

固化不溶化後に解砕処理した焼却主灰の地盤材料としての適用性の検討

福岡大学大学院 学生会員 宮田省吾 山口和貴 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

1. はじめに 我が国では、年間 500 万トンの一般廃棄物焼却残渣(以下、焼却残渣)が発生し、これらは最終処分場への埋立処理が廃掃法により定められている。最終処分場の新規建設が困難になって



図-1 固化解砕処理の流れ

きている社会の趨勢を鑑みると、今後循環型社会の構築が急務となっている。そのため、処分場に埋立処理されている焼却残渣の大半を占める一般廃棄物焼却主灰(以下、焼却主灰)を有効利用することは重要な課題である。著者らの先行研究では、焼却主灰の材料特性に着目し、地盤材料としての有用性について明らかにしている¹⁾。しかし、地盤材料として用いる場合、主灰中に含有する重金属類(特に鉛)の溶出を抑制することは必要不可欠である。そこで、本研究では焼却主灰に固化材等を用い力学及び溶出特性を地盤材料と同程度に改質することで高品質化させた焼却主灰を地盤材料として有効利用することを目的とする。本報告では、図-1 に示すように酸化マグネシウム系不溶化固化材(以下、MgO)を利用し、一旦焼却主灰を固化不溶化し、養生させた後に解砕処理を施した焼却主灰(以下、解砕処理焼却主灰)について 1) 路盤材、2) 土砂代替材や土工材料として有効利用することを目的に実験的検討を行った結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験試料 本実験に用いた試料は、2013 年 5 月に b 市の清掃工場から排出された焼却主灰(以下、焼却主灰 b)を 13mm 以下に粒度調整したものを使用した。図-2 に粒径加積曲線を示し、表-1 に試料の材料特性を示している。焼却主灰は灰分、鉄含有物、ガラス類等から構成されており、その中でも灰分が約 85~90%と多く含んでいる材料である¹⁾。また、焼却主灰のコーン指数は 921.9kN/m²と高い値を有しており、土質区分²⁾で見ると第 2 種建設発生土に相当することがわかる。しかし、焼却主灰の pH を見ると高いアルカリ性を示し、環告 46 号法における鉛の溶出量は環境基準値を十分に満足しておらず、有効利用のためには不溶化処理が必要であることがわかる。これまでの研究¹⁾では高炉セメント B 種(以下、BB)を用いて安

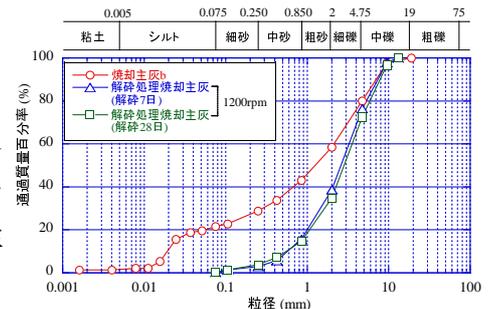


図-2 粒径加積曲線

表-1 試料の材料特性

試料	粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	細粒分含有率 $F_c(\%)$	最大乾燥密度 $\rho_{\text{max}}(\text{g/cm}^3)$		最適含水比 $w_{\text{opt}}(\%)$		pH	Pb溶出量 (mg/l)	コーン指数 $q_c(\text{kN/m}^2)$	土質材料 品質区分
			A-b法	E-b法	A-b法	E-b法				
焼却主灰b	2.581	21.6	1.370	1.509	29.2	16.4	12.70	0.40	921.9	第2b種
解砕処理焼却主灰 (7日後に解砕)	-	-	A-a法	E-a法	A-a法	E-a法	11.76	N.D	8802.4	第2種 改良土
			1.423	1.503	25.1	19.8				
解砕処理焼却主灰 (28日後に解砕)	-	-	1.406	1.488	26.9	21.4	11.76	N.D	18139.0	第2種 改良土

表-2 解砕処理焼却主灰作製に用いた配合条件

試料	試料混合条件				
	主材	含水比 (%)	MgO (%)	養生日数 (日)	最大粒径 (mm)
解砕処理焼却主灰	焼却主灰b	30	3	7, 28	9.5
					755.3 (7days) 874.2 (28days)

定処理し、鉛の不溶化効果について検討を行っている。しかし、BB だけでは鉛の溶出抑制は困難であることを鑑みる、本実験では、MgO により安定処理して、主灰中からの鉛溶出抑制を行った。また、MgO では pH が弱アルカリ性を示しており、鉛の溶出は見られなかった。

2-2 固化解砕処理焼却主灰の作製方法 表-2 に示す配合条件に従って MgO を含水比 $w=30\%$ (最適含水比付近)に調整した焼却主灰の乾燥重量に対して重量比で添加した。その後、ホバートミキサーで 4 分間攪拌し、モールド(直径 $\phi=12.7\text{cm}$ 、高さ $h=10\text{cm}$)に突き固め層数が 3 層となるように試料を入れ、2.5kg ランマーを用いて落下高さ 30cm とし、各層 25 回突き固めた。なお、突き固め回数は、突固めエネルギー $E_c \approx 550(\text{kJ/m}^3)$ となるように調整している。供試体作製後に脱型を行い、ラップで密封して 20°C 一定の恒温室で一定期間気中養生させた。その後、回転式破砕混合混練機³⁾により、最大粒径が 13mm 以下になるように解砕した。作製した試料の物理特性を表-1 に示す。なお、解砕までの養生日数は実際に解砕処理焼却主灰が発生する際に一定の期間を経て解砕されることを考慮し、養生日数 7, 28 日と異なる日数で養生した。

3. 路盤材としての適用性の検討 本検討では、解砕処理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)を行った。図-3 に各試料の修正 CBR 試験結果、表-3 に修正 CBR 値を示す。日本道路協会⁴⁾における規定では上層路盤は 95%修正 CBR 値 80%以上、路床や下層路盤は 30%以上で使用可能とされている。解砕処理焼却主灰の 95%修正 CBR 値は、解砕日数の違いに関係なく 100%以上となり路盤材としての基準値を満たしていることが明らかとなった。

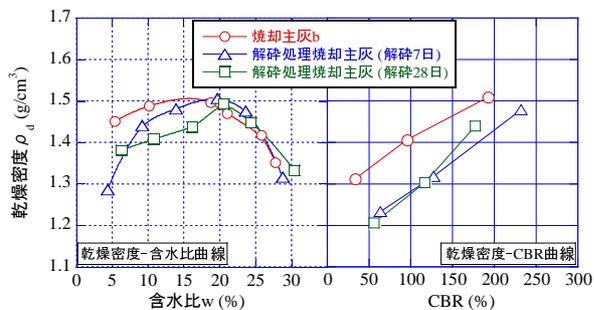


図-3 修正 CBR 試験結果

表-3 修正 CBR 値

試料	修正95%CBR値	修正90%CBR値
焼却主灰b	118.18	62.12
解砕処理焼却主灰(解砕7日)	195.45	150
解砕処理焼却主灰(解砕28日)	165.15	130.3

4. 土工材料としての利用の検討 解砕処理焼却主灰を土工材料として用いる場合、土質材料の代替材としてその強度・変形特性を知ることが必要不可欠である。そこで、密に締固めた解砕処理焼却主灰の一面せん断特性から検討を行った。本研究では、様々な材料を含み、粒径が大きい解砕処理焼却主灰においても適用可能な中型一面せん断試験を用いた。供試体の作製は、専用モールド内に最適含水比

表-4 実験条件 (一面せん断試験)

試料	解砕までの養生日数(日)	最大粒径(mm)	供試体作製方法	試料の状態	載荷圧力(kPa)
解砕処理焼却主灰	7, 28	13mm以下	2.5kgランマー法	最適含水比	50, 100, 150

に調整した試料を 2.5kg ランマーを用いて締固めを行った。せん断試験は、圧密定圧試験法により、せん断速度 0.3mm/min にて実施した。今回の検討では、不溶化固化処理の養生日数に着目し、表-4 に示す条件にて検討を行っている。図-4 に未処理の焼却主灰 b、図-5 (a), (b) に不溶化固化養生日数 7 日、28 日のせん断試験結果を示す。各条件の焼却主灰のせん断挙動は、垂直応力の増加に伴い、明確なピーク強度を示さなくなっていることがわかる。これは、焼却主灰独特の灰粒子の破碎が垂直応力の増加とともにせん断時に顕著に大きくなっていることがわかる⁵⁾。また、一旦固化処理を行った解砕処理後において破碎性が大きく、その傾向はわずかに強いことがわかる。さらに、低垂直応力では、解砕処理焼却主灰の方がピーク強度も大きく、ピーク時のせん断変位も小さくなり剛性も大きいことがわかる。一方、せん断時の体積変化は、いずれの焼却主灰も垂直応力の増加とともに膨張傾向が小さくなり、灰の粒子破碎の影響が現われ、収縮傾向に転じていることがわかる。また、その傾向は未処理の焼却主灰の方が顕著である。

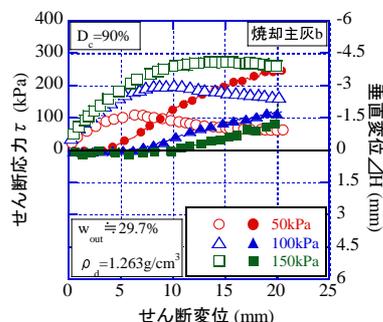
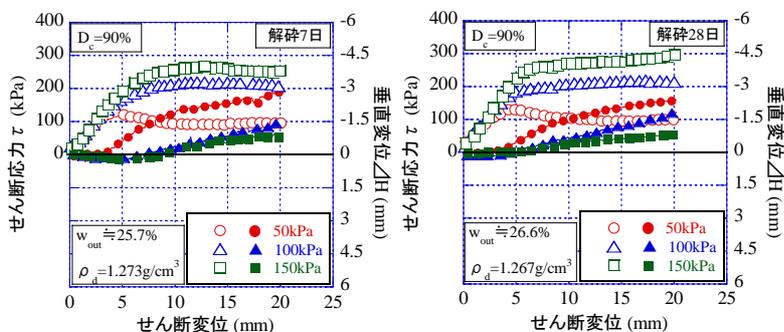


図-4 一面せん断試験結果 (焼却主灰 b)



(a) 不溶化固化養生 7 日

(b) 不溶化固化養生 28 日

図-5 一面せん断試験結果 (解砕処理焼却主灰)

表-5 各試料の強度定数

試料	強度定数	
	せん断抵抗角 φ (°)	粘着力 c (kPa)
焼却主灰 b	55.4	46.5
解砕処理焼却主灰(養生7日後に解砕)	59.3	14.1
解砕処理焼却主灰(養生28日後に解砕)	59.4	50.5
まさ土	46.7	22.7

これは、一旦固化処理したことによる灰粒子強度の違いの影響と考えられる。表-5 にこれらの結果から得られた各灰の強度定数と同じ装置で行ったまさ土の結果を示す。各灰の強度定数は、まさ土より大きく、解砕処理された灰の方が僅かながらせん断抵抗角が大きいことがわかる。今回のせん断試験の結果、解砕処理主灰は強度定数からみると一般の土質材料以上の強度特性を有している。しかしながら、主灰のは拘束圧依存性があり、灰粒子の破碎が生じる材料であるため、土工材として利用時にこの

5. まとめ 1) 解砕処理焼却主灰の 95%修正 CBR 値は、解砕日数の違いに関係なく路盤材の基準値を満たすことが明らかとなった。2) 解砕処理焼却主灰はまさ土より高い強度定数を示すが、せん断挙動は破碎材料特有のせん断挙動を示すことから土工材料として用いる場合に粒子破碎による体積収縮に配慮する必要がある。

【参考文献】1) 隈本ら：解砕処理焼却灰の地盤材料としての適用性の検討，平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会，pp.453-454, 2010 2) 土質研究センター：建設発生土利用技術マニュアル(財)，2004. 3) 例えば 中島ら：回転式破碎混合(ツイスター)工法の地盤環境分野への適用について，第 7 回地盤改良シンポジウム論文集，pp.159-162, 2006. 4) 社団法人 地盤工学会：土質試験の方法と解説，p.280, 2000. 5) 大寺ら：一般廃棄物焼却灰の粒子性状と生成過程に関する考察，環境工学研究論文集，第 40 巻，pp.473-479, 2003.