

# 内部発熱を有する廃棄物不適正処分場における熱源位置特定手法に関する基礎的研究

|              |        |      |
|--------------|--------|------|
| 九州大学工学部      | 学生会員   | 諸木駿  |
| 九州大学大学院工学研究院 | 正会員    | 小宮哲平 |
| 九州大学大学院工学研究院 | 正会員    | 中山裕文 |
| 九州大学大学院工学研究院 | フェロー会員 | 島岡隆行 |

## 1. はじめに

廃棄物安定型処分場において有機物が付着または混入した廃棄物の不適正処分により内部発熱が生じ、蓄熱が進むと火災に発展する場合がある。効果的な消火を行うためには熱源を特定して対策を行うことが望ましいが、有効な熱源位置特定手法は存在していない。

不適正処分場において地表面温度が局所的に高い地点（地表ホットスポット）に着目する。地表ホットスポットは、熱源付近から地表まで連続的に存在する大間隙を通して内部の高温ガスが放出されている箇所と考えられる。本研究では、2. (1)に示す熱源位置推定モデルを用いて、地表ホットスポットの温度および位置から幾何学的に熱源位置を推定する手法の確立を目的とし、内部発熱を有する不適正処分場における伝熱及びガス移動の数値シミュレーションを行い、その結果を用いて熱源位置推定モデルの精度及び適用条件を検討した。

## 2. 研究方法

### (1) 熱源位置推定モデル

図1に地表ホットスポットを有する不適正処分場の模式図を示す。ガスの抜け道における熱収支式及び質量保存則の連立方程式を、以下の仮定の下で解くと、式(1)が得られる。  
仮定：1) ガスの抜け道は熱源から地表のガス漏出口まで直線的である。2) ガスの抜け道は一様断面である。3) ガスの抜け道周辺部以外は、熱源の影響を受けず、地中温度はどこも一定である。4) 熱源は点熱源と考え、実際には点熱源が熱源の重心をなしているとする。5) ガスの抜け道における伝熱は、熱伝導、移流、ガスの抜け道周辺部への散逸の3形態とする。

$$\frac{1}{D_i} \ln \frac{T_* - T_0}{T_i - T_0} = \text{Const.} \quad (1)$$

ここで、 $D_i$ ：熱源までの距離、 $T_*$ ：熱源温度、 $T_0$ ：地中温度、 $T_i$ ：地表ホットスポットの温度である。

式(1)は地表ホットスポットの温度及び位置と熱源位置の関係を表しており、左辺の値が定数

(以下、モデル定数と呼ぶ。)であることを示している。熱源温度及び地中温度を設定し、不適正処分場における複数の地表ホットスポットの温度及び位置の情報を用いることで、熱源の位置をモデル定数の誤差が最小の地点として推定することができる。

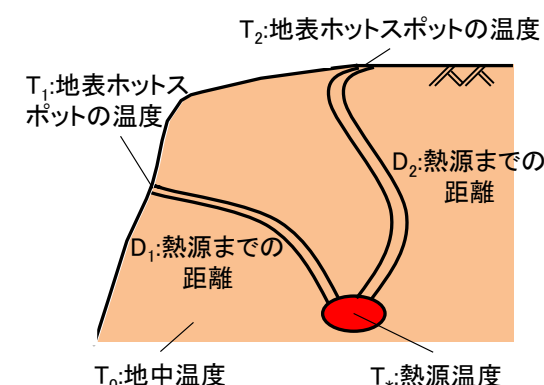


図1 地表ホットスポットを有する不適正処分場の模式図

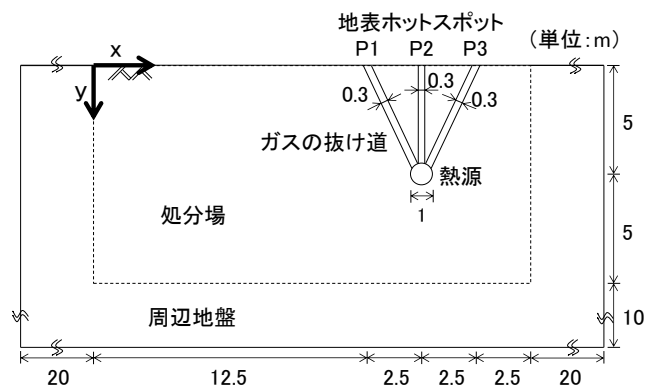


図2 数値シミュレーションの系

表2 設定値

| パラメータ                                             | 数値                      |
|---------------------------------------------------|-------------------------|
| 熱源温度 (°C)                                         | 60                      |
| 気温 (°C)                                           | 15                      |
| 土粒子密度 (t m <sup>3</sup> )                         | 2.6                     |
| 熱伝導率 (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )         | 4.7                     |
| 定圧比熱容量 (J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )      | 840                     |
| ガス発生速度 (kg m <sup>-3</sup> s <sup>-1</sup> )      | 0.08                    |
| 地盤の透気率 (m <sup>2</sup> )                          | 1.0 × 10 <sup>-9</sup>  |
| ガス道の透気率 (m <sup>2</sup> )                         | 1.0 × 10 <sup>-2</sup>  |
| 粘性係数 (Pa s)                                       | 1.8 × 10 <sup>-5</sup>  |
| 表面輻射率                                             | 1                       |
| ステファンボルツマン定数 (W m <sup>-2</sup> K <sup>-4</sup> ) | 5.67 × 10 <sup>-8</sup> |

表1 数値シミュレーションにおける熱源及びホットスポット位置の設定

|      | 座標 (x, y) |       |         |
|------|-----------|-------|---------|
|      | P1        | P2    | P3      |
| ケース1 | 12.5, 0   | 15, 0 | 17.5, 0 |
| ケース2 | 5, 0      | 15, 0 | 17.5, 0 |
| ケース3 | 5, 0      | 10, 0 | 17.5, 0 |
| ケース4 | 5, 0      | 10, 0 | 15, 0   |

## (2) 伝熱及びガス移動の数値シミュレーション

図2に数値シミュレーションの系の一例を示す。ここでは表1に示すようにガスの抜け道の配置が異なる4ケースを対象とした。解析は定常解析とし、式(2)の熱収支式、式(3)のガス質量収支式を支配方程式とし、地中ガス流速は式(4)のダルシー則で与えた。地表の境界条件は式(5)で与え、その他の境界は断熱境界とした。表2に設定値を示す。

$$\rho C_p \mathbf{u} \nabla T = \nabla \cdot (K_{ep} \nabla T) + Q \quad (2)$$

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = Q_m \quad (3)$$

$$\mathbf{u} = -\frac{k}{\mu} \nabla p \quad (4)$$

$$-\mathbf{n} \cdot (-k \nabla T) = \varepsilon \sigma (T_{amb}^4 - T^4) \quad (5)$$

ここで、 $\rho$ : 土粒子密度( $\text{kg m}^{-3}$ )、 $C_p$ : 定圧比熱容量( $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ )、 $\mathbf{u}$ : ダルシー速度場( $\text{m s}^{-1}$ )、 $T$ : 温度(K)、 $K_{ep}$ : 熱伝導率( $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ )、 $k$ : 透気率( $\text{m}^2$ )、 $\mu$ : 粘性係数( $\text{Pa s}$ )、 $p$ : 圧力(Pa)、 $Q$ : 発熱量( $\text{J m}^{-3} \text{s}^{-1}$ )、 $Q_m$ : ガス発生速度( $\text{kg m}^{-3} \text{s}^{-1}$ )、 $\mathbf{n}$ : 法線ベクトル、 $\varepsilon$ : 表面輻射率、 $\sigma$ : ステファンボルツマン定数( $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$ )、 $T_{amb}$ : 雰囲気温度(K)である。

## 3. 結果及び考察

### (1) 数値シミュレーション結果

図3に地中及び地表の温度分布の一例(ケース1)を示す。地表ホットスポットの温度は、熱源直上で最も高く、そこから離れるにつれて低くなっている。地中ではガスの抜け道の周辺で温度が高い。

### (2) 熱源位置推定モデルの精度及び適用条件の検討

図4にケース1の場合の熱源位置推定結果を示す。図中の丸が熱源位置であり、熱源推定位置(モデル

定数誤差が最小の地点)はほぼ熱源位置と一致した。図5に全4ケースの熱源推定位置を示す。ここでは、数値シミュレーションにおいて、熱源温度及びガス発生速度を変化させた場合の結果も示している。ガス発生速度比は表2のガス発生速度を基準とした倍率である。ガスの抜け道の配置が熱源の水平位置よりも左側に偏っている場合(ケース4)では熱源推定位置が大きく左側にずれたが、その他のケースでは熱源推定位置は水平位置で誤差1m以内であった。熱源温度が変化しても熱源推定位置はほぼ変化しなかったが、ガス発生速度を変化させると速度比の増大につれて地表面方向へ推定位置が推移していく結果となった。

## 4. まとめ

熱源位置推定モデルを用いて一定の精度で熱源位置を推定できることが示された。また、熱源推定位置は、熱源温度の影響をほとんど受けないが、ガス発生速度の影響を大きく受けることが示された。今後、ガスの抜け道が曲がっているケースやより複雑なケースについても同様の検討を行うとともに、不適正処分場を模擬した実験を行い、熱源推定モデルの精度の検証を行う予定である。

謝辞: 本研究は JSPS 科研費 26820223 の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

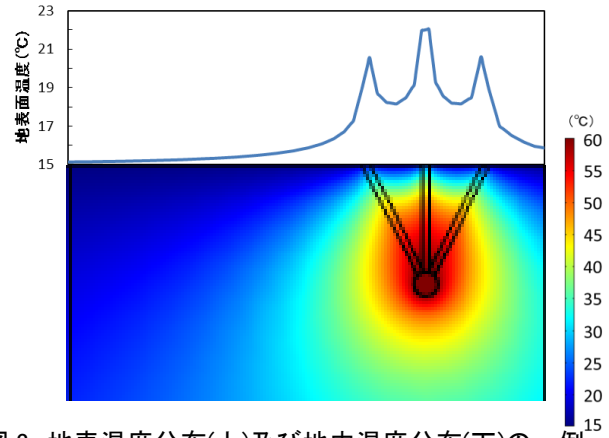


図3 地表温度分布(上)及び地中温度分布(下)の一例  
(熱源温度: 60°C、ガス発生速度比: 1 倍)

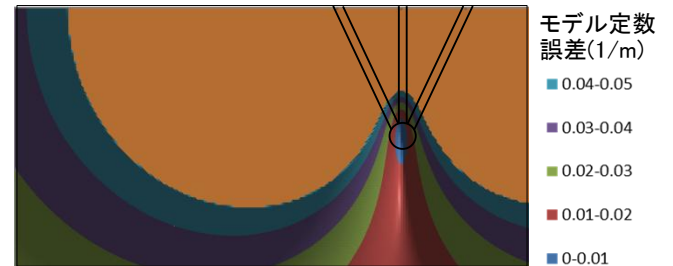
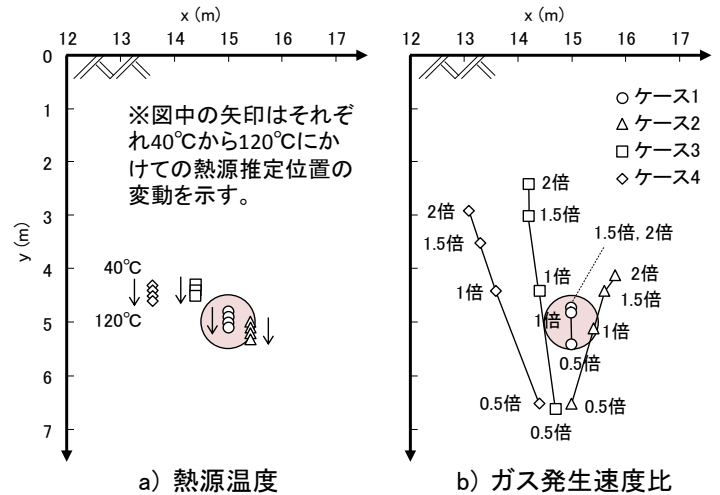


図4 熱源位置推定モデルによる推定結果の一例  
(熱源温度: 60°C、ガス発生速度比: 1 倍)



a) 熱源温度 b) ガス発生速度比  
図5 熱源推定位置に及ぼす各種因子の影響