

ワンパス型水質浄化装置の処理水の湖内挙動の数値解析

大阪大学 学生会員 ○緒方 侑斗
山口大学 正会員 朝位 孝二
中村建設(株) 正会員 大木 協
山口大学 フェロー会員 羽田野 袈裟義

1. はじめに

当研究室では、湖沼やダム貯水池等の閉鎖性水域の貧酸素化問題に対して貧酸素水塊に酸素を供給する装置としてワンパス型水質浄化装置(h型気体溶解装置)¹⁾を開発中である(図-1)。この装置は水面に配置されたh型の管とこれに接続された2本のホースで構成されており、管内の水面下の浅い位置での曝気により底層の貧酸素水を連続的に吸入し、いったんこれを気泡集合体にしてDO改善を行うものである。本年度は、現地(山口県宇部市常盤公園の常盤湖内)に36台の装置を設置し、定期的に湖内の水質調査を行ったが、水質効果の確認ができなかった。この原因として、処理水の水温が受け入れ水域の水温に比べて高く、湖底に定着させることができなかったことなどが考えられる。

そこで、本研究では今後の現地実験装置の吸入口や排出口の配置計画の判断材料として活用するために、現地の諸量を用いて処理水が湖内で示す挙動と影響範囲を数値解析によって評価する。

2. 流動解析

2.1 問題設定

数値解析では、現地の条件を取り入れることを考えるが、初めての試みであり現地の複雑な条件すべてを再現するのは困難であるため簡略化を行う。また、実際の湖沼では、長期的に水位変動が生じるが、今回は比較的短時間の現象を対象とするため、水位の変動を無視した。

2.2 基礎式

第一段階として、図-2に示す鉛直2次元問題として取り扱う。また、周囲水の密度成層効果は無視し、均一流体の場に種々の密度の処理水が排出される場合を取り扱う。そして、空間の水平のスケールが鉛直スケールより大きいので、圧力は静水圧分布に従うと仮定し、ブシネスク近似を用いる。このとき流れの基礎式は次のようになる。

a) 連続式:
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

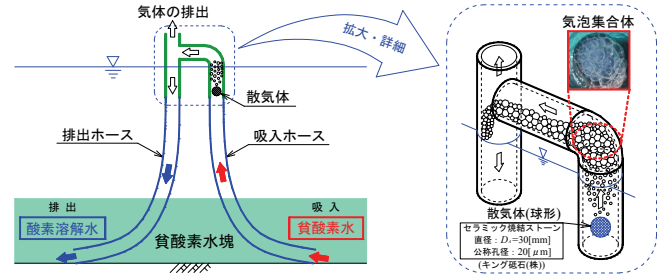


図-1 h型気体溶解装置概略図

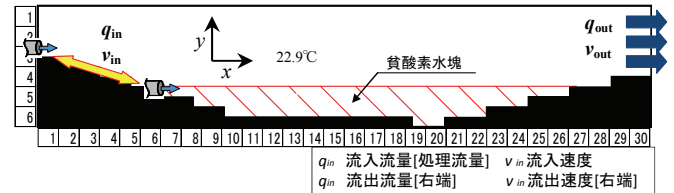


図-2 鉛直2次元モデル

b) N.S 方程式:

• x 方向

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

• y 方向

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\Delta \rho}{\rho_0} g - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

c) 移流・拡散方程式(密度):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v)}{\partial y} = D_1 \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} + D_2 \frac{\partial^2 \rho}{\partial y^2} \quad (4)$$

d) 密度偏差: $\Delta \rho = \rho - \rho_0$ (5)

e) 動粘性係数: $\nu = \frac{\mu}{\rho_0}$ (6)

$$\left[\begin{array}{l} t : \text{時間}, u : x \text{ 方向の流速}, v : y \text{ 方向の流速}, \\ p : \text{圧力}, g : \text{重力加速度}, \mu : \text{粘性係数}, \\ \rho : \text{密度}, \rho_0 : \text{基準密度}, D_1, D_2 : \text{拡散係数} \end{array} \right]$$

境界条件として、モデルの右端に遠方境界条件を用い、処理流量 306[L/min](実測値)が受け入れ水域の左端から流入し、同量が右端から排出されるものと仮定した。また、自由水面は簡易化のため固体壁面と仮定する。排出口の位置と処理水の水温は適宜変化させる(図-2)。

2.3 数値計算の方法

基礎式の差分方法として、時間項は2次精度のアダムス-バッシュホース法、連続の式と圧力項は中央差分、移流項は3次精度6-point scheme²⁾を用いた。図-2において、装置が排出する向きの水平方向に30[m]、最大水深6[m]の鉛直2次元領域に対して解析を行う。格子はスタaggered格子を用い、1セル0.5×0.5[m]の格子を x 方向に60セル、 y 方向に12セルとし、時間間隔は $\Delta t = 0.1$ [s]とした。また、計算により得られた密度を、水温に換算した。なお、密度変化は水温の変化によるもののみとする。受け入れ水域の水温の初期条件は、8月31日の現地計測で得られた水温(22.9[°C])とした。DO濃度が3[mg/L]以下の水域を貧酸素水域とした(図-2)。

計算は表-1に示す3caseで行った。case1は実際の現地の条件である。そして、case2は処理水の水温を下げた場合の条件である。ここで、水温13.9[°C]は深度約8[m]の水温(実測値)である。case3はcase2に加え、排出口を貧酸素水塊の直近に設置した場合である。

3. 結果とその検討

図-3に排出開始から500[s]後の計算結果を示す。

case1では、処理水の水温が排出される受け入れ水域の水温よりも高いため、処理水は排出されるとすぐに表層に拡散している。この場合、酸素を含む処理水が湖底に定着しないため、貧酸素状態の改善が期待されない。これは、現地の結果を再現していると思われる。case2では、排出された処理水は湖底に沿って流下し、貧酸素水塊の $x=20$ [m]付近まで達している。この場合、貧酸素化が改善されると考えられる。case3では、貧酸素水塊の直近で排出された処理水は湖底に沿って流れ、貧酸素水塊が及ぶ全域に到達している。この場合も、貧酸素状態が改善されると考えられる。また、貧酸素水塊中に酸素溶解された処理水を排出するため、貧酸素状態の回復が、case2に比べ効果的であると考えられる。

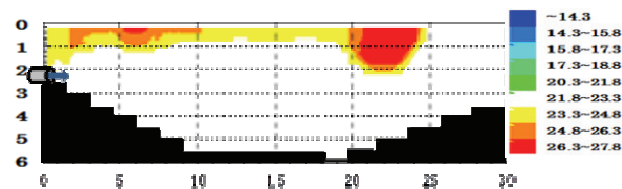
4. 結論

本研究ではワンパス型水質浄化装置から排出された酸素溶解処理後の水の挙動の数値解析を行った。得られた主要な知見は以下のとおりである。

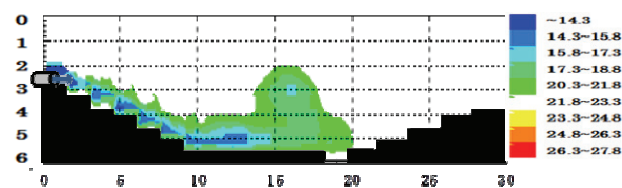
(1) 処理水の水温が受け入れ水域の水温よりも高い場合は、処理水は表層に拡散する。これは今回の現地の状態を再現しているがこの状態では、水域の貧酸素状態を改善することはできない。(case1)

表-1 計算条件

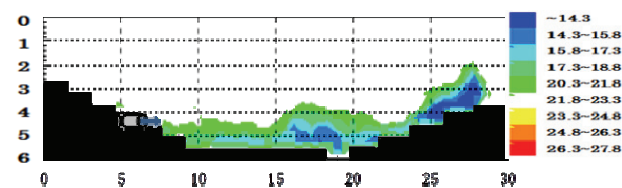
条件	排出口の位置	処理水の水温
case1	フロート直下($x=0$ m)	27.8[°C]
case2	フロート直下($x=0$ m)	13.9[°C]
case3	貧酸素水塊直下($x=7$ m)	13.9[°C]



(a) case1(現地実験条件)



(b) case2



(c) case3

図-3 計算結果(600[s]後)

(2) 受け入れ水域よりも水温の低い水を酸素溶解処理して排出した場合には、排出された水は湖底に沿って流下するため酸素水が湖底に定着し、貧酸素状態の改善が期待される。さらに、排出口を貧酸素水塊の直近に設置することで、より効果的に貧酸素状態を改善できることを示した。(case2, case3)

5. 今後の課題

課題として、今回は見積もることのできなかった諸量の空間分布を予測することが必要である。よって、3次元の数値解析を行い、拡散による平面的な影響範囲を調べる必要がある。また、現地実験を再度行い、実験結果と数値解析の結果を比較検討することも必要である。

参考文献

- 1) 国際公開番号 WO2005/121031：曝気方法と曝気装置と曝気システム，日本国特許庁，2008.
- 2) 坪郷浩一：移流輸送の高次精度かつ高解像度スキームの開発，山口大学学位論文，2006.