

浸透地盤に侵入する塩水域の非定常解析

宮崎大学工学部 杉尾 哲, 勢良 学
東和大学工学部○中田 欣也

1. まえがき

不圧浸透層を侵入する塩水楔の非定常解析には種々の手法があるが、筆者等は淡塩水と非混合流体とみなし、これを準一様流の仮定を用いて解析する手法を用いてきた。非混合流体の仮定については、これまでに得られた実測結果から、淡塩境界面が鉛直方向に大きく降下する場合を除けば、かなりの精度で適用できることが確認されている。一方、準一様流の仮定については、解析が簡単であるにもかかわらず、適度の精度が得られる利点を持っているが、淡塩境界面の先端位置と海側境界においては、その取扱によって、解析結果に差異の生ずることも知られている。本報はこれまでに検討してきたこれらの境界条件の取り扱いについてまとめたものである。

2. 海側境界での取り扱いについて

海側境界の形状は、一般には鉛直面ではない。境界形状が平坦であるほど準一様流の仮定では取り扱いが困難になるが、解析の対象として考えている地点の海岸の形状が鉛直面に近いことから、鉛直面の海側境界における淡塩境界面の取扱いを検討した。非定常解析を行う際の淡塩境界面の位置を、物理的な条件から求めようと種々検討したが、適当な方法を見い出せないでいる。現在の所、海側境界 $[I=N]$ に隣接する陸側の3断面 $[I=N-1, N-2, N-3]$ での淡塩境界面の位置を用いて2次方程式を立て、この方程式を整理した次式から曲線外挿する方法を採用しているが、ある程度の精度が得られているものと考えている。

$$h_s(N) = 1.028 * [3 * h_s(N-1) - 3 * h_s(N-2) + h_s(N-3)] \quad \text{————— (1)}$$

実用的にはもっと少ない断面の境界面位置を用いて外挿できるように検討すべきであるし、外挿式の補正係数が差分間隔の変化によってどの様になるかなどを、これからの検討課題としている。

3. 境界面先端位置での取り扱いについて

塩水が淡水の下部に侵入している領域での基礎方程式は次式で表わされる。

$$n \frac{\partial h_s}{\partial t} - n \frac{\partial h_s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(h_f - h_s) \frac{\partial h_f}{\partial x} \right] \quad \text{———— (2)}, \quad n \frac{\partial h_s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(h_s - z) \left(\frac{f_f}{f_s} \frac{\partial h_f}{\partial x} + \frac{f_s - f_f}{f_s} \frac{\partial h_s}{\partial x} \right) \right] \quad \text{———— (3)}$$

淡塩境界面の先端位置においては $\partial h_s / \partial x$ が不連続的に変化するため、解析上は種々の不都合を生ずる。この点を解消するため、筆者等は次の様な解析手法を提案した。すなわち淡塩境界面の移動を式-3から計算する際には淡塩境界面を不透水境界で消失させず、不透水層内に延長した仮想境界面を考えて計算する方法である。図-1の実境界面上のA点の位置を計算する際に、仮想境界面を考えない場合、計算格子もB'点の位置に移動させて計算するが、それとも計算格子を移動させずにB'点に境界面を近似して計算するかのいずれかであろうが、仮想境界面を考えることによって、計算格子を移動させずにB点を用いたものと同じ計算を行うことができる。この計算に用いる仮想境界面上の最初の計算点Bの位置は実境界面上の計算点と全く同じ方法で計算することとする。またその隣のC点については、A点とB点の位置を用いた直線外挿で決定することとしている。以上の考え方は、不透水境界の位置がどの高さにあっても、ある高さの淡塩境界面の侵入は、淡塩境界面の形状が同じであれば変らないとする考え方によるものである。いま式-3について考える時、簡単のために $\left(\frac{f_f}{f_s} \frac{\partial h_f}{\partial x} + \frac{f_s - f_f}{f_s} \frac{\partial h_s}{\partial x} \right)$ の値がA点とB点で変わらず一定値Mとすれば、式-3の右辺の差分式は $KM \{ (h_s - z)_A - (h_s - z)_B \} / \Delta x$ ——— (4) である。B点の h_s を負の値として計算した $(h_s - z)_A - (h_s - z)_B$ の値は、不透水境界が水平な場合、A点とB点の鉛直距離を示す。これを不透水境界が図-1の点線の位置にあってB点の h_s

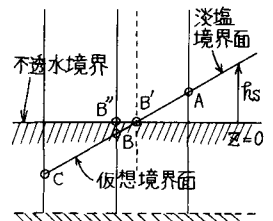


図-1 仮想の淡塩境界面

を正の値として計算しても、A点とB点の鉛直距離を示すことには変りないから、 $\partial h_s / \partial t$ は同じ結果を得ることになり、仮想境界面を用いた場合の浸塩境界面ABの移動は、不透水境界がもっと下の位置にある場合のAB面の移動と同じになる。なお式-2の右辺の $(h_s - h_0)$ を計算する際の h_0 には仮想境界面の位置は使用せず、不透水境界までの高さを使用している。以上の手法によって求めた解析結果を実験結果と比較したものが図-2であり、解析手法の妥当性が十分に確認されたものと考えている。

次に浸透層内に地下ダム等の難透水性の遮水壁がある場合について考えよう。透水係数の不連続面においては流量の連続性を保持するために浸塩境界面が屈折する。したがって図-3の様には、C点の外挿を行う際に、B点を通る計算格子が遮水壁面と一致する場合には、屈折させてC点を外挿する必要があるが、透水係数の比率に応じて屈折させても良い結果が得られず、種々検討の結果、差分間隔の比率に応じて屈折させた位置にC点を外挿している。すなわち透水係数の小さい遮水壁の内部は浸透層部分と異なった小さな差分間隔で分割しているが、外挿を行う際にはC点を通る計算格子が図-3の点線の位置に、浸透層部分と同じ差分間隔で配置してあるものと考えて直線外挿するものである。この様にして求めた計算結果を実験結果と比較したものが図-4であり、鉛直流動や拡散現象等の影響によって、図-2比べると全体的に一致度は低いが、浸塩境界面先端の侵入は良く表現されている。また透水係数の比率が変わっても、この手法によって、同じ程度の一致度が得られることも確認している。最後に不透水境界が傾斜している場合について考えよう。この場合も式-3について考える時、式-4の様に簡略化して考えると、図-5のAB間においては $(h_s - z)_A - (h_s - z)_B$ の値は図中のaとbの縦距を加えたものになるから、B点の計算の際にAB間とBC間で $\partial(h_s - z) / \partial x$ の値が均衡を保つには、B点よりa+bの距離だけ下方にC点を外挿する必要があると考えた。

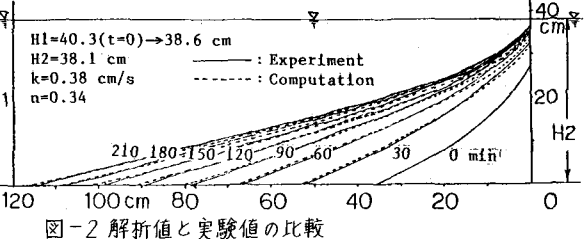


図-2 解析値と実験値の比較

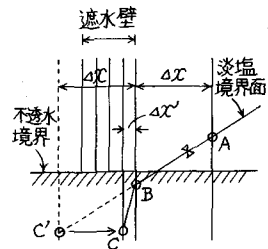


図-3 遮水壁面での外挿

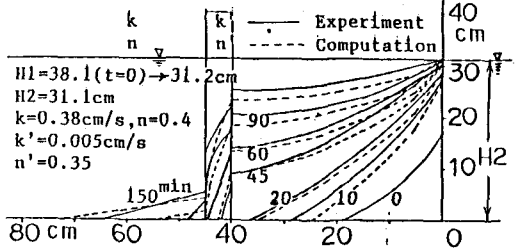


図-4 解析値と実験値の比較(遮水壁)

4. 傾斜不透水境界を侵入する浸塩境界面について

不透水性基盤が傾斜している場合の境界面の侵入状況について、解析

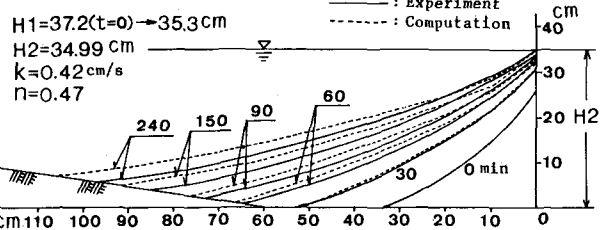


図-6 解析値と実験値の比較(傾斜不透水性基盤)

値と実験値を比較して示したものが図-6である。これより、基盤が平坦な位置の境界面(30分)はよく一致している。しかし、その後の境界面については解析値の方が実験値よりも少しずつ早く侵入する傾向にある。境界面の先端位置が10分で約5cm、240分で約10cmの差になっている。解析は図-5に示しているような屈折の方法を用いたが、実験的には透水係数などが少し大きいように思うので、詳細な実験データを集積して計算と実験の両面からさらに検討して行きたいと考えている。

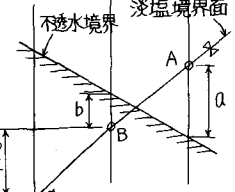


図-5 不透水境界が傾斜している場合の外挿

(参考文献) 梶尾・中田; 完全貫入遮水壁を通過する浸塩境界面の非定常解析(第2報), 昭和55年度支部年講, P.272, II-82, 昭和59年2月。