

種々の産業廃棄物の力学的特性

九州工業大学工学部 学生会員 ○太田勇希

九州工業大学大学院 正会員 永瀬英生 廣岡明彦

学生会員 中村祥平

1. はじめに

現在わが国では、最終処分量の減少により残余年数は少しずつ増加傾向にある。しかし、以前として最終処分場は不足しており、福岡県内にある最終処分場もまた、残余年数は残りわずかとなっている。そこで搬入される廃棄物を用いて、埋立て完了後、高さ 30m の嵩上げ盛土を造成し、埋立て容量の確保を行って処分場を延命化させることを検討している。

本研究では、上記の最終処分場より採取した種々の産業廃棄物を試料とし、地盤材料としての力学的特性を調べることを目的として、各種物理試験および三軸圧縮試験を行った。

2. 試料

試料には、最終処分場から採取した焼却灰 3 種(廃油・廃アルカリ、石炭灰、スラッジ・パルプ粕)(以下、焼却灰 1, 焼却灰 2, 焼却灰 3 とする), 鉍滓 3 種(転炉スラグ, サンドブラスト, 鋳物廃砂)(以下、鉍滓 1, 鉍滓 5, 鉍滓 6 とする), ばいじん 2 種(電気集塵, 酸化鉄)(以下、ばいじん 1, ばいじん 3 とする), そして、比較用として豊浦砂を用いた。ただし、処分場に搬入されている主な産業廃棄物として汚泥があるが、これについては別途検討しているので、ここでは対象外とした。次に、地盤工学会土質試験法によって求めた物理試験の結果を表 1 に、粒径加積曲線を図 1 に示す。

表 1 物理試験結果

試料名	自然含水比 $w_n(\%)$	土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	液性限界 $w_L(\%)$	塑性限界 $w_P(\%)$	塑性指数 I_p
焼却灰 1	25.14	2.833	NP	NP	-
焼却灰 2	37.46	2.258	NP	NP	-
焼却灰 3	7.41	2.741	NP	NP	-
鉍滓 1	16.43	3.224	NP	NP	-
鉍滓 5	0.21	3.726	NP	NP	-
鉍滓 6	10.73	2.699	18.17	18.13	0.04
ばいじん 1	44.36	2.832	28.98	27.90	1.08
ばいじん 3	25.38	3.142	43.01	29.67	13.33
豊浦砂	-	2.637	NP	NP	-

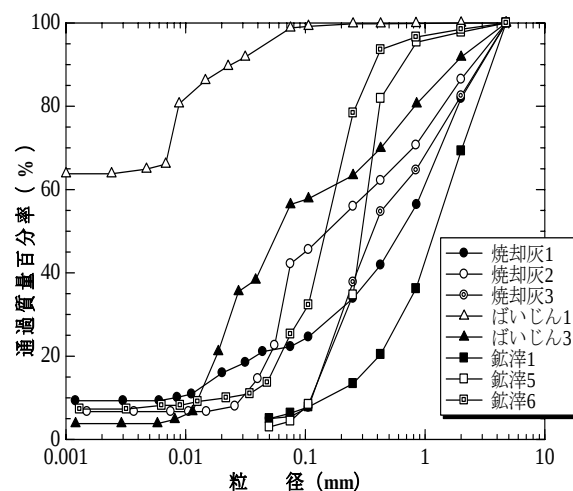


図 1 粒径加積曲線

物理試験の結果より、液性・塑性限界はばいじんを除くほとんどの試料で NP となり、NP でない結果となった試料についても塑性指数は小さい値となっている。また、粒径加積曲線の粒度分布から、今回用いる試料はばいじんを除いて砂分を多く含んでいることがわかる。一方、ばいじん 1 は粘土分が多く、ばいじん 3 はシルト分多く含んでおり、ともに低塑性であるということがわかる。

さらに、粒径加積曲線より、均等係数 U_c および曲率係数 U_c' を求めると、鉍滓 1 は $U_c=10.12$, $U_c'=1.70$ となり、 $U_c \geq 10$, $1 \leq U_c' \leq 3$ の範囲に収まるので、粒径幅が広く粒度の分布も一様であるため、良配合の試料であるといえる。しかし、焼却灰 3 は均等係数 $U_c=5.09$ および曲率係数 $U_c'=0.55$ で上記の範囲に収まらないため、貧配合の試料であることがわかる。

3. 試験方法

試験は三軸試験装置を用いて行った。供試体は、直径 7.5cm、高さ 15cm の円柱形とし、供試体作製方法は、水中落下法で行った。ただし、鉾津 6 の供試体を水中落下法で作製すると試料の一部が浮遊してしまい、モールド内に堆積させるのが困難であった。また、この方法で負圧をかけたとき、水と一緒に微細な粒子が排出され写真 1 のように負圧槽内の水が濁った。そこで、空中落下法により供試体を作製した。このとき、水通しや排水を容易にするために供試体の側面にスリットを設けたろ紙を巻き付けた。



写真 1 負圧槽の様子(鉾津 6)

供試体作製後、飽和を容易にするため二酸化炭素と脱気水を十分に通して飽和させ、それぞれ異なる初期有効拘束圧(98kPa, 196kPa, 294kPa)で等方圧密を行った。圧密後非排水状態にし、ひずみ制御で静的単調載荷を行った。載荷速度は軸ひずみ 0.5%/min とした。ここで、載荷速度は JGS0523-2000 により、シルト分の多い試料で 0.1%/min 程度、粘土分の多い試料で 0.05%/min を目安とされているが、ほとんどの試料について砂分が多いため、載荷速度の違いにおける影響は小さいとして、0.5%/min と設定した。

結果の整理には、それぞれの初期有効応力(98kPa, 196kPa, 294kPa)における試験結果より、破壊時の有効軸方向応力、有効側方応力を算出し、それに基づくモール円を描き、それらのモール円に接する直線を引いた。このときの接線より粘着力 c' (kN/m²)、内部摩擦角 ϕ' (°) を求めた。

4. 試験結果及び考察

非排水三軸圧縮試験よりすべての試料において粘着力 c' は 0 となった。内部摩擦角 ϕ' および供試体作製時の相対密度 D_r を表 2 に示す。

表 2 より、内部摩擦角 ϕ' の値は鉾津 6 を除くすべての試料で内部摩擦角 $\phi' = 30^\circ$ を超えている。しかし、鉾津 6 については、内部摩擦角 $\phi' = 24.0^\circ$ となっており、他の試料と比べて低い結果となっている。これは、水通し時において、写真 1 に示したように供試体通過後の水が濁ってしまったことが直接的な原因であると考えられる。すなわち、供試体内の微細な粒子がろ紙を通過し、水と一緒に排出されることにより、供試体に水通しする前と後では粒度が変化し、間隙比が大きくなったことや局部的にすべりやすい箇所が生じたため、内部摩擦角の低下を起こしたものと考えられる。

次に、内部摩擦角 ϕ' と相対密度 D_r を比べてみると、鉾津 6 は著しく小さい値となっているが、これは先程述べた水通しにおける供試体内の微粒子の排出による影響であると思われる。また、ばいじん 1 は内部摩擦角 $\phi' = 30^\circ$ であるが、相対密度 $D_r = 88.9(\%)$ で密詰めになっている、これは、ばいじん 1 が細粒分を多く含み、砂の最大密度・最小密度試験の適用範囲から大きく外れた試料であるためである。同様に、焼却灰 2 とばいじん 3 の相対密度についても注意を要すると考えられる。

5. まとめ

種々の産業廃棄物の物理試験および非排水三軸圧縮試験を行った結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 用いた試料は、ばいじんを除いて砂分を多く含有している。
- (2) 焼却灰 1~3、鉾津 1・5、ばいじん 1・3 の内部摩擦角は $\phi' = 30^\circ$ を上回った。
- (3) 鉾津 6 の内部摩擦角は $\phi' = 30^\circ$ を下回った。これは浮遊物の影響によるものと考えられる。

<参考文献>

「土質試験の方法と解説(第 1 回改訂版)」, 社団法人地盤工学会, 2000

表 2 三軸圧縮試験結果

試料名	内部摩擦角 ϕ' (°)	相対密度 D_r (%)
焼却灰 1	46.5	48.7
焼却灰 2	40.0	54.2
焼却灰 3	40.5	40.5
鉾津 1	44.0	58.7
鉾津 5	35.5	35.8
鉾津 6	24.0	-19.7
ばいじん 1	30.0	88.9
ばいじん 3	36.0	27.9
豊浦砂	35.0	40.5