

数値シミュレーションによる生ごみ埋立地における汚濁物質の挙動解析

九州大学工学部 学生会員 ○喜多村 広輝

九州大学大学院工学研究院 フェロー会員 島岡 隆行

九州大学大学院工学研究院 正会員 高橋史武 小宮 哲平

同済大学環境科学与工程院 柴 曉利

1. はじめに

現在、東アジア圏の国々では焼却等の中間処理がなされず生ごみが埋立てられている。そのため、埋立地から排出されるメタン、浸出水による悪臭や水域汚染等の環境汚染、長期に亘る埋立地の維持管理費等、多くの問題点を抱えており、埋立地の早急な安定化が求められている。この様な中、埋立地が立地されている気候や埋立方法により、安定化するまでに要する時間は大きく異なり、安定化に要する期間の予測を困難なものとしている。そこで、本研究では埋立てられた有機物の分解および物質移動プロセスをモデル式で表現し、生ごみ埋立地における汚濁物質成分の挙動を解析することを試みた。特に、埋立地による環境汚染の原因となっている生ごみ中の有機炭素と窒素に着目し、それらの挙動をモデル化した。本稿では嫌気性埋立を想定した大型ライシメータからの実験値と数値シミュレーション結果を比較検討した。



写真1 大型ライシメータ（上海市老港埋立地）

2. 大型ライシメータの詳細

本研究では、大型ライシメータを中国上海市老港埋立地に建設し、充填試料は老港埋立地に埋立て後約4年を経過した生ごみを用いた。写真1の左奥からA, B, Cと区別し、Aは深さ0.5m地点で送気し、Bは深さ2.5m地点に送気している。Cは送気を行わず、嫌気性埋立を再現している。試料（浸透水、浸出水、埋立ガス）を定期的に採取し、分析を行った。分析および測定項目は、深さ方向の充填廃棄物試料の性状（pH, EC, ORP, TOC, T-N等）、埋立廃棄物の保有水、埋立ガス、浸出水及び温度である。図1にライシメータのガス採取口、水採取口、温度センサー、サンプル採取口、送気管の取付け位置と各々の充填廃棄物の表層からの深さを示した。

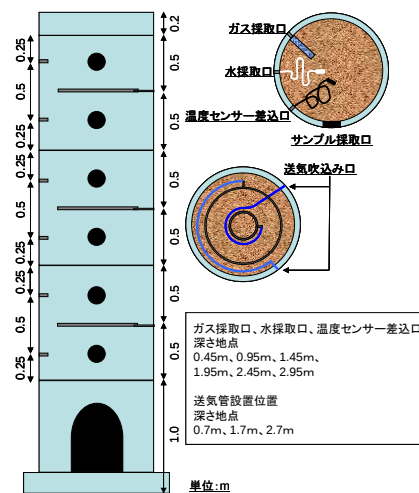


図1 採取口、センサー等の配置図

3. 充填試料の pH, EC, ORP 分析結果

A, B, Cの3つのライシメータ内の充填廃棄物の pH, EC, ORP を分析した。

分析した地点は、深さ方向 0.0m, 0.5m, 1.0m, 1.5m, 1.8m の5点である。まず、採取した充填廃棄物を用いて環境省告示 46 号溶出試験を行い、得られた検液を用いて分析を行った。結果を表1にまとめている。pH はどの試料も 7~8 の間の弱アルカリ性であり、

有機性窒素に由来するアンモニアが液中に溶解していることが示唆された。EC は 2.5 ~ 3.3ms/cm の値を示し、畑や農地 (0.1 ~ 0.3ms/cm) に比べると極めて多くの塩類が含まれている。ORP は 130 ~ 160mV と正の値なので、実験開始時は酸化状態であった。

4. 実験結果とシミュレーション結果の比較

図2に各プロセスでの物質挙動のモデル式の

表1 深さ毎の pH, EC, ORP

深さ (m)	ライシメータ A			ライシメータ B			ライシメータ C		
	pH	EC (ms/cm)	ORP (mV)	pH	EC (ms/cm)	ORP (mV)	pH	EC (ms/cm)	ORP (mV)
0.0	8.00	2.76	136	7.88	2.64	128	7.78	2.36	131
0.5	7.22	2.70	137	7.88	2.64	139	7.45	2.54	131
1.0	7.79	3.03	137	7.45	3.04	145	7.33	2.99	143
1.5	7.12	2.89	143	7.10	3.05	145	7.34	2.97	150
1.8	7.63	2.98	141	7.11	3.32	156	7.14	2.97	159

液相中の固相からの溶解物質のモデル式 $\varepsilon_l \frac{\partial C_l}{\partial t} = -\varepsilon_l \mu \frac{\partial C_l}{\partial z} - \frac{\varepsilon_l}{Y} \frac{\partial X}{\partial t} + \alpha C_s (C_{ss} - C_l)$	温度のモデル式 $C_s \rho_s \frac{\partial T}{\partial t} = k_s \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - C_l \rho_l u \frac{\partial T}{\partial z} + \varepsilon_l K_G X H_s$
液相中の液相で生成される物質のモデル式 $\varepsilon_l \frac{\partial C_l}{\partial t} = -\varepsilon_l \mu \frac{\partial C_l}{\partial z} - \frac{\varepsilon_l}{Y} \frac{\partial X}{\partial t} + \varepsilon_l K_G X$	気相中の溶解性ガスのモデル式 $\varepsilon_g \frac{\partial C_g}{\partial t} = \varepsilon_g \frac{D}{\xi} \frac{\partial^2 C_g}{\partial z^2} + \varepsilon_g \frac{K_g}{\mu} R \frac{\partial}{\partial z} \{C_g (C_{at} T)\} - \beta (C_g - HC_l)$
液相中の気相からの溶解物質のモデル式 $\varepsilon_l \frac{\partial C_l}{\partial t} = -\varepsilon_l \mu \frac{\partial C_l}{\partial z} + \varepsilon_l K_G X + \beta \left(\frac{C_g}{H} - C_l \right)$	気相中の不溶解性ガスのモデル式 $\varepsilon_g \frac{\partial C_g}{\partial t} = \varepsilon_g \frac{D}{\xi} \frac{\partial^2 C_g}{\partial z^2} + \varepsilon_g \frac{K_g}{\mu} R \frac{\partial}{\partial z} \{C_g (C_{at} T)\} - \varepsilon_l K_G X$
液相中の微生物のモデル式 $\varepsilon_l \frac{\partial X}{\partial t} = -\varepsilon_l \mu \frac{\partial X}{\partial z} + \varepsilon_l \mu_{MAX} \left\{ \frac{T}{T_{opt}} \exp \left(1 - \frac{T}{T_{opt}} \right) \right\}^m \frac{C_l}{k + C_l} X - \varepsilon_l K_d X$	固相中の固体物質のモデル式 $\varepsilon_s \frac{dC_s}{dt} = -\alpha C_s (C_{ss} - C_l)$

図2 モデル式一覧

一覧を示す。また、図3～図6に送気を行っていないライシメータCの分析値とシミュレーション結果を示す。なお、各種の係数や初期値はカーブフィッティングより得た。40日経過時点の温度と気相中の酸素、二酸化炭素、メタンガスの濃度を比較対象として考察を行った。

4-1. 温度分布の比較

温度のモデル式は、伝熱項、移流項、微生物による発熱項から構成されている。温度の深さ方向のシミュレーション結果と測定値を図3に示す。測定値は深さ0.5m地点でピークを示し、深さ方向に徐々に低下している。一方、シミュレーション値は深くなるに連れて温度が上昇している。微生物濃度および活動による発熱量のモデル表現を検討する必要がある。

4-2. 埋立ガス濃度分布の比較

気相における埋立ガスのモデル式は、拡散項、移流項、発生・溶解項から構成した。深さ方向の酸素濃度の測定値とシミュレーション値を図4に、二酸化炭素濃度を図5に、メタンガス濃度を図6に示す。酸素濃度の分布を見ると、シミュレーション結果では深くなるにつれ減少し、2m以深の底層ではほぼ0mol/m³になっている。一方、測定値では各深さでの計算値よりも高い値を示した。ただし、大気中の酸素濃度は8.55mol/m³であり、廃棄物層中でもその値を超えることは考え難い。故に、今回は、測定値に関しては傾向のみを考慮することとした。測定値も深さ方向に減少傾向を示しているが、中層付近で温度が上昇している様子が見られた。これはサンプル採取時の空気進入が原因として考えられる。二酸化炭素濃度の分布においてシミュレーション結果では深くなるにつれて高くなる傾向を示し、二酸化炭素が充填廃棄物の表層からでしか放出されず中・底層で蓄積していることを示している。一方、測定値は、深さ方向に変動が見られた。実験的な誤差の他に、深さ方向における好気性細菌数の不均一性がこの変動をもたらしたと考えられる。メタンガスの測定値は、酸素濃度がより低くなる底層で高濃度に存在している。シミュレーション結果も測定値と同様な傾向を示した。以上より、構成したモデルにおいて実験開始40日後のライシメータにおける温度分布、ガス濃度分布についてある程度定性的に説明することができた。今後、定量的な評価を行うために、測定精度向上、測定値の分析誤差を含めたさらなる検討が必要である。

5. まとめ

嫌気性埋立を再現したライシメータCでの分析結果を構成した数値モデルによる計算結果と比較検討した。測定値とモデル式によって導かれた数値結果が一致するように各種の係数や初期値をフィッティングさせた。シミュレーションの結果においては、各分析項目の定性的な傾向を示すことができたが、定量的には測定値との間に誤差が多く見られた。測定値の信頼性について再度検討し、パラメータ値もより適切にフィッティングする必要がある。今後は、好気性埋立を想定した数値モデルも構築し、生ごみ埋立地における物質挙動を把握する予定である。

(謝辞) 本研究は、九州大学東アジア環境研究機構における上海市の同濟大学との共同研究の成果である。また、ライシメータ建設に際して、青木建設鉄工株式会社に設計を依頼した。本研究に携わっていただいた多くの方々に深く感謝の意を表します。

〔参考文献〕 島岡隆行: 循環式準好気性埋立における浄化機構のモデル解析, 廃棄物学会論文誌, Vol.7, No.5, pp.234-243, (1996)

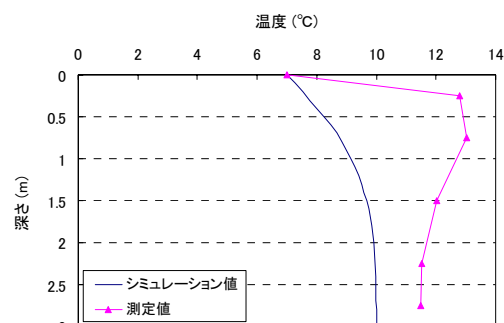


図3 深さ方向の温度分布

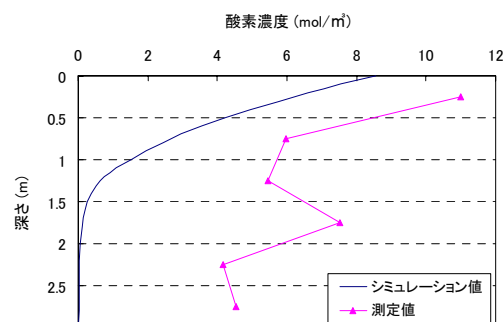


図4 深さ方向の酸素濃度分布

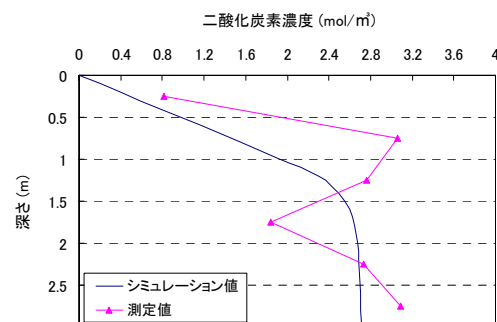


図5 深さ方向の二酸化炭素濃度分布

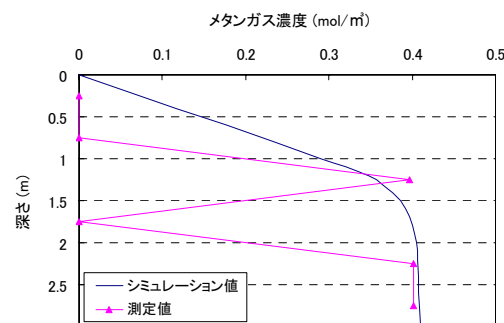


図6 深さ方向のメタンガス濃度分布