

平面多層流モデルを用いた河口堰湛水池の水理解析

○京都大学大学院 学生員 友近文志

中部大学工学部 正員 松尾直規
鹿 島 建 設 正員 福井直之

1. はじめに；地形形状を忠実に表現し、実際現象をできるだけ正しく再現し得る平面多層流モデルを開発し、河口堰湛水池における水理解析に通用して、その有効性を検討する。

2. 直交曲線座標系を用いた平面多層流モデル；本研究での基礎数学モデルは直交曲線座標系を用いて記述される連続式、運動量保存式、水温・濃度の収支式、密度に関する状態方程式で構成される。これらの基礎方程式は、対象とする水域の地形形状に応じて、図-1に示すような空間分割により得られる図-2のようなブロックについて積分され、空間平均操作を行うことにより数値解析のためのモデル式に変形される。空間分割は、既存の測量資料を利用し、測量横断面に直交し、かつ水域形状をできるだけ忠実に近似し得る3次曲線群を求めることにより進めている。ただし、水深方向には一定の間隔で分割する。

以上のようにして得られる平面多層流の数値解析モデルのうち、連続式と x_1 方向の運動方程式、および水温収支式を示せば次のようである。

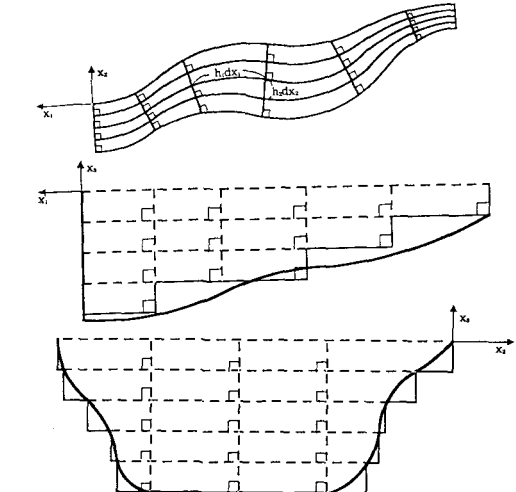


図-1 直交曲線座標系による空間分割

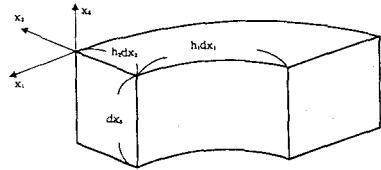


図-2 解析に用いるコントロール・ボリューム

[連続式]

$$\frac{1}{h_1 h_2 dx_1} \left| h_2 u_1 \right|_{x_{1i}^{j+1}} + \frac{1}{h_1 h_2 dx_2} \left| h_1 u_2 \right|_{x_{2j}^{i+1}} + \frac{1}{dx_3} \left| u_3 \right|_{x_{3k}^{j+1}} = 0$$

[x_1 方向の運動方程式]

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u_1}{\partial t} + \frac{1}{h_1 h_2 dx_1} \left| h_2 u_1 u_1 \right|_{x_{1i}^{j+1}} + \frac{1}{h_1 h_2 dx_2} \left| h_1 u_1 u_2 \right|_{x_{2j}^{i+1}} + \frac{1}{dx_3} \left| u_3 u_1 \right|_{x_{3k}^{j+1}} \\ &= - \frac{1}{\rho h_1 dx_1} \left| p \right|_{x_{1i}^{j+1}} + \frac{1}{h_1 h_2 dx_1} \left| \frac{E_{x_1 x_1}}{h_1} \left(h_2 \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial h_1}{\partial x_2} \right) \right|_{x_{1i}^{j+1}} \\ &+ \frac{1}{h_1 h_2 dx_2} \left| \frac{E_{x_1 x_2}}{h_2} \left(-u_2 \frac{\partial h_2}{\partial x_1} + h_1^2 \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{u_1}{h_1} \right) \right) \right|_{x_{2j}^{i+1}} + \frac{1}{dx_3} \left| E_{x_1 x_3} \frac{\partial u_1}{\partial x_3} \right|_{x_{3k}^{j+1}} \\ &+ \frac{1}{h_1 h_2 dx_2} \left[E_{x_1 x_2} \left(\frac{h_2}{h_1} \frac{\partial u_2}{\partial x_1} + \frac{h_1}{h_2} \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{u_1}{h_1} \right) \right) - u_1 u_2 \right] \Big|_{x_{2j}^{i+1}} \\ &- \frac{1}{h_1 h_2 dx_1} \left[\frac{E_{x_2 x_2}}{h_2} \left(\frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{u_1}{h_1} \frac{\partial h_2}{\partial x_1} \right) - u_2 u_2 \right] \Big|_{x_{1i}^{j+1}} \end{aligned}$$

[水温収支式]

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{h_1 h_2 dx_1} \left| h_2 u_1 T \right|_{x_{1i}}^{x_{1i+1}} + \frac{1}{h_1 h_2 dx_2} \left| h_1 u_2 T \right|_{x_{2j}}^{x_{2j+1}} + \frac{1}{dx_3} \left| u_3 T \right|_{x_{3k}}^{x_{3k+1}} \\ = \frac{1}{h_1 h_2 dx_1} \left| D_{Tx_1} \frac{h_2}{h_1} \frac{\partial T}{\partial x_1} \right|_{x_{1i}}^{x_{1i+1}} + \frac{1}{h_1 h_2 dx_2} \left| D_{Tx_2} \frac{h_1}{h_2} \frac{\partial T}{\partial x_2} \right|_{x_{2j}}^{x_{2j+1}} \\ + \frac{1}{dx_3} \left| D_{Tx_3} \frac{\partial T}{\partial x_3} \right|_{x_{3k}}^{x_{3k+1}} + H_T \end{aligned}$$

3. 数値解析とその結果；2. で述べたモデルはStaggered-schemeを用いてexplicit型の階差式に変形され数値計算が進められる。このとき移流項に2次精度の風上差分を、拡散項には中央差分を用いている。計算はY川河口堰湛水池の計画断面を対象に実施した。計算期間は、出水時を含む14日間であり、初期水温については、計算開始時の流入水温に等しいとした。流出入の条件としては、本川流入に加えて堰上流6.9kmの地点において支川流入が、また、堰上流500mの地点(case1)または6.2kmの地点(case2)のそれぞれにおいて3.0m³/sの一定量取水を考えて、堰からの放流は堰両岸のブロックにおいてオーバーフローで流入量＝流出量となるよう操作するとした。計算例として、出水時とその後の流速分布を図3に示す。

図3より、21日の出水時には支川流入量および取水量は本川流入量に比べて小さいのでそれらの影響はあまり見られないが、平常時には支川流入が流速分布に大きく影響し、流れの中心が支川合流後左岸側によっていることが分かる。またcase1とcase2を比べてみると取水位置の影響が顕著で、case1では下流部で流れが取水口側に引き寄せられ、case2では取水を上流に設けた事により、それより下流域の流速がcase1に比べかなり小さくなっている。平面ならびに縦断方向の流速分布形状は、これまで経験的に得られているそれを少なくとも定性的にはほぼ再現していると考えられる。以上より本研究で用いた数値解析法が湛水池形状と境界条件に対応した流れの3次元の特徴を表現するのに有効であることが一応確かめられたと考えて良いであろう。

4. おわりに；本研究では、直交曲線座標系を用いた平面多層流に関する数値解析モデルを河口堰湛水池に適用し流れの水理学的特徴を明らかにするとともに境界条件の変化に応じた湛水池内の水理学的挙動を比較した。その結果、本研究での解析手法の有効性、妥当性が確かめられた。今後は、本解析手法を種々の条件下の流れに適用し、解析法の改良と現実問題への応用を進めたい。

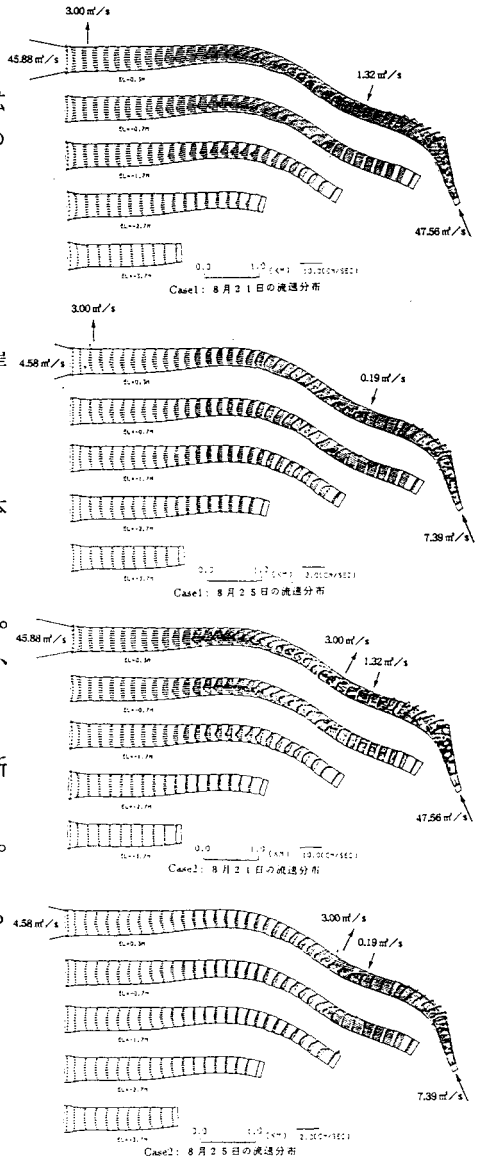


図-3 流速分布図