

淡水レンズが形成されるまでの淡塩二相流の挙動解析

九州産業大学工学部 学生員 西原 純 平
九州産業大学工学部 正会員 細川 土佐男
九州産業大学工学部 正会員 岩満 公 正
九州大学工学部 正会員 神野 健 二

1. はじめに

半島や島嶼部の帯水層には淡水と塩水の圧力によって淡水レンズが形成されることがある。この淡水レンズが形成されるまでの淡水と塩水の挙動を把握しておくことが、海浜に近い帯水層の地下水の利用を行う上で重要であると考えられる。そこで著者らは、前報¹⁾で海浜の斜面形状を考慮した塩水侵入の室内実験と数値計算を行い、斜面上の境界条件の妥当性や塩水侵入形状について報告した。しかし、計算結果は、実験結果をよく再現しているとは言えなかった。本報では数値計算についてさらに検討を行った結果、概ね実験結果を再現できたので報告する。

2. 室内実験

実験装置の概略を図1-1に示す。実験は、まず、地表面に10mm/hr降雨を降らせた後、左右のヘッドタンクに水道水を給水して水深を50cmに設定し、地下水流の流れを安定させるために一昼夜おく。次に、左右のヘッドタンクの水道水を塩水侵入域の目視観測が可能のように食用色素赤色2号で赤紫色に着色した密度1.025g/mm³の塩水と一気に置換し、左右のヘッドタンクの塩水を帯水層に侵入させ、その後の侵入領域の変化を観測した。

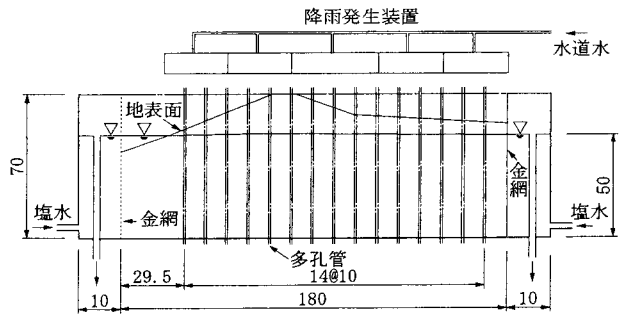


図1 実験装置の概略

3. 数値計算

計算は、以下に示す地下水流れの式と2次元移流分散方程式を用いて行った²⁾。

$$\begin{aligned} (C_w + \alpha_0 S_s) \frac{\partial h}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ k \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\rho}{\rho_f} \right) \right\}, \quad \frac{\partial(\theta c)}{\partial t} + \frac{\partial(v_x' \theta c)}{\partial x} + \frac{\partial(v_y' \theta c)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\theta D_{xx} \frac{\partial c}{\partial x} + \theta D_{xy} \frac{\partial c}{\partial y} \right) \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left(\theta D_{yy} \frac{\partial c}{\partial y} + \theta D_{yx} \frac{\partial c}{\partial x} \right), \quad \theta D_{xx} = \frac{\alpha_L v_x^2}{v} + \frac{\alpha_T v_y^2}{v} + \theta D_M, \quad \theta D_{yy} = \frac{\alpha_T v_x^2}{v} + \frac{\alpha_L v_y^2}{v} + \theta D_M \\ \theta D_{xy} = \theta D_{yx} &= \frac{(\alpha_L - \alpha_T) v_x v_y}{v}, \quad v = (v_x^2 + v_y^2)^{1/2}, \quad c = 100(\rho - \rho_f) / (\rho_s - \rho_f) \end{aligned}$$

ここに、 t : 時間、 h : 圧力水頭、 k : 透水係数、 v_x 、 v_y : x 、 y 方向のダルシー流速、 ρ : 流体密度、 ρ_f : 淡水密度、 S_s : 比貯留係数、 C_w : 比水分容量、 c : 濃度、 D : 分散係数、 θ : 体積含水率、 α : 分散長である。海浜斜面上の塩分濃度の境界条件は、斜面上の法線方向の流向が内向きの場合には濃度 $c=100\%$ 、逆に外向きの場合には $\partial c / \partial n = (\partial c / \partial x)(\partial x / \partial n) + (\partial c / \partial y)(\partial y / \partial n) = 0$ とした。

4. 結果と考察

実験結果は、実験開始36時間後から左右の塩水タンクから侵入した塩水が連結して淡水レンズが形成されているが、前報の数値解は図2に示すように48時間経過しても連結していない。そこで、a) 空隙率、透水係数、分散長は、前報($n=0.404$ 、 0.037cm/sec 、 $\alpha_L=0.02\text{cm}$ 、 $\alpha_T=0.002\text{cm}$)のままで降雨量を少なくする、b)

分散長は前報のままで、空隙率、透水係数を塩水位より上部($n=0.45$, $k=0.045\text{cm/sec}$)と下部($n=0.42$, $k=0.040\text{cm/sec}$)とに分ける、c) 空隙率、透水係数は前報のままで分散長を前報より1オーダー大きくするなどして計算を行った。a)の場合は降雨量を 5mm/hr まで小さくしても連結せず、これ以上を小さくすると塩水の浸入が実験結果より早くなることが予想される。b)の場合は連結しないので、降雨量を 3mm/hr まで小さくすると連結するが塩水侵入域の形状が実験と異なる。c)の場合は連結しなかった。次に、a)とc)の場合を組み合わせ合わせて計算を行ってみたが降雨量が 5mm/hr までは連結しなかった。そこで、a)、b)、c)を組み合わせ合わせて降雨量を 5mm/hr で計算を行った結果、淡水レンズが形成され図4, 6, 8に示すように、図3, 5, 6の実験結果を概ね再現している。

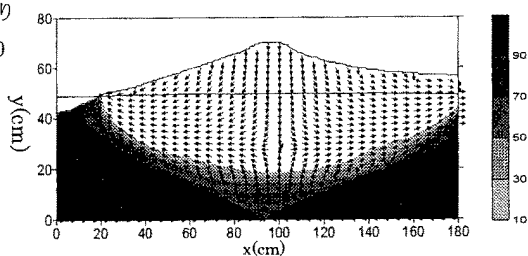


図2 前報の計算結果(実験開始48時間後)

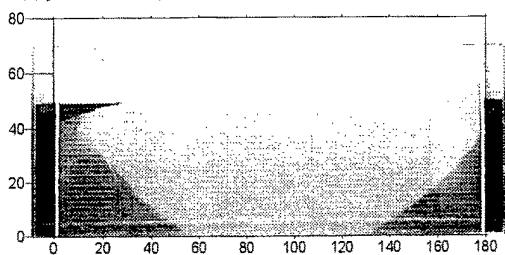


図3 実験結果(実験開始12時間後)

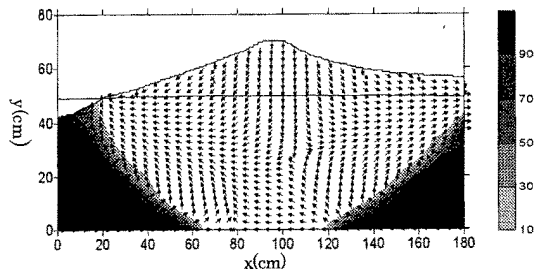


図4 計算結果(実験開始12時間後)

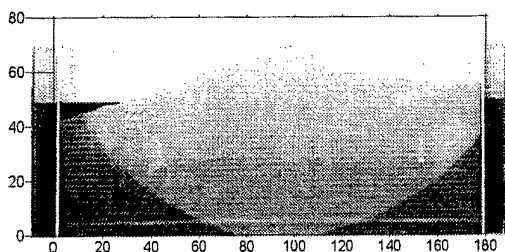


図5 実験結果(実験開始24時間後)

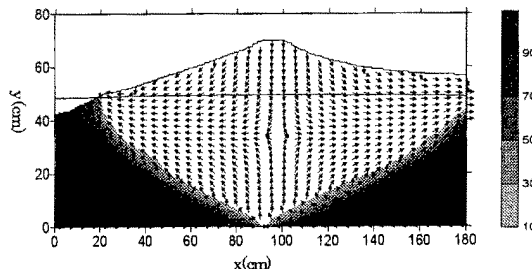


図6 計算結果(実験開始24時間後)

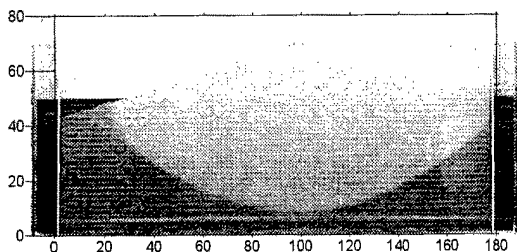


図7 実験結果(実験開始48時間後)

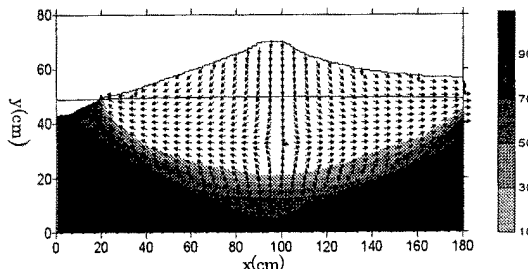


図8 計算結果(実験開始48時間後)

【参考文献】

- 1) 笠井・神野・大串・細川：土木学会西部支部研究発表会、pp.280-281、1993年3月。
- 2) 細川・神野・靱井：水工学論文集、第36巻、pp.423-428、1992年2月。