

一般廃棄物熔融スラグの土質力学特性

福岡大学工学部 学生員○高尾 俊一郎

福岡大学工学部 学生員 角 優子

福岡大学工学部 正会員 花嶋 正孝

福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一

福岡大学工学部 正会員 島岡 隆行

福岡大学工学部 正会員 吉田 信夫

1.はじめに 近年、都市ごみや産業廃棄物からのごみ焼却残渣（焼却灰および飛灰）はその最終処分場の確保が困難になってきている。この様な背景から、熔融固化法は、最終処分場の延命化対策として、焼却残渣の減容化・無害化・再資源化の面から注目されている。また、最近では、熔融炉から排出される熔融スラグの土木材料への有効利用の研究が進められている。そこで本研究では、熔融スラグを地盤材料へ有効利用することを考慮し、一般廃棄物熔融スラグの基本的な力学特性を把握するために各種土質試験を行った。特に、地盤材料としての適応性を判断するために、締固め試験、CBR 試験、一面せん断試験を中心に行った。一面せん断試験については、今宿まさ土及び焼却灰の結果と比較を行っている。

2.実験概要

2-1 実験に用いた試料 実験に用いた試料は一般廃棄物熔融スラグ（水砕スラグ）を用いた。図-1、表-1 に実験に用いた試料の粒径加積曲線、物理特性を示している。ただし、焼却灰は 2mm 以下に粒度調整したものである。結果を見ると、熔融スラグは砂分と分類される粒径が、全体のほぼ 100% を占めており、砂質土系の材料であることが分かる。また、均等係数 U_c 、曲率係数 U_c' より、他の材料に比べ粒度分布が悪く、最大・最小間隙比の差が 0.213 と小さく、締固めがあまり望めない材料であることが分かる。また、最適含水比 11.1% と最も小さく、最大乾燥密度 1.59g/cm^3 と最も大きいことが分かる。

2-2 実験方法及び条件 熔融スラグの路盤材としての適応性を判断するために、修正 CBR 試験を行った。また、地盤材料として、その強度特性の評価をするために、一面せん断試験を圧密定圧せん断で行った。供試体は、空中落下法により相対密度 Dr を 40、60、80% の 3 種類の密度になるように直径 $\phi=60\text{mm}$ 、高さ $h=20\text{mm}$ のせん断箱内に作成した。実験は、各々鉛直荷重 $\sigma_v=49、98、196\text{kPa}$ を載荷し、30 分の圧密を行った後、反力板側の荷重を一定、せん断速度 0.2mm/min のもと実験を行った。また一面せん断試験に用いた供試体の初期状態を表-2 にまとめている。

3.実験結果及び考察

3-1 修正 CBR 特性 図-2 に修正 CBR 試験より求めた乾燥密度-含水比、CBR 曲線を示す。これより修正 CBR 値は 17.9% となり、下層路盤の材料規定²⁾である CBR 値 20% 以上を満たしていない。これに対し、路床上部の材料規定である CBR 値 10% 以上を十分に満たしている。しかし、熔融スラグは単一粒径で締固まりにくく、また粒子破碎の影響も考える必要があるため、スラグ単体を路盤材、路床材料として用いるのは難しいと言える。

3-2 一面せん断特性 図-3 に、相対密度 60% における鉛直荷重の違いによるせん断応力とせん断変位の関係を示す。同時に最大せん断応力の値も示している。鉛直荷重に関係なく、せん断変位 1~2mm の間でピーク強度を示し、その後は緩やかにせん断応力が低下し、ほぼ一定残留強度を示していることが分かる。また、鉛直荷重が大きくなるにつれて

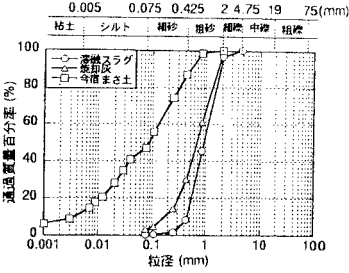


図-1 粒径加積曲線

表-1 物理力学特性

	熔融スラグ	焼却灰	今宿まさ土
密度 ρ_d (g/cm^3)	2.75	2.63	2.65
10% 粒径 (mm)	0.435	0.045	0.00359
50% 粒径 (mm)	0.909	0.479	0.0852
均等係数 U_c	1.38	13.31	34.82
曲率係数 U_c'	1.57	2.53	1.10
最大間隙比 e_{max}	1.022	2.247	1.892
最小間隙比 e_{min}	0.809	1.683	1.031
$e_{\text{max}} - e_{\text{min}}$	0.213	0.564	0.861
最適含水比 (%)	11.1	33.0	23.1
最大乾燥密度 (g/cm^3)	1.59	1.23	1.48
最大湿潤密度 (g/cm^3)	1.77	1.64	1.82

表-2 各供試体の初期条件

	鉛直荷重 (kPa)		
目標密度 (%)	49	98	196
40	40.4	42.7	42.9
60	60.0	58.5	62.7
80	82.1	79.0	78.7

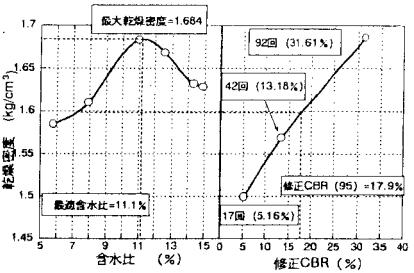


図-2 乾燥密度-含水比、CBR 曲線

明確なピーク強度が現れやすい傾向がある。

その理由として、鉛直荷重が大きくなることにより、空隙が小さくなり、粒子間の噛み合わせが良くなっていることが挙げられる。図-4は、鉛直荷重 98kPa における相対密度の違いによるせん断応力とせん断変位の関係を示している。また、図-5に、各鉛直荷重における相対密度と最大せん断応力の関係を示す。スラグの供試体密度の影響に着目し整理を行ったが、最大せん断応力に密度の差はほとんど見られなかった。この理由として、スラグの最大・最小間隙比の幅が狭く、供試体密度の変化による間隙比がほとんど変化しないため、噛み合わせがあまり変化しないことが挙げられる。図-6、図-7は相対密度と内部摩擦角 ϕ_d 、粘着力 c_d の関係を示す。これより、相対密度の増加に伴って内部摩擦角の増加は見られるが、粘着力に大きな差異は見られなかった。また、スラグの内部摩擦角は40%以上であり、砂質土と良く似た材料特性を示している。図-8に、相対密度60%、鉛直荷重98kPaにおけるスラグ、まさ土、焼却灰のせん断変位とせん断応力の関係を示す。同時に図中には最大せん断応力の値を示している。3種類の試料ともにほぼ同じピーク強度を示し、せん断挙動に余り差が見られない。しかし、熔融スラグは他の2試料に比べせん断初期にピーク強度を示し、せん断に伴う初期剛性が大きいことが分かる。図-9に各材料における垂直応力とせん断応力の関係を示す。これより、いずれの材料ともに、内部摩擦角 ϕ_d は、40°前後ではほぼ同じピーク強度であることがわかる。盛土材として要求される材料特性³⁾より、内部摩擦角 ϕ_d 30°~40°を必要としている。したがって、熔融スラグ単体もこの値を満たしていることが分かる。粘着力についても、焼却灰が他の材料よりわずかに小さいが、大きな差はないと言える。これらより、熔融スラグは、一般的な材料と比較しても内部摩擦角、粘着力共に遜色ない値を示す材料であることが分かった。

同時に図中には最大せん断応力の値を示している。3種類の試料ともにほぼ同じピーク強度を示し、せん断挙動に余り差が見られない。しかし、熔融スラグは他の2試料に比べせん断初期にピーク強度を示し、せん断に伴う初期剛性が大きいことが分かる。図-9に各材料における垂直応力とせん断応力の関係を示す。これより、いずれの材料ともに、内部摩擦角 ϕ_d は、40°前後ではほぼ同じピーク強度であることがわかる。盛土材として要求される材料特性³⁾より、内部摩擦角 ϕ_d 30°~40°を必要としている。したがって、熔融スラグ単体もこの値を満たしていることが分かる。粘着力についても、焼却灰が他の材料よりわずかに小さいが、大きな差はないと言える。これらより、熔融スラグは、一般的な材料と比較しても内部摩擦角、粘着力共に遜色ない値を示す材料であることが分かった。

5.まとめ 本研究で用いた熔融スラグ単体における各種土質力学特性の把握を行い、次のような事が分かった。

- (1)本研究で用いた熔融スラグは日本統一分類法によると、粒度の悪い砂 (SP) に分類される。
- (2)盛土材として要求される材料特性と比較すると、最大湿潤密度が小さいためスラグ単体では盛土材として使用することは難しいといえる。
- (3)熔融スラグを地盤材料として有効利用するためには、スラグは単一粒径で締固まりにくい材料であるため、細粒分の材料と混合し粒度調整をすることにより、締固め度を良くし、粒子間の噛み合わせを良くすることにより、最大乾燥密度を上昇させ、有効利用を出来ると考えられる。
- (4)本研究で用いた熔融スラグは、ガラス質の粒子破砕性のある材料であるため、今後この材料特性について検討していく必要がある。

[謝辞]本研究を行うにあたり、三井造船 (株) の板谷真積さんには、水砕スラグの手配を始め、貴重な御意見を頂きました。ここに感謝の意を表します。

[参考文献]1)スラグの有効利用マニュアル 一般廃棄物の熔融固化物の再生利用に関する指針、解説、財団法人廃棄物研究財団、焼却灰の循環利用に関する研究委員会、2)土質試験の方法と解説 地盤工学会編 p284、2000.6、3)斜面・盛土補強工法技術総覧、斜面・盛土補強工法技術総覧編集委員会、p118、1995.9

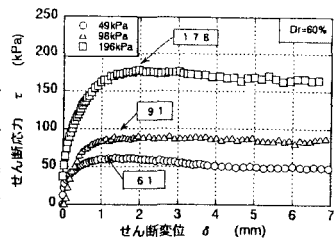


図-3 せん断変位とせん断応力の関係

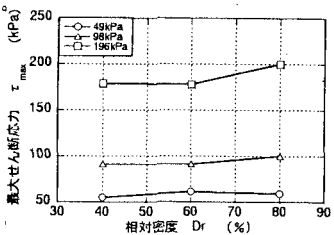


図-5 相対密度と最大せん断応力の関係

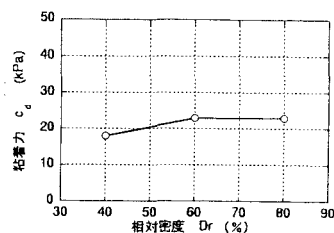


図-7 相対密度と粘着力の関係

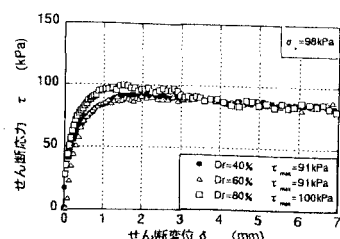


図-4 せん断変位とせん断応力の関係

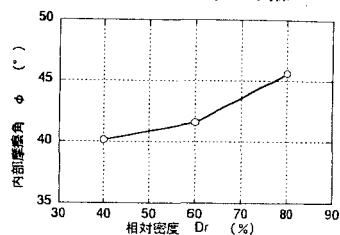


図-6 相対密度と内部摩擦角の関係

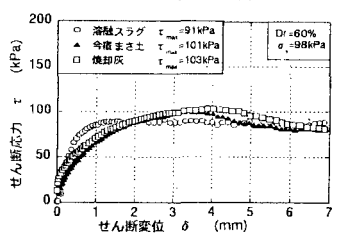


図-8 せん断変位とせん断応力の関係

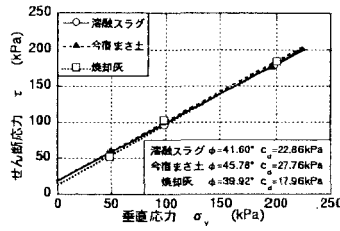


図-9 垂直応力とせん断応力の関係