

# 鹿野川ダム貯水池水質改善対策について

山鳥坂ダム工事事務所 調査設計課 井上波輝  
調査設計課 課長 仙波宏光  
調査設計課 専門官 宮田晃

鹿野川ダムでは、洪水調節機能の増強、河川環境の改善を目的とする改造事業が進められている。本稿では、改造事業のうち、河川環境の改善を目的とする貯水池水質改善対策の「アオコ発生抑制」対策及び「底泥からの栄養塩・マンガン等の溶出抑制」対策について報告する。

キーワード ダム 貯水池水質改善 アオコの発生抑制 栄養塩・マンガン等の溶出抑制

## 1. はじめに

鹿野川ダムは、愛媛県西南部を流れる一級河川・肱川(流域面積 1,210km<sup>2</sup>、幹川流路延長 103km) 河口から 41 km 上流に位置する、肱川総合開発の一環として、肱川水系の洪水調節及び水力発電を目的として昭和 34 年に建設された重力式コンクリートダムである。

鹿野川ダムでは、洪水調節機能の増強、河川環境の改善を目的とする改造事業(以下、改造事業)が進められている。本稿では、改造事業のうち、河川環境の改善を目的とする貯水池水質改善対策の「アオコの発生抑制」及び「底泥からの栄養塩、マンガン等の溶出抑制」について報告する(図-1)。

## 2. 経緯

鹿野川ダムは、平成 10 年頃より、T-P 濃度やクロロフィル a 濃度が基準値を超え、富栄養化が進み、アオコが毎年のように発生して景観阻害や腐敗臭が問題となったことから、平成 18 年度より改造事業において貯水池の水質改善対策を実施することとした。なお、後述する水質改善対策の効果が発現するまでは、アオコの大規模発生時にはアオコの回収を行っていた(写真-2)。

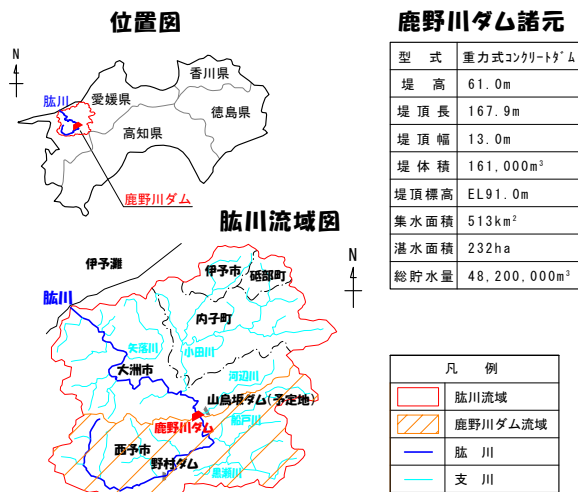


図-1 鹿野川ダム位置図・肱川流域図及びダム諸元



写真-1 鹿野川ダム



写真-2 アオコの発生状況 (H19.8.17撮影)

水質改善対策の内容を検討するため、平成 19 年度に鹿野川ダム水質検討会(以下、検討会)を設置した。検討会の議論を踏まえ、「アオコの発生抑制」、「底泥からの栄養塩、マンガン等の溶出抑制」等の水質改善対策を実施することとした(写真-3)。



写真-3 鹿野川ダム水質検討会の様子

### 3. 水質改善対策の概要

#### (1) 水質悪化メカニズム

アオコは藍藻類と呼ばれる植物プランクトンである。植物プランクトンは、栄養塩類を利用し光合成しながら増殖する。ダム湖では春から秋にかけて表層水が温められて水深の深い層との水温差が大きくなり、鉛直方向の水の循環が起きにくい水温躍層が形成される。このため、表層の植物プランクトンは、表層に留まり続け光合成を行いやすい環境となり、アオコが爆発的に増殖しやすい状況となる。その際、異常増殖すると、景観阻害や死滅後の腐敗臭発生を引き起こす。

また、水温躍層の形成により下層に存在する溶存酸素が微生物等に消費される一方で酸素が供給されない状態となる貧酸素化が発生して、アオコの養分となる栄養塩類や黒水の原因となる鉄やマンガンが底泥から溶出しやすくなる。

#### (2) 水質改善目標

##### 1) アオコ発生抑制に係る改善目標

アオコ発生抑制に係る改善については、1年を通じてアオコの発生を抑制して、景観阻害、アオコ死滅に伴う腐敗臭の発生を防止することを目指して、クロロフィルaの年最大値 $25\mu\text{g/l}$ 以下を目標値とした。また、春から秋にかけて貯水池浅層部の水温差を解消するため、浅層部水温差(水深 $0.1\text{m}$ 地点と水深 $2.0\text{m}$ 地点の水温差)を $2^\circ\text{C}$ 以下とすることを目標値とした。

2) 栄養塩類・マンガン等の溶出抑制に係る改善目標  
 栄養塩類・マンガン等の溶出抑制に係る改善については、下層の貧酸素化に伴う栄養塩類、マンガン等の溶出や硫化水素臭の発生を抑制することを目指して、最下層(湖底から $1\text{m}$ 直上)の溶存酸素(以下、DO)を $2\text{mg/l}$ 以上、また生物が生息可能となるレベルまでDOを改善することを目指して、下層(E.L. $50\text{m}$ 以下)の平均DOを $5\text{mg/l}$ 以上とすることを目標値とした。

##### (3) 対策概要・装置諸元

対策は、アオコの発生に直接影響する表層付近の水温躍層解消のための「アオコの発生抑制」対策、アオコへの栄養塩類の供給源となる下層の貧酸素化解消のための「底泥からの栄養塩類、マンガン等の溶出抑制」対策とする。

「アオコの発生抑制」対策については、数値シミュレーションによるアオコの予測結果に基づき曝気循環装置を5基設置した。図-2に示すとおり、貯水池内に曝気循環装置を概ね $20\text{m}$ 以上の水深が確保できる範囲かつボートコースを避け、等間隔となるように1号機から5号機まで $0.05\text{k}$ 、 $1.6\text{k}$ 、 $2.3\text{k}$ 、 $2.9\text{k}$ 、 $3.7\text{k}$ に設置して、装置の運用水深は、1,2号機は $30\text{m}$ 、3号機は $25\text{m}$ 、4,5号機は $20\text{m}$ とした。



図-2 曝気循環装置の設置位置図

「底泥からの栄養塩類・マンガン等の溶出抑制」対策については、数値シミュレーションによるDOの改善状況や表層マンガン濃度等の予測結果に基づき、下層DO改善のため最も深い堰堤付近に深層曝気装置を1基、高濃度酸素水供給装置を1基設置した。

深層曝気装置は、下層の貧酸素水を吸い込み、上昇管の中で空気と混合させた後、下層に再供給することにより下層DOを改善する装置であり、処理水量が大きく、広範囲のDO改善が期待できる。一方、高濃度酸素水供給装置は、下層の貧酸素水を吸い込み、気体溶解装置により高濃度の酸素溶解水とした後、下層に再度供給することにより下層DOを改善する装置であり、夏季の酸素消費量が多い時期でも高濃度を維持できるという特長を有する。

図-3に示すとおり、設置場所は、堰堤付近の水深の深い箇所とした。深層曝気装置の吐出口はE.L. $48.0\text{m}$ 、高濃度酸素水供給装置の吐出口はE.L. $47.2\text{m}$ とした。

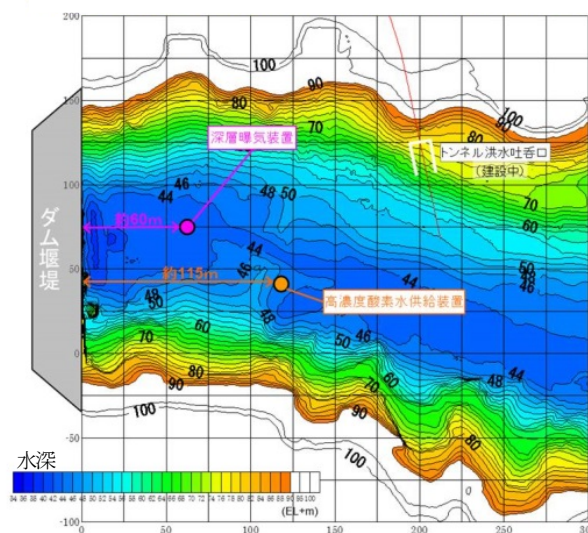


図-3 深層曝気装置・高濃度酸素供給装置の設置位置図

#### 4.アオコの発生抑制対策

##### (1) 曝気循環装置の運用実績と効果

曝気循環装置の運用開始により、その前後を比較するとアオコの発生頻度や量は減少傾向にあり効果が確認されたが、鹿野川ダムでは管理用発電を行っていないため、曝気循環装置の電気は購入となり、運転コストに課題があった。そのため、平成21年からコスト削減を目的とした合理的運用試験を実施して、運転開始時期や時間短縮運用などを検討した。

##### (2) アオコ発生条件の確認

アオコの発生実績と気温、流入量等の関連データを比較すると、春から夏にかけてアオコが発生した場合の気象条件等は日平均気温が  $20^{\circ}\text{C}$  以上かつ流入量  $10\text{m}^3/\text{s}$  以下、秋にアオコが発生した場合は流入量  $10\text{m}^3/\text{s}$  以下であった。これらの条件を満たした日の全てでアオコが発生していたわけではないが、前述の条件を満たしたときはアオコが発生する可能性が高い状況であると考えられた (図4)。

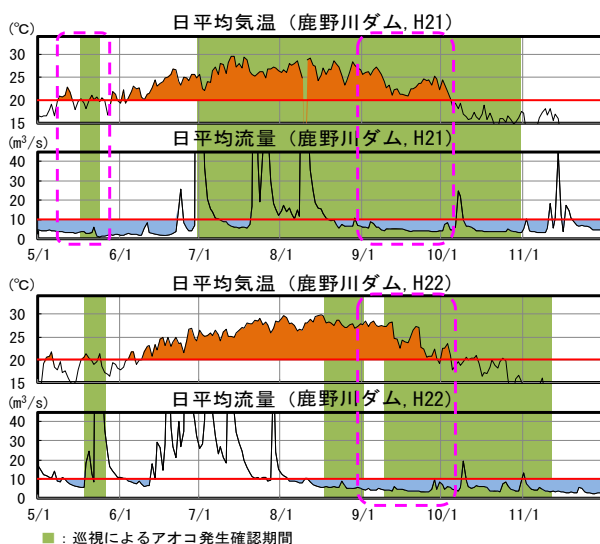


図-4 鹿野川ダムの流入量・気温・アオコ発生の実績

秋は気温、水温が低下しているため、アオコ発生要因としては植物プランクトンが溜まったままであるのか、または流出したかの違いの影響が大きいと推察された。

#### 5.栄養塩類・マンガンの溶出抑制対策

##### (1) 深層曝気装置・高濃度酸素供給装置の運用実績と効果

深層曝気装置および高濃度酸素水供給装置、両装置の運用開始後、下層のDOが改善され栄養塩類やマンガンの濃度も低下して、効果が確認されたが、鹿野川ダムでは管理用発電をしていないため、両装置の電

気は購入となることから、試験運用を実施して、特徴の異なる深層曝気装置および高濃度酸素供給装置の各1基をどのような組み合わせで運用するか、平成27～29年度にかけて合理的運用の検討を行った。平成27年度は両装置同時運用、平成28年度は深層曝気装置優先運用、平成29年度は高濃度酸素水供給装置優先運用とした。

両装置同時運用時と深層曝気装置単独運用時の効果範囲は同様であったが、高濃度酸素水供給装置単独運用時の効果範囲は少し狭かった。

両装置同時運用が最も効果が高く、全期間を通じて目標値を達成したが、深層曝気装置単独運用時と高濃度酸素水供給装置単独運用時は夏季で目標値を達成できなかった。

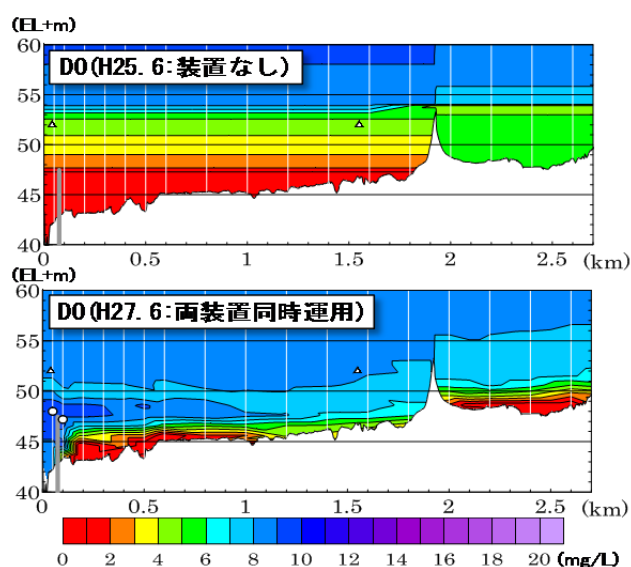


図-5 運用前と運用後の比較

#### 6. 今後の運用方法 (計画)

##### (1) 曝気循環装置の運用方法

曝気循環装置による対策は植物プランクトンを減少させる対策ではなく、増加させない対策である。そのため、可能な限り早い時期から曝気循環装置を運転させることが望ましい。

アオコの発生条件は、春から夏が日平均気温  $20^{\circ}\text{C}$  以上かつ流入量  $10\text{m}^3/\text{s}$  以下であり、秋は流入量が  $10\text{m}^3/\text{s}$  以下である。

平成20年以降、最も早くアオコが発生したのは平成26年4月末、最も遅くまでアオコが発生していたのは平成23年11月第3週である。これらを踏まえて曝気循環装置の運転は4月第3週から11月末までとする。

この期間、5基全てを運転させるのではなく春と秋には2基のみ運転させることを検討した。平成25年までは2号機及び3号機の優先運転としたが、平成25年の2基運転期間に堰堤付近でのアオコが発生した

め、平成26年から1号機及び2号機の優先運転とした。その結果、3号機付近での状況の悪化は見られなかった。

平成29年まで5基運転は6月からとなっていたが、3号機、4号機及び5号機のある中上流で6月のクロロフィルaの値が改善目標の超過が平成26年から29年まで確認されたため、平成30年より5基運転開始時期を早めることとした。近10年間の日平均気温が20℃を超え始める時期が5月の第3週ごろであるため5基運転開始時期は5月第3週とした。また、曝気循環装置の時間短縮運用は、植物プランクトンが増殖して、水温上昇に伴う水温躍層が発達する時刻を考慮して6時から17時とした。なお、毎年アオコの発生状況が異なるため、状況に応じて弾力的な運用とすることにした。

この弾力的運用とは、4月第3週から5月第1週を起動移行期間、10月第4週から11月末までを停止移行期間として、アオコの発生が確認され、日平均気温が20℃以上となったら時間短縮運転期間中でも24時間運転に移行することとする。

図-6のとおり、曝気循環装置の運用ルールを定めた。

機	運用期間	4月		5月		6月		7月		8月		9月		10月		11月			
		16	23	30	7	14	21	28	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14
1号機	4月3週目 ～11月末	起動移行期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		コア期間(24時間運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		停止移行期間 (8-17時運用)			
2号機	4月3週目 ～11月末	起動移行期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		コア期間(24時間運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		停止移行期間 (8-17時運用)			
3号機	5月3週目 ～9月末	短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)			
4号機	5月3週目 ～9月末	短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)			
5号機	5月3週目 ～9月末	短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)		短縮運用期間 (8-17時運用)			

図-6 曝気循環装置の運用ルール

(2) 深層曝気装置、高濃度酸素水供給装置の運用方法

図-7によると平成18年度から平成29年度までの鹿野川湖堰堤における毎月の最下層DOは、深層曝気装置及び高濃度酸素水供給装置の運用前は3月からDOは低下を始め、11月末まで目標値を達成できていなかったまたは両装置運用せざるを得なかった時期が6月から10月中旬となった。

上記の結果を踏まえ、5月中旬から10月末までは高濃度酸素水供給装置も運転させることとした。ただし、図-8のとおり一部期間で時間短縮運転とした。

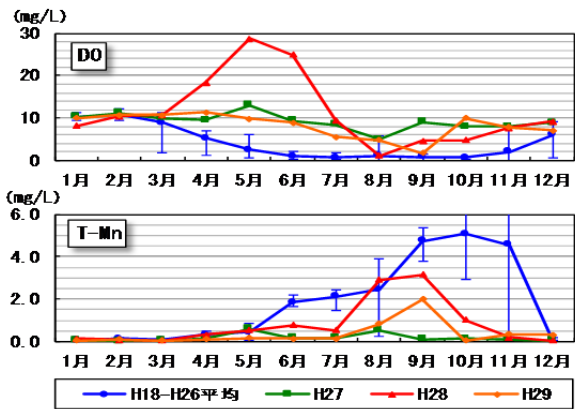


図-7 H28-H29の鹿野川ダム下層DOの比較図



図-8 深層曝気装置、高濃度酸素水供給装置の運用ルール

7. まとめ

鹿野川ダムでは、水質改善と維持管理費低減を両立させるため、目標を達成することを最重要事項に掲げて、その中でコスト縮減や運用条件の簡素化に努めるべく水質改善対策装置設置後の運用方法について検討を行い、運用計画が概ね策定できた。

なお、鹿野川ダムは平成31年度より管理に移行するため改造事業最終年である平成30年度は、現在の運用計画の確認と目標達成に関して判断できるモニタリング方法等の確立を検討している。

改造事業は平成30年度で完了するが、水質改善対策については今後もデータを踏まえつつ適切な運用ができるよう引き続き体制を整えて参りたく考えている。



写真-4 鹿野川ダム改造事業(H30.3.27)