

簡易装置による調整池水質改善の取り組み

○渡邊 強¹・山本 純²

概要：

香川用水調整池（以下、「宝山湖」という。）は、緊急改築事業で建設され平成 21 年 4 月から管理開始している施設である。宝山湖は管理開始以降、底層部の嫌気化が確認され、これまで揚水機場ポンプ運転による底層水入替などの改善対応を行ってきた。

平成 29 年度からは新たに、簡易な装置を用いた水質改善の取り組みを実施している。

本稿では、現在進行形で実施している取り組みの内容、経過状況等を報告するものである。

キーワード：嫌気化、強制循環、簡易装置

1. はじめに

宝山湖は、管理開始前のシミュレーション¹⁾では、D0 は貯水池底層で 4mg/L が最低であり、底層の嫌気化に伴う硫化水素の発生は低いと予測されていた。しかし、管理開始以降、底層部の嫌気化による硫化水素臭の発生が確認されており、これまで既存施設により、様々なパターンで水質改善の取り組みの試行を継続実施してきており、現在に至っている。

2. 宝山湖の諸元・運用

宝山湖は、水道用水貯水量 3,000 千 m³、農業用水貯水量 50 千 m³、堆砂容量 20 千 m³の総貯水容量 3,070 千 m³となっており、主な設備としては取水設備（多孔式）、小ポンプ（モーター）2 台、大ポンプ（エンジン）2 台から構成されている。

水道用水貯水量は、流量計による導水量と取水量の積算値の差し引きで算定することになっており、水道用水の貯水及び取水は、以下のとおり、「香川用水施設の調整池に関する取水規程」（以下、「調整池規程」という。）に記載されている。

水道用水貯水の記載として、

○水道用水の貯水は、東部幹線水路により導水された水道用水により行うものとする。

水道用水取水の記載として、

○吉野川からの取水が制限されたとき。

○事故等が発生したとき、又は施設の点検若しくは整備により調整池の貯水を利用する必要があるとき。

一方で、調整池規程第 10 条には以下のとおり、記載されている。

調整池への導水と取水を同時に行う場合として、

○調整池の水質の悪化が予想され又は水質が悪化し、貯水の入替が必要なとき。

要約すると、調整池の水道用水は上記に示すような事象が発生した場合にのみ取水が可能であり、通常は調整池内の水道用水の入替が行われない環境となっている。

3. 過年度の対応

3.1 揚水機場ポンプによる底層水入替

管理所では、底層部の嫌気化の確認以降、平成 24 年度から揚水機場ポンプ運転による底層水入替により水質改善を図ってきた。

平成 24 年度・平成 25 年度は小ポンプと大ポンプの組み合わせにより大流量（約 2.5m³/s）による 24 時間運転、

平成 26 年度・平成 27 年度は小ポンプによる中流量（約 0.6m³/s）による 48 時間運転を主として実施した。

また、平成 28 年度は動力費を要さない、調整池と送水

1. 香川用水管理所 施設管理グループ
2. 香川用水管理所 所長代理

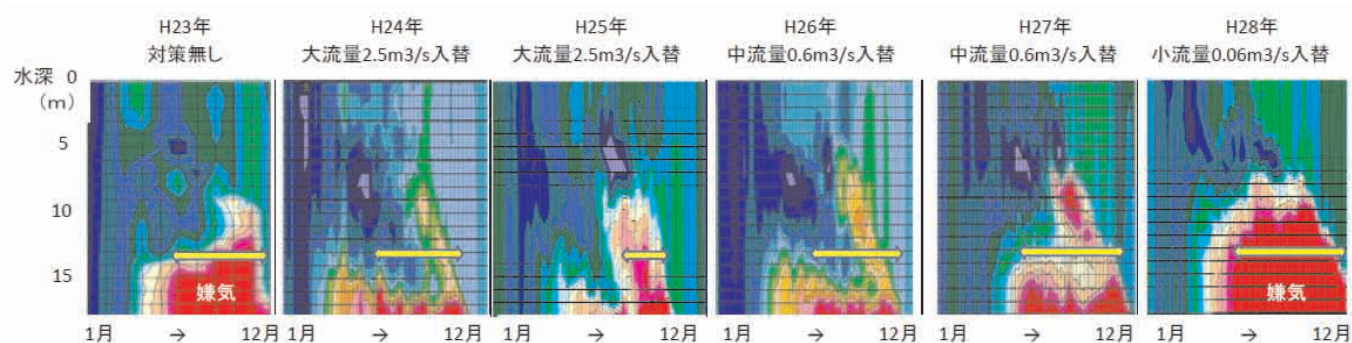


図-1 調整池のD0分布

先の水位差を利用した小流量による連続入替の試行を実施した。取り組みの結果を図-1に示す。

ポンプ運転は底層部ゲートからの直接取水となり、嫌気化層水を直接入れ替えることになるため、平成24年から平成27年までは、ポンプ運転による一定の効果を確認出来た。

平成28年度の小流量入替は底層部の入替は可能であるものの、夏場における嫌気化速度に入替速度が追いつかず効果が低いことが確認出来た。

4. 平成29年度の対応

4.1 嫌気化対応の取り組みの基本

前述した様に、ポンプ運転による水質改善は、調整池への導水及び調整池からの取水を同時に行うことで調整池内の水道用水容量を変動させず、かつ幹線流量も変動させないような操作が必要になる。

ポンプ運転による底層水入替で底層部嫌気化改善の一定の効果が確認出来ていたが、過年度のポンプ運転では、24時間若しくは48時間運転という入替を実施しており、ポンプ急停止時における幹線流量変動リスクが顕在していたことから、平成29年度は、日中におけるポンプ運転による底層水入替を実施することをベースとして、取り組むこととした。

4.2 水質改善の新たな取り組み

これまでの取り組みでは、調整池の底層水を『入れ替える』という発想のもと、ポンプ運転や小流量連続入替を実施してきた。

今年度はポンプ運転と平行して、新たな取り組みとして『調整池内の水を循環させる』という考えで実施することとした。

4.3 循環による水質改善の考え方

貯水池では、春先から夏場にかけて、表層と底層の水温差によって、水温躍層が形成される。水温躍層が形成

されると貯水池内の鉛直混合が妨げられ貯水池全体の循環が抑制されることから表層のD0が底層に移動しにくくなり、底層部において嫌気化が発生する。

このため、水中ポンプを稼働させ、水温差の大きい底層から吸水し表層で放出することで、水温躍層を破壊し、表層付近のD0の高い水と底層部の嫌気化した水が混合されるのではないかと考えた。

関連した知見が無いか調べたところ、強制循環により水温躍層が大幅に変わったという文献²⁾を確認した。

本年度はその文献を参考に、宝山湖において簡易強制循環装置による試行を実施した。

5. 簡易強制循環装置

5.1 簡易強制循環装置の原理等

ポンプを水面近くに設置、吸水管材をポンプ稼働部に接続し吸水口の水深を下げる。ポンプ稼働時に管内圧が下がり、大気圧が作用した底層水は管内に吸い上げられる。このパスカルの原理の応用により、高揚程ポンプではなくても、無理なく吸水が可能となる。

通常は動かない底層水を吸水・表層に吐出する、あるいは表層・中層の水を吸水・送水し底層部に吐出することで、躍層破壊を図り、かつ調整池の循環速度を速め表層と底層の水温差の解消により、全層循環状態に移行することを目的とした。原理・イメージを図-2に示す。

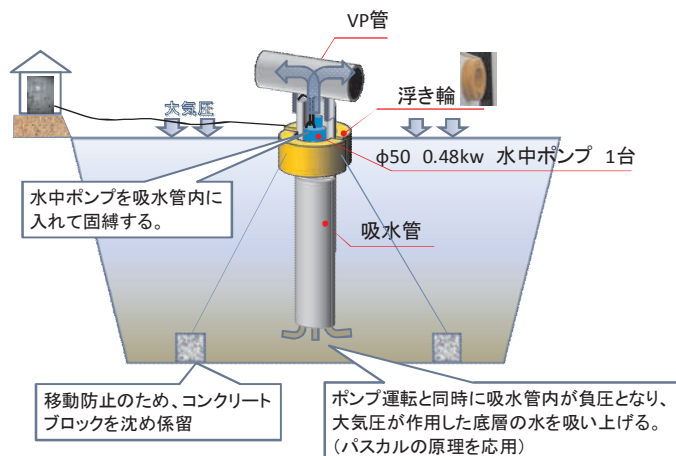


図-2 原理・イメージ図

5.2 簡易強制循環装置の構造等

循環装置を設置する箇所は、電源を確保でき、かつ第三者から手の届かない場所として取水設備付近とした。

なお、取水設備で確保できる電源は100V・1500Wのコンセント（2口）であることから、装置に使用するポンプ本体は100V・0.48KWの計画吐出量120ℓ/minを使用することとした。

吸水に使用する管材は、塩ビ管なども考えたが材料本体単位重量が大きいことから、比較的軽いサニーホースφ300mmとした。吸水管材をサニーホースとしたことで、吸水口の深さは任意に設定可能（切断による調整）とした。

また、吸水時に管内圧が下がり、管材が凹むことで管径が確保できない（閉塞する）ことも考えられたため、暗渠排水管等に使われるφ100の有孔管をサニーホース内に内挿することで、吸水時においても水道（みずみち）を確保することとした。

なお、100V電源による汎用ポンプ1台稼働で、8,000円/月程度の電力使用料であることを確認した。

汎用品で構成し、台船を用いずフロート固定としたことで直営でも設置・移動可能な構造とした。（ポンプ運転による引き込み等を考慮）

表-1 主材料一覧

主材料	目的
フロート	ポンプ・サニーホース重量を支え、浮遊させる。
プランタースタンド	サニーホースのパール缶からの抜け落ち防止（くさびとして使用）
パール缶	Φ300のサニーホース出入口の開口確保のため。
サニーホース	吸水口（底層部など）の水が、他水深の水との混在防止（水密確保）に使用。中間接続しない1本もの。
暗渠排水管	ポンプ吸水時、ホースつぶれ防止（みずみち確保）。
ブイ（浮き）	サニーホース先端吸水口に接続し、ホース先端箇所の確認用。（抜け落ちた場合の引き上げ用）
その他	番線、ロープなど

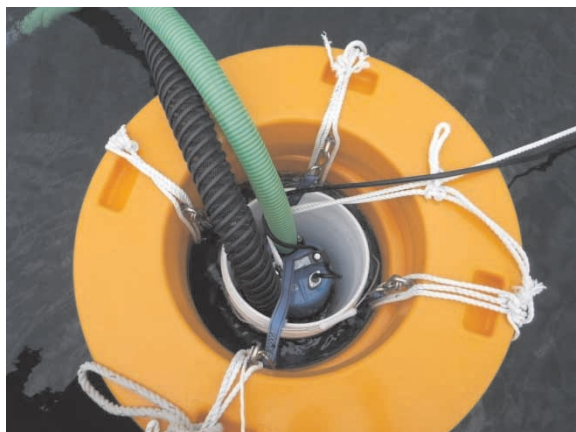


写真-1 簡易装置設置状況（上から）



図-3 測定位置図

6. 試行内容

6.1 水質観測

水質観測は、ポータブル水質計にて、水温・D_O・酸化還元電位（ORP）・pH・濁度の値を測定し、その結果で効果を確認することとした。

過年度は、斜樋部分と湖中において、週一を基本として観測していたが、平成29年度は上記以外に、簡易装置設置箇所、装置から20m、装置から40mの箇所で観測することとし、試行の影響範囲についても確認することとした。

なお、1箇所の水質測定に1時間程度要し、全箇所を同一日に測定することが難しいことから、湖央と斜樋を同一日、装置設置箇所・装置から20m・装置から40mの3箇所を同一日に測定することを基本とした。図-3に水質測定位置を示す。

6.2 底層水を表層へ（試行1）

普段は動かない、D_O値・水温の低い底層水を吸水し表層で放出することで嫌気化対象ボリュームの減少と、低温の水が表層から沈みこむことで強制循環を図り、表層・中層のD_Oの高い水を底層に連行することの2点を期待した。

5月1日に1号機の簡易装置を設置、その後6月8日に2号機も設置し、2台運転とし水質観測を実施した。

なお、ポンプ稼働状況の確認としては、水深10m未満の水温が9.0～10℃程度であるため、吐出水の水温を測定した。この際、湖面上で臭気も確認した。

6.3 底層水を表層へ（試行1）の結果

測定箇所毎での大きな水質の違いは無かった

ここでは、1月～8月までの積算日照時間が類似している平成28年度と平成29年度で水質の変化を比較した。

図-4の上段に平成28年度、下段に平成29年度を示し

ているが、水温については両年度とも時間の経過とともに水温躍層が下がるという変化を見せた。

一方、溶存酸素の分布をみると平成 29 年度は D0 の高いゾーンが水深 10m 付近まで下降しており、平成 28 年度にはない宝山湖内での水の動きを確認した。

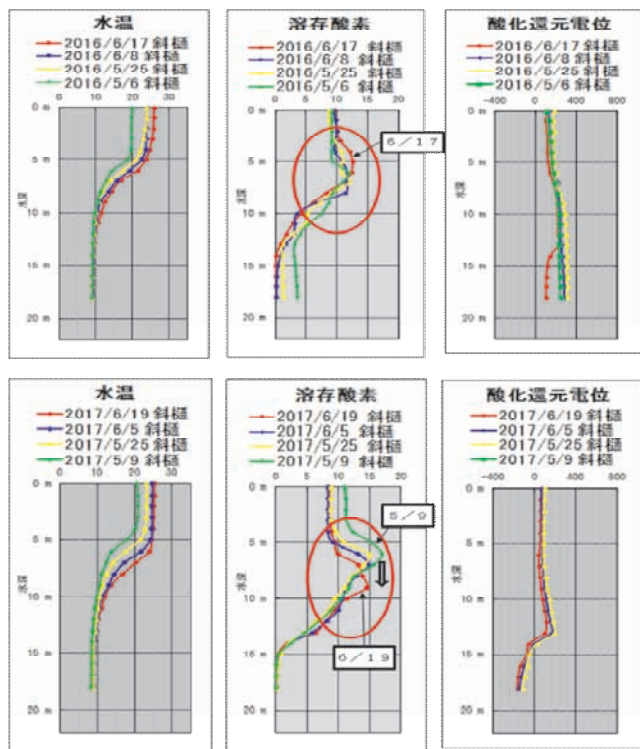


図-4 試行 1 経過比較（上段：H28、下段：H29）

しかし、溶存酸素分布範囲の動きは確認出来たものの、底層部嫌気化の改善までには至っていないことから、直接的に底層部に刺激を与えることを目的として以下に示す試行を実施した。

6.4 中層～表層水を底層へ（試行2）

水温と D0 値が比較的高い中層～表層の水を、サニーホースを通じて底層へ送り込む。水温の高い水が底層部で吐出され、表層に向けて上昇することにより強制循環を促進される。また、高い D0 値の水が底層部に直接吐出されることにより、底層に刺激を与えどのような影響を及ぼすのかを確認した。

装置は試行 1 で設置した 1 号機をマイナーチェンジし（6 月 23 日）、2 号機は存置・稼働状態を継続し、試行 1 と試行 2 を同時平行で試行した。

なお、試行 2 の稼働状況の確認方法として、吸水口深さの水温・D0 などを測定し、サニーホース内にポータブル水質測定器を挿入し吐出先付近においても、水温・D0 の値を測定した。

あわせて、水中カメラによる吐出口の映像確認により

底層部まで送水できていることを確認した。

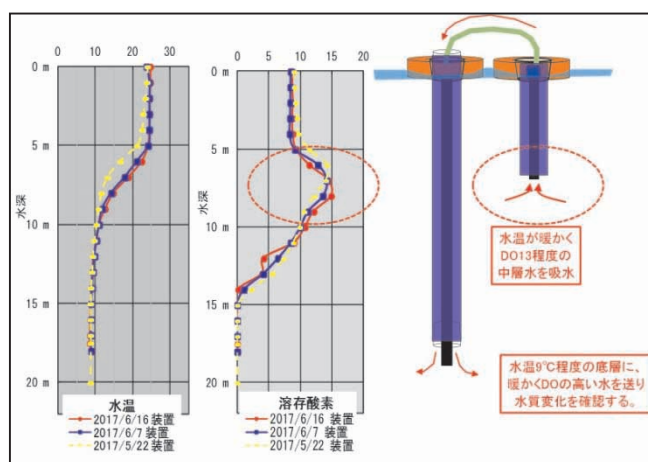


図-5 試行 2 の構想



写真-2 試行 2 の稼働状況確認
（左：水温 18.5°C、右：D0 値 11.77）

5 中層～表層水を底層（試行2）の結果

測定箇所毎での大きな水質の違いは無かった。

ここでは 1 号機をマイナーチェンジした 6 月 23 日前後の水質状態を比較（取水制限による宝山湖本格運用に向けたポンプ運転を 7 月 6 日からの 48 時間で実施し約 225 千 m³ 入れ替えた為）することとし、濁度と酸化還元電位の水質変化に着目した。その状態を図-6 に示す。

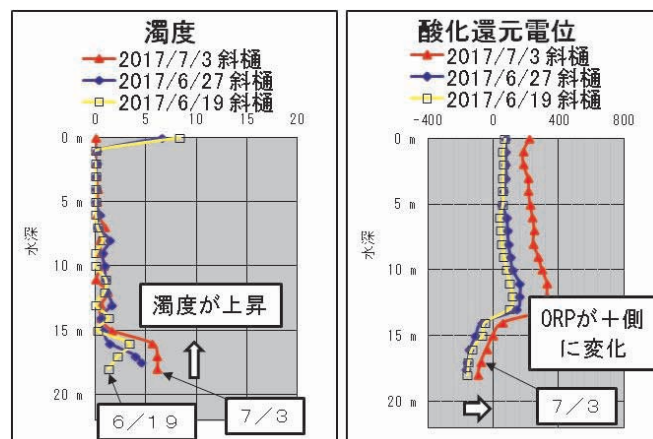


図-6 試行 2 の経過比較

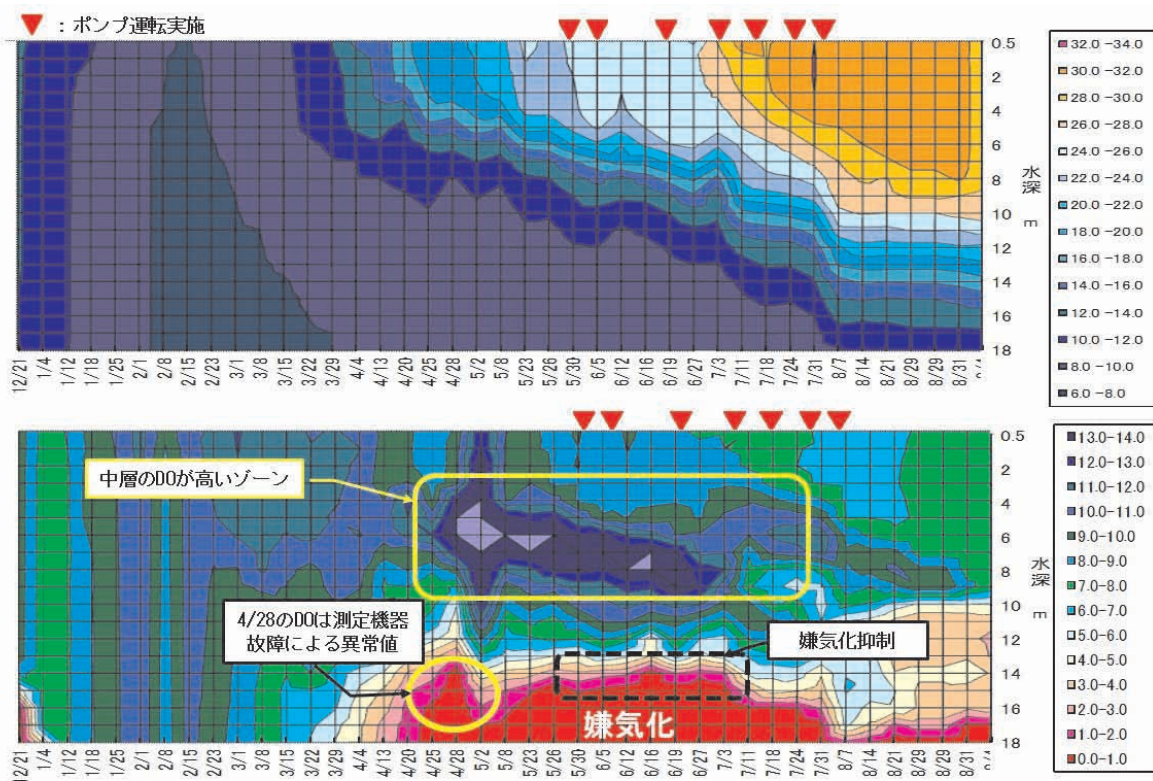


図-7 平成 29 年の宝山湖水深分布（上段：水温、下段：D0）

濁度をみると、試行 2 の開始前・後で底層部から水深 16m 程度までの濁度の上昇が確認されており、これは暖かい水が底層部で吐出されたことにより、水温差による上昇の流れにより底層部の沈殿物を浮遊させていると推察され、強制循環に寄与するものと考えている。

また酸化還元電位は、試行 2 の開始以降、わずかではあるが、マイナス側の値からプラス側へ改善していることが確認された。

7. 考察

試行 1（底層水を表層吐出）では、水温躍層の位置を下げることににより DO の高い層を水深の深い方へ下げる効果は確認されたが底層部嫌気化改善までに寄与するまでには至らない可能性が高い。一方、試行 2（中層水を底層吐出）では底層部の水質変化により嫌気化改善に寄与する可能性を確認した。

しかしながら、図-7 に示すように宝山湖全体としての水温・D0 分布を見る限り、大幅な底層部嫌気化改善には至っていない現状がある。

天候等の条件にもよると思われるが、嫌気化する速度と入替量との関係性をみると、これまで実施している試行とポンプ日中運転の併用では嫌気化を抑制するレベルであることが推察できる。

また、中層部の DO が高い時期は 4 月から 7 月頃までの

表-1 平成 29 年度ポンプ使用実績

実施日	時間	吐出力	入替量	備考
5月29日	9～17時	2m ³ /s	約56千m ³	
6月6日	9～16時	2m ³ /s	約51千m ³	
6月20日	9～16時	2m ³ /s	約46千m ³	
7月6日～7月8日	48時間	1.3m ³ /s	約225千m ³	
7月18日	9～16時	2m ³ /s	約49千m ³	
7月28日～7月29日	約29.5時間	0.4m ³ /s	約43千m ³	高瀬支線漏水
8月3日～8月5日	48時間	2m ³ /s	約350千m ³	

期間であることが過年度及び今年度の水質測定結果からも確認出来る。

このため、中層の DO が減少してからの時期は簡易装置のマイナーチェンジにより、最も水温が高い表層水（DO 値 7 程度）を底層に送る試行 3 として実施することが底層部改善に寄与すると考え、引き続き試行とポンプ運転による水質改善効果の検証を行うものとする。

8. まとめ

今回実施した試行では、他機関が実施した試行（知見）を参考に実施する方向に進めたが、問い合わせた結果、その当時の記録がなく装置の詳細や構造が不明であったことから、使用する材料や湖面上への設置方法など未知の部分が多く、試行錯誤の連続で本格始動までに 1 ヶ月

以上の時間を要した。

実施した内容を記録として残すことの重要性を改めて認識することとなった。

また、試行の結果については、水質改善に寄与する可能性は確認出来たものの、大幅な底層部嫌気化改善には至っておらず、かつ、取水制限に伴う宝山湖本格運用に向けた準備として、ポンプ運転による底層水入替を実施したことで、期間を限定しての比較しか出来なかったことから、試行改善効果検証が困難な状況になった。

使用しなければ水が動かないという閉鎖的水域であるが、同時に、定期的に水質改善を行う必要があることから、効果検証が非常に難しいという点が課題の一つとも言える。

これまでの試行では、水質改善効果発現までに時間を要することから、宝山湖底層部の嫌気化改善効果増大・検証には、設置ポンプ台数の増や、それに向けた新たな電源部追加、あるいは三相 200V ポンプ（吐出量増・使用電力減）が使用可能な様に設備改造等が必要であると考ええる。

今後より一層の水質改善効果が得られるよう、宝山湖の特徴を把握し、実施可能な試行及び水質測定を継続し、利水者・水資源機構双方の負担軽減につながるよう、情報の共有を密にしながら、最適なポンプ運転等の運用や新たな改善策に向けて協議・調整をすすめていく。

参考文献

- 1) 水資源開発公団試験研究所水環境研究室. 平成 14 年度. 香川用水調整池の将来水質予測報告書
- 1) 近畿農政局淀川水系土地改良調査管理事務所. 2010. 貯水池における水温躍層破壊に関する研究