

成層した貯水池の初秋期における冷却混合に関する観測と解析

東北大学 正会員 ○ 梅田 信

1. 序論

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ことがある。また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。これらの事例のように、水面冷却による鉛直混合はダム貯水池内における水質環境に大きく影響を及ぼしている。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不十分である。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現地観測と解析を行った。

2. 研究方法

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。流域面積が180.5km²であり、総貯水容量が1.43×10⁸m³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。

流動観測は、2016年8月27日～9月27日の期間で、図-1に示した貯水池下流寄りに丸印で示した地点Aに超音波ドップラー流速計 (Teledyne RDI ADCP, 600kHz) を設置して行った。観測条件は、層厚1m、各アンサンブル300ピンとし、20分間隔で測定を行なった。測定機は湖底近くに設置し、概ね標高300mから水面（観測期間において標高340m前後）までを測定した。また、水面付近の数mは測定結果にノイズが大きかったため測定結果からは除去して整理を行った。

観測の後半に、表水層で見られた流速変動は、秋季の気温低下に伴って生じる冷却対流混合³⁾であると考え解析を行った。その際、次のような仮説および考え方に基づいた。気象条件（主に夜間の気温低下と放射冷却を対象とする）により、湖水表面の水温が低下する状況を想定し、熱収支に基づいて、その水温を推定した。その際、水面のごく表層（水深0.1mまで）の水温が、一定時間（本解析では1時間とした）で変化すると仮定した。また、初期表面水温は観測値により与えた。この水温変化した表層水塊が、その周囲水との密度差により下降ブルームとして下降する状況を、以下の基礎方程式により解析した。

$$\frac{d}{dz} (b^2 w) = 2\alpha b |w| \quad (1)$$

$$\frac{d}{dz} (b^2 w^2) = -b^2 g' \quad (2)$$

$$\frac{d}{dz} (b^2 w g') = -\frac{g}{\rho_r} \frac{d\rho_a}{dz} b^2 w \quad (3)$$

ここで、 α : 連行係数、 w : 下降速度、 b : 下降ブルーム半径、 g : 重力加速度、 ρ_r : 基準密度、 ρ_a : 周囲湖水の密度である。また、 $g' = g(\rho - \rho_a)/\rho_r$ と定義した。式(1)~(3)はそれぞれ、周囲水の連行を考慮した連続式、運動量の保存式および浮力の保存式である。

キーワード ダム、密度流、貯水池

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-6 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻

3. 結果

図-2に観測結果から抜粋した者を示す。貯水池内の流速は全般的には20mm/s以下であったが、9月下旬の図に示した期間になると、上層でこの範囲を大きく超える値が頻度高く出現している。さらに、図-5の横軸を青く着色した時間帯は、鉛直流速を含めた流速の乱れが大きく、測定器により測定が不正と判別された範囲を示したものである。このように、この期間の表層水では、それまでとは異なる流れの挙動が生じていた。このような状況が観測されたのが、概ね夜間に集中していることと、循環期に入る前の冷却期であったという発生時期を考慮に入れると、気温低下による表水層の冷却混合対流が発生していたと想像される。このことを確認するために、簡易的な密度流解析により、このような対流混合に伴う流動の発生する標高と時間帯についての検討を行った。

図-3は、冷却混合が流速データに現れ始めたと考えられる9月11日以降の流動状況を、観測値を基に表したものである。この図では、水平流速が湖内では比較的大きな値となる20mm/s以上のところを抽出しており、その時間と水深を流速の大きさに応じて色を変えている。この観測結果に対して、下降プルームの解析から得られた、表層冷却水塊の水平貫入の発生時間と水深を対比してプロットしている。

9月11から14日の早朝にかけては、水面近くの浅いところで比較的強い流れが生じていた。この期間は、風は弱いので吹送流とは考えにくい。また12日から13日にかけて小規模な出水があったものの、これほど継続的に流動を生じさせる規模ではない。したがって、解析結果からも導出されているように水面冷却による対流混合が生じていた可能性が高い。

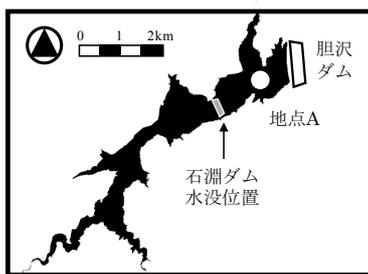


図1 胆沢ダム貯水池の平面図および観測地点

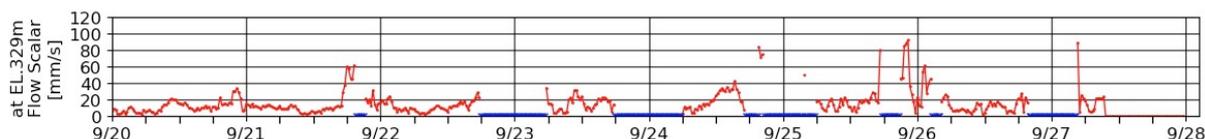


図2 観測結果の流速（一部抜粋，上図はEL.329m）

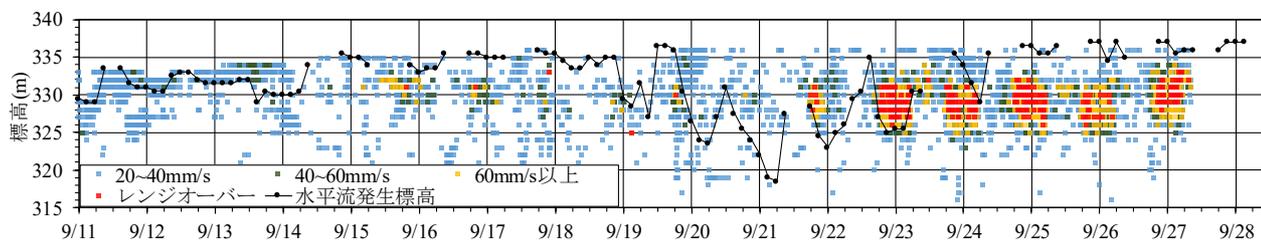


図3 観測値の水平流速および解析結果における水平流の発生深度の時系列分布

謝辞：本研究の実施において、国土交通省胆沢ダム管理所、株式会社建設環境研究所および東北大学大学院生内藤悠太氏の協力があつた。記して謝意を表する。