

ダム湖における水質課題の 地域住民等との合意形成

肱川ダム統合管理事務所 鹿野川ダム管理支所 鈴木 正人
肱川ダム統合管理事務所 鹿野川ダム管理支所長 井上 博文
肱川ダム統合管理事務所 鹿野川ダム管理支所 専門官 矢野 泰敏

富栄養化が顕著なダム湖において、ダム再生事業で新設した多数の曝気装置等の運転計画の策定・合意および更なる課題（コスト縮減）に対する検討・フィールドテスト・合意について、多年度に及ぶ検討会を活用して、地域住民等との合意形成を図った手法と実績について報告するもの。

キーワード 水質、ダム湖、合意形成、検討会、
コスト縮減、フィールドテスト

1. 背景（水質に関する肱川の特徴）

鹿野川ダムが位置する、愛媛県西南部を流れる県内最大の一級河川である肱川は、多数の盆地を抱える勾配の比較的緩やかな河川である。

肱川流域の大部分は約200万年前までに隆起して形成された四国山地であるが、肱川はこの四国山地が形成される前より存在しており、山地の隆起とともに下方浸食がすすんだために、流域の大部分を山地が占める割には河床勾配が緩く「野村盆地」～「大洲盆地」、「大洲盆地」～「瀬戸内海」には狭隘なV字谷が形成される全国的にも珍しい先行性河川である。

肱川を形成する地形的特徴に盆地の形成が最上流域から中流域と存在し、全国第5位の支川数を誇る支川域にも盆地を有するという特徴がある。

水質的な観点からこの地形的特徴を鑑みると、盆地を貫流する肱川を中心に農耕地や住宅利用が広がっており、肥料を中心とした負荷や生活排水を中心とした負荷が高くなる特性を持っている。



図-1 肱川 流域図

2. ダム湖の水質について

肱川は上流から野村ダムと鹿野川ダムを有しており、肱川本川はこの2つの人工湖で一旦その流れを滞留している。

先に述べた栄養分の負荷に加え、上流域で行われる畜産農業などによる支川からの負荷も加わり、ダム湖においては、窒素・リンなどの栄養塩類流入により、夏場を中心に発生する植物プランクトンによる「アオコの発生」が課題となっている。

ちなみに、肱川流城市町（3市2町）には特定事業者数が約800事業所存在し、河川の水質に影響を与える設備を設置している工場または事業所を有している（平成30年3月31日現在：愛媛県調べ）。

また、排水基準規制の適用外である1日あたり50m³未満の非特定事業者数は750事業所存在し、少なからず肱川の水質に影響を与えている。

3. ダム湖における過去の水質による社会的影響

平成14年度に野村ダムのダム湖上流端の住宅地域付近で発生したアオコ大繁殖とその死滅による腐敗臭の発生により、地域の生活環境が著しく脅かされ、地元新聞報道もされる事態となった。これを受け、野村ダムでは、ダム湖内でのアオコ発生抑制のための環境整備事業が実施され、浅層曝気装置を順次整備し、その対策に努めているところである。

4. 鹿野川ダムでの水質悪化による社会的影響

野村ダムの下流に位置する鹿野川ダムの堰堤地点上層において富栄養化の数値は高くOECD^{*1}の富栄

養化判定によると、平成20年以降ほとんどの年において、T-P（総リン）平均、chl.a（クロロフィルa）平均、chl.a最大値の全てで「富栄養」の階級と判定される。

また、ポーレンバイダーモデル※2による富栄養化の可能性評価では、平成18年以降すべての年において、「富栄養化現象発生の可能性が高い」と評価されている。

流入した栄養塩類により富栄養化したダム湖では、水温成層(躍層)が形成される夏季に、水温や日照などがアオコが発生しやすい条件となり、アオコの発生が毎年繰り返されてきた。

5. 鹿野川ダム改造事業での水質改善メニュー

鹿野川ダムは、昭和34年3月に完成し、昭和35年2月に国から愛媛県に管理が移管されたが、平成16年の「肱川水系河川整備計画」策定を受けて、平成18年4月に愛媛県から国に管理を移管した上で鹿野川ダム改造事業に着手した。

鹿野川ダム改造事業では、貯水池水質改善も実施され、改造メニューの一つとして、「曝気循環装置」が設置された。水質改善の目的としては大きく分けて2つあり、1つ目は富栄養化により大量発生するアオコの発生抑制、2つ目としてダム湖底層の貧酸素状態による底泥からの鉄、マンガン、硫化水素、栄養塩類などの溶出、硫化水素の発生を防止することである。

6. 水質改善—アオコ発生抑制

アオコは大量に発生すると貯水池表層を緑色で覆い、風などの影響により貯水池端部に集積し、景観などに著しい影響を及ぼす。また、大量に発生し、死滅すると腐敗臭を放ち、日常生活に支障をきたすような障害を引き起こす。

アオコは一旦発生すると、それを死滅させるためには多くのエネルギーを要すると考えられており、アオコ抑制のためには、ダム湖に流入する栄養塩類の削減が不可欠であるが、栄養塩類の削減には、流域住民の協力とともに、下水の高度処理なども必要となるため、多くの時間と費用が必要となる。そこで、鹿野川ダムでは、アオコの増殖を抑えるために、ダム湖内に浅層曝気装置を5基設置し、ダム湖内部に循環混合層を形成し、アオコが発生・増殖しにくい環境を形成して、アオコを抑制することとしている。（アオコ発生抑制の考え方は図-2に示すとおり）

なお、浅層曝気装置の設置位置や年間運転計画は、後述する「鹿野川ダム水質検討会」にて審議し、承認を経て施行されている。

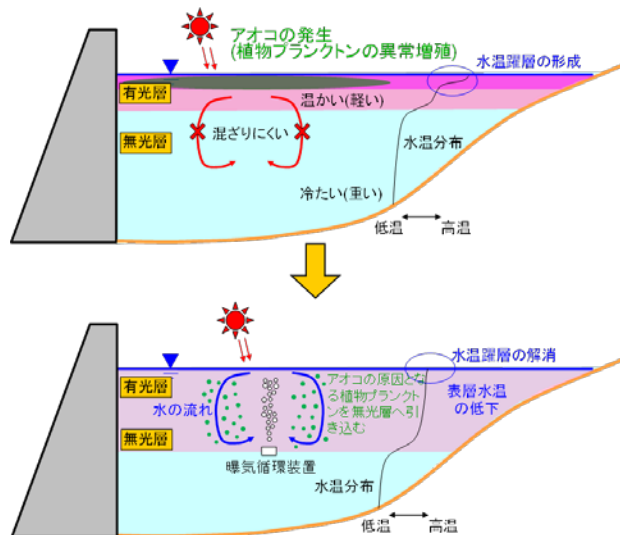


図-2 アオコ発生抑制の考え方

7. 水質改善—溶出負荷抑制

鹿野川ダムではダム湖底層に鉱脈が存在し、鉄・マンガン等の溶出が懸念されてきた。また、同様に栄養塩類の溶出により、ダム湖内の富栄養化の促進も懸念されてきた。

マンガン等は溶出すると、水の色が黒色となり、水道水等で使用すると洗濯物などが黒く変色するなど、日常生活に支障をきたす。また、硫化水素が発生すると、異臭の発生につながり、これについても、日常生活に支障をきたす恐れがある。

双方とも、ダム湖底層の貧酸素状態（生物活動により酸素が消費され、新たな酸素供給がないため、貧酸素状態が進行する）により溶出しやすい状況となる。この状態を引き起こさないために、ダム湖底層に酸素を送り込み、溶出負荷抑制を図った。（溶出負荷抑制の考え方について図-3に示すとおり）

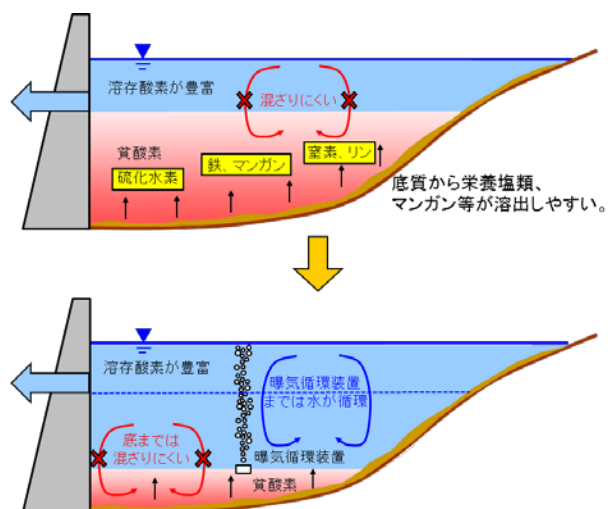


図-3 溶出負荷抑制の考え方

ダム湖底層の貧酸素状態は、自然の出水等でダム湖内の混合が行われない限り不可避である。この貧酸素状態を解消するためには、強制的に酸素の供給を行う必要があるため、ダム湖内の堰堤付近（水深が最も深く、貧酸素状態が起きやすい場所）に深層曝気装置及び高濃度酸素水供給装置の2基を設置し、底層の貧酸素状態の改善を図った。

なお、両装置の設置位置や年間運転計画は、後述する「鹿野川ダム水質検討会」にて審議し、承認を経て施行されている。

8. 水質改善装置の効果について

今回の報告では詳細なデータ報告が目的ではないため、効果の概略報告にとどめることとするが、浅層曝気装置、深層曝気装置及び高濃度酸素水供給装置については、設置後、水質改善効果があることが確認されている。（図-4に鹿野川ダムの水質改善効果の経年変化データを示す）

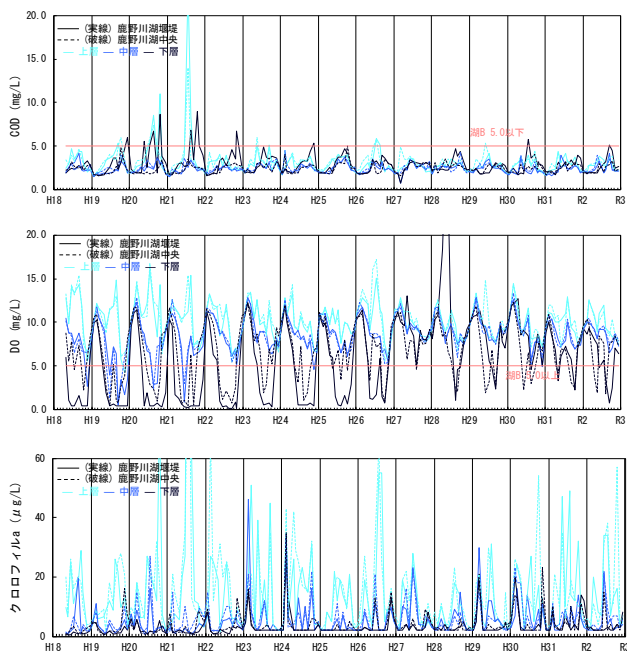


図-4 鹿野川ダム水質改年変化

9. 新たな課題の発生

水質改善装置については、その効果が確認され、設置後の水質は安定したものの、装置の運転コスト面で新たな課題が発生した。設置した浅層曝気装置（5基）、深層曝気装置及び高濃度酸素水供給装置の合計7基の動力源は電気であり、鹿野川ダムは、自家発電設備を有していないため、その供給は全て、商用電力に頼らざるを得ない。全装置を24時間フル稼働させることが最も効果を発揮するが、その効果を得るためには非常に大きな電力消費が必要となる。

アオコ抑制・貧酸素解消とも、将来に渡り、無対策では再び障害の発生を招いてしまうため、装置の運転は将来的にも必要不可欠の中、コストの縮減が課題となった。

10. コスト縮減課題の解決と合意形成

アオコ抑制・貧酸素解消のための装置運転について、「効果が高く、かつ、コストを抑えた年間運転計画」の策定が急務となった。両方の効果については、ダム湖の平面的な形状や深度方向の形状などダム湖ごとにその効果は一律的に効果算出できるようなものではなく、影響因子も気温、降水量、日照時間などの地域性のほか、ダムへの流入量や年間回転率など、非常に複雑なものとなる

そこで、鹿野川ダムでは、基本的な運転計画をたたき台として作成し、数年間の試行期間中に自然現象のデータ、水質データ及び各装置の運転実績データを取得し、評価を実施した。また、特徴的な点は、よりよい年間運転計画の策定を目指し、自己評価にとどまらず、毎年度、「鹿野川ダム水質検討会」に実績データの報告を行い、合意形成を取りながら運転計画の見直しを行ったという点である。

11. 鹿野川ダム水質検討会

鹿野川ダム水質検討会（以下「検討会」と呼ぶ）の設立から現在までの経緯を図-5に示す。

年度	回	開催日	議事等
H19	1	H19.11.30	鹿野川ダムの水質の現状報告とアオコ処理報告
	2	H20.2.5	良い水質に向けての意見交換 具体的な水質改善の事例報告
H20	3	H19.4.18	ダムの水質悪化原因と水質改善目標 他ダムの水質改善事例紹介
	4	H20.10.27	鹿野川ダムの具体的対策(曝気循環装置等)の検討 流入負荷削減に向けた水質改良材の室内実験結果の報告
H21	5	H22.1.21	曝気循環装置による水質改善効果報告 ダム改修事業による水質悪化予測
H22	6	H23.2.16	曝気循環装置による水質改善効果報告 ダム下流河川の水質改善、流入支川の水質改善
H23	7	H24.3.1	曝気循環装置による水質改善効果 底泥からの栄養塩・マンガン等の溶出抑制 ダム下流河川の水質改善、流入支川の水質改善
H24	8	H25.2.6	アオコ発生抑制、底泥からの栄養塩・マンガン等の溶出抑制 フラッシュ放流・土砂堆積、流入支川の水質改善
H25	9	H26.1.29	アオコ発生抑制、溶出負荷抑制対策、流入支川の水質改善 曝気循環装置等の運用(アオコ発生抑制、溶出負荷抑制対策)
H26	10	H27.1.26	流入支川水質改善対策
H27	11	H28.1.29	アオコ発生抑制、溶出負荷抑制対策、流入支川水質改善対策
H28	12	H29.2.6	アオコ発生抑制対策、溶出負荷抑制対策
H29	13	H30.1.31	アオコ発生抑制対策、溶出負荷抑制対策
H30	14	H31.2.6	アオコ発生抑制対策、溶出負荷抑制対策、モニタリング計画
R1	15	R2.1.29	アオコ発生・溶出負荷抑制対策 トンネル出水・選取取水設備の運用の影響・効果、モニタリング計画
R2	16	R3.3.1	アオコ発生・溶出負荷抑制対策 トンネル出水・選取取水設備の運用の影響・効果

図-5 検討会 これまでの経緯

検討会の委員について特徴的な点は、地域関係者の代表として、2漁協組合長の参加と下流河川の観光業関係者代表として観光協会会長の参加がある。また、水質的な検討会であるため、学術的立場での意見も重要であることから、学識経験者として、水質・環境の学識関係者と水質研究機関の専門家として土木研究所にも参加いただき、さらに、ダム湖の水質は下流河川に広く影響があるため、行政関係者として県関係者と関係市町の保健部局関係責任者にも参加いただいている。（委員名簿を図-6に示す）

区分	氏名(敬称略)	所属・役職等
学識経験	中野 伸一	京都大学 生態学研究センター長 教授
	治田 伸介	愛媛大学大学院 農学研究科 生物環境学専攻教授
	萱場 祐一	国立研究開発法人土木研究所 水環境研究グループ長
地域関係	澤井 弘説	肱川上流漁業協同組合 代表理事組合長
	橋本 福矩	肱川漁業協同組合 代表理事組合長
	藤岡 周二	大洲市観光協会 会長
行政関係	木村 圭策	愛媛県 土木部 河川港湾局長
	藤田 修	大洲市 市民福祉部長
	藤井 兼人	西予市 生活福祉部長
	中嶋 優治	内子町 環境政策室長

図-6 令和2年度 検討会 委員名簿

もとに時間短縮期間やその運転条件の設定が盛り込まれている点である。また、開始期間や終了期間についても、一律な日付で実施するのではなく、鹿野川ダムの条件に合わせて開始と終了が選択できるようになっている柔軟性である。

この計画は、当然ながら、検討会で詳細に説明と根拠を示し、議論いただき、承認いただいたものであり、従来の管理者のみでの運転計画ではなく、検討会を十分に活用して合意形成を踏ったうえに成り立っている計画である。

住民と協働して合意形成を図っていくという良い事例になったのではと考えている。

今後も引き続き、肱川の水質環境維持のため、鹿野川ダムの水質改善に向けて取り組んでいく。

12. 設備運転計画の策定と合意形成

素案段階の設備年間運転計画は図-7のとおりであるが、これを基に実施したデータで、改善点を抽出し、改善を目的としたフィールドテストを実施した。多年度にわたって、テスト、データ整理及び検討会への報告を繰り返し、最終的に「鹿野川ダム曝気装置等年間運転計画」(図-8)を策定した。

この計画の特徴は、絶対的な期間であるコア期間の設定と各種フィールドテストから得られた知見を

浅層曝気装置	運転期間										
	月日	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
1号機	6/1~8/31			←→							
2号機	5/1~10/31	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→		
3号機	5/1~10/31	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→		
4号機	6/1~9/30			←→							
5号機	6/1~8/31			←→							

※全装置24h運転

図-7 素案段階の設備年間運転計画

13. 謝辞

本計画の策定までご尽力いただいた、鹿野川ダム水質検討会の各委員各位、歴代委員会開催に尽力した事務局各位、確実な水質定期検査の採水および分析を実施していただいた(株)四電技術コンサルタント関係者各位、データの分析シミュレーション・委員会開催補助など尽力いただいた(株)建設技術研究所関係者各位に深謝の意を表す。

装置	運転期間										
	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
高濃度酸素水供給装置		5月中旬より運用		短縮運用	短縮運用	24時間連続運用	24時間連続運用	短縮運用	短縮運用		
深層曝気装置		3月初旬より運用				24時間連続運用	24時間連続運用				

装置	運用期間	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	備考
曝気循環装置	4月3週目~11月末	停止期間		起動移行期間(6-17時運用)	短縮運用期間(6-17時運用)	コア期間(24時間運用)			短縮運用期間(6-17時運用)	停止移行期間(6-17時運用)	停止期間	短縮運用期間中はアオコ条件(下記参照)に適合したら24時間運用に切替え		
1号機	4月3週目~11月末				2基運用	5基運用	5基運用			3基運用	2基運用		短縮運用期間中はアオコ条件(下記参照)に適合したら24時間運用に切替え	
2号機	4月3週目~11月末													■アオコ条件 気温20℃以上 and 流入量10m³/s未満 もしくは、 アオコを確認 (レベル3以上)
3号機	5月3週目~9月2週目				■起動条件(1,2号機) 気温15℃以上 and 流入量10m³/s未満									
4号機	5月3週目~9月末													
5号機	5月3週目~9月2週目													
深層曝気・高濃度	3月~11月	停止期間			深層曝気単独(24時間運用)	深層+高濃度短縮(12時間運用)	フル運用(24時間運用)	深層+高濃度短縮(12時間運用)	深層単独(24時間)	停止期間	深層曝気装置は年間を通じて24時間運用			
深層曝気装置	3月~11月													
高濃度酸素水供給装置	5月3週目~10月末													■取水段数 1段 10m³/s未満 2段 10-20m³/s 3段 20-30m³/s 4段 30m³/s以上
選択取水設備	通年	表層取水(取水段数は放流量に従い変更)												
トンネル洪水吐	-	水質改善の観点での運用はない												

■出水時の運用

曝気循環装置：出水中(ゲート放流中)は運用を停止、出水後は1号機を除き速やかに運用を再開

深層曝気・高濃度：出水中も期間毎の所定の運用を継続

選択取水設備：出水中も表層取水を継続

トンネル洪水吐：流入量が600m³/sに達したら一定放流を行い、貯水位がEL+80mに到達後クレストゲートによる放流を開始

■期間区切り

週始まりを月曜日とし、二月にまたがる週(月始・月末)は前月(月曜日時点の月)に含んで運用を区分

図-8 鹿野川ダム曝気装置等年間運転計画

※1：OECD Cooperative Program on Monitoring of Inland Waters. Vollenveider, R.A. & J. Kerekes, Synthesis Report(1980)

※2：「単位湛水面積あたりの年間リン流入負荷量」と「(平均水深)×(回転率)」の関係による富栄養化の可能性評価