

市津湖における曝気循環装置による成層化改善効果の検討

千葉工業大学生命環境科学科 学生員 田村 俊孝
 千葉工業大学生命環境科学科研究生 学生員 藤原 誠司
 千葉工業大学生命環境科学科 フェロー 矢内 栄二

1. はじめに

湖沼や貯水池内では、夏季に水温成層が発達して鉛直方向の水質混合は抑制される。また、水域が閉鎖的で物質が蓄積されやすく、自浄作用も小さいため富栄養化状態になりやすい。さらに、水質の悪化は水資源にも影響を及ぼす。

市津湖は千葉県犬成市(図-1)に位置し、上水道や工業用水に用いられている。しかし、夏季を中心としてアオコが発生することから、1993年より水温成層の破壊と鉛直循環の促進を目的として曝気装置が導入されているものの、現在もなおアオコが発生が続いている。

本研究では、市津湖の曝気循環装置による成層化改善効果について数値シミュレーションにより検討する。

2. 数値計算手法

本研究では、MECモデル¹⁾を使用して解析を行った。本モデルは静水圧近似により、解析領域を平面二次元的に計算できる。支配方程式は Navier-Stokes の式に基づき、浮力項でのみ密度変化を考えるブシネスク近似と静水圧近似を適用した式(1)から(3)と連続の式(4)で表される。

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

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

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

ここに、 u, v, w : x, y, z 方向流速、 ρ : 淡水密度、 ρ_0 : 淡水の代表密度、 p : 圧力、 A_M, K_M : 水平および鉛直渦動粘性係数、 f : コリオリパラメータ、 g : 重力加速度である。

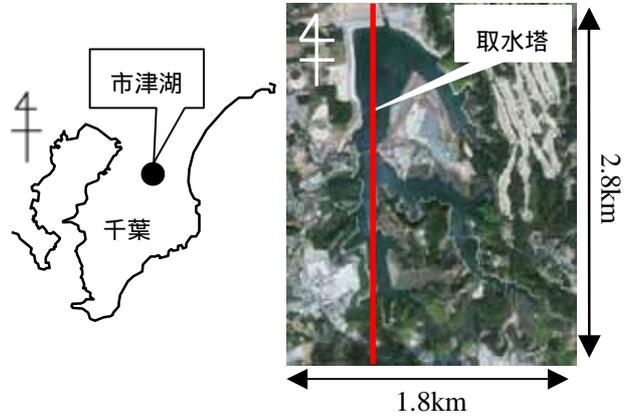


図-1 市津湖の位置

図-2 解析領域

表-1 計算条件

計算格子数	90 × 140 × 25	
時間刻みΔt[sec]	1.0	
計算時間[sec]	50400	
渦動粘性係数[m ² /s]	水平	1 × 10 ⁻⁴ (Δx=10 ³ mの時)
	鉛直	10 × 10 ⁻⁶
渦動拡散係数[m ² /s]	水平	1 × 10 ⁻⁴ (Δx=10 ³ mの時)
	鉛直	10 × 10 ⁻⁶
計算格子の体積[m ³]	400	
気泡の密度[kg/m ³]	ρ _{water} / 1000	

本研究では、曝気装置により発生する気泡は式(5)により与える。

$$\rho_{\text{box}} = \left(\rho_{\text{water}} \times \frac{V_{\text{box}} - V_{\text{air}}}{V_{\text{box}}} \right) + \left(\rho_{\text{air}} \times \frac{V_{\text{air}}}{V_{\text{box}}} \right) \quad (5)$$

ここに、 ρ_{box} : 計算格子内の密度、 ρ_{water} : 水の密度、 V_{box} : 計算格子の体積、 V_{air} : 計算格子内の気泡体積、 ρ_{air} : 気泡の密度である。

3. 計算条件

計算領域である市津湖は、図-2に示した 1.8km × 2.8km × 25m とした。計算条件を表-1に示す。計算格子サイズは 20m × 20m × 1m とした。水深は、深浅測量の結果を与えた。

初期条件には、(独法)水資源機構千葉用水総合管理所の 2011年8月における実測値を用いた。計算期間は、最も気温の高い8月11日の日照時間とした。

気象条件の設定については、気象庁の AMeDAS データ²⁾を用いて時系列で与えた。

4. 結果および考察

(1) 流速および水温分布

取水塔を含む断面(図-2 赤線)における流速および水温分布を図-3(a), (b)に示す。曝気装置を停止した場合はあまり流れが見られず、水深 2m 付近で水温差が約 3 の急変部があり、上層と下層の水温差は約 6 であった。一方、曝気装置を稼動した場合では大きな流速が発生しており、水温の急変部が解消され、上層と下層の水温差は約 4.5 であることから、曝気装置による循環が確認できた。

(2) 曝気循環による水温変化

取水塔における水温の計算結果を図-4 に示す。曝気装置を停止した水温計算では、1 層目から 2 層目で水温の急変が見られた。また、中層の実測値と良い一致が見られた。曝気装置を稼動した場合の水温計算では、1 層目から 2 層目で水温が緩やかに低下し、中層から下層にかけて温度差が小さくなっている。上層では実測値との良い一致が見られたものの、中層において計算は約 1 低く下層では約 1 高い結果を示した。

曝気循環装置による成層化改善効果を考えると、1 日の曝気循環の効果で上層と中層は約 1 の変化が見られたが、下層についてはあまり変化が見られなかった。また、曝気循環がある場合に下層においてわずかに水温が高くなっている。そのため、中層と下層で水質が混合されて水温が下がり、上層水も冷やされて全体的に水温が下がったと考えられる。このことから、1 日の曝気循環装置による成層化改善効果はあることが確認できた。

5. まとめ

市津湖の数値シミュレーションにより、曝気装置による水の循環が確認でき、水温の急変部が解消されることが示された。また、曝気装置を考慮した水温の計算精度は、上層では良い結果が得られたが、中層および下層では約 1 の差が見られた。

謝辞：本研究を行うにあたり、独立行政法人水資源機構千葉用水総合管理所から情報を提供していただいた。記して謝意を表する。

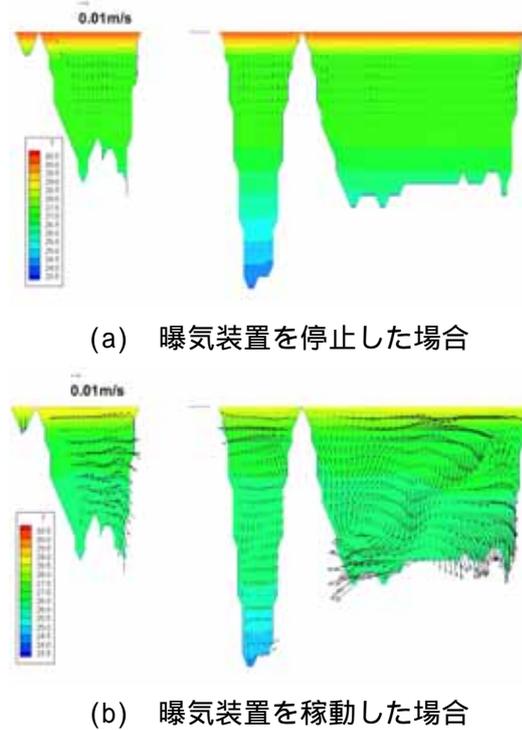


図-3 流速および水温分布

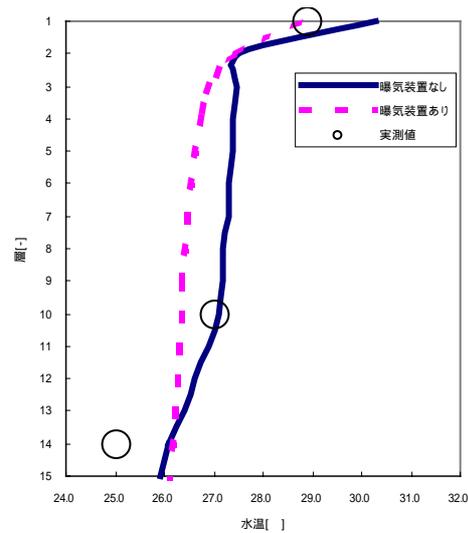


図-4 水温の鉛直分布

参考文献

- 1) MEC Ocean Model : <http://mee.k.u-tokyo.ac.jp/mec/model>
- 2) 気象庁 : <http://www.jma.go.jp/jma/>
- 3) 浅枝隆・Jorg IMBERGER(1989) : 連続成層中の Bubble Plume の挙動について ,土木学会論文集 ,Vol.1989 ,No.411 , pp55-62.
- 4) 関根秀明・吉田延雄・梅田信・浅枝隆(2003) : 曝気式循環施設の理論とその効果に関する考え方 ,ダム工学 , Vol.13 , No.1 , pp.5-18.
- 5) 梅田信 (2005) : 曝気循環を考慮した貯水池内流動モデルの構築と検証 ,水工学論文集 , Vol.49 , pp.1165-1170.