

曝気循環装置による藍藻類増殖抑制対策に関する研究(Ⅱ)

一 藍藻類の増殖抑制可能な施設規模の検討一

独立行政法人 水資源機構 総合技術推進室 正会員 後藤 浩一

独立行政法人 水資源機構 総合技術推進室 酒井 健寿

独立行政法人 水資源機構 総合技術推進室 岩崎 健次

埼玉大学 理工学研究科 正会員 ○古里 栄一

1. はじめに

曝気循環対策によって藍藻類増殖を抑制するためには、施設の設計および管理において藍藻類の増殖抑制機構と対応した合理的な指針が必要である。水質障害を引き起こす *Microcystis* 属や *Phormidium* 属が競合戦略において安定した成層を要求するという性質を考慮すれば、これら藍藻類の増殖抑制に必要な成層強度レベルと、これを達成・維持するための曝気循環施設の規模とを明らかにする必要がある。前者については、別報に

て成層強度の指標である浮力周波数が $10^{-4}[\text{s}^{-2}]$ を超過しなければ藍藻類の細胞数が 10^3cells/mL を上回らないことが、複数の水資源機構所管ダムでの現地データより明らかとなった。ただし、これらの対象ダムの中には曝気循環装置導入後も藍藻類が出現しているケースもある。この要因としては、曝気循環装置設置後の成層強度が藍藻類の増殖を抑制可能なレベルにまで制御できていないことが推定された。したがって藍藻類増殖抑制を図る上では、必要な成層強度に制御するための施設規模を明らかにすることが必要となる。本報では現地データに基づいて曝気循環装置による成層強度への影響を検討するとともに、藍藻類増殖抑制を達成することのできる曝気循環装置の施設規模に関する考察について報告するものである。

2. 曝気循環装置の施設規模と成層との関係

表1に検討対象ダムの曝気循環施設の施設規模を比較して示す。施設規模としては貯水池規模と循環流量の規模との比率を考慮した k 値(丹羽ら 1995)を用いた。 k 値が大きいほど、貯水池規模に対して曝気循環装置による循環混合の影響が大きいことを示している。いずれのダムにおいても全基導入後の k 値は約 200 であり、顕著な違いは無い。

図1に、各ダム貯水池における k 値と成層期平均浮力周波数 (N_{st}^2) との関係を示す。なお、各ダムにおいて曝気循環装置は段階的に導入されたため、それぞれ複数の k 値の状況におけるデータが存在する。また、 k 値が 0 である場合は曝気循環施設が存在しないことを意味する。

k 値が 100 未満の条件では、いずれの貯水池においても k 値の増加に応じた N_{st}^2 の大きな変化は見られない。これは、曝気循環施設の規模が十分で無い場合には、混合作用が生じたとしても成層強度の低下には至らないためであると考えられる。一方 k 値が 200 程度であれば各ダムにおける N_{st}^2 は低下している。したがって、成層強度の低下のためにはある一定の規模の曝気循環施設が必要であると考えられる。ただし、このような貯水池水理環境制御は、本来の目的ではなく藍藻類増殖抑制のための一過程に過ぎない。水質保全においては障害を引き起こす藍藻類が生態学的に要求する安定した成層環境の形成を抑制することが必要である。

図1よりわかる様に、KS ダムおよび TR ダムにおいては、TK ダムの様に $10^{-4}[\text{s}^{-2}]$ 程度にまで成層強度を低下できていない。したがって、定性的な評価としては KS ダムおよび TR ダムにおいては曝気循環装置による混合効果は発揮されているが、藍藻類増殖抑制のためには混合効果が不十分であると考えられる。

表1 検討対象ダムにおける曝気循環装置の施設規模

ダム名称	曝気循環施設	湛水面積 (km^2) ^{※1}	施設規模 (k 値) ^{※2}
KSダム	2400NL/min.×5基	1.26	195
TKダム	5600NL/min.×4基	1.4	214
TRダム	3700NL/min.×2基	0.59	203

※1: 夏季の湛水面積として、KSおよびTKダムは夏季制限水位を、TRダムは常時満水位時の湛水面積を用いた。

※2: 各ダムにおいて曝気循環装置は段階的に導入されたが、ここでは全基導入後の施設規模を示した。

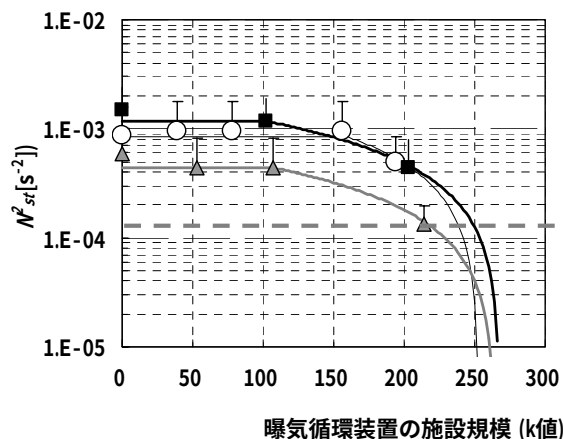


図1 各ダムにおける曝気循環装置設置の施設規模と浮力周波数との関係(○,KS ダム; ▲,TK ダム; ■,TR ダム; N_{st}^2 は表層と水深 10m の水温から算出した。成層期間は4月から10月の6ヶ月間とし、施設規模となっている期間の各年平均の平均値を示した。縦棒は標準偏差である。)

3. 藍藻類増殖抑制の施設規模の検討

KS ダムおよび TR ダムにおいて藍藻類の増殖抑制を達成するための施設規模について検討を行った。検討にあたっては、これら両ダムの成層強度を、TK ダムにおける k 値 200 強でのレベルにまで低下させるための k 値を試算した。なお、本来であれば水温成層の曝気循環に対する応答性については数値解析モデルによる詳細な検討が必要であろうが、ここでは図1に示した k 値と N_{st}^2 との関係から近似的に検討することとした(式1)。

$$N_{st}^2 = \begin{cases} N_{st-0}^2 & \text{if: } k < k_{th} \\ f(k) + N_{st-k0}^2 & \text{if: } k \geq k_{th} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 N_{st}^2 、成層期平均浮力周波数 [s^{-2}]; N_{st-0}^2 、曝気循環を実施しない場合の成層期平均浮力周波数 [s^{-2}]; $f(k)$ 、 k 値の増大に応じた N_{st}^2 の低下幅 [s^{-2}]; N_{st-k0}^2 、 k 値 0 における N_{st}^2 の値(切片に相当する); k_{th} 、曝気循環によって成層強度が低下する境界となる k 値である。これらの近似式を、KS ダムおよび TR ダムのデータより作成した。 $f(k)$ については様々な関数形の近似を行った結果、線形($f(k)=a \cdot k$)および対数形($f(k)=a \cdot \ln(k)$)が相関が高かったためにこれら両近似関数を用いた。表2に両ダムの各種数値と、これらより得られた望ましい k 値(k_{req})を示した。なお、 k_{req} は KS ダムと TR ダムにおいて TK ダムと同様の N_{st}^2 に相当する k 値である。また、図1には表2に基づく近似線のうち、線形式による近似線を示した。現状施設よりも更に k 値として KS ダムでは約 45、TR ダムでは約 60 弱に相当する循環能力の強化を実施することにより、TK ダムと同様なレベルにまで成層強度を低下させることができると考えられる。

4. 無対策時の浮力周波数(N_{st-0}^2)に関する考察

上記検討によって、必要な施設規模のダムによる違いに対して無対策時の浮力周波数(N_{st-0}^2)が影響している可能性があると考えられた。対象ダム間において、成層に影響を与える因子として日射量や気温、流入量や風速データの統計値を整理した結果、流入量が少ないダムほど N_{st-0}^2 が大きい傾向があった。流入量による成層への影響は貯水地形状を加味した流速スケールとして生じると考え、流入に関する混合の指標として流速スケールを考慮した内部フルード数を算定した。

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{g' \cdot H}} \quad (2)$$

ここで、 U 、流速スケール、 g' 、成層の密度差で補正した重力加速度、 H 、水深である。 U は成層期平均流入量を貯水池平均横断面積で除した値を、 g' は N_{st-0}^2 を用いた値を、 H は浮力周波数の算定水深である 10m を用いた。図2に、対象3ダムにおける N_{st-0}^2 と、内部フルード数との関係を示す。フルード数が大きいほど、成層時の浮力に対する慣性力の影響が大きくなり、1 を超過すると成層破壊による混合が生じるとされている。図2の様に内部フルード数で対象ダムにおける N_{st-0}^2 との関係を整理すると、内部フルード数が大きいほど N_{st-0}^2 が小さくなる傾向が見られた。したがって、必要施設規模はダムによる水理学的特性の違いが影響している可能性があると考えられる。

5. まとめ

藍藻類増殖抑制に必要な曝気循環対策の施設規模がダムによって異なっていた要因の一つとしては、設備設置前の浮力周波数がダムによって異なることが考えられた。水温成層は様々な複合要素によって形成されるものであり、それぞれのダム固有の水理学的特性に基づいて定まるものである。本研究により、こうした特性が曝気循環対策適用時の施設規模にも影響を与えることが推測された。したがって曝気循環対策の施設規模の検討においては、無対策時の成層強度を考慮する必要があると考えられる。図2に示したフルード数との関係は3ダムのみの実測値しかないので一般化することはできないが、こういった指標を用いた施設規模の検討も今後必要であると考えられる。

【参考文献】

丹羽薫・久納誠・久保徳彦・真田誠至(1995)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.

表2 KSダムとTRダムにおける適性施設規模の検討数値

記号	KSダム	TRダム
N_{st-0}^2	8.5×10^{-4}	1.2×10^{-3}
$f(k)$	$-9.1 \times 10^{-6} \times k$ $-1.6 \times 10^{-3} \times \ln(k)$	$-7.1 \times 10^{-6} \times k$ $-1.05 \times 10^{-3} \times \ln(k)$
N_{st-k0}^2 ※1	2.3×10^{-4} 8.9×10^{-3}	1.9×10^{-3} 6.0×10^{-3}
k_{th} ※1	156	102
K_{req}	240	260

※1; 欄内の上側は線形近似、下側は対数近似の式や値を示した。

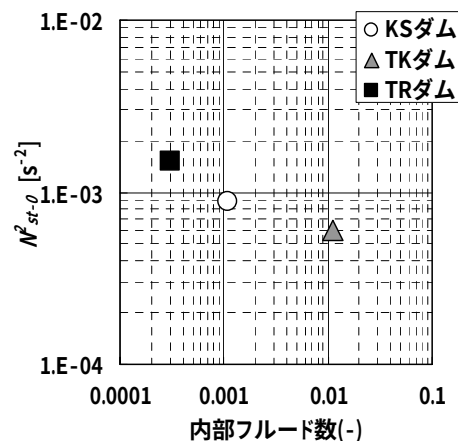


図2 各ダムにおける内部フルード数と N_{st-0}^2 との関係