

気泡循環対策の施設規模指標理論の八田原ダム水質保全対策への適用

鹿児島大学南九州・南西諸島域共創機構 特任准教授 正会員 ○古里 栄一
国土交通省 八田原ダム管理所 所長 後藤 誠志
島根大学エスチュアリー研究センター 客員研究員 鮎川和泰
島根大学エスチュアリー研究センター 特任教授 清家泰
水資源機構 総合技術センター シニアエンジニア 久納誠

1. はじめに

近年古里ら(2019)は、ダム貯水地における富栄養化現象に対する重要な対策である気泡循環について、施設規模指標として用いられている k 値(式 1)(丹羽ら 1995)に関して、藍藻類増殖抑制効果の得られる値である kc 値の理論解(式 2)を導いた。

$$k = \frac{\sum \sqrt{Q_0}}{A_s} \quad (1)$$

ここで、 Q_0 : 大気圧条件での吐出空気量 (NL/min.), A_s : 夏季の湛水面積 (km²)である。なお、分子の総和記号は複数の気泡吐出施設が導入されている場合に対応するものである。経験値として、一般的に 300 程度が望ましいとされている。(今本ら 2013)。

$$k_c = \frac{\mu H_s f_s - Q_s / A_s}{C_u H \Delta \rho^{0.5}} \quad (2)$$

表-1 八田原ダム貯水池の概要*1

項目	数値	単位
湛水面積	2.61	km ²
流域面積	241.6	km ²
洪水時最高水位	252.90	EL. m
通常時最高貯水位	235.00	EL. m
有効貯水容量	5,700	万m ³

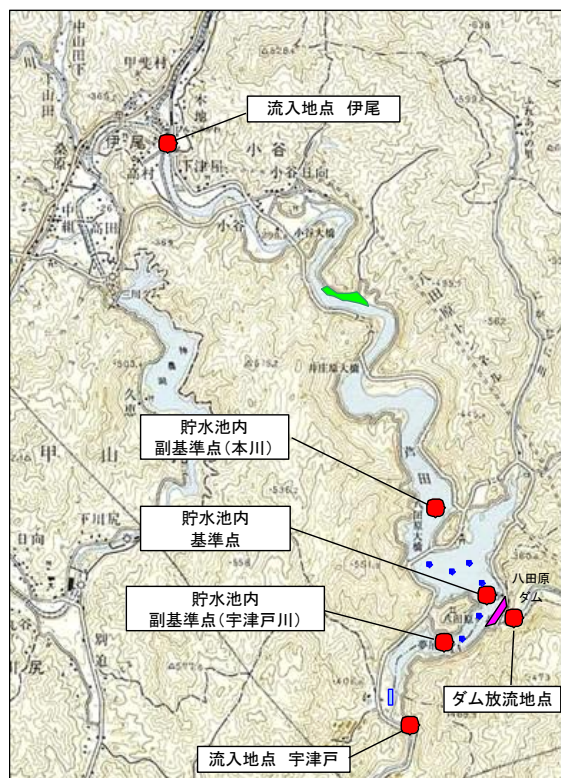


図-1 八田原ダム貯水池と循環施設の位置(上流は三川ダム)

ここで、 μ : 藍藻類の比増殖率(s⁻¹), H_s : 表層水深 (m), f_s : 湛水面積の形状補正係数, Q_s : 表層の流入量 (m³/s), C_u : 気泡循環による広域水平表層流係数 (=0.28) (m² s^{-0.5} kg^{-0.5}), H : 気泡吐出水深 (m), $\Delta \rho$: 表層と気泡吐出口水深の密度差 (kg/m³)である。

k 値は約 25 年前に旧建設省土木研究所において提案された施設規模指標であり(丹羽ら 1995)、水資源機構や国土交通省ダムの一部ではこれを活用した施設規模の設計が行なわれることがある。特に水機構ダムでは k 値として 300 以上としたことにより、殆どの水域で有害藍藻類の抑制に成功している(今本ら 2013)。一方でこれは経験値であることから過剰能力設計の可能性があり、理論解が必要であった。古里ら(2019)は、藍藻類動態に関する微分方程式と実用条件における気泡循環で生じる広域水平密度流評価式から必要 k 値の理論解を得た。これにより経験的に用いられていた k 値 300 の妥当性を証明するとともに、 kc 値が様々な条件に応じて変動する可能性を指した。この解析においては、上流からの貯水池への藻類の流入を無視していたが、八田原ダムのように上流に存在する水域から藍藻類が供給されるダムも存在する。本発表では、八田原ダムの気泡循環対策の効果を k 値を用いて検討することにより、今後の k 値適用における学術基礎を得ることを目的とする。

2. 材料と方法：八田原ダムおよび気泡循環対策の概要

表 1 および図 1 に八田原ダムと気泡循環対策施設の概要を示す。八田原ダムの築造された芦田川の上流に存在する三川ダムでも例年アオコが発生している。八田原ダムにおいては平成 10 年 4 月のダム竣工時から気泡循環対策(計 4 基、1 基あたり空気量 3.15m³/min.)を含む複数の水質保全対策が導入されたが、例年アオコ発生が継続していた。このために平成 22 年度から吐出装置を 2 基増加して計 6 基に施設規模が大型化された(k 値としては増設前の 115 から 375 に増加に相当する)。

3. 結果と考察

3.1. 八田原ダム貯水池の水質・植物プランクトン経年変化と気泡循環対策の効果

図2に八田原ダム貯水池の気泡循環対策実施前後の植物プランクトン細胞数の変化を示す。平成22年度の施設規模の増大後は、それ以前に生じていた大規模なアオコ発生は確認されていない。図-3に増設前後の貯水池基準地点における透明度の比較を示す。増設後は透明度が増加したことが明らかである。気泡循環で混合水深増大し、光制限効果が強化された結

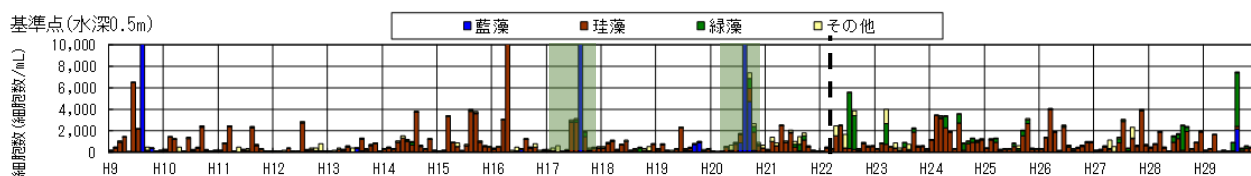


図-2 八田原ダム貯水池の水質およびプランクトン経年変化（網掛けの平成 17 年と 20 年はアオコの湖面全域での発生を、平成 22 年の太破線は 6 基に増設したことを示す。）

果、植物プランクトン総量の減少が生じた可能性がある。

3.2. k 値理論と八田原ダム気泡循環対策の効果

図4に他ダムの事例を含めて、気泡循環施設増設前後の八田原ダムのデータを示す。図よりわかるとおり、増設前後の八田原ダムの気泡循環施設の規模は、既存事例の水質保全効果の範囲と一致していた。ただし、八田原ダムの増設後のk値は375であり他事例と比較すると大きい傾向がある。本ダム固有の性質である直上流の三川ダムからアオコ形成藍藻類が大量に供給されていることを考慮すべきである。しかしながら、古里ら(2019)で得られた要求施設規模であるkc値は流入河川からの藍藻類を考慮していないことから、現時点では定量的な議論は困難である。

4. 課題

式2は、流入河川から供給される藍藻類負荷量を考慮していないために、必要k値(kc)の過少評価の可能性がある。今後は、kc値に上流からの藍藻類供給を考慮したモデルを構築する必要がある。

謝辞

本研究の一部は、公益財団法人 河川財団の河川基金助成事業、公益財団法人 高橋産業経済研究財団研究助成、独立行政法人水資源機構総合技術センターの受託研究、ダム技術センターの共同研究、琉球大学国際沖縄研究所 共同利用・共同研究事業により行われた。ここに記して謝意を示す。

【参考文献】

- Asaeda T. and Imberger J.: Structure of bubble plumes in linearly stratified environments, J. Fluid Mech., 249, pp. 35-57, 1993.
- 丹羽薫, 久納誠, 久保徳彦, 真田誠至: 流動制御システムに関する実験, 土木研究所資料, 第3375号, 101-102, 1995.
- 今本博臣, 田作光良, 古里栄一: 曝気循環によるアオコ, カビ臭抑制の効果検証—9ダム貯水池の実証実験結果から—, ダム工学, Vol.23, No. 4, pp.278-289, 2013.
- 古里栄一, 久納誠, 丹羽薫, 梅田信: 貯水池気泡循環対策による広域水平密度流 ～低ブルーム数における実用式～, 土木学会論文集G(環境), Vol. 71, No.7, III_455-III_466, 2015
- 古里 栄一, 今本 博臣, 村井 大介, 久納 誠, 村田 裕, 羽田 紀行, 岡田 祐也, 現地実用条件における気泡循環対策のシミュレーションによる効果評価手法の開発: 修正二重ブルームモデルのJWAモデルへの導入, 令和元年度土木学会全国大会 第74年次学術講演会, pp. II-25
- Eiichi FURUSATO, Jayatu Kanta BHUYAN, Marion MARTEINSEN, Brigitte NIXDORF and Hiroomi IMAMOTO, Critical depth model (Modified Sverdrup equation) - Design method for bubble circulation-, Journal of JSCE, Vol. 7, 85-192, 2, 2019

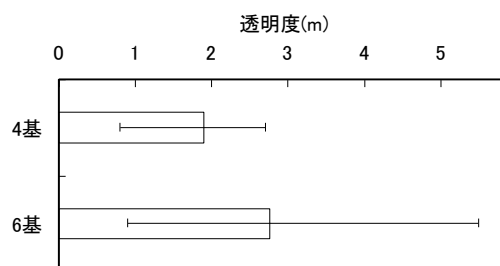


図-3 増設前後の基準地点における透明度の比較（バーは最大最小幅）

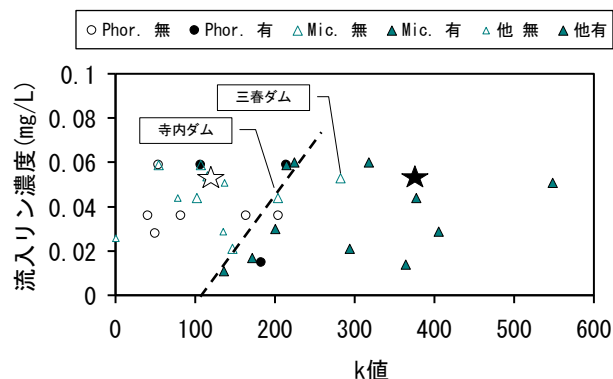


図-4 現地における施設規模(k 値)と流入河川水リン濃度の関係（塗潰しは効果有り、白抜きは効果が認められなかった事例を、○は障害種がユレモ目、△は *Microcystis* 属を示す。）（データは今本ら¹²⁾より）図中破線は *Microcystis* 属に対して効果が認められることの多い条件を示す。☆は八田原ダムであり、黒塗りは増設後のアオコ抑制データである。