

最終処分場に埋立処分された焼却灰による経過時間、深さごとのCO₂固定化量の推定

早稲田大学 学生会員 ○横井 亨朱

早稲田大学 正会員 小峯 秀雄, 王海龍, 伊藤 大知, フェロー会員 後藤 茂
(株)ミダック 非会員 鈴木 清彦, 國弘 彩, 疋田 貴大

1. はじめに

廃棄物分野は焼却過程で日本の総CO₂排出量の1%である約1000万tのCO₂を排出する¹⁾。この焼却過程ではCO₂以外に高pHでCa化合物を含む焼却灰が発生し、CO₂との接触により炭酸化反応が生じる。本研究はこの炭酸化反応を活用し、廃棄物分野におけるCO₂排出量削減システムの確立を目指している。焼却灰は産業廃棄物に該当し、最終処分場内で埋立処分される。その際に焼却灰は、埋立層内の通気管、埋立層と大気との接触、雨水に溶解したCO₂の埋立層内への通水といった3つの反応機構でCO₂固定がされると考えられる(図1参照)。埋立層と大気との接触によるCO₂固定に関して、経過時間、および埋立層内でどの程度の深さまで反応進捗しているかは未検討である。本論文は、埋立層表面と大気との接触によって進行するCO₂固定化反応を、埋立層を模擬したラボスケール試験によって実験的に検証した。

2. 大気暴露CO₂固定化試験

大気暴露CO₂固定化試験は、最終処分場における廃棄物埋立層をラボスケールで模擬し、経過時間、および埋立層の深さごとのCO₂固定化量算出を目的とした試験である。図2は試験の概略図である。試料を容器寸法に合わせて一定乾燥密度に充填し、経過時間1, 4, 9, 16, 25, 36, 49(day)ごとに試料に対して鉛直方向に掘削する。掘削した試料を埋立深さ1cm層ごとにサンプリングする。CO₂固定化反応はCa化合物のCaCO₃生成によって生じる。サンプリング前後の試料のCaCO₃生成量を炭酸塩含有量試験より算出し、その前後変化からCO₂固定化量を算出した。表1は試験条件である。一定乾燥密度への締固めは容器幅にあった板(図3)を用いて、2層に分けて行った。サンプリングには粉末用スパチュラの先端を改良したものと、直ナイフを用いた。スパチュラを試料に対して深さ方向に貫入し、スパチュラと試料を囲うように直ナイフを図4の通りに挿入する。直ナイフとスパチュラ間に挟まれた試料を絞めつけながら全体を引き抜き、スパチュラに記されたメモリに合わせて全4層(0-1cm, 1-2cm, 2-3cm, 3-4cm)に分けてサンプリングする。実際に処分場に埋立処分される焼却灰は飛散・匂い防止のため焼却灰の上層に覆土がされる。本試験は初期段階の検討として、覆土は設けず大気と焼却灰が直接接触する条件で試験を行った。なお、CO₂固定化反応と、コンクリート分野における中性化は同一メカニズムである。コンクリートの中性化は \sqrt{t} に従うことが分かっているため、サンプリング時間は平方数の日数とした。本研究は実際に最終処分場に埋立処分される焼却灰と同等の中間処理がされた煤塵FC_Kを用いた。表2は煤塵FC_Kの基本的性質である。埋立時の飛散防止を目的として加水されており、含水比が約30%に調整されてある。既往の研究において、一定流量で大気を試料

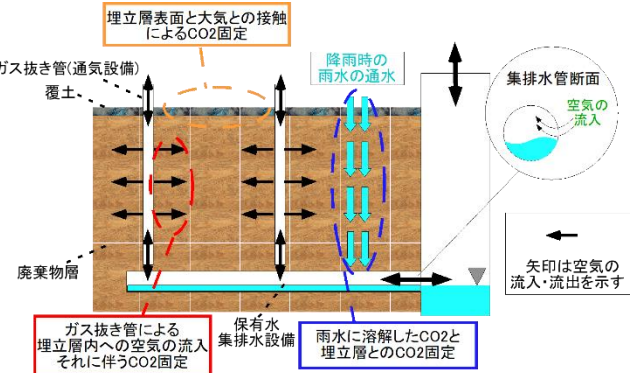


図1 最終処分場で考えられる3つのCO₂固定化機構

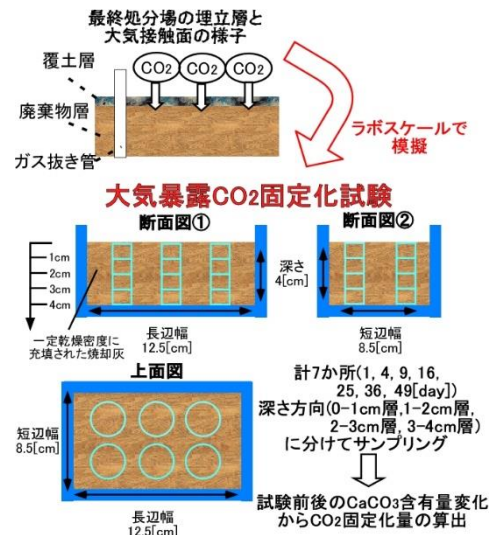


図2 大気暴露CO₂固定化試験概略図

表1 本試験の試験条件

試料	初期含水比 [%]	試料の設置個所	室内平均CO ₂ 濃度 [μg/L]	平均相対湿度 [RH]	乾燥密度 [g/cm ³]
煤塵FC	29.3	室内環境	462.0	49.4	0.70

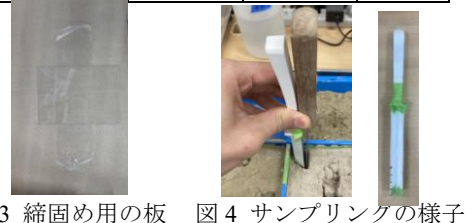


図3 締固め用の板 図4 サンプリングの様子

表2 基本的性質

試料入手時含水比 [%]	29.3
Ca ²⁺ 溶出量 [mg/L]	1808
pH	12.35
一定流量通気型CO ₂ 固定化試験の乾燥質量あたりのCO ₂ 固定化量 [g-CO ₂ /g-m _s]	0.1053

キーワード 地球温暖化 最終処分場 焼却灰

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58 号館 203 号室 早稲田大学 地盤工学研究室 TEL 03-5286-2940

に送風し、試料の CO₂ 固定化量を算出する一定流量通気型 CO₂ 固定化試験が行われた²⁾。煤塵 FC_K に対し、上記試験を行った際の CO₂ 固定化量も表 1 に示した。

3. 経過時間・深さごとの CO₂ 固定化量

表 3 は大気暴露 CO₂ 固定化試験の、各経過時間 t [day] の平方根 \sqrt{t} に対する層別 CO₂ 固定化量の結果である。表 3 の結果を図 5 に図示した。図 5 より、各層において経過時間に伴い CO₂ 固定化量は増加する傾向にあることが分かる。0-1 cm 層、1-2 cm 層は特に反応が顕著に進行した様子が確認できる。0-1 cm 層は 36 [day]まで固定化量の増加傾向が確認できるが、49 [day]にかけて固定化量の増加は確認できなかった。そのため本試験条件においては 0.10 [g-CO₂/g-ms]付近に CO₂ 固定化量が収束することが示唆された。また、表 1 に示した一定流量通気型 CO₂ 固定化試験の結果とほぼ同等とみなせる値に収束しており、大気と試料が表面上で接触する条件と、大気を常に試料に対して通気させる条件において、接触条件が異なる場合も試料の CO₂ 固定化量はほぼ変わらないことが考えられる。3-4 cm 層に関しては試験期間中に約 0.01[g-CO₂/g-ms]の CO₂ 固定化にとどまり、他層より反応進捗が緩やかであることが分かった。要因として、下層に到達する大気はあらかじめ上層部で CO₂ が固定化されており、CO₂ が低濃度の大气と反応する。よって、上層における反応が収束するまで緩やかな反応進捗になると考えられる。

図 5 の各層の経過時間後に対する CO₂ 固定化量のプロットより、各層の経過時間に対する CO₂ 固定化量が式(1)のような一次線形関数で近似されると仮定した。

$$y = \alpha \sqrt{t} \quad (1)$$

y を乾燥質量あたり CO₂ 固定化量[g-CO₂/g-ms]、 t を経過時間[day]、 α を各層固有の CO₂ 固定化係数[g-CO₂/(g-ms · $\sqrt{\text{day}}$)]とする。

式(1)に従い、本試験の結果から原点通過を条件とした最小二乗法によって CO₂ 固定化量予測式を導出した。なお、0-1 cm 層は 49[day]において反応が収束したと考えられるため、36[day]までのデータを用いた。表 4 は各層の比例定数 α と R² 値である。層が深くなるにつれ、R² 値が小さくなる傾向が確認できる。下層になるにつれ反応進捗が微小であり、CO₂ 固定化量が小さい。そのため炭酸塩含有量試験による CO₂ 固定化量の算出において、実験誤差の影響を強く受け、R² 値が小さくなったと考えられる。

図 6 は式(1)による各層の CO₂ 固定化量予測式である。0-1 cm 層の試験結果、および表 1 の一定流量通気型 CO₂ 固定化試験の結果から 0.105 [g-CO₂/g-ms]を反応収束値とし、各層の反応収束値までに達する予測時間を図 6 内に示した。その結果、3-4 cm 層は CO₂ 固定の収束までに約 13 年要することが示唆された。

4. 結論

最終処分場における大気と埋立層の接触条件を模擬したラボスケール試験を行い、経過時間、深さごとの CO₂ 固定化量を算出した。その結果、以下の知見が得られた。

- 大気接触面から 1cm 深さまでは 36 日間で試料の CO₂ 固定化が十分に進捗する。
- 3-4 cm 層においては、本試験の結果から予測される反応収束時間が約 13 年である。
- 焼却灰に常に大気を通気させる条件と、大気と表面上のみで接触する条件における反応量を比較した際に、CO₂ 固定化反応の収束値はほぼ同一になることが示唆された。

参考文献

- 1) 地球環境研究センター：日本国温室効果ガスイベントリ報告書 2021 年，国立研究開発法人国立環境研究所，2021，p2-19
- 2) 海野田，小峯秀雄，村上哲，瀬戸井健一：低炭素社会形成のための鉄鋼スラグの二酸化炭素固定化量の定量評価と二酸化炭素固定化メカニズムの推察，地盤工学ジャーナル，Vol.9，No.4，pp.469-478，2014

表 3 試験結果

経過時間 [day]	各層の乾燥質量あたり CO ₂ 固定化量 [g-CO ₂ /g-ms]			
	0-1 cm 層	1-2 cm 層	2-3 cm 層	3-4 cm 層
1	0.012	0.0043	0.0014	0.0
4	0.045	0.013	0.0035	0.011
9	0.076	0.029	0.0014	0.0037
16	0.078	0.019	0.0093	0.0054
25	0.097	0.068	0.036	0.0033
36	0.10	0.10	0.031	0.0089
49	0.099	0.077	0.028	0.013

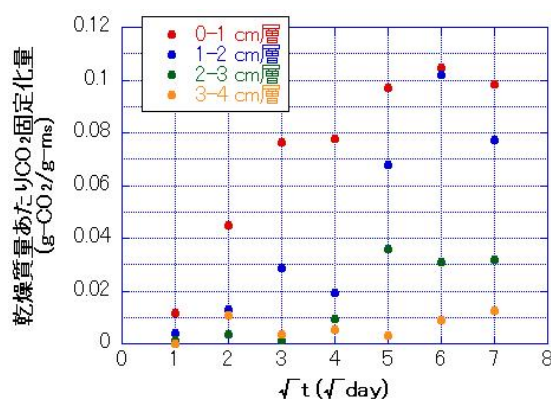


図 5 経過時間・深さごとの CO₂ 固定化量

表 4 各層における α ，および R² 値

各層	比例定数 α	R ² 値
0-1 cm 層	0.019	0.98
1-2 cm 層	0.012	0.91
2-3 cm 層	0.0044	0.85
3-4 cm 層	0.0015	0.79

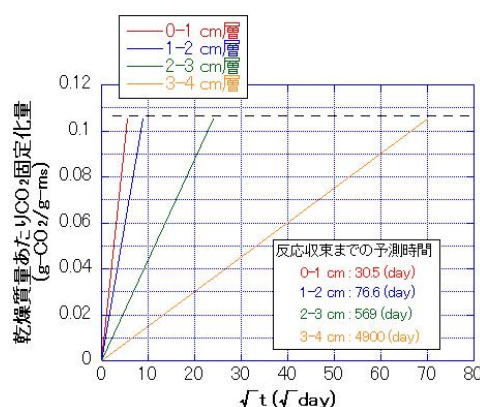


図 6 各層における CO₂ 固定化量予測式