

Residual Flow Procedure による断面二次元地下密度流の解析 (第2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おこなえる。しかし前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。

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

式-1の汎関数を最小と置くことにより有限要素式を求めると

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

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 $[k_{rs}]$ 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。

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

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、 $p_c/w < -10\text{cm}$ 以下で透水係数が $1/10$ 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、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。

4. 計算結果

前報では、図-4に示す四角形一次要素を用いていたが要素分割が粗すぎて、淡塩境界面の算出に支障をきたしたと考えられたので、本報では三角形一次要素を用いた。均一な不圧浸透層内へ海水が侵入

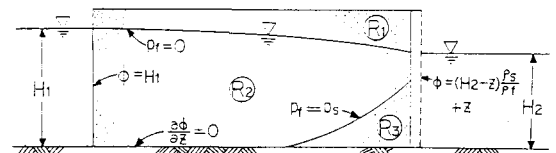


図-1 解析領域と境界条件

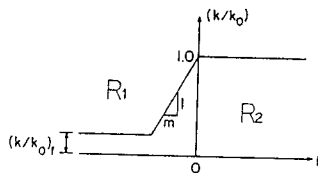


図-2 R1領域の透水係数

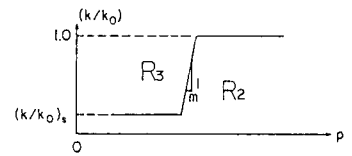


図-3 R3領域の透水係数

	要素数	節点数	演算時間
図-5	92	62	2:29
図-6	100	66	2:59
図-7	140	90	5:15

表-1

する場合の断面二次元流の解析に用いた三種のメッシュ分割を図-5～7に示している。図-5は、図-4の $0 \leq x \leq 135\text{cm}$ の区間で二つの四角形要素を二つの三角形要素へ分割し、 $x > 135\text{cm}$ の区間で一つの四角形要素を二つの三角形要素へ分割したものである。図-6は $x = 120\text{cm}$ の位置で分割方法を変え、図-7は $x > 135\text{cm}$ の区間を更に細かく分割したも

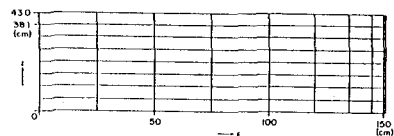


図-4

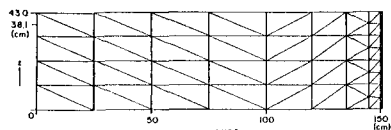


図-5 Mesh No.1

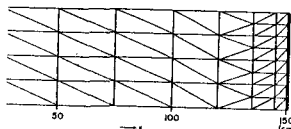


図-6 Mesh No.2

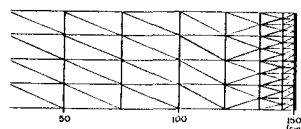


図-7 Mesh No.3

のである。これらの要素数、節点数およびPC-9800、MS-FORT RAN による一回の演算時間を表-1に示している。これらの計算結果を図-8に示し、砂モデルによる定常境界面もあわせて比較している。計算された境界面は互いにより相違せず似た形状になっており、要素数の変化による傾向はみられない。この結果、三角形要素を用いる場合、図-5あるいは図-6程度の要素分割で適当であろうと考えられる。また四角形要素で海側境界を処理して求めた境界面が、図-7の最も密な要素で求めた形状と良く一致している事は、前報で用いた境界の処理が全くおかしな処理でなかった事を示していると言える。次に、均質な地盤に矢板が挿入された場合について計算した。この場合の要素を図-9に示し、その計算から得られた塩漬境界面を図-10に示している。図中には、図-3の傾き m を、0.005と変えた場合も示している。 m の値をかえると、全体的に境界面が上昇する傾向にあるが、あまり大きな相違はない。これらを砂モデルによる実験結果（藤野、1985）と比較すると、海側境界で低く、不透水境界上で長く算出されていることがわかる。不透水境界上で長く算出されたことについては、 $75 \leq x \leq 97$ の区間の要素が、右隣の $97 \leq x \leq 102$ の区間の要素に比べて水平方向に急に長くしてしまったことで、塩漬境界面先端付近の解析精度がおちたものと考えられる。海水境界については、図-8と同じ傾向を示し、本解析手法の特性によるものと考えられる。

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。これにより、非定常の解析において、前報よりさらに簡便な解析が可能となったものと考えられる。

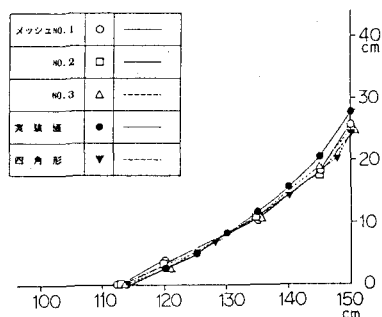


図-8

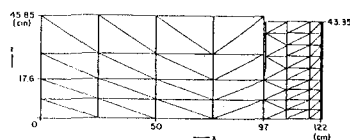


図-9

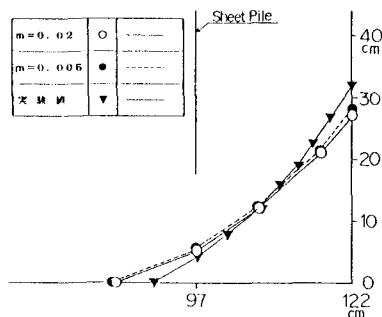


図-10

参考文献：(1)Sugio&Nakada: Protection of groundwater reservoir against seawaterintrusion,4th APD-IAHR,pp.1567-1578,1984

(2)BEAR: Hydraulics of groundwater,NewYork,McGraw Hill Inter.Book Co,pp.425-433,1979

(3)DESAI&LI: A residual flow procedure and application for free surface flow in porous media,Adv.in Water Res.,Vol.6,pp.27-35 March,1983

(4)藤野: 境界要素法による地下密度流の数値解析及び遮水壁の塩水侵入抑制の効果について 地下水学会誌, No.27,VOL.2,pp.51-60,1985,5月

(5)中田、白地、杉尾: 淡水流出端を考慮した2次元地下密度流の数値解析(第3報)、第37回年講第2部、pp.415-416,1982

(6)杉尾、DESAI: Residual Flow Procedure による断面二次元地下密度流の解析、第41回年講第2部、pp.215-216,1986