

エージング処理を施した一般廃棄物焼却灰の路盤材としての適用性評価

福岡大学工学部 正会員 ○藤川 拓朗
 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
 福岡大学工学部 正会員 古賀 千佳嗣
 (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、高濃度の重金属類を含有しているため、管理型処分場において埋立処理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重要である。この様な中、鳥取中部ふるさと広域連合では、埋立が完了した処分場の表層に焼却主灰マウンドを作製し、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を図るエージング処理の検討を行っている^{1),2)}。本研究では、同処分場にて365日間エージング処理を施した焼却主灰の物理・力学・溶出特性を明らかにし、路盤材としての適用性の評価を行った結果について報告する。

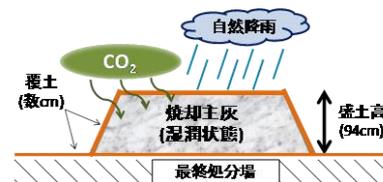


図-1 エージング処理のイメージ

2. 実験概要

2-1 実験試料 本実験では、2014年9月から2015年9月にかけて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。焼却主灰はエージング処理を0日(Age 0)、30日(Age 30)、90日(Age 90)、365日(Age 365)の日数で施し、エージング日数の違いが路盤材としての性能に及ぼす影響について検討した。なお、焼却主灰のエージング処理方法は、約1m盛土した後、飛散防止のために数cmの覆土を施している。実験に用いた焼却主灰の物理特性を表-1に示す。

表-1 物理特性

試料	土粒子密度 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 (%)
Age 0	2.608	122.9	9.2	22.0
Age 30	2.594	85.7	6.4	16.0
Age 90	2.575	143.8	10.5	18.9
Age 365	2.565	145.9	8.8	21.2

2-2 実験条件 エージング処理を施した焼却主灰の路盤材としての性能を評価するために修正CBR試験(JIS A 1211)を行った。表-2に示す実験条件のとおり、修正CBR試験には、13mm以下の焼却主灰を用い、E-b法で供試体作製を行った。それぞれのエージング期間において締固め試験を行い、そこから得られた最大乾燥密度と最適含水比で実験を行っている。また、これまでの研究により焼却灰は自硬性を有することが分かっている³⁾。そのため本研究では、エージング処理焼却主灰の長期的な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(φ5xh10cm)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。

表-2 修正CBR試験に用いた実験条件

試料	締固め方法	最大粒径 (mm)	最大乾燥密度 ρ _{dmax} (g/cm ³)	最適含水比 w _{opt} (%)
Age 0	E-b法	13	1.481	19.6
Age 30			1.523	19.8
Age 90			1.521	20.3
Age 365			1.519	21.4

表-3 供試体作製条件(自硬性の検討)

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	湿潤状態 (最適含水比)	7, 28, 91, 180, (365)	0 3

3. 実験結果及び考察

図-2にエージング日数と修正CBR値の関係を示す。なおここでは、締固め密度の違いについても検討を行っている。いずれの締固め密度においても、エージング日数の増加に伴いCBR値は徐々に減少していく傾向を示し、エージング365日においては、締固め度95%において上層路盤の品質規定(修正CBR80%以上)を下回る結果となった。

キーワード 焼却主灰, エージング, 不溶化, 路盤材, CBR, 一軸圧縮試験

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

た。しかしながら、いずれの条件においてもエイジング期間内においては下層路盤材としての要求品質（修正 CBR30%以上）を十分に満足していることから、エイジング処理焼却灰は、下層路盤材として十分に有効利用が可能であると考えられる。このようなエイジング日数の増加に伴う CBR 値の減少は、以下に詳述するエイジングによる自硬性の影響が考えられる。

清掃工場より排出直後（Age0）の焼却灰を 1Ec（550kJ/m³）のエネルギーで締固めて一軸圧縮試験を実施した結果、水和反応により養生日数の増加に伴い一軸圧縮強度は増加することが分かる（図-3(a)）。しかしながら、エイジング期間が長くなるにしたがい、掘削後に再度 1Ec のエネルギーで締固めて一軸圧縮試験を行っても、その後の強度発現に期待できないことが分かる。これは、十分に水和反応が進んで固化した焼却灰を掘削した場合、個々に掘削された焼却灰の単粒子自体は強固な塊状を呈するものの、その後の粒子間の膠着力が失われるためであると考えられる。よって、エイジング 365 日においては、自硬性の影響により掘削後の締固め特性が変化し、CBR 値に影響を及ぼしたものと考えられる。

しかしながら実際には、上層路盤の品質基準を満たさなかった条件においても、地盤内で自硬性の影響により CBR 値が増加する可能性は十分に考えられる。そのため今後は、自硬性の影響を考慮した修正 CBR 試験について検討し、短期的な試験結果と合わせた評価についても検討の余地があると考えられる。一方、高炉セメントを添加させた条件では、エイ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、強度発現が得られた（図-3(b)）。これは、エイジング日数の増加に伴いセメントの凝結を阻害する銅（Cu）、鉛（Pb）、亜鉛（Zn）などの化合物の不溶化に伴い、セメントとの反応が促進されたと考えられる。

次に、エイジング日数と重金属類の不溶化効果について把握するため、表-4 に環告 46 号法試験結果を示す。焼却主灰の pH はエイジング日数の増加に伴い低下し、エイジングによる効果が見られた。鉛（Pb）や六価クロム（Cr⁶⁺）については、エイジング 0 日の段階では土壤環境基準値を超えていたものの、エイジング日数が増加するに伴い溶出量は減少する傾向を示した。特に、エイジングを 90 日間施すことで土壤環境基準値まで抑制することが可能であることが分かった。また、ホウ素（B）については、土壤環境基準値以下まで溶出濃度を抑制するまでには 365 日間の日数を要し、カドミウム（Cd）については、エイジング日数に係らず溶出は見られなかった。

4. まとめ

エイジング処理焼却主灰は、エイジング日数及び締固め度に関係なく、下層路盤材として十分な性能を有することが明らかとなった。また、エイジング処理を施すことで、重金属類は土壤環境基準値以下まで不溶化させることが可能であり、焼却主灰の有効利用法として効果的な手法になり得ることが示唆された。

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。また、試料のサンプリングに際し、鳥取中部ふるさと広域連合の皆様には多大なご協力を得ました。関係各位に感謝申し上げます。

参考文献 1) 成岡ら：エイ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，pp.10-14，2012。2) 平川ら：エイジング処理した一般廃棄物焼却主灰の地盤材料としての性能評価，第 11 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，pp.231-234，2015。3) 土居ら：一般廃棄物焼却灰の土質特製の経時変化，土木学会論文集，No.659，pp.103-112，2000。

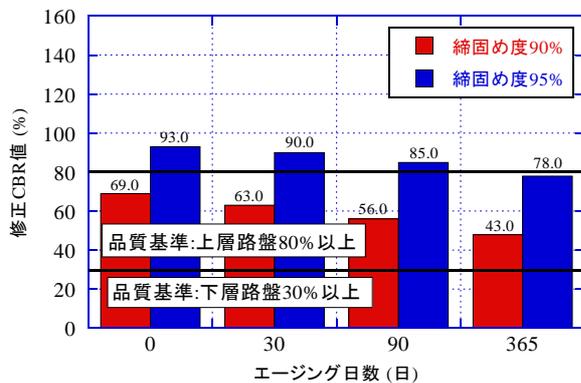


図-2 エーシング日数と修正 CBR 値の関係

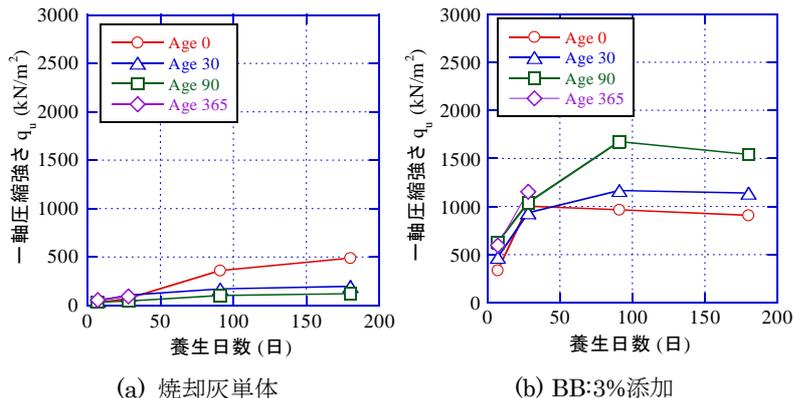


図-3 焼却灰の自硬性の影響（一軸圧縮試験結果）

表-4 環告 46 号法試験結果

エイジング日数(日)	pH	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Cr ⁶⁺ (mg/L)	B (mg/L)	Cd (mg/L)
0	12.44	0.05	0.55	0.17	0.115	1.15	N.D.
30	12.29	N.D.	0.33	0.14	0.06	2	N.D.
90	12.21	N.D.	0.17	0.01	0.04	1.25	N.D.
365	12.04	N.D.	0.1	N.D.	0.03	0.88	N.D.
土壤環境基準	-	-	-	0.01	0.05	1	0.01