

布目ダムにおける複合型曝気循環装置の嫌気化抑制 (夏成層形成期の装置運用効果とその予測手法の検討)

Inhibition of anaerobic layer by multifunctional aerator installed in Nunome Dam

(Improvement effect of DO concentration under strong thermocline condition and examination for its prediction method)

大阪電気通信大学	正会員	○中田 亮生
水資源機構	正会員	山口 昌広
西安建築科技大学		盧 金鎖
水資源機構		太田 敦司
水資源機構		染谷 健司
水資源機構	正会員	岩松 裕二

1. はじめに

淀川水系他、国内外の複数のダムで運用されている複合型曝気循環装置は、深層の嫌気化と浅層の藻類増殖を抑制する多目的な水質保全装置である。本研究では、当該装置を運用した場合の深層の嫌気化抑制効果について、布目ダム（奈良県）を対象とした調査実験を2015と2016年の夏に行い、溶存酸素(DO)濃度の分布を計測した。これによって第1に、強固な水温躍層が形成された場合の運用効果を明らかにし、第2に、日吉ダムで得られた同型装置の曝気能力の評価結果を活用して、深層水塊のDO濃度に関する簡易的な予測手法を検討したので報告する。

2. 複合型曝気循環装置と布目ダムの概要

複合型曝気循環装置の概要を図1に示す。本装置は、直径が2mと1mの二重管構造で全長16mである。地上より送気管を介して装置下端の散気部に送り込まれた圧縮空気は、小気泡となって内管を上昇する際に深層水を連行する。気泡中の酸素は深層水に溶け込み、酸素を含んだ循環水は外管と内管の隙間を下降して再び深層に戻される(深層曝気)。供給空気の未溶解分は管内上部に一時的に蓄積され、それが一定量になると水中に排出され、気塊せん断部で小気泡となって上昇し、浅層の水循環を作り出す(浅層循環)。未溶解空気はまた、排気管を介して水面上に直接開放し、状況に応じて浅層循環を停止できる。

当該装置が設置されている布目ダム(布目湖、所在地: 奈良県奈良市北野山町、竣工年: 1991年)の平面図(堤体付近)を図2に示す。湖の北側(図の

左側)に堤体があり、その近傍に(丸印で示す)2台の複合型曝気循環装置が、概ね流心に沿って約100m離れて設置されている。湖の湛水面積は274ha(2.74km²)、総貯水量は1,730万m³(有効貯水量: 1,540万m³)、近年の回転率は3.9回/年である。

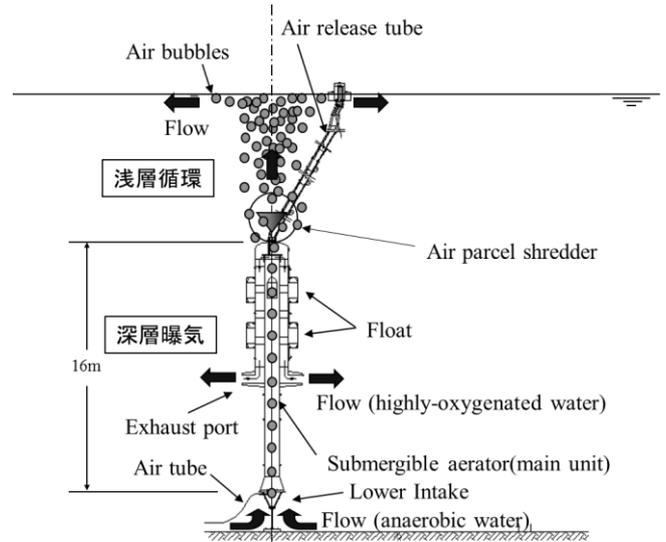


図1. 複合型曝気循環装置の概略図

3. 夏成層形成期の装置運用効果に関する調査実験

夏成層形成期でも特に強固な水温躍層が形成され、一般に嫌気化が顕著な時期に着目し、主に水中のDO濃度を計測する水質調査実験を、2015と2016年のいずれも8月末~9月初めに実施した。応答速度が速い光学式のDO計を水平・上下に移動させて、図2に示す2台の装置周辺の鉛直断面分布を計測した。なお、これらの装置は2015年度には3月、2016年度には4月から運用され、曝気流量を段階的に増加させて8月には1台あたり1.0N(ノルム)m³/minとなっている。

キーワード ダム, 水質保全, 深層, 嫌気化, 曝気, フィールド実験

連絡先 〒572-8530 大阪府寝屋川市初町18-8 大阪電気通信大学工学部 TEL 072-824-1131

結果の一例として、2号機を中心とする左岸から右岸まで(図2の点線)の鉛直断面を計測した2015年の例を図3に示す。このときは水深30~35mに強固な水温躍層があり、全体的に中・深層でDO濃度が低い。ただし、水温躍層より深層では、装置による相対的なDO濃度の上昇が見られることがわかる。

4. DO濃度の簡易予測手法の検討

当該の曝気循環装置が、曝気時間 t に湖水内の対象水塊(体積 V) に供給する酸素の溶解質量 m_{ox} を、

$$m_{ox} = \eta_r \eta_{ox}(C) \rho_{ox} R_{ox} Q_a t \quad (1)$$

で与える。ただし、

- $\eta_{ox}(C)$: 酸素移動(溶解)効率
- η_r : 循環水の残存率(歩留り)
- ρ_{ox} : 酸素密度
- R_{ox} : 空気中の酸素比率(容積比)
- Q_a : 曝気(空気)流量

である。ここで酸素移動(溶解)効率 $\eta_{ox}(C)$ は、装置固有の値で、取り込まれる深層水のDO濃度 C 、曝気流量 Q_a 、水温等に依存する。日吉ダムの同型装置に関する実測値(曝気流量などを実用範囲に限定)から、DO濃度 C の単位を $[mg/l]$ として効率 $\eta_{ox}(C)$ は、

$$\eta_{ox}(C) = 51.1 - 3.95C [\%] \quad (2)$$

で求められている¹⁾。また η_r は、対象水塊における循環水の残存率(歩留り)を表し、循環水の対象水塊外への拡散や湖水の回転率などから決定される。

DO濃度 C の変化は、放出された循環水が対象水塊内で速やかに拡散して一様になると仮定すると、

$$\begin{aligned} dC/dt &= (dm_{ox}/dt)/V - v_c \\ &= \eta_r \eta_{ox}(C) \rho_{ox} R_{ox} Q_a / V - v_c \end{aligned} \quad (3)$$

で表される。ただし、 v_c は湖水内の有機物分解に伴う酸素消費速度を表す。上記の解 C は、湖水の初期、飽和濃度をそれぞれ C_0 、 C_s として、次の通り導ける。

$$C = C_s - (C_s - C_0)e^{-t/\tau} \quad (4)$$

ただし、 $\tau = (C_s - C_0) / \{ \eta_r \eta_{ox}(C_0) \rho_{ox} R_{ox} Q_a / V - v_c \}$

今後、水温躍層による深層水塊の閉じ込め効果と循環水の拡散および湖水の回転率を考慮して、水塊体積 V と循環水の残存率 η_r を適切に決定し、さらに、酸素消費の速度 v_c の正確な値を得れば、簡易的な予測式でも深層に限定して十分に実用可能と考える。

5. まとめ

複合型曝気循環装置を運用した場合の深層の嫌気化抑制効果について、夏季の布目ダムを対象として

調査実験を行い、中・深層は嫌気化が進行しているが、水温躍層より深くかつ装置の吹き出し口より深層で、DOの上昇が見られることを示した。さらに、装置運用時のDO濃度の簡易的な予測式を提案し、対象水塊体積と循環水の残存率および有機物分解による酸素消費を適切に決定すれば、深層に関して実用的な予測ができる見込みを示した。

参考文献

1) Y. Iwamatsu, A. Nakata, et al., Experimental Performance Evaluation of Multifunctional Aerator Installed in Hiyoshi Dam, Proc. of 6th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition(Beijing), 2015-9.



図2. 布目ダム(布目湖)の平面図(堤体付近)

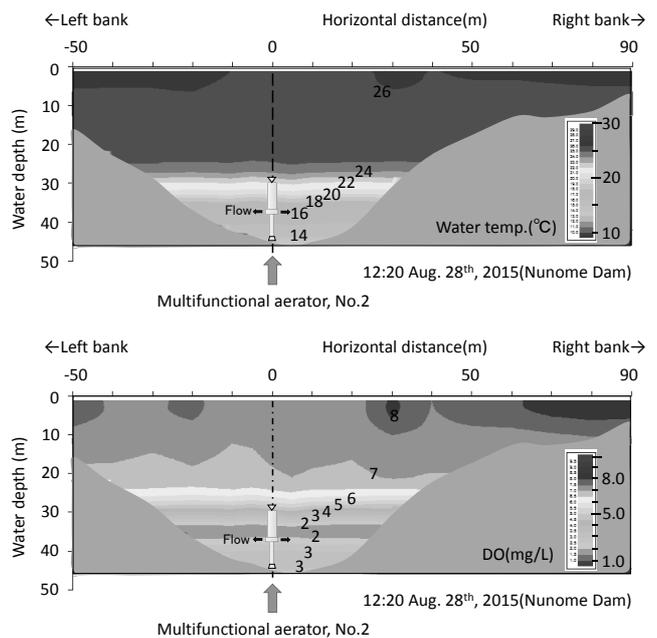


図3. 2015年夏(8/28/12:20)の水温とDO濃度の鉛直断面分布(2号機周辺)