

II-220

間欠式揚水筒を用いた曝気循環による流れの数値解析

中部大学 正 員 松尾正規
 京都大学 正 員 岩佐義朗
 京都大学 学生員 雑賀正嗣

1、はじめに；貯水池の水質改善対策の一つに間欠式揚水筒による曝気循環があり、既にいくつかの貯水池で実用に供されたり、あるいは試験的に実施されたりしている。本研究は、この方法による水質改善効果を把握するための基礎資料を得ることを目的として、間欠式揚水筒から放出される気液混合流体および周囲水の流れの挙動を現地規模での数値シミュレーションにより解析し、その特徴を検討したものである。

2、数値解析法と解析条件；解析に用いたモデルは、著者らが気泡ブルームの流れを対象に開発した円筒2次元軸対象モデル¹⁾である。このモデルは気泡の容積及びその変化を考慮した上で流体に関する連続式、運動量保存則（水深方向及び半径方向成分）、水温収支式並びに気泡密度収支式を水深方向及び半径方向に分割された体積要素について展開したものであり、数値解析にあたってはそれらを staggered scheme による up-wind difference 法を用いて階差式に変形し、Hirt and Cook の流速圧力同時緩和法を用いて解いている。

対象とした流れの場は、貯水池の一部をカーテンで仕切った 20x20m、水深約 23m の実験区画であり、ここでは間欠式揚水筒を用いた現地実験が数年来実施されている。数値解析ではこの流れの場のスケールに合わせ、半径 20m、水深 23m の水域を想定し、それを水深方向に $\Delta z = 0.5\text{m}$ 、半径方向にはその距離 r に応じて Δr を次のように変えて分割した。

$$0\text{m} \leq r < 2\text{m} : \Delta r = 0.2\text{m}, \quad 2\text{m} \leq r < 6\text{m} : \Delta r = 0.5\text{m}, \\
6\text{m} \leq r < 10\text{m} : \Delta r = 1.0\text{m}, \quad 10\text{m} \leq r < 20\text{m} : \Delta r = 2.0\text{m}$$

解析は、図-1 に示す 2通りの初期水温分布の下で、筒長 4.5m、口径 42.5cm、空気室容量 50ℓ の揚水筒から気液混合流体が間欠的に放出される場合について実施した。なお、比較のために、オリフィスから連続的に散気される方式の場合についても解析を行っている。計算は、静水状態から始め、 $\Delta t = 0.01\text{秒}$ として 1850秒後まで行った。このとき、揚水筒設置区間では、筒壁に相当するセンターカラムの外側境界面で、半径方向の流速を 0 とし、水、温度、空気の入りはなく、水、温度、空気の出入りはないものとする条件を与えた。また、対象水域の外周では、カーテンで仕切られた水深 10m までに上述と同じ条件を与え、その下層では外部との水交換が平衡状態にあるとする条件を与えた。

渦動粘性係数は、著者らの室内実験結果²⁾とこれまでの気泡ブルームに関する数値解析の経験に基づいて、ブルーム内ではセンターカラムの鉛直流速成分値とブルームの半値半幅に比例させ、それ以外の領域では一様に $0.01\text{m}^2/\text{sec}$ とした。なお、ブルームの半値半幅は気泡放出口からの距離並びに供給空気量の関数として与えられるものとした。また、温度拡散係数は渦動粘性係数に等しく気泡密度拡散係数はその 0.15 倍とした。

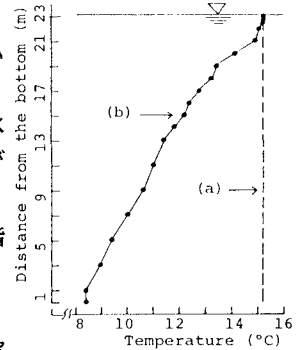


図-1 初期水温分布

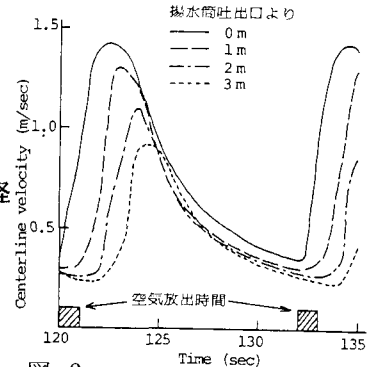


図-2 中心軸上鉛直流速の時間変化

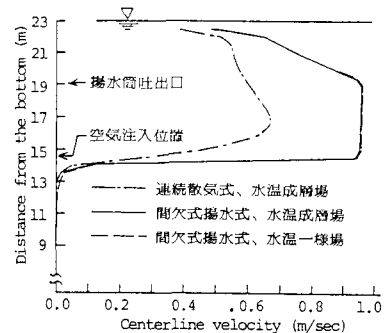


図-3 中心軸上鉛直流速分布の比較

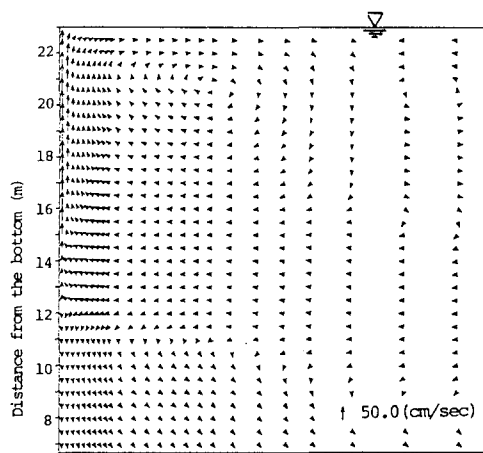
3、結果とその考察； まず、図-2に、揚水筒吐出口から間欠的に放出される気液混合流体により生じるセンターカラムでの鉛直流速の変化例を示す。同図は水深8.5mの位置にある空気室から、約12秒間隔で空気が放出される場合のものであり、そのときの気液混相ブルームの上昇過程とそれに伴う流速の周期的変化の様子が表現されている。図-3は、こうした一周期的変化を平均して得られたセンターカラムでの流速値の水深方向への分布を、連続散気方式の場合のそれと比較して示したものである。同図より、揚水筒方式の場合には、ブルームが揚水筒を通して周囲に拡散されることなく上昇するために流速値が大きくなること、放出口から水面に至る間での流速の低減がより急であることがわかる。また、同図では、初期水温分布による違いについても比較しているが、水温分布の有無はセンターカラムでの鉛直流速値に関する限りはほとんど影響がないことがわかる。

次に、図-3で示した3つのケースについて、形成される循環流の状況を比較すると図-4(a)~(c)のようである。図-4(a),(b)の比較より、センターカラム近傍の気泡発生位置より浅いところを除くと発生する気泡ブルームの違いにも関わらず曝気方式による差はほとんど認められないことがわかる。すなわち、いずれの場合も水深11m付近を境に上下2層の向きが異なる循環流が形成され、上層では中心から10mほど離れた位置において揚水された低温水の降下がその重力効果によって生じている。一方、初期水温分布が一樣な図-4(c)の場合には、全域にわたるただ一つの循環流が形成されており、その流れの状況は(b)図の初期水温分布がある場合のそれとはかなり異なっている。こうした水温分布による流動状況の違いは、水温成層が発達する貯水池での曝気循環による水質改善効果とその範囲を考える上で極めて重要な基礎資料となるであろう。

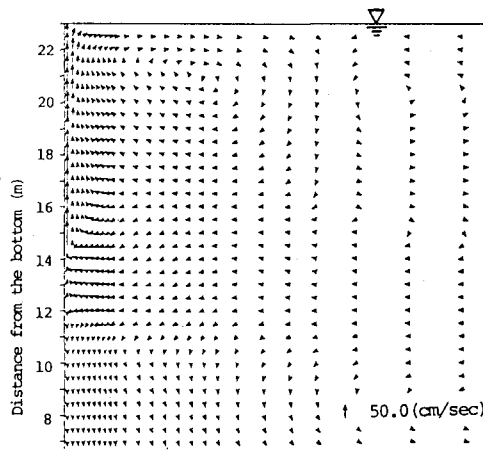
4、おわりに； 以上に述べた数値解析結果より、間欠式揚水筒を用いた曝気循環による流れの特徴が種々の条件の下で明らかとなった。今後はこうした流れの場における各種水質変化過程の解明を進めていきたい。

参考文献

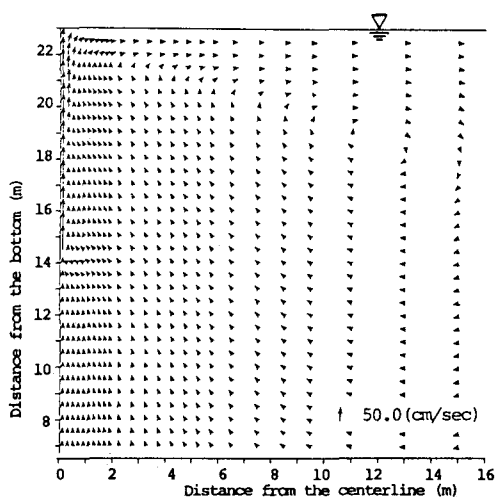
- 1) 岩佐、松尾；気泡ブルームによる流れ及び水質変化のシミュレーション，第5回混相流シンポ，1986
- 2) 岩佐、松尾、木村、雑賀；エアレーションにより生じる流体運動の特性に関する研究，土木学会関西支部，1987



(a) 連続散気方式，水温成層場：図-1 (b)



(b) 間欠式揚水筒方式，水温成層場：図-1 (b)



(c) 間欠式揚水筒方式，水温一樣場：図-1 (a)

図-4 種々の条件下での曝気循環流の比較