

水温成層した貯水池における流速変動計測*

○東北大学工学部建築社会環境工学科 水田 直樹

東北大学工学研究科 梅田 信

株式会社建設環境研究所 小堀 文裕

1. はじめに

ダムは、治水・利水の面で欠かす事のできない存在である反面、いくつかの短所もある。その一つに、出水・濁水の際、下流に長期に渡って濁水を放出してしまうという濁水長期化現象が挙げられる。それにより下流域の景観が損なわれたり、魚等の水産資源に悪影響を及ぼしたりするため、これまで濁水長期化現象に関する多くの研究(例えば、柴田ら、2009)が行われてきた。しかし、水温成層した環境における湖水の流動と微細粒子の沈降・浮遊過程についての詳細な研究事例は少なく、この観点からの現象解明が必要と考えられる。そこで本研究では、現地での流速計測を通して、濁水長期化現象の詳細なメカニズムを解明していくことを目的とする。

2. 研究方法

2-1. 対象地域の概要

本研究では、一級河川・北上川水系胆沢川に建設された、岩手県奥州市に位置する胆沢ダム(奥州湖)を対象とした。奥州湖は流域面積 185.0km^2 、総貯水容量 $1.43 \times 10^8 \text{m}^3$ の貯水池である。貯水池の年平均回転率が約3と比較的小さいこともあり、夏季には水温成層が形成される。奥州湖の平面形状を図-1に示す。

2-2. 流速変動計測

現地観測は、2016年9月12日に行った。観測実施前の8月22日には、台風9号によりピーク流入量が約 $474\text{m}^3/\text{s}$ の比較的大きな洪水が生じていた。またその後も $100\text{m}^3/\text{s}$ を超える洪水が2回流入していた。

流速変動の計測には、超音波ドップラー式3次元精密流速計(Nortek社製、VECTOR)を用いた。この流速計(全長0.82m、水中重量約0.5kg)を、水中での測定時に姿勢を安定させ、また動揺を出来る限り小さくするために、図-2に示すような仕掛けを用いて設置した。流速計は、小

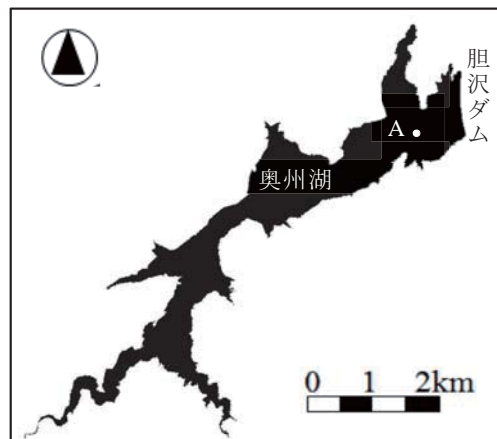


図-1 奥州湖の平面図

*Measurement of current velocity variations in a thermally stratified reservoir by Naoki Mizuta, Makoto Umeda and Humihiko Kobori

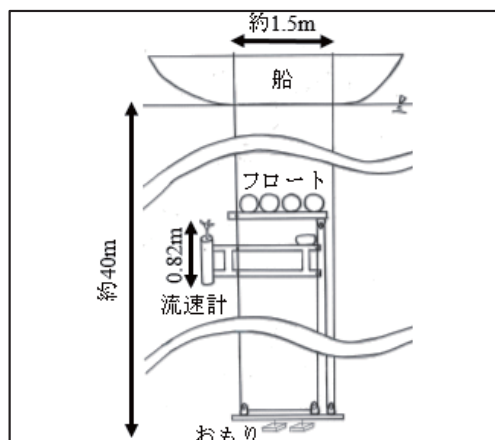


図-2 流速変動計測装置

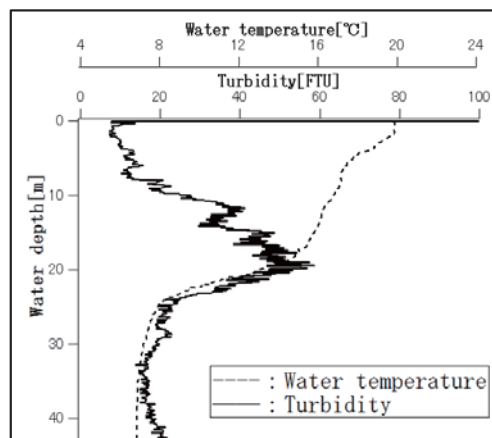


図-3 水温、濁度の鉛直分布

型のフロート等を用いて、流速計自体を含めた水中重量が概ねゼロになるように調整した架台に取り付けた。これを、浮力約 10kgf の水中フロートおよび約 20kg の重りで、計測深度で固定するようにした。なお、フロートや架台をつないでいるロープは、片側固定が可能な滑車により、任意の深度で停止させながら、表層から底層まで計測できる仕組みとしてある。

図-3 は、多項目水質計(JFE アドバンテック社製、RINKO-Profiler)を用いて、観測当日に計測した地点 A 付近における水温と濁度の鉛直分布である。水深 20m 付近に水温躍層が形成され、また、この上層には、事前に発生した洪水で流入した濁水が滞留している状況であった。このような成層条件に対して、表水層、水温躍層、深水層という分布を考慮しながら、計 16 水深を設定して、流速変動を計測した。各水深での計測は、サンプリング周波数 16Hz で約 10 分間行った。また、流速計の設置地点での全水深は約 37m であった。

2-3. 測器の水中動揺の影響推定

本研究で用いた流速計には、計測時の流速計の姿勢等を把握できるように、水圧計および加速度計が内蔵されており、1 秒間隔で水深および測器姿勢(3 成分の角度)が記録される。傾斜角度の各成分の定義は図-4 の通りであり、流速計に固定された座標軸に対して、横揺れ(Roll)、縦揺れ(Pitch)および回頭(Heading)が定義されている。前節に示した通り、本研究での流速計の設置方法では、流速計の多少の動揺は避けられない。そこで、測定器の姿勢計測の結果から、どの程度の動揺が計測時の水中で生じていたかを推測し、計測された流速に対する測器動揺の影響を調べた。

流速計の座標は、湖底上の架台おもりの固定点を原点として、次のように近似して表すことができる。

$$(1) \quad \begin{cases} x_t = (37 - h_t) \times \sin(\text{Pitch}_t) \\ y_t = (37 - h_t) \times \sin(\text{Roll}_t) \\ z_t = 37 - h_t \end{cases}$$

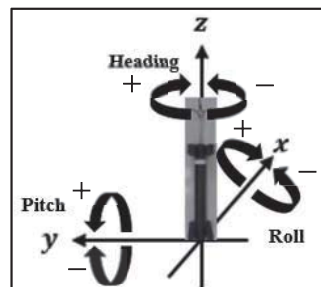


図-4 傾斜の定義

ここで、 x_t, y_t, z_t は時刻 t におけるそれぞれの座標での位置[m]であり、 h_t は流速計の水深[m]、 $Roll_t, Pitch_t$ はそれぞれ時刻 t における x 軸 y 軸回りの傾斜[deg]、37 は観測地点 A の全水深[m]である。その後、

$$\begin{cases} E_t = -x_t \times \sin(-Heading_t) - y_t \times \cos(-Heading_t) \\ N_t = x_t \times \cos(-Heading_t) - y_t \times \sin(-Heading_t) \\ U_t = z_t \end{cases} \quad (2)$$

を用いて、xyz 座標から East-North-Up (以下 ENU)座標へ変換する。ここで、 E_t, N_t, U_t は時刻 t におけるそれぞれの座標での位置[m]であり、 $Heading_t$ は時刻 t における z 軸回りの傾斜[deg]である。これらの値から流速計の軌跡を求める。

3. 結果

3-1. 測器の水中動揺の影響推定

図-5 に水深約 19m (水温成層付近)での計測時における、流速計の水深と傾斜の測定結果を示す。この図から、測器は約 0.05m 幅を小刻みに上下しているが、この変動は圧力センサーの誤差によるものと考えられ、測定中概ね水深が一定である。また、傾斜の結果からは、PitchとRollがほぼ一定であったことから、測器は水平方向に概ね静止していたと言える。また、変動量を時間積分し、測定中の測器の軌跡を求めた結果を図-6 に示す。この結果から、流速計は測定中に、水平方向に東西・南北それぞれに約 0.2m の範囲で移動していたことが分かる。

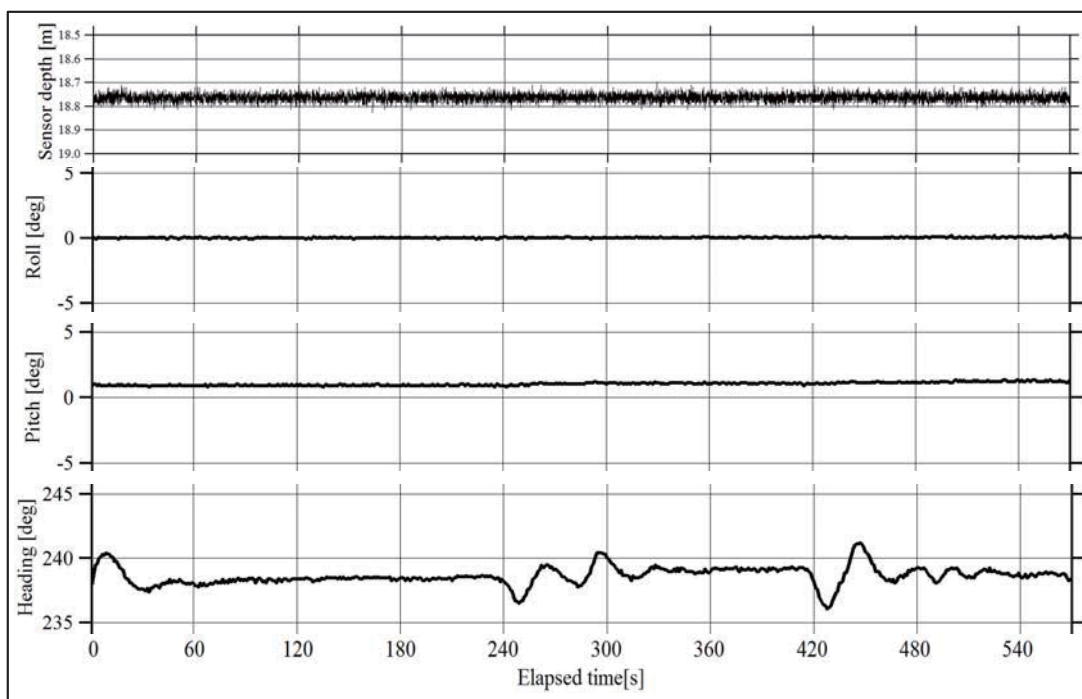


図-5 水深約 19m (水温成層付近)での流速計の水深と傾斜

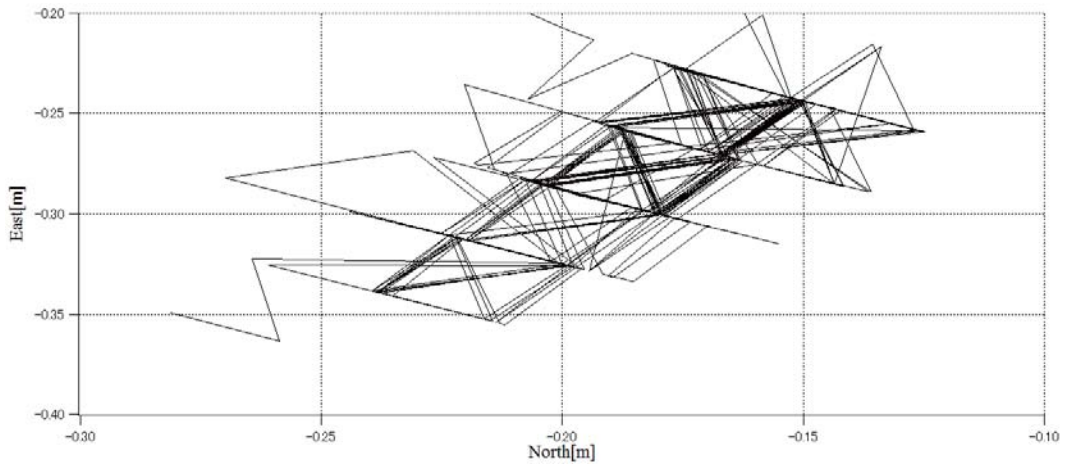


図-6 水深約 19m(水温成層付近)での水平方向の流速計の軌跡

3-2. 流速変動計測

図-7~9 にそれぞれ、水深 5m(表層)、水深 19m(水温成層付近)、水深 31m(深層)の 3 次元流速の計測結果を示す。水平方向の流速について、水深 5m の結果に注目してみると、測定中に南西寄の風が吹いていた影響もあり、東西方向では東向きに、南北方向では北向きに、一方向の流動があったことが分かる。それと比較して、深層ではほとんど流動が見られないが、水温成層付近では東方向だけでなく西方向、また、北方向だけでなく南方向にも流動が見られる。また、上下方向の流速について、深層ではほとんど流動が見られないのに対して、水温成層付近では 0.01m/s 程度の変動がいくつか見られる。

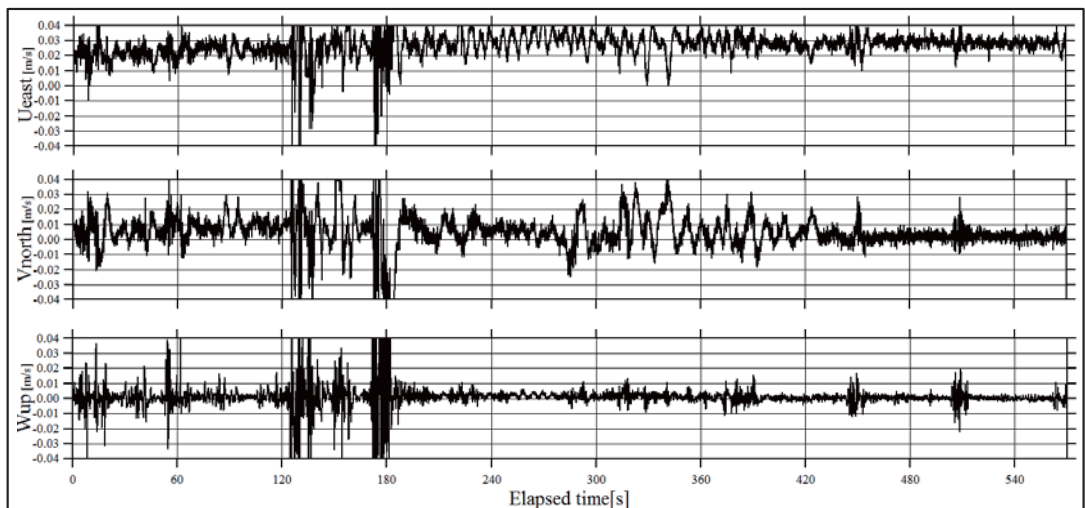


図-7 水深 5m(表層)での 3 次元流速

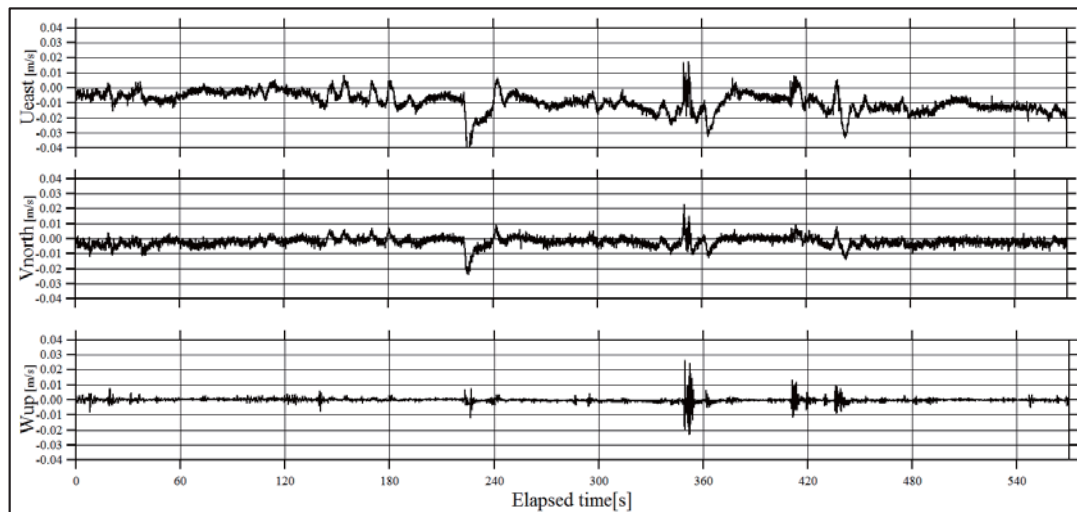


図-8 水深 19m(水温成層付近)での 3次元流速

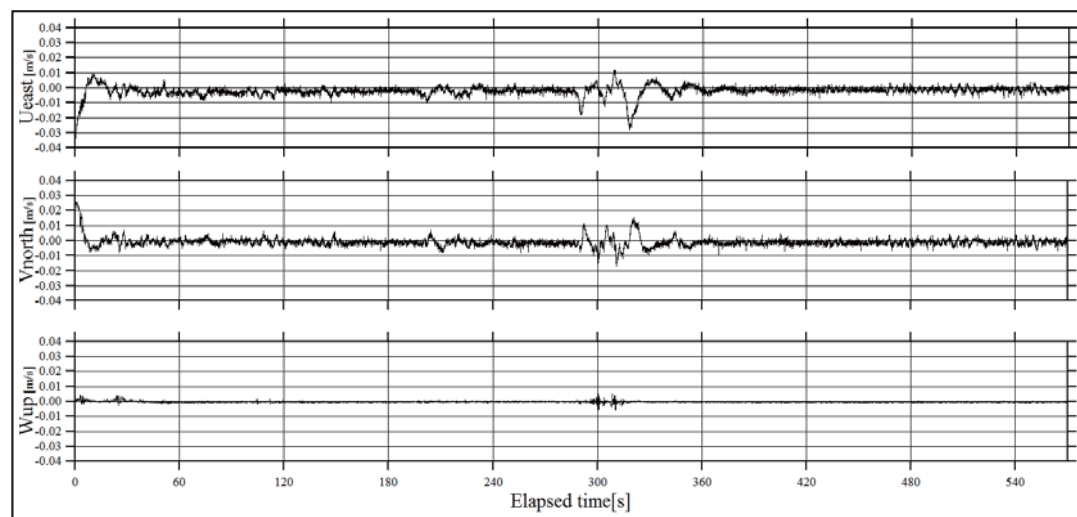


図-9 水深 31m(深層)での 3次元流速

4. おわりに

本研究では、濁水長期化現象のメカニズム解明を目的として、胆沢ダム貯水池の洪水後に流動観測を実施した。本計測結果から、今後、濁質挙動との関連について、より詳細な解析を行っていく必要がある。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費（16K14308）の助成を受けて実施された。謝意を表す。

参考文献

1) 柴田光彦, 梅田信, 田中仁: ダム貯水池の洪水時放流操作による濁質挙動への影響, 水工学論文集, 第 53 巻, pp.1315-1320, 2009

