

埋立が終了した廃棄物処分場内に設置されたガス抜き管近傍の ガス流れシミュレーション

Numerical simulation of landfill gas around a gas flow extraction well in a closed landfill

室蘭工業大学大学院 ○学生員 洞 防人 (Morito Hora)
室蘭工業大学 正員 吉田英樹 (Hideki Yoshida)

1.はじめに

埋立が終了した廃棄物処分場の安定化の促進を目的として、処分場内に新たにガス抜き管を設置し、空気の流入並びに内部で発生したメタン、炭酸ガス等の埋立ガス（以下LFGとする）を排出させる方法がある。しかし、ガス抜き管設置がどの程度安定化に効果を挙げているのか具体的に検討している例は少ない¹⁾。

そこで、ガス抜き管を設置することで、廃棄物層内のLFG や空気がどの様に移行しているのかを明らかにすることを目的とし、有限要素法に基づいた解析ソフトウェア COMSOL によりシミュレーションを行った。

2.Darcy 流れ理論によるガス移動解析

廃棄物層内を多孔体として解析するものとして、次のDarcy 則及び連続の式を用いた。各記号の説明は、末尾に示した。

$$u = -\frac{\kappa}{\eta} \nabla p \quad \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot \rho u = R$$

想定した解析領域は、図1に示したようにガス抜き管（半径 r_0 ）周辺の半径 R の範囲において、ガスが流れているとした。解析は円筒座標系の軸対象二次元モデルとした。ここで、LFGはメタン並びに炭酸ガスが1:1で含まれ、平均分子量を 30×10^{-3} (kg/mol)とした。廃棄物層内は一樣にLFGで充満しているとし、内部のLFGの圧力勾配及び重力のみによってガスが流れると仮定した。また、廃棄物層内と大気に温度差がなく、廃棄物層内の温度は常温（20℃）で一樣になっていると仮定している。

LFG発生速度については、過去の文献^{1)・2)}より 8×10^{-7} (kg/(m³s))を最大値とし、 8×10^{-9} (kg/(m³s))までの範囲で変化させた。比透水係数も同様の文献より 1×10^{-10} (m²) から 1×10^{-14} (m²) まで変化させた。

図2は、比透水係数とLFG発生速度を変化させた場合の大気圧に対する内圧上昇率について解析した結果である。比透水係数を最小、LFG発生速度を最大とした場合には大気圧に対して約50%の内部圧力の増加が見られる。以下の解析では、内部圧力の上昇が約0.5%となる中間的な基本条件で解析を進めた。

図3a, bは、ガスの流れ及び圧力分布を示している。管中心より3m付近までのLFGは管に流入しているが、それより外周のLFGは直接地表面に流出している事がわかる。したがって、ガス抜き管による廃棄物層内のLFGの排除効果としては、本解析条件の下ではせいぜい5m程度であるということが言える。

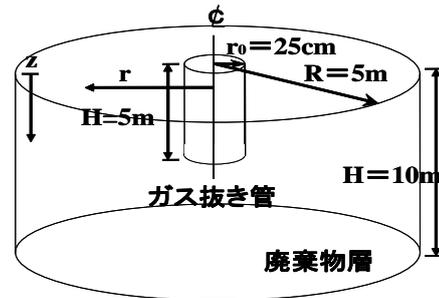


図1.解析モデル

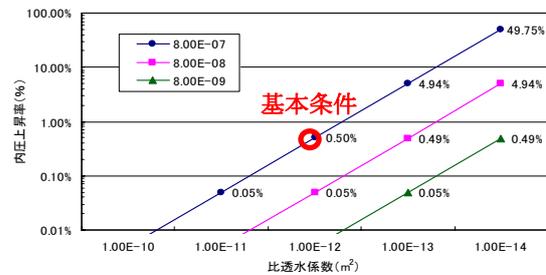


図2. 比透水係数とガス発生速度による内圧上昇

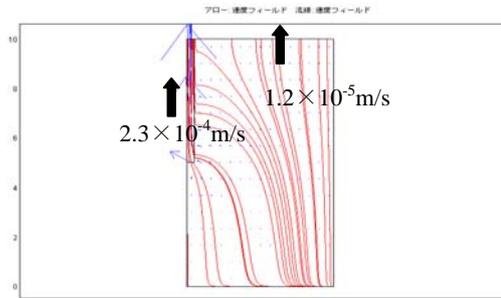


図3a. 圧力流れの解析結果(流線, 速度ベクトル)

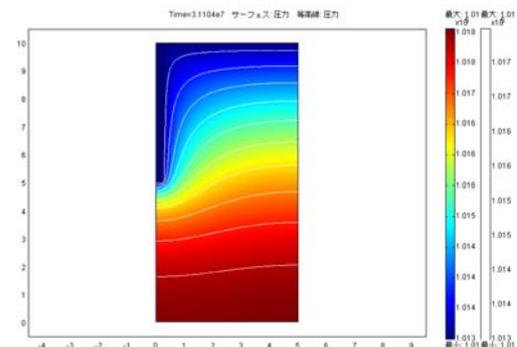


図3b. 圧力流れの解析結果 (圧力分布)

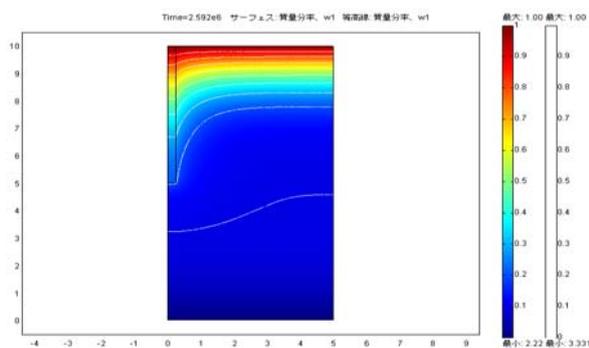


図4. 拡散流れのみの質量分率（空気）結果

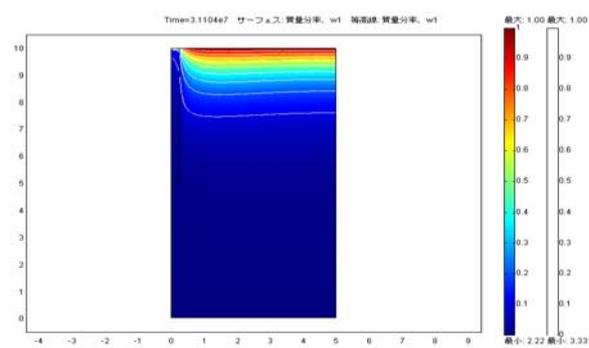


図5. 圧力流れを伴う拡散流れの質量分率（空気）結果

3. 拡散流れ

温度拡散を無視できる場合、Maxwell-Stefan 式は以下のように表すことができる。

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho \omega_i + \nabla \cdot \left[-\rho \omega_i \sum_{j=1}^N D_{ij} \left\{ \frac{M}{M_j} (\nabla \omega_j + \omega_j \frac{\nabla M}{M}) + (x_j - \omega_j) \frac{\nabla p}{p} \right\} + \omega_i \rho u \right] = R_i$$

相互拡散係数は 2×10^{-5} (m²/s) とし、廃棄物層内は修正係数 (ε/ξ) を拡散係数に乗じた。拡散のみを考慮し、 $u=0$ として解析を行った。

図4は通常拡散領域における解析結果を示したものである。空気の質量分率を見ると、地表面から6~7m付近で10%以下になり、地表面から3m付近で50%の空気が流入していることがわかる。地表面から5mまでは管が埋設されている影響が大きく、管近傍で等濃度線に最大で2m以上の差があるが、管理設深さより下部では等濃度線に変化が見られないことから、ガス抜き管からの空気の拡散による好気化の効果は顕著でないということが言える。

4. 圧力流れを伴った拡散流れ

次に、LFGの圧力流れの影響を取り入れるために、Darcy 則で解いた流速 u を Maxwell-Stefan 式に代入して解析を行った。図5は解析結果を示したものである。拡散のみのケースとは異なり、図3aに示したように管内部のLFG流速が早い場合、ガス抜き管から空気が流入出来ないことがわかる。よって空気の流入は地表面からのみであり、空気の質量分率は0.5m付近で50%になっている。また、地表面から3m付近で空気の質量分率が10%になっており、拡散のみのケースと比較すると、空気の拡散侵入が妨げられていることがわかる。

図6はLFGの発生速度を変化させ、空気の質量分率50%の等濃度線が、どのように変化するかを解析した結果である。図6から分かるようにLFG発生速度が遅くなるにつれて、空気の侵入が顕著になる。従って、一定のLFG発生が起こっている状況では、ガス抜き管を通じての拡散のみによる侵入に伴う廃棄物層内部の好気化はあまり期待できないことがわかった。

5. 結論

本研究の解析条件下における解析結果として、

- ①ガス抜き管設置では、半径約5mの範囲のLFGの流れにのみ影響を与えた。
- ②拡散のみでは、地表面から6~7mの地点で空気の質

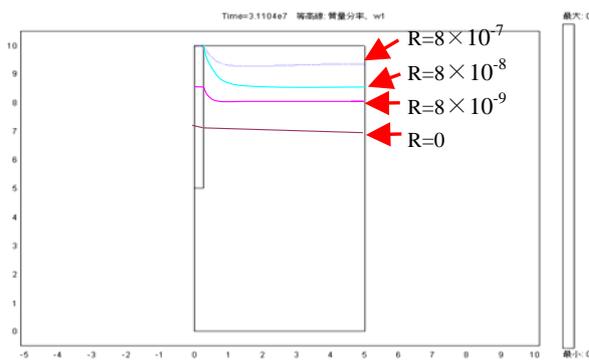


図6. ガス発生速度が変化した時の質量分率（空気）50%の等濃度線への影響

量分率が10%、3m付近で50%となった。
③圧力流れを考慮した拡散では、僅かなLFG発生でも空気の拡散侵入を妨げた。

今後は、廃棄物層内での反応を考慮したガス流れの解析を進める予定である。本研究は、文部科学省・科研費（基盤研究(C)）「不適正廃棄物最終処分場での準好気性構造を利用した安定化促進法に関する研究」の補助を受けた。ここに謝意を表す。

- κ : 比透水係数 [m²]
- η : 流体粘性 [kg/(m·s)]
- u : ダルシー流速 [m/s]
- p : 圧力 [kg/(m·s²)]
- ρ : 密度 [kg/m³]
- D_{ij} : 相互拡散係数 [m²/s]
- ω_i : i成分の質量分率[-]
- M : 混合物のモル合計量[kg/mol]
- M_j : 1成分のモル質量[kg/mol]
- x_j : jのモル分率[-]
- ε : 空隙率 [-]
- ξ : 屈曲係数 [-]

参考文献 1) 田中信寿・神山桂一：廃棄物埋立処分地におけるガス及びガス成分の移動について、廃棄物学会誌 Vol.2、No.1、pp.46-58、1991。 2) A.Young, The Effects of Fluctuations in Atmospheric Pressure on Landfill Gas Migration and Composition, Water, Air, and Soil Pollution, Vol.64、pp.601-612、1992。 3) 池口孝：埋立地における発生ガスの挙動、都市清掃、Vol.35、No.130、pp.485-490、1982。