

大規模湛水池における発電取放水の流動特性の現地調査と考察

Field observation and consideration about the flow behavior in the reservoir,
during the operation of the pumped storage power plant.

後藤 孝臣* ・ 土山 茂希**

By Takaomi GOTOH and Shigeki TSUCHIYAMA

At the design of the outlet or intake of the pumped storage power plant, it is important to consider and judge how the distribution of the flow velocity in the reservoir is. But it is very rare to observe the flow behavior in the reservoir during the operation of the pumped storage power plant. We observed the flow velocity, the water temperature and water turbidity in the reservoirs of the pumped storage power plant, to clarify the behavior of the water flow by the running of the power plant. The results of the observation show that the outlet flows is not widening very much and the decrease of its velocity is small, and the horizontal velocity is more enormous than the vertical velocity.

Keywords: ADCP, flow observation, pumped storage plant, water temperature

1.はじめに

大規模湛水池における発電取放水は湛水池の規模や地形、気象などに影響され、湛水池内で複雑な挙動を示す。しかし放水流が十分に拡散されずに対岸流速が速い対岸の先掘を引き起こし、また底泥での流速が速いと湛水池の沈殿物、堆積物を巻き上げ、濁水発生も懸念される。しかし、その計測事例は少なく発電取放水の湛水池内での挙動が十分に解明されているとは言い難い。

本研究では、ダム湖の流動を超音波ドップラー流速計(Acoustic doppler current profiler;以下 ADCP と略)を用いて、発電や揚水に伴うダム湖内の流動を観測した。そしてその特性について考察を加えた。

2.現地観測手法

2.1 観測地点

観測対象ダム湖平面図を図-1 に示す。現地観測の地点は純揚水式発電所で、発電時には上池の水が下池

* 正会員 工修 中部電力株式会社 電力技術研究所 水理グループ
(〒459 愛知県名古屋市緑区大高町字北関山 20 番地の 1)

** 正会員 工修 中部電力株式会社 電力技術研究所 水理グループ 研究主査
(〒459 愛知県名古屋市緑区大高町字北関山 20 番地の 1)

に流れるため、上池が取水、下池が放水となる。反対に揚水時には、上池が放水、下池が取水となる。両湛水池とも放水となる場合(上池の場合は揚水時、下池の場合は発電時)の流動の観測点を図-2(左:上池、右:下池)に示す。取水となる場合には、流速の最大値が放水時より小さくなることから、観測点を減らし放水口、取水口の近傍を主体として観測点を設定した。

なお、当地において、上池取水口は 1-4 号発電機に対して 1 門(発電最大使用水量 250m³/sec)、5-6 号発電機に対して 1 門(発電最大使用水量 125m³/sec)であり、下池放水口は 1-2 号発電機、3-4 号発電機、5-6 号発電機のそれぞれに対して各 1 門(発電最大使用水量 125m³/sec)で、1-2 号と 3-4 号発電機用の放水口は並置されている。

2.2 観測日時・運転パターン

観測日時とそのときの運転パターン、取放水の流量を表-1 に示す。観測は一定出力の下で、取放水の流れが安定した時に実施した。また、流動観測の前後にクロロテック(アレック電子製)を用いて、水深別に水温、濁度(赤外後方散乱方式)を測定し、発電、揚水運転前後の湛水池内の水質変化を調べた。

2.3 観測方法

測定用ボートを陸上の誘導点からトランシーバーにより誘導し、ADCP(RDI 社製,写真 1)より取放水の流向・流速を測定した。誘導方法はトランシット(TOPCOM 社製)による直線誘導と光波測距義(ジウメータ社製)による距離誘導を併用して行った。なお、水面変動に伴う誘導距離の補正は高低差 10m の場合でも最大で 1m 以内であった。データの採取は、一回の観測は 10 サンプルを平均したデータを基本として、放水時は 2 分間、取水時 5 分間、測定位置を出来るだけ予定点に誘導させながら定点にとどまり測定した結果である。なお、観測時の状況を写真-2 に示す。なお、ADCP の出力周波数は 600kHz を使用し、測定層圧は 1m ピッチで流向・流速が測定可能である。

2.4 水位補正・誤差

純揚水発電所では、発電と揚水により上部と下部の 2 つの湛水池間で貯水が上下する。発電が行われれば上池の水位が時間の経過とともに低下し、反対に下池の水位が上昇する(図-3 左図)。

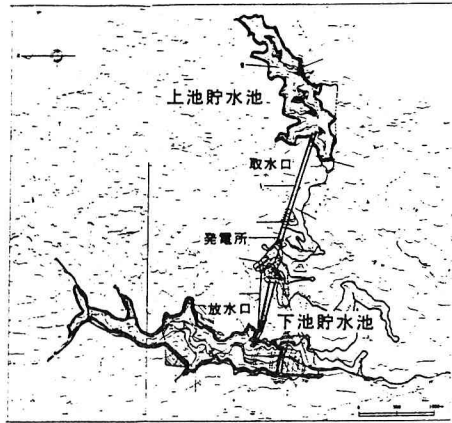


図-1 観測対象ダム湖平面図

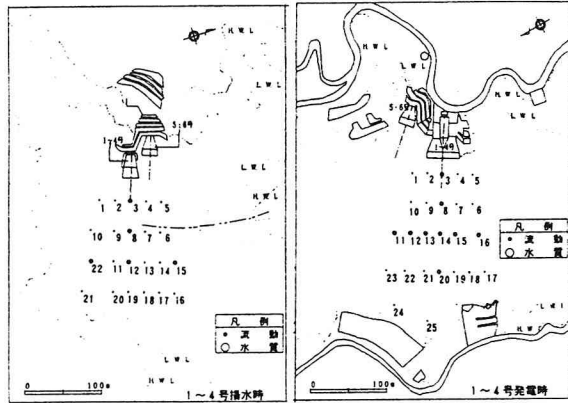


図-2 観測平面地点(左:上池、右:下池)

表-1 観測日時と運転パターン

日時	使用発電機(水車)	流量(運転状態)	測定内容
1996.6.17	5-6 発電機	125m ³ /sec(full)	下池放水・上池取水
1996.6.17	5-6 発電機	62.5m ³ /sec(half)	下池放水
1996.6.22	1-4 発電機	-192m ³ /sec(pump)	下池取水・上池放水
1996.6.24	1-4 発電機	125m ³ /sec(half)	下池放水
1996.6.25	1-4 発電機	250m ³ /sec(full)	下池放水・上池取水

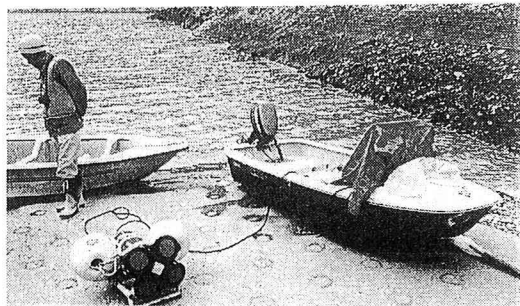


写真-1 流速計と観測船

また、揚水が行われれば、その逆のことが起こる(図-3 同右図)。そのため、ある一定時間内に測定したとしても、それぞれのデータについては、水深が変化した状態で測定データとなる。今回この水深

誤差を計測水深に勘案しデータとして取り扱ったが、水深の変化による流速ベクトルの補正などは行っていない。

3. 観測結果

3.1 流速分布の時系列変化

図-4 に 1-4 号機を full 発電(最大使用水量 250m³/sec)したときの下池における流速(絶対値)の経時変化を示す。上段が図-2 右図の測点 14、下段が同測点 12 における観測値で、測定間隔 11 秒ごとの瞬間計測値、10 個の平均を示した。計測は一定出力の運転下で行ったが、水深方向の流速(絶対値)分布形状が時間の変化とともに異なる。特に、放水流動の中心に位置する測点 14 については、流速の最大となる水深位置が刻々と変化するが、それらは 5m 以深に観測されている。一方、測点 12 では水深 10m 以浅の流速が速い。

次に図-5 は流速ベクトル成分(水平面内での方向を考慮)の水深別の経時変化状況である。同図において鉛直上向きが北を示しており、放水口出口は方位 310 度方向であるため図上で時計の針のおよそ 10 時の向きである。測点 14 では、ほぼ放水口出口方向の流向が水深にかかわらず卓越してる。測点 12 では、表層付近で流向に大きな経時変化が見られるが、水深がおおよそ 10m 以深においては流速も小さく流向の乱れも少ない。この状態は目視でも観測でき、放流水の中心流域を外れた表層の流れは時間の変化とともに、刻々と流速、流向共変化していく状態が見られた。

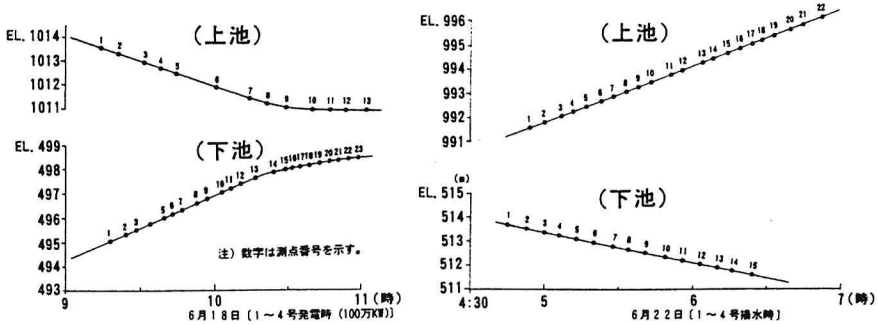


図-3 運転による水位変動(左:発電時、右:揚水時)



写真-2 測定状況写真

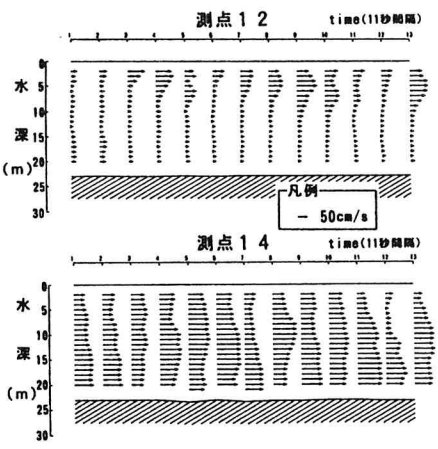


図-4 流速成分(絶対値)における時系列的変化
(下池:1-4号 full 発電時)

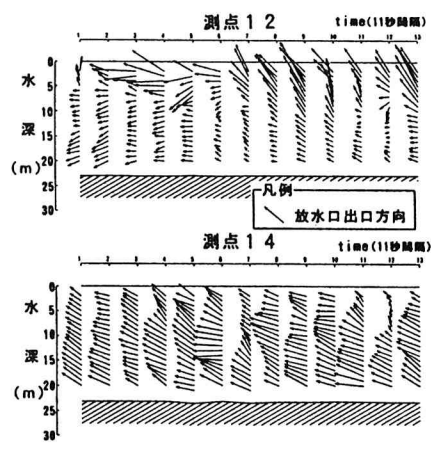


図-5 平面流速ベクトル成分の水深別変化
(下池:1-4号 full 発電時)

これより、1-2号発電機と3-4号発電機からの放水流は別々の放水口から放流されるものの、放水口が並置されているため両者の中心部に向かって縮流する傾向がうかがえる。

3.2 平面流速分布

(a) 5-6号機発電時の下池放水流動

図-6に5-6号機 full 発電(最大使用水量 $125\text{m}^3/\text{sec}$)した場合の水平面内での流速ベクトルを示す。放水口はEL.479からEL.488の間にあり、図-6左図は放水口よりも下層、図-6右図は放水口敷高とほぼ同じ標高になる。この平面流速分布図から、放水口中心軸方向の流れが卓越し、設計上は左右方向に拡散するように考えられている放水流が、実際には放水口中心軸に向かって集中していく状態が観測された。

図-7に5-6号を half 発電(使用水量 $62.5\text{m}^3/\text{sec}$ を目途)したときの流速分布を示す。full 発電時と比べて放水流量がほぼ半分になるために放水口中心軸部の流速(スカラ値)が半減し、また full 発電時と同様に、放水口中心軸方向の流れに周辺から流れが縮流している状態が観測されている。

なお、full 発電、half 発電ともに鉛直流速は小さく、その分布は水深方向にほぼ一様であり、水深別で有意な差は見られなかった。

(b) 1-4号機発電時の下池取水放水流動

図-8に1-4号機 half 発電した場合の水平面内での流速ベクトルを示す。この時の放水流量はおよそ $125\text{m}^3/\text{sec}$ で5-6号機 full 運転の時とほぼ同じ流量である。しかし、放水口の断面積が5-6号機放水口の2倍になっているため、想定される平均流速は5-6号 full 運転の場合の半分である。

この場合も同様に放水口中心軸に向かって周辺の流れが縮流する状況が見られる。

図-9に1-4号機を full 発電した場合の水平面内での流速ベクトルを示す。この1-4号機の full 発電では、放水口とダム堤体(放水口の右側に位置する)の間で平面的に大きな旋回流が見られる。これは、対岸に到達した放水口中心軸方向の主流がダム堤体側に廻り込み、それが堤体と湛水池左岸に沿って流動の後、放水流と合流し、大きな旋回流を生じていると考えられる。この一因として、放水口より上流側は左岸が湛水池に向かって突き出した地形の制約から湛水池内の旋回流が生じ難いが、放水口とダム堤体の間の左・右岸はほぼ堤体に向かって直線状で地形の

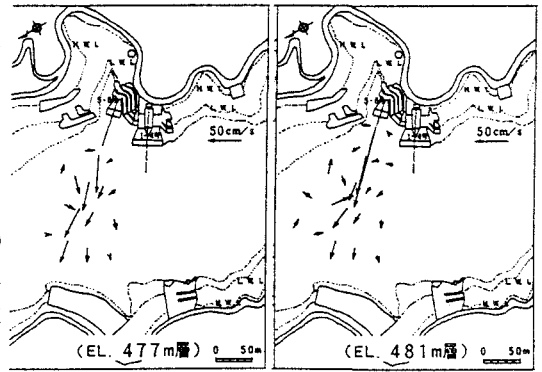


図-6 下池平面流速分布(5-6号 full 発電)

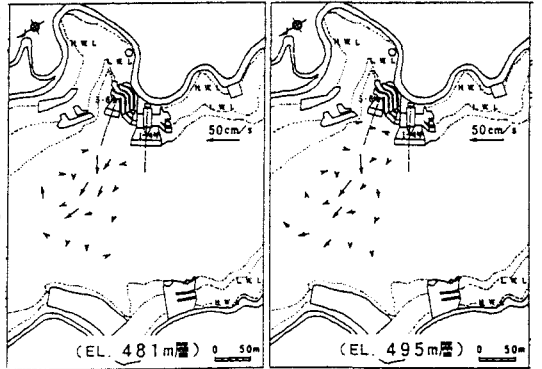


図-7 下池平面流速分布(5-6号 half 発電)

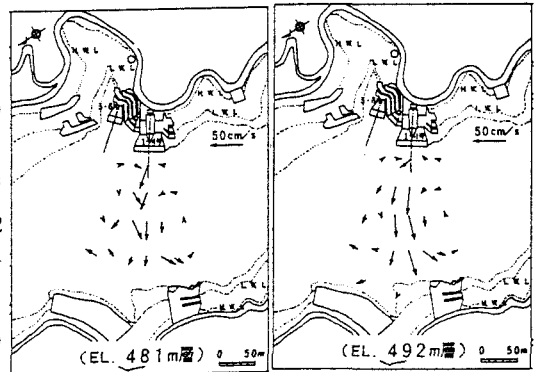


図-8 下池平面流速分布(1-4号 half 発電)

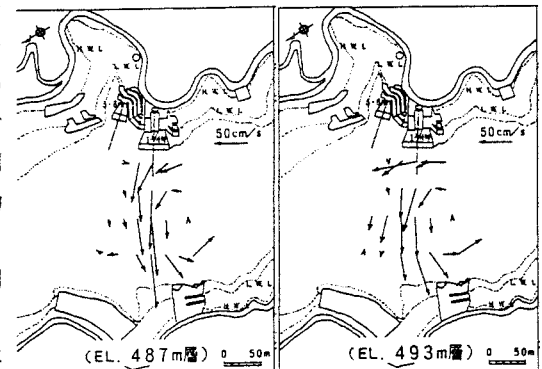


図-9 下池平面流速分布(1-4号 full 発電)

制約の少ない大きな水域があることが考えられる。

図-10 に放水口前面の測点 1 から測点 5 までの水平面内流速ベクトルの鉛直分布を示す。この図から放水口位置(同じ標高)では放水口中心軸方向の流れが観測されているが、放水口の上端(図-10 の水深 12m 付近)より上層になるとダム堤体側から回り込んだ旋回流が放水口の前面の上層部を 70cm/sec 程度の大きな流速で横切っていると考えられる。half 発電の時には、この傾向は観測されているが full 発電ほど顕著ではない。

なお、図-11 に取水時(揚水時)の観測データを示す。取水時には、取水口前面のほぼ全方向からの流水が見られ、その流速はほぼ一様である。ただし、今回の観測では水温成層は生じていない。

(c)上池における放水流動

1-4 号の揚水時(上池が放水となる状態)に観測された流速ベクトルの縦断面図を図-12 に示す。上池は下池と異なり取水口(揚水時には放水)前面の湖底は急激に深くなる。そのため、縦断方向流速分布はガウス分布に近い形を示すと考えられる。また流速の鉛直成分は微小であり、水平成分の流れが卓越している。

また水平面内での流速ベクトルを図-13 に示す。下池と異なり、取水口前面の平面地形が狭いため取水口中心軸から外れた部分で小さな旋回流が見られる。

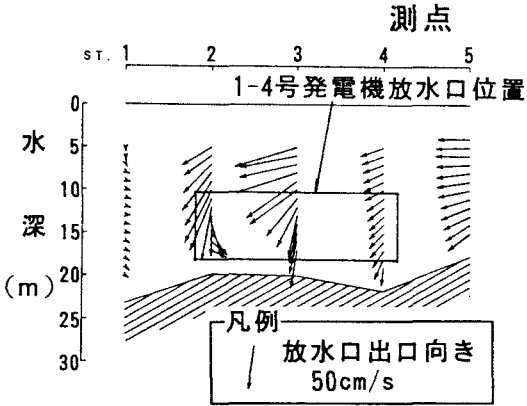


図-10 下池平面流速分布の鉛直分布(1-4 号 full 発電)

3.3 水温分布の変化(下池)

表-2 に取放水口前面の水温を示す。上池と下池の水温の差はほとんどなかった。これは水温測定を実施する直前まで発電所が運転していたためと考えられる。

図-14 は運転前後の水温分布の変化を示している。左図は 1-4 号機 half 発電運転を行う前の水温分布で水面の温度が高く水温成層が形成されている。およそ 3 時間の運転を実施した後は、右図の様に水温成層が破壊され、ほぼ均一の水温分布になった。大規模な湛水池では、通常夏期においては低層の水温が低く表層の水温が高くな

表-2 運転前の取放水口前面の水温			
運転パターン	流量(運転形態)	下池水温(℃)	上池水温(℃)
5-6 発電機	125m3/sec(full)	13.3	13.4
5-6 発電機	62.5m3/sec(half)	13.8	13.3
1-4 発電機	-192m3/sec(pump)	13.9	14.0
1-4 発電機	125m3/sec(half)	13.8	13.6
1-4 発電機	250m3/sec(full)	14.5	14.1

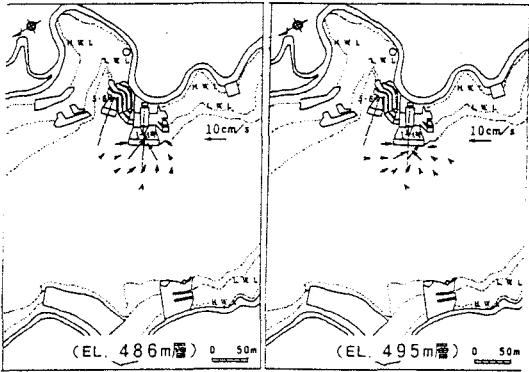


図-11 下池平面流速分布(1-4 号揚水時)

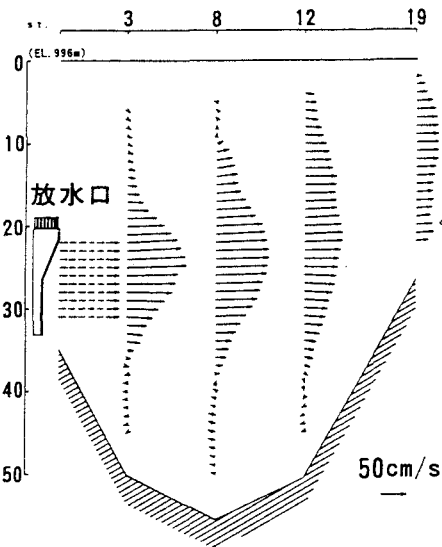


図-12 上池の鉛直流速分布(1-4 号揚水時)

る。しかし、揚水発電所の場合、その湛水池形状や利用水深等にも左右されるが、一般的にはこの下池での観測結果のように放水流による水循環により、水温は均一になると考えられる。

4.おわりに

純揚水発電所貯水池において ADCP を利用し、取放水による流動観測を実施した。また同時にクロロテックを利用し、発電所運転に伴う水温等調査も実施した。これらの観測を行った結果、以下のことがわかった。

①放水流は放水口から離れて行くにしたがい、周辺の流れを巻き込み漸縮していく傾向が見られた。

②これに付随して

放水流の流速低減の程度が低いことが懸念される。

③放水流は水平流速が鉛直流速に比べて大きいため放水流の鉛直的な拡散は小さいと考えられる。

④放水流は概ね地形の影響に支配され、湛水池形状が変わると流速分布形状も大きく変わる。

⑤取水流速について、放水流と異なり全方向からの流れが存在する。そのため流速の絶対値そのものが小さく測定が困難である。

今後の課題として以下の点が上げられる。

①今回は隣接する取放水口から個別に取放水した時に観測を実施した。そのため同時運転に伴い、隣接する取放水口からの取放水流動の相互干渉の把握と考察

②揚水、発電をしていない時の地形特性や気象特性等による湛水池固有の貯水流動(旋回流等)とその発生機構の解明

③湛水池内の泥質など濁度分の構成や分布の把握と、揚水、発電放水流による巻き上げおよび貯水の濁水化の可能性の検討

④明確な水温成層、濁度分布を形成している時の濁水挙動のメカニズムの解明

⑤数値シミュレーションや模型実験の適用性についての検討

参考文献

- 1) 杉山陽一・藤原建紀・中辻啓二・福井真吾: ADCP による伊勢湾の流動観測調査 海岸工学論文集 第 42 巻 pp.1096-1100 1995
- 2) 福岡捷二・松本直也・溝山勇・山根伸之: 汽水湖における閉鎖性水域の流動観測と流動モデルの適合性 水工学論文集 第 39 巻 pp.243-248 1995.2

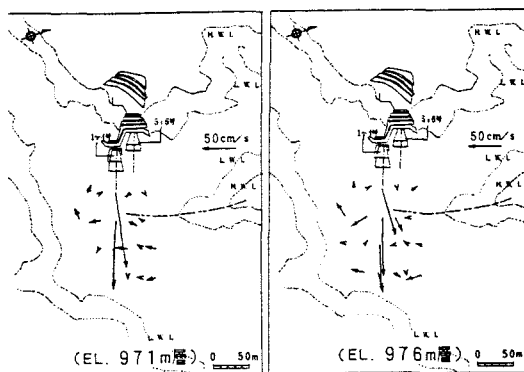


図-13 上池平面流速分布(1-4 号揚水時)

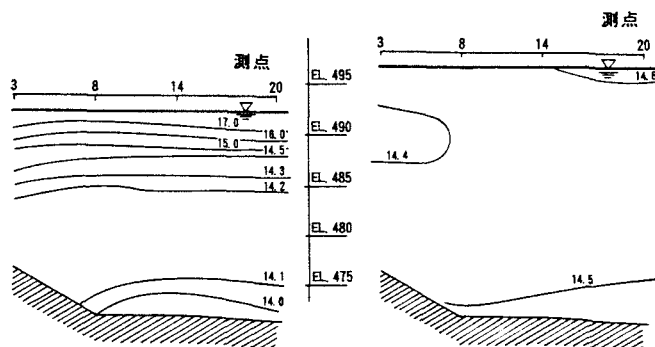


図-14 運転前後の水温分布変化(左:発電前、右:発電後)