

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560656

研究課題名(和文) 災害廃棄物の仮置き場における温度・ガス管理による火災発生防止

研究課題名(英文) Prevention of fire at temporal disaster waste storage sites by temperature and gas component observations

研究代表者

吉田 英樹 (YOSHIDA, Hideki)

室蘭工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70210713

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、岩手県のある自治体における現地調査結果に基づき、仮置場に堆積している災害廃棄物の温度・発生ガス成分の特性を明らかにした。温度が高い場所で二酸化炭素濃度が上昇していたことから、好気性微生物反応により温度上昇し、その後の化学的反応熱により急激に温度上昇し、火災に至っていると推定された。温度上昇シミュレーションにより、廃棄物層は断熱効果が高く、深い場所ほど気温変動の影響を受けにくいこと、廃棄物の積み上げ高さが大きくなると、断熱効果により内部温度が上昇することがわかった。また、火災の防止のためには、積み上げ高さを抑えること、廃棄物層を切り崩して放熱効果を高めることが有効であると推定された。

研究成果の概要(英文)：In this study, disaster waste temporary storage sites in Iwate were surveyed for gas components and internal temperatures by thermography and portable devices, to elucidate the mechanism of temperature rising and the possibility of wildfire. Gas components were measured at hot spots. Hot spots showed the detection of significant concentrations of carbon dioxide. So aerobic biodegradation and further exothermic reaction may result in high temperature and wildfire at the sites. In addition, temperature simulations were carried out with the finite element method. The situation of internal heat generation and transfer in disaster waste temporary storage sites was evaluated to predict the risk of wildfire. Waste layers has insulation effect and those temperature rises easily by aerobic biodegradation if the size of the storage site is large. For prevention of wildfire, the height of the storage sites and cooling effect by exposure to the air is very important factor for temperature rising.

研究分野：廃棄物工学

キーワード：災害廃棄物 温度 ガス 火災 仮置場

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災で発生した災害廃棄物は2000万トンを超え、被災地域の復興の障害となっていた。国は災害廃棄物の処理に関する特別措置法に基づき、被災自治体の支援や必要な措置を講じることとし、早急な処理処分が必要となっていた。しかしながら、大量の災害廃棄物を被災自治体のみで処理処分することはさきわめて困難で広域的な取組が必要であったが、まだ一部自治体をのぞいて実施には至っていなかった。このため、被災自治体に設けられた災害廃棄物の仮置場は長期的な管理が必要になると予想されていたが、すでに火災が起きているところがあり、その安全管理が重要な課題となっていた。

2. 研究の目的

東日本大震災で発生した災害廃棄物の仮置場は長期的な管理が必要になると予想されており、すでに火災が起きているところがあり、その安全管理が重要な課題となっていた。本研究では災害廃棄物の仮置き場における火災発生防止について検討するため、仮置場現場での火災発生リスクに係わる指標である温度・ガス成分の調査を行うとともに、火災発生のメカニズムを明らかにし、数値シミュレーションを通じた現象解明により、火災を防止するための有効な手法について明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 岩手県のがれき仮置場での現場調査による温度・ガスに関する状況把握を行った。全体温度はサーモグラフィを用い、ホットスポットを特定し、内部温度及びガス成分測定を実施した。

(2) 火災発生メカニズム解明のための数値シミュレーションによる堆積後の初期の微生物反応による温度上昇プロセスの再現を行った。さらに温度上昇低減のための有効な手法について検討を行った。

4. 研究成果

(1) 仮置場温度上昇のメカニズム推定

災害廃棄物内部では図-1に示したような様々な要因によって発熱が生じていると考えられる。発熱の原因として、内部温度が60℃近くまで上昇している箇所が多いことから、一般的な処分場の廃棄物層内にて起こる有機物の微生物分解反応の好気性微生物反応が起きていると考えられる。埋め立てられた有機物を1molのグルコース(C₆H₁₂O₆)と仮定すると、酸素を必要とする好気性微生物反応は、



と表される。好気性微生物反応は二酸化炭素と水を発生させ、単位体積・単位時間における反応熱は140.1Jであり、主にこの反応が廃棄物層内の温度上昇に寄与すると考えられる。

高温化の原因として、廃棄物中の木材表面に含まれる不飽和脂肪酸の酸化反応による発熱も考えられる。酸素の消費が進み、廃棄物層において酸素が少ない状態で高温化すると一酸化炭素が発生する不完全燃焼が起こり、地中火災に発展する危険性がある。その他の発熱原因として、乾燥している木屑に雨水等が吸着することによって発熱する水分吸着反応が考えられる。メタンガスと二酸化炭素が発生する嫌気性微生物反応では殆ど温度上昇しないが、高温の近くでメタンが発生している場合、メタンに引火して爆発の危険性があるので注意が必要である。

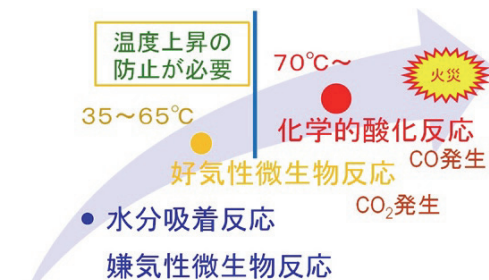


図-1 仮置場における温度上昇の推定メカニズム

(2) 災害廃棄物仮置場の現場調査概要

調査対象は岩手県内の沿岸部に位置する自治体で、混合ごみが堆積されている一次仮置場、木材や布団、繊維屑等が分別して堆積されている二次仮置場において2011年9月から2014年1月まで調査を行った。現地の災害廃棄物の処理・処分は2014年3月をもって完了しており、現在は全ての仮置場が撤去されている。

岩手県内の災害廃棄物の内訳(2013年時点)を図-2に示す。可燃物が14%、木屑が2%含まれており、このような可燃性廃棄物が火災の原因となっていたと推定される。

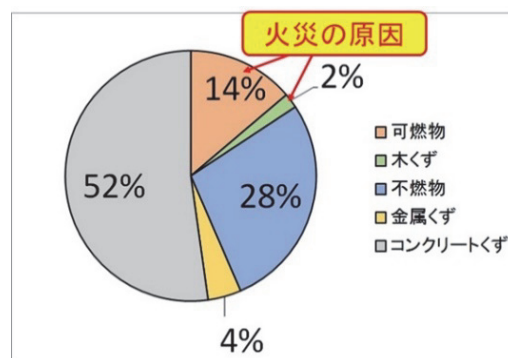


図-2 災害廃棄物の内訳

災害廃棄物の処理推移を図-3に示す。図より、震災発生から1年間はほとんど処理・処分されておらず、災害廃棄物が長期にわたって仮置きされていたことがわかる。このように、長期間仮置きされていると廃棄物の温度が上昇し、火災発生リスクが高まっていた。当時、いくつかの仮置場で火災が発生しており、仮置場での火災予防の対策が早急に求められていた。



図-3 災害廃棄物の処理推移

(3) 災害廃棄物仮置場の現場調査結果

調査対象とした一次仮置場では、2011年12月に火災が発生した。火災の約3ヶ月前の調査では、表面温度の最高温度が50.7℃であったが、火災の約1箇月後の調査では、表面温度の最高温度が65.2℃と温度上昇が確認された。表面温度が60℃前後と高い地点では、1m深さの内部温度も80℃前後と高く、さらに二酸化炭素濃度も10%程度と高い傾向があった。メタンガスについては微量に検出された地点があった。高温の廃棄物層の近くでメタンガスが発生している場合、爆発の危険があるので、注意が必要な状態であったといえる。火災の約1ヶ月後の2012年1月の調査での表層ガス成分測定結果を図-4に示した。

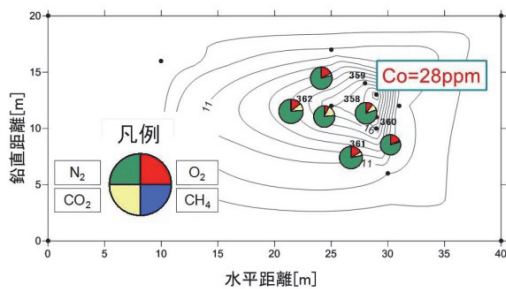


図-4 表層ガス成分測定結果 (2012年1月測定)

特に温度が高かった地点におけるサーモグラフィーを使った温度測定結果及びガス測定結果を図-5に示した。図から最高温度は65℃に達し、Hot Spotのように集中的に温度が上昇していることがわかる。ここから水蒸気が発生しており、内部の高温化による影響を受け、ガスの噴出点であるために Hot Spot となっていることがわかった。また、ガス測定により、二酸化炭素が16%検出されていた。一方、一酸化炭素は検出されなかったため、燃焼ではなく、好気性微生物反応による温度上昇ではないかと推定された。

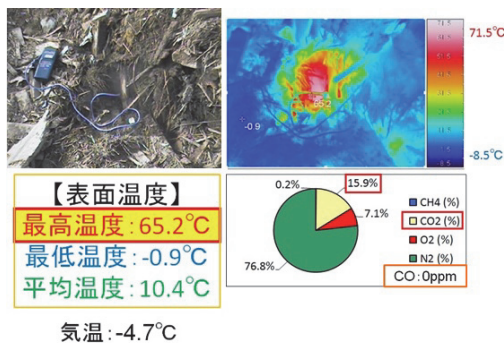


図-5 表面温度とガス成分 (2012年1月測定)

先に示したように、一次仮置場での初期の温度上昇が好気性微生物反応によるものであるかどうかを検証するため、表面温度と二酸化炭素濃度の関係を図-6に示した。表面温度が30℃以上では、表面温度と二酸化炭素濃度の相関係数が0.82であり、相関関係にあることが確認された。グラフより、堆積廃棄物の内部で好気性微生物反応が起き、二酸化炭素が発生し、発熱により温度上昇したと考えられる。また、冬季に内部温度が高い地点が多く、気温との差で発生する熱対流により、好気性微生物反応が促進され温度上昇していた可能性があると考えられる。

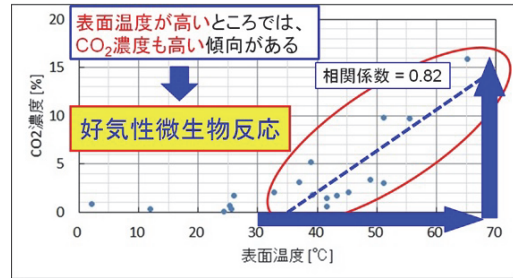


図-6 表面温度と二酸化炭素濃度の関係

(4) 現場における温度上昇低減作業の効果

廃棄物を高く積み上げていると、放熱速度よりも発熱速度の方が大きくなり、蓄熱が促進され内部温度が上昇する。当時現場で行われていた堆積廃棄物の切崩しの効果を検証するため、切崩し直後とその後の掘削表面の温度をサーモグラフィカメラで測定した。測定結果を図-7に示す。切崩し直後の効果の検証は、木屑が堆積している二次仮置場で行われた。切崩し直後の掘削表面の最高温度は54.1℃であったが、切崩し約19時間後の掘削表面の温度は35.5℃となっており、約20℃掘削表面の温度低下が確認できた。したがって、堆積廃棄物の内部温度を低下させるには掘削が有効であったと考えられる。

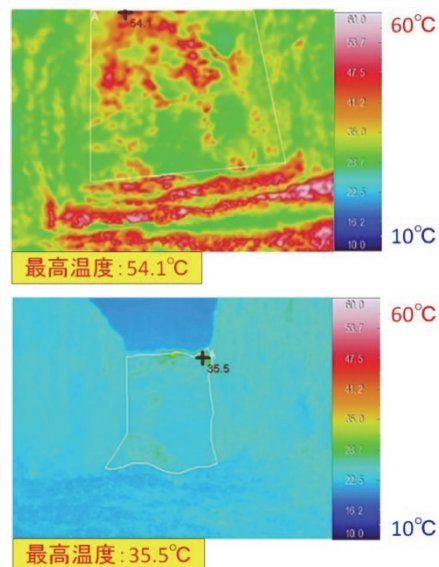


図-7 切崩し後 (上: 直後 下: 19時間後) のサーモグラフィによる表面温度変化測定

(5) 数値シミュレーションによる温度上昇現象メカニズムの解明

現地調査では、好気性微生物反応による温度上昇、堆積廃棄物の切崩しによる内部温度低下が確認された。しかし、廃棄物内部の温度分布や内部温度の詳しい時間変化は現地調査ではわからない。そこで、本研究では有限要素法に基づく解析モデルで廃棄物層の内部温度シミュレーションを行い、堆積廃棄物の高さによる影響を評価した。

数値シミュレーションの支配方程式は以下に示す非定常熱伝導方程式及びパラメーター値 (表-1) を用いた。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \dot{Q}$$

T : 温度 [°C] t : 経過時間 [s]

ρ : 密度 [kg/m³] c : 比熱 [J/kg/°C]

k : 熱伝導率 [W/m/°C]

Q : 熱発生速度 [W/m/°C] (1.05 × 10⁻⁵[W/m/°C])

表-1 シミュレーションに用いたパラメーター値

	不飽和層	飽和層	原地盤層
ρ [kg/m ³]	1157	1424	1800
c [J/kg/°C]	2385	4200	1109
k [W/m/°C]	0.32	0.32	0.86

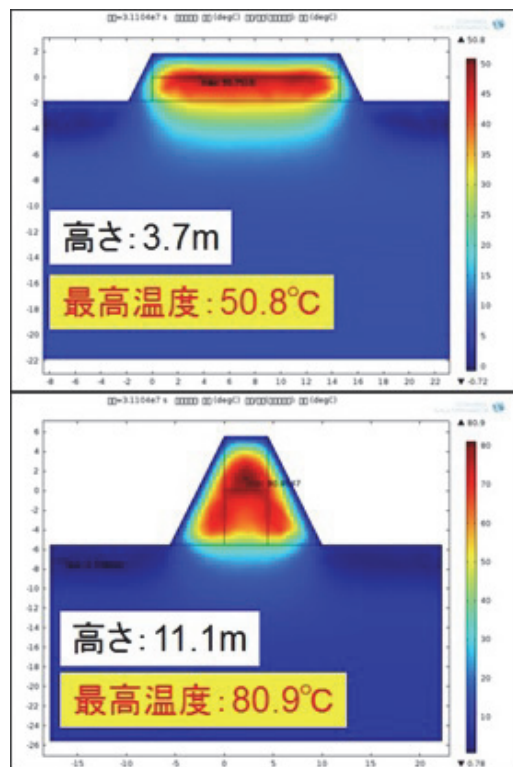


図-8 仮置場温度シミュレーション結果

原地盤層の上に縦10m、横10m、高さ5mの廃棄物層のモデルを作成し、シミュレーションを行った。堆積廃棄物の高さによる影響を検証した。容積が一定で高さ3.7mのモデル、高さが3倍の11.1mのモデルを作成し、シミュレーションを行った。計算結果を図-8に示

した。高さ3.7mのモデルでは、中心断面の最高温度が50.8°Cとなり、高さが11.1mのモデルでは最高温度が80.9°Cとなった。このことから、廃棄物層の高さが増すと内部温度が上昇することがわかる。このように、一定容積の堆積廃棄物の積み上げ高さによる温度上昇が顕著であり、仮置場における高さの管理が最も重要であると推定された。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計7件)

- ① 金谷 大樹、吉田 英樹、準好気性廃棄物最終処分場における埋立ガスのモニタリング現場調査事例、土木学会北海道支部年次技術研究発表会、2015. 1. 31、室蘭工業大学 (北海道室蘭市)
- ② Hideki YOSHIDA, Site investigation of disaster waste storage sites in terms of wildfire by temperature and gas component observations, 5th Forum on Studies of Environmental and Public Health Issues in the Asian Mega-Cities, 2014. 11. 11, Seoul (Korea)
- ③ Hideki YOSHIDA, Landfill gas and temperature distribution in passive landfill gas extraction wells of a semi-aerobic landfill, 8th Intercontinental Landfill Research Symposium, 2014. 10. 20, Florida (U.S.A)
- ④ 吉田 英樹、準好気性廃棄物最終処分場に設置されたガス抜き管内の温度・埋立ガス成分調査、第25回廃棄物資源循環学会研究発表会、2014. 9. 16、広島工業大学 (広島県広島市)
- ⑤ Hideki YOSHIDA, Environmental management of temporal storage sites of disaster wastes of Japan, 4th China-Japan Joint Conference for the Community Formation on Material Recycling and Solid Waste Management, 2013. 11. 22, Chongqing (China)
- ⑥ 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4報)、第24回廃棄物資源循環学会研究発表会、2013. 11. 3、北海道大学 (北海道札幌市)
- ⑦ Hideki YOSHIDA, Risk management of disaster waste storage sites in terms of wildfire by temperature and gas component observations, 1st International Waste Working Group Asian Branch Symposium, 2013. 3. 19, Hokkaido University, HOKKAIDO, Sapporo (Japan)

6. 研究組織

研究代表者

吉田 英樹 (YOSHIDA, Hideki)

室蘭工業大学・工学研究科・准教授

研究者番号：70210713