

II-222 貯水池における曝気循環による流れと吹送流に関する数値解析的研究

建設省土木研究所 正員 廣瀬 昌由

建設省土木研究所 正員 丹羽 薫

建設省土木研究所 正員 天野 邦彦

1. はじめに

ダム貯水池内の水質保全対策の1つとして、曝気循環法がいくつかのダムで採用されており、空気を湖底に注入する事で、鉛直方向に循環流を生じさせ、植物プランクトンの増加を抑制している。また貯水池内にはこの他にも、風による吹送流や流入出に伴う流れなどが存在している。曝気に伴う鉛直方向の流れを取り扱った研究はすでに行われており、注入する空気量、揚水塔の水深、周囲水の密度等によって異なった流動をする事が知られている¹⁾。空気泡の作用によって発生した上昇流は、周囲の水を連行しながら、最終的にはその密度が周囲水の密度と同じ層への水平方向の流れとなる。本研究は、この転向した後の流れが、風の有無によってどの程度異なるかを数値解析的に検討したものである。

2. 計算手法

曝気による流動を差分法を用いて数値解析的に検討するには、曝気による流れが鉛直方向に卓越する運動であるので、岩佐ら²⁾のように水平方向とともに鉛直方向の運動方程式も解く必要がある。しかし、一般にこの計算は、繰り返しの収束計算を必要とし、また風による流れを考慮するには3次元的な取り扱いをする必要がある。貯水池全体にわたって計算を実行する場合、揚水塔近傍でのみ卓越する鉛直循環流のために小さなコントロール・ボリュームを用いて鉛直方向の運動方程式も解く事は、計算時間、計算容量を考慮すると実用的でない。そこで、本研究では従来、湖の解析³⁾で用いられているように、鉛直方向の運動方程式は静水圧分布式で近似できるものとし、水平2方向の運動方程式のみを解き、曝気による効果を単純にモデル化した。差分格子の大きさは、水平方向には50m、鉛直方向には2mとし、注入した空気泡は、水平的には揚水塔のある地点の1つのコントロール・ボリュームにのみ定常的に存在するとし、岩佐ら²⁾と同様に、空気の影響は空気泡密度として取り扱う事にする。つまり、空気泡を含む流体の密度を ρ 、その体積を V 、水および空気の密度、体積をそれぞれ ρ_w 、 V_w 、 ρ_a 、 V_a とし、 $\rho_w \gg \rho_a$ を考慮すると、

$$\rho \approx \rho_w (1 - S_a) \quad \text{ただし} \quad S_a = V_a / V \quad (\text{空気泡密度})$$

ここで、 V_a は水圧によって変化するとする。従って流体の密度 ρ は水温と空気泡の体積の関数とする。また、 $V_w \gg V_a$ なので水の連続条件は非圧縮流体のそれが適用できるものとする。また、本研究では揚水管式の曝気装置を念頭においているので、揚水管流入口からの流入を考慮するために、数値計算上、流入口に相当するコントロール・ボリュームに適当な横方向の運動量を与えた。また、空気泡は揚水管の放流口から水面まで存在するとした。

3. 計算条件および計算結果

現在曝気循環法を用いて水質保全を行っているダム貯水池を対象とし、計算を行った。初期条件および境界条件として、水温、風速および風向は観測値を与え、流入出および水面での熱交換は考慮しない。空気泡の量は、注入量と松梨らの式⁴⁾より求めた上昇速度を考慮して適当な値を与えた。図1に、風が吹いていない場合の揚水塔を含む鉛直断面の流速分布の計算値を示す。水深5m付近で、水が水平的に流れ出している様子がうかがえる。この位置は、現地の観測と比較するとやや低いようであるが、その大きさは概ね妥当な値であると思われる。表層では、揚水塔に向かう流れが生じており、連行に伴う流れと考えられるが実際にこのような流れが生じているのか、本計算のモデル化の問題点か現地での観測と照合する必要がある。図2

に、現地での観測で比較的強風時の風を境界条件として与えた時の、図1と同じ断面の流速分布の計算値を示す（風は時間単位で空間的には一様風速および風向を与えた）。図1と図2を比較すると曝気による流れに比べて吹送流は10倍以上の値を取っている事がわかる。この断面は、卓越する風向に沿って切った断面であるが、表層では風と同じ向きの、比較的水深の浅い所で逆向きの流れが現れている。この鉛直方向の流速の計算には鉛直方向の渦動粘性係数が大きく影響すると思われ、本計算では水深およびリチャードソン数の関数として与えたが、検討を要する。図3に揚水塔がある最上層のコントロール・ボリュームにトレーサーを注入した（単位量/秒）時の、トレーサーの進行状況の計算値を風の非吹送時と吹送時を比較して示す。流れの効果を見るために移流のみの輸送を考えた。風の吹いていない時は水深5mから上の層に極めてゆっくり拡がっていくのに対し、風の吹送を考慮すると表層では風向きの流れによって風下側に、逆に揚水塔放水口直上では反流に乗って風上側に拡がっていく様子がうかがえ、風の吹送を考慮するとその分布はかなり異なる事がわかる。

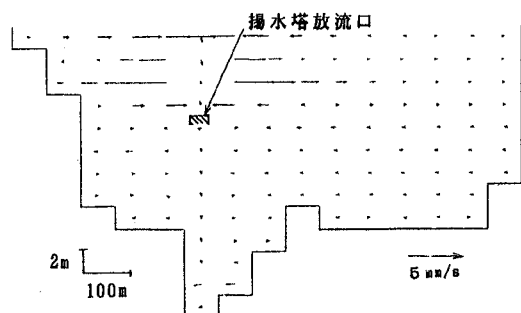


図1：曝気塔まわりの流れ（風の吹送なし）

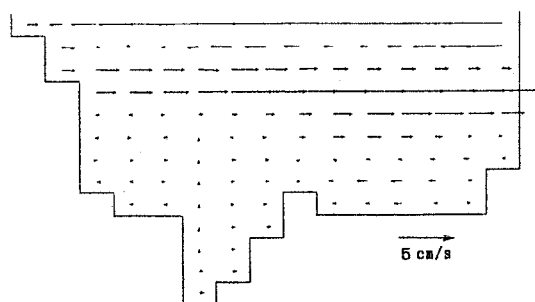
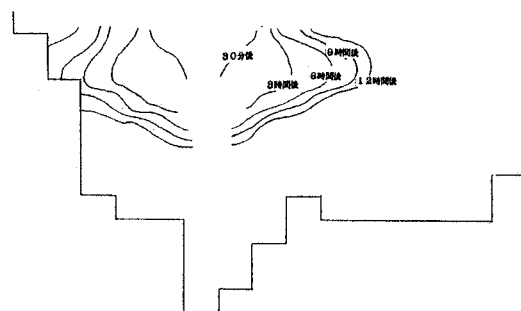
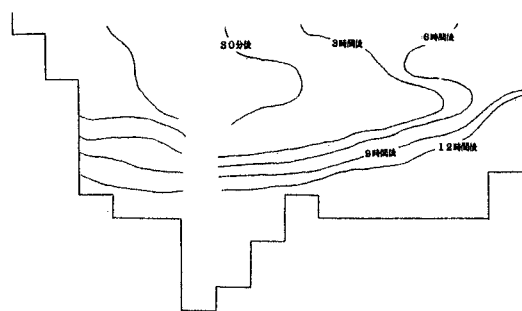


図2：曝気塔まわりの流れ（風の吹送時）



風の吹送なし



風の吹送時

図3：トレーサーの分布の経時変化（10ppm）

4. まとめ

貯水池における吹送流は、強風吹送時にはかなり大きく、曝気によって持ち上げられた水の水平方向の拡がりに、大きく係わっている事が定性的に把握できた。今後現地での観測結果と比較し、曝気による流れのモデル化に改良を加えて、吹送流を介在にした曝気の貯水池全体に及ぼす効果について検討を行う予定である。

《参考文献》1) 浅枝、J. IMBERGER：連続成層中の Bubble Plume の挙動について、土木学会論文報告集、NO. 411/II-12、1989 2) 岩佐、松尾、尾沢、南部：エアレーションにより生ずる流れの数値解析、京都大学防災研究所年報、NO. 27 B-2、1984 3) 岩佐、井上、劉、阿部：琵琶湖湖流の3次元的な解析、京都大学防災研究所年報、NO. 26 B-2、1983 4) 松梨、宮永：気泡噴流による貯水池水質改善対策法の水理的設計、電力中央研究所報告、U88078、1989