

最終埋立処分場維持管理のための地下浸透流挙動の基礎的研究(その2)

長崎大学大学院 学生会員 ○本郷 伸
長崎大学大学院 正会員 李 博

長崎大学大学院 フェロー会員 蔣 宇静
長崎大学工学部 学生会員 堀口礼央

1. はじめに

浸透流関連の問題には、灌漑用水の過剰なくみ上げによる塩害¹⁾や最終処分場の遮水工の損壊による有害物質の漏出で生じる土壤汚染²⁾等様々な原因が存在し、それらを防ぐためには、地盤内での地下水の挙動を把握する必要がある。本研究では主に水溶性の金属イオンを想定し、土中での挙動を解析によるシミュレーションの実施で把握することを目的とする。

2. 研究概要

2.1 解析手法

解析にはオイリアン・ラグランジアン法による飽和・不飽和浸透流-移流・分散解析プログラムである Dtransu-2D・EL を用いる。飽和・不飽和浸透流と移流・分散の基礎方程式³⁾を以下に示す。密度依存を考慮した移流分散解析では、濃度変化によって密度が変化する。すなわち、式(1)の左辺第1項の c と左辺第2項の ρ の値が変化し密度流が生じるため、式(1)と式(2)を2段階に連成させて解析を行う。

飽和・不飽和浸透流の基礎方程式:

$$\rho_f \theta \gamma \frac{\partial c}{\partial t} + \rho \{ \beta S_s + C_s(\theta) \} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \{ \rho K_{ij}^s K_r(\theta) \frac{\partial \phi}{\partial x_j} + \rho K_{i3}^s K_r(\theta) \rho_r \} \quad (1)$$

移流・分散の基礎方程式:

$$R \theta \rho \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta \rho D_{ij} \frac{\partial c}{\partial x_j}) - \theta \rho V_i \frac{\partial c}{\partial x_i} - R \theta \rho \lambda c - Q_c \quad (2)$$

ここで、 ϕ : 圧力水頭, θ : 体積含水率, S_s : 比貯留係数, $C_s(\theta)$: 比水分容量, K_{ij}^s : 飽和透水テンソル, $K_r(\theta)$: 比透水係数, c : 濃度 ($0 \leq c \leq 1$, 飽和濃度を1として正規化), t : 時間, ρ_f : 溶媒の密度, ρ : 流体の密度, ρ_r : 溶媒の密度に対する流体の密度比 (ρ / ρ_f), $\beta = 1$: 飽和領域, 0 : 不飽和領域, γ : 溶質の密度比, R : 遅延係数, D_{ij} : 分散テンソル, V_i : 実流速, Q_c : 源泉項, λ : 減衰定数。

また、分散テンソルは拡散係数も含めた流速に依存する次式を用いた³⁾。

$$D_{ij} = \alpha_T \|V\| \delta_{ij} + (\alpha_L - \alpha_T) \frac{V_i V_j}{\|V\|} + \alpha_m \tau \delta_{ij} \quad (3)$$

ここで、 α_T : 横分散長, α_L : 縦分散長, V_i : 実流速ベクトル, $\|V\|$: 実流速の絶対値, α_m : 分子拡散係数, τ : 屈曲率, δ_{ij} : クロネッカのデルタである。

2.2 解析モデル

解析モデルは室内実験⁴⁾で使用したものを模し、幅36cm、高さ20cm、地盤とタンクの長さが3:1になるように作成する。ここに、L: タンクと地盤の境界面からの距離(cm)、Z: 地表面からの深さ(cm)である。このモデルを用い、珪砂5号・まさ土の2種類で飽和浸透流-移流・分散解析を行う。各試料の物性値を表-1に示す。

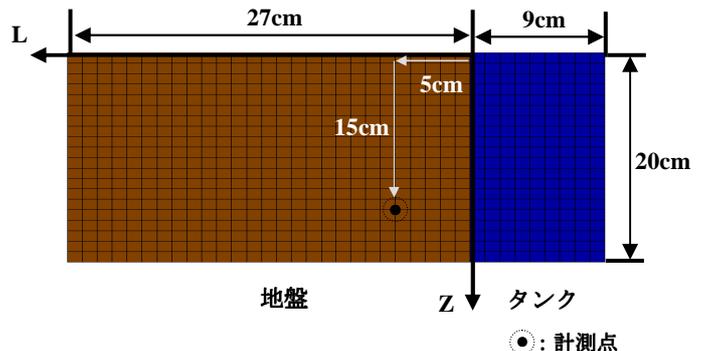


図-1 モデル概要

表-1 各試料の物性値

試料	透水係数(m/s)	最適含水比(%)	有効間隙率(%)	比貯留係数(cm ³)	分子拡散係数(cm ² /s)
珪砂 5 号	5.79×10 ⁻⁴	14	34	9.4×10 ⁻⁸	1.68×10 ⁻⁵
まさ土	1.17×10 ⁻⁵	12	20	1.2×10 ⁻⁶	

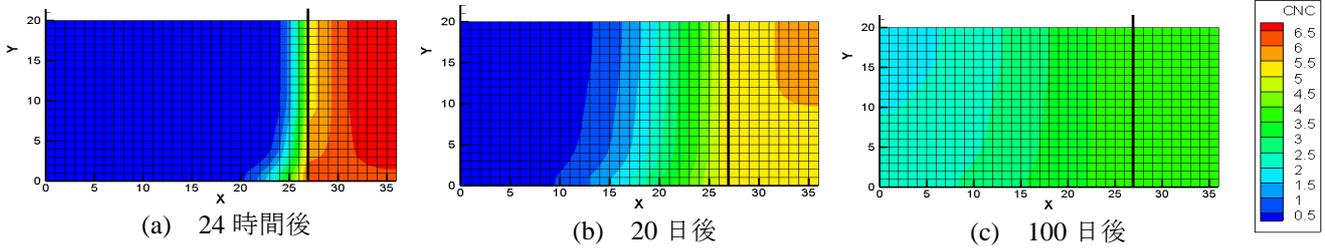


図-2 濃度分布(珪砂 5 号)

3. 結果と考察

解析モデルの地盤に珪砂 5 号とまさ土、タンクに 7% の食塩水を設定し、密度依存を考慮した上で解析を行った。図-2 は珪砂 5 号における各時間ごとの濃度分布を示したものである。最初は水と塩水との密度差で地表面からの深さが深く、なおかつタンク仕切に近い地点で塩分濃度が大きくなっていくのが読み取れる。

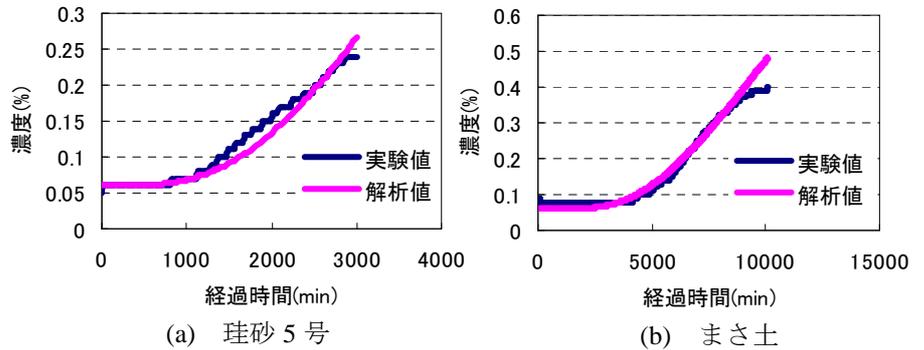


図-3 実験値と解析値の比較

図-3 は計測点(L, Z)=(5, 15)における珪砂とまさ土の各時間の濃度変化を実験値と解析値の比較を示したものである。透水係数が濃度上昇開始に影響していると考えられ、透水係数が小さいまさ土では上昇開始までの時間が長いことが読み取れる。

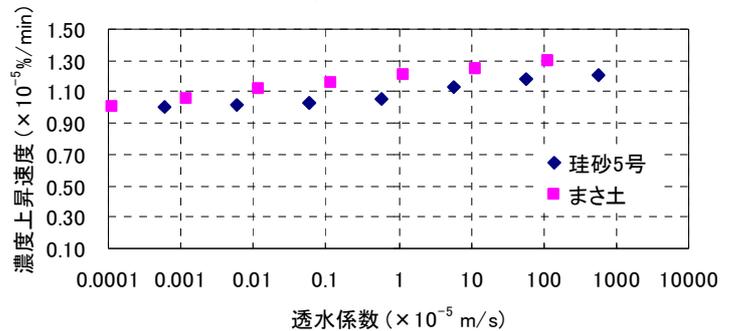


図-4 濃度上昇速度と透水係数の関係

図-4 は濃度上昇速度と透水係数との関係を考察

するために、透水係数を幾つかのパターンに変化させたものである。透水係数が高くなるにつれて濃度上昇速度(濃度ピーク値までの濃度上昇の速さ)が速くなっているのがわかる。また、透水係数がほぼ等しい値であってもまさ土の濃度上昇速度が常に高い値を示している。透水係数が等しければ、有効間隙率が小さくなるほど土粒子中に流れる流量は大きくなり、濃度上昇速度は速くなると考えられる。このことから、濃度上昇速度は透水係数だけではなく有効間隙率にも大きく影響していると言える。

4. おわりに

珪砂 5 号とまさ土について、2 次元モデルによる飽和浸透流-移流・分散解析を実施した。室内実験との比較でこのモデルの妥当性を示すことができた。今後は他の試料における解析の実施を予定しており、解析の精度をより向上させることが課題である。

【参考文献】

- 1) 門野浩二, 福原輝幸: 中間塩集積層土壌の 2 次的塩害に及ぼす散水の影響, 土木学会第 58 回年次学術講演会論文概要集, pp.67-68, 2003
- 2) 竹林広顕他, : 土壌に浸透する廃棄物埋立地浸出水の変化, 土木学会第 56 回年次学術講演会論文概要集, pp.22-23, 2001
- 3) 西垣誠: Dtransu-2D・EL 理論解説, pp1-33, 1994
- 4) 堀口礼央ら: 最終埋立処分場維持管理のための地下浸透流挙動の基礎的研究(その 1), 平成 24 年土木学会西部支部研究発表会, 投稿中