

一般廃棄物焼却残渣固化体の内部ガス圧力による破壊に関する検討

九州大学 学生会員 ○博田庸介、正会員 小宮哲平、正会員 中山裕文、フェロー会員 島岡隆行

1. はじめに

我が国の一般廃棄物最終処分場で埋立処分される廃棄物の約 8 割が焼却残渣（焼却灰及び飛灰）である現状¹⁾を踏まえ、著者らは焼却残渣の特性を生かしつつ、埋立容量の消費の抑制、環境安全性の向上、埋立地の早期安定化を図ることが可能な「廃棄物固化式処分システム」²⁾の構築を目指している。具体的には、石炭灰固化技術³⁾を応用し、焼却残渣にセメント等を添加し、混練物を埋立地に敷均し、高周波振動を与えて締固め、固化盤を形成しながら埋立処分するものである。一方、固化体には焼却残渣由来の未燃分（有機物）が含まれており、未燃分の腐敗に伴うガス発生により、固化体内部のガス圧力が上昇し、固化体に亀裂が生じ、固化体の強度及び環境安全性に悪影響を及ぼすことが懸念される。

本研究では未燃分の腐敗に伴うガス発生による固化体の破壊の可能性について、ガスの発生及び移動を考慮した数値シミュレーションにより検討した。

2. 方法

(1) 対象とした系

本研究では図 1 に示すように固化式埋立地における鉛直一次元のガス移動を検討した。地表面を原点に鉛直下向きを正とした。固化式埋立地では廃棄物の飛散は生じないため、覆土は施されず、地表において固化体は大気に曝されるものとした。底面においては遮水工と固化地盤の間に遮水工の保護層の設置を想定した。保護層の透気性は固化体に比べて極めて高く、固化体から保護層に抜けたガスは速やかに大気に抜けるものと考え、保護層のガス圧力は大気圧に等しいと仮定した。ガス発生速度は固化地盤のどこでも一様でかつ定常であると仮定した。腐敗に伴う熱の発生はなく、温度はどこも一様で恒温であると仮定した。ゆえに、発生ガスは地表と保護層の双方から外気に抜け、ガス移動は $z=d/2$ を対称面として上下対称になるため、 $z=0\sim d/2$ におけるガス移動の数値シミュレーションを行った。

(2) モデル式及び設定

本研究では式(1)～(3)の連立方程式を差分法で解き、

ガス濃度分布の経時変化を求め、ガス濃度をガス圧力に換算した。式中の記号は表 1 に示す通りである。

$$\varepsilon \frac{\partial C}{\partial t} = -\varepsilon \frac{\partial(vC)}{\partial z} + \varepsilon \frac{D}{\xi} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + Y \cdots (1)$$

$$v = -K \cdot \frac{\partial P}{\partial z} \cdots (2), \quad P = \frac{RTC}{w} \cdots (3)$$

式(1)はガスの質量収支式であり、右辺第一項は移流項、同第二項は拡散項、同第三項は発生項である。式(2)はガスの断面平均流速式、式(3)は理想気体の状態方程式である。差分法における時間分割幅 (Δt) は 0.5h、座標分割幅 (Δz) は 1m と設定した。初期のガス濃度は大気に等しく、地表のガス濃度は常に大気に等しい ($C(z,0)=C(0,t)=1.176 \text{ kg/m}^3$) と設定した。対称面である $z=d/2$ ではガス移動は生じない、すなわちガス濃度の勾配はゼロ ($\partial C/\partial z(d/2,t)=0$) と設定した。

発生項 Y については、固化体の溶出試験の TOC 濃度から固化体中の TOC 成分量を求め、TOC 成分が単位時間あたりに一定量分解されるものとして設定した。分解に要する時間は 1、3、10 年の 3 パターンとした。透気

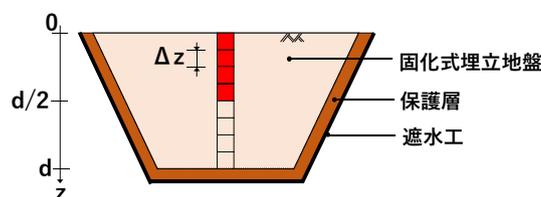


図 1 対象とした系

表 1 記号表及び採用値

記号	名称	単位	採用値
C	ガス濃度	kg/m ³ -gas	変数
d	埋立地の深さ	m	10、20、40
D	拡散係数	m ² /h	0.0706 ⁴⁾
K	透気係数	m ² /(Pa h)	0.1K*,K*,10K*(K*=4.38×10 ⁻⁷)
P	圧力	Pa	変数
R	気体定数	Pa m ³ -gas/(K mol)	8.31
t	時間	h	-
T	温度	K	300
v	断面平均流速	m/h	変数
w	分子量	kg/mol	0.016
Y	ガス発生速度	kg/(h m ³ -total)	Y*,Y*/3,Y*/10(Y*=1.78×10 ⁻⁶)
z	座標	m	-
ε	気相率	m ³ -gas/m ³ -total	0.302 ⁵⁾
ξ	屈曲度	-	3 ⁶⁾

係数 K については、固化体の飽和透水係数の実測値 ($1 \times 10^{-9} \text{cm/s}$) から水及びガスの粘性係数を用いて換算した透気係数 K^* ($4.38 \times 10^{-7} \text{m}^2/(\text{Pa} \cdot \text{h})$) の 0.1、1、10 倍の 3 パターンとした。埋立地の深さ d については、10、20、40m の 3 パターンとした。

3. 結果及び考察

図 2 に深さ方向で最大のガス圧力を示した $z=d/2$ におけるガス圧力の経時変化を示す。これは、分解時間を 3 年、埋立地深さを 20m に固定し、透気係数 3 パターンについての計算結果である。最も圧力が上昇した透気係数が $0.1K^*$ の場合でも、ガス圧力の最大値は 1022.8hPa に留まった。透気係数が $10K^*$ の場合ではガス圧力の上昇はほとんど見られなかった。

図 3 に定常状態における $z=d/2$ におけるガス圧力と埋立地の深さの関係を示す。ここでは分解時間を 3 年に固定した。埋立地が深いほど、大気との界面からの距離が長いため、埋立地内にガスが溜まるという結果になった。最大の圧力を示した深さ 40m、透気係数 $0.1K^*$ のケースでも、圧力の上昇は 1033.1hPa に留まった。

図 4 に定常状態における $z=d/2$ におけるガス圧力と TOC 成分の分解速度の関係を示す。ここでは埋立地の深さを 20m に固定した。分解速度が速い、すなわち分解時間が短いほど圧力が高くなった。最大の圧力を示した分解時間 1 年、透気係数 $0.1K^*$ のケースでも、圧力の上昇は 1032.4hPa に留まった。

4. 結論

本検討では固化体内部圧力は最大で 1033.1hPa であった。これは大気圧の 1.02 倍、固化体作製における目標圧縮強度 5N/mm^2 ($=5.0 \times 10^4 \text{hPa}$) の約 2% であった。未燃分の腐敗に伴うガス発生によって固化体にひび割れ等の破壊が生じることはないと考えられた。

謝辞：本研究は平成 29 年度環境研究総合推進費補助金 (3J173001) の助成を受けて実施された。記して謝意を表す。
参考文献 1) 環境省：平成 27 年度一般廃棄物処理実態調査結果, 2017. 2) 島岡隆行：焼却残渣を埋め立てる固化式処分システムの開発について, 都市清掃, 第 69 巻, 第 333 号, pp. 419-425, 2016. 3) (株)安藤・間：超流体工法, <http://www.ad-hzm.co.jp/service/ashcrete/tech/>. 4) 日本熱物性学会編：熱

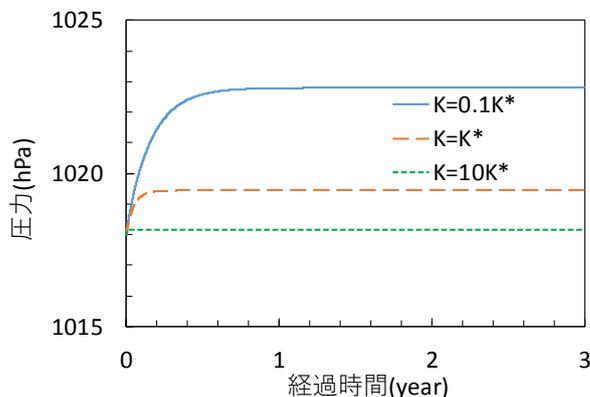


図 2 最大ガス圧力 ($z=d/2$) の経時変化
(分解時間は 3 年、埋立地深さは 20m に固定)

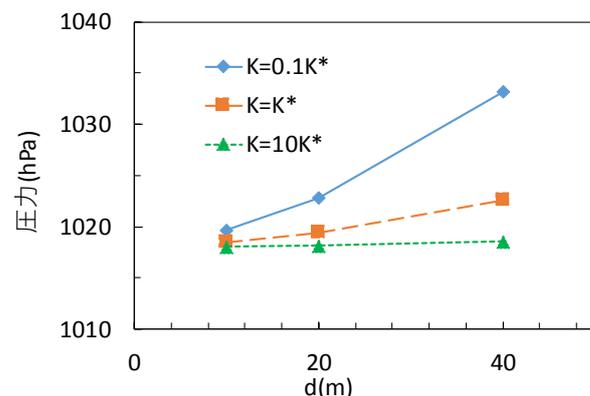


図 3 最大ガス圧力 ($z=d/2$, 定常時) と埋立地深さの関係
(分解時間は 3 年に固定)

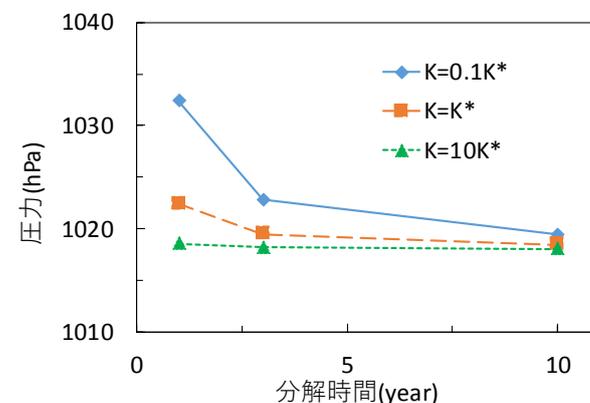


図 4 最大ガス圧力 ($z=d/2$, 定常時) と TOC 成分の分解速度の関係 (埋立地深さは 20m に固定)

物性ハンドブック, p.141, 1990. 5) 島岡隆行ら：巨大地震に耐える環境安全で堅牢な最終処分場の新技術開発に関する研究, 環境研究総合推進費補助金 (3K143001) 総合報告書, p.41, pp63~65, 2017. 6) 菊池道生ら：酸素および塩化物イオンの実効拡散係数によるセメント系硬化体におけるイオン移動性状の評価, Cement Science and Concrete Technology, No.64, pp.346-353, 2010.