

III-2 海岸地下水の Upconing 現象の有限要素解析

京都大学工学部 正員 河野伊一郎

1. はしがき

海岸地下水を過剰に揚水すると、一帯の地下水の塩分濃度が高くなる、いわゆる地下水の塩水化問題が起る。この現象はつぎの2つの問題を含んでいると考えられる。その一つは、異った比重(ときには粘性)を有する2種の液体、この場合、淡水と塩水のバランスの問題であり、他の一つは水中での塩分の拡散の問題である。本文ではそのうちの前者、すなわちバランス問題として取り扱っている。拡散を考えない静止した地下水については周知の Ghyben-Herzberg の関係があるが、これから推測しても、地下水を汲み上げると淡水領域の水位が下るから、淡水-塩水の境界面(Interface と呼ぶ)が上昇してくる。井戸等の揚水による水位低下量の分布はその井戸から離れるに従って急激に減少するから Interface もそれに従って井戸地帯を中心として上向きのコーン状に引き上げられる。したがってこのような現象を Upconing 現象と呼んでいる。本文は、この Upconing 現象について述べたものであり、筆者が行なっている Interface Problem に関する研究の一環として行なったものである。^{1), 2)}

2. Interface の平衡式

Fig. 1 に示すような海岸地下水の淡水-塩水の境界のバランスした状態を考えてみる。淡水、塩水それぞれの領域内での水頭は式(1)で表わされる。

$$y_f = z_f + P_f/\gamma_f \quad y_s = z_s + P_s/\gamma_s \quad \dots\dots (1)$$

ここに、 y : 水頭、 z : 基準面よりの高さ、 P : 圧力
 γ : 単位体積重量、添字の f, s はそれぞれ淡水、塩水を表わしている。

Interface 上では、両圧力が等しいから、

$$P_f = P_s \quad \dots\dots (2)$$

また、 $z_f = z_s = Z$ であるから式(1)を式(2)に代入してまとめると式(3)が成立する。

$$Z = \frac{\gamma_s y_f - \gamma_f y_s}{\gamma_s - \gamma_f} \quad (\gamma_s \neq \gamma_f) \quad \dots\dots (3)$$

ここに、 Z : Interface の基準面からの高さである。いま、塩水は静止し、淡水のみが流動している場合すなわち、定常浸透流を考えると、 y_s は一定であり、したがって式(3)は式(4)のように表示できる。

$$y_f = C_1 Z + C_2 \quad C_1 = \frac{\gamma_s - \gamma_f}{\gamma_f} \quad C_2 = \frac{\gamma_s}{\gamma_f} y_s \quad \dots\dots (4)$$

すなわち、式(4)は「Interface 上における淡水水頭は、その位置水頭の一次関数で表わされる。」いま、塩水の代りに空気を考えると、Interface はすなわち自由地下水面である。式(4)において γ_s の代わりに、空気の単位体積重量 $\gamma_a \approx 0$ を代入すると $y_f = Z$ となり、よく知られた自由地下水面が満足すべき条件式となる。このことは、有限要素解析を含めて、自由地下水面を有する不圧地下水の解析方法を、一般に Interface 問題の解法へと拡張しうることを示唆している。

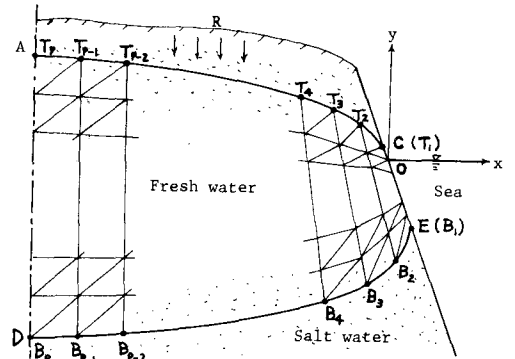


Fig. 1 Coastal groundwater flow

3. 有限要素解析の手法

とくに, Interface の位置の決定はつぎの手順で行なう。(1)まず, Interface の位置を仮定する。(2)その Interface を不透水層面として, その面上での水頭を有限要素法を用いて計算する。(3)その計算値が式(4)を満足しているかどうかを判定する。(4)差があれば Interface の位置を修正して再び上の手順をくりかえし, 差が許容以下になったときを解とする。このようくりかえし計算ごとに network を組みかえる必要があり, それを計算機のプログラムの中で行なわせることが好ましく, そのために Fig. 1 に示すような要素区分が便利である。詳しくは文献1)を参照されたい。

4. 解析例

Fig. 2 に示すような 2次元地下水流の境界および境界条件を考える。すなわち, 透水係数 $k=1.0$ m/hr の均質な地盤上に不透水壁があり, 内陸側には水深 $H_f=10.0$ m の淡水貯留があり, 海岸には水深 $H_s=5.0$ m の塩水がある。淡水貯留部から地下を浸透流がまわって海側へ流出する現象が起り, そこには淡水-塩水の境界面が存在するはずである。有限要素解析によってこの Interface の位置を求め Fig. 2 に示している。地下水揚水のない場合の Interface が実線で示されている。この case は Polubarinova-Kochina によって厳密解がポドグラフ法を用いて求められており, その解と比較して非常によ一致をみている。¹⁾ このことは有限要素解析の精度を保証するものと考えよう。つぎに同図中, ⊙印で示す位置(深さ-50 m)に point sink (または source) を考え, ここで $10\text{ m}^3/\text{hr}/\text{m}$ の揚水を行なった場合を想定する。この場合には Interface はもち上げられて, 黒マルつきの破線で示されているような Upconing 現象を示す。また, 逆に等量の注水を実施した場合には鎖線で示されているように下方へおし下げられる。揚水と注水の場合を比較すると, その量が等しくても, 揚水の場合の方が Interface の変化が大きいことがわかる。

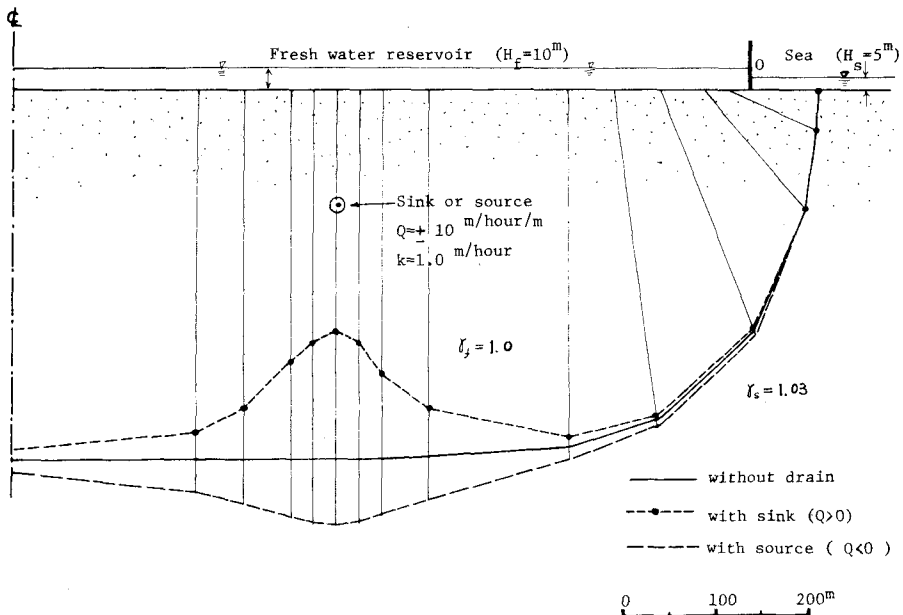


Fig. 2 Example, shapes of interfaces

- [参考文献] 1) 河野: 浸透流における Interface 問題の有限要素解析, 第9回土質工学研究発表会(1974), pp. 653-6
 2) I. Kono: Analysis of Interface Problem in Groundwater Flow by Finite Element Method, International Conf. on F. E. M. (1974 in Australia)