

豪雨時における埋立地浸出水の水量及び水質のモデル化に関する研究

九州大学大学院工学府

学生会員 ○田村浩人、

Ho Nhut Linh

九州大学大学院工学研究院

フェロー会員

島岡隆行、

正会員 小宮哲平

1. はじめに

廃棄物最終処分場では、雨水浸透に伴う埋立廃棄物の安定化（汚濁成分の洗い出し等）を図り、発生する浸出水の水処理が行われているが、豪雨の発生に伴い浸出水量の増加及び浸出水質の変動が起こることが実際に処分場で報告されている¹⁾。そのため、計画原水水質を定め、浸出水処理を行う浸出水処理施設に対して、豪雨は大きな負荷を与えることも考えられる。豪雨を想定した調整池及び浸出水処理施設の設計や、環境保全のための最終処分場の豪雨対策、豪雨発生時の浸出水発生量や浸出水質の変動の予測が求められる。著者ら²⁾は大型ライシメータを用いた散水実験を行い、豪雨が浸出水量及び浸出水質に及ぼす影響を実験から明らかにした。本研究では数値シミュレーションにより豪雨が浸出水量及び浸出水質に及ぼす影響を再現することを可能とする数値モデルの構築を試みた。

2. 研究手法

2-1 ライシメータ散水実験

F市R清掃工場から排出された一般廃棄物焼却残渣（焼却灰及び飛灰）を採取し、粒径30 mm以下を実験に供した。表1に試料の基本性状を示す。内径30 cm、高さ400 cmの塩ビ製ライシメータに焼却灰及び飛灰を湿潤質量比3:1で混合したものを充填層厚300 cm、充填密度1.5 g/cm³で充填した。散水頻度は3日に1回とした。実験開始約4週間は年間平均降雨強度を模擬した平均降雨散水（1.5 mm/hで6時間）のみを行い、その後豪雨を模した豪雨散水（100 mm/h）を1回行った。その後、豪雨散水は1ヵ月に1度の頻度とし、それ以外では平均降雨散水を与えた。132日目までに豪雨散水を4回行ったが、1回目は散水時間を60分、2回目は30分、3回目は120分、4回目は60分とした。132日目以降は約2か月間隔をあけて豪雨散水を1回行い、その後は3か月空け豪雨散水を2回行った。散水日の翌日に浸出水を回収し、浸出水の水量及び水質（pH、EC、TOC、T-N、陽イオン、陰イオン、重金属）を測定した。

表1 実験試料の基本性状

測定項目	試料		
	焼却灰	飛灰	焼却灰+飛灰 (3:1)
含水率 (%)	17.1	20.7	17.6
溶出試験 (環告46号)	pH (-)	12.4	13.1
	TOC (mg/L)	16	104
		21	

表2 不飽和浸透モデル式

項目	式
水収支式, 断面平均流速	$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial v}{\partial z}, \quad v = -K_{(\theta)} \frac{\partial \Phi}{\partial z}$
不飽和透水係数	$K_{(\theta)} = K_s S_e^{\frac{1}{2}} [1 - (1 - S_e^{\frac{1}{m}})^m]^2$
全ポテンシャル	$\Phi = \psi_m + z', \quad z' = z'_0 - z$
マトリックス ポテンシャル	$\psi_m = -\frac{1}{\alpha} [[Se]^{-1/m} - 1]^{1/n}$
有効飽和度	$Se = \{(\theta - \theta_r)/(\theta_s - \theta_r)\}$

θ : 体積含水率(-), t : 時間(sec), v : 流速(cm/s),
 z : 浸食防止層表面からの深さ(cm), $K_{(\theta)}$: 不飽和透水係数
 (cm/s), Φ : 全ポテンシャル(cm),
 K_s : 飽和透水係数(cm/s), S_e : 有効飽和度(-),
 ψ_m : マトリックスポテンシャル(cm), z' : 位置水頭(cm),
 z'_0 : $z=0$ における位置水頭(cm),
 $\alpha(1/cm), m(-), n(-)$: 水分特性曲線パラメータ ($m = 1 - 1/n$),
 θ_r : 残留体積含水率(-), θ_s : 飽和体積含水率(-)

2-2 水分移動及び溶質移動モデルによる数値シミュレーション

(1) 水分移動モデル

従来、焼却残渣主体の埋立層内を流れる浸透水は不飽和流れであると考えられており、本研究においても不飽和浸透モデルを用いた。表2にモデル式を示す。解法は差分法とし、 Δt を0.5秒、 Δz を5 cmとした。水分特性パラメータ及び飽和透水係数はパラメータフィッティングを行い、実験結果を最も再現できる値を採用した。次に採用値を示す。 $\theta_s=0.61$ [-], $\theta_r=0.26$ [-], $\alpha=0.061$ [1/cm], $n=1.5$ [-], $K_s=0.80$ [cm/s] 表面の境界条件は降水強度を、底面の境界条件は大気解放(圧力=0)とした。また蒸発に関してはこのモデルでは無視するものとした。

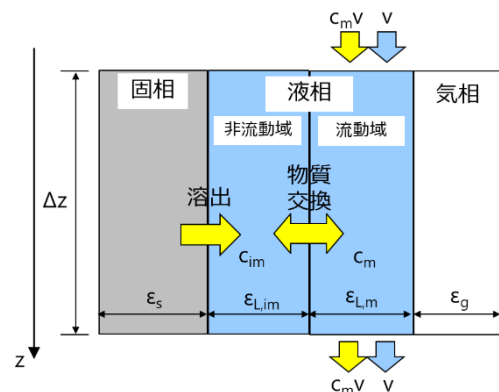


図1 モデル概念図

(2) 溶質移動モデル

埋立地における浸出水の溶質移動に関するモデルは以前から検討されてきた。本研究では島岡ら³⁾が提案する二相モデルを基に数値シミュレーションを行った。図1にモデル概念図を示す。二相モデルでは廃棄物層を固相、液相、気相の三つに分け、さらに液相を流動域および非流動域の二相に分ける。

表3にモデル式を示す。解法は水分移動モデルと同様に差分法とし、 Δt を0.5秒、 Δz を5cmとした。水分移動モデルの結果を用いて計算を行い、溶質移動にかかわる係数は、実験結果からのカーブフィッティングにより求めた。採用値を次に示す。

$r=2.6 \times 10^{-1} [1/cm]$, $\beta=1.0 \times 10^{-7} [1/cm]$, $C_{sat}=1000 [mg/L]$ またこのモデルにおいては微生物分解による影響は無視するものとした。

3. 結果及び考察

(1) 浸出水発生量の再現性

図2に実験値及び計算値の累加浸出水量を示す。実験初期では充填した焼却残渣が安定した状態になく、シミュレーションによる計算値との比較が難しいため、実験開始から175日以降の結果で比較を行った。シミュレーションによって得られた計算値は実験による累加浸出水量をうまく再現することができた。経過200日付近における豪雨散水時の累加浸出水量の変化を比べてみても、計算値は実験値と比べ時間の遅れもなく浸出水の発生を再現することができていた。

(2) 浸出水質の再現性

図3に実験値及び計算値のTOCの経時変化を示す。浸出水質の再現においても同様に、実験開始から175日以降で実験値およびシミュレーションによる計算値との比較を行った。実験値では豪雨散水後に希釈の影響によりTOC濃度が下がるという結果となった。一方、シミュレーションによる計算値では豪雨散水後にTOC濃度の低下は見られるものの、実験と同程度の濃度の低下は見られなかった。豪雨散水後の浸出水の濃度の低下は正確には再現できなかったが、TOCの経時変化の大まかな傾向は再現できることが示された。

4. まとめ

不飽和浸透モデルにより平均降雨散水時及び豪雨散水時の埋立層内の水分移動及び浸出水発生量を再現することができた。また溶質移動については、二相モデルを用いることで、豪雨散水時における浸出水の濃度の低下は表せたが、実験値の正確な再現には至らなかった。今後、豪雨散水時の浸出水の濃度の低下の再現、さらにはTOC以外の水質項目の実験結果の再現を可能にすべく、モデルの改善を行う予定である。

【参考文献】1) 福井博, 高橋通正, 斎藤邦彦, 坂本広美: 最終処分場の廃止時期の判定における浸出液採取方法の検討, 第17回廃棄物学会発表会講演論文集, D2-5, pp. 874-876, 2006. 2) 田村浩人ら: 最終処分場における浸出水に及ぼす豪雨の影響の定量的評価, 令和元年度土木学会西部支部研究発表会, VII-018, pp. 805-806, 2020. 3) 島岡隆行ら: 廃棄物層における水分および溶質の移動に関する研究, 衛生工学論文集, 第24巻, pp167-176, 1988.

表3 溶質移動モデル式

項目	式
固相の物質収支式	$\varepsilon_s \frac{\partial C_s}{\partial t} = -\beta C_s (1 - \frac{C_{im}}{C_{sat}})$
液相の流動域の物質収支式	$\varepsilon_{L,m} \frac{\partial C_m}{\partial t} = -\frac{\partial (VC_m)}{\partial z} + r(C_{im} - C_m)$
液相の非流動域の物質収支式	$\varepsilon_{L,im} \frac{\partial C_{im}}{\partial t} = -r(C_{im} - C_m) + \beta C_s (1 - \frac{C_{im}}{C_{sat}})$
添字S:固相, L,m:流動域, L,im:非流動域, ε_i :領域iの体積割合[-], C_i :領域iの濃度[mg/L], z:深さ方向の距離[m], C_{sat} :飽和平衡濃度[mg/L], r:物質交換係数[s ⁻¹], β :溶出速度係数[s ⁻¹]	

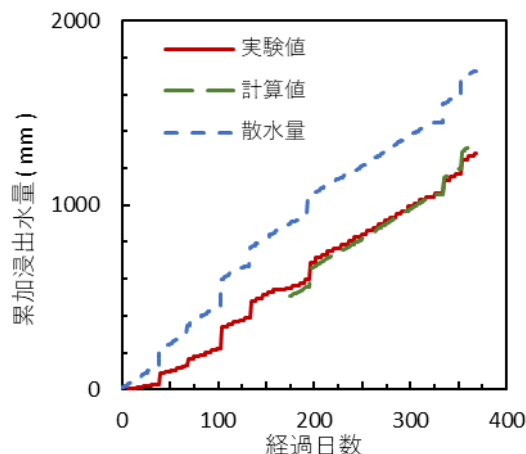


図2 実験値及び計算値の累加浸出水量

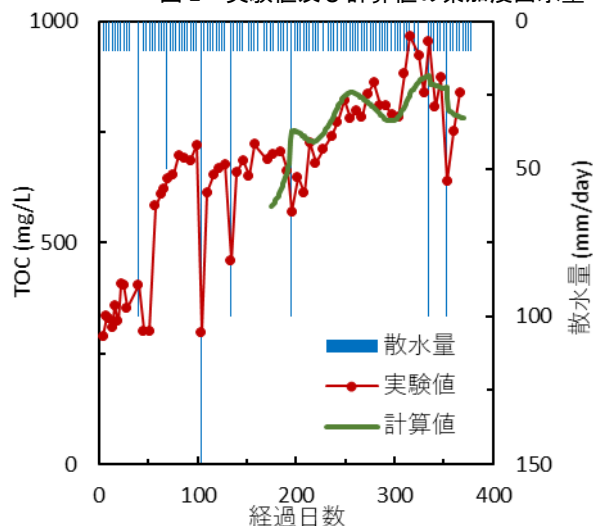


図3 実験値及び計算値のTOC経時変化