

風による湖水の流動特性

鳥取大学 工学部 正 員 道上正規

鳥取大学 工学部 正 員 鈴木孝一

鳥取大学 大学院 学生員 〇園山浩幸

1. はじめに 風によって生じる湖における循環流の特性を明らかにすることは、湖水の汚濁物質の拡散や湖底質土の浮上移動特性を明らかにする上で必要であって、従来この湖流も数値的に解析しようとする試みが多くなされている。本研究は、Liggett¹⁾が行なったように有限要素法を用いて、湖流の諸特性を水深は小さいけれども場所的に大きく異なるような矩形湖を対象として解析しようとするものである。

2. 基礎式 湖が水平距離に比して水深が非常に浅いいわゆる Ekman-type の湖であるとし、流れは定常であるとする。また、慣性力とコリオリ力の比であるロスビー数 R_L は小さく慣性力が無視できるものとする、湖水の流動に関する基礎式は、

$$\text{運動方程式: } -f v = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \eta \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (1)$$

$$f u = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \eta \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \quad (2)$$

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

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

となる。ここに、 u 、 v および w はそれぞれ x 、 y および z 方向の流速であり、 x は東を正、 y は北を正、 z は静水面を 0 とし上方を正とする。 p は圧力、 ρ は水の密度、 η は鉛直混合係数、 g は重力加速度、 f はコリオリ係数である。

また、境界条件は、

$$\text{湖底面: } z = -H \text{ で, } u = v = w = 0 \quad (5)$$

$$\text{水面: } z = 0 \text{ で, } \eta \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_x, \quad \eta \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_y \quad (6)$$

である。ここに、 H は水深、 z は水位変化量、 τ_x 、 τ_y はそれぞれ x 、 y 方向の風によるせん断応力を湖水の密度で割ったものである。(1)式、(2)式および(3)式と(5)式、(6)式の条件のもとに解き u および v を求めた後、 $z \neq 0$ とし、

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = -\int_{-H}^0 v dz, \quad \frac{\partial \psi}{\partial y} = \int_{-H}^0 u dz \quad (7)$$

で定義される流れ関数 ψ を導入すると基礎式は次のようになる。¹⁾

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + A(x, y) \frac{\partial \psi}{\partial x} + B(x, y) \frac{\partial \psi}{\partial y} + C(x, y) = 0 \quad (8)$$

(6)式の風によるせん断応力 $\tau(\tau_x, \tau_y)$ は平均風速 $\bar{W}$ 、空気の密度 ρ_a 、水面摩擦係数 C_f の関数としてバルク公式より $\tau = \rho_a \cdot C_f \cdot \bar{W}^2$ と表わされる。水面摩擦係数 C_f は、

Deacon と Webb の提案式 $C_f = (1.00 + 0.07 W) \times 10^{-3}$ で与える。

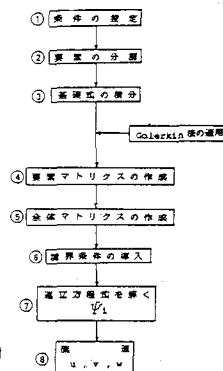


図-1 解析手順

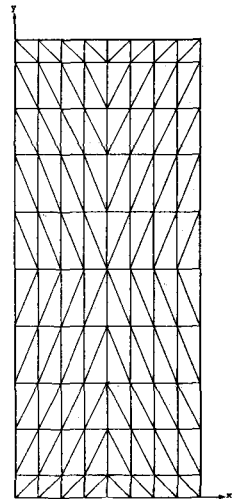


図-2 解析メッシュ

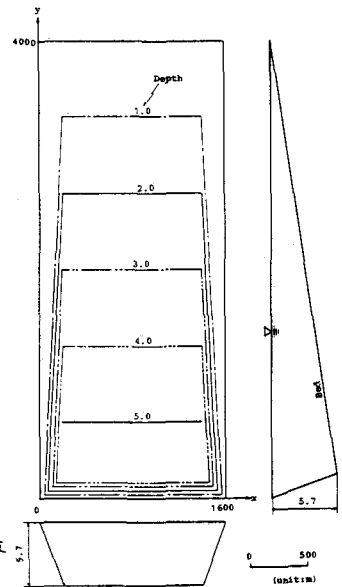


図-3 断面形状及び深度分布

3. 解析方法 解析は、図-2のように領域を有限要素に分割し、重みつき残差法としてGalerkin法を用いたいわゆるGalerkin有限要素法を用いて行な、た。その手順は図-1に示すとうりであり、図-2の矩形湖の断面形状は深度分布の違いによ、て4種類について行な、たが、ここでは図-3に示す形状の結果についてのみ述べる。

4. 解析結果とその考察 図-4(a),(b)および(c)は風速5m/sの南風を吹かせた場合の水面、水面下1mおよび3mでの水平方向の流速分布を示している。図(a)に示す水面流速は全体的にほぼ風の吹く方向に向いているが、水深の大きい部分ではコリオリ力の影響をうけて流向はやや東にふれている。水面流速の最大は17.3cm/sであり、風速の約3%~4%という従来の報告³⁾と一致している。水面下1m(図(b))では深いところでは流向は風向に近いが浅い部分では逆流している。さらに水面下3m(図(c))では全体的に逆流している。また、これらの図においてもコリオリ力の影響で流向は右回りにふれる傾向が認められる。図-5は図-4(a)に示した3地点の流速と流向を示したものであり、また、図-6はuおよびvの鉛直方向の流速分布である。

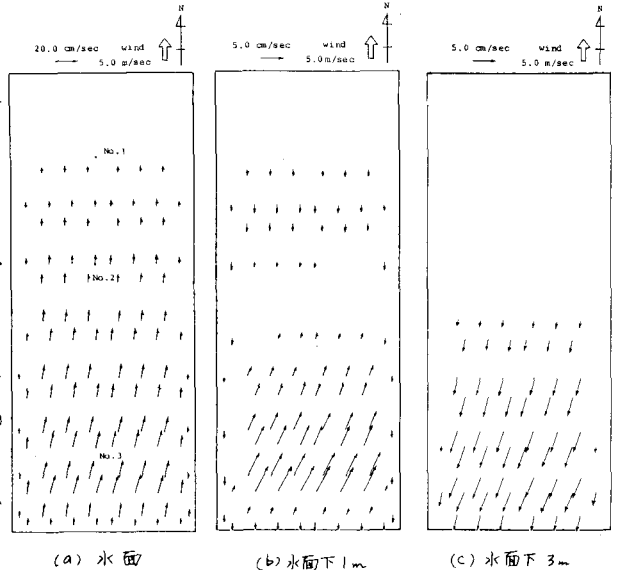


図-4 水平方向の流速分布

図-4あるいは図-5より、水深が大きいほど水面での流向は風向からの偏角が大きくなっている。これは水深が大きくなればコリオリ力の影響も大きくなるためである。また、水面より深くなるにしたがって流向は時計回り方向に回転し湖底付近では水面での流向から約180°回転している。これは、海における吹送流の環流つまりエクマンパイラルと同じである。また、図-6よりわかるように水深の1/2ぐらいの水深で流速が0になることが認められ、これより上では流向は風向に近く下では逆流となっている。

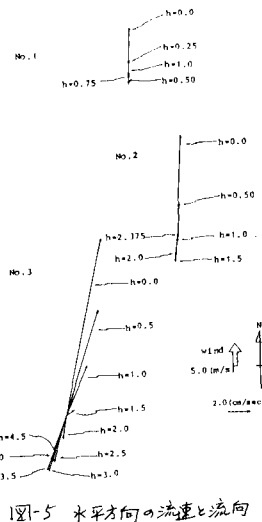


図-5 水平方向の流速と流向

5. おわりに 今後さらに検討すべき問題点としては、水面での風によるせん断応力および鉛直混合係数の評価⁴⁾、鉛直方向の流速があるいは外部境界での流入と流出を考慮した場合の流況特性などがある。

(参考文献)

- 1) Liggett, J. A. S.: Proc. ASCE, HY103, 1977.
- 2) コナー・プレビア 共著; 奥村敏恵監訳: 流体解析への有限要素法の応用, ワイエンス社, 1978.
- 3) 村岡・福島: 国立公害研究所研究報告, 第19号, 1981.
- 4) 糸越・富所: 土木学会論文報告集, 第276号, 1978.

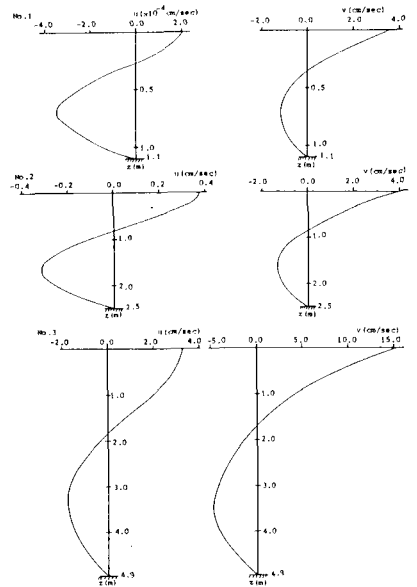


図-6 鉛直方向の流速分布