

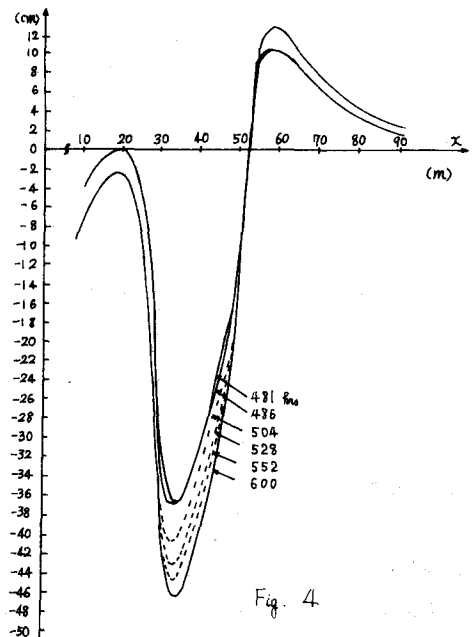
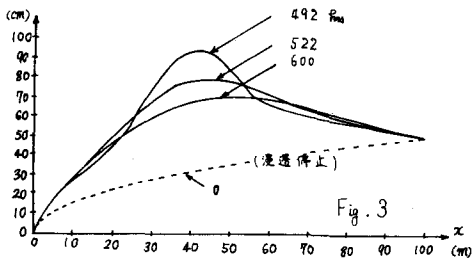
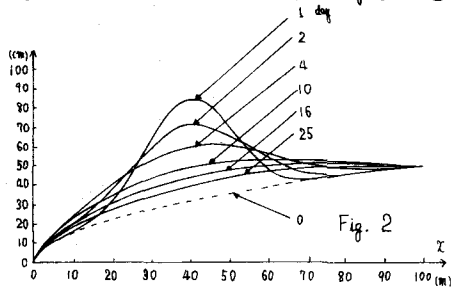
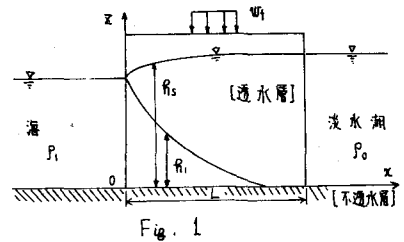
透水層内の密度流について

神戸大学工学部 正員 川谷 健

神戸大学工学部 学生員 倉谷 光一

海と淡水湖とにはさまれた透水層をとりあげてみると、水利用による淡水湖の水位低下は海水の透水層内への侵入を許す。潮水の汲み上げがすすんで淡水水位が下がれば、ついに海水は淡水湖へと侵入することとなり、淡水の塩水化という問題を生じる。このような海水の侵入を防ぐ方法⁽¹⁾としては、①透水層内に遮水壁を設けること、②侵入した塩水くさびを汲み出すこと、③井戸から淡水を人工的に注入してやること、④透水層の鉛直上方より降雨などの浸透により水位が上昇し、その結果として塩水くさびを後退させる効果を利用すること、などがあげられる。上記のような海水の侵入の防止を適切に行うためにも、透水層内における塩水くさびの挙動を把握することは重要な課題である。ここでは局部的に鉛直上方より浸透がある場合をとりあげ、浸透継続時間、浸透回数などの条件を加え、その結果として生じる自由水面と塩淡水境界面の非定常な形状変化を数値解析により検討した。また、Helsa-shaw 模型の実験を行い数値解析結果の検討の一助とした。

解析モデルをFig.1に示す。水平な不透水層の上部を x 軸に、海と透水層との境界面を z 軸にそれぞれ一致させる。また等方等質の透水層を考え、層内での流れは自由水面を有する2次元流であり、さらに境界面での両者の混合は無視できるものとする。ここで $\rho_0, \rho_1 =$ 淡水、海水の密度、 $H_0 =$ 海面高、 $\Delta\rho = \rho_1 - \rho_0$ 、および、 $L =$ 透水層長である。その他の記号はFig.1の通りである。



透水層内において自由水面および淡塩水境界面の満たすべき微分方程式⁽³⁾を陽解法により差分近似⁽²⁾したものを次式へ示す。

$$h_{i,j+1} = h_{i,j} + r \left(h_{i,j} - \frac{\Delta t}{\Delta x} h_{i,j} \right) \left(h_{i,j} - 2h_{i,j} + h_{i+1,j} \right) + \frac{\Delta t}{\Delta x} r \left(2h_{i,j} - h_{i,j} \right) \left(h_{i,j} - 2h_{i,j} + h_{i+1,j} \right) + \frac{r}{4} \left(h_{i,j} - h_{i+1,j} \right)^2 + \frac{r \Delta t}{2\beta_1} \left\{ \left(h_{i,j} - h_{i+1,j} \right)^2 - \left(h_{i,j} - h_{i+1,j} \right) \left(h_{i,j} - h_{i+1,j} \right) \right\} + \frac{w_i}{K} \Delta t \quad (1)$$

$$h_{i,j+1} = h_{i,j} + \frac{r \Delta t}{\beta_1} h_{i,j} \left(h_{i,j} - 2h_{i,j} + h_{i+1,j} \right) + \frac{r \Delta t}{\beta_1} \left\{ h_{i,j} \left(h_{i,j} - 2h_{i,j} + h_{i+1,j} \right) + \frac{1}{4} \left(h_{i,j} - h_{i+1,j} \right) \left(h_{i,j} - h_{i+1,j} \right) \right\} + \frac{r \Delta t}{4\beta_1} \left(h_{i,j} - h_{i+1,j} \right)^2 \quad (2)$$

ここで無次元変数として、 $X = x/L$, $H = h_s/L$, $h = h_i/L$, $T = t/(L^2/K)$ を用い、 K =透水係数、 η =間引き率、 t =時間変数、および、 $r = \Delta T/(\Delta X)^2$ である。また、 $i, j = 0, 1, 2, \dots$ であり、 $X = i \Delta x$, $t = j \Delta t$ と表わせる。浸透開始前の塩水くさびの形状は、Hertzbergの条件を満たすとすれば、初期自由水面形は $h_s(x,0) = H_0 + 0.05x$ 、境界面は $h_{xz,0} = H_0 - 0.05x / \Delta x$ で与えられる。

数値計算を行うにあたり、 $L=100^m$, $H_0=20^m$, $K=10^{-3} \text{ cm/sec}$, $\eta=0.4$, $\beta_0=1.0 \text{ g/cm}^3$, $\beta_1=1.025 \text{ g/cm}^3$, $\Delta x=2^m$, $\Delta t=0.2^{\text{hr}}$ とした。さらに局部浸透を $w_i=20^{\text{mm/hr}}$ for $30^m \leq x \leq 50^m$, $w_i=0$ for otherwise とし、次の2つの場合④12時間浸透継続後停止して600時間まで、④12時間浸透継続後停止して、さらに240時360時、480時におおの6時間継続浸透をくり返して600時まで、について行、た。

④の場合：自由水面上の Water Mound の減衰の様子を Fig. 2 に示す。Mound は、浸透継続中浸透量の増加と共に成長し、停止後 (Fig. 2) 減衰していく。頂点は $t=600^{\text{hr}}$ において初期面より約9^m高い。また、流出速度は海側の方が大きい。境界面の相対変位量は、浸透継続中、区間外および区間中央部に盛り上がりみられ、停止後、Mound の流出速度が海側の方が大きい影響として、境界面の海側の盛り上がりは淡水湖側よりも顕著に低下していく。

④の場合： $t=492^{\text{hr}} \sim 600^{\text{hr}}$ の間の Mound の減衰の様子を Fig. 3 に示す。Fig. 4 に $t=481^{\text{hr}} \sim 600^{\text{hr}}$ の間の境界面の相対変位量を示す。Mound の減衰の途中で次の浸透が開始することから、頂点は前浸透の影響が順次加算されて高くなり、 $t=600^{\text{hr}}$ で初期面よりも約35^m高くなる。境界面の低下の最長点についても、同様に前浸透の影響が重なり合い、360時間以後には、6時間浸透継続を120時間ごとにくり返すことにより約10^mずつ低下していくことがある時刻まで期待できる。

おわりに、Hale-shaw-模型により、数値計算結果と定性的に一致した実験結果 [Fig. 5] を得た。

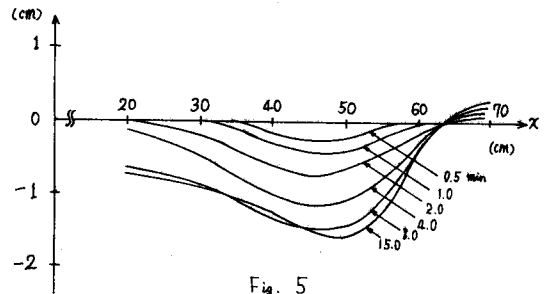


Fig. 5

参考文献

- 1) 嶋 裕之: "地下水", 1971年度水工学に関する夏期研究会議要集。
- 2) G.D.ミヌ著、藤川洋一郎訳: "電算機による偏微分方程式の解法", 別冊6社, 1971
- 3) 川崎健: "鉛直浸透による塩水くさびの変形について" 第10回災害科学に関する国際会議演説要集, 1973。
- 4) Peter. S. Eagleson: "Dynamic Hydrology", McGraw-Hill Inc. 1970