

九州大学工学部 正員 上田年比古
九州産業大学工学部 正員 杉尾 哲

1. まえがき

海岸付近の地盤における海水の浸透侵入を防止する方法として、淡水注入工法があるが、本報は、昨年度²⁾の井戸の先端から淡水を注入する場合にひき続いて、上面が水平で均一な透水性の海水飽和地盤中に、先端部分にストレーナーをもつ井戸から注入する場合について検討を行なった。解析は、前報^{1), 2)}と同様に、井戸からの淡水の流出流れに、地盤中の海水をおきかえた淡水の垂直上向き等速流を重ね合わせる近似的手法を用いて行ない、この結果を扇形水槽による砂モデル実験結果と比較した。

2. 定常状態の解析

図-1の井戸の底面と側壁からの淡水の流出流れを、回転軸(y軸)上に流出点を連結し流出線源³⁾(Line Source)から、地表面に面して対称な位置に仮想した同様の流入線源(Line Sink)へ向うポテンシャル流と考えて解析する。いま流出線源の位置を $y = -a_1 \sim -a_2$ の区間にとり、井戸からの注入量を Q 、垂直上向き等速流のポテンシャル勾配を $-mRe$ とすると、図-1の淡水塩境界面内部の流れは次式で表わされる。

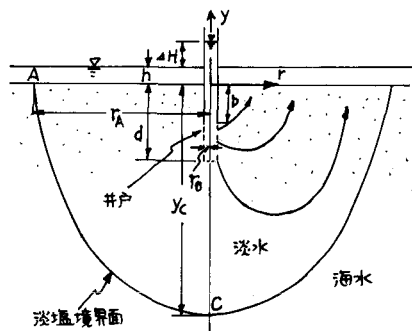


図-1 流れの場合

$$\phi = \frac{Q}{4\pi(a_2 - a_1)} \log \frac{|y + a_2 + \sqrt{(y + a_2)^2 + r^2}| \cdot |y - a_2 + \sqrt{(y - a_2)^2 + r^2}|}{|y + a_1 + \sqrt{(y + a_1)^2 + r^2}| \cdot |y - a_1 + \sqrt{(y - a_1)^2 + r^2}|} - mRey + Rr \quad \dots (1)$$

$$\psi = \frac{Q}{4\pi(a_2 - a_1)} \left\{ \sqrt{(y + a_2)^2 + r^2} + \sqrt{(y - a_2)^2 + r^2} - \sqrt{(y + a_1)^2 + r^2} - \sqrt{(y - a_1)^2 + r^2} \right\} - \frac{1}{2} mRe r^2 \quad \dots (2)$$

こゝに淡水注入量 Q は、式-1 に $r=r_0$, $y = -(a_1 + a_2)/2$ において $\phi = R(\Delta H + Rr)$ の条件を与えると、

$$Q = \frac{4\pi(a_2 - a_1) \left\{ R\Delta H - mRe(a_2 + a_1)/2 \right\}}{\log \left| \frac{(a_2 - a_1)/2 + \sqrt{(a_2 - a_1)^2/4 + r_0^2} \cdot -(a_1 + a_2)/2 + \sqrt{(a_1 + a_2)^2/4 + r_0^2}}{-(a_2 - a_1)/2 + \sqrt{(a_2 - a_1)^2/4 + r_0^2} \cdot -(a_1 + a_2)/2 + \sqrt{(a_1 + a_2)^2/4 + r_0^2}} \right|} \quad \dots (3)$$

淡水塩境界面の下端 C は、淵み点であるこゝから $(\partial\phi/\partial y)_{r=r_0} = 0$ とおくと

$$y_c = \sqrt{\frac{Q(a_2 + a_1)}{2\pi mRe(y_c^2 - a_1^2)}} y_c + a_2^2 \quad \dots (4)$$

m の値は式-1 から求めた C 点の中点 y_c 、海水飽和地盤中の $\phi = (Rr - mRey)$ と等しくならなければならぬこゝから

$$m = 1 - \frac{Q}{4\pi mRe y_c(a_2 - a_1)} \log \frac{(y_c - a_2)(y_c + a_2)}{(y_c - a_1)(y_c + a_1)} \quad \dots (5)$$

また、流出線源の位置は、等ポテンシャル面の形状を考慮して、近似して $a_1 = b$, $a_2 = d - r_0$ とする。

3. 非定常境界面の算定

非定常時の淡水塩境界面付近の流れを、定常状態に達した後、淡水塩境界面内部の同じ位置の流れに近似して考えると考える。このようにすれば、定常状態の流れに沿って、淡水塩境界面が点 $[R_1 (=r/d), Y_1 (=y/d)]$ から点 $[R_{n+1}, Y_{n+1}]$ に到達するのに要する無次元時間 $T (=tr/\lambda d)$ は

$$T = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{i+1} - Y_i)^2 + (R_{i+1} - R_i)^2}{\Phi(R_i, Y_i) - \Phi(R_{i+1}, Y_{i+1})} \quad \dots (6)$$

空隙率を λ , $\Phi/Rd = \Phi$ とおくと、式-6 を与えられ、

各流れ上の等時到達位置を結べば、その時刻の淡水塩境界面がえられる。なお y 軸上に沿う淡水塩境界面の到達時間 $t = Q/Rd^2 = Qd$, d/A とおくと、式-7 を与えられ、

$$T = \frac{1}{m} \int \left\{ \frac{(A_1 + A_2) Q d Y}{2(Y^2 - A_1^2)(Y^2 - A_2^2) \pi m + (A_1 + A_2) Q d Y} - 1 \right\} dY \quad \dots (7)$$

数値積分法によって求められる。

4. モデル実験結果との比較および算定結果による検討

図-2 に示す扇形水槽を用いて砂モデル実験を行ない、算定結果と比較すると図-3 のようになる。定常状態の淡水塩境界面形状は、鉛直方向では一致するが、水平方向にかなりの相違がみられる。また非定常状態の境界面を比

較すると、初期に鉛直方向で算定結果がやや遅く移動するが、約16分経過時より全体的にはほぼ一致する。しかし、その後は実験結果の水平方向の移動が時間とともに

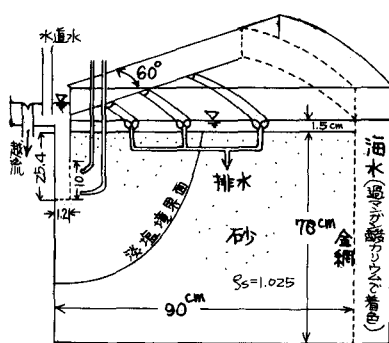


図-2 実験装置の概略図

に大きくなり、かなり大きな相違が表れている。したがって、淡水の押し下げ深さを重視すれば、本近似解で実用上ある程度の算定が可能と考えられる。

次に y_c/d , r_A/d , Q/Rd^2 などの算定結果を図-4.5および表-1に示す。図-4より $\Delta H/d$, r_0/d の変化による淡水境界面の大きさの変化は、あまり大きくないこととわかり、表に表はり、井戸壁の淡水注入部の長さ $(d-b)/d$ を大きくすると、淡水境界面の大きさは、多少傾向の異いはあるが、大きくなっている。しかし同時に淡水注入量も大きくなる。そこで一定注入量のもとで比較するために $(y_c/d)/(Q/Rd^2)$ を算出すると ①/③ の欄のようになり、注入部の長さが増えれば大きくなる。したがって、より少ない淡水注入量で効果的に淡水境界面を形成させるには、注入部の長さが短い方が有利であるといえよう。なお r_A/d の値には上述の誤差が含まれるが、参考までに淡水境界面の縦横の長さの比を算出すると、②/① の欄のようになり、注入部の長さが増えれば横方向に広がる傾向にはあるが、値の変化は小さく、ほぼ相似な形で形成されるものと推察される。

最後に、本研究は昭和50年度文部省科学研究費の補助を受けた。ここに記して関係各位に謝意を表する。

表-1 $\Delta H/d = 0.5$, $\epsilon = (s_2 - s_1)/s_1 = 0.025$

r_0/d	$(d-b)/d$	y_c/d :①	r_A/d :②	Q/Rd^2 :③	①/③	②/①
0.02	0.2	1.88	1.51	0.25	7.42	0.80
	0.5	2.08	1.82	0.49	4.26	0.87
	0.8	2.15	1.95	0.72	2.98	0.90
0.1	0.2	2.40	2.14	0.67	3.55	0.89
	0.5	2.45	2.28	0.94	2.60	0.92
	0.8	2.50	2.35	1.32	1.90	0.94
0.2	0.21	2.89	2.71	1.40	2.07	0.94
	0.5	2.78	2.66	1.72	1.62	0.96
	0.8	2.78	2.67	2.08	1.34	0.96

参考文献) 1) 上田, 杉尾: 暗井からの淡水注入による淡水境界面の解析 土木学会論文報告集, 第225号, PP.43~52, 1974年5月。2) 上田, 杉尾: 淡水注入井戸による海水飽和地盤中の淡水境界面の近似解析, 土木学会論文報告集, II, PP.474~475, 1975年10月。3) Muskat: The flow of homogeneous fluids through porous media, P.P.270, McGraw-Hill Book Company, 1946年。

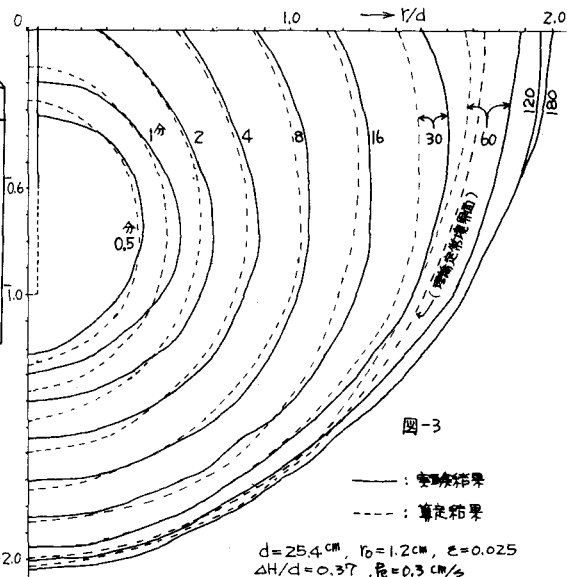


図-3

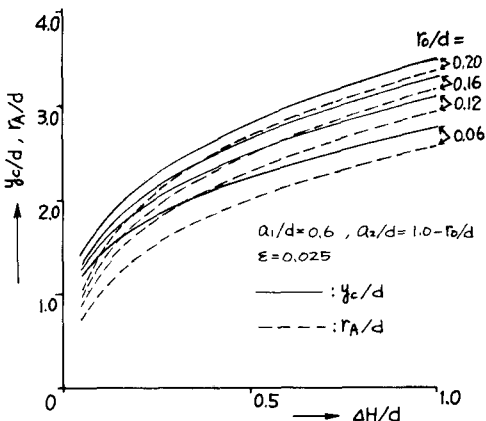


図-4

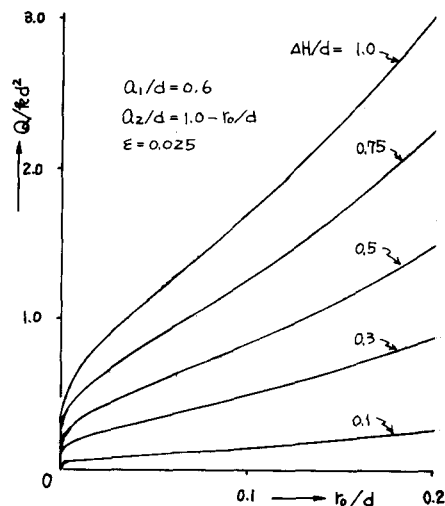


図-5