

N-1 湖水の曝気循環による利水障害プランクトンの制御

(株) 日水コン 水環境事業部 加藤善盛
同上 嶋 国吉
同上 ○野正博之

1. はじめに

「安全」で「おいしい」水の確保は、人々の生命と健康の維持の基本的条件であるが、近年ダム貯水池をはじめとして、いわゆる「閉鎖性水域」の富栄養化現象によって「異臭味」等の利水障害が各地で発生しており、社会問題となっている。とりわけ「かび臭」による障害は従来の浄水場で行う対策に重大な経済的影響を与えるため、その発生源での制御が不可欠となっている。ダム貯水池の場合、曝気による湖水の鉛直循環によって「かび臭」を生成するホルミディウムやオシロトリア等の藍藻類対策が適用されつつある。曝気循環方式にも種々のものが提案されているが、装置のスペックとしての成層破壊効果や最終目的である藻類プランクトン制御効果の定量的評価手法はまだ確立されていない。またダム貯水池の湖盆形状は一つとして同じものではなく、この形状によって曝気循環効果がどの程度変化するものなのかは循環方式の選定および装置設計にとり重要な事項である。このような観点から本報では、曝気循環による藻類プランクトン制御の定量化の一環としてシミュレーションによる定量化検討を行った。

2. 検討方法とモデル貯水池の概要

2.1 モデル貯水池の概要

(1) 検討ケース

今回検討した曝気循環方式は実施例が多く、検証データが多い「間欠曝気方式」を対象とした。検討ケースとしては貯水池形状は現況を基準として、大きくは湖面積(常時満水位)は同じで深さ方向の面積が相対的に大きくなるケースと湖容積が同じケースの2種類とした。前者は湖面積は同じであるが平均水深が深くなるケースで、後者は湖容積おなじで湖面積が相対的に小さくなるケースである。ケース別貯水池諸元は表2-1に示した。基本形状は既設ダムであるKダム貯水池をベースとしている。

表2-1 貯水池諸元

ケース名	総貯水量 (x1000m3)	湖面積 (x1000m2)	平均水深 (m)
A	58486	3752	15.6
B	73626	3715	19.8
C	115763	3715	31.2
D	59369	2996	19.8
E	60927	1975	30.8

(注) 最大水深44m

(2) 入力条件等

シミュレーションの入力条件は、水温成層が強く形成された年の1988年とし 5月～10月の気象データおよび流入水量等の水文データを用いた。また流入水質は公共用水域水質測定結果から補完し日データとした。

2.2 シミュレーションモデル

曝気循環による湖水の密度流変化は水理学的には複雑な現象により構成されており、対象とする水の流動場によって時間スケールや空間スケールが大きく異なる。ここでは、曝気循環によるマクロな鉛直循環流形成と藻類プランクトンの生産という時間スケールを考慮して鉛直1次元モデルにより解析した。曝気循環の水理的な取扱は、気泡吐出部での吸い込み水量と曝気筒上部での気泡噴流領域における連行混合として設定している。また水質および藻類プランクトンは生態系モデルを用いた。

3. 現況検証結果

表層水温の変動および珪藻類および藍藻類の変動パターンを 図3-1に示した。また水温分布の再現性は図3-2に示したとおりである。両図から水温の再現性は極めて良いことがわかる。一方藻類プランクトンは現況値の測定頻度がすくないため、モデルの再現性の判断は難しいが、別途行われている詳細調査結果との比較で再現性が確認されている。

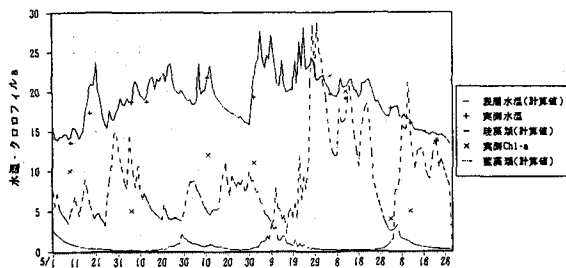


図3-1 検証計算結果:水温、クロロフィルaの変動状況(1988.5月~10月)

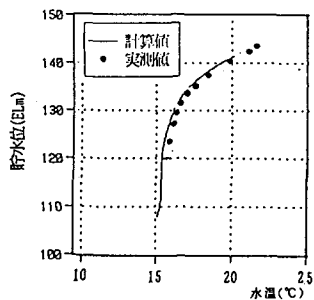


図3-2 水温鉛直分布の検証(1988.7.11)

4. 湖水循環規模と効果検討

4.1 曝気循環規模と成層破壊効果

図4-1に曝気循環規模による水温鉛直分布の変化の一例を、図4-2にその時の貯水池内の流動状況を示す。

- (1) 曝気循環がない場合は水深4m以浅の表層と水深25m以深に水温躍層が形成されている。これに対し曝気循環により水温躍層は弱められ曝気循環10筒でほぼ成層が解消されている。
- (2) 曝気循環により、下層水が表層に揚水(3.13 m^3/S)されることにより、①表層流出量の増加、②下層への上層からの鉛直流の増加、③表層に揚水された水が水深6m付近を中心とする密度流となって貯水池内に広がる、という3つの流れの変化が起こっている。

4.2 曝気循環規模と藍藻類の制御効果

図4-3に循環規模とクロロフィルa濃度の関係を、図4-4に夏期のクロロフィルa鉛直分布を示す。

- (1) ケースA、C、Eのいずれの場合についても、循環規模が大きくなるに従ってクロロフィルa濃度が低下している。
- (2) ケースAとケースCを比較した場合(表面積同じ、貯水量 $A < C$)大きな差は見られず、ケースCの方がややクロロフィルa濃度が高くなっている。これは、ケースCの方が生産層の容量が大きいため、ケースAよりも生産層内の滞留時間が長くなり、藻類が発生し易い状況であったとと考えられる。
- (3) ケースAとEを比較した場合(容積同じ、表面積 $A > E$)ケースEの方が大きな効果が現れている。ケースEはAよりも生産層の容量が小さいため滞留時間が短く、光制限効果が大きいことや、面積当たりの揚水量が大きく、沈降促進効果が大きいと、他ケースよりも制御効果がよく現れている。
- (4) 図4-4は循環なしと10筒稼働の場合を示しているが、各ケースとも循環により鉛直方向の濃度も低下しており、循環により藻類の総量も抑制されることを示している。

4.3 曝気循環効果と貯水池形状の関係

図4-5に、各ケースの8月(珪藻から藍藻への移行期)と9月(藍藻類最発生期)の循環による藍藻類の抑制効果を示す。

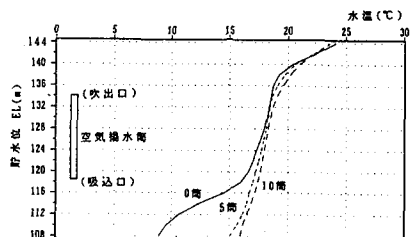


図4-1 曝気循環による水温成層の破壊効果

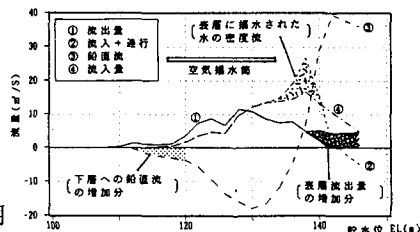


図4-2 曝気循環(10筒)時の貯水池内の流動状況

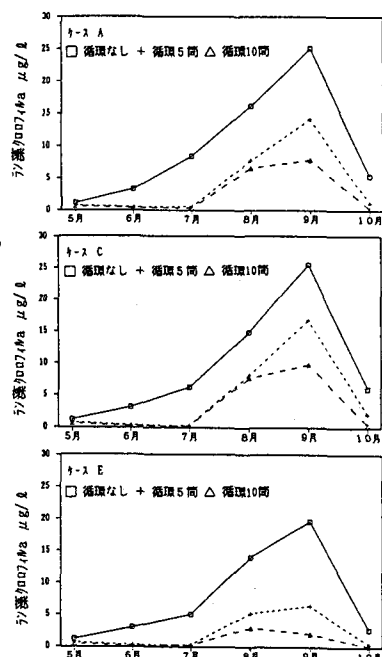


図4-3 循環規模とクロロフィルa(月平均値)

- (1) 8月と9月を比較すると、どちらも循環強度が大きい方が藍藻類の抑制効果は高くなっているが、8月では5筒と10筒の差が明確ではない。これは、8月が珪藻から藍藻への移行期であり、藍藻類の増殖速度が9月に比較して大きくなく、5筒でも抑制効果が現れるためと考えられる。
- (2) ケース別では湖面積が同一のA、B、Cについては大きな差はないが、容積を同一にしたA、D、Eについては、湖面積が最も小さいほど抑制効果が大きく現れており、容積が同程度であれば、平均水深(貯水量/湖面積)が深いほど、循環効果が現れやすいと言える。
- (3) ケースBとD、CとEは平均水深がほぼ同じであるが、抑制効果はD、Eの方が大きく現れている。湖盆形状の特性を示す指標である平均水深が同じであれば、投入エネルギーが同一の場合には、湖面積の小さい方がより大きな抑制効果が得られることを示している。
- (4) 以上より、曝気循環による藻類抑制効果の得られやすい貯水池形状は、湖面積が小さく深い貯水池であると言え、その理由は、前述したように光制限効果や沈降促進効果が現れ易いためと考えられる。

5. 考察と今後の課題

曝気循環による藻類プランクトンの制御効果をモデルダム貯水池のシミュレーションにより検討したその結果、(1)鉛直循環流は表層約13m間の循環流と曝気筒の下部吸い込みによる鉛直移流に伴う大循環流の2つが形成され、特に表層循環流が表層の水温二次躍層の破壊効果に寄与していること。(2)藻類プランクトンの制御は、表層の生産層の希釈効果、下層部における光制限効果、鉛直移流による沈降促進効果の3つの効果が大きいこと。(3)曝気循環効果に対する貯水池形状の影響は、湖面積が大きくかかわっており、面積当りの循環量、換言すれば生産層の滞留改善効果が大きな制御因子であり、貯水池形状により必要な循環エネルギーは異なることを明らかにすることができた。なお今後の課題として、今回検討した貯水池形状が容積、湖面積の違いについて検討したが、最大水深は同一であり、最大水深の影響についても検討が必要なこと、また単一年の条件であるため、気象条件や河川水の流入パターン、流入水深によって循環流の形成パターンが変わり、結果として、藻類プランクトンの制御効果が変ると考えられ、これらの検討を更に進める必要がある。

6. おわりに

ダム貯水池の曝気循環効果についてはこれまで光制限効果のみが強調されてきたが、表層10数m以内の循環流の形成も大きな制御因子となっており、また貯水池形状の影響も大きいことが推察された。今後、曝気循環の方式によって、こうした循環流の形成にどのような差があるかを究明することは、循環装置の合理的設計、省エネルギー設計に重要な事項と思われる。

(参考文献)

- 1)建設省東北地方建設局、1992：平成2年度管内技術研究発表会講演集
- 2)建設局河川局監修、1992：多目的ダム管理年報 第32回昭和63年(直轄管理・水資源開発公団管理)
- 3)仙台市水道局、1989：昭和63年度仙台市水道局水質年報
- 4)(社)日本水道協会、1989：湖沼・貯水池を対象とした水道水源保全マニュアル

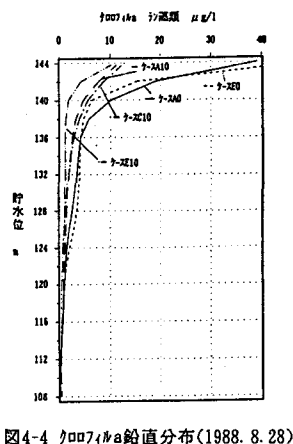


図4-4 70071ha鉛直分布(1988. 8. 28)

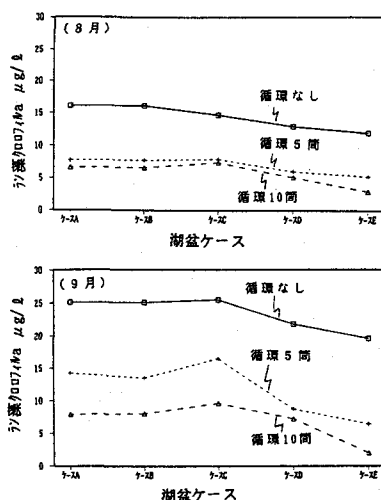


図4-5 湖盆形状別循環効果(月平均値)