮されている⁵⁾ため、算出した貯水池規模は従来の施設規模指標である k 値に合わせて、 $Q_B^{1/2}$ の総和とした。最適施設規模と貯水池規模の関係を図3に示す。 k 値が200である評価基準から得られた直線と比較検討を行った。図3から、貯水池の規模が大きいくほど、曝気式循環施設の必要量が高まると見られた。また、今まで使用されてきた設計指標 k 値による設計に比べて低い規模が本研究では得られた。

5. まとめ

本研究は表層水温勾配を指標とし、数値シミュレーションを用いて、曝気式循環施設の施設規模を評価する手法を検討した。また、貯水池の規模が異なる場合の

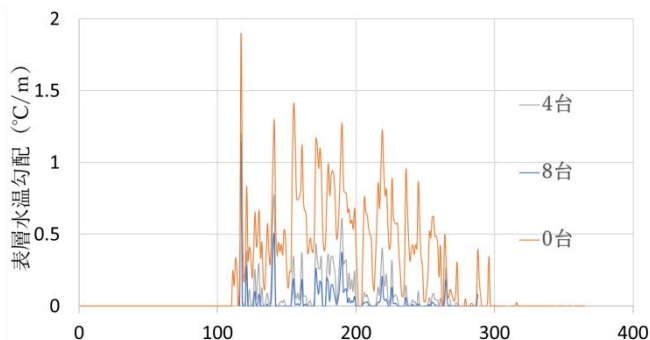
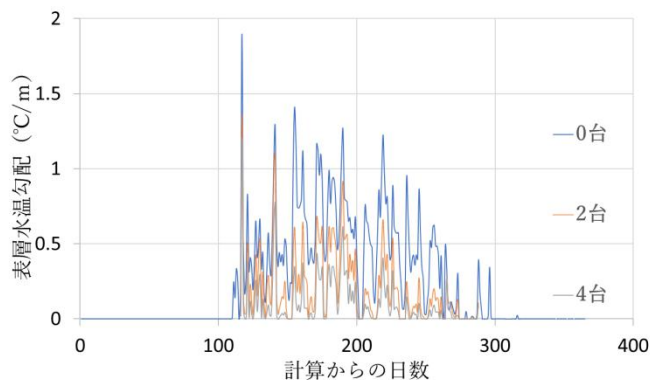


図2 貯水池規模Vにおける表層水温勾配時系列比較

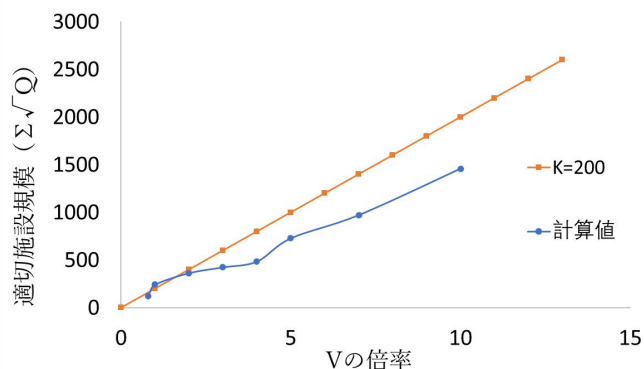


図3 適切施設規模と貯水池規模の関係

曝気必要量の変化傾向を算出し、従来の施設規模指標である k 値と比較、検討を行った。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局：曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル（案），平成17年10月版，2005.
- 2) 梅田信：水工学論文集，第49巻，pp. 1165-1170, 2005.
- 3) 古屋哲志，梅田信，田中仁：水工学論文集，第49巻，pp. 1185-1290, 2008.
- 4) 梅田信，落合雄太：土木学会論文集G（環境），Vol.68, No.5, I_127-I_135, 2012.
- 5) 古里栄一ら：土木学会論文集B1（水工学），Vol.75, No.2, I_691-I_696, 2019.