

混合域を考慮した断面二次元地下密度流の解析

宮崎大学工学部 正 員 杉尾 哲

宮崎大学大学院 学生員○森 耕司

1. はじめに

海岸浸透地盤内においては淡水と塩水との間に必ず混合領域が存在するが、混合領域の厚さは浸透層の厚さに比べて非常に小さいことが多く、一般に、混合領域内の流れは全領域の流れに影響を及ぼすほど支配的にならない。また実地盤における分散係数の評価には困難な点も多い。したがって、厳密な分散解析を行わず、混合領域の存在を近似的に考慮する程度の解析を行うことが考えられる。本報では、この方法で得た塩水侵入の傾向が分散解析結果とどの程度類似し、相違するのかを検討した。ここに、流れの場として不圧浸透地盤を考え、解析手法として残差流手法(Residual flow procedure)を用いた。

2. 残差流手法

残差流手法では自由地下水面を解析領域の境界とせず、自由地下水面より上側の不飽和領域を含めた全領域を解析対象とする。しかし不飽和領域内の体積含水率を変数として扱わず、図-1のように透水係数を圧力水頭関数の関数と考えることによって、解析を行う。すなわち、全領域を飽和領域とみなして与えられた境界条件で解くと、負の圧力を持つ領域が得られるので、この部分を不飽和領域とみなし、透水係数を正の圧力の部分に与える透水係数よりも小さな値を与えて解析する。このことにより、結果的に飽和-不飽和解析と同じ結果が得られると考えている。解析上は、小さな透水係数を与えることによって残差流成分が生じ、この成分を利用して解析することに、この解析手法の特徴がある。

この解析手法を、図-3のように塩水が侵入した流れの場にも適用する。すなわち浸透領域下流端に海水圧を与え、全領域を淡水だけの流れとみなして解くと、領域下流端と同じ水頭(図-2の h_s)を持つ位置が領域内に得られるので、ここを淡塩境界面と考え、これより下流の部分を、塩水侵入領域(図-3の R_3 領域)とみなす。この時、淡塩境界面上側の淡水が淡塩境界面を横切ることについては制限されなければならないから、図-2のように淡塩境界面の近傍を含めて、その下流側では透水係数に小さな値を与える。

3. 基礎方程式

図-3の流れは、淡水水頭 ϕ について式-1で表現される。

$$\text{div}(k(h)\text{grad}\phi)=0 \quad (1)$$

$$k(h)=\begin{cases} k_0-f_r(h) : R_1 \\ k_0 : R_2 \\ k_0-f_s(h) : R_3 \end{cases}$$

ここに $k(h)$ は圧力水頭 h の関数として表現した透水係数である。

式-1の汎関数は式-2で表現され、

$$\Pi(\phi)=\int_R \left\{ \frac{1}{2} (k_0-f) \left[\left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right)^2 \right] \right\} dR \quad (2)$$

式-2を最小とおくことにより有限要素法を求めると

$$[k_0]\{e\}-[k_r]\{e\}-[k_s]\{e\}=0 \quad (3)$$

となる。

式-3の第2項と第3項が残差流成分である。

4. 数値解による検討

不圧浸透層の分散解析については、粉井らによって定常解が得られている。図-4の実線 $H_1=122\text{cm}$ 、 H_2

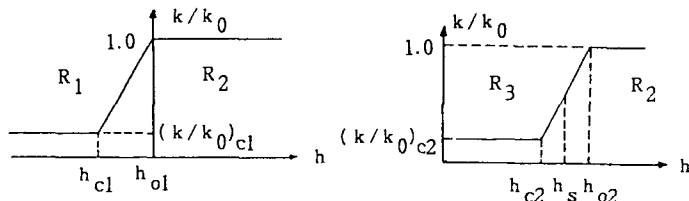


図-1

図-2

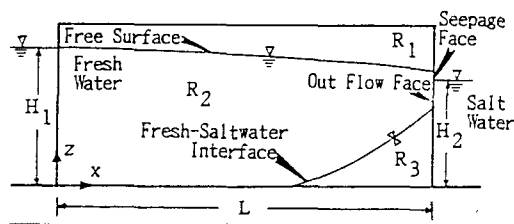


図-3

$=40.7\text{cm}$, $H_2=38.5\text{cm}$, $\rho_s=1.03$, $\rho_f=1.0$ の流れの場合において、縦分散長 0.3cm 、横分散長 0.03cm 、分子拡散係数 $1\times 10^{-5}\text{cm}^2/\text{s}$ として求められた数値解で、藤野による実験結果(点線)と比較されている。そこで、これと同じ境界条件のもとで解いて検討することとした。

図-5は、図-2において、塩水の混合領域を、淡塩境界面を挟んで $h_{02}-h_s=h_s-h_{c2}=0.03\text{cm}$ の部分と考え、 $(k/k_0)_{c2}=0.1$ 、図-1において $h_{01}=0$, $h_{c2}=-10\text{cm}$ ($k/k_0)_{c1}=0.1$ として求めた領域内節点の水頭から、等水頭線を描いたものである。上流端は等水頭線と一致するが、海水圧力作用する下流端では水頭が水深方向に次第に大きくなる分布を示すため、領域内の水頭分布は下流側で複雑になる。

図-6は水頭から圧力水頭を求め、下流端に与えた海水の圧力水頭 s との差 Δh を求めて、その等値線を描いたものである。 $\Delta h=0$ の曲線が淡塩境界面に相当するが、この曲線形状は図-4の実験結果と良く一致している。また $\Delta h>0$ の部分は淡塩境界面とはほぼ平行して等値線が形成されるのに対し、 $\Delta h<0$ の部分は下流端でも $\Delta h=0$ となるため、上に凸の曲線分布を示している。なお図-5の破線は図-6で得た淡塩境界面を描いたものであるが、その下側の水頭分布から考えると、塩水領域には海側から侵入した塩水の陸側へ向かう流れと、淡塩境界面を横切って塩水と混合した淡水の流れがあり、二つの流れは衝突した後に上向きに方向を転じ、淡塩境界面に沿って海側へ流出している様子が分かる。分散解析結果では「50%より高い濃度域では循環流の流況を示し……50%より低い濃度域では……淡水の流れによって海側へ流出している」となっており、本解析結果とは若干傾向が異なっている。

図-7は $\Delta h=0.03$, 0 および -0.03 の等値線を示したもので、 $\Delta h=-0.03$ 下流端付近で下へ伸びた部分を除けば、図-2の混合領域を示していることになる。形状としては図-4と良く類似しているが、幅は図-4より狭く、図-4の計算よりも分散の弱い混合状態に相当していると考えられる。図-2の $h_{02}-h_s$ の値を大きくし、淡塩境界面より下の曲線は陸側の形状を海側へそのまま延長すれば、図-4の混合領域と類似した結果を得ることは可能であり、以上のような、混合領域を考慮した近似解析で、塩水侵入問題を塩水の分散を含めて検討できることが確かめられたものと考えている。

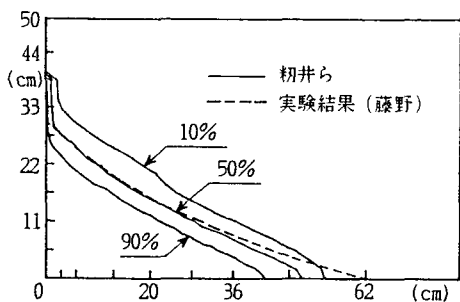


図-4

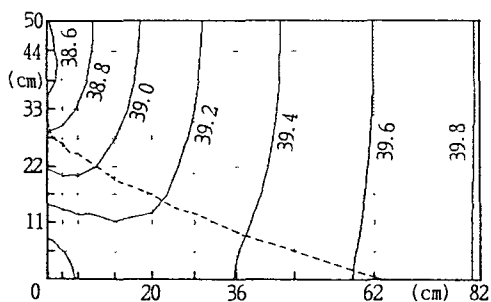


図-5

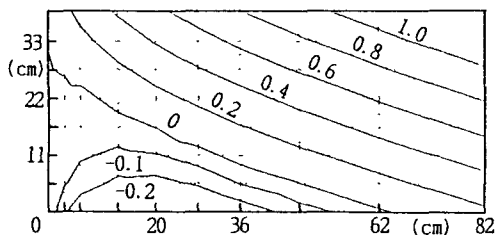


図-6

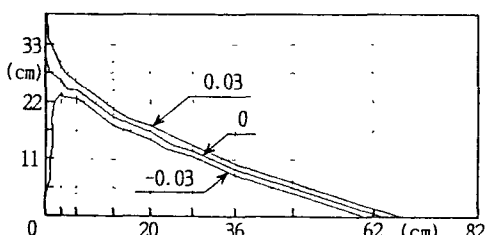


図-7

参考文献 1) 初井ら：九大工学集報、第59巻、第6号、pp.794~798, 1986. 2) Desai, & Li : Adv. in Water Resour., Vol.6, pp.27~35, 1983. 3) 森、杉尾：第42回年講第2部、pp.232~233, 1987.