

湖山池における吹送流の非定常解析

鳥取大学 大学院 学生員 ○錦織 良文
鳥取大学 工学部 正 員 道上 正規
鳥取大学 工学部 正 員 檜谷 治
(株) エーイーシー 正 員 新田井 猛

1. はじめに

近年、湖の富栄養化による水質悪化が問題となっている。そのため、湖流の非定常三次元解析が数多く行なわれているが、本研究は、特に浅い湖において卓越する風によって起こる流れである、吸送流の非定常三次元解析を、昨年山根が、矩形断面の湖モデルに対して用いた、時間積分法としてFractional-Step法、鉛直方向に有限要素法、水平方向に差分法を用いるという解析方法を、図-1に示した湖山池に用いて解析し、観測結果と比較検討を行なうものである。また、その際、基礎式において、鉛直方向の慣性項、水平渦動粘性項を新しく考慮し、さらに、鉛直渦動粘性係数を、鉛直方向に分布を持たせて解析を行なっている。

2. 解析方法

まず、解析における基礎式としては、N-S式および連続式を用いたが、圧力は静水圧分布、水の密度は時間的、空間的に一定、コリオリ係数は一定という仮定をして次のように変形する。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - f v + g \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial z} (A_v \frac{\partial u}{\partial z}) - A_h (\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + f u + g \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial z} (A_v \frac{\partial v}{\partial z}) - A_h (\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (H U) + \frac{\partial}{\partial y} (H V) = 0$$

ここに、 t は時間、 x 、 y および z は座標軸で、 x は東を正、 y は北を正とし、 z は鉛直上方が正で平均水面を $z=0$ とする

また、 u 、 v および w はそれぞれ、 x 、 y および z 方向の流速成分である。 p は圧力、 ρ は水の密度、 f はコリオリ係数、 ξ は静水面からの水位上昇量、 A_v は鉛直渦動粘性係数、 A_h は水平渦動粘性係数、 H は全水深、 U 、 V は平均流速、 g は重力加速度である。

境界条件 底面 Non-Slip条件 水面 $\tau_x = A_v \frac{\partial u}{\partial z}$, $\tau_y = A_v \frac{\partial v}{\partial z}$
岸 Slip条件

ここに、 τ_x 、 τ_y は風によって生じる水面でのせん断応力である。鉛直渦動粘性係数は次式で与えた。

$$\left. \begin{aligned} A_v &= A_{vmax} \cdot 4 \frac{z}{h} \left(1 - \frac{z}{h}\right) \quad \left(\frac{z}{h} \leq 0.5\right) \\ A_v &= A_{vmax} \quad \left(\frac{z}{h} \geq 0.5\right) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここに、 $A_{vmax} = \frac{g}{3} \bar{A}_v$ 、 h は水深、 z は座標からの高さである。 $\bar{A}_v$ は、余越、富所の推定式より求められる鉛直方向の平均の鉛直渦動粘性係数である。水平渦動粘性係数は、物質の拡散係数としてRichardsonが経験的に導いた次式を用いた。

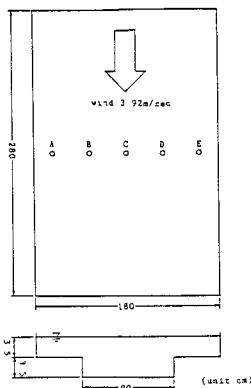


図-2 断面形状

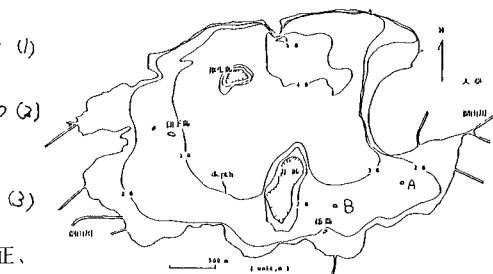
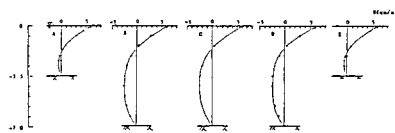
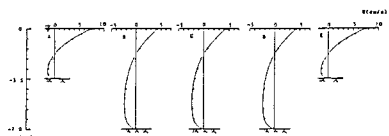


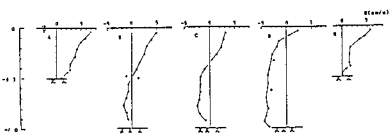
図-1 湖山池付近の概況と水深



(a) 解析結果 (鉛直渦動粘性係数を一定とした場合)



(b) 解析結果 (鉛直渦動粘性係数に分布をもたせた場合)



(c) 実験結果 (対開ら)

図-3 鉛直流速分布

$$A_R = 0.0 / \Delta x^{\frac{2}{3}} \quad (5) \quad (\text{cm, sec 単位}) \quad \text{ここに } \Delta \text{ は水平メッシュ間隔}$$

3. 解析結果

まず、上で示した鉛直渦動粘性係数の分布形の妥当性について調べるため、図-2に示したモデルを対象として、北風によるせん断応力 $\tau_{sur} = 0.225 \text{ dyn/cm}$ が作用するとした場合の解析を行なった。図-3に解析結果ならびに、村岡³⁾が行った実験結果を示している。他の解析条件としては、水平渦動粘性係数は無視し、水平メッシュ間隔ならびに時間間隔は、 $\Delta x = 36 \text{ cm}$, $\Delta y = 28 \text{ cm}$, $\Delta t = 0.01 \text{ sec}$ としている。また、解析解は、ほぼ定常に達していると考えられる50秒後の値を用いた。これらの図を比較すると、表面流速がA, E点で大きく、B, C, D点で小さいという実験結果は、分布を持たせた解析結果の方がよく表現できていると思われる。また、B, C, D点の底面近くで見られる逆流の最大値の位置も、分布を持たせた方が底面付近にきており、実験値との傾向とも一致している。このことは、鉛直渦動粘性係数を底面近くで小さくさせたことによるものと思われる。以上のことから、鉛直渦動粘性係数を鉛直方向に一定にするよりも(4)式のような分布形で与えた方が、実際の流速分布をよく再現できることがわかった。また、鉛直方向の慣性項や水平渦動粘性項の有無の違いについてもモデル解析を行ったが、これらに関しては違いはほとんど見られなかった。つぎに、湖山池における解析結果について述べる。解析においては、鉛直方向の慣性項および水平渦動粘性項を考慮している。解析条件としては、水平メッシュ間隔および時間間隔は、 $\Delta x = \Delta y = 100 \text{ m}$, $\Delta t = 10 \text{ sec}$ とし、風の条件は、観測結果より北北西 10 m/sec を吹かせた後、南 4 m/sec を吹かせた。図-4は解析結果について表面流速を示したものである。また、図-1に示すA, B点における解析結果と観測結果を、図-5, 6に示している。観測結果は、昭和60年12月18日に湖山池において電磁流速計を用いて測定した結果である。図-5および図-6を見ると、表面付近における流向および流速は比較的良好にシミュレートできていると思われるが、底面付近ではあまりよい一致は見られない。この原因としては湖面で一様に吹かせていることが大きく影響しているものと思われる。また、図-4を見ると島の北側で渦を形成している様子が見られるがこのような流れは観測されておらず、この原因については今後検討が必要であろう。

4. おわりに

本研究は、吹送流の非定常三次元解析において鉛直渦動粘性係数に関して鉛直方向に分布を持たせる方法を示したが、

その分布式の妥当性が明らかとなった。また、この方法を用いて実験結果のシミュレートを試みたが、島の北側で渦を形成するという問題点があり、今後さらに検討する必要があると思われる。

(参考文献) 1) 山根裕文; 第37回土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集 pp148-149; 2) 余越正一郎, 富所五郎; 風による諏訪湖の流動特性; 土木学会論文報告集; 1978; 3) 村岡浩爾, 福島武彦; 霞ヶ浦(西浦)の湖流; 国立公害研究所報告, 第19号

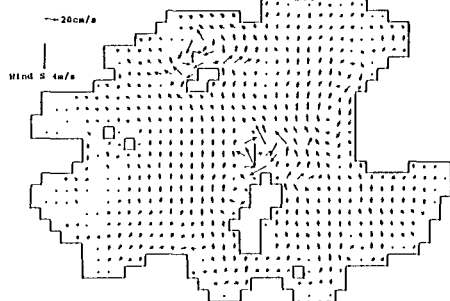


図-4 表面流速

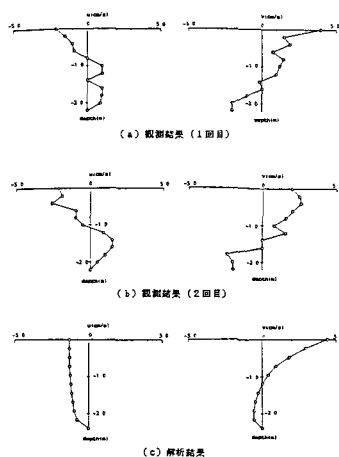


図-5 A点の鉛直流速分布

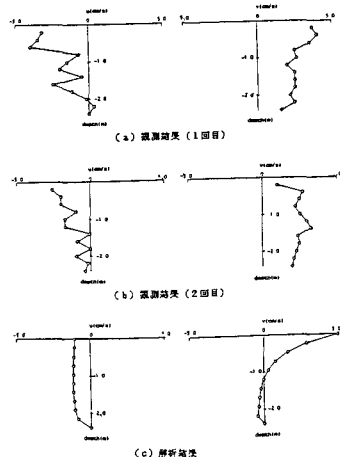


図-6 B点の鉛直流速分布