

清掃工場の排ガス及び分離回収した CO₂ を用いて炭酸化処理を施した 一般廃棄物焼却主灰の地盤材料特性

福岡大学工学部

学生会員 永山 陽裕

福岡大学工学部

正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣

(株)フジタ

正会員 久保田 洋 繁泉 恒河

(国研)国立環境研究所

正会員 肴倉 宏史

1. はじめに 我が国で発生する一般廃棄物焼却主灰(以降、焼却主灰)は、重金属等を含有しているため、管理型処分場において埋立処分されている現状にある。しかしながら、処分場の新規建設が困難になってきている社会の趨勢を鑑みると、焼却主灰を戦略的に有効利用していくことが求められる。近年、気候変動の緩和策の一つとして二酸化炭素(CO₂)の回収有効利用技術の開発および実証が進められており、佐賀市では 2016 年より日本で初めて清掃工場の排ガスから CO₂ を分離回収する設備が稼働し、回収した CO₂ を藻類の培養に利用する CCU(Carbon Capture and Utilization)事業をスタートさせている¹⁾。そこで本研究では、清掃工場から発生する CO₂ を利用した焼却主灰の安定化技術に着目し、佐賀市清掃工場の排ガスおよび排ガスから回収された CO₂ を用いて炭酸化処理を行い、供給ガスの違いが焼却主灰の力学・溶出特性に及ぼす影響について検討を行っている。本報告では、炭酸化処理を施し重金属等を不溶化させた焼却主灰が地盤材料特性に与える影響について検討した結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験試料 佐賀市清掃工場では焼却炉より排出される排ガスを前処理設備において湿式処理した後、CO₂ 分離回収設備で CO₂ 回収を行っている。本検討で行う安定化促進処理方法は、写真-1 に示すコンテナ(灰充填部: 1200×750×400mm)に焼却主灰(乾灰)を密度 1.0g/cm³ に調整して充填し、コンテナ下部のガス導入部から排ガス及び CO₂ を通気することで炭酸化を施し Pb の難溶化を促進させる方法である。実験試料



写真-1 炭酸化の様子

は、処理を施していない未処理の焼却主灰、分離前の湿式処理後ガス(排ガス)を通気した焼却主灰、分離回収した二酸化炭素(CO₂)を通気した焼却主灰の 3 処理区を用いた。表-1 の処理条件に示すようにガスの種類によって CO₂ 濃度が異なるため、通気速度および通気時間を調整し CO₂ 量を調整している。図-1 に実験に使用した焼却主灰の粒径加積曲線、表-2 に物理特性を示す。

2-2 実験方法

1) 路盤材としての適用性 表-3 に実験条件(修正 CBR 試験)を示す。本検討では、不溶化処理を施した焼却主灰の路盤材としての適用性を検討するために修正 CBR 試験(JIS A 1211)を行い、締固め度 90, 95%に締固めた焼却主灰の修正 CBR 値の把握を行った。供試体作製は E-b 法で求めた最適含水比で試料の含水比調整を行い、各層それぞれ 17, 42, 92 回突き固めを行った。その後、

吸水膨張試験と貫入試験を行い修正 CBR 値を求め、表-4 に示す材料規定²⁾により評価を行った。

2) 盛土材としての適用性

本検討では、不溶化処理を施した焼却主灰の盛土材としての適用性を検討するために締固め試験 A-a 法により直径 $\phi=10\text{cm}$ 、高さ $h=12.5\text{cm}$ のモールドに各層、同一エネルギーで突固め作製した供試体に対してコーン指数試験(JIS A 1228)を行った。

表-1 処理条件

ガス種	CO ₂ 濃度 (%)	通気速度 (L/min)	通気時間 (h)	焼却灰量 (kgDW)	充填密度 (g/cm ³)	CO ₂ 量 (g/kgDW)
排ガス	7	85	19	138	0.7	90
CO ₂	100	38	6.5	293	0.86	93

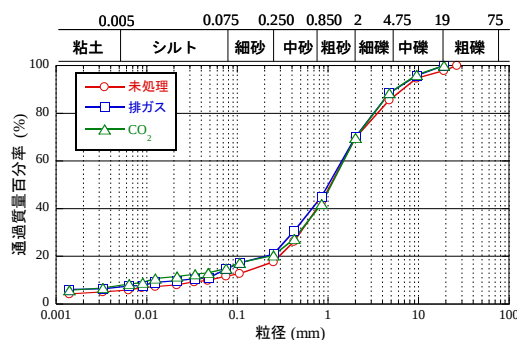


図-1 焼却主灰の粒径加積曲線

表-2 焼却主灰の物理特性

処理方法	灰粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	均等係数 U_c	曲率係数 U_c'	細粒分含有率 $F_c(\%)$	A-a法		E-b法	
					最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(\text{g/cm}^3)$	最適含水比 $w_{opt}(\%)$	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(\text{g/cm}^3)$	最適含水比 $w_{opt}(\%)$
未処理	2.385	24.7	3.0	11.7	1.436	18.4	1.455	16.6
排ガス	2.368	49.2	4.4	14.7	1.436	24.1	1.419	20.7
CO ₂	2.360	28.5	3.4	14.9	1.439	24.6	1.452	21.4

表-3 実験条件(修正 CBR 試験)

試料	含水比	突き固め回数(回)	最大粒径 (mm)	供試体個数 (個)
未処理	最適含水比	17	19	3
排ガス		42		
CO ₂		92		

3. 実験結果及び考察

3-1 路盤材としての適用性 図-2 に含水比-CBR 値-乾燥密度の関係、図-3 に修正 CBR 試験結果を示す。未処理に着目すると、いずれの締固め度においても上層路盤材として有効利用できる品質基準(80%以上)を満足する結果となった。排ガス、CO₂ に関しては、いずれの締固め度においても下層路盤材として有効利用できる品質基準(30%以上)を満たす結果となった。本検討から、炭酸化処理により修正 CBR 値が低下することが示唆された。これは炭酸化処理により未反応の CaO、Ca(OH)₂ が CaCO₃ に変化したことで、灰の固結力が小さくなったことが考えられる³⁾。しかしながら、処理条件の違いに関わらず、力学面において下層路盤材として有効利用できることが明らかとなった。

3-2 盛土材としての適用性 図-4 に締固め曲線(A-a 法)、図-5 にコーン指数試験結果を示す。修正 CBR 試験結果と同様に炭酸化処理を施した焼却主灰はコーン指数が若干低下していることが分かる。また、盛土材として求められる一軸圧縮強さは $q_u = 100 \sim 300 \text{ kN/m}^2$ であり⁴⁾、コーン指数は一軸圧縮強さの約 5 倍⁵⁾に相当することを考慮すると、本検討で用いた試料のうち、最も低いコーン指数値を示した排ガスを通気した焼却主灰においても一軸圧縮強さに換算した強度が約 $1,700 \text{ kN/m}^2$ に相当する。このことからいずれの試料も盛土材として必要な強度を十分に満たしており、焼却主灰は炭酸化処理の有無に関わらず力学面において盛土材としての有効利用が可能であることが示唆された。

4. まとめ 焼却主灰は、炭酸化処理により修正 CBR 値およびコーン指数が低下するが、十分に締め固めることで下層路盤材および盛土材料としての有効利用の可能性が示唆された。

謝辞：本研究の一部は、“物理選別とエージングを組み合わせた「焼却主灰グリーン改質技術」の確立”，環境省の令和元年度環境研究総合推進費(3-1804)の支援により実施されました。また試験に際し、佐賀市様には多大なご協力を得ました。関係者各位に心より感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 佐賀市ホームページ：二酸化炭素分離回収設備リーフレット, https://www.city.saga.lg.jp/site_files/file/2018/201802/p1c69m1ajp1ppi32p19ils6rub94.pdf
- 2) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説, p.402, 2009.
- 3) 野村ら：焼却灰の固結が重金属類の放出に与える影響, 第 24 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp.617-618, 2013.
- 4) 一般社団法人セメント協会：セメント系固材による地盤改良マニュアル第 4 版, p.248, 2014.
- 5) 佐藤ら：改良土のコーン指数と一軸圧縮強度の比例事例, 全地連「技術フォーラム 2012」新潟, No.44, 2012.

表-4 修正 CBR に関する材料規定²⁾

機関	日本道路協会	東・中・西日本 高速道路(株)	鉄道総合技術 研究所
区分	一般道路	高速道路	鉄道舗装
路盤	上層	80%以上	80%以上
	下層	アスファルト舗装 30%以上 コンクリート舗装 30%以上	アスファルト舗装 30%以上
路床	上層	-	10%以上
	下層	-	5%以上

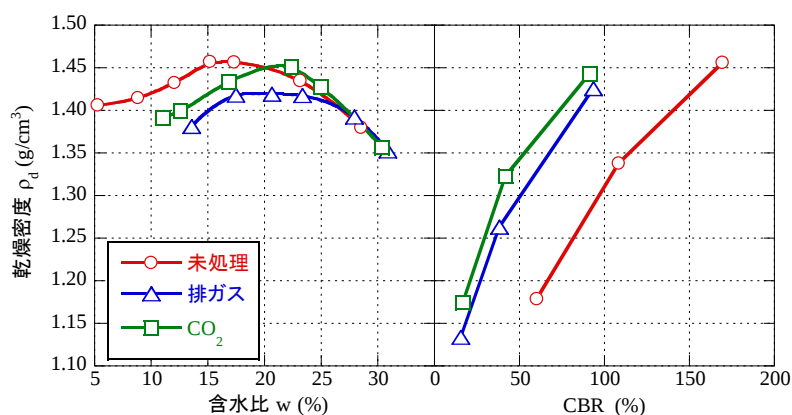


図-2 含水比-CBR 値-乾燥密度の関係

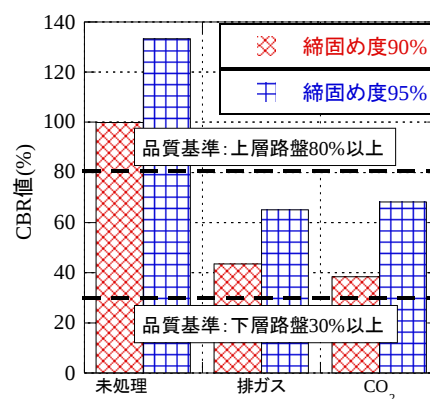


図-3 修正 CBR 試験結果

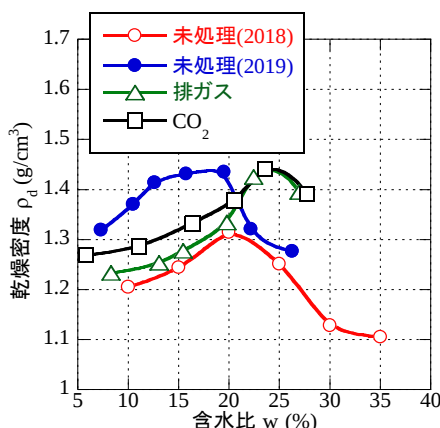


図-4 締固め曲線(A-a 法)

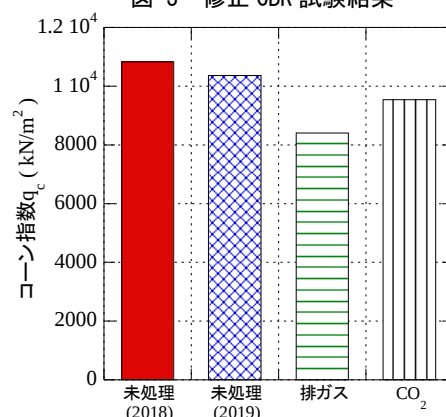


図-5 コーン指数試験結果