

II-107 地下水位低下工事時の塩水くさび侵入の制御について

八代高専 正員 藤野 和徳
九州大学 正員 上田 年比古
九州大学 正員 神野 健二

1. まえがき 海岸付近での地下水の過剰揚水や、構造物の基礎掘削時の地下水位の低下工事により、地下塩水が内陸部へ侵入し問題となっている。したがって、海岸帯水層における地下水取水では、塩水障害を防御した計画が必要である。これまで地下密度流の場での淡水注入による塩水侵入制御に関する最適手法の研究例は見受けられないようである。本報は、図-1のように、海岸近くの構造物の基礎掘削部内の地下水位を、周囲の揚水井により所定の水位に低下させると共に、海岸線に沿って並べた淡水注入井により、塩水くさび先端が、設定された塩水侵入限界線位置Zを越えない条件の下に、注水量と揚水量の絶対値の和を最小とするものを最適注揚水状態と定義し、解析、検討を行なうものである。

2. モデル領域による最適注揚水の理論解析 (1) 解析モデルと流量ポテンシャル 解析領域は図-1のある1つの注水井に着眼した領域を取りだし、図-2のように、海岸線を境界B1（塩水位 H_s 一定）、掘削部の海側の辺を境界B2（淡水位 H_f 一定）とし、注水井間の中央部を不透水壁で区切り、これを境界B3、B4として、これらの境界で囲まれる長さL、幅Yの長方形領域を考える。注水井位置は x_w 、 $y_w = (Y/2)$ とし、塩水侵入限界線はy軸に平行に x_l の位置に設定されている。なお k を透水係数、 ρ_f 、 ρ_s を淡水、塩水密度、 ϕ_c を塩水くさび先端位置の地下水頭とする。この領域内の流量ポテンシャル¹⁾は、x方向の平行流と井戸からの注水がある場合の重ね合せで表される。平行流の流量ポテンシャルは、

$$k\phi = -q_0 x \quad (1)$$

$$q_0 = k(H_s^2 \rho_s / \rho_f - H_f^2) / (2L) \quad (2)$$

次に、1個の注水井がある場合の流量ポテンシャルは、

$$k\phi = -(Q_w / 2\pi) \ln r + C \quad (3)$$

図-2の境界条件にあうように式(1)、(3)を重ね合せれば、

$$k\phi = -q_0 x - (Q_w / 2\pi) F(x, y, x_w) \quad (4)$$

$$F = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \left[\ln \sqrt{(x-x_w)^2 + \{y-(2i-1)y_w\}^2} - \ln \sqrt{(x+x_w)^2 + \{y-(2i-1)y_w\}^2} - (x/L) \ln \sqrt{(L-x_w)^2 + \{y-(2i-1)y_w\}^2} + (x/L) \ln \sqrt{(L+x_w)^2 + \{y-(2i-1)y_w\}^2} \right] \quad (5)$$

ここに、Fの右辺第1項は、境界B3、B4の不透水壁の条件を満たすように、y軸の+、-方向に無限に配置したもので、第2項は境界B1で $\phi=0$ の一定値の条件より、B1に対して第1項の注水井と同じ流量の揚水井を設けたものである。また第3、4項は境界B2で $\phi=0$ の一定値をもたせるもので、この影響がB1に及ばないように x/L 倍した近似的操作である。なお、塩水くさび先端の流量ポテンシャル ϕ_c は、

$$k\phi_c = (1/2) H_s^2 \rho_s (\rho_s - \rho_f) / \rho_f^2 \quad (6)$$

(2) 注水量最小時の塩水侵入阻止の状況 領域内の流量ポテンシャルの等高線は井戸Wを囲んで、図-3のようになり、注入水はWS(Sはよどみ点)を境に海側と陸側に分れる。ここでは、井戸からの距離が大きく、

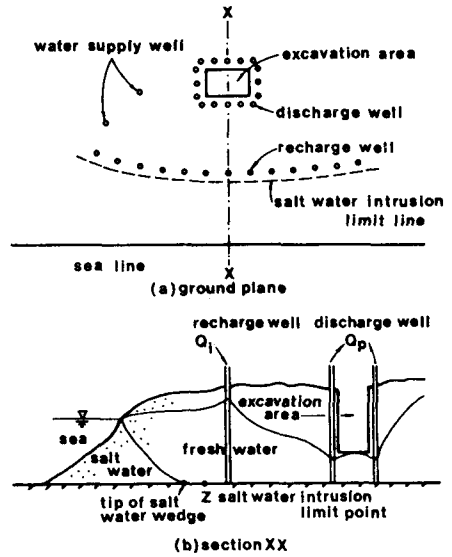


図-1 地下水位低下工事時の地下水状況

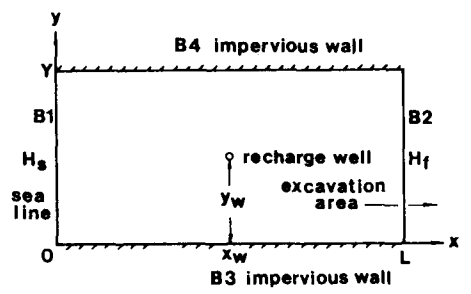


図-2 解析モデル

淡水位の低下が大きいx軸上の塩水くさび先端の挙動を検討する。 Φ_c の等高線が図-3の $a\alpha$ と $b\beta$ のようにx軸で切断されているとする。この状態から Q_w を減少させると α, β は共にSに近づき、遂に α, β はSで一致する。さらに Q_w を減少させると Φ_c の等高線はx軸上には生ぜず図の $c c'$ のようにW方向に縮小してゆく。以上より、井戸Wが固定され、x軸にくさび先端が生じているすなわち塩水侵入を阻止している状態で、注水量が最小の場合はくさび先端がよどみ点Sに一致したときといえる。このとき Φ_c の等ポテンシャル線はSで閉じる。図-4は $k=3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$, $\rho f=1.0 \text{ g/cm}^3$, $\rho s=1.025 \text{ g/cm}^3$ で注水量 $Q_w=1430.5 \text{ m}^3/\text{day}$ のときの注水量最小の状態すなわち最適注水状態を示している。

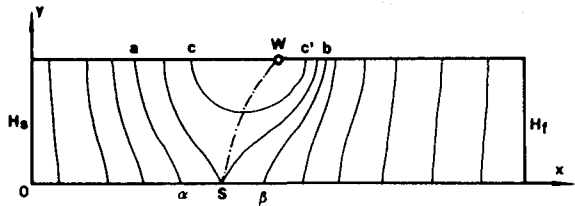


図-3 注水井周辺の流量ポテンシャル等高線

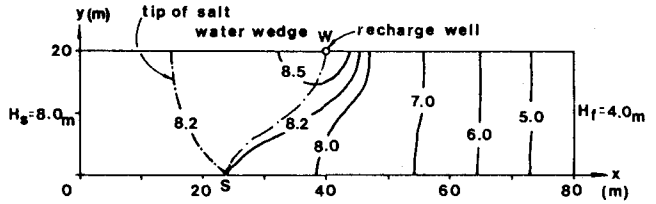


図-4 地下水位等高線と塩水くさび先端位置

(3) 注揚水量と無次元化 掘削部の揚水量 Q_p を境界B2の流出量とし、注水量と揚水量の絶対値の和 T を次の無次元量で表すと、

$$T = 2\eta w \tau + \zeta w (1 + (\eta w / \pi) \partial \Gamma / \partial \xi) \Big|_{\xi=0}^{\xi=1} \quad (7)$$

$$\xi = x/L, \quad \eta = y/L, \quad \zeta = QT / (L q_0^*), \quad \theta = H_f / H_s$$

$$\varepsilon = \rho s / \rho f - 1, \quad q_0^* = k H_s^2 (\rho s / \rho f) / (2L) \quad (8)$$

$$\tau = 1 - \theta^2 / (1 + \varepsilon)$$

ここに、注水量は式(4)に $x=xc$ で $\Phi = \Phi_c$ とおくことにより得られ、その無次元量 ζw および F の無次元量 Γ は、

$$\zeta w = -2\pi \{ r \xi c + \varepsilon \} / \Gamma \Big|_{\xi=0}^{\xi=1} \quad (9)$$

$$\Gamma = \sum_{i=1}^{\infty} \left[\ln \left[\frac{((\xi - \xi_w)^2 + (\eta - (2i-1)\eta w)^2)}{((\xi + \xi_w)^2 + (\eta - (2i-1)\eta w)^2)} \right]^{1/2} \right. \\ \left. - \xi \ln \left[\frac{((1 - \xi_w)^2 + (\eta - (2i-1)\eta w)^2)}{((1 + \xi_w)^2 + (\eta - (2i-1)\eta w)^2)} \right]^{1/2} \right] \quad (10)$$

(4) 最適注揚水状態 注水井またはくさび先端位置を固定したときの最適注揚水状態はそれぞれ $\partial \zeta T / \partial \xi c = 0$, $\partial \zeta T / \partial \xi w = 0$ より求められる。図-5(実線:注水井固定, 破線:くさび先端位置固定)は最適注揚水状態の注水井位置とくさび先端位置の関係およびそのときの注揚水量を示したものである。また図-6は与えられた解析領域での可能最適注揚水状態(図-5のC, C'点と θ の関係等)を示すものである。

3. むすび 実地の塩水侵入制御は、地形、利水等の観点から注水井、塩水侵入限界線の位置は設定されるが、ここで導いた単純化したモデル領域での最適注揚水量の算定手法は、これらの位置設定に指針を与えることができよう。参考文献

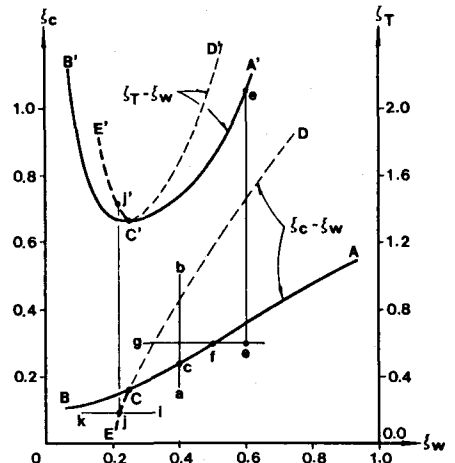


図-5 ξ_w, ξ_c 固定の最適注揚水状態

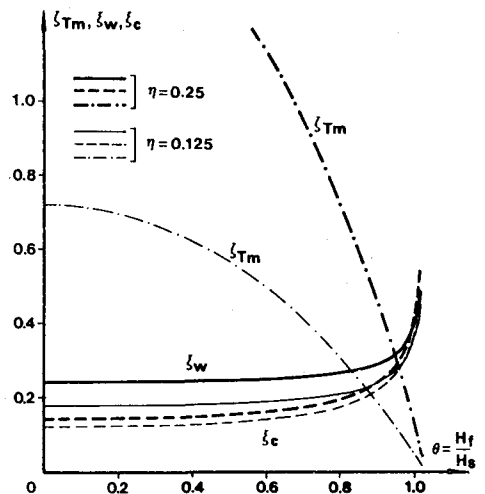


図-6 可能最適注揚水状態

1) Strack, O.D.L.: A Single-Potential Solution for Regional Interface Problems, W.R. Res., 12-6, 1976.