

密度の異なるマウンドでエージング処理した焼却主灰の力学・溶出特性

福岡大学大学院
福岡大学工学部
(国研)国立環境研究所

学生会員 平川 裕也
正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣
正会員 肴倉 宏史

1. はじめに

著者ら等は、これまで焼却主灰の不溶化方法としてエージング処理（自然降雨による洗い出し効果とCO₂による炭酸化効果によって難溶性の炭酸塩を生成し不溶化する手法）に着目しており実際の最終処分場にてエージングヤードを設置し、30, 90, 365, 730 日間のエージング処理による重金属類の不溶化の検討を行っている。その結果、エージング処理した焼却主灰（以下、エージング処理焼却主灰）は、力学面において地盤材料として十分な強度を有していることが明らかとなり、環境安全性においては、エージング日数の増加と共に重金属類の溶出を抑制できることを明らかにしている。しかし、鉛（Pb）の溶出を土壌環境基準値（0.01mg/L）まで抑制するためには最短でも90日の日数を要した。そこで重金属類の不溶化の促進を図るべく、エージングマウンドの密度に着目し、密度の異なる2種類のマウンドを作製し、不溶化効果の検討を行っている。本報告では、1) 路盤材としての適用性、2) エージング日数に伴う不溶化効果をマウンド密度の観点から報告する。

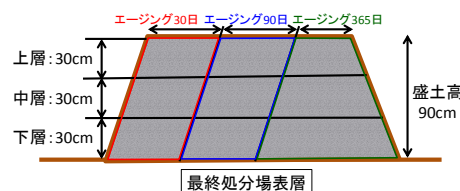


図-1 エージングマウンドの様子

表-1 マウンド作製時の初期状態

マウンドの種類	焼却主灰質量 (t)	体積 (m ³)	湿潤密度 ρ _w (g/cm ³)	乾燥密度 ρ _d (g/cm ³)	自然含水比 w (%)
密なマウンド	13.4	7.54	1.777	1.336	33.0
緩いマウンド	11.0	7.21	1.524	1.146	33.0

表-2 物理特性

試料	エージング日数 (日)	マウンド密度	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 (%)	E-b法	
							最大乾燥密度 (13mm以下) ρ _{max} (g/cm ³)	最適含水比 (13mm以下) w _{opt} (%)
焼却主灰	0	-	2.507	109.6	1.9	25.9	1.519	18.0
	30	密	2.604	112.8	3.4	21.7	1.481	20.6
		緩い	2.609	112.8	4.1	21.2	1.453	18.2
	90	密	2.607	62.5	1.4	24.9	1.455	20.6
		緩い	2.480	129.0	3.4	23.0	1.410	24.6
	365	密	2.517	-	-	-	1.426	21.5
		緩い	-	-	-	-	1.374	22.3

取した焼却主灰をエージング0日 (Age0) と定義し、作製後にエージング処理を30日 (Age30)、90日 (Age90)、365日 (Age365) 施している。また前述したように、本検討ではマウンドの密度に伴う不溶化効果を把握するために、バックホウで転圧を加え作製した密なマウンドと、転圧を加えていない緩いマウンドの2種類を作製した。表-1にマウンド作製時の初期状態を示す。さらにマウンドから試料を採取する箇所（深さなど）によっても重金属類の不溶化効果に影響を及ぼす可能性が考えられる。そこで、マウンド内全体の不溶化効果を把握するため、上・中・下層（各層30cm）からそれぞれ試料を採取した。試料を採取する際は、それぞれのエージングマウンドの各層の上部で、砂置換法による現場密度試験及び簡易支持力測定器による簡易支持力試験を行っており、エージング日数に対するマウンドの経時変化についても把握している。表-2には本検討で用いた試料の物理特性を示す。本実験試料はいずれも比較的粒径幅が広く、細粒分を約20%含む試料であり、いずれの焼却主灰もE-b法で求めた最適含水比は約20%前後であった。表-3に化学組成を示す。エージング処理を施すことで、未処理よりもCaO等の固結成分が減少する傾向が見られ、洗い出し効果が要因と考えられる。

表-3 化学組成

項目	単位	試料		
		Age0	Age30 (密)	Age30 (緩)
SiO ₂	%	50.7	48.9	53.3
CaO	%	16.2	16.1	13.8
Al ₂ O ₃	%	9.6	9.4	8.0
Fe ₂ O ₃	%	2.4	3.8	1.8
MgO	%	1.3	1.0	0.9
Na ₂ O	%	1.9	1.5	1.6
K ₂ O	%	4.0	4.0	3.5
ZnO	%	0.2	0.3	0.7
TiO ₂	%	1.1	1.2	1.1
CuO	%	0.1未満	0.1未満	0.1未満
PbO	%	0.1未満	0.1未満	0.1未満

2-2 実験条件及び実験方法

1) 路盤材としての適用性 本検討ではエージング処理した焼却主灰を路盤材として適用するために修正CBR試験 (JISA 1211) を行い、締固め度 (D_{90,95%}) における修正CBR値の把握を行った。表-4に実験条件を示す。実験試料は中層部分から採取した焼却主灰を使用して供試体を作製しており、作製方法はE-b法で求めた最適含水比で含水比調整した試料を各層それぞれ17, 42, 92回突き固め、その後、吸水膨張試験・貫入試験を行った。

表-4 実験条件 (修正CBR試験)

試料	最適含水比 w _{opt} (%)	突き固め回数 (回)	最大粒径 (mm)	供試体個数 (個)
エージング処理焼却主灰	最適含水比	17 42 92	13	3

2) エージング日数に伴う不溶化効果 エージングマウンドの密度の違いが不溶化効果に及ぼす影響を把握するために、平成30年環境庁告示第46号試験（以下、環告46号試験）を行った。また、エージングマウンド中の上層部と下層部による不溶化効果の影響についても把握するために、図-1に示すマウンド中の各層（上・中・下層）から焼却主灰をそれぞれ採取しており、エージング日数・マウンド密度・試料採取層の観点から鉛（Pb）の溶出特性について評価した。

3. 実験結果及び考察

1) 路盤材としての適用性 図-2(a),

(b)に各締固め度 (D_c) におけるエージング日数と修正 CBR 値の関係を示す。 $D_c=90\%$ に締固めた焼却主灰の修正 CBR 値は、ばらつきがあるもののいずれもほぼ同程度の結果を示した。一方で、 $D_c=95\%$ に締固めた焼却主灰は、いずれもエージング日数の増加に伴い、修正 CBR 値は減少傾向を示している。これは、図-3 に示すエージングマウンドの衝撃加速度から分かるように、エージング処理中に自硬性の効果によって焼却主灰マウンドが固結しているため、灰を採取する際にはバックホウ等で解砕する必要がある。この解砕によって生じる粒度分布の変化、さらには、定圧一面せん断試験より得られ得たエージング日数と粘着力の関係 (図-4) に示されるエージング日数の増加に伴う粘着力の減少が修正 CBR 値の低下に影響したと考えられる。本検討より、エージング日数の増加に伴い、修正 CBR 値は減少するが、エージング日数・マウンド密度に関わらず、エージング処理焼却主灰は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。

2) 環境安全性評価 図-4(a), (b)に各マウンドから採取した焼却主灰のエージング日数と pH 測定の関係を示す。図-4 より、マウンド密度・試料採取層に関わらず、焼却主灰の pH はエージング日数の増加に伴って減少傾向にある。しかし、緩いマウンドでエージング処理を施した焼却主灰の方が Age365 の時に pH の低下が大きいことが分かる。図-5(a), (b)に各マウンドから採取した焼却主灰のエージング日数と Pb 溶出濃度の関係を示す。図-5 より、未処理の焼却主灰 (Age0) は、Pb の溶出濃度が 2.1mg/L と高い値を示したが、エージングを 30 日施すことで、溶出濃度を約半分まで抑制することができている。さらに、エージング日数を増加させることで、溶出濃度の低下が見られることが分かった。また試料採取層の違いに着目してみると、上層から採取した焼却主灰の Pb 溶出濃度が最も高い値を示しており、下層に進むと共に溶出濃度も減少していることが分かる。次に、マウンド密度に着目した際、密なマウンドよりも緩いマウンドの方がエージング 30 日の時点において不溶化効果に差が現われており、マウンドの密度を小さくすることでエージング効果を促進させることが可能であることが示唆された。

4. まとめ

1) エージング処理焼却主灰は、処理日数・マウンド密度に関わらず下層路盤材として十分有効利用できる強度を有していることが判明した。2) エージング処理は、焼却主灰中の Pb を不溶化させることが可能であり、さらにエージングマウンドの密度を小さくすることで、エージング効果を促進させることができる。

4. まとめ

1) エージング処理焼却主灰は、処理日数・マウンド密度に関わらず下層路盤材として十分有効利用できる強度を有していることが判明した。2) エージング処理は、焼却主灰中の Pb を不溶化させることが可能であり、さらにエージングマウンドの密度を小さくすることで、エージング効果を促進させることができる。

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 28 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) 平川ら：エージング処理した一般廃棄物焼却灰の土木資材利用に向けた検討，第 12 回地盤改良シンポジウム論文集，pp.373-376, 2016.

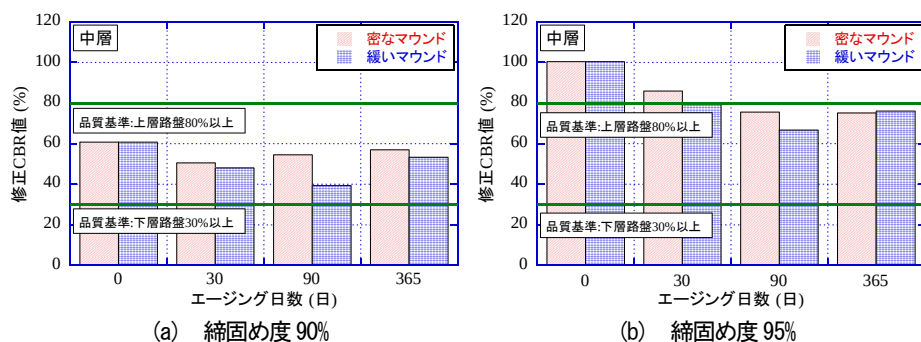


図-2 エージング日数と修正 CBR 値の関係

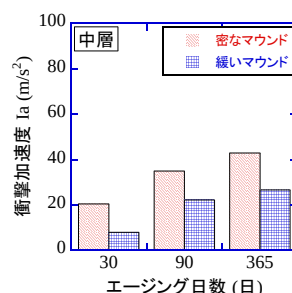


図-3 エージング日数と衝撃加速度の関係

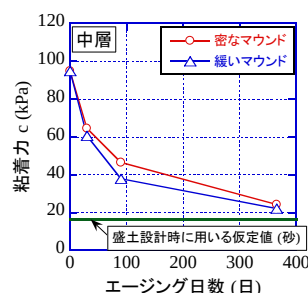
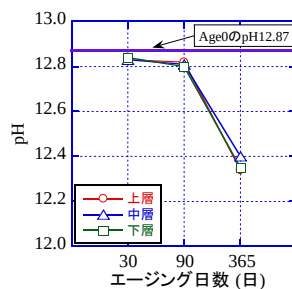
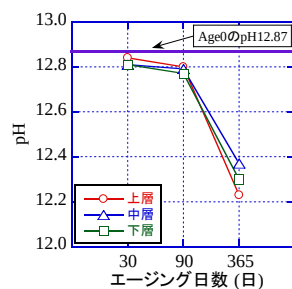


図-4 エージング日数と粘着力の関係

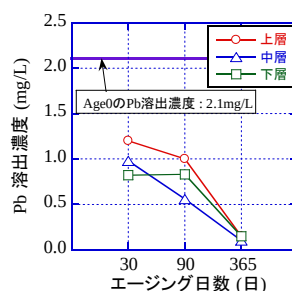


(a) 密なマウンド

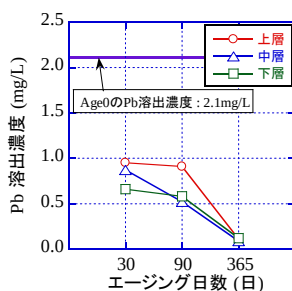


(b) 緩いマウンド

図-4 エージング日数と pH の関係



(a) 密なマウンド



(b) 緩いマウンド

図-5 エージング日数と Pb 溶出濃度の関係