

室蘭工業大学 学生員 ○赤島 俊夫
室蘭工業大学 正員 藤間 聡

1. まえがき

地下密度流に関する研究は、従来より準一様流理論に基づいた Dupuit 仮定により解析されてきた¹⁾。しかしながら、準一様流理論とは圧力勾配が大きい場合、鉛直流速の効果を考慮できないために不満足な結果を生ずる。

本研究では、静水圧分布が成立しない地下密度流の定常不圧流れ、被圧流れ、および非定常不圧流れの境界面形状等を有限要素法を用いて推定し、実験結果と比較し、その有効性を確かめるものである。

2. 内部境界面の境界条件

Fig. 1 に示す様な 2 次元の堤体内密度流を考え、Darcy 則に従うものとする。内部境界面の式は

$$F(x, y, t) \equiv y - \eta(x, t) = 0 \quad \text{--- (1)}$$

で与えられる。1) の実質微分をとることにより

$$\lambda \frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{\gamma_i \gamma_c}{\mu_i} \left\{ \frac{\partial H_i}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\partial H_i}{\partial y} \right\} = 0 \quad \text{--- (2)}$$

$$K_i = \frac{\gamma_i \gamma_c}{\mu_i} \quad (i = 1, 2)$$

と表わせる。但し、

K_i : 透水係数, γ_i : 真の透水係数, γ_c : 流体の単位重量

H_i : ピエズ水頭値, λ : 空隙率, μ_i : 流体の粘性係数

であり、 i は淡水 ($i=1$) および海水 ($i=2$) を示す添字である。

境界面での圧力の連続を考えると、 $y = \eta(x, t)$ において

$$\eta = \frac{\gamma_2}{\Delta \gamma} H_2 - \frac{\gamma_1}{\Delta \gamma} H_1 \quad \text{--- (3)}$$

$$\Delta \gamma = \gamma_2 - \gamma_1$$

が成立する。(3) を (2) に代入することにより、内部境界面の満たすべき境界条件は次の様に表わせる。

$$\left. \begin{aligned} \lambda \alpha_1 \frac{\partial \phi_1}{\partial t} - \lambda \alpha_2 \frac{\partial \phi_2}{\partial t} - \alpha_1 \left(\frac{\partial \phi_1}{\partial x} \right)^2 + \alpha_2 \frac{\partial \phi_1}{\partial x} \frac{\partial \phi_2}{\partial x} - \frac{\partial \phi_1}{\partial y} &= 0 \\ \lambda \alpha_1 \frac{\partial \phi_1}{\partial t} - \lambda \alpha_2 \frac{\partial \phi_2}{\partial t} + \alpha_2 \left(\frac{\partial \phi_2}{\partial x} \right)^2 - \alpha_1 \frac{\partial \phi_1}{\partial x} \frac{\partial \phi_2}{\partial x} - \frac{\partial \phi_2}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (4)}$$

$$\text{但し、} \alpha_i = \gamma_i / K_i \Delta \gamma, \quad \phi_i = K_i H_i$$

3. 実験方法

実験は Hele-Shaw モデルを用いて行った。モデル通水部の寸法は 30 (cm) × 30 (cm) であり、空隙間隙は 0.27 (cm) である。またモデルは通水部に厚肉ガラスを使用し、材料表面の凹凸による影響を出来るだけ小さくすると共に、間隙を一定に保つ様心がけた。淡水をば海水としては比重 0.876 の流動パラフィン、比重 1.015 の 2% C.M.C 溶液を使用し、粘性流体用のポンプで通水部両端の水槽に送り、一定水頭を保った。被圧流れの場合には Hele-Shaw モデルの空隙間隙に相当するゴム板を挿入し、固定した。

非定常の場合は、淡水域内の海水 h_{so} を逐次低下させ、カメラを用いて撮影した。

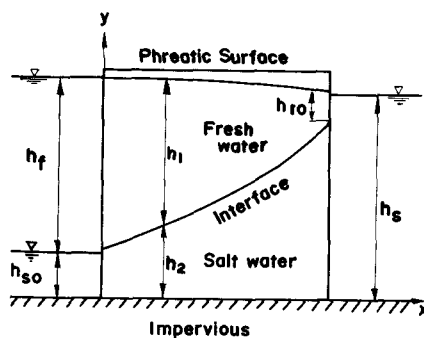


Fig-1 堤体内部の密度流

4. 実験結果及び解析結果

実験及び解析の結果ならびに両者の比較はFig. 2-4に示す通りである。定常の場合は被圧、不圧を問わず本研究の場合、内部境界面形状により淡水が卓越していることが判断できる。また、被圧流れの場合には塩水くさびの先端が堤体内に存在していることから、堤体内の海水は静止、或いは循環流のみが存在していることが推定できる。さらに、被圧流れの場合は Rumer-Harleman³⁾の式による解とも比較した。(Fig. 3) 実験値と比較して、海側浸出部を除いては Rumer-Harlemanの式も比較的良い近似を見せているが、準一様流を仮定しているため浸出部での不一致を生じる結果となっている。それに対して、いずれの場合も有限要素解は良い近似を与えている。尚定常の場合について各々得られた流量を示すと次の通りである。

(単位 $\text{cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$)	解析値	実験値
不圧流れ	$Q_1 = 0.5804$ $Q_2 = 0.1313$	$Q_1 = 0.6018$ $Q_2 = 0.1263$
被圧流れ	$Q_1 = 3.145$	$Q_1 = 2.963$

非定常の場合は淡水領域の海水水深を6cmから4cmまで逐次低下させたが、解析値との良い近似が得られた。尚、本研究における解析値は使用したアイソパラメトリック要素の節点流速を一定時間間隔で計算することによって得られたものであり、2.7(sec)で定常状態となった。

5. あとがき

有限要素法による定常被圧及び不圧密度流、ならびに非定常不圧密度流の解析は有効であることが確かめられた。今後はより具体的な場合について検討し、工学的な意義を高めてゆく所存である。

本研究に際し、終始御指導頂いた本学土木工学科の近藤俊郎教授に感謝致します。

尚、本研究の計算には北海道大学大型計算機センターのFACOM 230-75を使用したことを付記する。

6. 参考文献

- 1) Bear, J.: Dynamics of fluids in porous media, American Elsevier, 1972
- 2) Pricket, T.A.: Modeling techniques for ground-water evaluation, Advances in Hydrosience, vol.10, Academic Press, 1975
- 3) Rumer, R.R. and P.R.F. Harleman: Intruded salt-water wedge in porous media, Proc. of ASCE, vol. 89, No. HY6, 1963

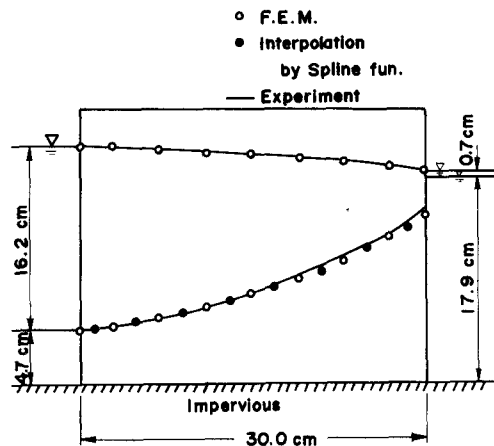


Fig-2 定常不圧地下密度流

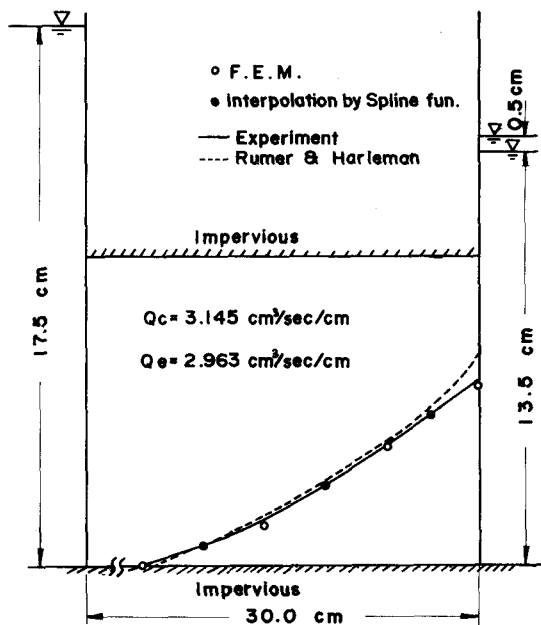


Fig-3 定常被圧地下密度流

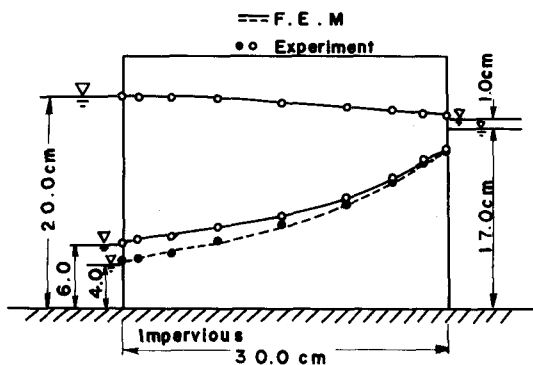


Fig-4 非定常不圧地下密度流