II-241　選択取水問題のＦＥＭ解析研究

川崎重工業㈱　正員　鬼束博文　正員　坂井藤一
正員　門屋大二　正員　裙本龍雄

１．まえがき

選択取水問題は、従来より数多くの研究がなされており[1]取水性状を示すパラメータが実験的あるいは解析的に求められている。これらのデータは実際の取水設備の設計において用いられているが、設備の型式等により、その適用範囲が制限されるなど、設計手法が確立されているとは言い難い現状である。著者らは、以前水理実験により、広範なパラメータの特性を把握するため研究を行い、その結果の一部は報告している[2][3]。ここでは、このような選択取水問題を解析的に研究する立場から実施したＦＥＭ（有限要素法）数値解析による検討結果を示す。連続成層域からの取水を対象とし、２次元 Point Sink および有限幅取水口流れと軸対称問題について報告する。

２．基礎方程式

図１に示すような２次元定常流れにおいて、非粘性、非拡散性を仮定する。 Yih変換を行い流れ関数を導入すると、無限遠方での境界条件を考慮した基礎方程式は次式となる。

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial\xi^2}+\frac{\partial^2}{\partial\eta^2}\right)\Psi+F_d{}^{-2}\eta=-F_d{}^{-2}\Psi$$

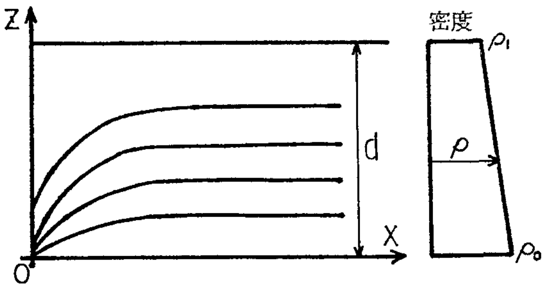

図１　２次元選択取水問題

無限遠方境界条件

$$\Psi=-\eta,\qquad \rho=\rho_0-(\rho_0-\rho_1)\eta$$

ここで、

$$\xi=\frac{x}{d},\quad \eta=\frac{z}{d},\quad \Psi=\frac{\psi'}{U'_\infty d},\quad F_d{}^{-2}=-\frac{g}{\rho_0}\frac{d\rho}{d\Psi}d\Big/U'^{2}_\infty$$

ψ' : Yih 変換における流れ関数

U'_∞: 変換された速度場における無限遠方上流部の一様流速

上式にＦＥＭによる定式化を施すと次のようになる。

$$(\mathbb{K}_1+\mathbb{K}_2)\Psi=\mathbf{Q}\qquad \text{ここで、}\ \mathbb{K}_1=\iint(\Phi_{\alpha,\xi}\Phi_{\beta,\xi}+\Phi_{\alpha,\eta}\Phi_{\beta,\eta})dV\ ,\ \mathbb{K}_2=Fd^{-2}\cdot\iint\Phi_\alpha\Phi_\beta dV$$

$$\mathbf{Q}=\int\bar{t}\Phi_\alpha ds-Fd^{-2}\cdot\iint\Phi_\alpha\cdot\eta\, dV$$

３．解析結果および考察

図２は、密度フルード数 Fd をかえた場合の２次元 Point Sink の解析結果である。 Fd = 0.33の場合、吸い込み位置付近の上層部に渦領域が発生しており、Fdがさらに小さくなるに伴い、その領域は上流側に広がってゆく。Fd = 0.3175 において、遠方での流線は底面とほぼ平行となり、流動層と滞流層との分離がなされた流況となる。さらに Fd が小さくなると、渦領域はさらに成長し、ついには波状流線が生じる。この波状流線は、Ingberら[4]が示したように、無限遠方での境界条件に対する非現実的なフローパターンでありこれの発生限界を分離取水の限界と考えると、分離取水限界性状等を算定することが可能と考えられる。このようにして求めた限界密度フルード数 Fdc = 0.3175 は Yihにより解析的に求められた Fdc = 1／πによく一致しており、本手法の妥当性を示している。

図３は、有限幅取水口で取水盤形状を考慮した表層取水モデルの解析結果例である。これからわかるように、本手法はＦＥＭを用いることにより、任意の取水設備形状の場合を容易に解析することができ、いろいろな取水条件の変化に応じた解析に適用が可能である。

図４は、軸対称表層取水流れの解析例である。軸対称問題については、大西ら[5]が軸対称密度フルード数

G をパラメータに限界量を算定しているが、本手法によって求めた Gcrは、大西らのものよりやや大きめの値になる傾向がある。これについては、限界値の定義も含めて、さらに詳細な検討が必要である。

4．まとめ

２次元および軸対称の選択取水問題にＦＥＭ解析を適用し、この手法の妥当性と有効性を示した。

今後は、軸対称流れの取水特性の詳細な検討を行うとともに上流側の密度分布が任意の場合の解析手法等について引き続き検討していく予定である。

［参考文献］

1) 玉井信行：『密度流の水理』新体系土木工学 22 (1980)
2) 門屋他：連続成層形貯水池における選択取水設備の取水性状、第41回年講(1986)
3) 坂井他：選択取水ゲートの取水特性に関する実験研究、川崎重工技報97号(1987)
4) Ingber,M.S. et.al.: Numerical Solution of Stratified Flow Into a Sink, Tran. ASME, Vol.109(1987)
5) 大西他：貯水池の選択取水に関する研究、土木学会論文集第 369号 (1986)

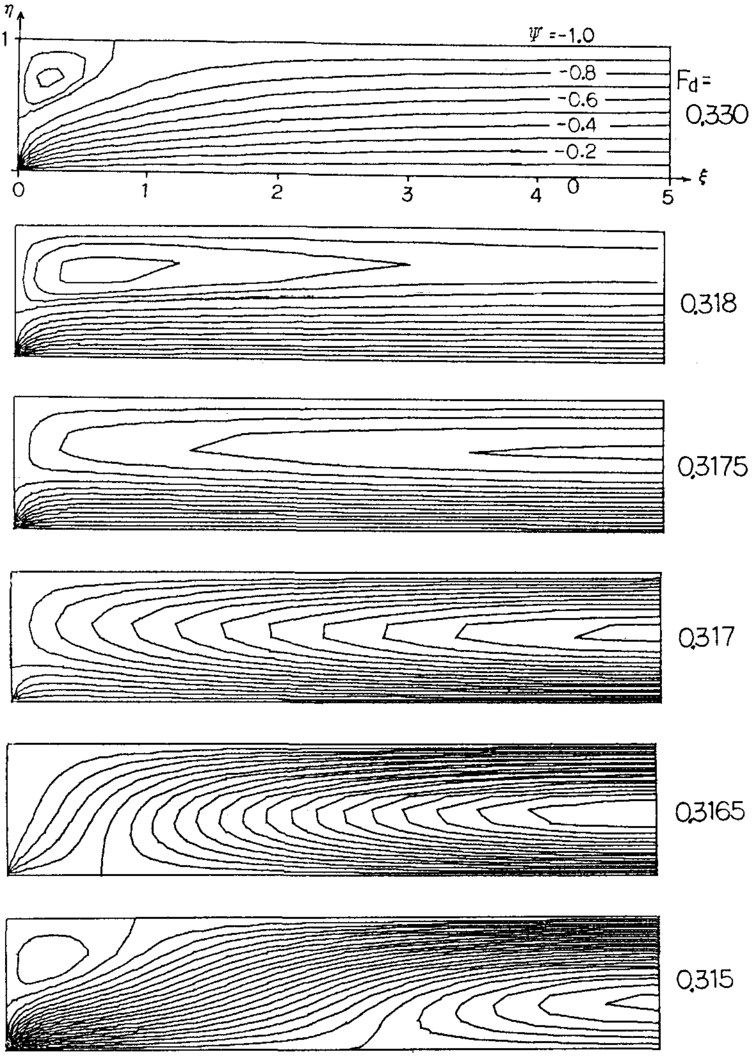

図２　２次元 Point Sink 流れの流線

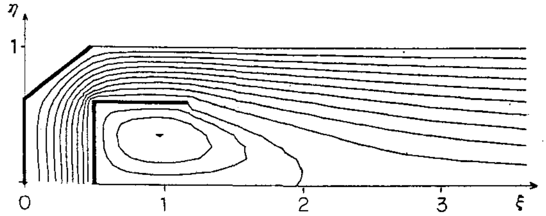

図３　２次元表層取水流れ (Fd=0.325)

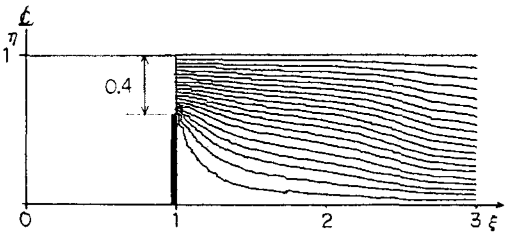

図４　軸対称表層取水流れ (G=0.63)