

廃棄物層における空間構造の変化に関する研究

福岡大学工学部 学生員 ○柴 垣 満 学生員 岩本 宏一
正 員 島岡 隆行 正 員 松藤 康司
正 員 花嶋 正孝
九州大学工学部 学生員 李 南 勲 正 員 楠田 哲也

1. はじめに 廃棄物の最終処分場である埋立地では、廃棄物中の汚濁物質が廃棄物層内を移動する浸透水に溶出し、浸出水として系外へ排出される。この過程で廃棄物層に占める三相(固相、液相、気相)の各割合が変化し、それに伴う廃棄物層の空間構造の変化が保水性、透水性、通気性等に影響を及ぼす。廃棄物層内での水分、ガス、熱などの移動解析や汚濁物質の浄化メカニズムを解明するためには、汚濁物質の固相から液相への溶出機構や、廃棄物層における空間構造の変化について定量的に把握する必要がある。本研究では、準好気性埋立における水分および汚濁物質の移動機構を解明するための基礎的研究として、廃棄物層中の汚濁物質の溶出特性に関する検討を行った。

2. 空間構造のモデル化 埋立廃棄物層の空間構造は廃棄物(固相)と廃棄物間隙に大別され、この間隙には水分が不飽和状態で保有されている。さらに、廃棄物層の固相を溶解性物質からなる「溶解域」と非溶解性物質からなる「非溶解域」に、液相を水分が移動している「流動域」と定んでいる「非流動域」に分けて考える。また、溶解性物質は廃棄物中に一様に分布し、溶解性物質は流動域と非流動域に溶解するものと考え。廃棄物中の溶解性物質の溶解速度式と、固相中溶解域の体積分率の変化速度式を表-1に示す。

3. 実験方法およびパラメーターの推定方法 速度式中のパラ

表-1 モデル式

メータは、次の4つの実験から決定した。実験に用いた廃棄物は、焼却灰、破碎ごみおよび都市ごみコンポストを所定の比率で混合した調整ごみである。①溶解域の体積分率(ε_{s1})：廃棄物をカラムに充填した後、水道水を底部から上部にかけて3週間通水し、廃棄物中の溶解成分を全量洗い出させる。流出水の水質が水道水のそれと同じであることを確認後実験を終了し、実験前後の廃棄物中の溶解性物質の含有量より体積分率を求めた。②液相率(ε_l)および流動域の体積分率(ε_{l1})と非流動域の体積分率(ε_{l2})：トレーサ物質として廃棄物への吸着が少ない塩素イオンを用いてトレーサ実験を行った。カラム内廃棄物層の水分保水状態を定常にするために3日間水道水を38.4ml/minの流速で供給した後、塩素イオン濃度5000mg/lの塩化ナトリウム水に切り換え、浸出水の塩素イオン濃度を測定して破過曲線を求めた。得られた破過曲線を二層モデル¹⁾に当てはめ流動域と非流動域の体積分率を求め、時間が十分経過した時点の廃棄物層に供給した総塩素質量と総塩素流出量の差より液相率を算出した。③流動域での溶出速度係数(α_1)：非流動域が存在しない廃棄物間隙が完全飽和状態のもとで振とう実験を行なった。振とう実験は温度の影響を受けないように20℃の恒温器内で、振とう速度200r.p.m.で行った。溶媒として脱気イオン交換水を用い、一定の時間間隔で試料を採水し水質分析に供した。各試料の濃度から廃棄物中の溶解性物質の時間的質量変化を算出して α_1 を求めた。

④非流動域での溶出速度係数(α_2)：実験条件を表-2に示す。廃棄物のカラムへの充填条件や水道水の供給水量は、②のトレーサ実験と等しくしている。流動域と非流動域の水質を求めるために、浸透水と浸出水を適当な時間間隔で採水し水質分析を行なった。流動域の水質は浸出水水質と同じと考え、また非流動域の水質は浸透水水質をもとに、流動域と非流動域の体積分率より算定した。非流

○溶解性物質の溶解速度式	
$\frac{\partial(\varepsilon_{s1}C_1^{s1})}{\partial t} = -\alpha_1(\varepsilon_{s1})^n \varepsilon_{l1}^n (C_{eq1}^L - C_1^{L1}) - \alpha_2(\varepsilon_{s1})^n \varepsilon_{l2}^n (C_{eq1}^L - C_1^{L1})$	
○固相中溶解域の体積分率の変化速度式	
$\frac{\partial \varepsilon_{s1}}{\partial t} = \Sigma \frac{\partial(\varepsilon_{s1}C_1^{s1})}{\rho_1^{s1} \partial t}$	

表-2 カラム実験の条件

装 置 寸 法 実 験 条 件	直径 (cm)	1.0
	高さ (cm)	1.5
	充 填 廃棄物 (%)	焼却灰 6.5 破碎ごみ 1.5 コンポスト 2.0
	充填質量 (g)	7.54
	密度 (g/cm ³)	0.74
	流速 (ml/sec)	0.65

表-3 溶解可能量

成 分	含有量 (mg/kg)	溶出可能量 (mg/kg)	(%)
Cl ⁻	84327.0	75517.9	89.6
TOC	111905.0	8075.0	7.2
Na ⁺	37820.6	35987.8	95.2
K ⁺	27655.6	25882.0	93.6
Ca ²⁺	15316.3	13305.2	86.9
T-N	5687.0	1478.7	26.0

動域における溶出速度係数(α_2)は測定した流動域の水質と③で求めた α_1 を用い、溶解性物質の非流動域への溶出質量から決定した。

4. 結果および考察 ①溶解域の体積分率について：実験期間に亘って溶解した各物質の質量を表-3に示す。

廃棄物1kg当たり約283gの溶解性物質を含有しており、塩素イオンが最も多く全体の約3割を占めている。また、塩素イオン等の無機塩類の大半が比較的容易に溶解していることが分かる。各物質の密度より算定した廃棄物中の溶解域の体積分率は0.10となり、固相率0.34の約1/3に相当する。このように溶解性物質による空間構造の変化は、埋立地での水分やガス移動機構を解明する上で無視できないと言える。②液相率および流動域の体積分率と非流動域の体積分率について：図-1にトレーサー実験の結果を示す。塩素イオンを投入後、極めて早い時間に塩素イオンは検出され始め、浸出水の濃度が供給水濃度に達するまでにかかなりの時間を要した。このように廃棄物層特有のtailing現象が本実験においても確認された。液相率は0.49となり、供給水量が大きいことから飽和度は約75%となっている。また、流動域は0.30、非流動域は0.19であった。③流動域での溶出速度係数について：図-2に各物質の濃度の経時変化を示す。振とう開始後1時間以内に溶解性物質の濃度は急激に増加し、その後はあまり濃度の変化が見られず溶解性物質が徐々に溶解している。本実験においてもTOC、 K^+ 、 Na^+ に比べ、 Cl^- の濃度が大きくなっている。各物質の溶出速度係数は $10^{-2} \sim 10^{-4} 1/sec$ の範囲にあり、TOCの溶出速度係数は Cl^- とほぼ同じ大きい値が得られた。④非流動域での溶出速度係数について：図-3にカラム実験より得られた各物質の濃度の経時変化を示す。非流動域での溶出速度係数を求めるために行なった実験でも、③と同じ溶出傾向が見られる。 Cl^- の溶出速度係数(α_2)は $8.0 \times 10^{-4} 1/sec$ で他の物質よりも二桁小さく、流動域の溶出速度係数より大きくなるという結果が得られた。⑤廃棄物層における空間構造の変化について：今回得られたパラメーターを用い、計算で求めた空間構造変化の様子を図-4に示す。計算結果は実験値とよく一致しているようで、初期4日間に固相の溶解域の体積が約70%になり、一ヶ月に約10%までに減少する結果が得られた。今回実験条件が実際と大きくかけはなれているため、埋立地に適用するにはまだ解決する問題がいくつかあり、今後検討を加える必要がある。【参考文献】1)島岡ほか：、衛生工学研究論文集、第24巻、pp167~175、1988

【記号説明】 $C_{eq,i}$ ：液相のi成分の平衡濃度 (mg/l)
 $C_{i,j}$ ：液相のj領域のi成分濃度 (mg/l) $C_{i,s}$ ：固相の溶解域のi成分濃度 (mg/cm³) i ：成分(Cl^- , TOC, K^+ , Na^+) j ：領域 (1:流動域or溶解域, 2:非流動域or非溶解域) n :2.5 t :時間 (sec) α_j ：j領域への溶出速度係数 (1/sec)
 $\varepsilon_{s,i}$ ：固相のj領域の体積分率 (cm³/cm³) $\varepsilon_{s,j}$ ：固相のj領域の体積分率 (cm³/cm³) $\rho_{i,s}$ ：固相のi成分密度(g/cm³)

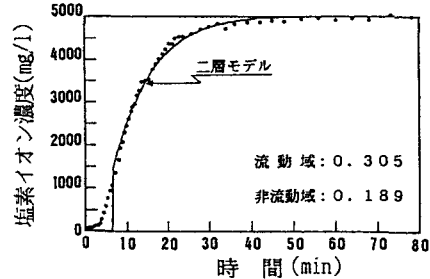


図-1 トレーサー実験の破過曲線

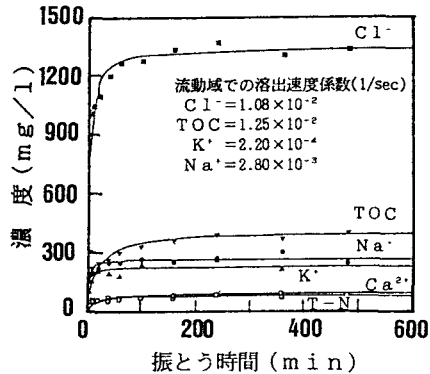


図-2 濃度の経時変化(振とう実験)

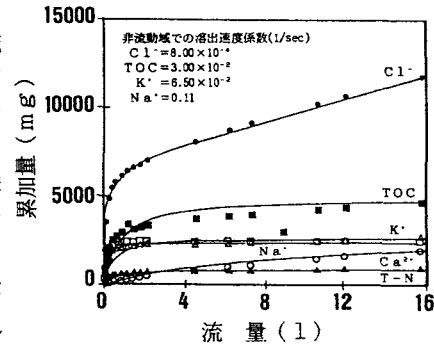


図-3 濃度の経時変化(カラム実験)

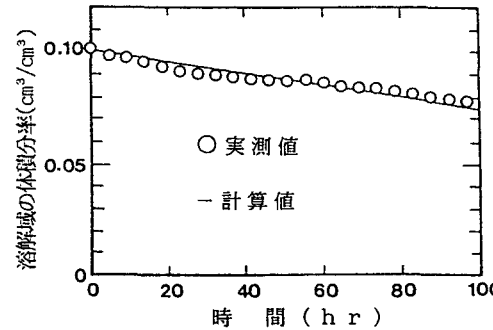


図-4 計算結果