

一般廃棄物焼却主灰のエイジング日数が力学特性に及ぼす影響

福岡大学大学院 学生会員 ○平川裕也
 福岡大学工学部 正会員 佐藤研一 藤川拓朗 古賀千佳嗣
 (独)国立環境研究所 正会員 肴倉宏史 大成建設(株) 正会員 宮田省吾

1. はじめに

我が国では、年間約500万トンの焼却残渣(焼却主灰や飛灰)が発生し、これらは管理型処分場にて埋立処理されている。最終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、今後は循環型社会に相応しい循環資源戦略が必要であり、発生量の多い焼却主灰を土木資材等として積極的にリサイクルしていくことが求められる。この状況の中、鳥取中部ふるさと広域連合では焼却主灰の有効利用を念頭に置き、埋立が完了した処分場の上にエイジングヤードを設置し、図-1に示すように自然降雨による洗い出しやCO₂を利用し難溶性の炭酸塩を生成させて不溶化させる検討を行っている¹⁾。そこで本研究では、エイジング処理焼却主灰の地盤材料特性を明らかにすることを目的とし、本報告ではエイジング日数が力学特性に及ぼす影響について報告する。

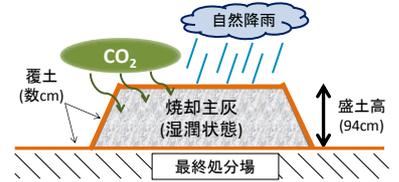


図-1 エイジング処理方法

2. 実験概要

2-1 実験試料 本実験では、2014年9月に鳥取中部ふるさと広域連合のリサイクルセンターから採取した焼却主灰を用いた。焼却主灰はエイジング処理を0日(以下、焼却主灰-0day)、30日(以下、焼却主灰-30day)、90日(以下、焼却主灰-90day)の日数で施し、エイジング日数の違いが力学特性に及ぼす影響について検討した。焼却主灰のエイジング処理方法は、約1m盛土した後、飛散防止のために数cmの覆土を施し行っている。次に、本実験に用いた焼却主灰の粒径加積曲線を図-2に、物理特性を表-1に示す。図-2より、焼却主灰はエイジング日数に関わらずほぼ同じ粒度分布を示し、細粒分含有率を16~22%含んでいる。また、焼却主灰の粒子密度は2.6(g/cm³)以下であり、まさ土よりも低い値を示している。図-3に示す物理組成より、焼却主灰はいずれも灰分が約90%を占めていることが分かる。また、表-2にはエイジング日数における化学組成を示している。

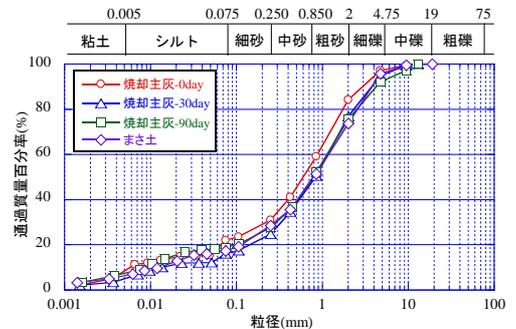


図-2 粒径加積曲線

表-1 物理特性

試料	粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	均等係数 U_c	曲率係数 U_c'	細粒分含有率 F_c (%)
焼却主灰-0day	2.608	122.9	9.2	22.0
焼却主灰-30day	2.594	85.7	6.4	16.0
焼却主灰-90day	2.575	143.8	10.5	18.9
まさ土	2.720	84.3	5.8	17.4

2-2 実験条件 路盤材や土工材等への利用を念頭におき、エイジング処理を施した焼却主灰の材料特性を調べるために修正CBR試験(JIS A 1211)を行った。修正CBR試験は最大粒径を13mmとし、E-b法で供試体作製を行った。また本研究では、エイジング処理焼却主灰の強度特性を把握するため、一軸圧縮試験(JIS A 1216)を行った。表-3に一軸圧縮試験の供試体作製条件を示す。固化材には高炉セメントB種(以下、BB)を用いており、焼却主灰の乾燥重量に対して重量比で3%添加した。その後、試料をモールド($\phi 5 \times h 10 \text{cm}$)に入れ、突き固め層数が3層となる様に1.5kgランマーを用いて各層12回突き固めて供試体の作製を行った。

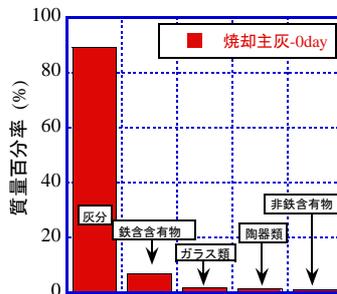


図-3 焼却主灰の物理組成

表-2 化学組成

項目	単位	試料		
		焼却主灰 0day	焼却主灰 30day	焼却主灰 90day
SiO ₂	%	28.9	31.8	54.0
CaO	%	25.8	24.0	16.0
Al ₂ O ₃	%	13.4	13.0	7.8
Fe ₂ O ₃	%	5.0	8.2	2.9
MgO	%	2.9	2.3	1.0
Na ₂ O	%	2.4	1.1	2.6
K ₂ O	%	3.3	3.0	2.3
ZnO	%	0.3	0.7	0.5
TiO ₂	%	2.1	1.2	4.3
CuO	%	0.1	0.4	0.1
PbO	%	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満

表-3 供試体作製条件

ランマー質量 (kg)	突き固め層数	各層突き固め回数	最大粒径 (mm)	含水比 w (%)	養生日数 (日)	BB添加率 (%)
1.5	3	12	9.5	湿润状態 (最適含水比)	7, 28, 91, (180, 365)	0 3

キーワード 一般廃棄物焼却主灰, エイジング, 修正CBR試験, 一軸圧縮試験, 自硬性

連絡先 〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1 福岡大学工学部 TEL: 092-871-6631(ext.6464)

3. 実験結果および考察

(1) 路盤材としての適用性 図-4 に修正 CBR 試験結果、図-5 に各締固め度における修正 CBR 値を示す。焼却主灰はエージング日数に関係なく、類似した締固め曲線を有し、最大乾燥密度と最適含水比に差ほど影響を及ぼさないことが分かる。また、修正 CBR 値に着目すると、エージング日数の増加に伴い修正 CBR 値は僅かに減少する傾向を示すものの、締固め度 90% ではエージング日数に関係なく、日本道路協会で規定されている下層路盤の品質基準²⁾を満足し、締固め度 95% では上層路盤の品質基準をそれぞれ満足することが判明した。以上のことから、エージング処理は修正 CBR に影響を及ぼすことなく、上・下層路盤材として有効利用が可能である。

(2) エージング処理が焼却主灰の自硬性に与える影響 焼却主灰中にはカルシウム等の無機塩類を含んでいるため、時間の経過に伴い焼却灰特有の固結力(自硬性)を有することが知られている³⁾。焼却主灰の自硬性による強度発現は、将来的に焼却主灰を地盤材料として利用する場合の設計強度をはじめ、材料定数、安定化材添加量、長期的な耐久性や安全性を考える上で非常に重要な因子である。そこで、エージング処理が焼却主灰の自硬性に与える影響を把握すべく一軸圧縮試験を行った結果を図-6 に示す。いずれの条件においても養生日数の増加に伴い一軸圧縮強さは増加する傾向にあり、特にエージング 0 日では、養生 28 日以降からの強度増加が他の条件と比べて顕著であることが分かる。その一方で、エージング日数が増加すると、養生日数が増加しても、その後の強度発現が期待できなくなることが分かる。これは、表-2 に示す化学組成からも分かるように、エージング日数の増加に伴い焼却主灰中のカルシウム成分やアルミナ成分が低下していることから、エージング処理に伴い硬化を促進させる固結成分が降雨により洗い流されている可能性が考えられる。一方、図-7 は、エージング処理した焼却主灰に BB を添加し、エージング処理焼却主灰とセメントの固化特性について検討した結果である。焼却主灰単体の結果とは異なり、エージング日数が増加するほどセメントとの反応が改善され、著しい強度発現を得ることが判明した。これは、エージング処理の増加に伴いセメントの凝結を阻害する銅、鉛、亜鉛などの化合物も洗い流しにより流出し、結果的にセメントとの反応を促進させたものと考えられる。以上の結果より、エージング処理を施すことにより焼却主灰自身の自硬性は失われるものの、水和反応を阻害する成分も洗い流されるため、セメントとの反応は逆に改善されることを示唆している。これらの結果を鑑みると、(1) で得られた各締固め度における修正 CBR 値も焼却主灰の自硬性により長期的に増加し、安全側で推移していくものと考えられる。

4. まとめ

- 1) エージング処理焼却主灰は、エージング日数に関係なく上・下層路盤材として有効利用できることが示唆された。
- 2) エージング日数の増加に伴い、焼却主灰の自硬性による強度発現は失われる。その一方で、セメントとの反応は改善され、養生日数の増加とともに長期的な強度増加が期待できる。

謝辞：本研究は、「有用・有害重金属挙動に着目した都市ごみ焼却残渣の循環資源化トータルスキームの構築」平成 26 年度環境省環境研究総合推進費補助金 (3K143007) の一部として実施された研究です。関係各位に感謝申し上げます。

【参考文献】

1) 盛岡ら:「エージングによる一般廃棄物焼却灰の無害化」, 鳥取県衛生環境研究所報, 第 53 号, pp10-14, 2012, 2. 2) 社団法人 地盤工学会:「土質試験の方法と解説」, pp.280, 2000. 3) 島岡ら:「埋立廃棄物の力学的特性と埋立構造物の安定性に関する研究」, 土と基礎, vol.45, No.7, pp.24-26, 1997.

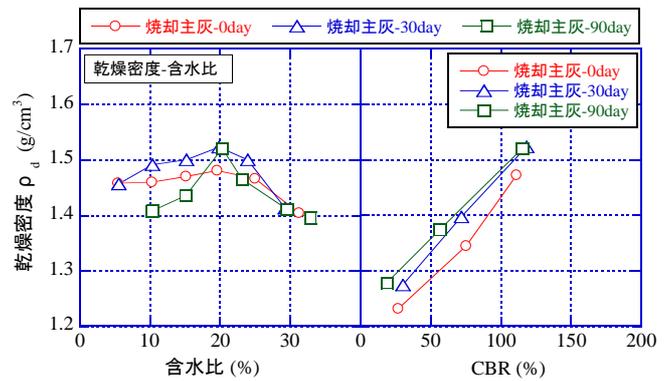


図-4 修正 CBR 試験結果

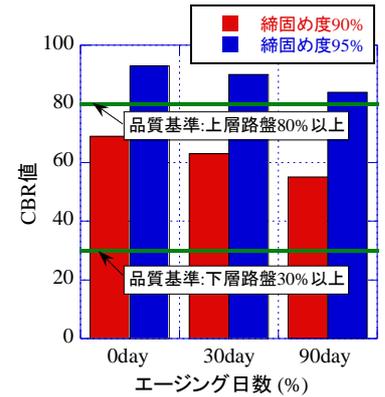


図-5 修正 CBR 値

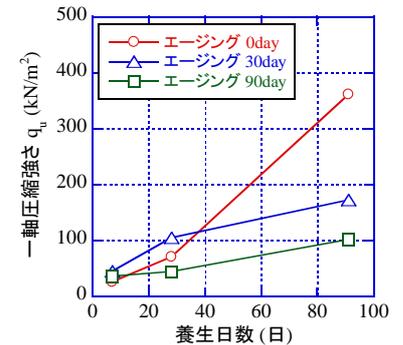


図-6 一軸圧縮試験結果 (焼却主灰単体)

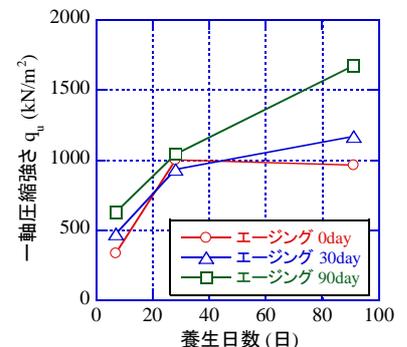


図-7 一軸圧縮試験結果 (BB=3%添加)