

小規模空気量条件下の気泡循環対策の効果 — 亜熱帯島嶼の小規模貯水池の事例 —

埼玉大学工学部	学生会員	○武田	真未
埼玉大学大学院理工学研究科	正会員	古里	栄一
島根大学汽水域センター		鮎川	和泰
沖縄県南部土木事務所		玉城	要一
久米島町水道課		真栄平	健正
琉球大学国際沖縄研究所（法文学部）		廣瀬	孝
独立行政法人水資源機構 総合技術センター	正会員	今本	博臣
独立行政法人水資源機構 総合技術センター	正会員	久納	誠
ダム技術センター	正会員	川崎	秀明

1. 目的

沖縄県久米島における儀間ダムにおいては、放線菌が産生したカビ臭物質（ジオスミン）の抑制を目的として、気泡循環対策が導入されている。現在我が国の多くのダム貯水池における気泡循環対策の設計において、施設規模の指標としてk値が用いられている。儀間ダムにおいても一般的な対策効果の得られる規模として、約340のk値が基本設計において採用されている。一般的に、k値を用いた設計において、使用するコンプレッサー規模は15kw以上の場合が殆どであるため、k値の適用範囲事例は限られているのが実情である。しかしながら、儀間ダムのような小規模水域を対象とする場合には、使用するコンプレッサーは小型である方が、維持管理費削減のためには有用である。今までに、k値の適用にあたって小規模コンプレッサーを

使用した例が見当たらないことから、儀間ダムにおける循環対策の効果を現地データから評価することは、今後のk値の改良や小規模ダム貯水池への技術指針の構築において重要な情報を提供できる。儀間ダム貯水池は沖縄県に位置することから、水温が年間を通じて高く、水温成層形成やDO消費等の諸パラメーターの変化速度が速い傾向がある。このため、循環対策効果を現地データから評価解析するうえで適性が高い。

本研究は、わが国で前例の無い小規模空気量を用いた気泡循環対策の現地における効果を、亜熱帯島嶼の小規模貯水池で行った現地調査結果から検討した結果を報告するものである。

表-1 儀間貯水池の概要*1

項目	数値	単位
湛水面積	0.09	km ²
サーチャージ水位	EL.59	m
常時満水位	EL.57.6	m
総貯水容量	57.5	万m ³
最大水深*1	13	m

*1.最大水深は、常時満水位と貯水池形状データにおける最深部標高から算定した。

表-2 気泡循環対策の概要

要素	数量	単位
曝気装置基数	4	基
コンプレッサー基数	1	基
空気量	60	NL/min/基
吐出高さ	EL.47	m
施設規模(k値)	約340	-

2. 儀間ダム貯水池・気泡循環対策の概要および調査内容

2.1. 儀間ダムおよび気泡循環対策

表-1に儀間ダムおよび貯水池の概要を示す(図-1)。儀間ダムは儀間川の沖縄県島尻郡久米島町儀間地先に、既設儀間池を改修し多目的ダムとして建設するものである。平成19年度より儀間川総合開発事業として工事が開始され、平成26年2月より試験湛水が開始された。儀間ダム貯水池は、表よりわかるとおり、貯水池規模および流域面積が小さい傾向がある。表-2は、導入されている気泡循環対策の施設諸元である。本ダムに

キーワード k値, 久米島, 儀間ダム, カビ臭, 放線菌

連絡先〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院 TEL048-858-3561 E-mail: s14tc031@mail.saitama-u.ac.jp

おいては、
 全層循環による嫌気化抑制を施設導入の目的として、施設規模のk値（後藤ら2008）は、約3日で全貯水容量を1回循環させる条件に相当する規模である過年度の旧儀間池における現地実験結果（宮良ら2007、山田ら2007）に基づいて約340に設定された。なお、気泡吐出装置の設置位置は、可能な限り底部の嫌気層を減少させることを考慮して、貯水池形状データから最深部の位置に決定された。なお、特にコンプレッサーとしては通常は15kw以上の規模の施設が用いられるのに対して、本ダムでは維持管理費の縮減を考慮して、2.2kwコンプレッサー1基が使用されているのが特徴である（実際には、2基が機械小屋に設置されており、交互運転されている）。

2.3. 調査内容

現地調査は以下の2区分よりなる。一つは毎月1回の定期的な水質調査が貯水池の代表地点および実施され、一般的なダム貯水池の水質管理のための有機物や栄養塩等の水質項目が分析されている。採水層は表層中層および底層の3層である。以降ではこれを「定期調査」と記す。もう一つは、気泡循環対策の効果評価を目的とした夏季調査である（以降では「詳細空間分布調査」と記載する）。現地での投げ込み式水温水質多項目測定装置（DS-5, HaidoroLab社製）を用いて、平成28年の8/4および9/13に10数地点における鉛直分布を測定し、気泡循環施設による水理および水質への影響を評価した。最後に、本対策施設の設置目的であるカビ臭現象の抑制効果を評価するための、9/30日に定期水質調査と同一地点でカビ臭物質(2MIB およびジオスミン)の分析も実施された。

なお、解析にあたっては、水理水質に影響を与える気象および運用状況について、アメダス久米島観測所のデータを用いたデータおよび儀間ダム管理所で計測しているダム管理月報データを用いた。

3. 結果と考察

3.1. 平成28年の気象・水理概況

図-2に、平成28年度における儀間ダムの水理および久米島の気象状況を示す。平成28年の1月下旬から2月上旬にかけてサーチャージ水位に達した後、最低水位に一度低下させた後、4月上旬に再度常時満

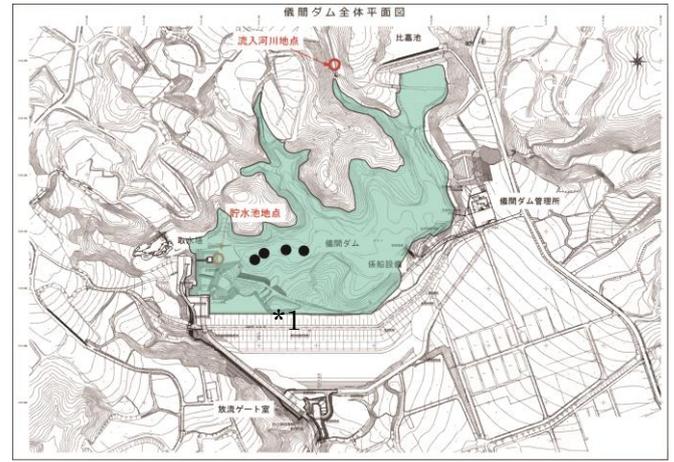


図-1 儀間ダムおよび貯水池

*1, 4つの黒点は気泡吐出装置の位置を示す。

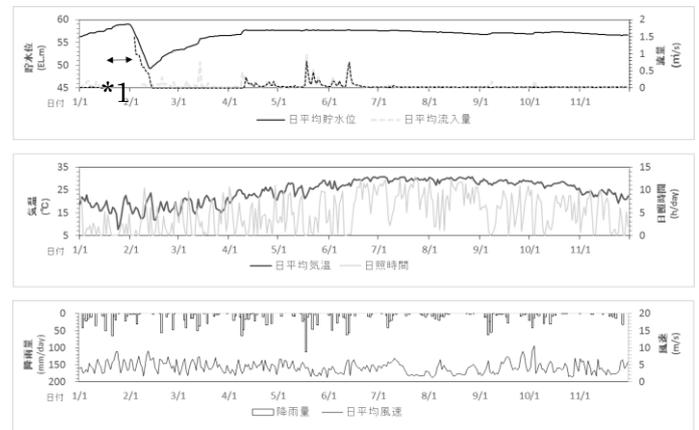


図-2 儀間ダム気象および運用状況(平成28年)

*1, 矢印の区間は測定器の故障によりデータ無し

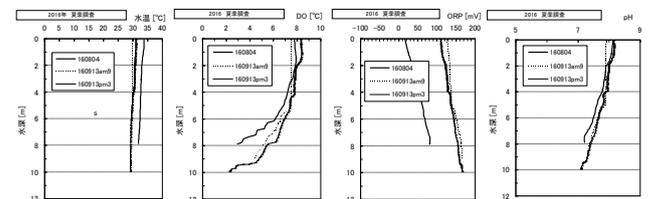


図-3 儀間ダム貯水池水温 DO 等の鉛直分布(H28)

水位まで水位を上昇させた後に運用に以降している。4月以降は、常時満水位付近で水位はほぼ一定の運用が実施された。気象条件としては、念頭から梅雨期の6月中旬までは降雨が多く日照時間も数時間程度の日が多い。その後、8月下旬までは日照時間が長く、降雨の少ない傾向があり、特に7月中旬から8月上旬にかけて風速がそれ以前より遅い状況が継続している。この時期は気温も年間で最も高い時期であることから、水温成層の形成とそれにとまなう下層での嫌気化等が極めて発生しやすい環境が形成されていたと考えられる。詳細空間分布調査の第1回調査は、こうした時期に実施されている。また本調査の第2回調査日である9/14は、図-2よりわかるとおり

9月上旬の降雨および少ない日照時間が数時間経過した後であるために、水温成層が弱化する傾向がある。以上より、詳細空間分布調査は、極めて水温成層の形成されやすかった8月上旬と、鉛直混合を生じる気象状況の後の双方で実施されたことになる。

3.2. 成層期の水温成層構造とD0

図-3に、8/4に実施された詳細空間分布調査より、最深部のデータを用いた作成した水温とD0の鉛直分布図を示す。これよりわかるとおり、気泡循環の影響により、表層から底層まで水温鉛直分布は殆ど一様化していることがわかる。上述したように、8/4は水温成層が極めて形成されやすい時期であったにも関わらずこうした水温成層形態が確認できたことは、たとえ小規模コンプレッサー(2.2kw)を用いたとしても、適切なk値を用いれば、十分な循環効果が得られることがわかった。ただし、D0の鉛直分布を見ると、水温に比べると、表層と底層とで値は異なる。これは、たとえ水温鉛直分布が一様であったとしても、実際の鉛直混合現象は混合を生じる外力が十分に水塊の外部から供給される必要があるのに対して、本調査の実施前においては安定した気象条件のために、底層の水塊がD0濃度が低下するだけの一定期間、鉛直混合が生じなかったと考えられる。この点については、混合外力と成層強度との関係について力学的に解析する必要がある。

3.3. 気泡循環の広域的な影響

図-4に、詳細空間分布調査結果より、8/4の水温とD0の縦断分布図を示す。これよりわかるとおり図-3で示した水温とD0の鉛直分布は、平面的に貯水池全域で一様であったと判断される。したがって、最深部に設置された気泡循環装置の影響は、貯水池全域に到達していたと考えられる。

3.4. 諸水質項目の時間変化

図-5に、定期調査結果より、D0や有機物、栄養塩等の諸水質項目の時系列変化を示す。これよりわかるとおり、7月以降は表層から下層までD0をはじめ各水質項目の濃度はほぼ同レベルであった。図-4に示した時期は最も成層が顕著な時期であったが、年間を通じてみれば、気泡循環対策により長期的に混合状態に相当する水質諸項目の鉛直分布の状況が存在していたと考えられる。

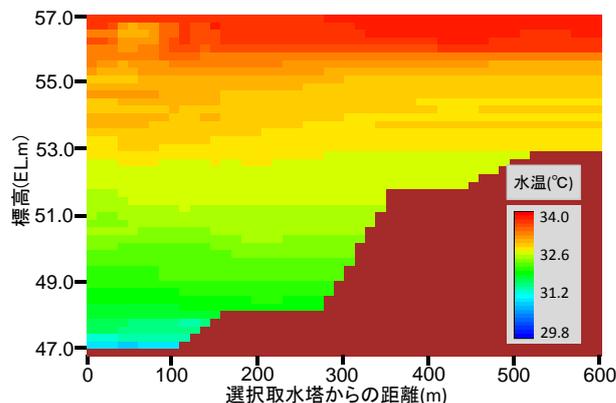


図-4 詳細空間分布調査結果(8/4実施)

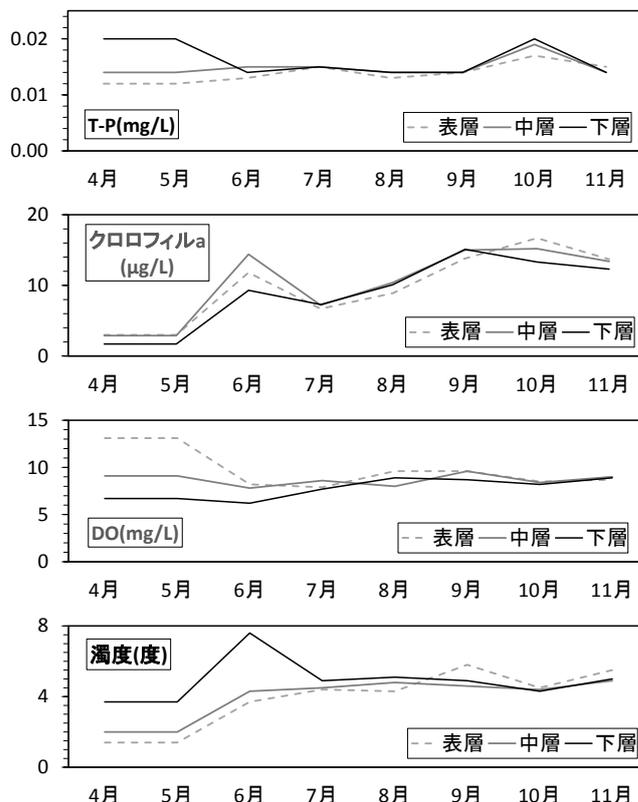


図-5 カビ臭現象関連水質項目の時系列変化

表-3 カビ臭物質調査結果(9/30実施)*1

地点	2MIB	ジオスミン
貯水池		
表層	ND	ND
中層	ND	ND
下層	ND	ND
流入河川	ND	4

*1,単位は ng/L, NDは定量下限値(1ng/L)以下

3.5. カビ臭現象に対する気泡循環対策の効果

貯水池および流入河川地点におけるカビ臭物質の分析結果を表-3に示す。2MIBは全調査地点で検出されなかった。これは、既設の旧儀間池における現

地調査時(宮良ら 2006, 山田ら 2006)と同様に, 儀間池におけるカビ臭現象は 2MIB ではなく, ジオスミンであったことと一致する。ジオスミンは貯水池内では計測されなかったが, 流入河川では 4ng/L であったが, 儀間ダム貯水池内では全 3 層で検出限界値以下であった。既設儀間池に関する研究では, 儀間川水系では, 儀間池直上流に位置する比嘉池においても, 水温成層の形成と下層の嫌気化により湖内でジオスミン濃度が上昇することが観測されている(山田ら 2006, 宮良ら 2006)。現時点においてもこうした現象は生じていることから, 儀間ダム流入河川水でジオスミンが検出されたことが考えられる。これに対して, 流入水にジオスミンが含まれているにも関わらず儀間ダム貯水池においてジオスミンが検出されていないことは, 水温および DO の鉛直分布等と合わせて考えれば, 気泡循環対策によりジオスミン発生機構である下層の嫌気化が抑制されたためであると考えられる。

4. まとめ

儀間ダムにおいて現地調査を行い, 気泡循環対策の効果を評価した

- ・気泡循環装置は, k 値 340 に相当する規模であり, 60NL/min. ×4 基(2.2kW コンプレッサー1 基)が導入されている。
- ・本施設により, 貯水池全域において全層循環および底層嫌気化抑制が確認された。
- ・この状態は年間を通じて盛夏でも維持されていた。
- ・設計時に期待された以上の効果が達成されたことにより, その結果として底泥中に存在する放線菌に由来するカビ臭現象(ジオスミン)も抑制されていた。
- ・以上より, 小規模ダム貯水池においては k 値理論に基づけば極めて小規模なコンプレッサーによって水温成層構造や水質現象が制御可能なこと, これに加え放線菌によるカビ臭現象も気泡循環対策によって抑制可能であることが明らかとなった。

謝辞

本研究の一部は, 公益財団法人 河川財団, 河川基金

助成事業, 公益財団法人 高橋産業経済研究財団, 琉球大学国際沖縄研究所 共同利用・共同研究, 水資源機構委託研究により行われた。本研究は, 久米島町水道課 前原盛也氏(故人)による旧儀間池でのカビ臭現象の発見と現地プロトタイプ実験への御尽力により開始されたものである。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 後藤浩一・古里栄一・浅枝隆, 藍藻類の増殖抑制効果に対する曝気循環対策の施設規模の影響, 水工学論文集, Vol. 52, pp. 1297-1302, 2008
- 2) 宮良工・山田義秀・伊波秀敏・砂川恵秀・又吉敏雄・津波 実・古里 栄一, 沖縄地方の上水専用貯水池における異臭味現象に関する研究—II 放線菌による異臭味物質生産特性—, 2006 年度第 40 回日本水環境学会年会講演集, 130p, 2006.
- 3) 山田義秀・宮良工・砂川恵秀・伊波秀敏・又吉敏雄・津波 実・古里 栄一, 沖縄地方の上水専用貯水池における異臭味現象に関する研究—I 異臭味現象の発生実態—, 2006 年度 第 40 回日本水環境学会年会講演集, 129p, 2006.
- 4) 宮良工・山田義秀・砂川恵秀・伊波秀敏・又吉敏雄・津波 実・古里 栄一, 沖縄地方の上水専用貯水池における異臭味現象抑制対策に関する研究—I 気泡循環による物理化学環境の変化—, 2007 年度 第 41 回日本水環境学会年会講演集, 1-B-15-2, 123p, 2007.
- 5) 山田義秀・宮良工・伊波秀敏・砂川恵秀・又吉敏雄・津波 実・古里 栄一, 沖縄地方の上水専用貯水池における異臭味現象抑制対策に関する研究—II 異臭味現象の抑制—, 2007 年度 第 41 回日本水環境学会年会講演集, 1-B-15-3, 124p, 2007.
- 6) 小島睦子, 鹿野愛, 橘治国, 益塚芳雄, 稲澤豊, 漁川ダム湖における臭気物質の発生機構, 土木学会第 57 回年次学術講演会論文集, 127-128, 2002.