

II-443 都市廃棄物埋立層内汚水中の溶存カドミウム濃度の長期的変化に関する研究

北海道大学工学部 正員 土手 裕（現 公害資源研究所）
正員 田中 信寿、正員 神山 桂一

1. はじめに 都市廃棄物埋立層内汚水中のカドミウム濃度の挙動を明らかにすることは、埋立処分場から漏出するカドミウムによる環境汚染の防止対策を考える上で重要である。筆者らは、すでに汚水中溶存カドミウム濃度が、 OH^- , Cl^- , CO_3^{2-} , S^{2-} によって決まることを明らかにしており、また、カドミウムとそれらの化学種との定量的関係を得ている^{1,2)}。本報では、これまで当研究室で得られた知見^{3,4,5,6)}を基にして埋立地の環境条件を設定し、溶存カドミウム濃度の長期的変化をシミュレーションした結果について報告する。

2. シミュレーションのための埋立地の環境条件設定および溶存カドミウム濃度計算方法

2.1 埋立地の環境条件 対象とする埋立地は、混合ごみを埋め立てる混合ごみ埋立地で、埋立層の条件として埋立層への空気侵入時期が遅い場合を考える。埋立層の大きさは、水平面 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 、埋立厚さ $\Delta L = 2\text{m}$ のコンパースメントとする。このコンパースメントの物理的条件を表1に示す。有機物分解過程とそれに付随するpH、ガス濃度の変化を以下の様に仮定する。(a)埋立初期に有機酸が生じる。その後、200日目にメタン発酵が始まり1800日目まで続く。ただし、200~400日目には有機酸の分解が、400~1800日目にはメタン分解が主である。この時のメタン発酵に伴って発生するガスの流量 Q_g は $Q_g = 0.1\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ とする。(b)最初はpHは低く、有機酸が少なくなるに従って上昇する。そこで、埋立初期ではpH=5で、750日目にpH=6.5となるまで直線的に変化する。

表1 埋立層の物理的特性

全容積	V [m^3]	2
固相の容積	V_s [m^3]	0.6
液相の容積	V_L [m^3]	1.0
気相の容積	V_g [m^3]	0.4
埋立厚さ	ΔL [m]	2
埋立層温度	T [K]	313
固相密度	ρ_s [kg/m^3]	1700
ガス相率	ε_g [-]	0.2
屈曲率	ξ [-]	20
H_2S ガスの分子拡散係数	D [cm^2/s]	0.1
埋立層内の H_2S ガスの拡散係数*	E [m^2/d]	0.009

*) $E = D \varepsilon_g / \xi$

(c)酸素侵入はメタン発酵終了後の2000日目から始まり、酸素分圧 p_{O_2} は時定数500日で増加し、0.2atmになった後はそのまま一定である。(d) CO_2 分圧 p_{CO_2} は酸素が侵入するまでは $p_{\text{CO}_2} = 0.5\text{atm}$ と一定で、酸素侵入後は1000日の時定数で指数関数的に減少するが、0.01atmに達した後はそのまま一定である。(e)タンパク質分解は50日目に、 SO_4^{2-} 還元は100日目に始まり直ちに終了する。このとき生成するSのうちカドミウムとの反応系に供給される割合である有効率 γ は0.05とする²⁾。次に、降雨は断続的であるが層内の流れは定常的であると考え、また、通常の見え方にしたがって降雨はその50%が埋立層内に浸透するとし、流量 $Q_L = 2.2 \times 10^{-3}\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ とした。さらに、塩素については埋立時に直ちに可溶化し、その後、降雨による希釈のみによって減少すると考えた。初期濃度5000mg/lを用い、10mg/lまで減少した後はそのまま一定であるとした。最後に、混合ごみ中のカドミウム、タンパク質性S、 SO_4^{2-} 性Sの含有量を各々 λ_{Cd} 、 λ_{PS} 、 λ_{SS} として表2に示す値を用いた。カドミウムについては、塩素と同様に埋立時に直ちに全量が可溶化するとした。

2.2 溶存カドミウム濃度 $[\text{Cd}]$ の計算式 対象としているコンパースメント内では均質濃度と考え、物質収支により微分方程式を導く。(a) Sについての物質収支をとると以下の式になる。

$$V_L \frac{d\{[\text{CdS}(s)] + [\text{H}_2\text{S}] + [\text{HS}^-] + [\text{S}^{2-}]\}}{dt} + \{V_g/(RT)\} \frac{dp_s}{dt} = -Q_L\{[\text{H}_2\text{S}] + [\text{HS}^-] + [\text{S}^{2-}]\} - \{Q_g/(RT)\}p_s - \{2E/(\Delta L RT)\}p_s + R_S V_L \cdots (1)$$

左辺第1項の $[\text{CdS}(s)]$ はCdS沈殿量を液濃度に換算したもので、第1項全体で固・液層中のSの変化速度 $[\text{mol}/\text{d}]$ を表し、第2項中 p_s は H_2S ガスの分圧、 R はガス定数で、第2項で気相中のSの変化速度を表している。右辺第1項は、水の流れによる水中のSの移動、第2項はガスの流れによる気相中の移動、第3項は拡散による気相中のSの移動、第4項はSの反応速度をそれぞれ表している。Sの生成反応は上述したようにタンパク質分解、 SO_4^{2-} 還元反応を考えた。Sの減少反応としては、次式で示す様なSの空気による酸化反応を考えた⁹⁾。 $R_S = -k p_{\text{O}_2}\{[\text{H}_2\text{S}] + [\text{HS}^-] + [\text{S}^{2-}]\} \cdots (2)$ (ここで $k = 3\text{d}^{-1}\text{atm}^{-1}$) $[\text{H}_2\text{S}]$, $[\text{HS}^-]$, $[\text{S}^{2-}]$ の間には

表2 廃棄物中含有量 [mg/kg]

Cd	λ_{Cd}	1.79	*1
タンパク質性S	λ_{PS}	786	*2
SO_4^{2-} 性S	λ_{SS}	373	*2

*1: 文献7 *2: 文献8

