

水温成層したダム貯水池における微流速分布観測

東北大学大学院工学研究科 学生会員 ○水田 直樹
東北大学大学院工学研究科 正会員 梅田 信

1. 序論

ダム貯水池は、我が国の社会において治水、利水、環境面など、様々な面において重要な役割を担っている。しかし反面、濁水長期化現象など、ダムの供用が河川環境に対して影響を及ぼしていることも多く指摘されてきている。この現象により、ダム及び下流河川の景観が損なわれたり、魚類等の水産資源に悪影響を及ぼしたりするため、数多くの研究が行われてきた。それらは、濁水の要因である濁質自体の物理的性質の検討や、濁水現象の解析方法、および対策手法など、多岐に亘る。

近年、地球温暖化の進行による度重なる豪雨によって生じた、微細土砂粒子による極度な濁りで水道供給の停止を招くこともある（2013 年山形豪雨における事例など）ため、貯水池の濁水問題が再び注目され始めた¹⁾。しかし、水温成層した貯水池での微細懸濁粒子の挙動は、水理学的にも十分に解明し切れていないため、特に貯水池内の濁水流動解析において、濁質の沈降速度を半経験的なモデリング手法を採用して、再現性を確保している例²⁾などがある。それが原因で、下流河川での水利用や漁業活動のために、洪水発生後に濁りの継続状態を予測する場合にも、必ずしも十分に精度を持った予測シミュレーションを行う事ができていない。

そのような課題に対し、本研究では、2カ所のダム貯水池を対象として、微流速分布を現地観測し、成層条件との関連から、流動構造の特性に関する検討を行った。

2. 研究方法

(1) 観測対象貯水池

本研究では、貯水池の規模や水質保全施設の稼働状況など、水理学的な条件が異なる2カ所のダム貯水池（胆沢ダムおよび三春ダム）を対象として観測を行なった。

胆沢ダムは、従来供用されていた石淵ダムを再開発したものとして、一級河川の北上川水系胆沢川に建設された。貯水池湛水面積は4.4km²、総貯水容量は14.3×10⁷m³

である。以前の比較的回転率が高かった石淵ダムから、湖水回転率の低い貯水池へと再開発された経緯もあり、洪水流入後の貯水池内における濁水の滞留と濁水放流の長期化について懸念される面があり、貯水池内での濁水挙動についての検討が必要とされている。

もう一つの観測地は、阿武隈水系大滝根川に位置する三春ダムである。総貯水量は42.8×10⁶m³であり、貯水池湛水面積は2.9km²である。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。水質悪化の対策として、三春ダムは曝気式循環施設5台が設置されている。

(2) 現地観測

観測時には、当日の成層条件を確認するために、水温および濁度の鉛直分布を計測した。計測には、多項目水質計 RINKO-Profiler（JFE アドバンテック株式会社製）を用いた。

貯水の流動観測については、時空間的に細かな流速の変動を計測できるよう、超音波ドップラー式3次元精密流速計 VECTOR（Nortek 社製）を用いた。この流速計は、センサー近傍でのサンプル範囲が約0.9cm³から3.5cm³程度での流速を測定している。測定精度は、測定値の±0.5%または±1.0×10⁻³ m/s である。この流速計（全長0.82m、水中重量約4.9 N（約0.5 kg））を、水中での測定時に姿勢を安定させ、揺動をできるだけ小さくするために、図-1に示すような仕掛けを用いて測定を行った。流速計は、小型のブイを組み合わせ、設置架台を含めた水中重量が概ねゼロになるように調整し、姿勢の安定を図った。これを浮力約1.0×10² N（約10 kgf）の水中ブイで上方へ引っ張り上げるとともに、湖底上に設置した水中重量約2.5×10² N（約25 kg）の重りを用いて、計測深度へ固定した。なお、ブイや架台をつないでいるロープは、ロープの移動方向を一方向に固定できるようにセルフジャミングプーリーに通している。さらに流速測定中は、図-1に破線で示した部分のロープには張力を掛けず、水中ブイの浮力によって流速計の位置と姿勢が維持できるようにした。貯水池内の流速は、後に示す結果からもわかるように数 cm/s 程度であるので、流れの影響で姿勢が乱されることはほとんどないと考えられる。深度を下げる際には、図中左側のロープを船上から引き上げて、任意の深度で停止させることができる。このようにして、表層から底層までを水深別に計測した。

測定深度は、水温躍層の形成状況と測定地点における全水深を考慮して1mないし数m間隔での測定を行い、十数深度ずつの水深を設定した。ただし、流速計に係留したロープの長さなどに誤差が生じたため、実際の計測水深は設定水深と一致しないことから、流速計に内蔵されている圧力計から求めた水深を測定水深とした。各水深での計測は、サンプリング周波数16Hz（三春ダム）または64Hz（胆沢ダム）で約10分間ずつ行った。

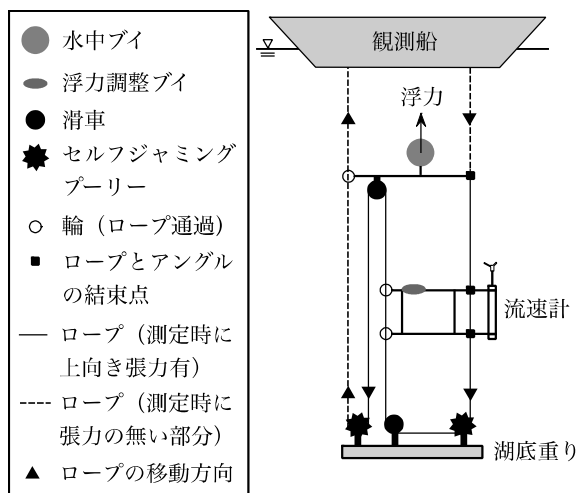


図-1 流速計の設置、係留方法の模式図

keywords：濁水長期化現象、水温成層したダム貯水池、懸濁物質、流速分布

連絡先：宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-6、環境水理学研究室、Tel & Fax 022-795-7453

3. 結果と考察

(1) 貯水池内の成層環境

図-3(a)に、本研究で計測した、観測当日の水温と濁度の鉛直分布を示す。いわゆる季節成層が形成されていた。濁度は水温躍層付近にピークを持つ分布形であった。

(2) 観測値のノイズ処理

本研究のように、流速計を係留した状態から流速を測定することにより、測定値に悪影響を及ぼすことが考えられる³⁾。そのため、本研究では、流速の生データについては、時系列グラフの目視により、概ね安定していると判断したデータのみを抽出し、貯水池内流速の評価に用いた。図-2は、(a)抽出前のデータ（生データ）と(b)抽出後のデータをそれぞれスペクトル解析した結果である。Leviら（2017）は、彼らが考案した係留方法の影響により、0.2Hz付近にピークが見られると指摘している。本研究の係留方法は、Leviらのそれと比較して小規模であるため、ピークはより高周波域において見られると考えられる（本研究の場合、0.8Hz付近）。図-2より、目視によるノイズ処理後、0.8Hz付近のピークは消失し、コルモゴロフ則に従う分布に近づいたと言える。

(3) 貯水池内の流速変動、流速分布

図-3(b, c, d, e)は、胆沢ダムにおいて、各水深で約10分間ずつ測定した流速について、前述した処理を加えた後、平均値および標準偏差を導出し、方向成分別に示したものである。平均流速の水平成分が、概ね水温成層の条件（図-3(a)）と対応するように、水深約7m以浅で比較的大きな流速が観測されており、躍層下部では小さな値になっている。また鉛直成分についても、水平成分ほど明瞭ではないが、表水層でやや大きな平均流速が得られている（ただし、流速としては、水平成分より1桁小さい）。一方、流速の標準偏差で評価した変動量については、5 mm/s 弱ほどの値で、水平成分が水面付近から最深部までほぼ一様な分布が得られた。

4. まとめ

ダム貯水池における水質問題に対する要因の一つである微細粒子の浮遊挙動の把握に向けた試みとして、本研究では、2カ所の条件が異なる貯水池において詳細な湖水の流動観測を実施した。

貯水池内の密度成層構造を考慮して、微流速の分布を計測するために、筆者らが考案した流速計の係留方法を用いた。深い湖水中をロープ等のみで直立・保持させるという条件であるが、流速計の水中での揺動は、比較的

小さいと推定された。また、平均流速は、成層条件と対応する分布をとっていたが、流速変動については、表水層から深水層まで比較的大きな値が生じているという観測結果が得られた。このような流動強度の分布が、湖水中において浮遊懸濁物質の挙動にも大きな影響を与えていると推測される。

謝辞：本研究の実施に際して、国土交通省北上川ダム統合管理所と三春ダム管理所、および株式会社建設環境研究所の小堀文裕課長にご協力いただいた。また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）の援助を受けて実施された。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 水田直樹, 梅田信, 小堀文裕: 水温成層したダム貯水池における流速分布と懸濁粒子に関する現地観測, 土木学会論文集 G (環境), vol.73(5), pp. I_315-I_321, 2017.
- 2) 梅田信, 池上迅, 石川忠晴, 富岡誠司: ダム貯水池における洪水時濁水挙動に関する数値解析, 水工学論文集, 第48巻, pp. 1363-1368, 2004.
- 3) LEVI F.KILCHER, JIM THOMSON, SAMUEL HHARDING, SVEN NYLUND: Turbulence Measurements from Compliant Moorings, American Meteorological Society (2017) 1249-1266

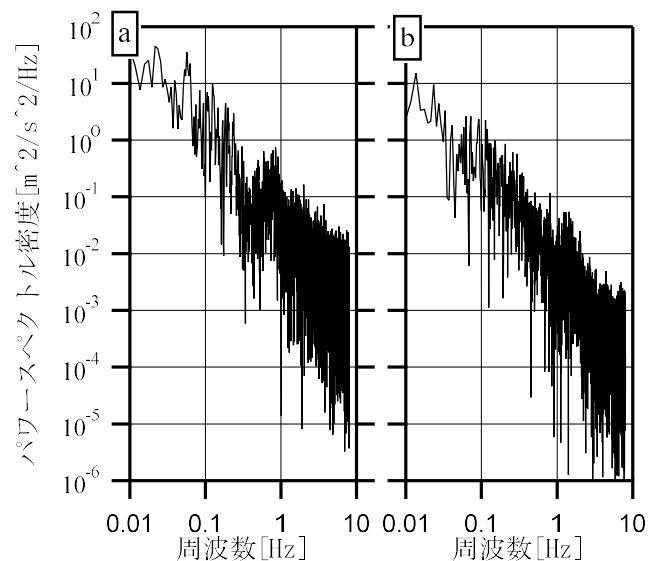


図-2 (a)生データと(b)ノイズ処理後のデータのパワースペクトル密度関数（三春ダム：水深7m）

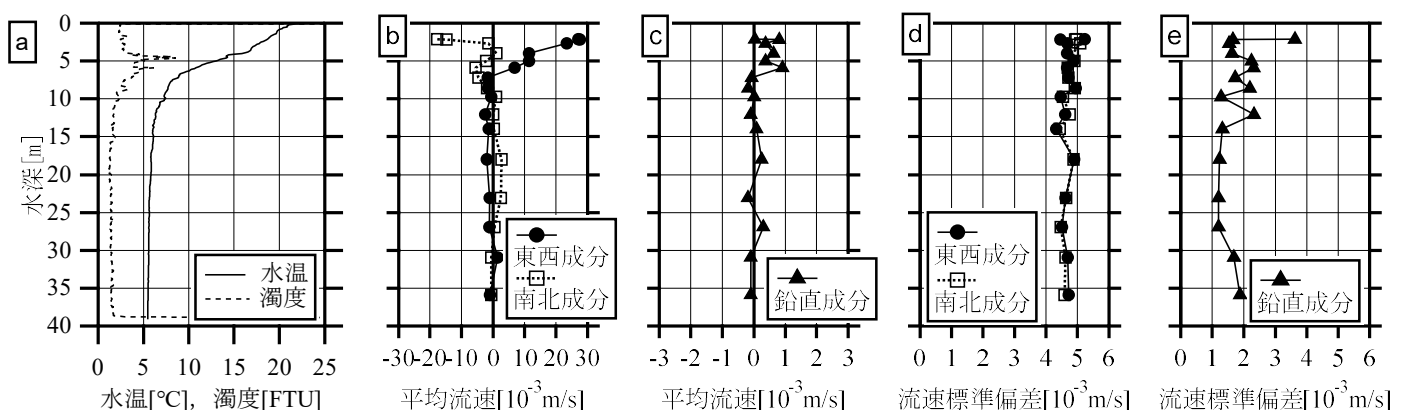


図-3 胆沢ダムにおける観測結果