

埋立が終了した廃棄物最終処分場における安定化指標としての 内部温度及びガス成分に関する研究

Study on interior temperatures and gas compositions as stabilization indices of a closed sanitary landfill

室蘭工業大学大学院 ○学生員 北本 広樹 (Hiroki Kitamoto)
室蘭工業大学 正員 吉田 英樹 (Hideki Yoshida)

1. はじめに

1998年6月に廃棄物最終処分場の廃止基準の概要(一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係わる技術上の基準を定める命令)が制定された。これは最終処分場の環境安全性を検証するためのものであり、安定化を判断するための指標として、埋立地内部温度、埋立ガス、浸出水水質が規定されている。

現存する処分場の中には適切な埋立構造(ガス抜き管・浸出水集水管など)を持たないものも多く、周辺環境汚染のリスクを軽減するためにも早期安定化が求められている。

本研究では、埋立が終了した処分場において、安定化の指標である内部温度及びガス成分の測定を行うことにより、安定化に関わる現象を把握することを目的とする。

2. 調査対象処分場の概要

調査対象処分場は北海道内の一般廃棄物最終処分場で、埋立期間24年を経て、2003年に埋立が終了している。

事業系及び家庭系一般廃棄物、下水汚泥を含む産業廃棄物などが、焼却処理を施さないで直接埋立られ、分解性有機物が多量に処分されている。

2003年度から各種調査及び閉鎖工事を開始し、2005年7月から始まった閉鎖工事は「浸出水削減対策工」「廃棄物早期安定化対策工」「最終覆土工」からなり、2008年12月現在も継続中である。

2004年に、処分場内部の状況を調査するためのボーリング調査が行われ、5本のモニタリング管が設置された。ソーラー電力により水質や内部温度の自動モニタリングをするため常時管口が閉じられており、管口からの酸素の侵入がない構造である。

また、2005年7月より「廃棄物早期安定化対策工」として、φ200mmの塩ビ管が約50m間隔で設置された。2008年12月現在89本のガス抜き管が設置されている。

ガス抜き管は多孔管となっており、廃棄物層から発生するCH₄などのガス排出効果と、廃棄物層への酸素侵入効果を目的として設置されている。

3. 安定化

安定化とは、「環境中であってそれ以上変化せず、影響を与えなくなった状態」と定義され、浸出水処理や埋立ガス排除などの跡地管理の必要なくなることである。

処分場内の有機物の微生物分解反応が終了し、周辺環境への汚染リスクが十分に小さくなることを示す。

4. 調査概要

1) 内部温度測定

熱電対式の測定器を用い、地表面から深さ方向へ1m間隔でガス抜き管内部の温度を測定した。測定は2004年7月から開始し、1~2ヶ月に1度の頻度で測定を行った。

2) 埋立ガス成分測定

ガス測定器(GA2000)を用い、ガス抜き管内の約50cmの位置で、酸素(O₂)、メタン(CH₄)、二酸化炭素(CO₂)、BAL(N₂、水蒸気、その他のガス)の4項目に関してガス成分(%)を測定した。ガス成分中にあるBALとは二酸化炭素、メタン、酸素以外の成分を表しており、本研究においてはN₂と考えた。測定は2006年8月より開始し、内部温度測定と同じく、1~2ヶ月に1度の頻度で測定を行った。

また、今回の研究対象としているガス抜き管に関しては深さ方向へ1m間隔で15mまで測定も合わせて行った。

5. 調査結果及び考察

5.1 微生物反応の指標について

処分場平面図に標高・2005~2008年までの内部温度及びガス成分調査結果における内部最高温度及びガス成分中のCO₂とCH₄の比をζ(ζ=CO₂/CH₄)と定義し最高値を、等高線で表し図-1に示した。ただし、CH₄が1%未満のものは計算対象外とした。図に示したプロット点はガス抜き管を示しており、上のほうが標高が高く、赤線の中心に行くほどζの値が高いことをそれぞれ示している。

微生物反応が起こる際に、嫌気性条件下では分解性有機物の種類によりCO₂:CH₄=50:50~30:70で発生する。本研究において、CO₂:CH₄=40:60を用いた。

また、好気性条件下ではCO₂のみが発生し内部温度が高くなる。ここで一般的なグルコース1molの分解を考えると、嫌気性条件下においてCO₂の発生量を考慮するとC₆H₁₂O₆→2.4CO₂+3.6CH₄、好気性反応においてはC₆H₁₂O₆+6O₂→6CO₂+6H₂Oとなる。ここで、グルコース分解の割合が嫌気性:好気性=50:50で起きていると仮定すると、以下の式のようになる。

$$\zeta = \frac{CO_2}{CH_4} = \frac{2.4 \times \frac{1}{2} \times CO_2 + 6 \times \frac{1}{2} \times CO_2}{3.6 \times \frac{1}{2} \times CH_4} \approx 2.3$$

上式を用いて、微生物分解の嫌気性と好気性の割合を

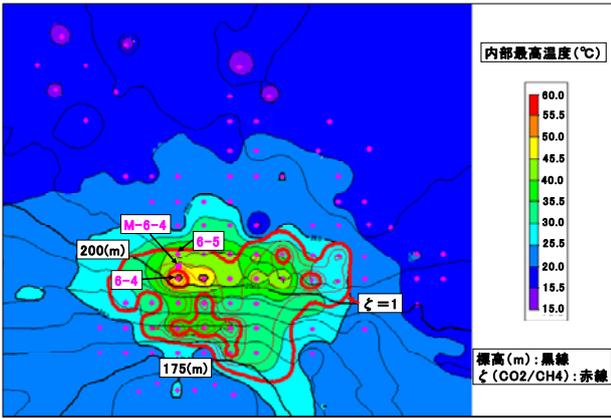


図-1 処分場平面図

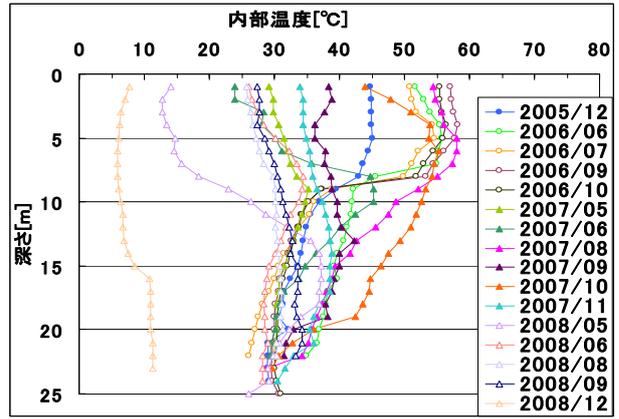


図-4 ガス抜き管 6-4 における内部温度分布

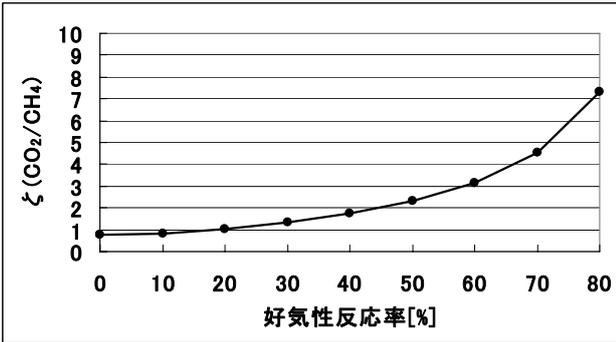


図-2 反応状況によるζとの関係図

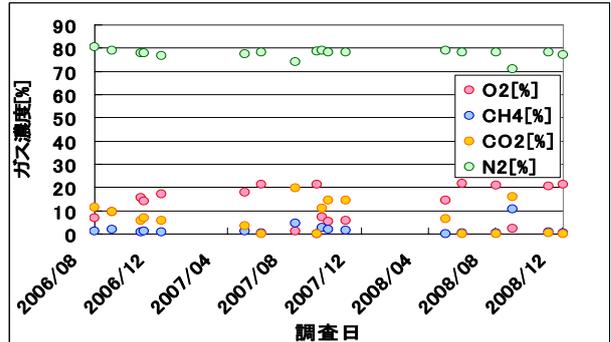


図-5 ガス抜き管 6-4 におけるガス成分経年変化

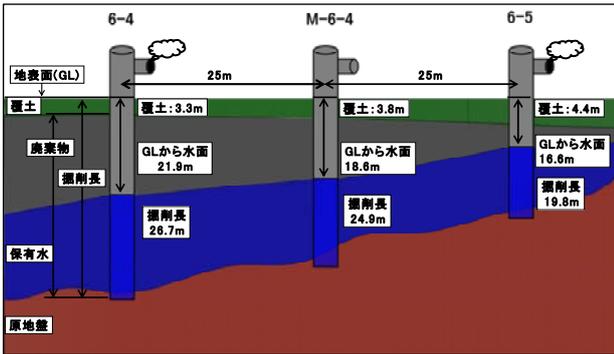


図-3 ガス抜き管配置図

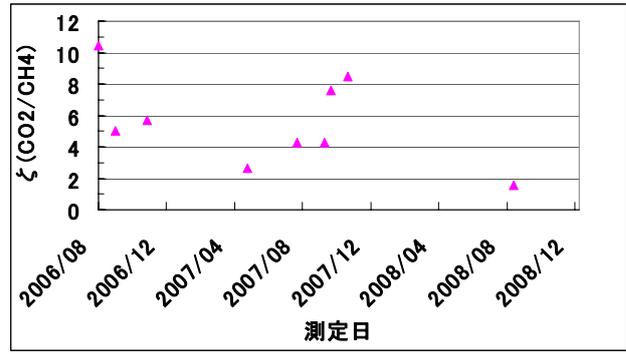


図-6 ガス抜き管 6-4 におけるζの経年変化

変化させ、好気性反応率とζの関係を図-2 に示した。図-2 より、好気性反応活発になればなるほどζの値は大きくなることを示しており、図-1 において内部最高温度が 40℃以上かつガス成分中のζの値が 1 以上 (ζ=1 で嫌気性：好気性=80：20) であれば好気性反応が共存していると考えた。図-1 より、この 2 つには相関があり図中に示した斜面近くのガス抜き管に内部最高温度が 40℃以上かつガス成分中のζの値が 1 以上の領域が斜面に集中していることから、斜面を通して空気の流入がしやすい好気性条件下にあるために内部温度及びζの値が大きいと思われる。また、内部温度とζの値が共に低い領域は周縁部に位置しており、これらのガス抜き管では内部水が滞留しているのと、斜面部に位置していないことから酸素の供給が乏しく、嫌気性条件下で微生物反応が起っていると考えられる。

本研究は、ガス抜き管 6-4(2005 年設置・以下、6-4)と

その周辺に位置するモニタリング管 M-6-4 (2004 年設置・以下、M-6-4) とガス抜き管 6-5 (2005 年設置・以下、6-5) に注目し、位置関係及び覆土層厚・地表面から水面までの深さ・掘削長を図-3 に示した。

5.2 好気性反応条件下によるガス抜き管 6-4 の安定化

図-4 に 6-4 の内部温度分布、図-5 に 6-4 のガス成分経年変化、図-6 に 6-4 のζの経年変化をそれぞれ示した。6-4 が設置された 2005 年より上層部 10m までの範囲において内部最高温度が高く、2006 年には最高温度が 60℃付近に達した。また、ガス成分をみると CH₄ より CO₂ の発生割合が高く、好気性反応が活発であったことがわかる。ここで、ζの値が 5 以上と非常に高いことから、有機物分解の約 70% が好気性条件下で起きていたと考えられる。2007 年 5 月に測定した内部最高温度は、雪解けの影響を受けて一時的に低下したが、数ヶ月後に

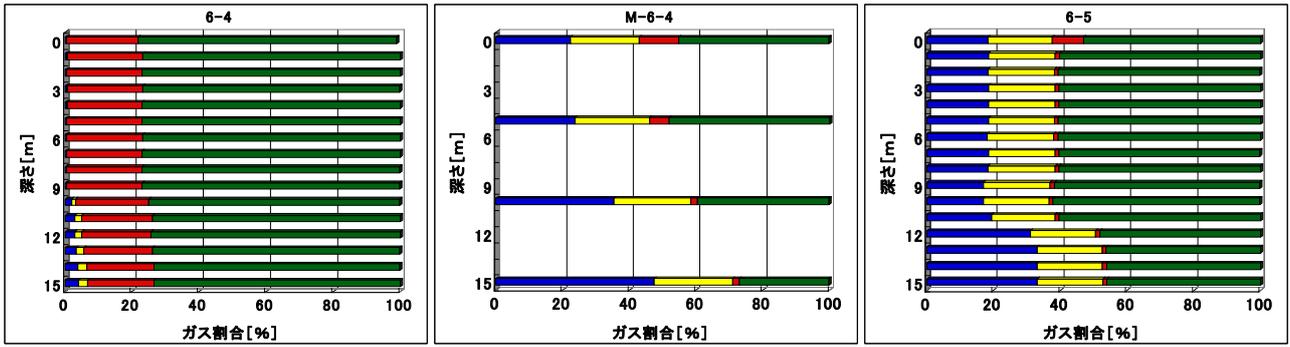


図-7 深部方向ガス成分 (測定日: 2008年12月)

※O2:赤色 CH4:青色 CO2:黄色、N2:緑とした。

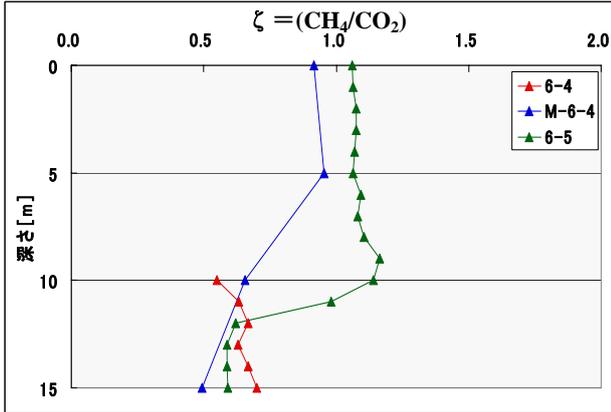


図-8 深部方向ζ (測定日: 2008年12月)

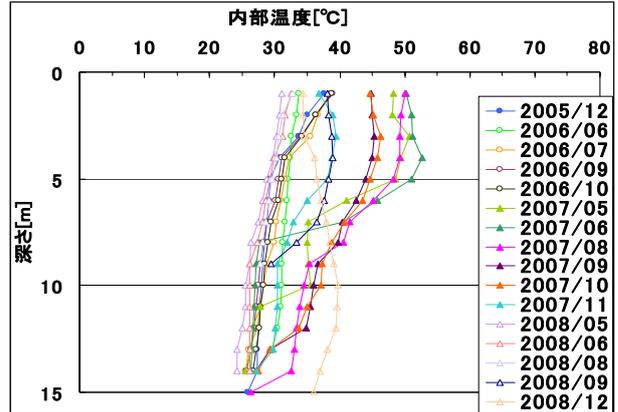


図-11 ガス抜き管 6-5 における内部温度分布

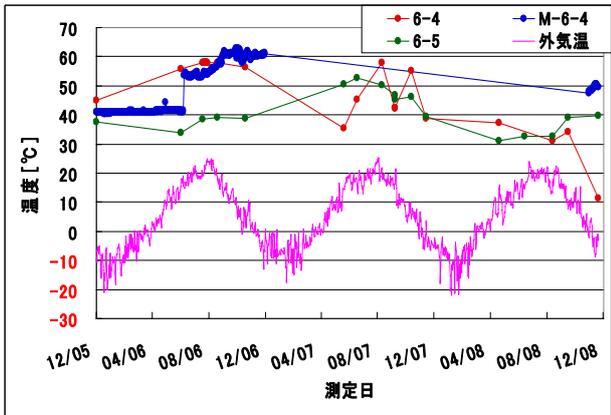


図-9 内部最高温度経年変化

は内部最高温度が約 50°C・ζの値が 5 以上にまで回復した。この年より、最高温度の深度が下方へ移り、好気性反応領域が深部へと移り変わっていったと思われる。

2008年6月になると、鉛直方向における温度差がなくなり、最高温度が 35°Cにまで低下した。また、2008年12月には外気温の低下を受けて内部温度が深部においても約 10°Cとなり、深部方向での温度変化がないことから、好気性反応が収束したことがわかる。以上のことから、6-4の周辺はほぼ安定化したと思われる。

ここで、2008年12月に測定した地表面から深さ方向15mまでのガス深部方向成分調査結果を図-7に、深部方向のζの値を図-8に、M-6-4・6-5と共にそれぞれ示した。10mまでの深さにおいては、ほぼ空気組成になっていた。また、10~15mにおいては嫌気性条件下で生じたCH₄がわずかに残っているが、これは内部温度分布に関して考察した通りほぼ安定化しているといえる。

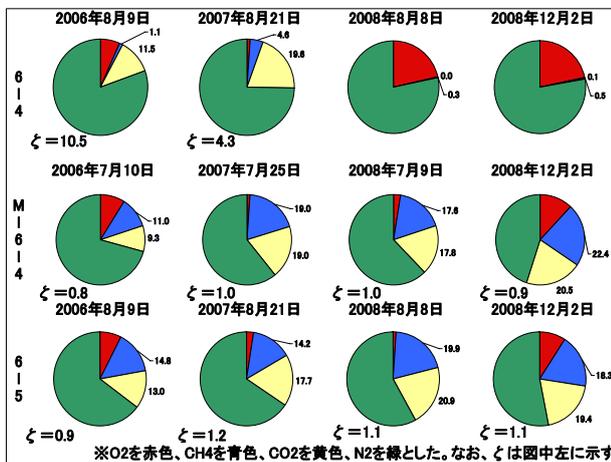


図-10 ガス抜き管出口のガス成分

5.3 好気性反応エリアの拡大

対象処分場において、最も早く安定化した 6-4 の周辺に位置する M-6-4・6-5 についての内部最高温度経年変化・ガス成分の調査結果を 6-4 と合わせて、図-9、図-10 にそれぞれ示した。ガス抜き管設置当初より近接する 3 つの管すべてにおいて、内部最高温度が約 40°C と高かった。5.2 節で述べた通り、2006 年に 6-4 の好気性反応条件下での微生物反応が活発となり、内部最高温度が約 60°C・ζの値が 5 以上にまで達した。この時期の M-6-4 は、6-4 と連動し内部最高温度が 60°C にまで達したが、6-5 は顕著な温度上昇はなく内部最高温度が約 40°C で推

移していた。また、2006年の同時期に測定を行ったガス成分をみると、6-4における ζ の値が10.5と非常に高く微生物反応の約80%が好気性反応条件下で起きていたと思われる。一方、同じ時期のM-6-4と6-5の ζ の値は、0.8と0.9であり低い値であった。これは、25m離れたM-6-4と50m離れた6-5までには、6-4と同じレベルまでの好気性反応の活発化には至らなかったと思われる。

2007年になると、5.2節で述べた通り、6-4は雪解けの影響を受けて内部最高温度は一時的に低下したが、数ヵ月後には内部最高温度が約50°C・ ζ の値が5以上にまで回復した。M-6-4に設置してあった測定器の故障によりデータが欠落しているが、2006年と同じく6-4と同じ挙動を示していたと推測した。一方、6-5の内部最高温度は6-4と同じく40~50°Cにまで達した。ここで、図-11に6-5の内部温度分布を示す。6-4と6-5の温度分布を比較すると温度分布の形状が同じく、地表面から約10mの範囲において内部最高温度を示していた。このことから、地表面からの酸素の侵入によりM-6-4に遅れて6-5でも好気性反応が起きたと考えられる。これは、 ζ の値から見ても確かだといえる。

2008年におけるM-6-4・6-5の内部最高温度は、6-4の急激な温度低下とは異なり、40~50°Cで推移している。また、図-7に示したガスの成分をみると、2007~2008年にかけての変動はあまりみうけられず、 ζ の値が0.9~1.1であり、図-2より好気性反応の割合が10~20%と高くはなかった。また、3つの管同時に行った深部方向ガス成分の調査結果をみると、6-4が安定化しているのに対して、M-6-4・6-5の深部方向すべてにおいてCH₄とCO₂の発生があり、まだ微生物反応が起きていることがわかる。それぞれの深部方向 ζ の値を見ると、M-6-4においては1未満となり、嫌気性反応が活発であると考えられる。また、6-5は地表面より10mの地点まで ζ の値が約1以上であり好気性反応が継続していると思われるが、10m付近を境に ζ の値が深部で0.6となり嫌気性反応が起きていると思われる。

図-8から、6-4・M-6-4・6-5において深さ10m付近で好気性反応から嫌気性反応への移行がみられ、これは地表面からの酸素侵入限界と関係があると思われるが、今後検討していきたい。

6.まとめ

- 1) 内部最高温度と $\zeta = \text{CO}_2/\text{CH}_4$ の指標を用いて作成した対象処分場の等高線の図から、内部最高温度と ζ の値が高い箇所は斜面部に集中しており、この2つの指標には相関があることがわかった。また、 ζ が大きいのは好気性条件下での微生物反応が活発であり、結果として内部温度も高いことがわかった。
- 2) 6-4の内部最高温度分布の図より、上層部約10mまでの深部においての温度上昇が著しく、好気性反応条件下において微生物反応が起きていることがわかった。また、6-4の内部温度分布及び深部方向ガス成分の調査結果より、2008年には周辺における好気性反応条件下での微生物反応が終了し、ほぼ安定化

していると思われる。

- 3) 内部最高温度及びガス抜き管出口のガス成分の図より、M-6-4・6-5においても顕著な温度上昇が見られたが、 ζ の値は低く好気性反応の割合が高くないことから、6-4と同じレベルになっていなかった。また、6-4・M-6-4・6-5でいずれも深さ10m付近を境に好気性反応から嫌気性への移行が見られ、その原因について今後検討する必要がある。

謝辞

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。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 吉田英樹：埋立終了後の廃棄物最終処分場に設置された受動型ガス抜き管内の温度・埋立ガス成分調査、第18回廃棄物学会研究発表会講演論文集、CD-ROM、2007。
- 2) 吉田英樹：廃棄物最終処分場内部での発熱反応により遮水工が被る高温環境に関する研究、第7回環境地盤工学シンポジウム発表論文集、pp.251-254、2007。
- 3) 亀井千亜紀・吉田英樹：埋立終了した廃棄物最終処分場の安定化に関する調査、土木学会北海道支部論文報告集・第64号、2008。