II-180 河口貯水池における海水排除に伴う定常地下密度流の解析について

九州産業大学　正員　嵜山　正常

1. まえがき　河口貯水池による水資源の開発が各地で提唱されだしてすでに久しい。河口貯水池には、その長所として、洪水時あるいは常時の無効放流水の活用、水利用地域の近くに貯水池があることによる導水経費の節減、埋立造成地への貯水池掘さく土砂の利用、海岸保全対策物としての貯水池用堤防の効用あるいは広い貯水池水面が緑地帯のかわりとして果す役割など多くの期待がもたれている。しかし貯水池の水位がある高さ以下に低下した場合、海水が周辺地盤や堤防下部などから浸透して貯水池内へ侵入し、拡散すると云う大きな短所があり、この海水排除の技術面で根本的な対策がえられなく、各地の計画もまだ本格的な実現をみせていない。この海水排除の研究においては、いろいろ複雑な境界条件下の密度流的解析がその対象となるが、本報は筆者がこれまで行なってきた研究のうち、海水排除に関する二次元定常地下密度流の解析に関する部分を総括的に整理するとともに、解析技術上の一般的方向づけを意図したものである。

2. 解析的手法　一般に地下密度流にあらわれる境界は、淡水の自由表面、淡海水境界面、等ポテンシャル面、不浸透（固体壁）面，浸出面などが考えられる。そこでこれまでにもこれらの境界によって規定される流れの境界条件が比較的簡単な場合には等角写像の理論にもとづく hodograph 法や、Zhukovsky 関数による方法などがその解析手段として用いられ、多くの成果が発表されている。しかし境界条件がかなり複雑になり、流れの写像関数をうることが困難な問題に対しては、その実用的要求にもかかわらず、あまり研究されていなかった。1967年 Srisakdi Charmonman が後に述べる比較的単純な流れに用いた次の方法はこの種問題の解析に有力な方向を与え、筆者はこの手法をより複雑な境界条件下の流れの解析に活用するため、その計算技術上の問題を検討した。以下にその概要をのべる。すなわち、速度ポテンシャルを Φ，流れ関数を Ψ，物理面の座標を x および y であらわせば、周知のように

$$\frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2}=0 \quad , \quad d\Psi=-\frac{\partial\Phi}{\partial y}dx+\frac{\partial\Phi}{\partial x}dy \quad \cdots\cdots (1)$$

が成立するが，関数行列式

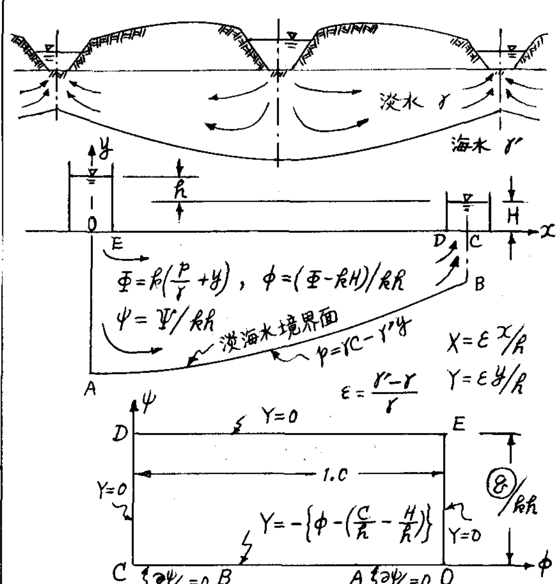
$$J=\begin{vmatrix}\dfrac{\partial\Phi}{\partial x} & \dfrac{\partial\Phi}{\partial y}\\[2mm] \dfrac{\partial\Psi}{\partial x} & \dfrac{\partial\Psi}{\partial y}\end{vmatrix}=u^2+v^2\neq 0 \qquad \cdots\cdots (2)$$

が成立するので

$$\frac{\partial^2 y}{\partial\Phi^2}+\frac{\partial^2 y}{\partial\Psi^2}=0 \quad , \quad dx=\frac{\partial y}{\partial\Psi}d\Phi-\frac{\partial y}{\partial\Phi}d\Psi \quad \cdots (3)$$

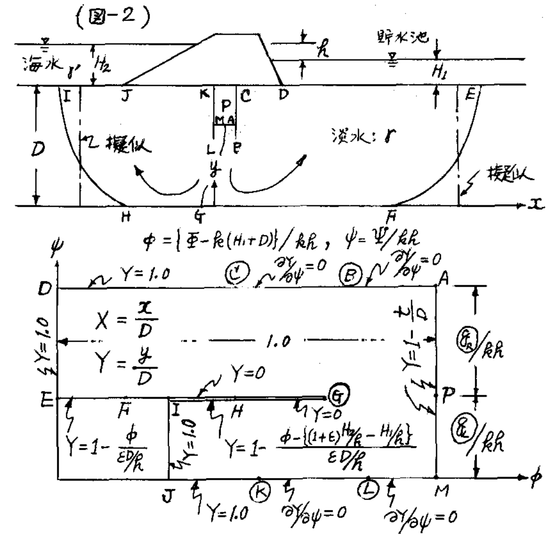
も成立する。したがって式(1)により Φ および Ψ を x および y の関数として求める通常の方法とは逆に y および x を Φ および Ψ の関数として求めても差支えない。そこで淡海水境界面に相当する $\Phi\Psi$ 面での y の値が容易に規定され、また等ポテンシャル面や不浸透面に相当する $\Phi\Psi$ 面での境界で y の値やその微分係数が与えられれば、これを境界条件として式(3)に示す y に関する Laplace の式を解くことができる。さらに x の値も Φ あるいは Ψ 一定の条件でそれぞれ Ψ あるいは Φ に関して積分すれば求めることができる。Srisakdi Charmonman はこの手法により図−1に示す流れを検討している[1]。筆者はこ

（図−1．By Srisakdi Charmonman）

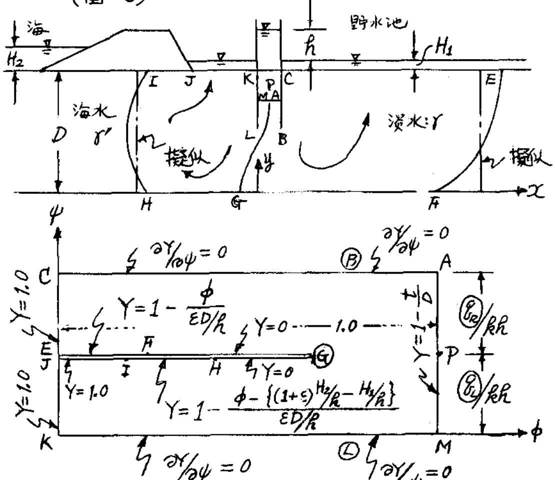


の手法を図－２に示すようなかなり複雑な境界条件下の流れに適用するにあたって、次のような困難に遭遇した。すなわち、図－１のような比較的簡単な境界条件下の流れでは、地下密度流の特性としてAおよびB点のΦは与えられ、仮定すべき量はQのみであり、これによって式（３）によりyおよびxを求め、実用的物理面と対比すれば事足りるが、図－２に示すような流れにおいては仮定すべき物理量はΦΨ平面に○印で示しているようにB, C, G, KおよびL点のΦ，それに右および左方向への淡水注入量Q_RおよびQ_Lなど非常に多い。そこでこれらの未知量を単に試行錯誤的に推定してyおよびxを求めても、えられた流れの場は実用的物理面とはほど遠いものであることが多い。そこでこれらの推定にあたって筆者は次の方法を提案している[2]。すなわち淡海水境界面を形成させたい位置付近に固定境界面を想定し、地下密度流の特性（いまの場合は $\Phi_H-\Phi_I=\Phi_{\bar{H}}-\Phi_E$）を考慮した擬似的物理面を導入し、この物理面で式（１）を解き各特異点のΦおよびΨを求める。次にこれらを実際の物理面に対応するΦΨ面に第一近似値として適用し、まず式（３）をみたすyを求め、次にxを求める。このようにすれば若干の試行で目的にかなった物理面がえられる。具体的には電子計算機を利用して数値解を求めることになるが，hodograph法やZhukovsky関数などを用いても解決されない複雑な領域にまで適用できることが大きな利点である。次に図－３に示す具体例について詳述しておこうと考える。

（図－２）



（図－３）



３．計算例　図－３に示す流れは河口貯水池の淡水位が下がった場合に河口ぜき近くの貯水池内地盤に淡水を注入してウォーターカーテンを形成させ、海水をしゃ断するものである。この流れのΦΨ面は図のようになるが、ここでは矢板先端など物理面の特異点B, LおよびGなどのΦはあらかじめ与えられてはいない。また左側への注入量Q_Lや、右側への注入量Q_Rなどもあらかじめわかってはいない。したがってΦΨ面の形状はわかっても、これらの特異点がΦΨ面上どの位置にあるかわからず、またQ_L，Q_RがわからないからΦΨ面の大きさもわからない。そこで図－３に示すように、ほぼウォーターカーテンとして希望する淡海水境界面を固体壁でおきかえた擬似的物理面を導入し、この中で通常のΦに関するLaplaceの式（１）を数値解により解く。いま矢板や淡水注入圧などを変えた場合のこれらの解のうちで$\bar{H}$, HおよびI点のΦがこの位置の海水側のΦと一致する解をとる。ついでこの場合のΨを求める。これによってえられた物理面の特異点B, LおよびGのΦの値とQ_LおよびQ_Rによって、これらの特異点のΦΨ面における第一近似の位置とΦΨ面の大きさが定まる。したがってこの中でyに関するLaplaceの式（３）を数値解により解くことができ，ついでxを求めることができる。このようにしてえられたウォーターカーテンは所期のものとほぼ一致する。

参考文献　1)　Srisakdi Charmonman：'COASTAL PALALLEL CANALS WITH INTERMEDIATE DRAINS' proc. of ASCE, Hy. Div, Vol 93, 1967

2)　崎山正常，青柳茂献：'河口貯水池塩水しゃ断の一方法' 第27回年次講，II-242，1972