

## 成層取水流れのFEM解析

豊橋技術科学大学 学生会員 ○井上 康宏

豊橋技術科学大学 正会員 中村 俊六

豊橋技術科学大学 正会員 四倉 信弘

1. 緒言 成層貯水池での濁水現象において、その2次元性を無視できない場合が多いため簡便な2次元モデルを開発したいと考えている。本研究は、その一環として、Y i h<sup>1)</sup>によって線形化された基礎方程式を用いたFEM解析の応用を試みようとするものである。

2. Y i hによる定常成層取水理論とそのFEM解析 Y i hは、流速を、 $u' = u\sqrt{(\rho/\rho_0)}$ 、 $v' = v\sqrt{(\rho/\rho_0)}$ ；ここに、 $u, v$ ： $x, y$ 方向の流速成分、 $\rho$ ：密度、 $\rho_0$ ：基準密度、によって変換し、直線状鉛直密度分布の成層水域からの2次元定常非圧縮非拡散の取水に関する基礎方程式として次式を与えた。

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial \eta^2} + F^{-2} \psi = F^{-2} \eta \cdots \cdots (1)$$

ただし、 $\psi = \psi'/U'd$ 、 $\xi = x/d$ 、 $\eta = y/d$ 、 $F = U'/d\sqrt{g\varepsilon}$ ；ここに、 $d$ ：全水深、 $\psi'$ ： $u' = \partial\psi'/\partial y$ 、 $v' = -\partial\psi'/\partial x$ を満足するポテンシャル関数、 $U' = U\sqrt{(\rho/\rho_0)}$ ：無限遠点で一様と仮定した変換速度、 $\varepsilon$ ：密度勾配。この式の、底部にラインシンクがある場合の解は次式で与えられる。

$$\psi = \eta + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \exp[(n^2 \pi^2 - F^{-2})^{1/2} \xi] \sin(n \eta \pi) \cdots \cdots (2)$$

本研究では、(1)式に対応する汎関数：

$$V(\psi(\xi, \eta)) = \iint \left\{ \frac{1}{2} (\psi_\xi^2 + \psi_\eta^2) + F^{-2} \left( \psi \eta - \frac{1}{2} \psi^2 \right) \right\} d\xi d\eta \cdots \cdots (3)$$

を考え、FEMによる数値計算を行なった。図-1はメッシュの一例を示すものである。

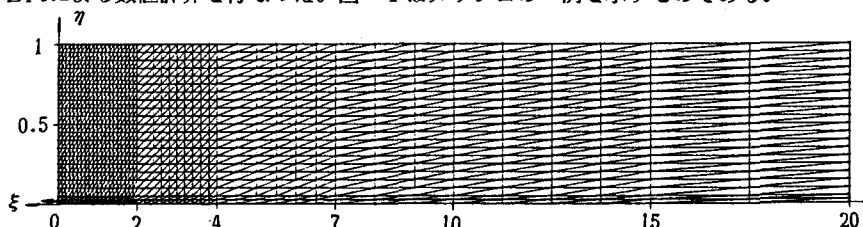
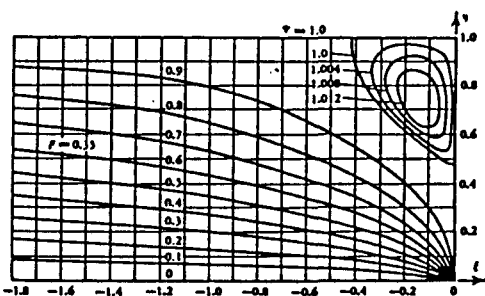


図-1 計算メッシュの一例

$F = 0.35$ のときの解析解を図-2に、また、同じ条件下でのFEM計算結果の一例を図-3に示す。

FEM計算においては、厳密な意味でのラインシンクや無限遠点の設定ができない。このためシンク部分のメッシュ厚や計算領域（吸い込み点から上流境界条件までの距離）を変えて、解析解と比較した。その結果、① $F > 0.5$ の計算では、シンク部分のメッシュ厚が $0.1d$ 程度、上流境界条件までの距離が $10d$ 程度であっても誤差はきわめて小さい、② $F$ が $1/\pi$ に近い場合の計算では、メッシュ厚 $< 0.01d$ 、上流境界条件までの距離 $> 20d$ とした方がよい、③ただし、メッシュ厚を薄くし過ぎると3角形メッシュが

図-2  $F=0.35$ の場合の解析解

偏平になりすぎたための誤差が卓越してくるので注意を要する、等のことが解った。なお、計算領域の形状を現実の貯水池に近い形にして同様の計算を行なった計算結果の一例を図-4に示す。

**3. 貯水池実験での測定例** 一方、筆者ら<sup>2)</sup>は、現実の貯水池の模型を用いた実験的検討も進めているが、図-5はその計測データの一例を示すものである。図中、流速分布はシンク（越流部）より上流 1.8m および 4.6m（図-4中のA点およびB点）のものであり、水温はシンクより約 1m 上流の表層と底層（水深 50 cm）のものである。なお、同図は諸量の時間的変化を示すものであるが、横軸の時間刻みは一定していない。

同図と実験中の観察から、以下のように推察される。

- ①初期の流速分布から見れば、越流（取水）開始後、その影響が次第に上流に及んでいるように見受けられるが、
- ②比較的水温の高い流入水が測定地点に到達したことによって表層水温が上昇して以後の流速分布を見れば、流入水の影響も次第に下流に及んでいて、
- ③流量や水温等が変化する状況下では、こうした下流端からの影響と上流からの影響の双方が、貯水池内の状況を形成している。

したがって、2. で述べたような定常取水の計算をただちに応用することは極めて困難である。しかしながら、取水および流入に対応した流動層厚を別途に与え、その流動層を計算領域として上述の計算を行なえば、ある程度妥当な計算結果が期待できるようにも見受けられる。その場合、時々刻々、場所的にも変化する流動層厚をいかに簡単に見積れるかが本計算の有効性を左右すると思われる。

**4. 結言** 以上、簡便な2次元モデル開発のための準備的計算と実験の結果を報告したが、目下の所まだほんの一步を踏み出したに過ぎない。今後、実験的に現象の詳細な把握に努めるとともに、解析モデルにはストリームチューブ法の導入も考えている。

#### 【参考文献】

- 1) Yih, C.S: Dynamics of Nonhomogeneous Fluids, Macmillan, 1965
- 2) 羽田英明、中村俊六、四倉信弘：貯水池濁水現象の模型実験、平成元年度土木学会中部支部講演概要集、1990

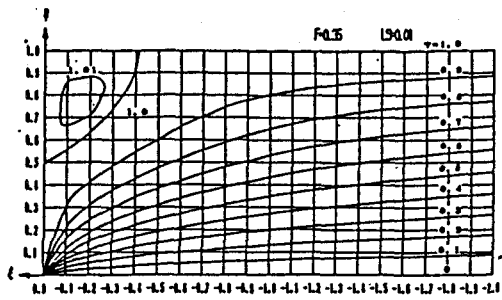


図-3 F=0.35の場合のFEM計算結果

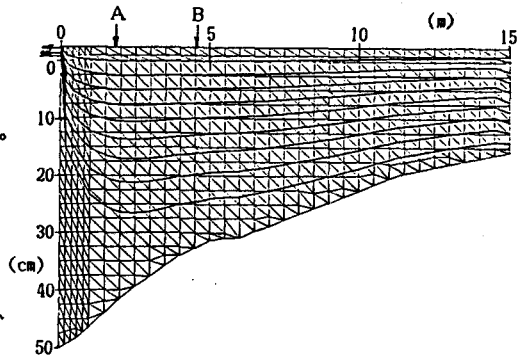


図-4 貯水池形状を計算領域とした計算結果

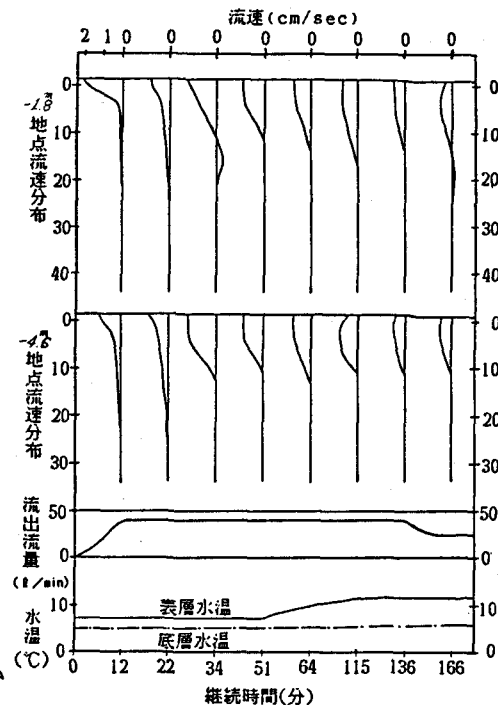


図-5 計測データの一部