

一般廃棄物焼却灰の地盤材料としての評価に関する研究

山口大学大学院
福岡大学工学部
University of Dundee

学生員
正会員

古賀 千佳嗣
佐藤 研一
Michael C.R. Davies

1.目的 一般廃棄物の発生量は年間 5236 万 t であり、その 80% が焼却処理され、最終処分場に持ち込まれている。しかし、最終処分場の残余年数の減少から焼却灰の減容化が大きな課題となっている。このような現状から焼却灰を欧米同様に路盤材や盛土材といった土木材料として将来的に有効利用することが考えられる。また、管理期間の終了した処分場跡地利用についても、地盤特性の把握は重要な課題である。そこで本研究では、4 種類の一般廃棄物焼却灰について物理・化学試験及び締固め・CBR 試験を行った結果から地盤材料としての評価を行う。

2.実験試料及び方法 実験では、表-1 に示す採取場所と時期の異なる焼却場から排出された一般廃棄物焼却灰を用いた。物理試験は、著者が提案した一般廃棄物焼却灰に対する物理試験法¹⁾に基づき実施した。表-2 に物理・化学試験の概要を示す。締固め試験は JIS A 1210 に従い、2mm 以下焼却灰には A-a 法及び A-b 法を、13mm 以下焼却灰には E-a 法及び E-b 法の各々について繰返し法と非繰返し法で検討を行った。ただし、非繰返し法では、初期含水比の調整方法において、試料に水分を均等に吸収させるため、5% 間隔で含水比調整した試料を 8 種類準備し、24 時間以上密封した状態で放置した。繰返し法では、24 時間以上前に含水比調整を行った初期含水比 0, 5, 10, 15% の試料を用い、適宜加水を行い、測定可能な範囲で実験終了とした。

3.実験結果及び考察

3.1 物理・化学的特性 図-1 に粒径加積曲線を示す。いずれの焼却灰も、細粒分を 20% 程度含み、砂質土に分類され、均一粒径であることがわかる。表-3 に物理・化学試験の結果を示す。いずれの焼却灰も物理組成は、灰分が 7~8 割を占め、その他、鉄含有物、ガラス類、陶器類、アルミ類が含まれている。特に焼却灰 B は、同一焼却施設にも関わらず、灰分を多く含有していることが分かる。また、焼却灰 D は、鉄含有物を多く含むものの、アルミ類は見当たらなかった。これは、焼却灰リサイクル工場による金属類の回収が行われているためと考えられる。

焼却灰粒子の密度は、40 分以上の真空脱気より測定値が一定に落ち着くこと¹⁾を考慮して、真空脱気を 60 分間行った後に測定を行った。その結果、同一焼却場の灰では、ほぼ同値を示している。焼却灰 D は、他の値に比べ大きい値を示しており、灰中にある鉄含有物の影響が伺える。また、焼却灰の強熱減量から、いずれの焼却灰においても有機物を多く含む材料であることがわかる。しかしながら、泥炭や黒ぼくなどの高有機質土ほど大きな値を示さないことも明らかになった。

3.2 溶出特性 溶出特性は環告 46 号法により、6 種類の重金属 (Cr, Cd, Pb, As, Hg, Se) の測定を行った。表-4, 5 に溶出試験結果、含有量結果を示す。土壤環

表-1 焼却灰の種類

焼却灰名	焼却灰採取場所
焼却灰A	福岡市西部ゴミ焼却場 (5年前)
焼却灰B	福岡市西部ゴミ焼却場 (今年)
焼却灰C	北九州市皇后崎ゴミ焼却場
焼却灰D	英国・イングランド・焼却灰リサイクル工場

表-2 物理・化学試験の概要

物理・化学試験	2mm以下		13mm以下	
	目視		目視	
物理組成	-		-	
密度試験	脱気法	真空脱気法		
	脱気時間	60分		
	比重びんの大きさ	50ml	500ml	
粒度試験	内容物質量	7g	70g	
	分別法	ふるい試験 沈降分析 洗い試験		
強熱減量試験	強熱時間	6時間		
	温度	750		
溶出試験	環告46号			

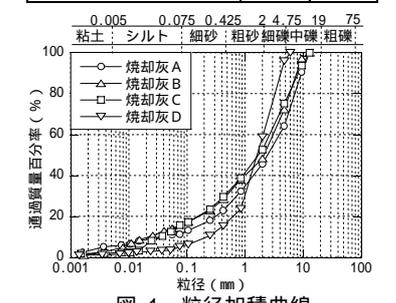


図-1 粒径加積曲線

表-3 物理・化学試験結果

焼却灰	A		B		C		D	
	13	2	13	2	13	2	6	2
物理組成 (%)	灰分	79.7	81.2	75.7	73.6	-	-	-
	鉄含有物	15.5	14.2	17.9	23.5	-	-	-
	ガラス類	3.3	3.4	4.9	2.6	-	-	-
	陶器類	0.6	0.7	1.2	0.2	-	-	-
	アルミ類	0.9	0.5	0.3	0.0	-	-	-
密度 s (g/cm ³)	2.32	2.41	2.30	2.38	2.24	2.57	-	2.70
10% 粒径 D_{10} (mm)	0.035	0.051	0.022	0.072	0.034	0.102	0.227	0.091
50% 粒径 D_{50} (mm)	2.446	0.544	2.121	0.467	1.672	0.610	1.594	0.766
均等係数 U_c	112.46	15.02	134.50	9.50	75.44	7.80	8.91	10.57
曲率係数 U_c'	4.03	1.22	3.61	0.66	2.23	1.36	2.14	1.70
強熱減量 (%)	8.19	12.04	6.37	9.44	10.23	12.25	8.46	10.64

表-4 溶出結果 (mg/L)

	カドミウム Cd	鉛 Pb	六価クロム Cr	砒素 As	総水銀 Hg	セレン Se
焼却灰A	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
焼却灰B	N.D	N.D	0.06	N.D	N.D	N.D
焼却灰D	N.D	0.4	N.D	N.D	N.D	N.D
土壤環境基準	<0.01	<0.01	<0.05	<0.01	<0.0005	<0.01
定量下限値	0.005	0.005	0.02	0.005	0.0005	0.005

表-5 含有量結果 (mg/kg)

	カドミウム	鉛	六価クロム	砒素	総水銀	セレン
焼却灰A	2	1600	N.D	4	N.D	N.D
焼却灰B	4	730	N.D	3	0.02	N.D
焼却灰D	3	600	N.D	3	0.06	N.D
定量下限値	1	1	3	1	0.02	1

境基準においてほぼ基準値を満たしているが、鉛、六価クロムの溶出量が基準値をこえていることがわかる。したがって、焼却灰を地盤材料として有効利用する場合には、今後の検討が必要である。また、含有量と比較すると重金属の成分において溶出特性が変化することもわかる。

3.3 締固め特性 今回の検討では、焼却灰の初期含水比の影響を調べるため、初期含水比 $w_0=0, 5, 10, 15\%$ に調整された試料を用いる繰返し法と、予め 5% 刻みに調整された試料を用いる非繰返し法によって行った。13mm 以下焼却灰で行った結果を図-2、3 に示す。その結果、粒度分布がほぼ等しく、同一焼却場で採取された灰にも関わらず、締固め特性が大きく異なっている事がわかる。繰返し法では実験中に同じ試料を繰返し使用することにより、焼却灰の粒子破碎が起こることにより、最大乾燥密度が高くなっていると考えられる。また、焼却灰の初期含水比の違いが、最大乾燥密度と最適含水比の大きさに影響を及ぼしていることが分かる。そこで図-4、5 に焼却灰の初期含水比と最大乾燥密度 d_{max} と最適含水比 w_{opt} の関係を示す。両図からも明らかのように、締固め法において焼却灰の初期含水比の違いが締固め特性に影響を及ぼす事がわかる。これは、焼却灰粒子が非常にポーラスな構造を持つため、試料準備段階において、粒子内に保有する水分の影響が締固め特性に表れたと思われる。さらに、焼却灰 A と B とでは採取時期の影響が結果に表れており、B については灰中に残留した粒子中の水分の影響が表れたと推測される。次に、焼却灰 A において焼却灰の最大粒径による影響に着目し、整理した結果を図-6 に示す。最大乾燥密度の値に大きい差が生じているのがわかる。したがって締固め特性は、粒度分布の影響を強く受けることがわかる。図-7 に、13mm 以下の非繰返し法で行われた試料、焼却灰 A、B の締固めによって生じる粒子破碎の影響を B_M 法²⁾ によって検討した結果を示す。焼却灰 A、B とともに含水比が高くなるにつれて、 B_M 値は低くなり、粒子破碎が小さくなっていることを示している。これは、含水比の増加に伴って、焼却灰の空隙に水分が吸収され、破碎が小さくなるためと考えられる。したがって粒子破碎は灰の含水比に大きく依存することが示された。図-8 に修正 CBR の結果を示す。また、表-6 にその結果についてそれぞれの値を示す。いずれの焼却灰も上層路盤の基準値 $CBR=80\%$ 以上を十分に満たす強度も持っていることがわかる。このことから、焼却灰は路盤材として有効利用することが可能であることがわかる。また、CBR 値については採取時期の違いの影響も少なく、有効利用できる可能性が伺える。

そこで図-4、5 に焼却灰の初期含水比と最大乾燥密度 d_{max} と最適含水比 w_{opt} の関係を示す。両図からも明らかのように、締固め法において焼却灰の初期含水比の違いが締固め特性に影響を及ぼす事がわかる。これは、焼却灰粒子が非常にポーラスな構造を持つため、試料準備段階において、粒子内に保有する水分の影響が締固め特性に表れたと思われる。さらに、焼却灰 A と B とでは採取時期の影響が結果に表れており、B については灰中に残留した粒子中の水分の影響が表れたと推測される。次に、焼却灰 A において焼却灰の最大粒径による影響に着目し、整理した結果を図-6 に示す。最大乾燥密度の値に大きい差が生じているのがわかる。したがって締固め特性は、粒度分布の影響を強く受けることがわかる。図-7 に、13mm 以下の非繰返し法で行われた試料、焼却灰 A、B の締固めによって生じる粒子破碎の影響を B_M 法²⁾ によって検討した結果を示す。焼却灰 A、B とともに含水比が高くなるにつれて、 B_M 値は低くなり、粒子破碎が小さくなっていることを示している。これは、含水比の増加に伴って、焼却灰の空隙に水分が吸収され、破碎が小さくなるためと考えられる。したがって粒子破碎は灰の含水比に大きく依存することが示された。図-8 に修正 CBR の結果を示す。また、表-6 にその結果についてそれぞれの値を示す。いずれの焼却灰も上層路盤の基準値 $CBR=80\%$ 以上を十分に満たす強度も持っていることがわかる。このことから、焼却灰は路盤材として有効利用することが可能であることがわかる。また、CBR 値については採取時期の違いの影響も少なく、有効利用できる可能性が伺える。

4.まとめ 1) 焼却灰は焼却場の違いや採取における時期の違いから、物理・化学的特性が異なることが明らかになった。2) 焼却灰の締固め特性は、初期含水比に大きく影響を受ける。また、焼却灰は、締固め時に粒子破碎を起こし、締固め特性に影響を及ぼし、その破碎率は、含水比の影響を受けることが示された。3) 修正 CBR 値より、焼却灰は路盤材として有効利用できる可能性が示された。

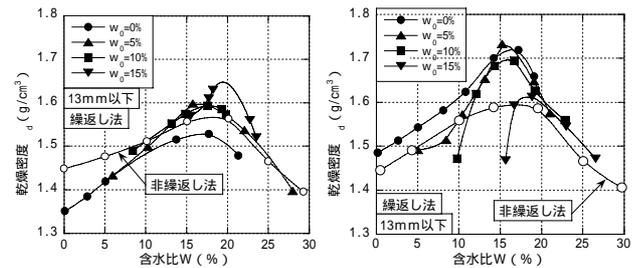


図-2 締固め特性(焼却灰 A)

図-3 締固め特性(焼却灰 B)

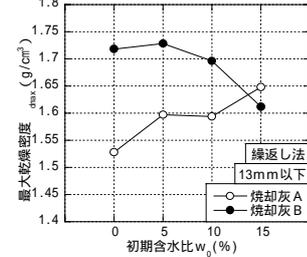


図-4 初期含水比と最大乾燥密度の関係

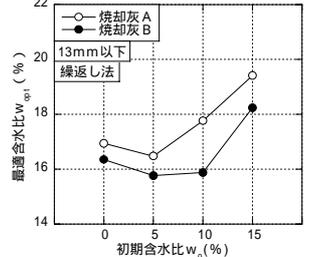


図-5 初期含水比と最適含水比の関係

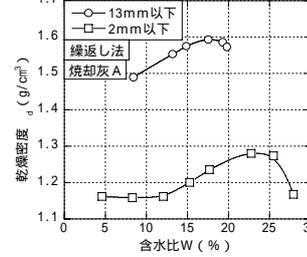


図-6 粒度の違いによる影響

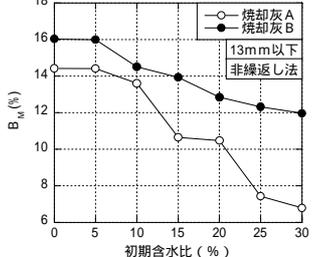


図-7 B_M 法による破碎分析

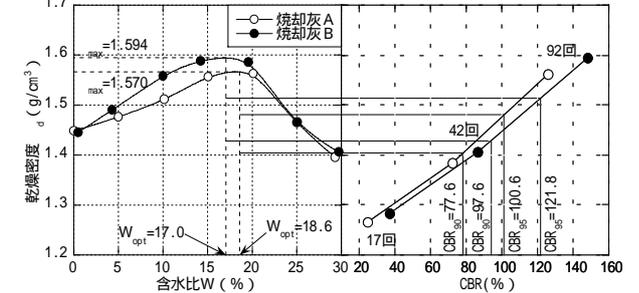


図-8 乾燥密度と含水比および CBR の関係

表-6 CBR 試験の結果

焼却灰の種類	焼却灰A	焼却灰B
最大乾燥密度 (g/cm^3)	1.57	1.59
最適含水比 (%)	18.6	17.0
90%修正CBR値 (%)	97.6	77.8
95%修正CBR値 (%)	100.6	121.8

参考文献 1)佐藤、島岡、大石、権藤：「一般廃棄物焼却灰の物理特性に関する研究」平成 13 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、pp.A-384 ~ A-385、2002。 2) 福本：「粒子破碎の程度を示す指標」、土と基礎、Vol.29、No. 12、pp.64 ~ 65、1999。