

II-435

廃棄物充填層内の不飽和流れにおける非反応性物質の移動特性について  
(第4報)

北海道大学 工学部 正会員 熊野顕生\*  
正会員 田中信寿  
正会員 神山桂一

1. はじめに 廃棄物埋立層内に生成した汚濁成分の洗出し(移動)機構の解明は浸出水処理施設の設計・運転あるいは地下水汚染制御のための重要な課題である。本報では、前報<sup>1,2,3)</sup>に続き溶質(NaCl)の移動モデルを提案し、非定常流れ(断続降雨)による洗出し実験結果(焼却灰)を用いてモデルの検討を行う。

2. 不飽和水分移動・溶質移動モデルの提案 前報<sup>3)</sup>で提案した3成分不飽和流動モデルによって各種の浸出水量実測値が比較的うまく説明できた。さらに提案した溶質移動モデル(図1)により定常不飽和流れに伴う溶質移動を模擬できた。しかし、不動水の分割比が流量の関数となり、非定常流れ溶質移動モデルには使えないことが分かった。そこで不動水を断面方向に一樣であるとしたモデル2と不動水内に溶質移動抵抗の大きい(死空間的)部分が存在するモデル3とを考えた(図1)。

3. コンパートメントモデルによる表現 断続降雨実験は長い時間スケールの実験であるため、偏微分方程式を数値的に解いて模擬するには大変な時間がかかる。そこで深さ方向に離散化、つまりコンパート(ボックス)化して常微分方程式化して解くことを考える。水分移動計算用モデルを図2に、計算式を表1に示す。毛管部の水分飽和部( $\Delta z, n = 15 \text{ cm}$ )を1つの段、残りの部分を等分割する(全深さ 90.5 cm)。

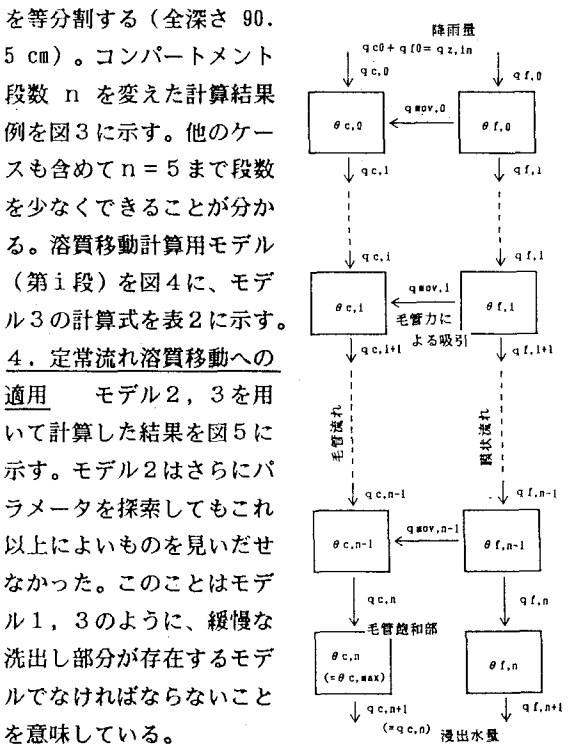


図2 不飽和水分流動コンパートメントモデル

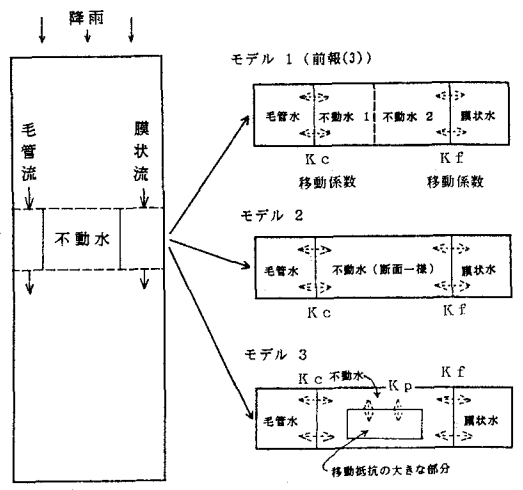


図1 水平断面における溶質移動モデル

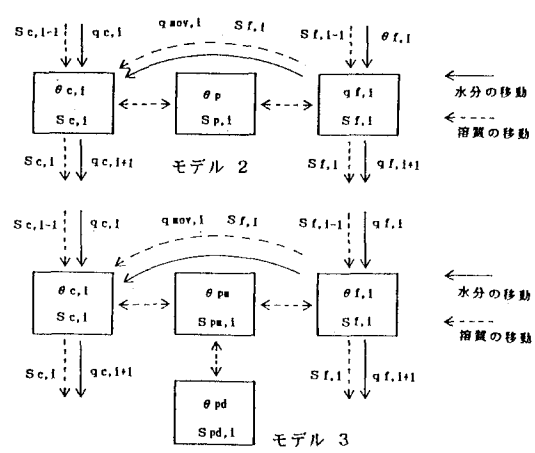


図4 不飽和水分流動に伴う溶質移動のコンパートメントモデル

\* (現在)富士電機(株)勤務

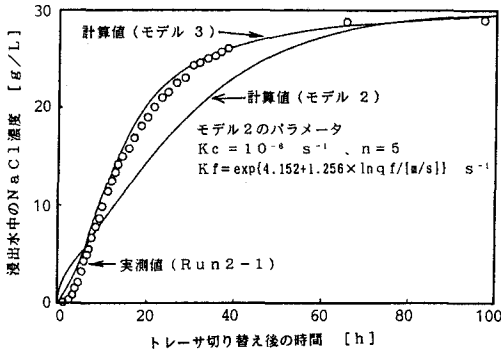


図5 定常不飽和流れによる溶質浸入過程のシミュレーション例

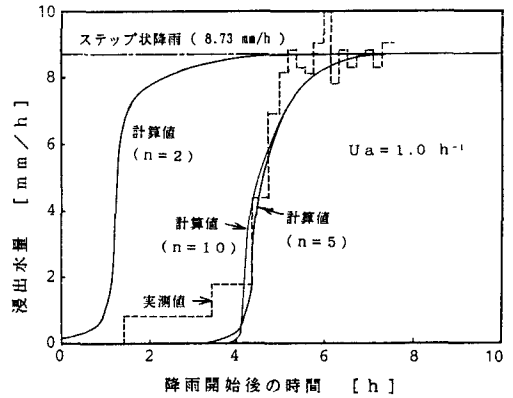


図3 浸出水量計算値に及ぼすコンパートメント数の影響

表3 モデル3の最適パラメータ

$Kc = 1.5 \times 10^{-6} \theta_c / \theta_{c, \max} \text{ s}^{-1}$   
 $Kf = \exp[0.387 + 0.861 \times \ln qf / [m/s]] \text{ s}^{-1}$   
 $Kp = 10^{-6} \text{ s}^{-1}, n = 5$   
 $r = \theta_{pd} / (\theta_{pd} + \theta_{pm}) = 0.4$

表1 不飽和水分流動計算式(第i段)

$d\theta_{c,i} / dt = (q_{c,i} - q_{c,i+1}) / \Delta z_i + q_{mov,i}$   
 $d\theta_{f,i} / dt = (q_{f,i} - q_{f,i+1}) / \Delta z_i - q_{mov,i}$   
 ここで  $q_{c,i} = K(\theta_{c'}) - D(\theta_{c'}) (\theta_{c,i} - \theta_{c,i-1}) / \Delta z_i$   
 $q_{f,i} = 2.752(\theta_{f,i})^3 \text{ m/s}$   
 $q_{mov,i} = Ua(\theta_{c, \max} - \theta_{c,i}) \delta(\theta_{f,i}) \text{ s}^{-1}$   
 $\theta_{c'} = (\theta_{c,i-1} \Delta z_{i-1} + \theta_{c,i} \Delta z_i) / (\Delta z_{i-1} + \Delta z_i)$   
 $K(\theta_{c'}) = \exp(80.02\theta_{c'} - 17.92) \text{ m/s}$   
 $D(\theta_{c'}) = \exp(61.00\theta_{c'} - 16.76) \text{ m}^2/\text{s}$   
 $\theta_{c, \max} = 0.0388, Ua = 1.0 \text{ h}^{-1} = 2.778 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

5. 断続降雨溶質移動への適用

4. で求めたモデル3のパラメータ

を浸透水量の関数として整理した結果を表3に示す。ただし、 $Kc$  は4. のシミュレーションでは感度がなく、 $\theta_c$ に比例すると前提してこのシミュレーションを通して決定した。断続降雨に対する計算例を図6(時間に対して)、図7(累積浸出水量に対して)に示す。図7の降雨は高さが降雨強度で横軸の幅は横軸の水量値に対応する位置で降雨が開始、停止したことを示している。計算値は、降雨停止後の濃度上昇の模擬に不満足な点があるが、全体的にはほぼよく模擬できている。

表2 溶質移動モデル3計算式(第i段)

$dS_{c,i} / dt = \{q_{c,i} C_{c,i-1} \delta(\theta_{c,i-1}) - q_{c,i+1} C_{c,i} \delta(\theta_{c,i})\} / \Delta z_i + q_{mov,i} C_{f,i} + Kc(C_{pm,i} - C_{c,i}) \delta(\theta_{c,i}) \text{ [} q_c > 0 \text{の時]}$   
 $dS_{f,i} / dt = \{q_{f,i} C_{f,i-1} \delta(\theta_{f,i-1}) - q_{f,i+1} C_{f,i} \delta(\theta_{f,i})\} / \Delta z_i - q_{mov,i} C_{f,i} + Kf(C_{pm,i} - C_{f,i}) \delta(\theta_{f,i})$   
 $dS_{pm,i} / dt = Kc(C_{c,i} - C_{pm,i}) \delta(\theta_{c,i}) + Kf(C_{f,i} - C_{pm,i}) \delta(\theta_{f,i})$   
 $dS_{pd,i} / dt = Kp(\theta_{pm,i} - \theta_{pd,i})$

記号表

$\theta$ : 体積含水率[-]、 $q$ : 流量[m/s]、 $S$ : 層単体体積当りの溶質量[g/m<sup>3</sup>]、 $C$ : 溶質濃度[g/m<sup>3</sup>]、 $K$ : 溶質移動容量係数[s<sup>-1</sup>]、 $\Delta z$ : コンパートメント長さ[m]、 $\delta(x)$ : デルタ関数 { $x=0$ の時; $\delta=0$ 、 $x>0$ の時; $\delta=1$ }  
 添字 c: 毛管、f: 膜状、pm: 不動水、pd: 死空間的不動水

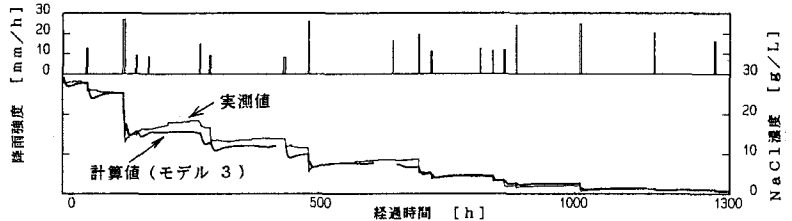


図6 断続降雨による非定常不飽和流れによる溶質流出過程のシミュレーション(時間経過との関係)

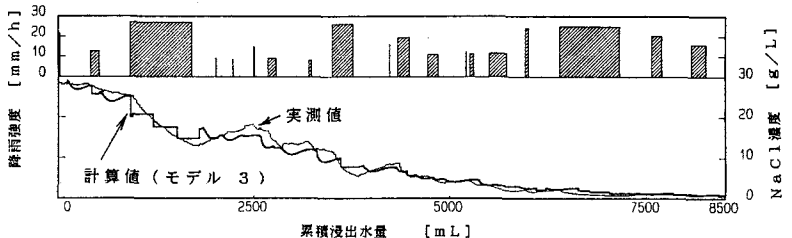


図7 断続降雨による非定常不飽和流れによる溶質流出過程のシミュレーション(累積浸出水量との関係)

引用文献 1)高村、田中、神山: 土木学会第41回年講、第2部、873/874(1986)  
 2)田中、神山、宇野: 第42回年講、968/969(1987)  
 3)三谷、田中、神山: 第43回年講、934/935(1988)