

漁川ダムにおける貯水池水質保全事業の効果検証

The Inspection of the Improvement Enterprise of the Water Quality in Izarigaw Dam Reservoir.

北海道開発局 石狩川開発建設部 漁川ダム管理所 ○正 員 玉川 尊(Takashi Tamagawa)
村椿健治(Kenji Muratsubaki)
小倉和紀(Kazunori Ogura)
三俣晴由(Haruyoshi Mitsumata)

1. まえがき

漁川ダムの集水域には特定の汚濁源がない。しかし、H5 より顕著にカビ臭が発生し、水道利用者より早急な対策が求められていた。そこで H11 よりその原因を究明し、ダム上流域から流出してくる土砂がダム貯水池内に堆積し、この土砂の棚上で放線菌が繁殖している。また、貯水池の深層部は嫌気化されており、好気性の放線菌はこの深層部に沈降すると希薄な酸素のため死滅する。その結果、菌体内に生成されたジェオスミンが水中に拡散し、これが漁川ダムのカビ臭発生メカニズムであることを解明した。

カビ臭の防止対策として、放線菌の繁殖域となっている堆砂棚を改善する必要がある。このため H13 より5ヶ年計画で堆砂掘削を実施している。一方、堆砂土の形状が要因でダムサイトの深層部に形成された嫌気層を改善する必要性から、深層部を人為的に好気化する方法として湖水循環装置の導入を検討した。これらの検討結果よりカビ臭の高い改善効果が得られることが判明した。

現在、これらの防止対策を踏まえて本格的な改善事業を実施中であるが、その効果の検証結果を報告する。

2. 本文

2.1 カビ臭発生原因究明¹⁾

2.1.1 漁川ダムの概要

漁川は千歳川最大の支流であり、流路延長は 46.8km、流域面積 113.3km²である。漁川ダムは、千歳川水域総合計画の一環として恵庭市漁平に昭和 55 年に完成した多目的ダムであり、堤高 45.50m、堤頂長 270.0m、総貯水量 15,300 千m³のロックフィルダムである。図-1 に位置図を示す。

2.1.2 カビ臭の特定

一般にカビ臭産生微生物には藍藻類と放線菌があり、その発臭物質は藍藻類が 2-MIB とジェオスミン、放線菌はジェオスミンである。漁川ダムは調査の結果、藍藻類の出現数が少なく 2-MIB が不検出のため放線菌によるジェオスミンが原因物質であると推定された。

2.1.3 道内主要ダムとの比較

放線菌は、土壌細菌としてどこにでも存在するが、北海道の主要ダムのカビ臭調査結果では、漁川ダムの放線菌数が特に顕著な値を示していなかった。このため、カ



図-1 漁川ダムの位置図

ビ臭発生の要因を貯水池内の堆砂の特異性に起因しているものと考え、長年堆砂量が増加している堆砂土の形状に着目して調査を行った。

2.1.4 貯水池内の堆砂状況

漁川ダムはS56.8 洪水で計画堆砂量 120 万m³の 30%に相当する約 36 万m³が堆積し、その後、毎年約 3 万m³の流入があり、H13 の累積量は約 87 万m³に達している。

漁川ダムの堆砂形状の特長は、図-2 に示すようにテラス状の堆砂棚が縦断的に不連続な形状で発達し、棚と制限水位との水位差は2～3m となっている。さらに、堆砂棚の下流端からダムサイトまでは13～15mの深度が続くため水循環が鈍く、嫌気層を形成している。

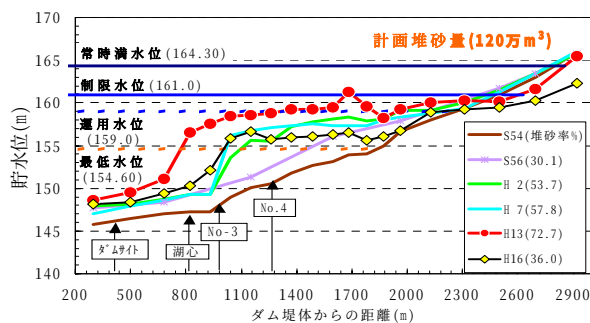


図-2 貯水池の縦断形状

2.1.5 カビ臭発生のメカニズム

ダム貯水池内の堆砂状況を詳細に調査した結果、この棚上に放線菌が高濃度で分布しており、また、ダムサイト底層の DO が融雪出水後の5月中旬から9月中旬にかけて顕著な低下が見られたため、漁川ダムのカビ臭発生メカニズムは次のように推定された。

- ①貯水池に流入する放線菌が、堆積土砂の棚上の浅水部で日光により水温の上昇した環境で活性化して増殖する。
- ②増殖された放線菌は移流して、嫌気化された深層部に沈降して酸欠により死滅する。
- ③放線菌は生育過程で体内にジェオスミンを生成するため、死滅によって細胞が破壊されてジェオスミンが放出され貯水池に拡散れる。

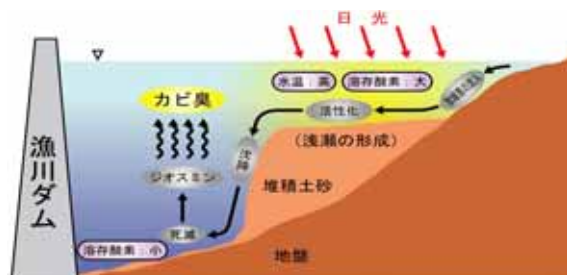


図-3 カビ臭発生の模式図

- ④拡散されたジェオスミンは、取水塔より放流され下流の水道施設を通して供給されるため利水者の苦を招く。
以上から、発生メカニズムを図-3の模式図に示す。

2.1.6 マンガン(Mn)、アンモニウム態窒素(NH₄-N)の影響

堆砂の進行はカビ臭以外にMnとNH₄-Nの上昇を招いている。特にMnは水道基準値(0.05mg/L)を上回る0.09mg/L(MAX=0.56mg/L)を示す。この原因は、渇水期に貯水位の低下に伴って堆砂土が露出し、河道の流入末端で堆積土が洗い出されるためと考えられる。また、このMnが最深部の嫌気層に到達して還元されて溶解性Mnに変化し、その濃度は0.07mg/Lを示す。このため下流の水道施設への影響を避けるため貯水位をEL.159m以上に維持する水質考慮水位をダム独自で設定している。

2.2 防止対策の検討と水質改善効果の予測²⁾

2.2.1 土砂の除去と貯水池の好気化方法

カビ臭発生メカニズムを踏まえ、カビ臭発生の防止対策として検討する項目は、放線菌の繁殖域となっている土砂の掘削除去である。この効果は放線菌の繁殖域を広範囲に除去するため生息能力が低下する。また、土砂の除去により流入河川水と湖水の混合促進が図られ、貯水池最深部の好気化と希釈効果を高めることができる。さらに、貯水池の深層部に形成された嫌気層で放線菌の死滅を抑制するため、間欠曝気式による湖水循環装置を設置し、酸素の供給と貯水の流動効果が得られる。図-4にその防止対策の模式図を示す。

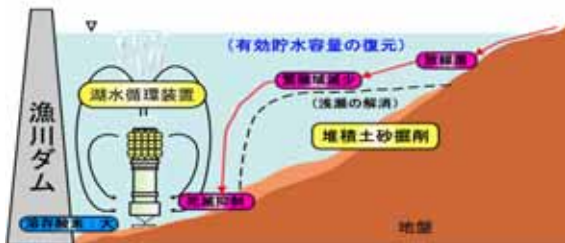


図-4 カビ臭防止対策の模式図

2.2.2 水質の改善目標値の設定

貯水池のカビ臭発生期間におけるDOとジェオスミンの関係²⁾からDOが4～6mg/Lに低下した時、ジェオスミンが急激に上昇し、この時のジェオスミンの濃度は4～6ng/Lであった。これは水道利用者が苦情が起きた時に水道供給機関が測定した最小濃度と同程度であった。従って、ジェオスミン 5ng/L以下をカビ臭の改善目標値とし、貯水池内の好気化に必要なDOを 5mg/L以上に保つことを防止対策の目標値として設定した。

2.2.3 鉛直二次元生態系モデル構造

貯水池水質予測モデルは、図-5に示すように流下方向に100m間隔、鉛直方向に1m間隔で分割した二次元貯水池形状モデルを基に水理・水温の解析、および富栄養化解析を行う鉛直二次元生態系モデルを基礎モデルとした。これに、新たに放線菌の増殖、ジェオスミンの放出過程を考慮した仮定を追加し、放線菌とジェオスミンの放出量の解析を行った。

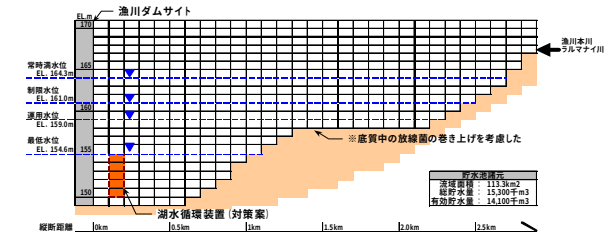


図-5 鉛直二次元地形モデルのイメージ

2.2.4 堆砂掘削による効果予測³⁾

図-6に放線菌の繁殖分布状況と年別掘削範囲を示す。また表-1に堆砂土の除去効果を示す。この結果、堆砂土が約53%、放線菌は43%の除去率に達する。

表-1 堆砂土の除去効果

	堆砂土 (単位: 千m ³)	放線菌 (単位: 億個)
対策前	872.5	3.10
対策後	413.0	1.76
除去率(%)	52.7	43.2

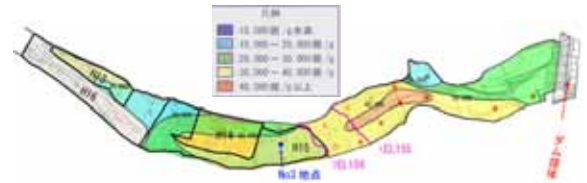


図-6 放線菌の繁殖分布と年別の掘削範囲

2.2.5 堆砂掘削と湖水循環装置による効果予測

予測モデルを用いて堆砂掘削によってDO及びジェオスミンの変化を推定した一例が図-7である。DOは中層のEL.151～154mで最も高い効果を示し、その濃度は1.2～1.9mg/Lの上昇値となった。同様にジェオスミンは2.4～5.5ng/Lの低下を示している。また、堆砂掘削と湖水循環装置を併用した場合における水質シミュレーションを行った結果、図-8による水質変化を示す。

図-7 堆砂掘削による効果

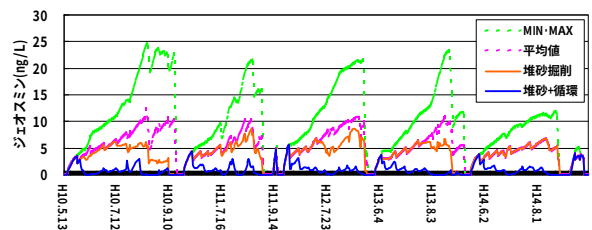
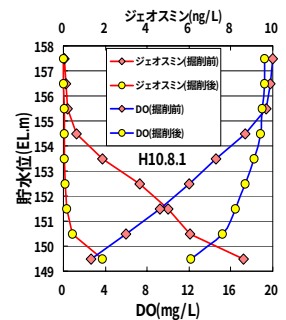


図-8 堆砂掘削と湖水循環装置による水質予測

この結果から表-2に示す予測結果が得られた。DOの改善率は堆砂掘削で約8%(0.5mg/L)、湖水循環装置との併用では約21%(1.6mg/L)であった。また、ジェオスミンの改善率は堆砂掘削で約32%(1.4ng/L)、併用で約80%(4.7ng/L)であった。この結果、ジェオスミンの改善目標値である5ng/L以下の達成が可能となった。

表-2 堆砂掘削と湖水循環装置による予測結果

	単位	データ(H10～14)		堆砂掘削		堆砂+循環	
		MIN・MAX	平均値	改善率(%)	濃度	改善率(%)	濃度
溶存酸素(DO)	mg/L	3.5	8.3	7.9	8.8	21.1	9.9
ジェオスミン	ng/L	24.8	5.8	31.9	4.4	80.4	1.1

2.3 防止対策の実施とその効果の検証³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾

2.3.1 カビ臭濃度の簡易予測方法

カビ臭は例年6月から9月に発生しており、当該年の発生濃度を簡易予測する方法を検討した。パラメーターは諸文献⁷⁾⁸⁾より放線菌が懸濁性粒子等に着生して繁殖するため、融雪出水前後の水文量を用いて重回帰分析を行った結果、次式が得られた。

$$C = 3.63 + 1.45 X_1 + 2.54 X_2 + 0.12 X_3 - 0.80 X_4$$

C: ジェオスミン濃度(ng/L)

X_1 : 5月の流入量 12m³/sを超過した日の平均流入量 (m³/s)

X_2 : 5月上旬の日最低気温の平均値(°C)

X_3 : 5月上旬の堆砂土中央地点の平均水深(m)

X_4 : 4・5月の放流量(百万m³)

この式により H5 年以降の観測値と予測値を比較したものを図-9に示す。この結果から H15 は 28ng/L, H16 は 32ng/L の予測値が得られた。

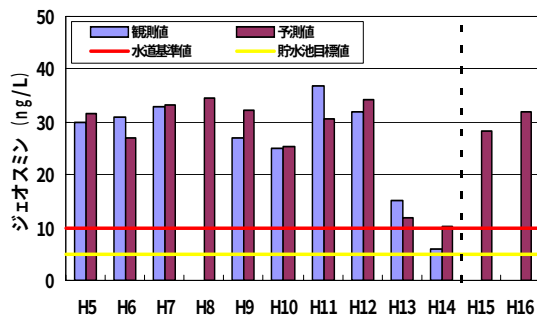


図-9 カビ臭発生簡易予測結果

2.3.2 湖水循環装置稼働状況と水質結果

2.3.2.1 湖水循環装置

湖水循環装置は、図-10に示す高さ 5m、直径 1m の円筒型を湖水の最深部に固定し、エアースホースより空気室に送って貯留する。空気が一定量貯まると一気に上昇しその勢いで底層水を押し上げて水面に噴き出ると共に、表層水が下層に移動して湖水の循環が図られる。この操作

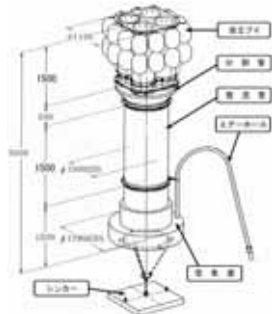


図-10 湖水循環装置の概要

の連続によって、表層の高酸素を酸素の希薄な底層水と混合し、同時に温度躍層を減少させることが出来る。循環水量は 11 万

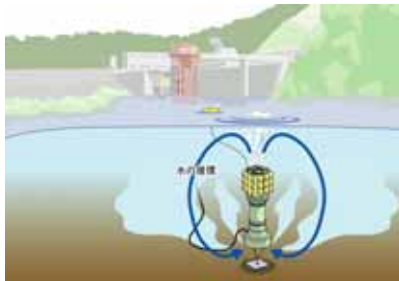


図-11 湖水循環装置のイメージ図

イトの嫌気層を崩すには約4日間かかる。図-11に貯水池での湖水循環装置の設置のイメージ図を示す。

2.3.2.1 貯水池内の改善結果

2.3.2.1.1 カビ臭の改善結果

図-12に湖水循環装置の稼働による水質日変化の一例

を示す。DO は稼働2日目まで微増であったが、4日目では表層の濃度程度まで回復した。また、ジェオスミンは2日目に一時上昇したが、4日目から回復されている。

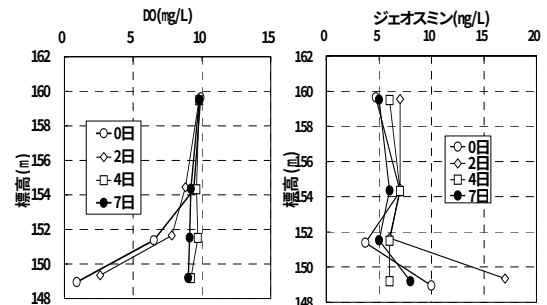


図-12 水質の日変化(H15.7.14~7/24)

堆砂掘削の進捗とともに湖水循環装置を H15.6 より条件別に試験運転を行い、防止対策の最良効果の検証を行っている。現在までのジェオスミン発生抑制効果の結果を図-13に示す。湖水循環装置を稼働すると底泥の直上で間隙水中に溶出しているジェオスミンが循環によって上昇するが数日後に低下する。この傾向は融雪出水後に顕著に現れるが、中・上層は概ね目標値の 5ng/L 以下であった。

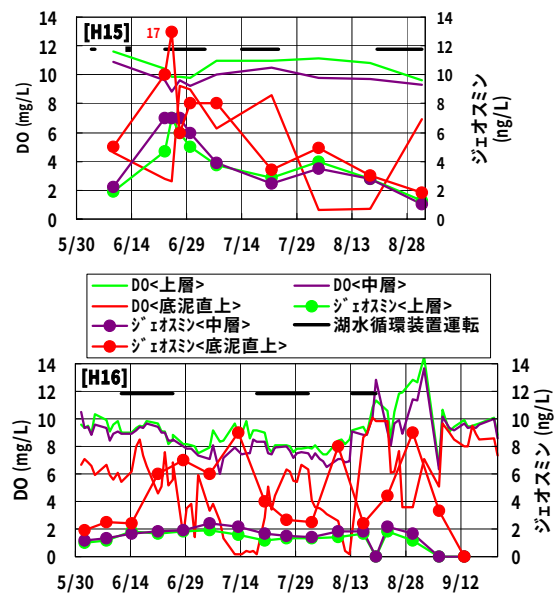


図-13 湖水循環装置の導入による水質変化

2.3.2.2 マンガン、アンモニウム態窒素の改善結果

Mn, NH₄-Nの改善結果を検証するため、試験的に水質考慮水位をH15 はEL.158m、H16 は 157mまで下げて調査した。その結果を表-3に示す。H15 のMnは水道基準値以下の 0.03mg/Lに達し、溶解性Mnの改善率は約 80%以上を得ている。NH₄-Nも同様でH15 の濃度は定量下限値

表-3 マンガン、アンモニウム態窒素⁹⁾の改善

項目	形態		単位	H13	H15	H16	条件
Mn	Total	MAX	mg/L	0.555	0.184	0.083	洪水期(6/1～9/30)の観測値
		平均		0.094	0.029	0.046	
	溶解性	MAX		0.140	0.041	0.075	
		平均		0.071	0.014	0.042	
NH ₄ -N	MAX	0.530		0.040	0.026		
	平均	0.079		0.003	0.011		
平均河床高[堆砂]			EL.m	159.4	158.5	156.9	SP1040～2500
水質考慮水位				159	158	157	
有効貯水容量			×10 ³ m ³	1,277	1,427	1,850	～161m(制限水位)

の0.05mg/L以下であった。また、H16は観測数が2回のため検証精度が低い Mn, NH_4-N の定量下限値である0.05mg/L以下であった。これらから、今後、水質考慮水位をEL.157mに変更して運用が可能と思われる。

2.3.2.3 水道用水への改善結果⁹⁾

ダム放流水に残存する放線菌が、下流の水道用水に影響を与えているか確認した。図-14にその結果を示す。H15～16のジェオスミンの平均濃度は1.3ng/Lで改善目標値の5ng/L以下であった。

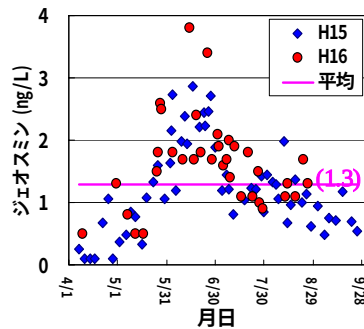


図-14 水道用原水のジェオスミン

3. 考察

特定の汚濁源を有しない漁川ダムのカビ臭の発生原因が、短期間で堆積した流入土砂により放線菌が活性化したことが判明した。カビ臭の防止対策における堆砂掘削と湖水循環装置の改善効果を水質予測した結果、堆砂掘削によって流入水がダムサイト地点の嫌気層に浸透しその中層から底層にかけてDOの上昇効果が認められた。これによってジェオスミンの改善率は約32%を示した。また、堆砂掘削による対策は、副次的な効果として有効貯水量が約45%の回復率に寄与している。

堆砂掘削と湖水循環装置を併用した効果では、ダムサイトの嫌気層を破壊して好気状態に変え、DO濃度は3.5mg/L(MIN)から9.9mg/Lまで改善されることが解った。このDOの改善効果によりジェオスミン濃度が24.8ng/L(MAX)から1.1ng/L(全層)まで抑制できる。この濃度は防止対策の目標値であった5ng/L以下を十分クリアできるものであった。

ジェオスミンの簡易予測法を試みたが、パラメータの根拠が現時点で明確ではない。しかし、予測値と観測値には高い相関($R=0.92$)があるため、当該年のカビ臭の発生レベルを推定する上で勘弁な予測法となっている。

湖水循環装置の試験運用では、稼働が10日間程度の場合、装置停止後にDOの低下が起きている。しかし、26日間の連続稼働では回復したDOが1週間以上も持続されることが解った。この効果は湖水循環装置の運用にあたって考慮すべき条件である。

湖水循環装置の実施効果は、ジェオスミン濃度が一時的に上昇するもののそれ以後は5ng/L以下で推移していた。これは貯水池としての水質基準にはないが、H16.4.1より施行された水道基準値である10ng/L以下を十分満足するレベルであった。

ジェオスミンの一時上昇の理由は、底層上部の浮泥に付着していた放線菌の分解によってジェオスミンが浮泥中の間隙水に溶出し、湖水循環装置により巻き上げられたものと思われる。この傾向はH15もH16においても同様であったが、H15はその影響が中層、上層も及んでいた。しかし、H16は底層での上昇は起きているが、中層、上

層まで影響が及んでいない。このことは、H15の冬期に実施された堆砂掘削の進捗による効果と考えられる。この堆砂掘削の効果は Mn, NH_4-N においても同様の傾向を示している。

水道用水への影響調査では、浄水処理過程の前段に位置する水道原水のジェオスミン濃度はH5にカビ臭が顕著であった7～10月までの通日調査では平均9.1ng/L(MAX 43ng/L)であるが、H15～16では平均1.3ng/L(MAX 3.8ng/L)まで減少しているため施設への影響はないことが判明した。

4. あとがき

漁川ダムが唯一の生活水源となっている恵庭市は、自治体も市民も水質悪化への危機意識が高く、このため地域ぐるみでダム湖周辺の清掃活動を通じて水質保全への市民運動を実践している。国も地元の要請を受けて、貯水池水質保全事業を立ち上げて堆砂土対策や湖水循環装置の設置などを実施し、その防止効果について約2年間の調査を積み上げてきた。その結果、漁川ダムでカビ臭発生の防止目的を達成できることが検証された。今後は、防止対策の実用化に向けて効果の向上を図って行く予定である。しかし、土砂の流入はこれからも続くため根本的な対策が必要である。その間、放線菌の活性化が再燃することも懸念されるが、今回、設置した湖水循環装置の能力が高くある程度の負荷にも効果が維持されるものと思われる。

謝辞: 本報告にあたって石狩東部広域水道企業団のご協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 小森太一、稲澤豊、鈴木将：漁川ダムにおけるカビ臭発生原因の究明、第46回北海道開発局技術研究発表会概要(ダム・砂防部門), 調査計画、ダ-17, 2003.2
- 2) 鈴木将、稲澤豊、三田村宏二：漁川ダムのカビ臭の改善方法と防止対策、第46回北海道開発局技術研究発表会発表概要集(ダム・砂防部門), 調査計画、ダ-18, 2003.2
- 3) 玉川尊、村椿健治、小倉和紀、三俣晴由：漁川ダムにおけるカビ臭発生の原因究明と対策について、河川技術論文集、第10巻、p534, 2004.6
- 4) 小倉和紀、村椿健治、三俣晴由：漁川ダムにおけるカビ臭発生の防止対策とその効果について、第47回北海道開発局技術研究発表会概要(ダム・砂防部門), 調査計画、ダ-6, 2004.2
- 5) 玉川尊、村椿健治、小倉和紀、三俣晴由：漁川ダムにおけるカビ臭防止対策とその効果について、平成15年度年次技術研究会(VII部門)、2004.2
- 6) 小倉和紀、村椿健治、三俣晴由、玉川尊：漁川ダムにおけるカビ臭の防止対策と水質改善効果について、第38回日本水環境学会年会講演集、p249, 2004.3
- 7) 「異臭味水対策の指針」；1979.12 日本水道協会
- 8) 「生物起因の異臭味水対策の指針」；1999.5 日本水道協会
- 9) 石狩東部広域水道企業団：水質測定記録より