

曝気循環施設により生じる貯水池内流動解析モデルの検証

東北大学工学部 学生会員 ○古屋 哲志
東北大学大学院 正会員 梅田 信
東北大学大学院 フェロー 田中 仁

1. はじめに

ダム湖における藍藻類の異常増殖によるアオコの発生は上水道の浄水ろ過障害や景観障害といった利水の面から問題視されている。アオコの対策の一つとして本研究で取り上げる曝気循環施設がある。曝気循環施設とは、気泡の浮力を利用して水温躍層を破壊し、アオコを補償深度で深まで送り込むことでアオコの発生を抑える手法である。

本研究では曝気循環施設の効果を評価するために必要とされている貯水池内の流動シミュレーションモデルの検証を行う。本研究で扱うモデルでの解析は7日間程度の短期間の計算は行われていたが¹⁾、1年間という長期的なシミュレーション解析を行うことによってシミュレーション自体の実用化することを本研究の目的としている。本論文では数値解析の計算結果を現地の実現象と比較することで数値解析の妥当性を検討した。

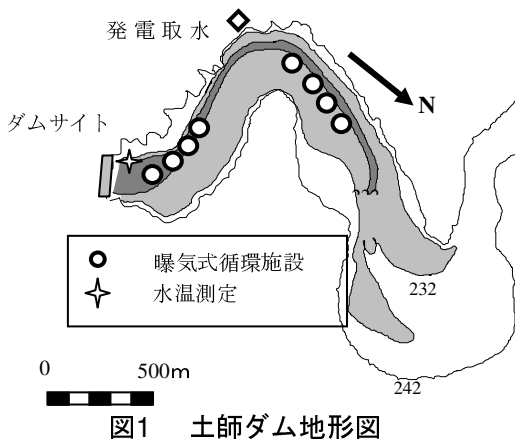


図1 土師ダム地形図

2. シミュレーションモデルの概要

本研究のモデルでは、貯水池全体の流動解析と曝気による流動の解析を連結して行う¹⁾。本モデルを構成するこれらの要素モデルの概略は次のとおりである。貯水池内の流動の解析についての基礎方程式は、連続の式、ブシネスク近似を用いた運動方程式、乱れエネルギー k 及び粘性散逸率 ϵ の輸送方程式、水温の輸送方程式である。これらの式を有限体積法を用いて離散化し、圧力補正を SIMPLE 法によって行った。また、

渦動粘性係数を $k-\epsilon$ モデルを用いて導出した²⁾。

曝気により生じる流動は Aseda and Imberger³⁾による二重プルームモデルを用いた。このモデルは、気泡とともに上昇する内部プルームとその外部を下降する外部プルームについてモデル化している。基礎方程式は、内部、外部プルームのそれぞれに対して連続の式、運動方程式、浮力の保存式が立てられている。

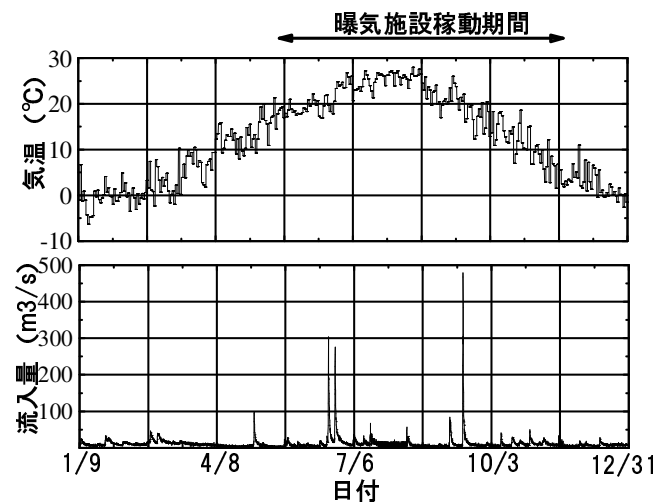


図2 気温、流入量年間時系列データ

3. 検討対象フィールド

3.1 対象フィールドの概要

本研究では広島県内に位置する土師ダムを対象とした。貯水池及び湖底地形の概要図を図1に示す。総貯水量は $47.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ の貯水池であり、2001年の流入量から求めた回転率は7.69であることや湾曲しているという地形条件も含め、水質が悪化しやすいダム湖であると考えられる。2001年のダム放流量は $1.93 \text{ m}^3/\text{s}$ ~ $12.57 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、ダムサイトから約1km上流に発電用水として取水されていて、ダム湖の流れに大きく影響している。2001年のダムサイトからの取水は $0 \sim 21.6 \text{ m}^3/\text{s}$ で推移した。

3.2 水質状況

1988年ごろから藻類の異常増殖が見られ、夏季にはマイクロシステリスを主とする藍藻類によるアオコが発生した。この対策として、1999年から2000年にかけて

て計 8 基の曝気循環装置を設置するなどの水質保全対策を図ってきた。

土師ダムの管理所では鉛直水温分布の実測を月 1 回行っており、本研究では、構築したモデルの検証の際にはそのデータを用いた。実測地点は図 1 に示す水温測定地点で測定している。また、2001 年には水質自動測定を行い、水深ごとの水温が時間単位で計測した。

4. シミュレーションモデルの検証

4.1 計算条件

本研究では、曝気循環施設の設置後となる 2001 年を対象として、モデルの検証を行った。数値計算の際の境界条件として流入条件（流入量、流入水温）、放流条件（選択取水、発電放流）、気象条件（気温、湿度、雲量、風速、日射量）をダム管理所の観測記録から与えた。図 2 に入力データとして用いた気温、流入量の時系列データを示す。また、曝気施設は各メッシュ毎の基数、空気量、曝気敷高を入力条件として与えた。初期条件としては、1 月 9 日の鉛直水温分布の実測データを初期値として計算を行った。メッシュ幅は流れ方向に 250m、鉛直方向に 1m の間隔で区切り、時間ステップは 30s とした。数値計算の期間は 2001 年の 1/9～12/31 の期間で行った。曝気循環施設は 5 月 1 日～10 月 31 日まで稼動していたが、図 2 の流入量のグラフにみられるように、まとまった降雨のあった 6 月 20 日～27 日、9 月 10 日、9 月 18 日～20 日の期間は稼動を停止している。

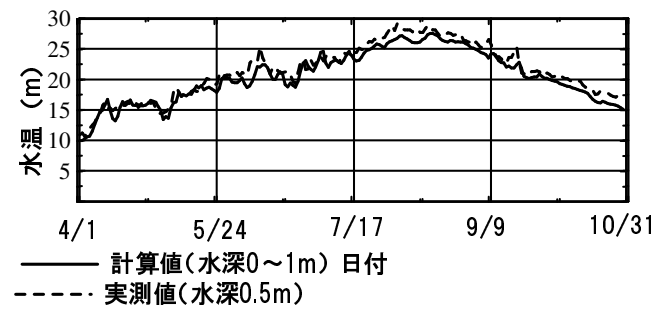
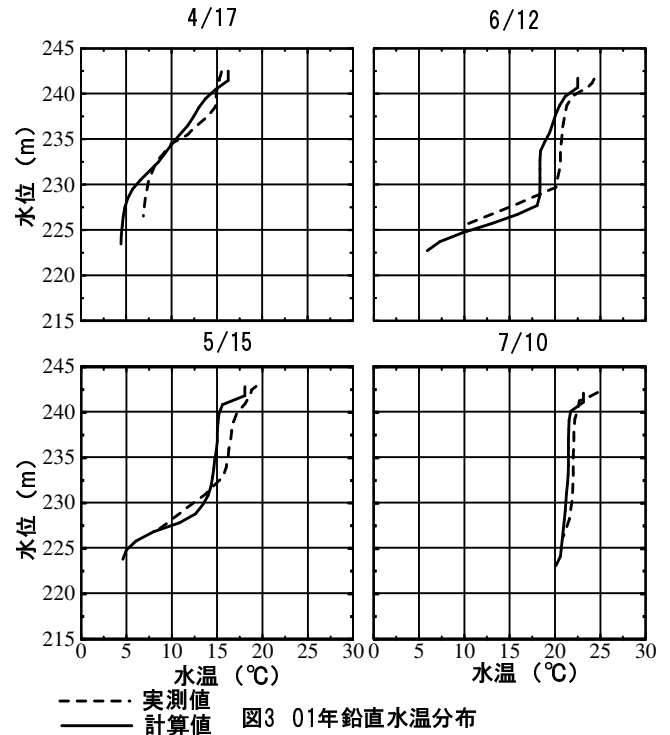
4.2 計算結果と実測値の比較と考察

2001 年における図 1 の水温測定地点での水温鉛直分布の計算値と実測値を図 3 に示す。曝気循環施設設置前の土師ダムは 4 月から 9 月にかけて水温躍層が生じていた。短期間を対象とした既往の検討で 1) 曝気稼動時の水温躍層の破壊過程が表されていたが、本研究のシミュレーションでは季節的な長期変化も再現されており、曝気施設による流動もよく再現されているといえる。また、図 4 に水質自動測定による実測値と数値解析による計算値のそれぞれの表層水温の比較を図 4 に示す。表層水温とプランクトンの量は密接に関係している。そのため、表層水温はダム湖の水質状況において重要な指標となるが、図 4 から計算値と

実測値を比較すると、こちらもよい再現性が得られていることがわかる。

5. おわりに

本研究では、水質保全対策としてダム湖に設置される曝気施設による貯水池内流動の解析を、1 年間という期間で行い、実測値と比較し検証した。モデルに関しては鉛直水温分布及び時間変動に対して比較的よい再現性が得られた。



参考文献：

- 1) 梅田 信：曝気循環を考慮した貯水池内流動に関する数値解析モデルの構築と検証，水工学論文集，第 49 巻，2005 年 2 月
- 2) 荒川 忠一：数値流体力学。
- 3) Asaeda, T. and Imberger, J.: Structure of bubble plumes in linearly stratified environments, J. Fluid Mech., Vol. 249, pp. 35-57, 1993..