ダム貯水池における水温成層時の流動解析

東北大学工学部建築社会環境工学科 学生会員 〇内藤 悠太 東北大学工学研究科土木工学専攻 正会員 梅田 信 首都大学東京都市基盤環境学科 正会員 新谷 哲也

1. はじめに

我が国は水資源の供給源としてダム貯水池に大きく 依存しており,貯水池における水質管理は重要と言える. これに対して,秋季に水面冷却に伴う大循環が開始した ため,中層まで沈降していた濁質が再浮上し,水質が悪 化し濁りが長期化する事例がある.一方で,梅田ら¹⁾は, アオコの発生限界となる浮力周波数が水面冷却による 鉛直混合との関係性を指摘しており,水面から表層水が 冷却されることでアオコの発生が抑制される可能性も 考えられている.以上のように,水面冷却による鉛直混 合はダム貯水池内における微細懸濁粒子に関する水環 境問題に大きく影響を及ぼしている.

水面冷却に伴う対流・循環機構に関して,水理学的観 点からいくつか研究がなされているが(例えば文献²), 水面冷却による鉛直混合の詳細な機構に関する知見は 未だ十分とは言えない.そこで本研究では水温成層が発 達している,循環期前の初秋期のダム貯水池において, 水温成層条件と関連させ,気象条件に影響を受けた湖水 流動の解析を行った.

2. 研究方法

2.1.研究対象

本研究では、一級河川・北上川水系胆沢川に建設され た胆沢ダム貯水池を対象とした. 胆沢ダムは、従来供用 されていた石淵ダムの再開発として、その約 2km 下流 に建設された大規模なダムである. 流域面積が 180.5 km²であり、総貯水容量が 1.43×10⁸ m³の貯水池である. 図-1 に胆沢ダム貯水池の平面形状を示す. 上記のよう に流域面積に対して貯水量が大きな貯水池諸元のため、 湖水の年平均回転率は、約3回と小さい.

2.2. 貯水池内の水環境測定

2016 年 8 月 27 日~9 月 27 日の期間で,図-1 中の地 点 A において湖底設置の ADCP による 3 次元流速の鉛 直構造計測を行った.測定間隔は 20 分,測定層厚は 1.0m である.また,ダムサイト付近において水温等の鉛直分 布の観測も1日2回行われている.

2.2. 流動解析

流動解析は、新谷ら³により開発された環境流体シミ ュレーターFantom3Dを用いる.支配方程式は、3次元の 連続式と運動方程式、およびスカラー(水温、乱流特性 量)の輸送方程式であるが、運動方程式は静水圧近似お よびブジネスク近似を施している.また乱流モデルは、 二方程式乱流モデルであるGLSモデルを適用している. 移流項の離散化に関しては、3次精度のULTIMATE-QUICKEST法によって精度を確保している.



2.3.計算条件

計算期間は流動観測期間と概ね対応する 2016 年 8 月 27 日~9 月 30 日の約一ヶ月間とした.初期条件には実 測水温の鉛直分布を与え,洪水の約 3 日前から計算開始 とした.計算格子間隔は,水平方向を 50m とし,鉛直方 向は水温成層状況を考慮して,標高 330m 以上は dz= 0.25m,標高 315~330m は dz=0.5m,標高 315m 以下は dz=1.0m とした.時間間隔は 5.0 秒とした.

貯水池の運用条件および気象条件に関しては、ダム管 理所において計測されたものを用い、気象条件のうち雲 量については気象庁の盛岡地方気象台における観測値 から与えた.また、流入河川水温についてもダム管理所 により1時間ごとの計測が行われているので、これを用 いた.図-2にこれらのデータのうち、主なものを示す.

3. 結果

図-3 に水温分布の観測結果および計算結果を示す. 横軸は時間(日にち)を示し,縦軸は標高を示しており, それぞれの観測を行なった深度方向範囲の最底面であ る標高 300m を最定位置とした. 観測結果(図-3 上段) については,図に示した観測期間を通して,水温躍層が 概ね標高 315m あたりに存在し,期間当初の8月終わり から見比べると,やや低下している様子も受け取れるが, 深度の変化は小さい.なお,8月末の空白部は欠測期間 である.また,計算結果については,水温躍層の深度は 観測結果と概ね一致しているものの,時間が進むにつれ て,観測結果よりも水温勾配が弱くなる傾向となった.

図-4に水平流速の観測結果・計算結果および, 渦動粘 性係数の計算結果を示す. なお渦動粘性係数は, 変動を 見やすくするために, 対数を取って示した.

観測結果については、流動構造として、図中で赤と青 が順に生じる往復流的な構造が生じており、特に観測期 間前半で顕著である.流動計算の結果から、図で縞状に 見える流動構造は、図-2の気象条件に見られた周期的 に入れ替わる風向に影響を受けた吹送流が、主な原因で

Keyword: 貯水池, 躍層, 流速, 冷却混合 連絡先: 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, Tel & Fax 022-795-7453 あることが確認できた. 吹送流が主な流動要因であることも踏まえると, 表水層が深水層よりも流速が大きい傾向にあることが理解できる.

計算結果については、観測結果にも見られた吹送流に 伴う交差流構造は概ね表現された.また、9月後半の渦 動粘性係数に着目すると、9月20日頃以降に水深5~ 10m程度に黄色で示されるやや高い値の層が形成され ていることがわかる.観測結果でも、同様の期間におい て水深10m程度で流速のばらつきが大きくなっている ことが確認できる.これらの期間は、上述の秋雨前線の 停滞による9月18日頃のやや大きな気温低下の時期に 対応していることから、気温低下に伴う冷却混合の発生 が、渦動粘性係数の分布として表現されているのではな いかと考えられる.

4. 謝辞

本研究は、文部科学省気候変動適応技術社会実装プロ グラム(Si-CAT)およびJ17H04585(代表:峠嘉哉)の 援助を受けて実施された.記して謝意を表する.

5. 参考文献

- 梅田信,古里栄一,浅枝隆:富栄養化したダム湖 におけるアオコ発生指標としての水温成層安定 性,ダム工学,16(4),2006
- 木村晴保,紙井泰典,徳山圭太,長島哲史:水面冷却対流の解析方法と鏡ダム湖の水面冷却対流,日本水産工学会誌,48巻2号,2011
- 3) 新谷哲也,中山恵介:環境流体解析を目的としたオ



図-2 観測および計算対象期間の胆沢ダムにおける 貯水池運用および気象条件

ブジェクト指向型流体モデルの開発と検証,水工学 論文集,第53巻,2009年2月



図-4 貯水池流下方向の水平流速(上段:観測結果,中段:計算結果),下段:渦動粘性係数(計算結果)