

三春ダムの曝気循環により生じる流動観測

東北大学工学部 堀井 貴之
東北大学大学院工学研究科 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。曝気循環装置は、気泡の浮力を利用して貯水池内に循環流を発生させる装置であり、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。発生させた循環流により表層から中層にかけて混合層が形成され、表層水温の上昇を緩和すると共に藻類を補償深度より下層まで拡散させる効果がある。この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。そこで本研究では、三春ダムの曝気循環装置による貯水池内流動を把握するため、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、貯水池内流動について検討を行った。

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多目的ダムであり、総貯水量は $4.28 \times 10^7 \text{ m}^3$ 、貯水池湛水面積 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所的に滞留しやすく、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。

これら水質悪化の対策として、三春ダムは様々な水質保全施設が設置されている。ダム湖には4つの支川が流入しているが、全ての支川において前貯水池が設置されており流入栄養塩が軽減されるよう対策されている。また、流入水バイパス管を設置することで、貯水池へのリン負荷量の対策が施されている。濁質対策として、流動制御施設及び選択取水設備が設置されている。

貯水池内の水質保全としては、浅層曝気循環施設5台及び深層曝気施設2台が設置されている。しかしながら、深層曝気施設と浅層曝気循環施設との深度方向の位置関係が近接していることから、各々の効果がどの程度に及んでいるかが見え難くなってい

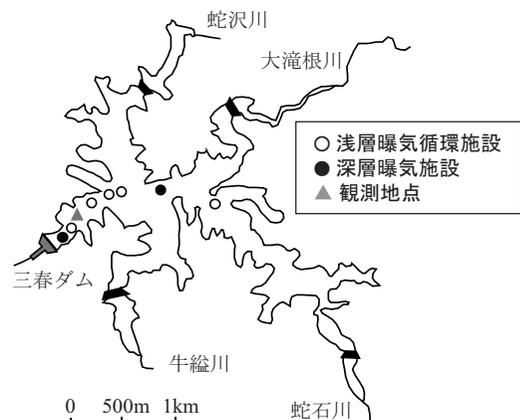


図-1 三春ダム貯水池の平面図

*Field measurements on flow structure caused by destratification system in Miharu Reservoir

る。そのため、深層曝気施設が深層水塊に及ぼす効果・影響の検証を目的に、昨年度より深層曝気施設の稼働を停止している。

3. 現地観測の概要

本研究では、三春ダム堤体付近において、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。観測地点付近の断面図を図-2に示す。本観測の目的は、曝気装置から貯水池内全体へと広がる流動を把握することである。そのため、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。この流速計設置地点から上流側の浅層曝気装置までの距離は約160mである。流速計はNortek社のAquadopp Profilerを用いた。躍層より下部を含めた流動の観測を目的としているため、流速計を湖底付近に設置し、底上2.1mの位置から水面より5m程深部までの23.6mの区間について、層厚0.4mで60ヶ所の流速を10分間隔で測定した。通常の浅層曝気循環装置の散気口高さは標高301mであり、測定した区間のほぼ中央に位置している。この設定による流速計の水平流速精度は3.6cm/sである。

また、水温計はOnset製Tidbit（精度0.2℃）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間隔で貯水池底部から水面までの水質の鉛直分布を測定した。

4. 観測期間の貯水池の状況

貯水池に関するデータとして、貯水池への流入量、流入河川水温として大滝根川前貯水池で計測された水温、浅層曝気装置の散気口高さを図-3に示す。流入量については、7月26日に大きく増加し、また7月28日から30日にかけて3回の流入量の増加が見られた。流入水温については、7月19日頃まで非常に高い値を示したが、その後大きな低下が見られた。22日頃から再び上昇し、26日頃からは比較的安定した値を示した。浅層曝気装置の散気口高さについては、通常の散気水位は標高301mであるが、7月26日と30日において混合層内に濁水塊50度以上を確認したため、散気水位は標高309mに変更された。その後、全水深で濁水塊50度以

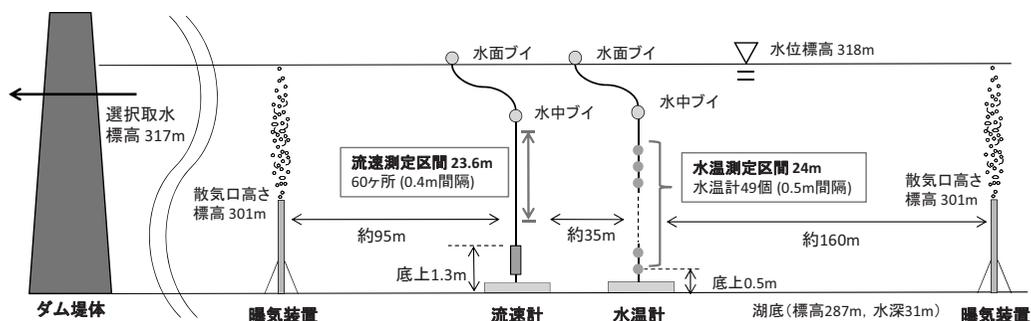


図-2 観測地点付近の縦断面模式図

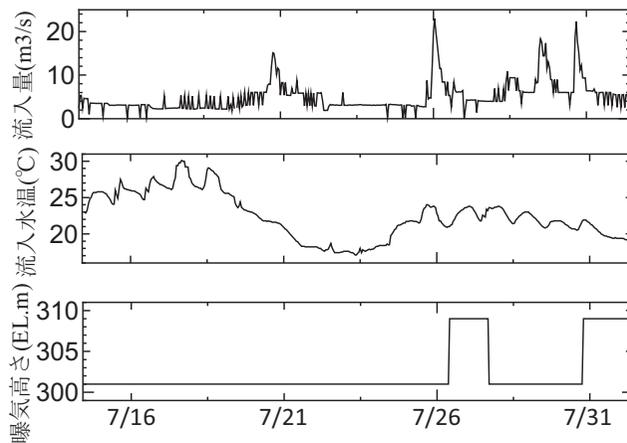


図-3 測定期間の貯水池データ

下であることが確認された後、散気水位は再び標高301mに変更された。また、通常を選択取水の標高は317mであるが、浅層曝気装置の散気口高さを変更された期間とほぼ同期間において、標高306.3mに変更されている。

5. 現地観測結果

(1) 多項目水質計

図4に多項目水質計による観測結果を示す。水温、DO、EC25、濁度、Chl-aの観測結果を上下2つのグラフで示した。水温躍層形成の様子と他の水質項目の変動とを比較するため、水温グラフは上下両方に示した。左のグラフから順に、7月14日の水温計設置地点、8月1日の流速計設置地点、8月1日の水温計設置地点の結果である。

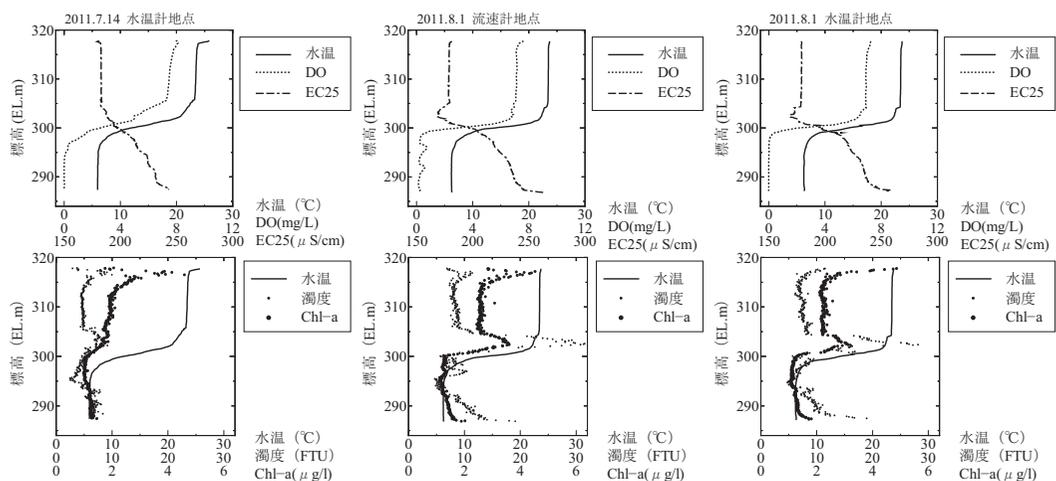


図-4 多項目水質計による観測結果

これらの結果から水温躍層の形成が確認され、水温躍層に起因する各水質項目の変動が確認された。特に、8月1日観測の濁度、Chl-aについては、水表面付近での増加と共に、水温躍層上部付近での増加が顕著に見られた。また、DOについては、水温計地点の観測結果では躍層より下部において一定して0であるのに対し、浅層曝気装置により近い流速計設置地点の観測結果からは躍層より下部での変動が確認された。この結果から、曝気装置の影響により躍層以深の流動にも影響を与えている可能性が考えられる。

(2) 水温分布

図-5に水温分布の観測結果を示す。この結果から、曝気循環の影響により標高300m付近で水温躍層が形成されている様子が確認された。また、測定期間内に小さな変動は多くみられるものの、大幅な変動は生じていないことが示された。

(3) 流速分布

図-6は、観測結果による水平方向の流速分布を示したものである。また、図-7に観測地点の平面拡大図を示す。浅層曝気装置から流速計に向かう流動を把握するため、図-7に軸を示したように、ダム堤体から上流への向きを順方向としてu軸を設定し、u軸から反時計回りに90度の向きをv軸と設定した。u軸の流速分布を図-6(a)に、v軸の流速分布を図-6(b)に示す。さらに、既往の研究により示されている¹⁾ 曝気近傍の流動模式図を図-8に示す。図-8に示すように、まず曝気装置による気泡噴流によって下層の低水温水が持ち上げられる。この流れが水面に衝突すると気泡は水面から抜けていくため、連行された水は浮力を失い密度流的に潜り込んだ後、流れは外側に広がっていく。この流れをイントリュージョンといい、既往の研究により曝気装置の影響による流動としてイントリュージョンの挙動が確認されている¹⁾。本研究の実測結果では、図-6(a)のu軸流速分布において、標高312mから302mの間で上下する負の流速の領域（厚さが2m程度）がイントリュージョンに対応すると考えられる。また、標高302mから298mの間が水温躍層と対応しており、この部分の流速が小さいことが確認できる。さらに、標高298m以下が躍層から下であり、躍層付近と比較して流速が大きいことが示された。この結果から、躍層より下部において乱流が発生している可能性が推測される。

図-6(b)に示したv軸の流速分布からは、流れがほぼ一様にプラスであるという結果が得られ、他の特徴的な結果は現れなかった。ただし、先に述べたように本観測における流速計の水平流速精度は3.6cm/sであり、今回の観測結果による流速はこの精度と同程度であった。そのため、流速の測定結果内に誤差を多く含んでいることが考えられる結果となった。

6. 観測結果と貯水池に関するデータとの相関

測定した流速分布、水温分布について、貯水池に関するデータと比較することによって検討を行った。貯水池に関するデータとしては、図-3に示した貯水池への流入量、流入河川水温として大滝根川前貯水池で計測された水温、浅層曝気装置の散気口高さをを用いた。

まず、7月26日から30日の流入量の増加時において、図-6(a)の上部で確認されたイントリュージョンにおいても若干の上昇が示された。また、流入水温との比較においては、7月19日から22日頃までの流入水温が大きく低下した期間にイントリュージョンについても低下しており、変動に対応が見られた。このような流入水温との対応は、躍層より上部における水温分布にも現れた。標高306mから302mの間の水温分布の変動に見られるように、7月22日頃まで躍層上部の水温が低下し、その後徐々に上昇している様子が流入水温の変

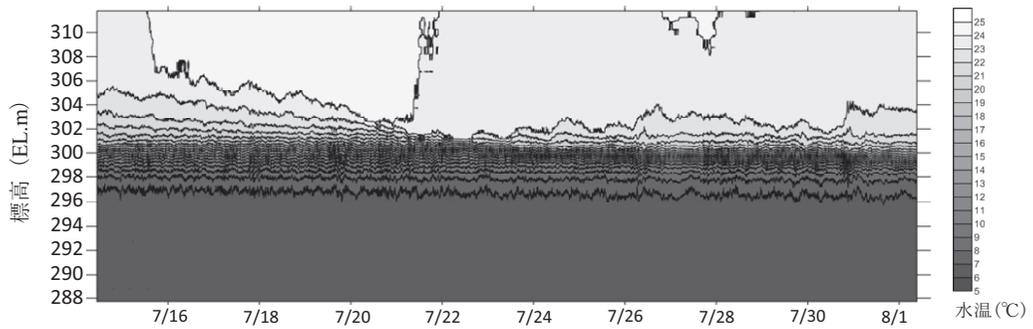
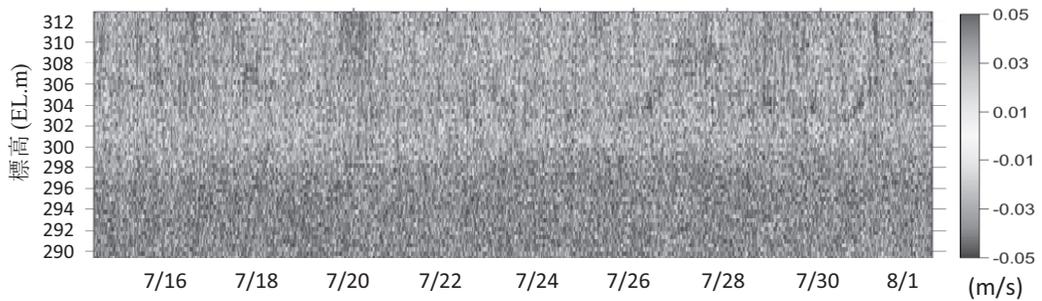


図-5 水温分布の観測結果

a) 流速分布 (u 軸)



b) 流速分布 (v 軸)

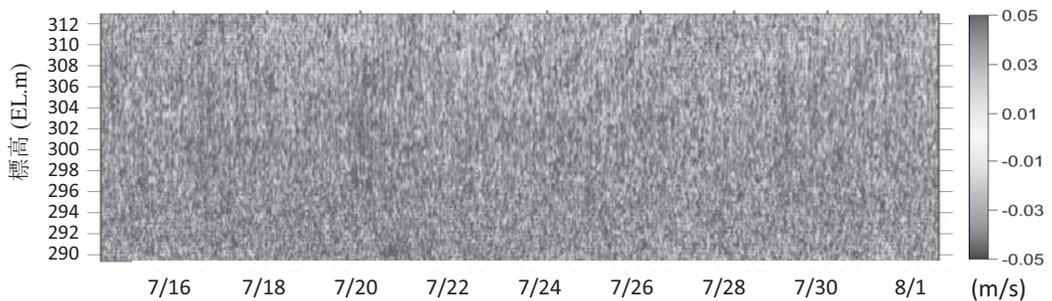


図-6 流速分布の観測結果

動と対応していると考えられる。さらに、浅層曝気装置の散気口高さとの比較においては、曝気の散気口が上昇した7月26日からの約1日の期間に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。

ただし、これらの影響が躍層以深には現れておらず、この結果から、外部の影響によって変化が現れるのは躍層より上部の、特にイントリュージョン付近であり、躍層以深には影響が現れないということが推測される。

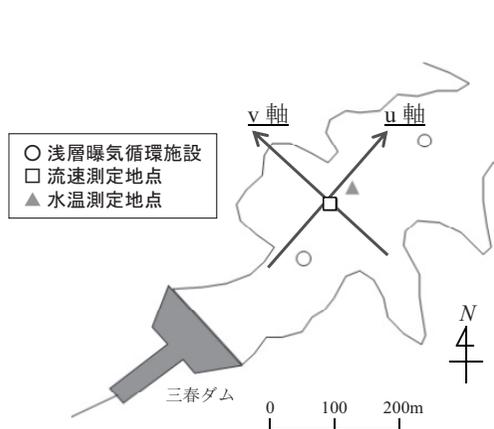


図-7 観測地点の平面拡大図

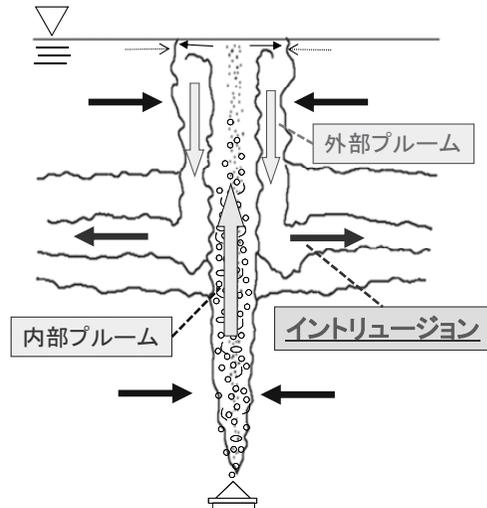


図-8 曝気装置近傍の流動模式図

7. 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。その結果から、浅層曝気装置の影響と思われる流れの特徴が現れ、水温躍層より上部においてイントリュージョンの挙動が確認された。また、躍層付近においては流速が小さく、躍層より下部においては流速が大きくなるという結果が示され、躍層より下部において流動が生じている可能性が示唆された。この流動については多項目水質計によるDOの観測結果からも可能性が示唆されている。ただし、貯水池に関するデータとの比較から、躍層より上部、特にイントリュージョン付近に貯水池データの変動が大きく影響しており、躍層より下部については流入、曝気装置の散気口高さの影響は現れていないことが推測される結果となった。したがって、躍層より下部の流動についてはより詳細な検討を行っていくことが必要と考えられる。

今後は曝気装置を考慮した2次元モデルによる貯水池内流動の数値解析を行い、数値解析結果と実測結果を比較することによりさらなる検証を実施していく。

謝辞

現地調査実施に際して、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(3))の援助を受けた。記して謝意を表す。

参考文献

1)梅田信・宮崎貴紅子・富岡誠司:曝気式循環装置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, pp55-68, 2004.