

II - 80

感潮河川周辺不圧帯水層への密度の異なった塩水の侵入について

九州産業大学工学部 正会員 細川 土佐男

九州大学工学部 正会員 神野 健 二

1.はじめに 著者らは、これまでに洪水防御対策として感潮河川の河幅を広げた場合や感潮河川周辺地下水の揚水利用によって河川水位よりも地下水が低い場合に起こる感潮河川の周辺地下水の塩水化について検討を行ってきた^{1), 2)}。本報では、感潮河川から密度の異なった塩水が周辺不圧帯水層に侵入する場合の室内実験および数値計算を行い、塩水侵入域の形状について検討を加えるものである。

2.実験装置と実験方法

実験装置の概略を図-1に示す。実験水槽はアクリル製で、浸透層の大きさは、長さ90cm、幅1.5cm、高さ30cmである。水槽の左上と右側に水位調節が可能なヘッドタンクを設けている。ヘッドタンクと浸透層の境界に金網を設置し、金網で囲まれた部分に平均粒径が $d_m = 0.054\text{cm}$ の相馬砂を用いてほぼ均一な透水性の不圧帯水層を作った。

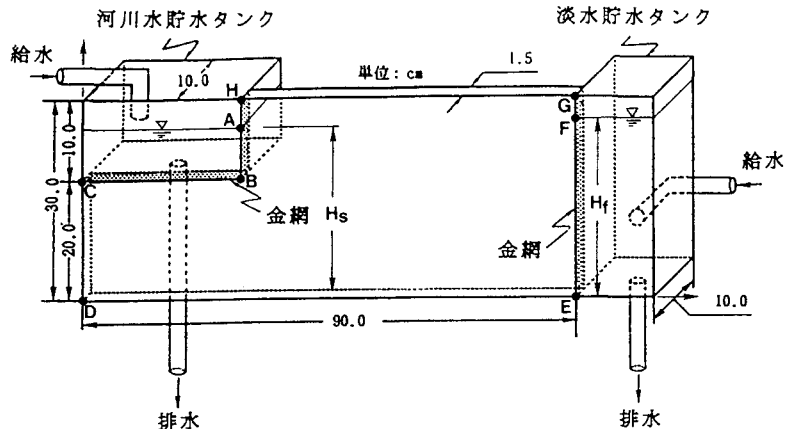


図-1 実験装置の概略

表-1 実験の種類

実験番号	河川水の密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$
1	1.000
2	1.001
3	1.002
4	1.003
5	1.005
6	1.010
7	1.015
8	1.020
9	1.025

実験では、河川水貯水タンクに塩水侵入域の目視観測が可能なように食用色素赤色2号で赤紫色に着色した塩水を、淡水貯水タンクに水道水を給水した後に、河川水の水位を22.0cm、淡水の水位を23.0cmに設定し、流れが十分に安定した状態を初期条件とした。この初期条件から淡水位を21.0cmまで一気に低下させ塩水の非定常侵入過程の実験を行った。

実験の種類は、河川水の密度 ρ_s を表-1に示すように変化させた9ケースである。なお、塩水侵入域の観測は、写真撮影により一定時間ごとに行った。

3.数値計算 図-1に示した鉛直断面不飽和一飽和帯水層における地下水流れの基礎方程式および二次元移流分散方程式は、水平方向にx軸、鉛直上向きにy軸をとると次式で与えられる。

$$(C_w + \alpha S_s) \frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \quad \dots (1)$$

$$u = -k \frac{\partial h}{\partial x} \quad \dots (2) \quad , \quad v = -k \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\rho}{\rho_f} \right) \quad \dots (3)$$

$$\frac{\partial (\theta C)}{\partial t} + \frac{\partial (u' \theta C)}{\partial x} + \frac{\partial (v' \theta C)}{\partial y} = \frac{\partial (\theta D_{xx} \frac{\partial C}{\partial x} + \theta D_{yy} \frac{\partial C}{\partial y})}{\partial x} + \frac{\partial (\theta D_{xy} \frac{\partial C}{\partial x} + \theta D_{yx} \frac{\partial C}{\partial y})}{\partial y} \quad \dots (4) \quad , \quad C = 100(\rho - \rho_f) / (\rho_s - \rho_f) (\%) \quad \dots (5)$$

ここに、 S_s ：比貯留係数、 C_w ：比水分容量、 h ：圧力水頭、 t ：時間、 k ：透水係数、 ρ ：流体密度、 ρ_f ：淡水密度、 ρ_s ：塩水密度、 θ ：体積含水率、 C ：塩分濃度、 u, v ：x, y方向のDarcy流速、 u', v' ：実質流速であり、式(1)の α は、不飽和領域では0、飽和領域では1の値をとる変数である。 θD_{xx} 、 θD_{yy} 、 θD_{xy} 、 θD_{yx} は縦方向分散定数と横方向分散定数を用いた流速依存型と水の分子拡散の和で与えている²⁾。

数値計算方法は、式(1)については陰形式の差分法を用いて行い、式(4)の数値解は移流項の離散化誤

差が無い粒子移動法によっている。なお、数値計算に必要な定数として、飽和透水係数 0.34 cm/s 、空隙率 0.321 、縦方向分散定数 0.0227 cm 、横方向分散定数 0.0013 cm 、分子拡散係数 $10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、淡水密度 1.000 g/cm^3 、差分格子間隔 x 方向 1.0 cm 、 y 方向 0.5 cm である。

4. 結果と考察 図-2には、淡水位低下後 $t=60$ 分の目視観測による塩水侵入域を示している。河川水と地下水の密度差が大きいほど塩水侵入域の下部で大きな凹凸の変化が起こり、しかも河川の右側の塩水域は下向きに低下しながら侵入し、河川の下側では下部不透水層に到達している。河川より右側への侵入位置は、密度差の大きさに関係なく $x=50 \sim 55 \text{ cm}$ の位置に達している。なお、塩水侵入域に凹凸の変化が起こる原因として、帯水層の透水性が完全に均一ではないことや、地下水中に上部から重い塩水が侵入するために河川水と地下水の密度差による移流の不安定な変化が塩水域で発生する事が考えられる。

図-3には、20% 間隔の等濃度線の数値解を示している。河川水と地下水の密度差が大きいほど等濃度線に大きな凹凸の変化が起こっている。目視観測による塩水侵入域と数値解の等濃度線の全体的な形状は比較的よく一致しているといえる。

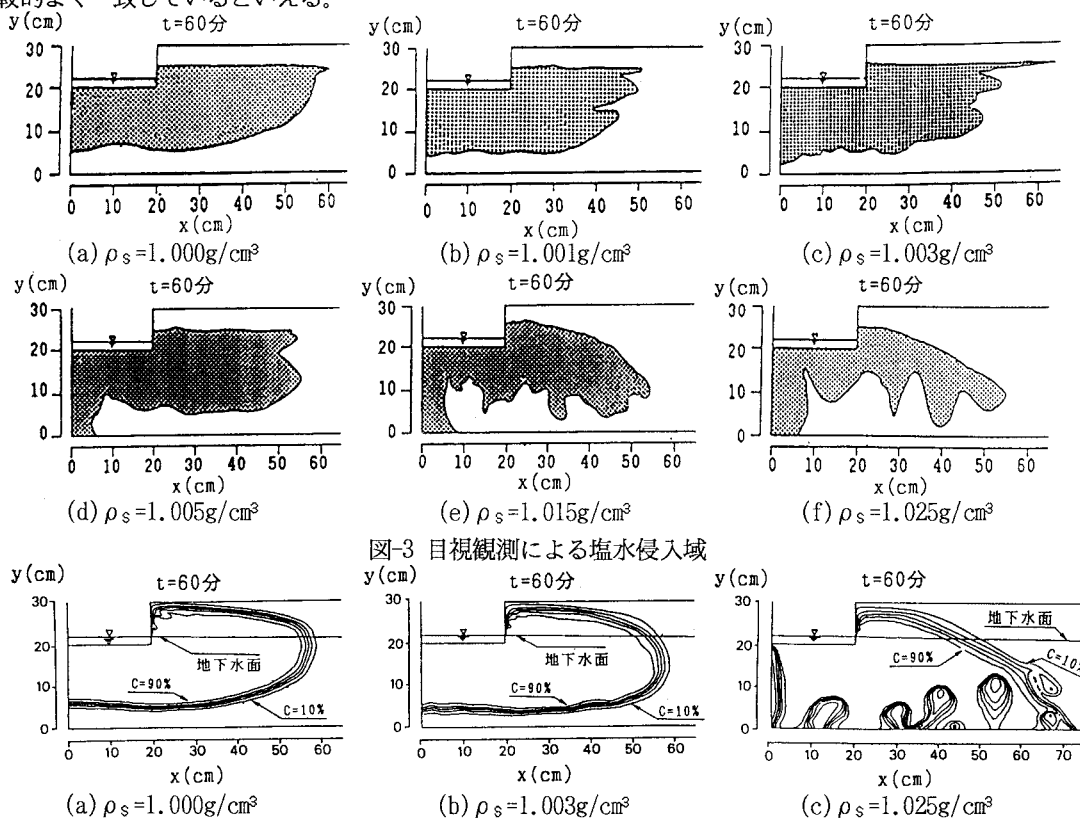


図-4 塩分濃度分布

5. おわりに 本報では、感潮河川から周辺帯水層へ密度の異なった塩水の侵入について室内実験と数値計算を行った結果、河川水と地下水の密度差が大きくなるにつれて凹凸の変化も大きくなり下向きに低下しながら帯水層に侵入することが確かめられた。今後は、河川と帯水層との相互作用について更に検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 舩井、神野、細川、戸川、金光：感潮河川周辺地下水への塩分の輸送について、水文・水資源学会1990年研究発表会要旨集、pp.290-293、1990。
- 2) 細川、神野、舩井：感潮河川から不圧帯水層への塩水の侵入・分散について、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集第2部、II-83、pp.206-207、1991。