

II-255

2方向多層モデルによる貯水池水理の流れと滞留時間の数値解析

中部大学工学部 正 員 松尾 直規
 京都大学工学部 正 員 岩佐 義朗
 京都大学大学院 学生員 山田 哲也

1、はじめに; 本研究は、貯水池における水温及び各種水質濃度の変化過程をより詳細に解析することを目的として開発した直交曲線座標による2方向多層の数学モデルを使って、貯水池内の流れと富栄養化現象に関係の深い滞留時間の分布が、貯水池の幾何形状及び流出入に関する境界条件といかに対応するかを数値解析し、その結果を考察したものである。

2、数値解析モデル¹⁾; 流下方向を x_1 、 x_1 と直交する幅方向を x_2 、水深方向を x_3 とし、各距離修正メトリックについて、 $h_2 = h_3 = 1.0$ 、 h_1 は x_1 、 x_2 方向には変化するが x_3 方向には一定とするような貯水池分割の下で得られた次式を用いて、数値解析を行った。

<運動方程式>

・ x_1 方向

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} = -\frac{1}{h_1 \cdot \Delta x_1} \left| u_1 u_1 \right|_{x_{1,i}}^{x_{1,i+1}} - \frac{1}{h_1 \cdot \Delta x_2} \left| h_1 u_2 u_1 \right|_{x_{2,j}}^{x_{2,j+1}} - \frac{1}{\Delta x_3} \left| u_3 u_1 \right|_{x_{3,k}}^{x_{3,k+1}} - \frac{u_1 \cdot u_2}{h_1 \cdot \Delta x_2} \left| h_1 \right|_{x_{2,j}}^{x_{2,j+1}} \\ + \frac{1}{h_1 \cdot \Delta x_1} \left| \frac{2E_{x_1 x_2}}{h_1} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial h_1}{\partial x_2} \right) \right|_{x_{1,i}}^{x_{1,i+1}} + \frac{1}{h_1 \cdot \Delta x_2} \left| E_{x_1 x_2} \left(h_1 \frac{\partial u_1}{\partial x_2} - u_1 \frac{\partial h_1}{\partial x_2} \right) \right|_{x_{2,j}}^{x_{2,j+1}} \\ + \frac{1}{\Delta x_3} \left| E_{x_1 x_3} \frac{\partial u_1}{\partial x_3} \right|_{x_{3,k}}^{x_{3,k+1}} - \frac{1}{\rho_0 \cdot h_1 \cdot \Delta x_1} \left| p \right|_{x_{1,i}}^{x_{1,i+1}} + \frac{E_{x_1 x_2}}{h_1^2} \left(h_1 \frac{\partial u_1}{\partial x_2} - u_1 \frac{\partial h_1}{\partial x_2} \right) \left| h_1 \right|_{x_{2,j}}^{x_{2,j+1}} \quad (1)$$

・ x_2 方向

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} = -\frac{1}{h_1 \cdot \Delta x_1} \left| u_1 u_2 \right|_{x_{1,i}}^{x_{1,i+1}} - \frac{1}{h_1 \cdot \Delta x_2} \left| h_1 u_2 u_2 \right|_{x_{2,j}}^{x_{2,j+1}} - \frac{1}{\Delta x_3} \left| u_3 u_2 \right|_{x_{3,k}}^{x_{3,k+1}} + \frac{u_1 \cdot u_1}{h_1} \left| h_1 \right|_{x_{2,j}}^{x_{2,j+1}} \\ - \frac{1}{\rho_0 \cdot \Delta x_2} \left| p \right|_{x_{2,j}}^{x_{2,j+1}} + \frac{1}{h_1 \cdot \Delta x_1} \left| \frac{E_{x_2 x_1}}{h_1} \left(\frac{\partial u_2}{\partial x_1} + h_1 \frac{\partial u_1}{\partial x_2} - u_1 \frac{\partial h_1}{\partial x_2} \right) \right|_{x_{1,i}}^{x_{1,i+1}} + \frac{1}{\Delta x_3} \\ \left| E_{x_2 x_3} \frac{\partial u_2}{\partial x_3} \right|_{x_{3,k}}^{x_{3,k+1}} + \frac{1}{h_1 \cdot \Delta x_2} \left| 2E_{x_2 x_3} h_1 \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right|_{x_{2,j}}^{x_{2,j+1}} - \frac{2E_{x_1 x_2}}{h_1^2} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial h_1}{\partial x_2} \right) \left| h_1 \right|_{x_{2,j}}^{x_{2,j+1}} \quad (2)$$

・ x_3 方向

$$p = \int_{x_{3,k}}^{x_{3,k+1}} \rho g dx_3 \quad (3)$$

<連続式>

$$\frac{1}{h_1 \cdot \Delta x_1} \left| u_1 \right|_{x_{1,i}}^{x_{1,i+1}} + \frac{1}{h_1 \cdot \Delta x_2} \left| h_1 u_2 \right|_{x_{2,j}}^{x_{2,j+1}} + \frac{1}{\Delta x_3} \left| u_3 \right|_{x_{3,k}}^{x_{3,k+1}} = 0 \quad (4)$$

<水温収支式>

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{1}{h_1 \cdot \Delta x_1} \left| u_1 T \right|_{x_{1,i}}^{x_{1,i+1}} - \frac{1}{h_1 \cdot \Delta x_2} \left| h_1 u_2 T \right|_{x_{2,j}}^{x_{2,j+1}} - \frac{1}{\Delta x_3} \left| u_3 T \right|_{x_{3,k}}^{x_{3,k+1}} \\ + \frac{1}{h_1 \cdot \Delta x_1} \left| \frac{D_{x_1}}{h_1} \frac{\partial T}{\partial x_1} \right|_{x_{1,i}}^{x_{1,i+1}} + \frac{1}{h_1 \cdot \Delta x_2} \left| D_{x_2} h_1 \frac{\partial T}{\partial x_2} \right|_{x_{2,j}}^{x_{2,j+1}} + \frac{1}{\Delta x_3} \left| D_{x_3} \frac{\partial T}{\partial x_3} \right|_{x_{3,k}}^{x_{3,k+1}} \quad (5)$$

なお、(1)、(2)式においては、微小項が省略されており、また、水表面、貯水池底、側岸部を含む体積要素では、各境界面での諸条件を用いて、これらの式が変形されることになる。

3、計算結果とその考察; 上述のモデルを用いて、室生貯水池を対象に、その平均的流況下²⁾における流れを計算した一例が図1である。同図は、標高275.0m(取水口の存在する層)と標高287.0m(表層の一つ下の層)の2平面における流速ベクトルと最深部を有する縦断面における流速ベクトルであり、これによると流速の最大値は流入流出境界を除けば流入端付近の表層メッシュに現れ $3.0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ 程度である。ダム付近の深水層では 10^{-4} から 10^{-5} 以下のオーダーの流速であり、ほとんど流れが生じていない事がわかる。流れは上流から下流へ向かうものが卓越しているが、拡縮部

及び流出入のある所では横断方向への流れが見られ平面形状並びに流出入条件の特徴に対応した流速分布形状が少なくとも定性的には妥当に表現されている。次に、いくつかの流出入条件の下で得られた流れの計算結果に基き表水層内での滞留時間の分布を求めたものを図2に示す。CASE. Aは流入水がダムまで主として表水層内をそのまま流下する場合で、他に比べて滞留時間は、小さくなっている。上流域より下流域で滞留時間が長くなっているのは、下流域では、上流域に比べ水深が、約3倍となり、流れが鉛直方向にも広がっているためである。CASE. Bでは、流入水が中間の取水口より流出するために取水口より下流域がほとんど死水域となっており、滞留時間も相当長くなっている。対象貯水池での一般的流況であるCASE. C, Dでは、下流端右岸部における支川流入の有無による違いを除けば、流れの状況がほぼ同様で滞留時間についても同じ様な分布を示している。いずれもCASE. Aに比べると取水口より下流で滞留時間がやや長いが、支川流入の影響で、ダム付近においてはCASE. Dの方が滞留時間が短くなっている。またいずれのCASEも横方向に飛び出しのあるメッシュ付近すなわち、貯水池幅が広がるころの側岸部において滞留時間が長くなっている。これらのいわゆる滞留域での単位滞留時間は0.9から1.2時間以上である。この値が、水の華や淡水赤潮のような藻類の大量発生とどのような相関性があるかまでは、実測資料が乏しいため不明だが少なくとも藻類の発生しやすい水理条件は示していると考えられる。

4. おわりに；本研究で実施された2方向多層モデルによる解析では、対象とする貯水池の幾何形状並びに流出入条件の影響をより忠実かつ詳細に再現することが可能であり藻類の発生に関する好適条件など流れの挙動と各種水質分布との関係を明らかにするうえでの極めて有用な情報が得られることがわかった。今後とも支川及びより複雑な地形の計算領域への取り込みというような残された課題について検討を進めたい。（参考文献）1）岩佐、松尾、他2名：2方向多層流モデルによる貯水池水理に関する数値解析的研究、関西支部年講、1989 2）木津川上流水質保全対策業務報告書、建設省近畿地方建設局木津川上流工事事務所、1982

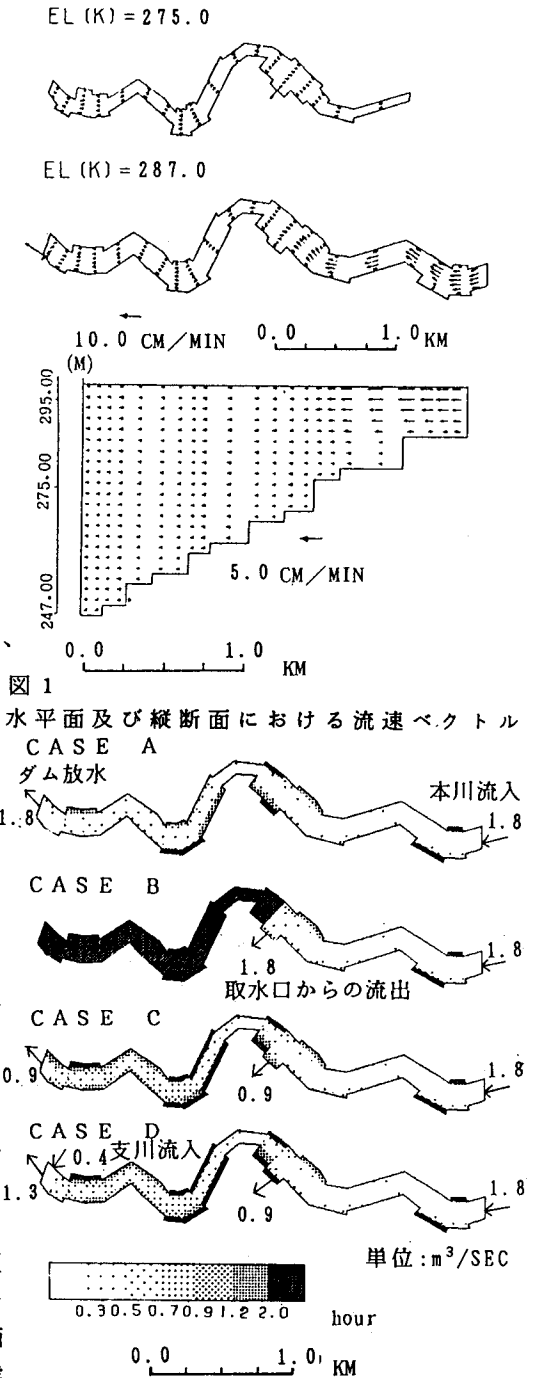


図2 いくつかの流出入条件の下で得られた滞留時間 (CASE. A, B, C, D)