

II-272

汽水湖における密度成層の破壊特性についての検討

鳥取大学工学部 工学 道上 正規 鳥取大学工学部 正員 檜谷 治
鳥取大学工学部 正員 矢島 啓 建設省中国地建 正員 宇田 康弘

1. はじめに

鳥取県東部に位置する湖山池は、東西4km、南北2.5km、表面積6.1km²、平均水深2.8m、最大水深6.5m、貯水量1.9x10⁹m³の規模を有する楕円形をした低塩性汽水湖であり、湖山川より日本海に通じている。現在の湖山池の塩分濃度は、湖山川の堰によって海水の流入が調節されており、数100ppmに保たれている。しかし、1997年8月には、多量の海水が流入し、強固な密度成層ができた。そして、長期間にわたって下層に貧酸素域が形成され、リンなどの栄養塩類の濃度が増加するなど水質の悪化が観測された。このため、今後、堰における海水流入量の調節の基礎的検討として、下層に高塩分濃度層が存在する密度成層形成時に、成層がどの程度の風速で破壊されるかなどの破壊特性を予測しておく必要がある。そこで、本研究においては、湖山池における密度成層の破壊特性について数値解析的に検討する。

2. 鉛直1次元モデルの概要

密度成層の破壊メカニズムを考えるために、表-1の式(1)~(8)に示す熱輸送および塩分輸送の鉛直1次元モデルを使用する。

モデルの基本的な部分は、中村ら¹⁾によって検討されたモデルと同様であるが、下層に海水が流入し、上層と下層で密度の大きく異なる強固な密度成層が形成された場合、湖内の流れが複雑になることが知られている。そこで、2層に成層化した場合の流速分布式として、余越ら²⁾によって検討された式(4)~(8)を用いた。

数値シミュレーションを行うにあたり、水深6mを20cmごとの30層に分割し、計算時間 $\Delta t=10$ 秒とした。また、このモデルにおいて、底面においては熱や塩分のフラックスがないものとして取り扱うとともに、水面においては、熱のやりとりは行わなかった。

3. 数値モデルの検討

使用する数値モデルの妥当性を検討するため、密度成層がみられた1997年9月2日18:00のデータを初期値に、9月8日18:00のまでのシミュレーションを行った。また、この期間は、湖山池最深部における3時間毎および20cm毎の観測値が得られており、初期値の段階では、下層80cmに高密度層が存在している。密度分布の観測結果とシミュレーション結果をそれぞれ図-1(a),(b)に示す。これら2つの図を比較すると、最下層の高密度域が減少していく様子が、観測値に近いものとなっていることが分かる。また、その後の観測によると、9月13日ごろからの台風接近に伴う強風のため、9月16日には密度分布は一様となっていた。そこで、9月8日の18:00の初期値をもとに、9月16日までの風速データを用いてシミュレーションを行った。その結果、密度は全層で一様となり、観測結果と一致していた。

4. 数値シミュレーションを用いた密度成層の破壊特性の検討

さきに検討したモデルを用いて、定常風の吹送により密度成層が破壊されるまでの必要時間について解析を行った。ただし、成層条件については、湖山池での観測結果を参考に、全水深は6mとし、表-2に示す10通りの条件を設定した。また、密度成層が破壊に至ったという判断基準は、表層第1層と最下層での密度差が

表-1 数値解析モデルの基礎式

水温・塩分の鉛直1次元輸送方程式:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{1}{A(z)} \cdot \frac{\partial}{\partial z} \left\{ A(z) \cdot K_z(z,t) \cdot \frac{\partial S}{\partial z} \right\} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{鉛直拡散係数: } K_z = A_v \cdot f(Ri) \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{成層化関数: } f(Ri) = (1 + 10/3 Ri)^{-1.5} \quad \dots\dots\dots(3)$$

上層および下層の流速分布 u_u, u_d :

$$u_u = \frac{\tau_{wind} \cdot h}{A_{v1}} \cdot \left[\left(1 + \frac{z}{h} \right) + \frac{1}{4n} \cdot \frac{H-h}{h} - \frac{6 + \frac{3}{n} \cdot \frac{H-h}{h}}{4 + \frac{3}{n} \cdot \frac{H-h}{h}} \cdot \left\{ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{z^2}{h^2} \right) + \frac{H-h}{h} \right\} \right] \quad \dots\dots(4)$$

$$u_d = \frac{\tau_{wind} \cdot (H-h)}{n A_{v1}} \cdot \frac{2}{4 + \frac{3}{n} \cdot \frac{H-h}{h}} \cdot \left\{ \frac{3}{4} \cdot \frac{H^2 - z^2}{(H-h)^2} - \frac{3}{2} \cdot \frac{h(H+z)}{(H-h)^2} - \frac{H+z}{H-h} \right\} \quad \dots\dots(5)$$

$$\tau_{wind} = \rho_A \cdot C_f \cdot U_{10}^2 \quad \dots\dots\dots(6)$$

中立状態での上層および下層の鉛直拡散係数 A_{v1}, A_{v2} :

$$A_{v1} = 0.0022 \sqrt{C_f} \cdot h \cdot U_{10} \cdot \left\{ 1 + \frac{1}{4n} \cdot \frac{H-h}{h} - \frac{6 + \frac{3}{n} \cdot \frac{H-h}{h}}{4 + \frac{3}{n} \cdot \frac{H-h}{h}} \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4n} \cdot \frac{H-h}{h} \right) \right\} \quad \dots\dots(7)$$

$$A_{v2} = A_{v1}/n \quad (n=4) \quad \dots\dots\dots(8)$$

ここで、 S : 水温あるいは塩分濃度、 t : 時刻、 $A(z)$: 水深 z における水面積、 Ri : リチャードソン数、 h : 上層の水深、 H : 全水深、 ρ_A : 空気密度、 C_f : 空気の抵抗係数、 U_{10} : 10m 高度での風速である。

キーワード: 汽水湖, 密度成層, 成層破壊, 数値シミュレーション

〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101 TEL 0857-31-5696 FAX 0857-28-7899

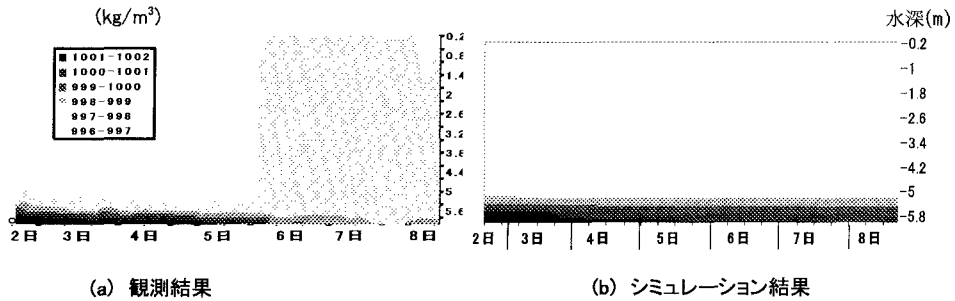


図-1 湖山池最深部における密度変化の観測値とシミュレーション結果

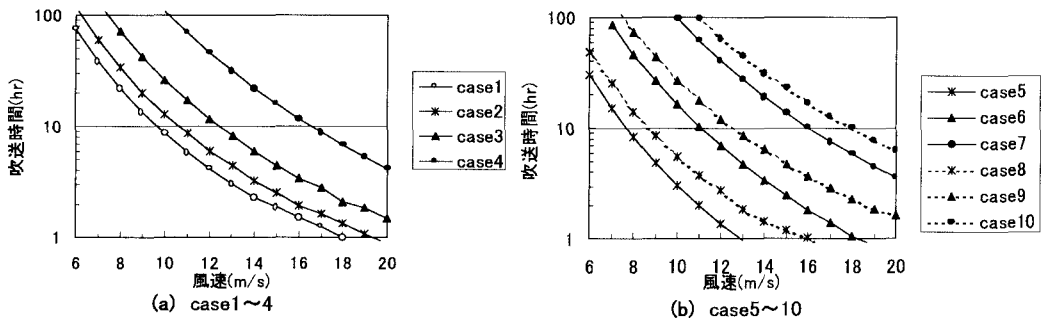


図-2 成層の破壊に至るまでの風速と吹送時間との関係

0.5kg/m³以下となったときとした。これらの条件により得られた、一定風速における密度成層破壊までの所用時間を図-2に示す。

シミュレーションの結果より、成層の水温差や塩分濃度差が成層破壊に及ぼす影響をみる。まず、塩分濃度差の影響をみるため、図-2(b)に着目する。この図において、case5,6,7 および case8,9,10 毎に塩分濃度差が大きくなる。また、これら2つの組み合わせは、下層の高塩分濃度層の厚さが異なり、case5,6,7 では80cm、case8,9,10では2mとなっている。この結果をみると、塩分濃度が1000,3000,10000ppmと大きくなるに従って、成層破壊に必要な風速は数倍にもなるが、高塩分濃度層の厚さが80cmから2mと厚くなった場合は、1~2m/s大きな風速があれば成層が破壊されることがわかる。このように、高塩分濃度層の厚さよりも、塩分濃度差が成層の破壊に大きく影響してくる。

次に、塩分濃度差と水温差のどちらも存在したときの影響をみるため、図-2(a)のcase2~4および図-2(b)のcase5~7に着目する。この図において、case2,3,4 および case5,6,7 の順に塩分濃度差が大きくなり、上下層の水温差はcase2,3,4では水温差5℃、case5,6,7では水温差なしである。この結果をみると、水温差が5℃程度あると、数m/s大きな風速が成層の破壊に必要なことがわかる。

6. おわりに

本研究では、湖において上下層の水温差および塩分濃度差による密度成層があるときの、成層破壊特性に関して数値モデルを用いて検討を行なった。その結果、高塩分濃度層の厚さよりも、上下層の塩分濃度差が、密度成層の破壊に与える影響が大きいことが明らかとなった。また、湖山池の場合、上下層の塩分濃度差が3000ppm程度の成層が発生し、約10時間の吹送時間でこの成層を破壊するとしたら、十数m/sの風速が必要であることがわかった。今後は、実際の風況データを用いた検討を行う予定である。

参考文献 1) 中村由行：湖沼の水温構造の予測モデル，水工学論文集，第35巻，pp.179~184,1991. 2) 余越正一郎・富所五郎：風による諏訪湖の流動特性，土木学会論文報告書，第276号，pp.53~63,1978.

表-2 水温および塩分濃度の初期値

CASE	水温 (°C)		塩分濃度 (ppm)		上層の水深(m)	
	上層	下層	上層	下層	水温	塩分
1	30	25	500	500	4	5.2
2	30	25	500	1500	4	5.2
3	30	25	500	3500	4	5.2
4	30	25	500	10500	4	5.2
5	27	27	500	1500	4	5.2
6	27	27	500	3500	4	5.2
7	27	27	500	10500	4	5.2
8	27	27	500	1500	4	4
9	27	27	500	3500	4	4
10	27	27	500	10500	4	4