

曝気循環により生じる三春ダム貯水池内の流動解析

東北大学工学部 学生員 ○堀井貴之
東北大学大学院工学研究科 正会員 梅田 信

1. はじめに

貯水池の富栄養化に起因する藍藻類の異常繁殖（アオコ）は景観の悪化，悪臭の発生，浄水ろ過障害といった利水および環境面で問題視されており，流動制御による水質対策が現在多くの貯水池で運用されている．曝気循環は，アオコ対策としての効果が高いとされる水質改善技術の一つであるが，曝気循環による水温躍層以深の流動の把握は未だ不十分であり，曝気循環によって生じる流動を詳細に把握することが効率的な曝気循環施設の運用と効果的な水質保全につながると考えられる．本研究では，福島県の三春ダムを対象として，曝気装置の比較的近傍に設置した流速計と水温計により約3週間に渡る計測を行い，湖内流動の解析を行った．

2. 研究対象の概要

本研究では，福島県三春町の阿武隈水系大滝根川上に位置する三春ダムを対象とした．三春ダムは平成9年度に完成した比較的新しいダムであり，総貯水量は $4.28 \times 10^7 \text{ m}^3$ ，湛水面積 2.9 km^2 である．図-1に三春ダム貯水池の平面図を示す．三春ダム流入量の85%を大滝根川が占める．また，やつで状の複雑な形状をしているために水の流れが局部的に滞留しやすく，入り江ではアオコの発生が顕著に見られる．現在までに利水上の問題は発生していないが，湖内負荷の蓄積による水質悪化が懸念されている．

三春ダム貯水池内の水質保全としては，表層曝気循環施設5台及び深層曝気施設2台が設置されている．ただし，深層曝気装置については，深層水塊に及ぼす効果・影響の検証を目的に，昨年度より稼働を停止している．

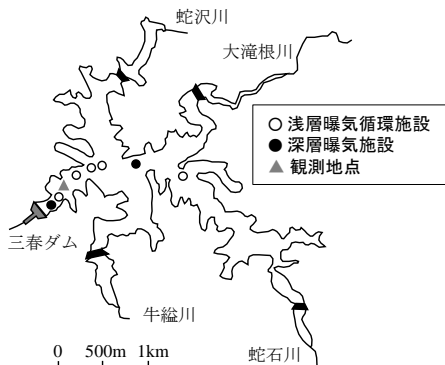


図-1 三春ダム貯水池の平面図

3. 現地観測の概要

下流側の浅層曝気周辺において2011年7月14日から8月1日までの約3週間の水温鉛直分布と流速鉛直分布の連続観測を行った．観測地点付近の縦断面模式図を図-2に示す．曝気装置に起因する流動の把握が目的であるため，最も近傍の浅層曝気装置から上流側に約95m離れた位置に流速計を設置した．流速計はNortek社のAquadopp Profilerを用い，層厚0.4mで底上2.1mの位置から水面より5m程深部までの23.6mの区間の流速を10分間隔で測定した．曝気装置の通常の散気口高さは標高301mであり，測定した水深の中央に位置するよう設定した．また，水温計はOnset製Tidbit（精度 0.2°C ）を使用し，これらを0.5m間隔でロープに取り付け，流速の測定とほぼ同程度の区間を5分間隔で計測した．さらに，湖内の水質状況を確認するために7月14日と8月1日の両日において多項目水質計による測定を行った．多項目水質計はJFEアドバンテック社のRINKO-Profilerを用いて，0.1m間隔で水質の鉛直分布を測定した．

4. 観測結果

観測時の貯水池状況として流入量，また，観測結果として水温分布，流速分布を図-3に示す．流速分布については，曝気装置から流速計に向かう流動を把握するために貯水池の上流方向（概ね北東-南西方向）の成分として整理している．

水温分布から，曝気循環の効果により標高300m付近に水温躍層の形成が確認できる．流速分布には，標高312mから302mの間で上下する赤い流速の領域（厚さが2m程度）がみられ，これが曝気循環による流動の特徴として既往の研究により示されているイントリュージョン¹⁾に対応すると考えられる．水温分布中に 23°C と 23.5°C の等温線を示したが，この等温線とイントリュージョンの深度変化に対応が見られた．

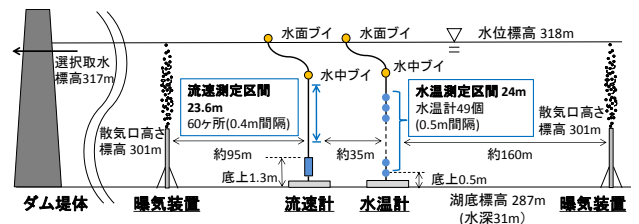


図-2 観測地点付近の縦断面模式図

キーワード：曝気循環，イントリュージョン，貯水池，水温躍層

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 Tel 022-795-7453 Fax 022-795-7453

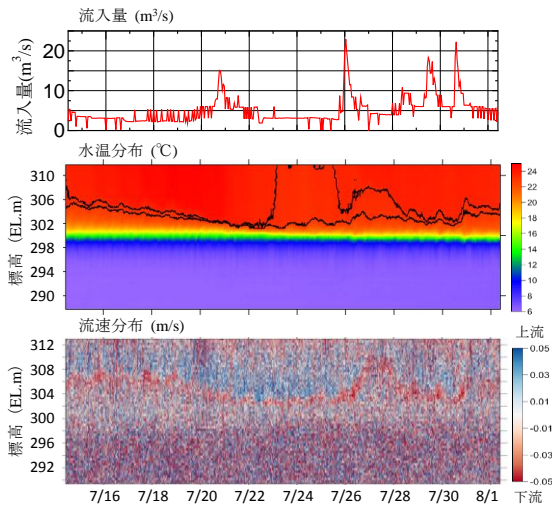


図-3 観測時の貯水池状況と観測結果

また、このイントリュージョンには日変動が生じており、表層水温の日周変化の影響によるもの¹⁾と考えられる。さらに、水温躍層と対応している標高 302m から 298m の間の流速が小さく、標高 298m 以下の躍層以深では流速変動が大きいため、躍層以深でも流動が生じている可能性がある。

図-3 より、貯水池状況と観測結果の相関についての検討を行った。7月26日および28日から31日にかけて流入量が増加しており、この期間にイントリュージョン深度と、23°Cと23.5°Cの等温線深度でも変動が見られた。また、7月26日からの約1日の期間において曝気装置の散気口が上昇したが、イントリュージョンにおいても大幅な上昇が確認され、測定地点付近の流動に浅層曝気装置が大きく影響していることが示された。イントリュージョンの深度が比較的安定している7月14日から20日と20日から26日の2期間について、各水深における流速観測結果の標準偏差を計算し、7月18日正午と24日正午の水温分布から浮力周波数を算出した。図4に浮力周波数と標準偏差の比較を示す。浮力周波数 N は次式で表される成層安定度の指標である。

$$N = \left[-\frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} \right]^{1/2} \quad (1)$$

ここで、 g : 重力加速度、 ρ : 水の密度、 z : 水深である。この結果から特に躍層以深で成層安定度と流速変動に負の相関が確認できる。低層の流動要因としては横山ら³⁾が指摘している内部静振の影響によるものと考えられる。また観測結果によるイントリュージョンの深度は、7月14日から20日には標高306m付近、7月20日から26日には標高304m付近に現れているが、標準偏差、浮力周波数においてもこの深度付近で増加しており、イントリュージョンとの対応が見られた。

図-5に水質計による水温と濁度の観測結果を示す。水面からイントリュージョン下端までの範囲に混合層、イントリュ

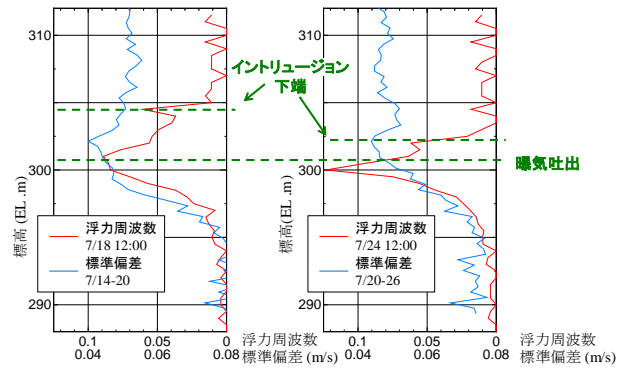


図-4 浮力周波数と標準偏差の比較

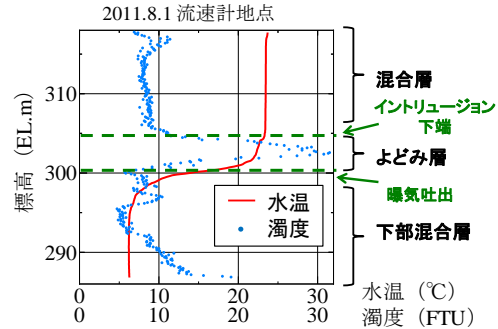


図-5 水質計の観測結果

ージョンから曝気吐出までの中間層に流速変動の小さいよどみ層、曝気吐出以深に流速変動の大きい下部混合層の3層が形成されていることが示されたが、図-5より、よどみ層において濁度の急激な上昇が見られた。これは、上部の混合層のような濁度上昇の抑制がなされないため濁水が滞留したと考えられる。また、下部混合層である標高 297m 付近においても濁度の変動が見られた。これらの結果から、貯水池内の流動が水質変化に密接に関わっていることが確認された。

5. おわりに

本研究では、三春ダムを対象として流速、水温、水質の現地観測を行った。その結果、躍層上部でイントリュージョンの挙動が確認された。また、流速変動と成層安定度に負の相関があった。曝気吐出とイントリュージョンの中間層では流速変動が小さく、濁水が滞留しやすい構造が形成されていた。

謝辞: 現地観測に際して、国土交通省東北地方整備局三春ダム管理所およびダム水源地環境整備センターの木村文宣さんにご協力頂いた。また本研究は水源地生態研究会および環境研究総合推進費 (S-8-1 (1)) の援助を受けた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 梅田ら: 曝気循環により生じる貯水池内流動の現地観測, 土木学会論文集, No.775/II-69, pp.55-68, 2004.
- 2) 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, pp1165-1170, 2005.
- 3) 横山ら: ダム貯水池の内部静振と定常的往復流のメカニズムに関する研究, 水工学論文集, 第50巻, pp1273-1278, 2006.