

II-101 Residual Flow Procedure による断面二次元地下密度流の解析（第3報）

宮崎大学工学部 学生員○森 耕司 正 員 杉尾 哲

1. はじめに

前報までは、Residual Flow Procedure により、均質地盤へ海水が侵入する断面二次元流について検討した結果を報告した。この解法は、淡水飽和領域以外の全領域を一括して解くことに特徴があり、自由地下水面および淡塩境界面が変動してもメッシュを変更せずに解析するため、従来の方法より簡単に解析が行える。しかし第1報では定常解の淡塩境界面の算定において、淡塩境界面が実験結果よりもかなり低い形状となってしまうために、海側境界に与える海水の水頭をわずかに減少させて与えることによって実験結果に近い値が得られるよう処理していた。今回は、要素をより細分割することにより、海側境界の処理を必要としないことが確認されたのでその結果を報告する。

2. 基礎方程式

図-1の全領域の淡水の水頭 ϕ の変動を次式で表す。

$$S \cdot \partial \phi / \partial t = \text{div} (k(p) \text{grad} \phi) + Q \quad (1) \quad k(p) = \begin{cases} k_0 - f_F(p), & R_1 \\ k_0, & R_2 \\ k_0 - f_S(p), & R_3 \end{cases}$$

式-1の汎関数を最小とおくことにより有限要素式を求めると

$$[k_0] \{q\} - [k_{fs}] \{q\} + [S] \{\dot{q}\} = \{Q\} \quad (2)$$

となる。ここに q は各節点の水頭であり左辺第二項が Residual Flow 成分である、定常状態の流れの場合、左辺第三項を消去した式から解を求める。マトリックス $[k_{fs}]$ が未知なので計算は試算法を用いる。ここに n 回目の計算は式-3より求める。

$$[k_0] \{q\}^n = \{Q\} + [k_{fs}]^{n-1} \{q\}^{n-1} \quad (3)$$

3. 解析手法

不飽和領域の透水係数の分布は

図-2のようにモデル化して考え、

$p_c/w < -10\text{cm}$ 範囲で透水係数が $1/10$ になるとする。海水領域内の淡水流動のための透水係数

$[k_0 - f_S(p)]$ は、Abrupt Interface の仮定を用いるので、

図-3の様に急な勾配で変化させるものとし、海水領域で透水係数が $1/10$ になるものとした。自由地下水面の位置は、各節点の q から圧力を算定して、各要素の平均圧力を求め、自由地下水面の境界条件 $p=0$ を満足する位置を内挿計算により算出することによって得られる。また淡塩境界面の位置は、同様に各要素の平均圧力を求めて、図-4の様に淡塩境界面の境界条件 $p_r = p_s$ を満足する位置を内挿計算により算出して決定した。

なお海側境界より外側に、領域内の要素幅の $1/5$ 幅の要素を設け、透水係数を領域内の 15 倍にしている。これを屈折帯と呼び、屈折帯の外側で境界条件を与える。このことによって実領域の海側境界上では領域内と同様の解析を行い、海側境界上の自由地下水面および淡塩境界面の位置が算定される。

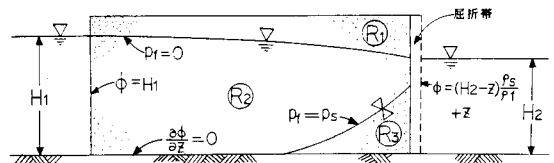


図-1 解析領域と境界条件

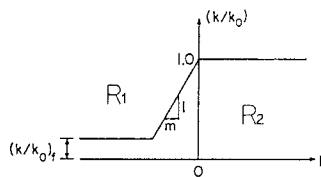


図-2 R1領域の透水係数

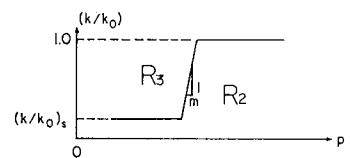


図-3 R3領域の透水係数

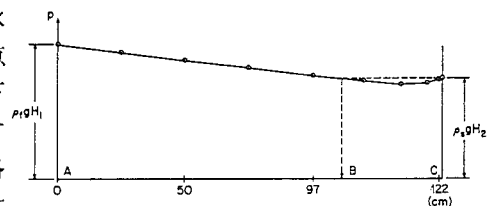


図-4

4. 計算結果

これまででは、四角形一次要素を用いていたが、要素分割が粗すぎたためか、十分な解析精度がえられず、淡塩境界面の算定に支障をきたしていた。そのため、式-4で $\alpha=0.97$ と $\phi=H_2+(H_2-Z)(\rho_s-\rho_f)/\rho_f \cdot \alpha$ (4) おいて得られる値を、屈折帯の外側で海側境界値として与えることによって処理していたが、海側境界付近の四角形要素を三角形要素に分割することによって、 $\alpha=1.0$ とした再計算を行った。今回得られた解析結果を砂モデルによる実験結果および $\alpha=0.97$ おいて四角形要素で求めた解析結果と比較すると図-5の様になり、いずれとも良く一致している。すなわち、海側境界付近の領域を細分割することによって、式-4の人為的な処理が不必要であること、および四角形要素で用いた $\alpha=0.97$ の補正がほぼ適当であったことが確かめられた。次に、同様の分割で、均質な地盤に矢板が挿入された場合について解析し、得られた結果を、実験結果および境界要素法による解析結果〔藤野、1985〕と比較したものが図-6であり、この場合にも良く一致することがわかる。

同じ手法を用いて、矢板の先端位置の深さに、難透水層が水平に存在する場合についても算定し、その結果を図-7に示している。難透水層は厚さが $H_2/8$ で、下流端から帯水層長さの6割の区間に帯状に存在するものとしている。図-7の実線は難透水層の透水係数 k' と透水層の k との比が、 $k'/k=1/2$ の場合であり、一点鎖線は $1/10$ の場合の結果を示している。参考までに図-6の均一地盤の結果を破線で示している。この図-7より帯水層が互層になっている場合には、難透水層の透水係数によって淡塩境界面の形状が大きく変化され、わずかに $1/10$ 程度の難透水層によって、上下二層地盤に分割されることがわかる。なお $k'/k=1/10$ の場合、矢板下流側の自由地下水面を持つ淡水領域は、上流側の淡水領域からの淡水補給を受けないので、雨水による供給がないかぎり、ついには塩水化してしまう状態にあると考えられる。逆に矢板上流側の淡水領域は難透水層の存在によって水頭が上昇し、塩水化されにくくなる傾向にある。

5. 結び

以上のように要素をより細分割することにより、前報のような海側の処理を必要としないことが確認された。また互層地盤の場合、難透水層の透水係数で淡塩境界面の形状が大きく異なることがわかった。

参考文献；(1)DESAI&LI：Adv.in Water Res.,Vol.6,pp.27-35 March,1983

(2)藤野：地下水学会誌、NO.27,VOL.2,pp.51-60,1985,5月

(3)杉尾、DESAI：第41回年講第2部、pp.215-216,1986

(4)森、杉尾：昭和61年度西部支部、pp.270-271,1987

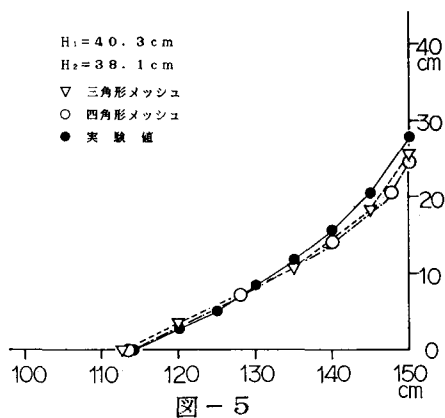


図-5

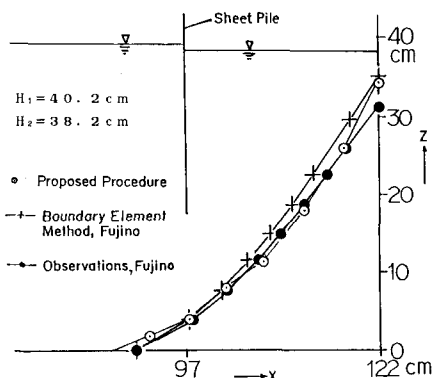


図-6

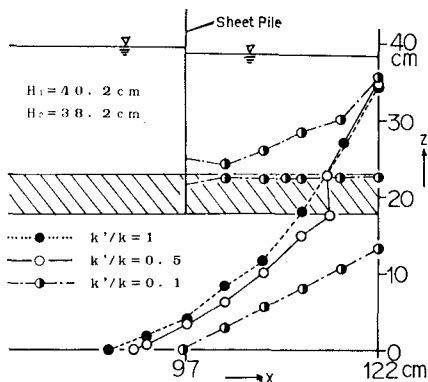


図-7