

解砕処理焼却灰の地盤材料としての適用性の検討

福岡大学 学生会員 隈本祥多

福岡大学 正会員 佐藤研一 藤川拓朗 古賀千佳嗣

1. はじめに 一般廃棄物焼却残渣には高濃度の重金属等が含有されているため、最終処分場に埋立処理されるのが一般的である。しかしながら近年、最終処分場が逼迫している社会情勢を鑑み、これら焼却残渣中の重金属等を安定化(不溶化)あるいは無害化し、有効利用を行う研究が行なわれている¹⁾。一方、東日本大震災で大量に発生したがいき処理に際して大量の焼却灰が発生している。著者らはこれまでに焼却残渣を大量に有効利用するために必要な力学特性、材料特性を把握するため、焼却灰を用いた一連の研究を行ってきた²⁾。本研究では地盤材料としての安全性を確保した上で有効利用していくため、固化材添加により焼却灰を一度固化させた後、解砕処理して作製した解砕処理焼却灰を用いて地盤材料としての適用性について検討を行った結果について報告する。

2. 実験試料

2-1 本実験で用いた焼却灰 本実験では、焼却方式としてストーカー炉を採用している焼却場から2012年7月に採取した13mm以下の一般廃棄物焼却灰を用いた。**表-1**に焼却灰の物理特性を示す。焼却灰の粒子密度は一般の豊浦砂と比較して低い値を示している。**図-1**に焼却灰の物理組成を示す。本実験で用いた焼却灰は過去に用いた焼却灰と同様、灰分が約90%と多く含み、鉄含有物やガラス、陶器類が含まれていることが分かる。次に**図-2**に2012年7月採取焼却灰の粒径加積曲線を示す。なお、比較対象として2006年10月採取焼却灰、2005年10月採取焼却灰、豊浦砂の結果についても示している。この結果より、いずれの焼却灰においても採取年月に関係なくほぼ同様の粒径を示していることが分かる。

2-2 解砕処理焼却灰の作製方法 本研究では13mm以下の焼却灰を用いて焼却灰中の重金属等の溶出を抑制するために焼却灰に固化材を添加して固化養生した後、粒径19mm以下になるまで解砕した解砕処理焼却灰(**写真-1**)を用いた。

なお、固化材には高炉セメントB種を用いて検討を行っている。以下に解砕処理焼却灰の作製方法について示す。焼却灰の含水比を**表-2**に示す条件に従って採取時の含水比に調整し、固化材を焼却灰の乾燥重量に対して外割りで配合した。その後、これらをホバートミキサーで5分間攪拌し、モールド(直径φ=15cm 高さh=12.5cm)に各層25回、3層に分けて安定処理土の締固めを行わない供試体作製方法³⁾により打設を行った。これらをラップで密封して20℃一定の恒温室内で7日間、気中養生させた。養生後、回転式破碎混合練機⁴⁾を用いて**図-2**に示す粒径に解砕した。

3. 解砕処理焼却灰の路床・路盤材としての適用性 解砕処理焼却灰の路床・路盤材への適用性を評価するために修正CBR試験(JIS A 1211)を行った。なお、本実験では締固め試験をE-a法(JIS A 1211)で行い、突固めは各層17回、42回、92回の3種類で1個ずつ供試体を作製した後に吸水膨張試験、貫入試験を行った。まず、**図-3**に焼却灰の締固め曲線及び乾燥密度-CBRグラフを示す。なお、図中には過去に採取した焼却灰の結果についても示している。日本道路協会⁵⁾では上層路盤は95%修正CBR値80%以上、下層路盤や路床は30%以上で使用可能と規定されている。いずれの焼却灰においても95%修正CBR値は80%を超えており、焼却灰は安全性を確保した上で路床・路盤材として有効利用出来る可能性があることが示された。次に、**図-4**に解砕処理焼却灰の締固め曲線及び乾燥密度-CBR

表-1 物理特性

試料	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 (%)	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)		最適含水比 W_{opt} (%)	
					A-b法	E-b法	A-b法	E-b法
焼却灰	2.588	105.7	11.1	14.6	1.460	1.493	22.0	18.0
豊浦砂	2.646	2.13	1.41	0.2	—	—	—	—

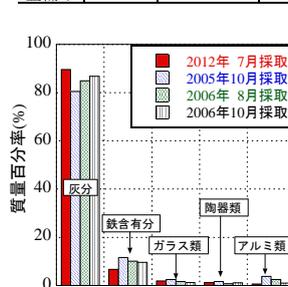


図-1 物理組成

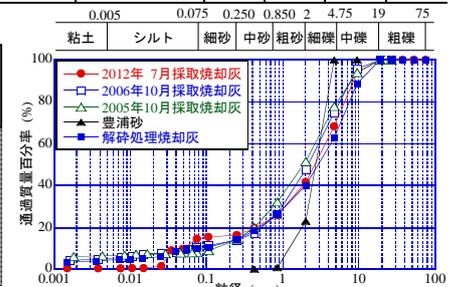


図-2 各試料の粒径分布



写真-1 解砕処理焼却灰

表-2 配合及び養生条件

試料	含水比	固化材添加率 (%)	養生条件	解砕までの養生日数 (日)	解砕後最大粒径 (mm)
焼却灰	採取時の含水比 (w=35%)	20	気中	7	19

グラフを示す。解砕処理焼却灰は解砕処理前と比べ、95%修正 CBR 値が約 100%程度大きな値を示しており、解砕処理による路床・路盤材としての品質低下は見られないことが示唆された。

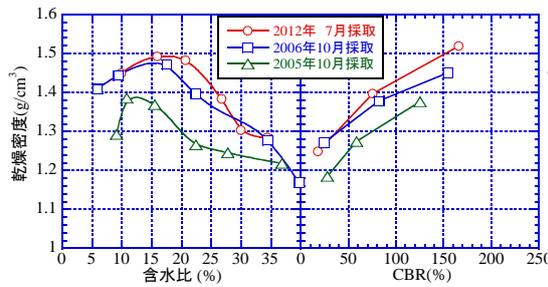


図-3 締めめ曲線及び乾燥密度-CBR グラフ (焼却灰)

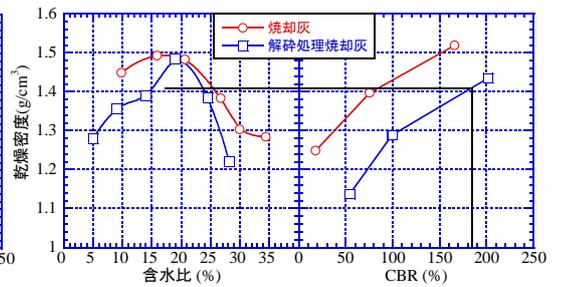


図-4 締めめ曲線及び乾燥密度-CBR グラフ (解砕処理焼却灰)

4. 解砕処理焼却灰地盤を想定した検討 本実験では解砕処理焼却灰の地盤を想定し、解砕処理焼却灰を用いてせん断特性の把握を行った。なお、本実験では粒径の大きな試料でもせん断可能な中型一面せん断試験装置 (直径 $\phi=20\text{cm}$ 、高さ $h=7\text{cm}$) を用いて、有効利用時に密に締められることを想定した締めめ度 $D=0.9$ に設定し、載荷圧力 $\sigma_v=50, 100, 200\text{kPa}$ 、せん断速度 0.3mm/min にてせん断を行った。表-3 に実験条件を示す。図-5 に焼却灰のせん断試験結果、図-6 に解砕処理焼却灰のせん断試験結果を示す。焼却灰、解砕処理焼却灰におけるせん断応力、体積ひずみはいずれの場合もほぼ同様の挙動を示している。また、せん断応力は載荷圧力 50kPa において、いずれも若干のピーク強度を示し、体積ひずみは低載荷圧力下において強い膨張傾向を示している。次に、図-7 に焼却灰と解砕処理焼却灰の強度定数について示す。焼却灰の固化解砕処理前後においてせん断挙動、強度定数ともにほとんど変化が見られないことが分かる。

表-3 一面せん断試験における実験条件

試料	最大粒径	締めめ度D (ρ_d/ρ_{dmax})	載荷圧力 (kPa)	せん断速度 (mm/min)	供試体作製方法
2012年7月採取焼却灰	13mm以下	0.9	50	0.3	2.5kgランマー法
解砕処理焼却灰	19mm以下		100 200		

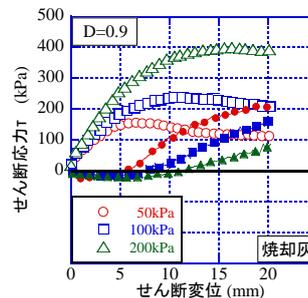


図-5 せん断試験結果 (焼却灰)

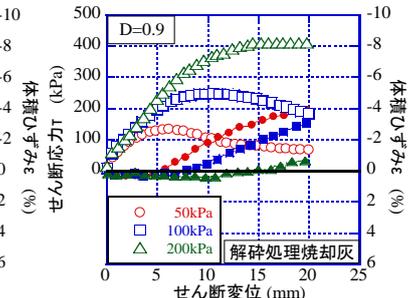


図-6 せん断試験結果 (解砕処理焼却灰)

5. 解砕処理焼却灰の溶出特性の把握 本実験では解砕処理焼却灰を用いて環告 46 号法に順じて溶出試験を行った。表-4 に溶出試験における実験条件を示す。本実験では固化材添加率に着目し、固化材添加率が鉛の不溶化効果に与える影響について把握を行った。表-5 に解砕処理焼却灰作製時の固化材添加率が不溶化効果に与える影響について示す。鉛の土壤環境基準値である 0.01mg/L は満足出来なかったものの、固化材添加率 20% においては顕著な鉛の溶出濃度の低下が見られた。これらの結果については今後さらに固化材添加率及び解砕までの養生日数の増加を踏まえて検討を行う予定である。

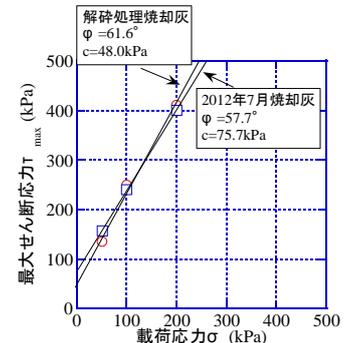


図-7 強度定数

6. 結論 1) 焼却灰を解砕処理した解砕処理焼却灰は高い修正 CBR 値を示し、上層路盤として十分適用可能である。2) 解砕処理焼却灰は焼却灰と同様のせん断挙動及び強度定数を示す。3) 解砕処理焼却灰の Pb 溶出濃度は基準値を満足出来なかったものの、固化材添加率及び養生日数を変化させることで基準値を満足できる可能性がある。以上のことから、解砕処理焼却灰は安全性を考慮した上で地盤材料として有効利用が可能な材料であることが示された。

表-4 溶出試験における実験条件

試料	解砕処理前条件				L/S	一回のサンプル数 (回)
	含水比	固化材添加率 (%)	養生条件	解砕までの養生日数 (日)		
解砕処理焼却灰	自然含水比 (w=35%)	0	気中	7	10	2
		5				
		10				
		20				

表-5 解砕処理焼却灰の溶出試験結果

Pb (mg/L)	固化材添加率 (%)			
	0	5	10	20
	0.200	0.155	0.200	0.070

参考文献 1) 鈴木ら:セメント系固化材を用いた都市ごみ焼却灰の固化技術に関する研究, 廃棄物資源循環学会論文誌, vol.20, No5, pp.320-331, 2009. 2) 中村ら:一般廃棄物焼却灰の地盤材料特性, 第 41 回地盤工学研究発表会, pp.557-558, 2006. 3) 社団法人 地盤工学会:土質試験の方法と解説, pp308-316, 2000. 4) 国土開発株式会社:ツイスター工法 http://n-kokudo.co.jp/tec_civil/twister_atypical.html. 5) 社団法人 地盤工学会:土質試験の方法と解説, p.280, 2000.