

II - 114

猪苗代湖における湖水流動特性の検討

 日本大学 ○学 先崎 義朗
 八戸工業大学 正 佐々木 幹夫
 日本大学 正 藤田 豊

1. 研究目的

本研究は猪苗代湖を対象に湖水の3次元的な流動を数値モデルにより検討することを研究の目的にしている。これまでに著者等は猪苗代湖の流動を水深方向に平均した2次元数値モデルにより検討してきた。猪苗代湖は中央部が深く90m以上あり、湖岸域は浅く、底地形はおわん状になっており、3次元的な流動をしている場合もあるものと考えられる。そこで、本研究では水深方向に10～20分割した層を考え、3次元的な流動を検討してみることにした。

2. 猪苗代湖の概要

猪苗代湖は福島県を中心に位置し、湖沼面積約 104km²、を有する我が国第4位の湖（酸性湖としては第1位）である。湖沼の標高 514m、周囲 54km、総貯水量 38.6 億m³、最大深度 94.6m、となっている。平面形状は北西から南東へ長軸を持つ円形を示している。

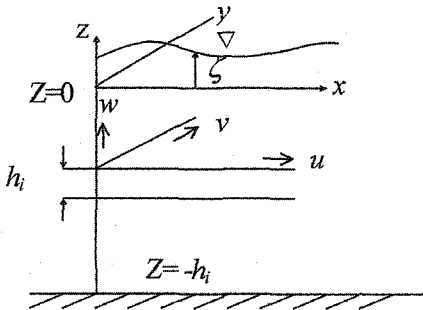


図1 座標

3. 基礎方程式

いま、水位 ζ 、水平方向の流速を u, v 、鉛直方向の流速を w とする。鉛直方向に層分割し、 N 層あるものとする。 k 層の水平流速を u_k, v_k 、鉛直流速を層の上下で $w_{k-\frac{1}{2}}, w_{k+\frac{1}{2}}$ とする。水位は ζ とする。 x 方向線流量を $M_k = u_k h_k$ 、 y 方向線流量を $N_k = v_k h_k$ とする。ここに、層の厚さを h_k としている。水平渦動粘性係数を A_h 、重力加速度を g 、コリオリ係数を f 、湖底面摩擦係数を r_b^2 、表面

摩擦係数を r_s^2 、内部摩擦係数を r_i^2 、水の密度を ρ 、空気の密

度を ρ_a 、風の速度 x 成分を u_w 、 y 成分を v_w とする。このとき流れの基礎式は以下のように書ける。

表層

$$\begin{aligned} & \frac{\partial M_1}{\partial t} + \frac{\partial(u_1 M_1)}{\partial x} + \frac{\partial(v_1 M_1)}{\partial y} - w_1 u_1 \\ &= f N_1 - g h_1 \frac{\partial \zeta}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 M_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_1}{\partial y^2} \right) + \gamma_s^2 (u_w - u_1) \sqrt{(u_w - u_1)^2 + (v_w - v_1)^2} \\ & \quad - \gamma_i^2 (u_1 - u_2) \sqrt{(u_1 - u_2)^2 + (v_1 - v_2)^2} \\ & \frac{\partial N_1}{\partial t} + \frac{\partial(u_1 N_1)}{\partial x} + \frac{\partial(v_1 N_1)}{\partial y} - w_1 v_1 \\ &= -f M_1 - g h_1 \frac{\partial \zeta}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 N_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_1}{\partial y^2} \right) \\ & \quad + \gamma_s^2 (v_w - v_1) \sqrt{(u_w - u_1)^2 + (v_w - v_1)^2} \\ & \quad - \gamma_i^2 (v_1 - v_2) \sqrt{(u_1 - u_2)^2 + (v_1 - v_2)^2} \\ & \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial M_1}{\partial x} + \frac{\partial N_1}{\partial y} - w_{1+\frac{1}{2}} = 0 \end{aligned}$$

中間層

$$\begin{aligned} & \frac{\partial M_k}{\partial t} + \frac{\partial(u_k M_k)}{\partial x} + \frac{\partial(v_k M_k)}{\partial y} + w_{k-\frac{1}{2}} u_{k-1} - w_{k+\frac{1}{2}} u_k \\ &= f N_k + A_h \left(\frac{\partial^2 M_k}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_k}{\partial y^2} \right) + \gamma_i^2 (u_{k-1} - u_k) \sqrt{(u_{k-1} - u_k)^2 + (v_{k-1} - v_k)^2} \\ & \quad - \gamma_i^2 (v_k - v_{k+1}) \sqrt{(u_k - u_{k+1})^2 + (v_k - v_{k+1})^2} \\ & \frac{\partial N_k}{\partial t} + \frac{\partial(v_k N_k)}{\partial x} + \frac{\partial(u_k N_k)}{\partial y} + w_{k-\frac{1}{2}} v_{k-1} - w_{k+\frac{1}{2}} v_k \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= -fM_k + A_h \left(\frac{\partial^2 N_k}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_k}{\partial y^2} \right) \\
&+ \gamma_i^2 (v_{k-1} - v_k) \sqrt{(u_{k-1} - u_k)^2 + (v_{k-1} - v_k)^2} \\
&- \gamma_i^2 (v_k - v_{k+1}) \sqrt{(u_k - u_{k+1})^2 + (v_k - v_{k+1})^2} \\
&\frac{\partial M_k}{\partial x} + \frac{\partial N_k}{\partial y} + w_{k-\frac{1}{2}} - w_{k+\frac{1}{2}} = 0
\end{aligned}$$

湖底層

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial M_N}{\partial t} + \frac{\partial(u_N M_N)}{\partial x} + \frac{\partial(v_N M_N)}{\partial y} + w_{N-\frac{1}{2}} u_{N-1} \\
&= fN_N + A_h \left(\frac{\partial^2 M_N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_N}{\partial y^2} \right) \\
&+ \gamma_i^2 (u_{N-1} - u_N) \sqrt{(u_{N-1} - u_N)^2 + (v_{N-1} - v_N)^2} \\
&- \gamma_b^2 u_N \sqrt{u_N^2 + v_N^2}
\end{aligned}$$

$$\frac{\partial N_N}{\partial t} + \frac{\partial(u_N N_N)}{\partial x} + \frac{\partial(v_N N_N)}{\partial y} + w_{N-\frac{1}{2}} v_{N-1}$$

$$\begin{aligned}
&= -fM_N + A_h \left(\frac{\partial^2 N_N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_N}{\partial y^2} \right) \\
&+ \gamma_N^2 (v_{N-1} - v_N) \sqrt{(u_{N-1} - u_N)^2 + (v_{N-1} - v_N)^2} \\
&- \gamma_b^2 v_N \sqrt{u_N^2 + v_N^2} \\
&\frac{\partial M_N}{\partial x} + \frac{\partial N_N}{\partial y} + w_{N-\frac{1}{2}} = 0
\end{aligned}$$

4. 計算方法

湖の流出量として2つの取水口、日橋川取水口、安積疎水取水口を選び、流入河川として湖に入る11河川全てを考慮し、流出量および流入量を境界条件として与え、風向、風速、を外力条件として与えては3次元計算を行っていく。湖の水深を、N層(表層、中間層、湖底層)に分け、各層ごとに流れの計算をしていく。

5. 計算結果

図2に南西の方向からの風が湖に一樣に吹いている場合の表層の流れ況図を示した。表層は風の方向と同じ流れとなり、2次元の流動計算では中央に風向きと反対方向に流れが発生したが、そのような流れは3次元計算をすることで出てこない。湖が浅い場合は底面摩擦の影響で水平方向の循環が起きるがある程度の深さを持つようになると水の循環は水平でなく鉛直方向の循環となるようである。

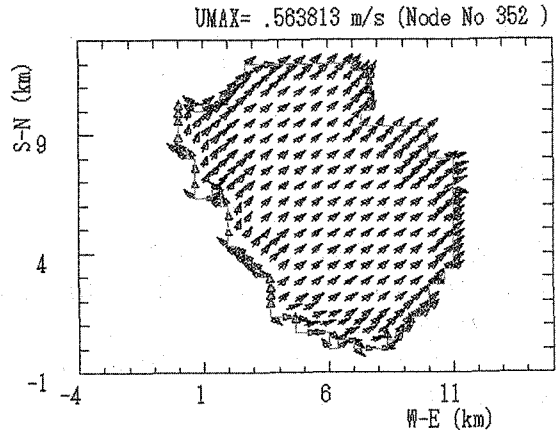


図2 南西の風における表層の流れ

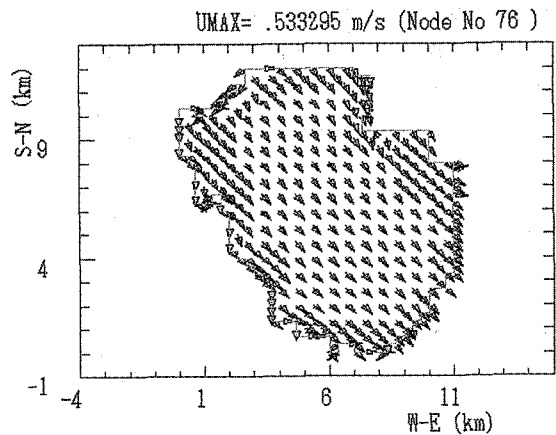


図3 北西の風における表層の流れ

6. むすび

湖水流動の3次元構造を検討してみた。猪苗代湖における流動は3次元的な現象となる場合が多いようである。