

II-161

数値シミュレーションを用いた湖沼の吹送流に関する基礎的研究（その2）

京都大学工学部 正 員 多田 彰秀

京都大学工学部 正 員 岩佐 義朗

熊 谷 組 正 員 福本 育央

1.はじめに； 本報は、湖沼の吹送流を三次元数値解析する場合に用いられる基礎式の各項について基礎的な考察を行ったものである。すなわち、モデル湖での吹送流の数値解析を行い、その結果より基礎式を構成する移流項、コリオリ力項および渦動粘性項が流動特性に及ぼす影響について考察を加えている。

2.基礎式及び解析モデル； ①流れの鉛直方向の加速度は重力の加速度に比べて小さい、②成層は存在しないとして密度は一定とする、③コリオリ係数および渦動粘性係数は対象水域内で一定である、という仮定のもとに誘導された基礎式を示せば、次のようになる。

$$\text{運動方程式； } \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + f v$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} - f u$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho_0 g$$

$$\text{連続式； } \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

さらに、境界条件は以下のように設定した。なお、ここでの記号はすべて慣用に従っている。

底面以外の固定境界； $u = v = w = 0$

$$\text{水面}(z=\zeta)； w_s = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u_s \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v_s \frac{\partial \zeta}{\partial y}, \quad \frac{\tau_{sx}}{\rho} = A_v \frac{\partial u}{\partial z}, \quad \frac{\tau_{sy}}{\rho} = A_v \frac{\partial v}{\partial z}$$

$$\text{底面}(z=-H)； w_b = u_b \frac{\partial (-H)}{\partial x} + v_b \frac{\partial (-H)}{\partial y}, \quad \frac{\tau_{bx}}{\rho} = A_v \frac{\partial u}{\partial z}, \quad \frac{\tau_{by}}{\rho} = A_v \frac{\partial v}{\partial z}$$

また、解析モデルとしては、以下の3つのタイプを考えて比較検討している。

TYPE1； $\frac{\partial u}{\partial t}$ = (圧力項) + (鉛直渦動粘性項) + (水平渦動粘性項) + (コリオリ力項) + (移流項)

TYPE2； $\frac{\partial u}{\partial t}$ = (圧力項) + (鉛直渦動粘性項) + (水平渦動粘性項) + (コリオリ力項)

TYPE3； $\frac{\partial u}{\partial t}$ = (圧力項) + (鉛直渦動粘性項) + (水平渦動粘性項) + (移流項)

基礎式の差分化に際しては、岩佐・井上らにならってレベルモデル（leap-frog法）を採用し、特に移流項の差分については上流差分を導入している。なお、詳細な差分式の表示は参考文献1)に譲り、割愛する。

3.計算条件； 計算は、静水状態から南西の風を一樣に吹かせて、3日間行った（ $\Delta t=100\text{sec}$ ）。ついで、48時間から72時間の間で流れは定常状態になっているものと判断し、この時間内で600secごとにサンプリングして平均化を行うとともに、流速ベクトル図を求めている。以下の考察では、このようにして求められた流速ベクトル図によって各項の影響度の評価がなされている。計算に用いたモデル湖の形状、諸条件および計算ケースについては、表-1に示すとおりである。

4.計算結果； 図-1は、解析モデルの違いによる流動特性の比較を行ったものである。TYPE1とTYPE2は、両者ともに良い一致を示しているが、TYPE3とはかなり違っており、ここで用いたモデル湖程度の大きさの閉鎖性水域では、コリオリ力が吹送流の流動特性に与える

表-1 計算に用いた諸条件

CASE	1	2	3	4	5	6	7	8
TYPE	1	2	3	1	2	1	1	1
風速(m/sec)	3.0	3.0	3.0	10.0	10.0	3.0	3.0	3.0
$A_v(\times 10^{-3})$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	5.0	10.0
A_h	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
移 流 項	Y	N	Y	Y	N	Y	Y	Y
Coriolis項	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y

$L=24.0\text{ Km}$, $L'=80.0\text{ Km}$, $H=12.0\text{ m}$, $\Delta t=100.0\text{ sec}$, $\Delta x=2.0\text{ Km}$, V :含む, N :含まない, $\Delta y=2.0\text{ Km}$, $\Delta z=4.0\text{ m}$, A_v :鉛直渦動粘性係数(m^2/sec), A_h :水平渦動粘性係数(m^2/sec), コリオリ係数; f (1/sec), Rossby数; $Ro=U_0/Lf$

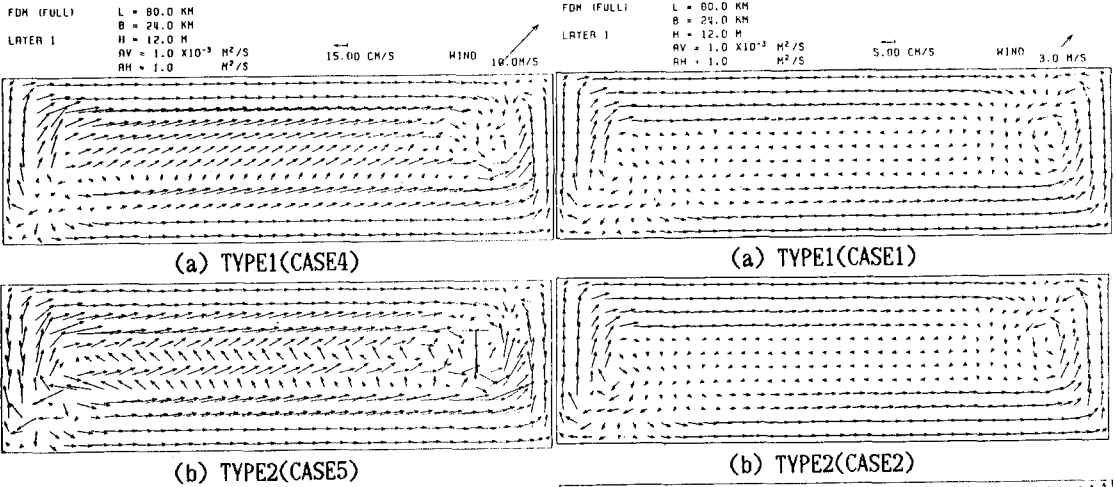


図-2 TYPE1とTYPE2の比較(風速10.0m/sec)

影響は大きいものと判断される。なお、 $L'=40.0\text{km}$ についても同様な解析を行ったが、その結果では3ケースとも同じ流況となった。図-2は、風速を3.0 m/secから10.0m/secに大きくし、TYPE1とTYPE2について比較した結果である。流況の違いは、風速の増大とともに流れの非線形性が強くなり、移流項の寄与が大きくなったためと説明される。なお、コリオリ係数 f を $8.20 \times 10^{-5} (1/\text{sec})$ 、水表面流速 U_0 を20.0cm/secと仮定して、ここでのロスビー数 Ro を求めると0.10となる。一般的には、 $Ro < 1.0$ の場合、移流項の流れに与える影響は小さく無視されると言われている。したがって、ここでの結果についてはさらに検討する必要がある。図-3は、CASE1の条件下で鉛直渦動粘性係数 A_v のみを変化させて流況の比較をしたものである。CASE1では風下(北東岸)に形成されていた水平循環流が、 A_v の増大とともにくずれ、CASE8ではほとんど認められない。一方、湖心部の逆流については、流れが速くなる傾向にある。これらは、鉛直渦動粘性係数を大きくすることによって鉛直方向のせん断力が大きく評価されたためであると判断される。また、結果は紙面の都合上示さないが、鉛直断面内での循環流についても検討した。しかしながら、CASE8においてさえも鉛直循環流は十分に再現されていないようである。

5. おわりに ; 今後、さらに水平渦動粘性係数が流れに与える影響についても評価を試みる予定である。

(参考文献) 1) 岩佐、井上、劉、阿部 ; 琵琶湖湖流の三次元的な解析、京都大学防災研究所年報、第26号B-2, 1983, pp.531-542. 2) 岩佐、多田、福本、木村 ; 数値シミュレーションを用いた湖沼の吹送流に関する基礎的研究、昭和62年度土木学会関西支部年次講演会論文集、II-2, 1987.

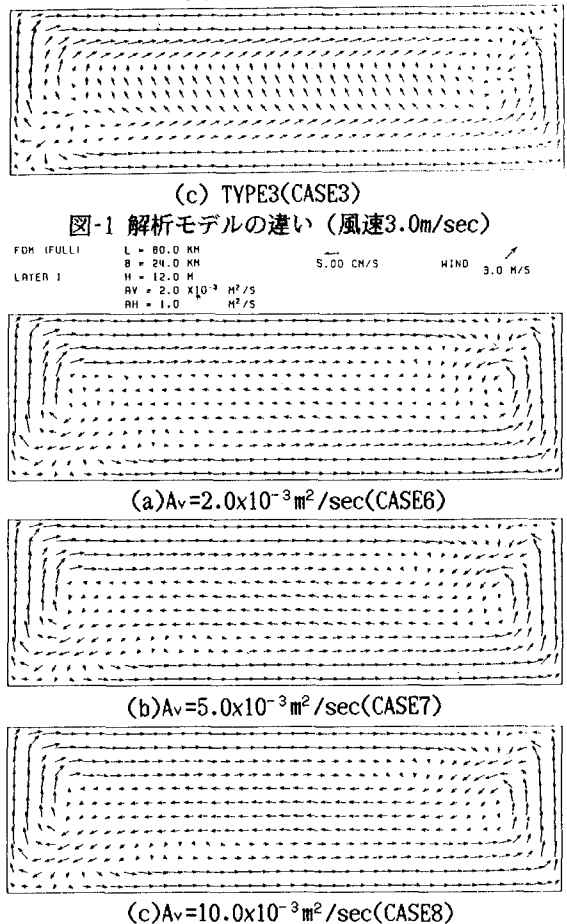


図-3 鉛直渦動粘性係数の違い(TYPE1)