

海浜の斜面形状を考慮した淡塩二相流の混合解析

九州大学工学部 学生員 笠井 真 吾
 // 正会員 神野 健 二
 // 学生員 大串 昌 宏
 九州産業大学工学部 正会員 細川 土佐男

1. はじめに

離島や島嶼部の帯水層に滞留する地下水の利用を行うに当たっては、海側から侵入してくる塩水の挙動を把握しておく必要がある。このことを、著者らはこれまで淡水と塩水の分散混合を考慮した二相流の数値計算により行ってきた。地下水を揚水する位置が内陸部側にある時は、海側の海浜形状を鉛直にして計算を行っても塩水侵入には影響を及ぼさない。しかし、海側に近い位置で地下水を揚水するときは、海浜の斜面形状を考慮した計算を行う必要がある。したがって本報では、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、斜面上の境界条件や塩水侵入形状について検討を行った。

2. 室内実験

実験装置の概略を図-1に示す。装置には左右にヘッドタンク、地下水位観測用の多孔管、上部に降雨発生装置を設けている。また、左右の金網で囲まれた長さ 180cm、幅 12.5cm、高さ 70cm の領域の左側に傾斜した海浜と凸状の地表面を有する地盤を作成した。実験は、塩水の非定常侵入過程について行った。まず、地表面に 10mm/hr 降雨を降らせ、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。その後、左右のヘッドタンクの水

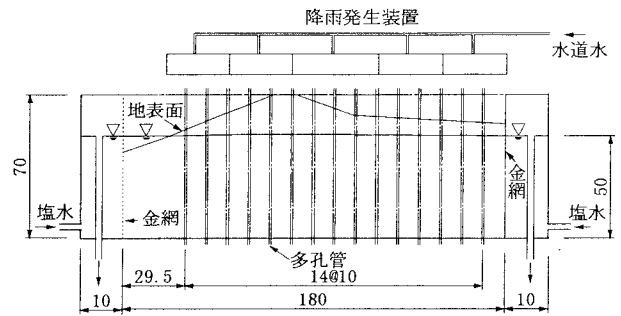


図-1 実験装置の概略

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が 1.025g/mm^3 の塩水と一気に置換し、左右のヘッドタンクから塩水が帯水層に侵入させ、侵入領域の変化を観測した。

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¹⁾。

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

ここに、 t は時間、 h は圧力水頭、 k は透水系数、 v_x 、 v_y は x 、 y 方向のダルシー流速、 ρ は流体密度、 ρ_f は淡水密度、 S_s は比貯留係数、 C_w は比水分容量、 c は濃度、 D は分散係数、 θ は体積含水率、 α は分散長である。海浜斜面上の塩分濃度の境界条件は、法線方向の流速が帯水層内に向いている場合には濃度 $c=100\%$ 、逆に外に向いている場合には $\partial c / \partial n = (\partial c / \partial x)(\partial x / \partial n) + (\partial c / \partial y)(\partial y / \partial n) = 0$ とした。数値計算条件は、 $\Delta x=1.0\text{cm}$ 、 $\Delta y=0.5\text{cm}$ 、 $k=0.037\text{cm/sec}$ 、 $\alpha_L=0.02\text{cm}$ 、 $\alpha_T=0.002\text{cm}$ である。

4. 実験および計算結果と考察

図-2～7には、実験開始 12 時間、24 時間、48 時間後の実験結果と計算結果を示している。実験結果および計算結果とも時間の経過とともに左右の塩水侵入域が帯水層の中央に向かって侵入し、12 時間後の両結果は侵入域の形状がよく一致している。特に、実験と計算との海浜の斜面近傍の侵入形状が一致していることから、斜面上の塩分濃度の境界条件の与え方が妥当であることがわかった。48 時間後の実験結果は、左右から侵入した塩水域がつながって下に凸の侵入形状になっている。これに対して、計算結果は塩分濃度の濃い部分がつながっていない、これは左右の塩水域が合致した位置がよどみ点になりこの位置に濃度の濃い塩水が運ばれていないのではないかと考えられる。したがって、 $y=0$ 上の塩分濃度の境界条件の与え方を検討する予定である。

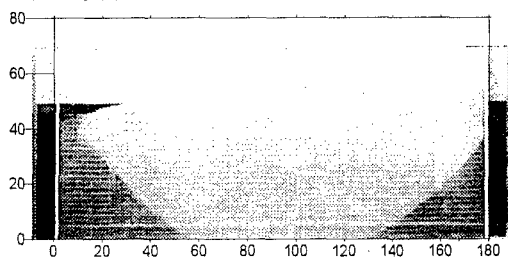


図-2 実験結果(12 時間後)

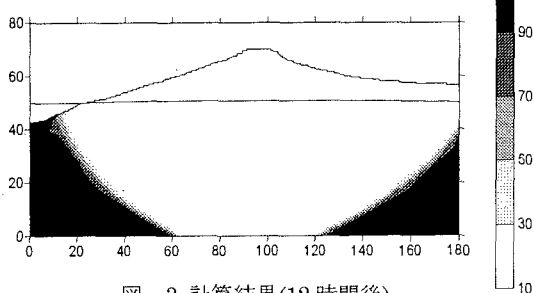


図-3 計算結果(12 時間後)

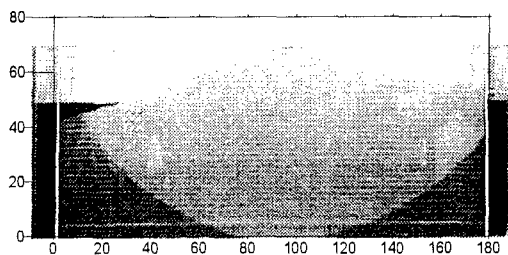


図-4 実験結果(24 時間後)

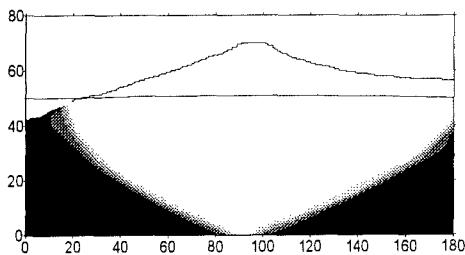


図-5 計算結果(24 時間後)

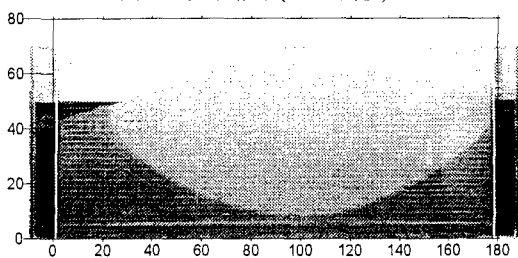


図-6 実験結果(48 時間後)

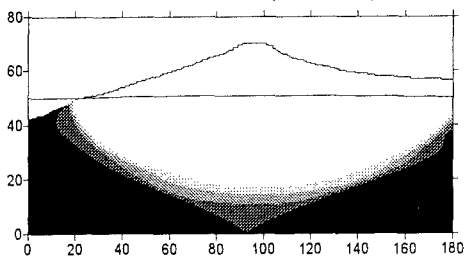


図-7 計算結果(48 時間後)

図-8には実験開始 1 2 時間後の数値計算の流速分布を示している。地表面から帯水層に浸透した降雨は、左右に分かれて海側に流出している。帯水層下部中央の淡水も左側の傾斜した海浜境界上の淡水流出部や右側の鉛直境界上の淡水流出部に向かって上昇し海側に流出している。帯水層内部に向かって侵入してきた塩水は混合域で向きを変えて海側に流出している。

「参考文献」

1) 細川・神野・初井：水工学論文集、第 36 巻、pp.423-428、1992 年 2 月。

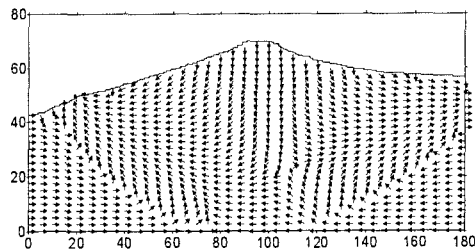


図-8 流速ベクトル分布(12 時間後)