

九州産業大学
九州産業大学
九州産業大学

正会員 崎山 正常
正会員 ○ 細川 土佐男
正会員 阿部 孝行

1. まえがき 上層に淡水、下層に塩水が成層をなしている海岸地盤において、上層取水と下層排水とを同時に行なえば、淡塩水境界面上昇あるいは下降の変動量は、取水あるいは排水のどちらか一方だけを行なう場合に比べて少なくなるものと考えられ、このことは取水中への塩水混入の危険性を緩和できるばかりでなく、取水の効率を高める。まず、淡塩水境界面を水平な面とみなして行なった近似解析解についてのべ、次に、ほぼ厳密な境界条件下の数値解析によるものについてのべる。

2. 近似解析解 Z平面とW平面とを主平面を介して Schwarz-Christoffel の定理で結びつけば、上層において $K(m_f)/K(m_f') = L/D_f \dots$

$$(1) \quad Y_{f,E} = (ED/D_f) \cdot K(m_f') \dots (2) \quad \alpha_f = \text{SN}^2(Y_{f,E}, m_f') \quad \beta_f = m_f'^2 \cdot d_f \dots (3)$$

$$C_f = \{\alpha_f(1-\beta_f) + \beta_f(1-\alpha_f)\} / (\alpha_f - \beta_f) \quad d_f = \{(1-\alpha_f) + (1-\beta_f)\} / (\alpha_f - \beta_f) \dots (4)$$

$$Y_{f,Eu} = (\overline{EuD}/D_f) \cdot K(m_f') \dots (5) \quad \ell_{f,Eu} = \{C_f(d_f+1)\text{SN}^2(Y_{f,Eu}) - d_f(C_f+1)\} / \{(C_f+1) - (d_f+1)\text{SN}^2(Y_{f,Eu})\} \dots (6)$$

$$\phi_{f,Eu} = \cosh^{-1}(\ell_{f,Eu}) \dots (7) \quad \delta_f/R_f h_f = \pi / \phi_{f,Eu} \dots (8)$$

$$\text{下層において } K(m_s)/K(m_s') = L/D_s \dots (9) \quad Y_{s,J} = (\overline{DJ}/D_s) \cdot K(m_s') \quad Y_{s,J} = (\overline{CF}/D_s) \cdot K(m_s') \dots (10)$$

$$\alpha_s = \text{SN}^2(Y_{s,J}, m_s') \quad \beta_s = m_s'^2 \cdot d_s \quad \gamma = \beta_s \cdot \text{SN}^2(Y_{s,J}, m_s') \dots (11)$$

$$C_s = \{\gamma(1-\beta_s) + \beta_s(1-\gamma)\} / (\beta_s - \gamma) \quad d_s = \{(1-\gamma) + (1-\beta_s)\} / (\beta_s - \gamma) \dots (12)$$

$$h = \{(\alpha_s - \beta_s)(1-\gamma) + (\alpha_s - \gamma)(1-\beta_s)\} / \{(\beta_s - \gamma)(1-\alpha_s)\} \dots (13)$$

$$Y_{s,Ju} = (\overline{JL}/D_s) \cdot K(m_s') \dots (15) \quad \ell_{s,Ju} = \{C_s(d_s+h)\text{SN}^2(Y_{s,Ju}) - d_s(C_s+h)\} / \{(C_s+h) - (d_s+h)\text{SN}^2(Y_{s,Ju})\} \dots (16)$$

$$\phi_{s,Ju} = \cosh^{-1}(\ell_{s,Ju}) \dots (17) \quad \delta_s/R_s h_s = \pi / \phi_{s,Ju} \dots (18)$$

がえられる。次に近似淡塩水境界面の算定式は $Y_{cd} = \frac{D_s}{D} + \left(\frac{r_s}{r_s - r_f} \right) \left(\frac{H_s}{D} - \frac{D_s}{D} - \frac{h_s}{D} \cdot \frac{\phi_{s,cd}}{\phi_{s,Ju}} \right) - \left(\frac{r_f}{r_s - r_f} \right) \left(\frac{H_f}{D} - \frac{D_s}{D} - \frac{h_f}{D} \cdot \frac{\phi_{f,cd}}{\phi_{f,Eu}} \right)$

$$\phi_{s,Ju} = \cosh^{-1}(\ell_{s,Ju}) \quad \phi_{s,cd} = \cosh^{-1}(\ell_{s,cd}) \quad \phi_{f,Eu} = \cosh^{-1}(\ell_{f,Eu}) \quad \phi_{f,cd} = \cosh^{-1}(\ell_{f,cd}) \quad \ell_{s,cd} = - \frac{d_s(C_s+h) - h(d_s-C_s)\text{SN}^2(X_{s,cd})}{(C_s+h) + (d_s-C_s)\text{SN}^2(X_{s,cd})} \quad \ell_{f,cd} = - \frac{d_f(C_f+1) - (d_f-C_f)\text{SN}^2(X_{f,cd})}{(C_f+1) + (d_f-C_f)\text{SN}^2(X_{f,cd})}$$

$$X_{s,cd} = (x_{cd}/L) \cdot K(m_s) \quad X_{f,cd} = (x_{cd}/L) \cdot K(m_f) \dots (19)$$

$$\frac{H_f}{D} = \frac{D_s}{D} + \frac{r_s}{r_f} \left(\frac{H_s}{D} - \frac{D_s}{D} \right) + \frac{h_s}{D} \left\{ \frac{\phi_{s,d}}{\phi_{s,Eu}} \cdot \frac{\phi_{s,cd}}{\phi_{s,Ju}} - \frac{\phi_{s,d}}{\phi_{s,Eu}} \cdot \frac{\phi_{s,c}}{\phi_{s,Ju}} \right\} \quad \frac{h_s}{D} = \frac{r_f}{r_s} \cdot \frac{(C_{s,d} - C_{s,c}) \phi_{s,Ju}}{\phi_{s,Eu} (\phi_{s,d} - \phi_{s,c})} \dots (20)$$

なる地下密度流の特性式がえられる。なお、この他に図-3に画いている等ポテンシャル線および流線算定式もえているがこれについては紙面の都合上ここでは割愛し、講演時にふれる。

3. 数値解析 $X = x/D, Y = y/D \dots (21) \quad \phi'_f = (R_f H_f - \Phi_f) / (R_f h_f) \quad \psi'_f = \Psi_f / (R_f h_f) \quad \phi'_s = (R_s H_s - \Phi_s) / (R_s h_s) \quad \psi'_s = \Psi_s / (R_s h_s) \dots (22)$

$$\text{ただし } \Phi_f = R_f \{ (R_f / r_f) + y \} \quad \Phi_s = R_s \{ (R_s / r_s) + y \} \dots (23) \quad \text{である。}$$

$$\text{そこで } R_{f,cd} = R_{s,cd} \text{ なる境界条件から } Y_{cd} = \left\{ r_s / (r_s - r_f) \right\} \cdot \left(\frac{H_s}{D} - \frac{h_s}{D} \phi'_{f,cd} \right) - \left(\frac{r_f}{r_s - r_f} \right) \cdot \left(\frac{H_f}{D} - \frac{h_f}{D} \phi'_{f,cd} \right) \dots (24)$$

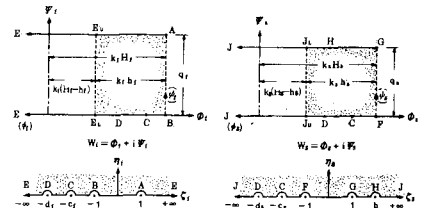
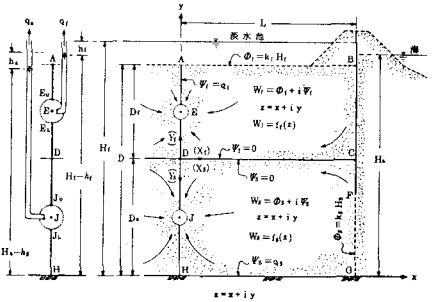


図-1 近似解析による場合のZ, W平面
 $\frac{L}{D} = 2.0, \frac{ED}{D_s} = 0.5, \frac{EJ}{D_s} = 0.55; \frac{L}{D_s} = 2.0, \frac{CF}{D_s} = 0.2$
 $\frac{DJ}{D_s} = 0.5, \frac{JL}{D_s} = 0.55; \frac{D_s}{D} = 0.5, \frac{H_s}{D} = 1.10, \frac{h_f}{D} = 0.02$
 $\frac{Y_s}{r_s} = 1.025, \frac{H_s}{D} = 1.155, \frac{h_s}{D} = 0.0140, \frac{\phi_s}{R_s h_s} = 0.992, \frac{\phi_s}{R_s h_s} = 0.417$

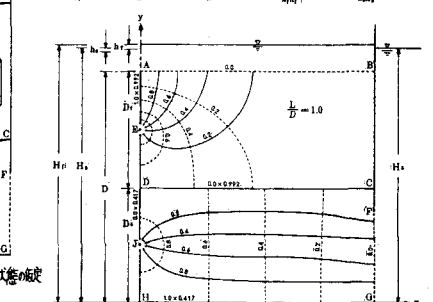


図-3 長方形領域内の流線網図の例

これを書きかえて $\phi'_{f,CD} = f_1(\phi'_{s,CD}, Y_{CD}) \dots (24)$,
 $\phi'_{s,CD} = f_2(\phi'_{f,CD}, Y_{CD}) \dots (24)$

がえられ、また特に、 $Y_c = Y_D = D_s/D$ を用いると
 $\frac{H_f}{D} = \frac{D_s}{D} + \frac{r_s}{D} \left(\frac{H_s}{D} - \frac{D_s}{D} \right) + \frac{r_f}{D} \cdot \left(\frac{\phi'_{s,D} \phi'_{f,c} - \phi'_{f,c} \phi'_{s,D}}{\phi'_{s,D} - \phi'_{f,c}} \right)$,
 $\frac{r_s}{D} = \frac{r_f}{r_s} \left(\frac{\phi'_{f,D} - \phi'_{f,c}}{\phi'_{s,D} - \phi'_{f,c}} \right) \cdot \frac{r_f}{D} \dots (25)$

なる地下密度流の特性式がえられる。そこでこれらを満たす数値解析の結果は、図-5の試行結果を図-4の $\phi\psi$ 平面へ境界条件として適用することによってえられる。なお、図-7に示す淡水境界面の頂点Dが暗渠の下端に達した限界状態の δ_f を基準としてこれと図-6と8とのそれらとの比を求めるため、 δ_f を図-6、図-8および上述の限界状態について、同じ、 $R_f D$ であわせれば、それぞれ $\delta_f = 0.0198 R_f D$ および $\delta_f = 0.0040 R_f D$ および $\delta_f = 0.0056 R_f D$ となる。

従って上述の比は $0.0198 : 0.0040 : 0.0056 \div 3.5 : 0.7 : 1$ となり、上層取水可能量に寄与する下層排水の効果が顕著に現われている。

4. 実験結果 解析結果の妥当性を砂模型実験によって検討した。

その結果、取排水量や淡水境界面の形状などの主要水理量については理論値と実験値とがよく一致した。その模様を右に示した写真に例示している。

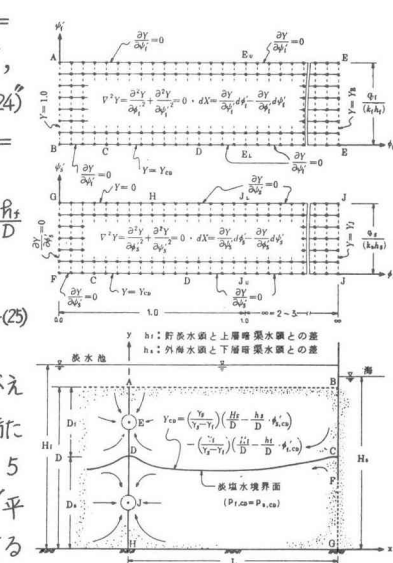


図-4 最終的な $\phi\psi$ 平面と算定する場合の境界条件

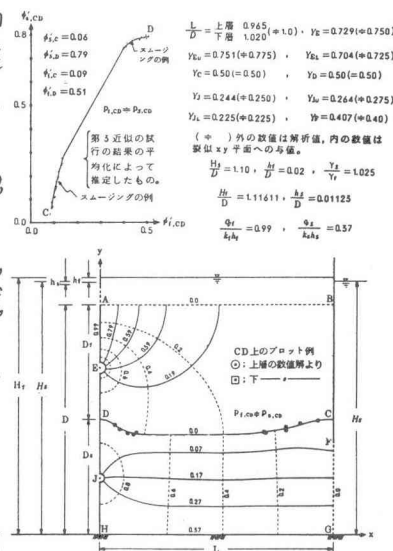


図-6 最終的な流れの場の数値解析例

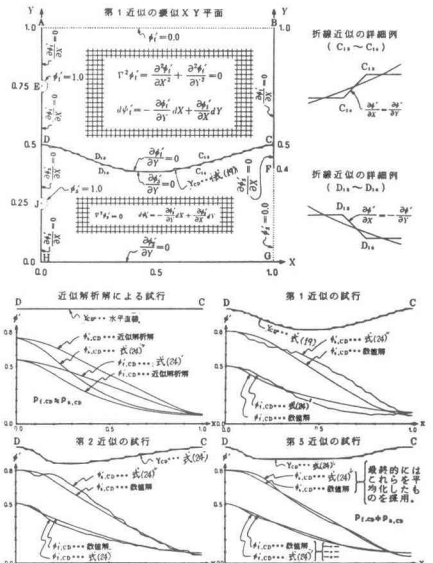
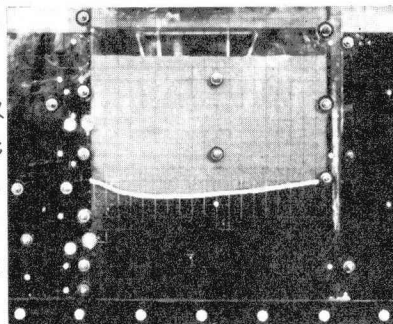


図-5 $\phi\psi$ および $\phi's$ 平面の境界条件の決定手順

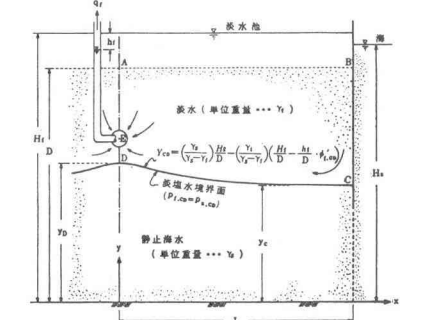


図-7 下層排水中止時の淡水境界面の一状態

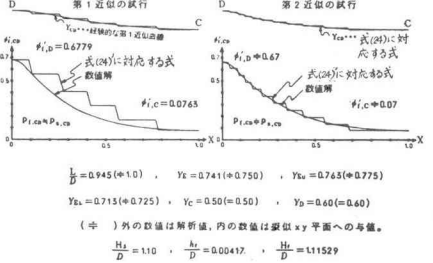


図-8 下層排水中止時の上層取水の数値解析例

文献 1) 崎山正常ほか2名：海岸付近の通常砂層地盤における効率的な上層取水の方法，本講演概要集内。