

九産大 学生員 ○ 大前義行 阿部仁一
全 正会員 青柳茂敏 崎山正常

1. よえがき 本報では河口貯水池底面下に滞留する塩水を汲み上げ、淡水境界面を地盤深部に形成させることによって貯水池内淡水と塩水との混合を防止しようとの意図のもとに図-1のような群井戸の問題を扱う。

2. 解析 まず群井戸の解の基礎となる単一井戸の解を求めよう。Dupuitの準一樣流の仮定を適用する。図-2の流れの場合において任意の点の圧力水頭を x 軸を基準にしておいて、流れの場の圧力分布は静水圧分布であるとすれば塩水の単位重量を γ_s 、淡水のそれを γ として

$$p = \gamma(h - y) \\ = \gamma(D_1 + D_2 - y_s) + \gamma_s(y_s - y) \quad \dots\dots (1)$$

すなわち

$$h = \left(\frac{1}{1+\epsilon} \right) (D_1 + D_2) + \left(\frac{\epsilon}{1+\epsilon} \right) y_s \quad \dots\dots (2)$$

したがって、井戸への流速 u は

$$u = k \frac{dh}{dx} = k \left(\frac{\epsilon}{1+\epsilon} \right) \frac{dy_s}{dx} \quad \dots\dots (3)$$

であらわれ、塩水汲み上げ量 Q は

$$Q = 2\pi x \gamma_s \cdot k \left(\frac{\epsilon}{1+\epsilon} \right) \frac{dy_s}{dx} \quad \dots\dots (4)$$

積分して

$$\frac{Q}{2\pi k \left(\frac{\epsilon}{1+\epsilon} \right)} \ln|x| = y_s^2 + \text{const} \quad \dots\dots (5)$$

がえられる。また、速度ポテンシャル ϕ は

$$\phi = k \left(\frac{p}{\gamma_s} + y \right) \quad \dots\dots (6)$$

$$\phi_{AF} = k(D_1 + D_2 - h_2) \quad \dots\dots (7)$$

また、海側から浸透する塩水のエネルギー損失を堤体中央の矢板直下の面 BC までは無視できるとすると、この境界の ϕ は式(6)より

$$\phi_{BC} = k(D_1 + D_2 - h_2 + h_1) \quad \dots\dots (8)$$

次に、淡水境界面における圧力は

$$p_s = \gamma(D_1 + D_2 - y_s) \quad \dots\dots (9)$$

であるから、これを式(6)に適用すると

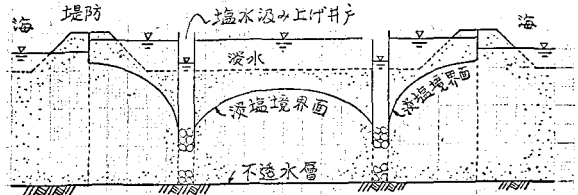


図-1 塩水汲み上げ機構の略図

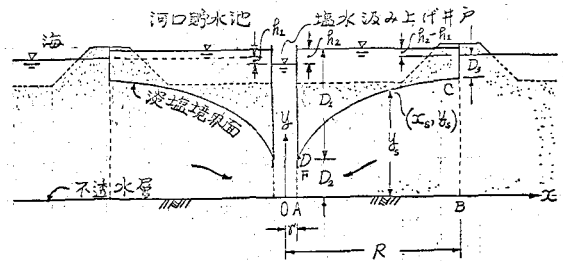


図-2 単一井戸による塩水汲み上げ

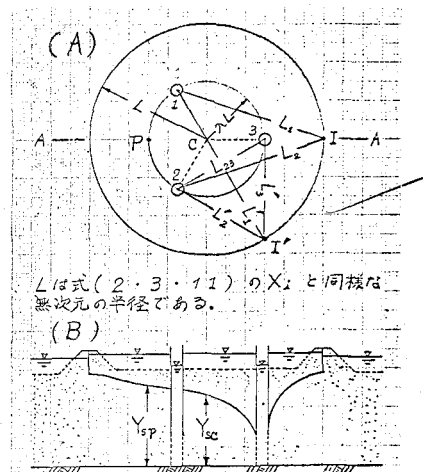


図-3 正三角形配置

$$\bar{p}_s = A \left(\frac{1}{1+\epsilon} \right) (D_1 + D_2) + A \left(\frac{\epsilon}{1+\epsilon} \right) \frac{y_s}{A_1} \quad (10)$$

ここで

$$p = \frac{\bar{p} - A (D_1 + D_2 - A_2)}{A A_1} \quad (11)$$

なる無次元化を行なうと、塩境界面での p 、すなわち p_s は

$$p_s = \frac{A_2}{A_1} - \left(\frac{\epsilon}{1+\epsilon} \right) \left(\frac{D_1 + D_2}{A_1} \right) + \left(\frac{\epsilon}{1+\epsilon} \right) \frac{y_s}{A_1} \quad (12)$$

となる。上式に点 D の y_s すなわち D_2 を適用すると、点 D における p_s すなわち p_0 は

$$p_0 = \frac{A_2}{A_1} - \left(\frac{\epsilon}{1+\epsilon} \right) \frac{D_2}{A_1} \quad (13)$$

これを用いて式(12)を書きかえると

$$\left(\frac{\epsilon}{1+\epsilon} \right) \frac{y_s}{A_1} = (p_s - p_0) + \left(\frac{\epsilon}{1+\epsilon} \right) \frac{D_2}{A_1} \quad (14)$$

$$\text{ここで } X = \frac{X-r}{BC}, \quad Y = \frac{y}{BC} \quad (15)$$

なる無次元化を行なうと、塩境界面の Y すなわち Y_s は

$$Y_s = \frac{y_s}{BC} = \frac{(p_s - p_0) + \left(\frac{\epsilon}{1+\epsilon} \right) \frac{D_2}{A_1}}{\left(\frac{\epsilon}{1+\epsilon} \right) \frac{BC}{A_1}} \quad (16)$$

となる。ここで図-2より

$$BC = D_1 + D_2 - (A_2 - A_1) - D_3 \quad (17)$$

であるが、点 C における圧力条件より

$$p_s D_3 = p_f (A_2 - A_1 + D_3) \quad (18)$$

すなわち

$$D_3 = \frac{1}{\epsilon} (D_1 + D_2) \quad (19)$$

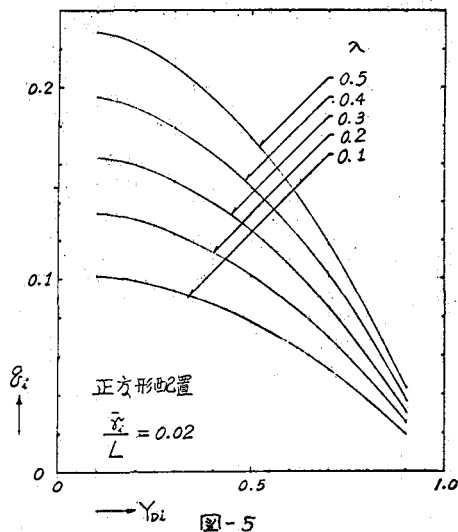
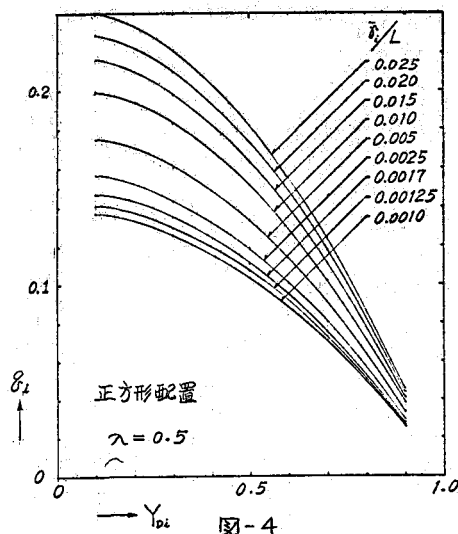
これを式(17)に適用し、さらに式(13)の關係を用いれば式(16)は

$$Y_s = \frac{(p_s - p_0) + \left(\frac{\epsilon}{1+\epsilon} \right) \frac{D_2}{A_1}}{(1 - p_0) + \left(\frac{\epsilon}{1+\epsilon} \right) \frac{D_2}{A_1}} \quad (20)$$

となる。したがって点 D の Y_s を Y_0 とするとここでは $p_s = p_0$ であるから

$$Y_0 = \frac{\left(\frac{\epsilon}{1+\epsilon} \right) \frac{D_2}{A_1}}{(1 - p_0) + \left(\frac{\epsilon}{1+\epsilon} \right) \frac{D_2}{A_1}} \quad (21)$$

D_2/A_1 が定まるが、図-2に示す点 F を決定する所要の式は理論的には誘導されない。そこで実用的には p_0 は 0 付近の値であり、いま p_0 を 0.01 ~ 0.1 程度の値にえらんだ場合に $p_s = 2 \cdot p_0$ とえらべば、これに対応する Y_s すなわち $Y_{s, p_s=2p_0}$ は式(20)より



$$Y_{s, \text{等}} = \frac{p_0 + \left(\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}\right) \frac{D}{R_1}}{(1-p_0) + \left(\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}\right) \frac{D}{R_1}} \approx Y_0 \quad (22)$$

となる。そこで、泉D付近のポテンシャルの低下はほぼ流線長に比例すると仮定すると

$$Y_0 - Y_F = Y_{s, \text{等}} - Y_0 = \frac{p_0}{(1-p_0) + \left(\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}\right) \frac{D}{R_1}} \quad (23)$$

がえられ、泉Fも定めることができる。さて、式(14)および式(20)を参照して円形と仮定された河口貯水池と同心円周上に正多角形に配置された各井戸の諸元は同じとして

$$g = \left[2 \left(\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon} \right) R_1^2 \right] / \left\{ (1-p_0) + \left(\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}\right) \frac{D}{R_1} \right\}^2 \quad (24)$$

$$X_i = \left(\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon} \right) \frac{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}}{R_1} / \left\{ (1-p_0) + \left(\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}\right) \frac{D}{R_1} \right\} \quad (25)$$

$$\bar{r} = \left(\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon} \right) \frac{r}{R_1} / \left\{ (1-p_0) + \left(\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}\right) \frac{D}{R_1} \right\} \quad (26)$$

$$Y_s = \left(\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon} \right) \frac{1}{R_1} / \left\{ (1-p_0) + \left(\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}\right) \frac{D}{R_1} \right\} \quad (27)$$

なる無次元式を導入し、井戸の総数を n とすると、基本式(5)の重ね合わせにより

$$Y_s = \sum_{i=1}^n g \cdot \ln(|X_i|/\bar{r}) + \text{const} \quad (28)$$

がえられる。境界条件は $X_i = L_i$ において $Y_s = 1$ であるとすると

$$\text{const} = 1 - \sum_{i=1}^n g \cdot \ln(L_i/\bar{r}) \quad (29)$$

また、各井戸の側面において $Y_s = Y_0$ であるとする

$$\text{const} = Y_0 - \sum_{i=1}^n g \cdot \ln\{(L_i - \bar{r})/\bar{r}\} \quad (30)$$

ここに L_i は i 番目の井戸の中心から j 番目の井戸の中心までの距離であるから $\sum$ の演算では $i=j$ の場合は含まれない。式(29)および式(30)より const を消去すると塩水汲み上げ量の算定式

$$\sum_{i=1}^n g \cdot \ln \frac{L_i}{\bar{r}} - \sum_{i=1}^n g \cdot \ln \frac{L_i - \bar{r}}{\bar{r}} = 1 - Y_0^2 \quad (31)$$

が求まり、また、式(28)および式(29)より const を消去すると淡水境界面の式

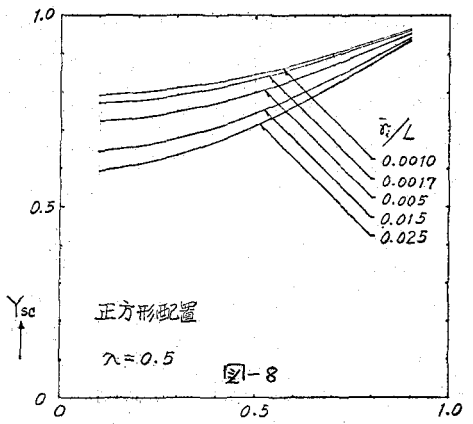
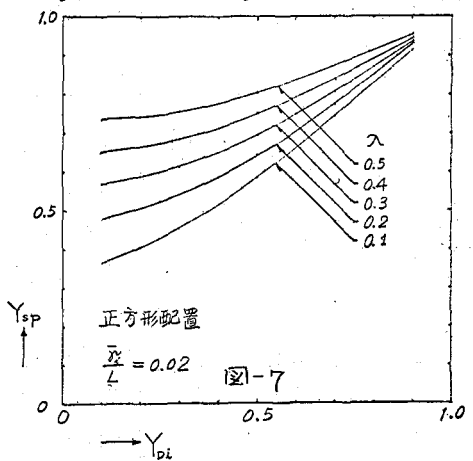
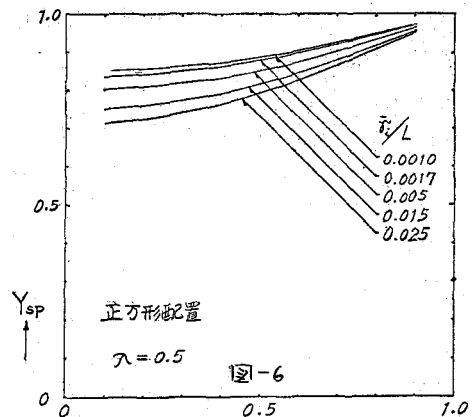
$$Y_0^2 = 1 - \sum_{i=1}^n g \cdot \ln \frac{L_i}{|X_i|} \quad (32)$$

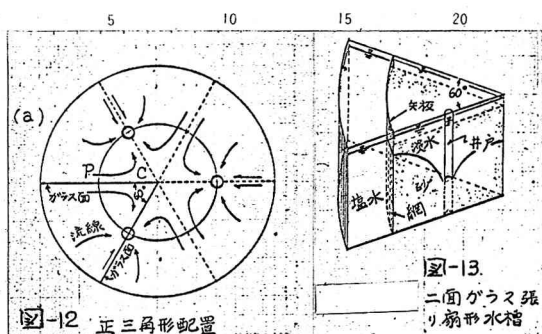
が求まる。ところで、式(29)の誘導の過程で必要であった L_i は図-3(A)に示す点IおよびI'のようにその起

点をかえよと一般には異なった値となり、普遍的ではないが、これが水理諸量に与える影響は小さい。

たとえば図-3(A)のような正三角形配置の場合の揚水量は式(31)により

$$g = \left[1 - Y_0^2 \right] / \left[\ln \frac{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3}{\bar{r} \cdot \bar{r} \cdot \bar{r}} - \ln \left(\frac{(L_1 - \bar{r})(L_2 - \bar{r})(L_3 - \bar{r})}{\bar{r} \cdot \bar{r} \cdot \bar{r}} \right) \right] \quad (33)$$





となり。また

$$\left. \begin{aligned} L_1' \cdot L_2' \cdot L_3' &= (1-\lambda^3) L^3, \quad L_1' \cdot L_2' \cdot L_3' = (1+\lambda^3) L^3 \\ L_{21}' &= L_3 = \sqrt{3} \lambda L \end{aligned} \right\} \dots \dots (34)$$

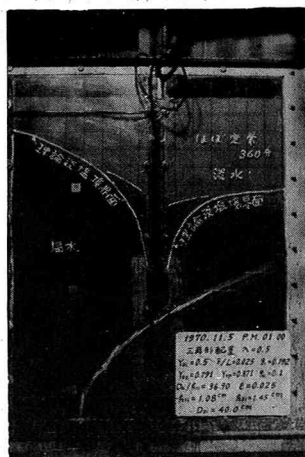
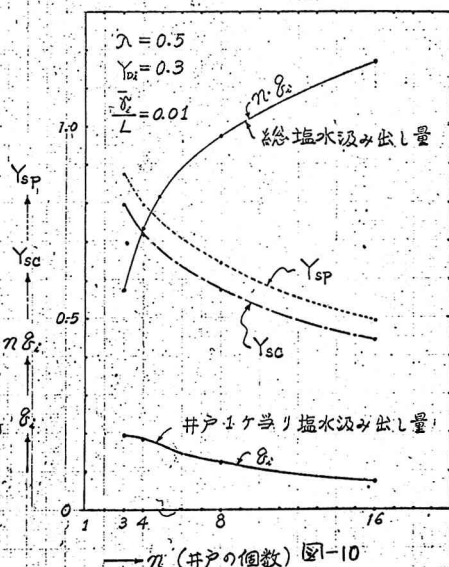
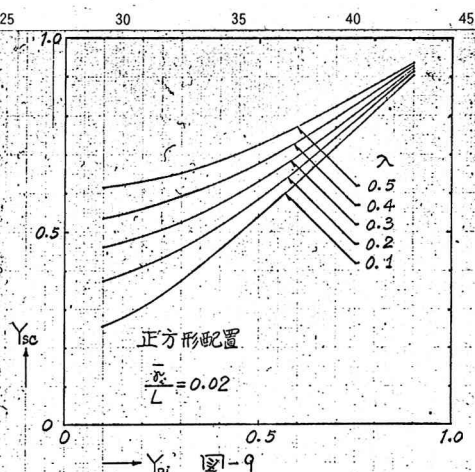
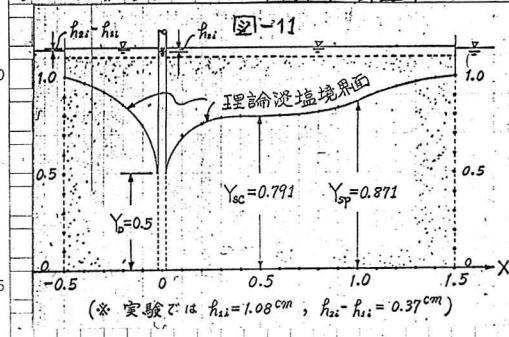
となるが、 $\lambda=0.5$ 、 $\bar{F}/L=0.025$ のとき英Iと英I'に L_2 の起臭をえらんの場合の式(33)の分母の差は7%弱である。井戸の総数が n 個の場合にはこれに相当する分母の差は $\ln\left(\frac{1-\lambda^n}{1+\lambda^n}\right)$ 、 $(\lambda < 1)$ となり L_2 の起臭となる英Iは n が大きい程、また λ が小さい程 L を半径とする円周上どこにえらんでも求める水理諸量にはほとんど影響しないといふことができる。

3. 数値計算および実験 以上の解析結果を検討

するため、 λ 、 Y_0 および $\bar{F}/L$ の無次元三変数は種々値を与え、これらの組合わせに対して図-3(A)のように正三角形、正方形、正八角形および正十六角形の頂点に配置された群井戸について図-4~図-12に示すような主要水理量を検討した。なお実験は正三角形配置のものに相当する流れについて図-13に示すよう

な中心角60度の扇形水槽で行なつた。その結果は理論浸塩境界面とともに図-11に記入している。

なお、これらについては講演時に詳述する。



参考文献

- 1) 石原・木門: 応用水理学上, 丸善, 昭和32年.