

大阪大学大学院 正会員 鍋島 康之
 大阪大学大学院 フェロー 松井 保
 大阪大学大学院 学生会員 ○長澤 朋視
 大阪大学工学部 谷口 佳充

1. はじめに

我が国では、年々増加する一般廃棄物に対して焼却場の処理能力が追いつかず、最終処分場の寿命を減少させている。最終処分場の新設が困難な現状では、焼却灰の減量化や再利用の促進が急務である。そこで、焼却灰の減量化技術の一つに熔融処理¹⁾がある。この技術を用いて焼却灰を熔融スラグ化することにより、体積を1/2～1/3に減少させるとともに、無害化することができる。しかし、処理後の焼却灰熔融スラグも大半が埋立処分されている。焼却灰熔融スラグの主成分は一般的な砂と同じく SiO_2 であるが、そのせん断特性に関しては十分に解明されていない。そこで本研究では、焼却灰熔融スラグを試料として、排水せん断試験と繰返し中空ねじり試験を行い、焼却灰熔融スラグの地盤材料としての特性を調べた。

2. 試験試料および実験方法

表-1は本試験で用いた焼却灰熔融スラグ試料の物理特性である。また、図-1に焼却灰熔融スラグ試料の粒径加積曲線を示す。本試験では、メンブレンが破れるのを防ぐため、粒径1.0mm以上の粒子を取り除いたものを用いた。表-2は排水せん断試験の試験条件である。相対密度 $D_r=40\%$ および60%の焼却灰熔融スラグに対して排水せん断試験を行った。ウェットタンピング法で直径5cm、高さ10cmの供試体を所定の相対密度になるように作製した。各相対密度の供試体に対して、それぞれ3種類の有効拘束圧で等方圧密し、軸ひずみ速度を0.1%/minで軸ひずみが15%を越えるまで排水せん断を行った。また、表-3は繰返し中空ねじり試験の試験条件である。繰返し中空ねじり試験でも、中空円筒供試体(内径4.3cm、外径7.5cm、高さ15cm)を所定の相対密度になるようにウェットタンピング法で作製した。各相対密度の供試体に対して、有効拘束圧 $\sigma'_c=98.1\text{kPa}$ (背圧294.3kPa)で等方圧密した後、繰返し周波数0.1Hzの正弦波で応力制御による非排水繰返し载荷を行った。繰返し载荷の終了は両振幅せん断ひずみが15%に達するか、繰返し载荷回数が100回に達する時とした。

3. 試験結果および考察

3.1 排水せん断試験 図-2および3は、それぞれ $D_r=40\%$ および $D_r=60\%$ の排水せん断試験結果から得られた軸差応力-軸ひずみ、および体積ひずみ-軸ひずみ関係を示す。軸差応力-軸ひずみ関係では、相対密度および有効拘束圧によらず、軸ひずみが15%に達するまで軸差応力が単調に増加し、明確なピークを観察することができなかった。また、同じ有効拘束圧では、相対密度の大きい $D_r=60\%$ の方が $D_r=40\%$ より大きな軸差応力を示した。体積ひずみ-軸ひずみ関係では、軸ひずみが6%～10%付近で負のダイラテンシー挙動がピークを示

表-1 試料の物理特性

最大密度 $\rho_{\text{dmax}}(\text{g/cm}^3)$	1.591
最小密度 $\rho_{\text{dmin}}(\text{g/cm}^3)$	1.232
土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.757

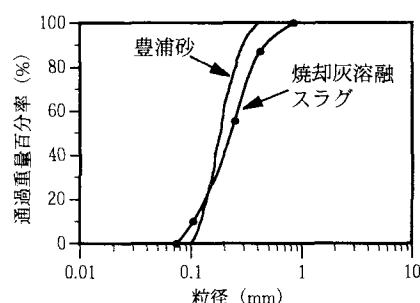


図-1 粒径加積曲線

表-2 排水せん断試験条件

$D_r(\%)$	背圧 (kPa)	$\sigma'_c(\text{kPa})$
40	98.1	49.0
		73.5
		98.1
60	98.1	49.0
		73.5
		98.1

表-3 繰返し中空ねじり試験条件

$D_r(\%)$	$\sigma'_c(\text{kPa})$	周波数(Hz)	繰返し応力比($\sigma_d/2\sigma'_c$)
40	98.1	0.1	0.077, 0.074, 0.068
60	98.1	0.1	0.106, 0.091, 0.089, 0.078

した。相対密度 $D_r=60\%$ では、有効拘束圧が増加するにつれてそのピーク位置が右側に移動する。しかし、相対密度 $D_r=40\%$ においては、有効拘束圧 $\sigma'_c=73.5\text{kPa}$ および 98.1kPa の試験ケースでは、挙動がほぼ同じであった。また、相対密度にかかわらず、負のダイレタンシー挙動がピークを迎えた後、正のダイレタンシー挙動を示す。緩詰めめの $D_r=40\%$ においても同様の挙動がみられることから、焼却灰溶融スラグのダイレタンシー挙動は、一般的な砂とは異なる挙動を示すことがわかる。

図-4は、相対密度 $D_r=40\%$ および 60% における排水せん断試験結果をもとに描いたモールの応力円を示す。その結果、 $D_r=40\%$ において $\phi_d=39.4^\circ$ 、 $D_r=60\%$ において、 $\phi_d=40.7^\circ$ となった。豊浦標準砂の内部摩擦角は $D_r=40\% \sim 60\%$ において $\phi_d=32.5^\circ \sim 36.5^\circ$ であり、比較すると焼却灰溶融スラグの内部摩擦角は若干大きな値を示す。

3.2 繰返し中空ねじり試験結果

今回実施した相対密度 $D_r=40\%$ および 60% のすべての試験ケースにおいて液状化が確認できた。図-5は、本試験で得られた焼却灰溶融スラグの液状化強度曲線と豊浦標準砂の液状化強度曲線³⁾を示している。両振幅せん断ひずみ 7.5% 、繰返し载荷回数20回における繰返しせん断応力比を液状化強度 R_{L20} と定義すると、 $D_r=40\%$ および 60% における焼却灰溶融スラグの液状化強度はそれぞれ、 $R_{L20}=0.074$ および 0.082 となり、豊浦標準砂と同様に相対密度が高いほど液状化強度が増す。しかし、焼却灰溶融スラグよりも粒径が均質である豊浦標準砂に比べて、焼却灰溶融スラグの液状化強度はかなり低いことがわかる。

4. まとめ

本研究で実施した焼却灰溶融スラグの排水せん断試験および繰返し中空ねじり試験の結果より、以下のことが明らかになった。

- (1) 焼却灰溶融スラグのダイレタンシー挙動は一般的な砂と異なる。
- (2) 焼却灰溶融スラグの内部摩擦角は豊浦標準砂と比べて若干大きな値を示す。
- (3) 焼却灰溶融スラグの液状化強度は相対密度の増加とともに増加するが、豊浦標準砂に比べて液状化強度はかなり低い。

【参考文献】

1) 焼却灰の循環利用に関する研究委員会編：スラグの有効利用マニュアル、(財)廃棄物研究財団、pp.21～30、1998。2) 地盤工学会：N値と $c \cdot \phi$ の活用法、pp.167、1998。3) 村松、龍岡、佐々木、関：振動三軸及び動的せん断ねじりによる密な砂の液状化特性、第16回土質工学研究発表会、pp.601～604、1981。

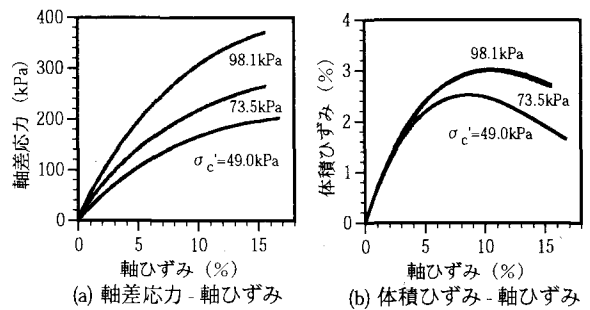


図-2 排水せん断試験結果 ($D_r=40\%$)

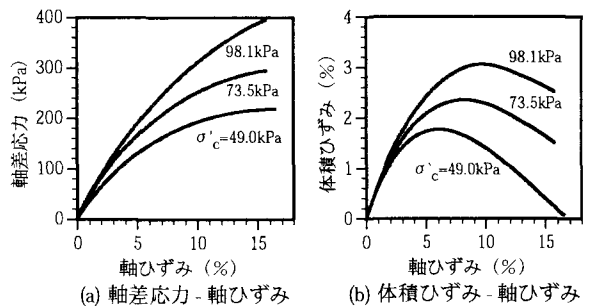
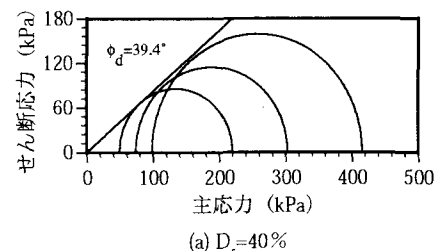
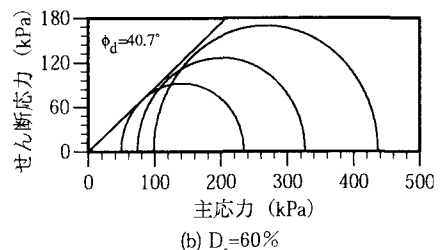


図-3 排水せん断試験結果 ($D_r=60\%$)



(a) $D_r=40\%$



(b) $D_r=60\%$

図-4 排水せん断試験におけるモールの

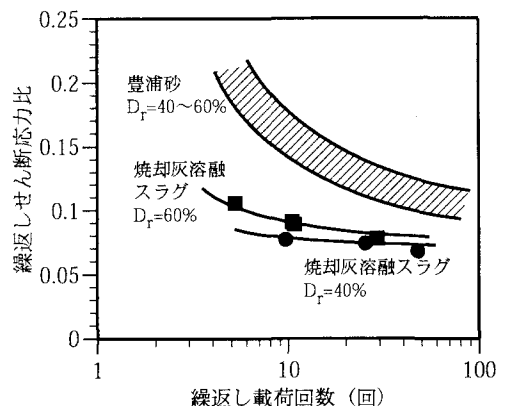


図-5 液状化強度曲線