

固結メカニズムに着目した一般廃棄物焼却灰の圧縮・せん断特性

福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一
福岡大学大学院 学生員 権藤 清路

福岡大学工学部 学生員〇五十川 宏

1.はじめに 焼却施設から排出される一般廃棄物焼却灰は、年間約 700 万 t にも達しており、最終処分場の残余年数も約 12 年に迫っている。しかし、一般廃棄物は減少する傾向が見られず、最終処分場の延命化のためにも、焼却灰を地盤材料として有効利用し、かつ、埋立跡地を高度利用することが早急に必要となってくる。そこで、本研究では、A 市の焼却施設より採取した焼却灰の土質力学特性を把握し、地盤材料としての材料定数を求めていく。また、焼却灰の特徴である経時的に変化する固結メカニズムに着目し、検討を行った。実験では、有効利用する際に置かれる地盤条件を想定し、一定期間養生させた供試体を用い、一軸圧縮試験、等方圧密試験及び排水せん断試験 (CD 試験) を行った結果から考察を行う。さらに、一軸圧縮試験においては、粒径の違いによる影響についても検討を行った。

2.試料及び実験概要 実験では、A 市の清掃工場より搬出された焼却灰を、実験室内で、13mm 及び 2mm ふるいを通過したものを用いた。焼却灰は、前報¹⁾と同一の処理場で排出されたものであるが、湿式物理選別法及び重金属固定処理²⁾を施していない点で異なる。図-1 に試料の粒径加積曲線、表-1 に物理・力学特性を示す。また、表-2 に実験条件を示す。想定した地盤条件¹⁾から、各養生を次のように行った。乾燥養生は、モールドの両端を開放し、気中養生は、モールドの両端をラップで密封し、含水比一定条件のもと行った。乾燥、気中養生は養生箱 (気温 20℃一定、湿度 90% 以上) において行っている。水浸、乾湿養生は、モールドの上、下部にろ紙を敷き、穴の開いた栓をして試料の流失を押さえ、通水を良くした。水浸養生は、水温一定 (20℃) の養生箱に沈めて行った。乾湿養生は、乾燥側と湿潤側の 2 つの養生箱において、サイクルを 24 時間として行った。等方圧密及び排水せん断試験においては、供試体の間隙水を炭酸ガスに置き換え、脱気水を通した後に、背圧 $\sigma_{wp}=196\text{kPa}$ をかけ、B 値が 0.96 以上になり、飽和していることを確認する。①一軸圧縮試験は、2mm 及び 13mm 以下焼却灰を用いた供試体に、1%/min で軸圧縮を与え、圧縮量が最大値の 2/3 程度減少したところで、実験を終了した。②等方圧密試験は、2mm 以下焼却灰を使用して、等方圧力を段階的 ($\sigma'_c=19.6\sim588\text{kPa}$) に増加させ、その際の体積変化を測定する。③排水せん断試験は、2mm 以下焼却灰を使用して、有効拘束圧を $\sigma'_c=49, 98, 196\text{kPa}$ の 3 条件で 1 時間、等方圧密を行った後、排水条件において軸ひずみが 15% になるまで、せん断を行う。

3.実験結果及び考察

3.1 一軸圧縮試験 図-2 に 2mm 以下焼却灰における一軸圧縮強さ q_u と養生日数の関係、図-3 は粒径の影響による、乾燥養生の一軸圧縮試験の結果を示す。また、表-4 にそれぞれの粒径による試験後の含水比を示す。乾燥養生では含水比が減少、水浸・乾湿養生では増加する傾向が見られた。乾燥養生は、養生が経過するにつれ、含水比の減少に伴い固結力が発生し、顕著な強度増加を示した。養生 56 日では養生なしに比べ、約 100kPa もの強度増加であった。それに対して、水浸養生のように含水比の高い状態では、強度発現が見られない。また、乾湿養生は、24 時間で乾燥と湿潤が繰返されるために、十分に乾燥することはなく、水浸養生と同様に強度が増加しない結果となった。一方、含水比が一定条件の気中養生に、強度増加が顕著に見られることから、焼却灰に含まれるカルシウム分等³⁾と適度な水分の存在が、固結効果に影

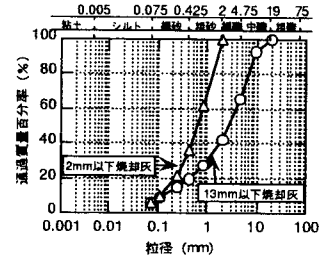


図-1 粒径加積曲線

表-1 物理・力学特性

	2mm 以下	13mm 以下
ρ_s (g/cm ³)	2.61	2.58
w_{sp} (%)	29.7	18.7
ρ_{min} (g/cm ³)	1.252	1.545
U_c	7.64	27.14
U_c'	1.33	1.88

表-2 実験条件

使用した試料	2mm 以下	13mm 以下
供試体寸法 (cm)	$\phi 5 \times 10$	$\phi 7.5 \times 15$
初期含水比 (%)	30	18
養生方法	乾燥、水浸 気中、乾湿	
養生日数 (日)	0, 7, 28, 56	
締固め度	0.9	

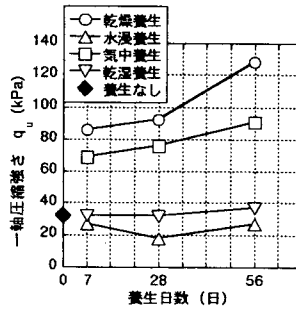


図-2 一軸圧縮強さと養生日数の関係

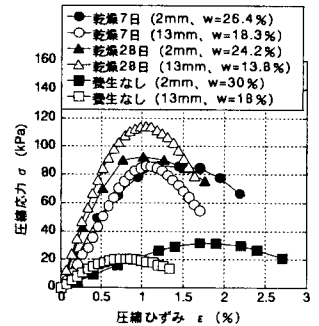


図-3 圧縮応力と圧縮ひずみの関係

(粒径の影響、乾燥養生)

表-4 含水比の変化 (%)

2mm 以下焼却灰			
	7日養生	28日養生	56日養生
乾燥養生	26.4	24.2	16.5
水浸養生	35.9	41.0	39.2
気中養生	29.2	29.0	27.8
乾湿養生	32.9	37.6	35.0

13mm 以下焼却灰		
	7日養生	28日養生
乾燥養生	18.3	13.8
水浸養生	25.1	23.9
気中養生	18.0	19.2

響を及ぼしていると考えられる。粒径の違いによる影響においては、13mm 以下焼却灰が、乾燥 7 日養生で同等の強度が得られ、28 日では、20kPa 以上の強度差が得られた。13mm 以下焼却灰は、強度発現が早く、剛性が大いことが分かる。これは、13mm 以下焼却灰は粒度分布が良く、締固まり易いため、2mm 以下焼却灰の同等又はそれ以上の強度が得られたと考えられる。

3.2 等方圧密試験 図4、表5 は、乾燥 28 日、水浸 56 日、気中 56 日養生における等方圧密試験の結果を示す。また、圧密降伏応力 p_y はキャサグランデ法により求めた。これらの圧密曲線には、養生方法の違いにより圧縮指数 e_c 、圧密降伏応力 p_y が変化し、降伏応力以降の応力域において、間隙比は急激に減少傾向を示す。これは、高い拘束圧により焼却灰粒子が破碎している⁴⁾ことを示す。また、一軸圧縮試験において強度が大きかった養生方法ほど、 p_y も大きく、高い拘束圧により固結力が消失した後は、それぞれ養生方法に関係なく、大きな圧縮性を示す材料であることが分かる。

3.3 排水せん断試験 図5 は、拘束圧 $\sigma'_c = 49, 196 \text{ kPa}$ における各養生ごとの、軸差応力 q 及び体積ひずみ ε_v と軸ひずみ ε_s の関係を示す。拘束圧 $\sigma'_c = 49 \text{ kPa}$ では、乾燥及び気中養生が水浸養生より同一ひずみにおける軸差応力がわずかに大きく、軸ひずみ 8%程度でピーク強度を示し、強度発現も早いことが分かる。また、低拘束圧において、焼却灰はせん断に伴いダイレイトする材料であることが分かる。これに対し、 $\sigma'_c = 196 \text{ kPa}$ では、軸差応力に養生方法の違いによる明確な差は見られなかった。これは、高い拘束圧により、焼却灰の粒子が破碎し、固結力が失われたためであると考えられる。また、 $\sigma'_c = 196 \text{ kPa}$ では体積変化が収縮挙動を示し、6%と強い収縮を示している。図6 は乾燥、水浸及び気中 56 日養生における CD 試験の結果を示す。 $\sigma'_c = 49 \text{ kPa}$ において乾燥養生は、他の養生に比べ、強度発現が早く、ピーク強度が大きいたことが分かる。また、残留強度にも養生方法の違いによる差が見られた。特に、乾燥及び気中養生は、破壊を示した後の強度低下が、水浸養生に比べ、小さいことが分かる。一方、いずれの養生方法においても、拘束圧の増加に伴って、著しい体積収縮が示された。

4.まとめ

- ① 養生方法及び粒径の違いが、一軸圧縮特性に影響を及ぼすことが分かった。乾燥及び気中養生の供試体においては、養生日数の経過に伴い、強度が増加することが分かった。
- ② 等方圧密試験の結果、焼却灰が圧密降伏応力 p_y 以降に圧縮性の大きい材料であることが示された。
- ③ 今回の実験により、焼却灰に含有する Ca 等と水分の影響により、日数の経過に伴い固結力を発生することが明らかになった。しかし、拘束圧の増加に伴って、破碎することにより、固結力が消失することも明らかになった。

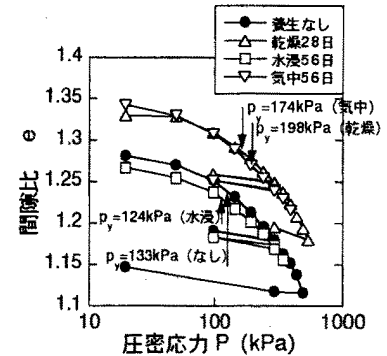


図4 間隙比と圧密応力の関係

表5 等方圧密試験の結果

	e_0	e_c	p_y (kPa)
養生なし	1.282	0.203	133
乾燥 28 日	1.329	0.284	198
水浸 56 日	1.267	0.163	124
気中 56 日	1.340	0.250	174

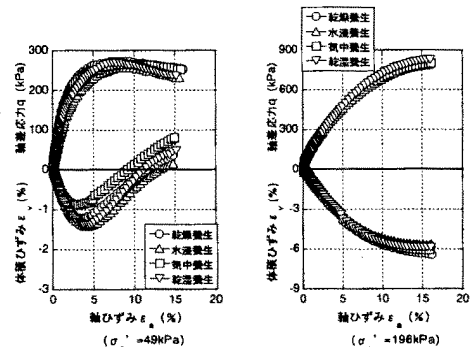


図5 軸差応力及び体積ひずみと軸ひずみの関係
(養生方法の違いによる影響、養生 56 日)

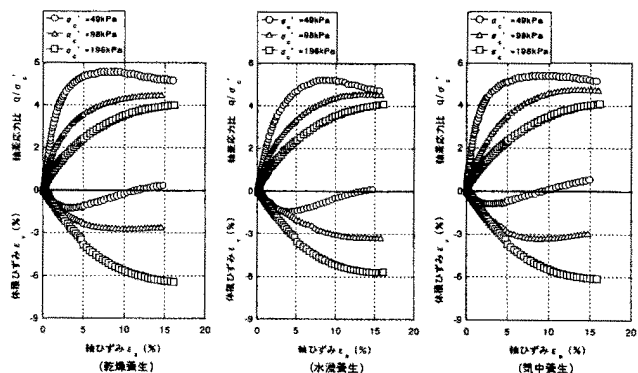


図6 軸差応力比及び体積ひずみと軸ひずみの関係
(拘束圧の違いによる影響、養生 56 日)

【参考文献】1) 佐藤ら：「一般廃棄物焼却灰の力学特性に及ぼす地盤環境の影響」、第 4 回環境地盤シンポジウム、pp.55～58、2001。2) 花輪ら：「物理選別処理による一般廃棄物焼却灰の有効利用について—選別処理焼却灰の性状—」、第 9 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.410～412、1998。3) 佐藤ら：「一般廃棄物焼却灰の固結メカニズムと力学特性」、平成 13 年度土木学会西部支部研究発表会投稿中。4) 前野ら：「中型三軸試験機による都市ごみ焼却灰の圧縮試験」、第 9 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.407～409、1998。