

一般廃棄物焼却灰のせん断特性に及ぼす密度の影響

福岡大学大学院 学生会員 ○中村公亮

福岡大学工学部 正 会 員 佐藤研一 山田正太郎 藤川拓朗

1 はじめに 循環型社会の構築が目標とされる中、一般廃棄物焼却灰の有効利用かつ焼却灰地盤の跡地利用は、今後必要不可欠と考える。欧米諸国では、すでに焼却灰に無害化処理を施し、有効利用しており、我が国でも将来的には焼却灰を建設材料等として有効利用することが期待される。しかし、焼却灰を有効利用する際には、物理・化学的に不安定な材料である事、基本的な性状が発生場所、時期によって異なる事¹⁾、材料が経時的に固結する事というような特徴²⁾を考慮する必要がある。このように非常に特徴の多い試料である焼却灰の有効利用を検討する場合、種々の条件でのデータの蓄積が必要となる。そこで本研究は、焼却灰の圧縮・せん断特性に及ぼす密度の影響について排水三軸せん断試験から明らかにする。また、破碎性材料である焼却灰の圧縮、せん断過程の粒度分布変化を調べ、材料の破碎が圧縮・せん断特性に及ぼす影響について検討する。

2 実験概要

2-1 実験に用いた試料 本研究では、一般廃棄物焼却灰(13mm以下)を、焼却方式としてストーカ炉を採用しているF市の清掃工場で、2005年10月に採取した。実験には試験機の都合上2mm以下に粒度調整した焼却灰を用いた。

2-2 焼却灰の基本性状 図-1に焼却灰の物理組成

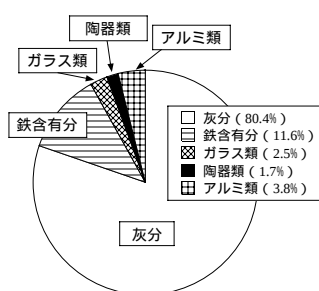
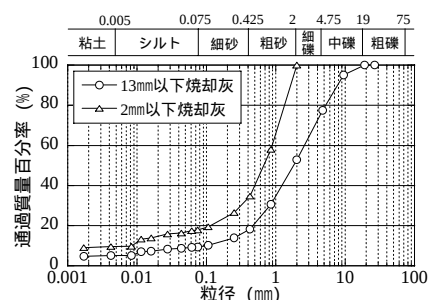


図-1 焼却灰の物理組成



を示す。ここで物理組成とは、13mm以下の焼却灰

1kg中の物理組成であり、質量比で求めた割合(%)を示している。焼却灰は、灰分、鉄含有分、ガラス類、陶器類、アルミ類に分けられ、全質量に占める灰分の割合が約80%という値を示し、次いで鉄を多く含有している材料である事が分かる。図-2に13mm以下、2mm以下にそれぞれ粒度調整した、焼却灰の粒度分布を示す。13mm以下の焼却灰は粒径幅が広く、一般に締固め特性が良いと言われる材料であることが分かる。表-1に2mm以下焼却灰の物理特性を示す。ここで灰粒子の密度は、真空脱気法³⁾を採用した。粒子密度は一般の土質材料と比べて小さい値を示している。細粒分含有率は2mm以下に粒度調整したことにより、9.4%から17.9%に増加した。

表-1 2mm以下焼却灰の物理特性

粒子密度 ρ_s	2.474g/cm ³
細粒分含有率 F_c	17.9%
最大乾燥密度 ρ_{dmax}	1.123g/cm ³
最適含水比 w_{opt}	36.6%

表-1に2mm以下焼却灰の物理特性を示す。ここで灰粒子の密度は、真空脱気法³⁾を採用した。粒子密度は一般の土質材料と比べて小さい値を示している。細粒分含有率は2mm以下に粒度調整したことにより、9.4%から17.9%に増加した。

2-3 等方圧密試験 実験は最適含水比に調整した2mm以下の焼却灰を用いて、直径約7.5cm、高さ約15cmのモールドに、3層に分けて突き固めて供試体を作成した。この際、供試体の密度は締固め度($D = \rho_d / \rho_{dmax}$)で管理した。三軸試験装置に供試体を設置し、供試体に炭酸ガスを約60分供給し、その後脱気水を十分通水した後に、セル圧を9.8、19.6、39.2、78.5、157、314、628kPaの7段階まで載荷し体積変化量を測定した。その際、1つの段階の総体積変化量で10分間の体積変化量を除いた値が0.01を下回れば、次の段階に移ることにする。表-2に等方圧密試験の実験条件を示す。ここで $D=0.7$ の供試体作成法に関しては、自立が困難なため、試験機にモールドを取り付け直接突き固めを行い作成を行った。

表-2 等方圧密試験の実験条件

試料	目標締固め度 D	供試体作成時締固め度 D_0
焼却灰	$D=0.7$	0.705
	$D=0.8$	0.798
	$D=0.9$	0.895

2-4 排水三軸せん断試験 供試体作成法は、等方圧密試験と同じである。供試体飽和後、B値が0.96以上の供試体のみ、所定の拘束圧(49kPa、98kPa、147kPa)まで等方圧密を行い、せん断を開始する。せん断速度は0.1mm/minで行った。また、実験後の試料の粒度分布を調べ、破碎性の検討を行った。表-3に実験条件を示す。実験は $D=0.7$ 、0.8、0.9の3種類の密度で行った。

表-3 排水三軸せん断試験の実験条件

試料	拘束圧 (kPa)	目標締固め度 D	供試体作成時締固め度 D_0	圧密後締固め度 D_1
焼却灰	49	0.7	0.709	0.715
	98		0.709	0.753
	147		0.712	0.773
	49	0.8	0.795	0.797
	98		0.803	0.819
	147		0.801	0.829
	49	0.9	0.909	0.910
	98		0.908	0.913
	147		0.908	0.917

3 実験結果及び考察

3-1 等方圧密特性 図-3 に等方圧密試験結

果を示す。圧密特性は供試体の密度によって大きく異なっていることが分かる。特にD=0.7の供試体は大きな圧縮性を示している。また、密度の増加に伴って、圧縮指数 C_c 、圧密降伏応力 p_y が大きくなっていることも分かる。

3-2 排水三軸せん断特性 図-4、5、6 に各密度

に対する拘束圧 49kPa、98kPa、147kPa 下での排水せん断試験結果を示す。D=0.7、0.8の軸差応力は、いずれの拘束圧下においても軸ひずみの増加に伴い一定の硬化挙動を示しており、軸ひずみ 30%においてもピーク強度を示さなかった。また、体積ひずみも拘束圧の増加に伴って、いずれも強い収縮傾向を示した。これに対し、D=0.9の拘束圧 49、98kPa

においては、軸差応力がひずみ硬化軟化型となり、ピーク強度を示している。拘束圧 147kPa においても、他の密度と比べ初期に強い硬化傾向が見られ明らかに供試体の剛性が上昇していることが分かる。また体積ひずみも、拘束圧 49、98kPa 下において膨張傾向を示している。このように供試体密度、拘束圧によりせん断挙動に差が生じたのは、せん断時の応力領域が D=0.7、0.8 のように、正規圧密領域及び圧密降伏応力付近に存在するか、D=0.9 のように圧密降伏応力付近から大きく過圧密領域側に離れて存在するかによると考えられる(図-3 参照)。図-7 に内部摩擦角と締固め度の関係を示す。密度が大きくなると、内部摩擦角が増加しており、焼却灰は締固める事により、せん断強度の増加、体積収縮抑制が見込まれ、有効利用する場合や処分場の跡地利用において良い効果を示す事が明らかになった。

3-3 焼却灰の破碎特性 図-8 に D=0.8 の拘束圧 147kPa 下における実験過程での破碎状況を示す。特にせん断によって破碎がより顕著に発生し、特に大きな粒径の粒子が破碎している。図-9 に拘束圧 98kPa 下の各密度のせん断後の粒度分布を示す。密度が変化しても破碎に大きな変化は見られなかった。これは、いずれの密度でもピーク強度はほぼ同じ値に収束しているため、同じ応力が働いているからと考えられる。実験では、いずれの密度、拘束圧でも破碎が生じ、高拘束圧でより顕著に破碎が生じる傾向を示した。しかし、図-10 に示すように、唯一膨張傾向を示した D=0.9 の 49kPa 下ではほとんど破碎が生じなかった。これは、D=0.9 の 49kPa のみピーク強度が圧密降伏応力を超えなかった事が原因であると考えられる。すなわち、粒子破碎はせん断時の応力状態と圧密降伏応力に密接な関係があると考えられる。

4 まとめ 1) 焼却灰の圧縮特性は密度の増加に伴い、圧縮指数 C_c 、圧密降伏応力 p_y が大きくなる。2) 焼却灰を密に締固めることにより、体積ひずみ ϵ_v 収縮傾向が小さくなり、内部摩擦角 ϕ も上昇する。3) 焼却灰のせん断特性には粒子破碎が大きく影響している。また、粒子破碎にはせん断時の応力状態、圧密降伏応力が密接に関係する。

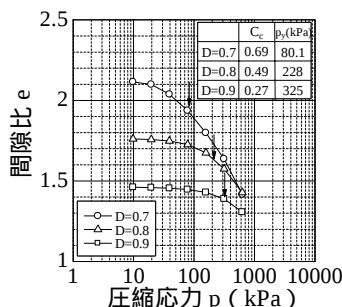


図-3 各密度の圧縮曲線

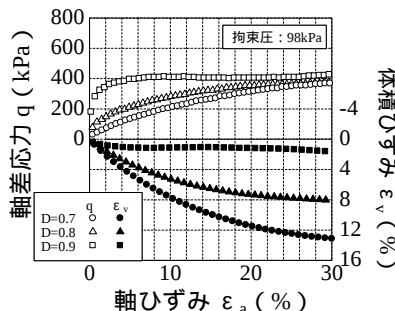


図-5 三軸せん断試験結果(98kPa)

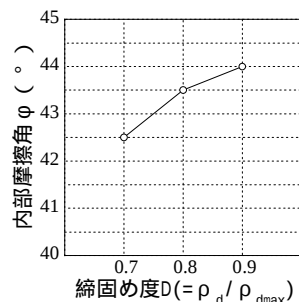


図-7 内部摩擦角と締固め度の関係

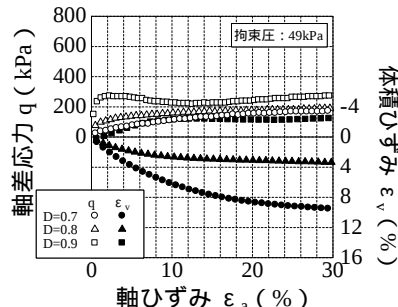


図-4 三軸せん断試験結果(49kPa)

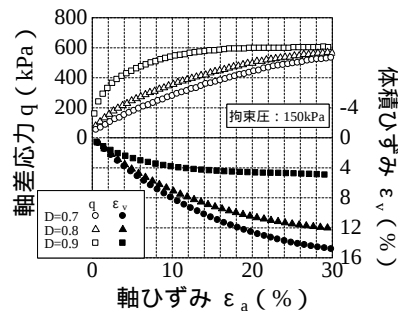


図-6 三軸せん断試験結果(147kPa)

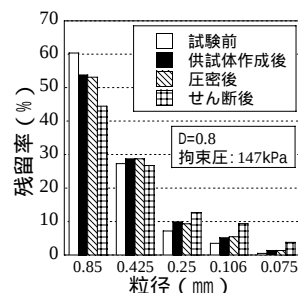


図-8 実験過程での破碎状況

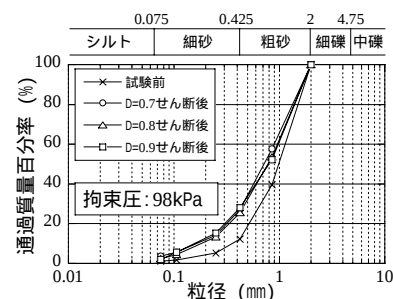


図-9 密度の違いが破碎に及ぼす影響

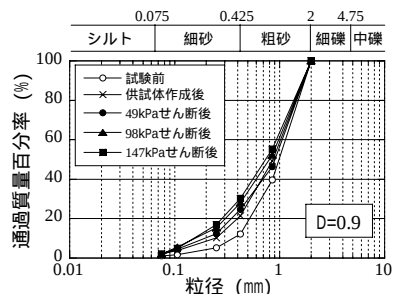


図-10 拘束圧の違いが破碎に及ぼす影響