

炭酸化处理を施した一般廃棄物焼却主灰（乾灰・湿灰）の路盤材利用に関する考察

福岡大学工学部 正会員 ○藤川 拓朗 佐藤 研一 古賀 千佳嗣
(株)フジタ 正会員 久保田 洋 繁泉 恒河 高地 春菜
国立環境研究所 正会員 肴倉 宏史

1. はじめに

筆者らはこれまで、清掃工場より排出される一般廃棄物焼却主灰（以後、焼却灰）のオンサイトエージングでの安定化处理を目的として、CO₂ 含有ガスを利用した促進炭酸化处理と土木資材化に向けた検討を行っている¹⁾。これまでの研究により、焼却灰（乾灰）中の Pb の溶出濃度は、炭酸化处理により pH が低下し溶出濃度を効果的に低減できることや、CBR 値は路盤材としての要求支持力を満足するものの、炭酸化处理により低下することなどが分かっている¹⁾。本報告では、排出される焼却灰の形態に着目し、乾灰と湿灰の2種類を用いた炭酸化处理を行い、焼却灰の性状及び炭酸化处理方法の違いが路盤材利用に与える影響について考察する。

2. 実験概要

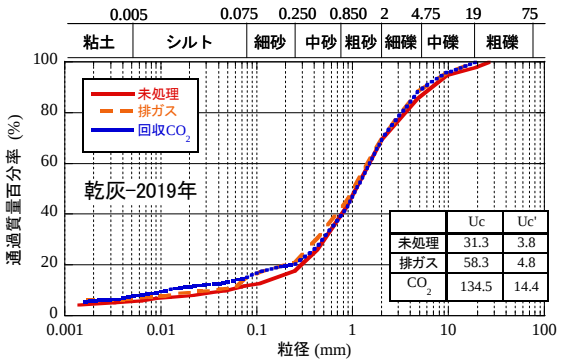
2-1 実験試料及び炭酸化处理方法 実験には2都市の清掃工場より発生する焼却灰を用いており、佐賀市清掃工場からは乾灰が、他方の清掃工場からは湿灰がそれぞれ排出されている。これらの灰種の違いは焼却炉の構造に起因している。佐賀市では清掃工場の排ガスからCO₂を分離回収する設備が稼働²⁾しており、乾灰の炭酸化处理方法として、小型コンテナ容器

（灰充填部：1200mm×750mm×400mm）の中に含水比を17.6%に調整（炭酸化反応を促進させるため）した乾灰を $\rho_t \approx 1.0 \text{ g/cm}^3$ で充填し、排ガス及び分離回収したCO₂（以後、回収CO₂）を用いた。一方、湿灰については、8m³の大型コンテナ容器の中に湿灰を $\rho_t \approx 1.2 \text{ g/cm}^3$ で充填し、市販のCO₂を通気させる方法と、水洗い（散水处理）を行った後にCO₂を通気させる2つの方法を用いた。各炭酸化处理方法の詳細については、表-1にまとめた通りである。また、炭酸化处理前後の粒径加積曲線を図-1(a)，(b)に示す。(a)乾灰については、炭酸化处理を施すことで細粒分含有率が僅かに増加しており、(b)湿灰については、炭酸化处理前後で細粒分含有率の増加はほとんど見られず、水洗い+CO₂の条件においては細粒分含有率の低下が見られた。これは水洗いにとともに、僅かに細粒分が流失したためと考えられる。

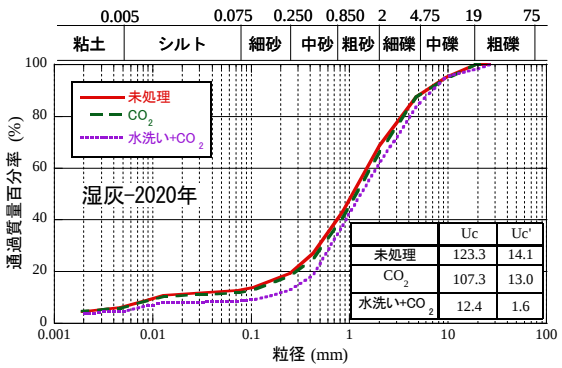
2-2 実験方法 炭酸化处理を施した焼却灰の路盤材利用を検討すべく、修正 CBR 試験(JISA 1211)を行った。供試体の作製は E-b 法で求めた最適含水比に試料の含水比を調整して、各層それぞれ 17, 42, 92 回突き固めを行った。その後、吸水膨張試験と貫入試験を行い、修正 CBR 値を算出した。

表-1 実験に使用した焼却灰（乾灰・湿灰）と処理方法

灰種	実施年度	処理方法	CO ₂ 濃度 (%)	通気時間 (h)	CO ₂ 量 (g/kgDW)	処理容器
乾灰	2019	未処理	—	—	—	小型コンテナ
		排ガス	7	19	90	
		回収CO ₂	100	6.5	93	
	2020	未処理	—	—	—	小型コンテナ
湿灰	2020	CO ₂	100	6	60	大型コンテナ
		水洗い+CO ₂	100	18+6	60	
		未処理	—	—	—	



(a) 乾灰（2019年）



(b) 湿灰（2020年）

図-1 炭酸化处理前後における焼却灰の粒径加積曲線

キーワード 焼却灰，不溶化，炭酸化，CBR，路盤材

連絡先 〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1 福岡大学工学部 TEL 092-871-6631（内線 6481）

3. 実験結果及び考察

図-2(a), (b)に乾灰・湿灰をそれぞれ用いた乾燥密度と含水比および CBR の関係図を示す。締固め曲線に着目すると、乾灰に比べ湿灰の乾燥密度が高いことが分かる。これは灰の物理組成（灰分、礫、ガラス、陶器、鉄分等）の違いによるものと考えられる。また、灰種に関係なく炭酸化処理を施すことにより、乾燥密度は低下し、最適含水比は増加する傾向にあることが分かる。これらの実験結果を用いて締固め度 90%および 95%における修正 CBR 値を求め、各処理方法について比較した結果が図-3(a), (b)である。(a)乾灰に着目すると、未処理の修正 CBR 値が非常に高く、上層路盤材としての基準を満足することが分かる。しかしながら、炭酸化処理に伴い修正 CBR 値が低下しており、これらは排ガス・回収 CO₂に関係なく低下している。また、2020 年に採取した乾灰の結果においても炭酸化処理に伴い CBR 値が低下していることから、処理方法の影響によるものではないことが分かる。一方、(b)湿灰においても、乾灰と同様に炭酸化処理に伴う修正 CBR 値の低下が確認された。しかしながら、その減少幅は乾灰ほど顕著ではないことが分かる。これらの差が生じた要因の一つに、炭酸化処理過程における反応熱の影響が考えられる。図-4 は、炭酸化処理過程における焼却灰中の温度変化のモニタリング結果であり、熱電対の平均値を示している。湿灰は CO₂の通気に伴う温度上昇が 40℃程度であったのに対し、乾灰では 80～100℃の温度上昇が見られ、コンテナ容器から水蒸気の発生が確認された。先述したように炭酸化処理前後において細粒分含有率が僅かに増加したことを考慮すると、灰粒子の変状や細粒化が生じた可能性が考えられる。その結果、締固め特性に影響を及ぼし、結果的に CBR の低下に繋がったと推測できるが、この点については今後更なる検討が必要である。

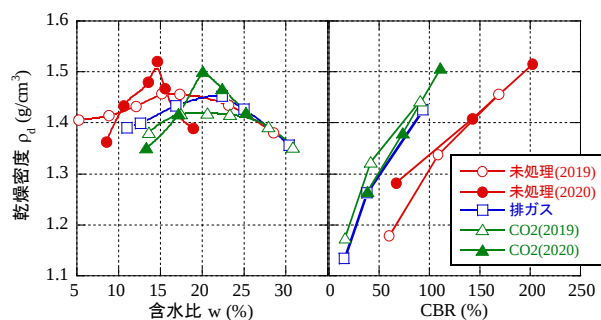
図-2(a), (b)に乾灰・湿灰をそれぞれ用いた乾燥密度と含水比および CBR の関係図を示す。締固め曲線に着目すると、乾灰に比べ湿灰の乾燥密度が高いことが分かる。これは灰の物理組成（灰分、礫、ガラス、陶器、鉄分等）の違いによるものと考えられる。また、灰種に関係なく炭酸化処理を施すことにより、乾燥密度は低下し、最適含水比は増加する傾向にあることが分かる。これらの実験結果を用いて締固め度 90%および 95%における修正 CBR 値を求め、各処理方法について比較した結果が図-3(a), (b)である。(a)乾灰に着目すると、未処理の修正 CBR 値が非常に高く、上層路盤材としての基準を満足することが分かる。しかしながら、炭酸化処理に伴い修正 CBR 値が低下しており、これらは排ガス・回収 CO₂に関係なく低下している。また、2020 年に採取した乾灰の結果においても炭酸化処理に伴い CBR 値が低下していることから、処理方法の影響によるものではないことが分かる。一方、(b)湿灰においても、乾灰と同様に炭酸化処理に伴う修正 CBR 値の低下が確認された。しかしながら、その減少幅は乾灰ほど顕著ではないことが分かる。これらの差が生じた要因の一つに、炭酸化処理過程における反応熱の影響が考えられる。図-4 は、炭酸化処理過程における焼却灰中の温度変化のモニタリング結果であり、熱電対の平均値を示している。湿灰は CO₂の通気に伴う温度上昇が 40℃程度であったのに対し、乾灰では 80～100℃の温度上昇が見られ、コンテナ容器から水蒸気の発生が確認された。先述したように炭酸化処理前後において細粒分含有率が僅かに増加したことを考慮すると、灰粒子の変状や細粒化が生じた可能性が考えられる。その結果、締固め特性に影響を及ぼし、結果的に CBR の低下に繋がったと推測できるが、この点については今後更なる検討が必要である。

4. まとめ

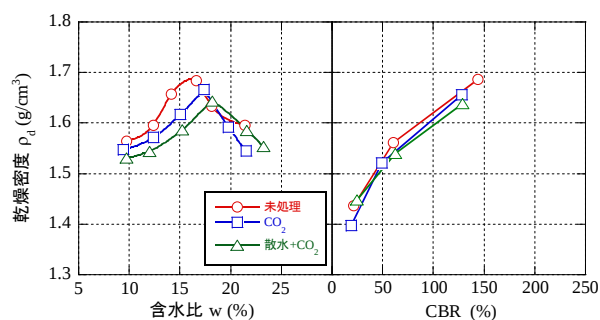
1) 焼却灰は乾灰・湿灰ともに下層路盤材としての性能を十分に有する材料である。2) 炭酸化処理に伴い修正 CBR 値は低下し、その低下幅は乾灰において顕著であることが明らかとなった。

謝辞：本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20183004)により実施されました。また、試験に際し本学大学院生の永山陽裕氏（現：奥村組）、並びに佐賀市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) 永山ら：清掃工場の排ガス及び CO₂により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と長期安定性, 第 14 回地盤改良シンポジウム論文集, pp.377-380, 2020. 2) 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, URL: https://www.city.saga.lg.jp/site_files/file/2018/201802/p1c69m1ajp1ppi32p19ils6rub94.pdf

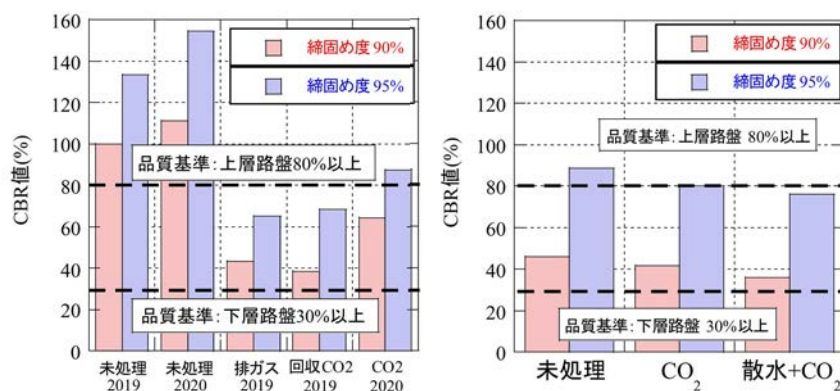


(a) 乾灰 (2019 年・2020 年)



(b) 湿灰 (2020 年)

図-2 乾燥密度と含水比および CBR の関係図



(a) 乾灰 (2019・2020 年)

(b) 湿灰 (2020 年)

図-3 各処理方法における修正 CBR 試験結果

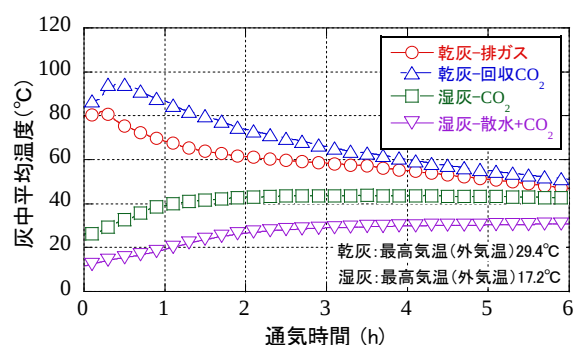


図-4 炭酸化処理における焼却灰中の温度変化