

一般廃棄物熔融スラグ混合材料の材料特性と有効利用

福岡大学工学部 学生員 〇角 優子

福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一

福岡大学工学部 学生員 高尾 俊一郎

福岡大学工学部 正会員 島岡 隆行

1.研究目的 近年、一般廃棄物の熔融スラグ化は、最終処分場の延命の点から注目されており、熔融スラグの有効利用の研究が進められている。しかし、発生している熔融スラグの多くは、未だ有効利用されず埋立て処分されているのが現状である¹⁾。著者ら²⁾の研究によると、スラグ単体での地盤材料としての有効利用は粒径、締固め特性から考えると難しい事が示された。そこで、本研究では、土木材料として大量消費可能な埋戻し材、盛土材等の地盤材料としてのスラグの有効利用法の検討を行う。そこで、本研究で使用している熔融スラグが、単一粒径で締固め特性に欠けている事に着目し、細粒分の多いまさ土及び焼却灰を加えることで粒度調整による改善を行った。このスラグ混合試料の土質力学特性を把握するために、スラグ混入率の影響に着目し、各種試験を行った結果について報告する。

2.実験概要 実験に用いた試料は、炉乾燥させた熔融スラグ(水砕スラグ)、今宿まさ土及び物理選別された A 市の焼却灰をさらに 2mm のふるいにより粒度調整したものである。各試料の物理特性は、別報³⁾に示してあるので参照されたい。図-1、2 に実験試料の粒径加積曲線を示す。実験には、一面せん断試験装置を用い、圧密定圧せん断試験を行った。供試体は、スラグ混入率 $Sc=0, 25, 50, 75, 100\%$ の 5 種類の試料を、空中落下法及び振動法により相対密度 $Dr=40, 60, 80\%$ の 3 種類の密度になるように直径 $\phi=60\text{mm}$ 、高さ $h=20\text{mm}$ のせん断箱に作製した。実験は、鉛直荷重 $\sigma_v=49, 98, 196\text{kPa}$ の各々を載荷し、30 分の圧密を行った後、反力板側の荷重を一定に保ちながら、せん断ひずみ速度 0.2mm/min の条件で実験を行った。まさ土混合試料については、締固め試験も行った。実験に用いた供試体の初期状態を表-1 にまとめている。

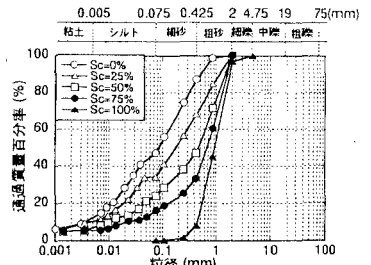


図-1 粒径加積曲線(スラグ+まさ土)

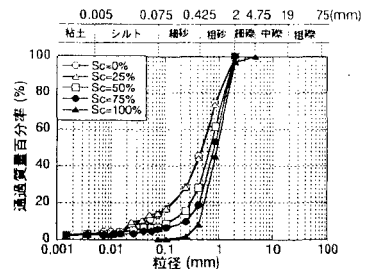


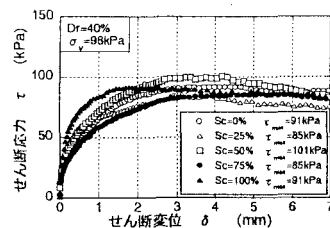
図-2 粒径加積曲線(スラグ+焼却灰)

表-1 目標と実際の相対密度

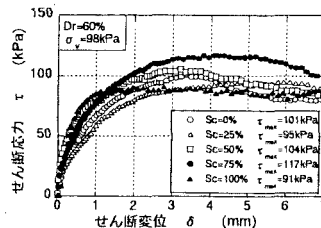
混合比	σ_v (kPa)	目標 Dr (%)	Dr (%) ます土	Dr (%) 焼却灰
$Sc=0$ (%)	98	40	39.7	—
		60	59.9	58.7
		80	79.7	—
$Sc=25$ (%)	98	40	39.8	—
		60	60.3	56.0
		80	80.0	—
$Sc=50$ (%)	98	40	40.1	—
		60	59.6	62.8
		80	79.9	—
$Sc=75$ (%)	98	40	39.6	—
		60	59.6	60.1
		80	79.8	—
$Sc=100$ (%)	98	40	42.7	—
		60	58.5	58.5
		80	79.0	—

3 実験結果及び考察

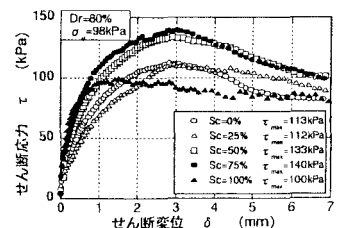
3.1 一面せん断特性 図-3 にまさ土混合試料、図-4 に焼却灰混合試料の各相対密度における鉛直荷重 98kPa 時のスラグ混入率の違いによるせん断応力とせん断変位の関係を示し、同時に最大せん断応力の値も示す。図-3 より、供試体密度の増加に伴って、せん断応力-せん断変位の関係に明確なピークが見られるようになる。また、スラグ混入率の増加に伴って、ピーク強度を示すせん断変位は小さくなっている。このピーク値をとる時のせん断変位が異なっていることから、スラグ混入率の違いによって試料の剛性が変化する事がわかる。図-4 より、スラグに焼却灰を混入することによりせん断応力が増加する事がわかる。また、スラグ混入率の増加に伴って、ピーク強度を示すせん断変位は小さくなっている。まさ土混合試料同様、スラグ混入率の違いによって試料の剛性が変化する事がわかる。そこで、図-5 に鉛直荷重 98kPa 時における各スラグ混入率の最大せん断応力についてまとめている。



(a) Scの違いによる影響(まさ土)



(b) Scの違いによる影響(まさ土)



(c) Scの違いによる影響(まさ土)

図-3 せん断応力とせん断変位の関係

る。Dr=40%の結果以外は、まさ土及び焼却灰混合試料いずれもスラグ混入率 $Sc=75\%$ で最も強度を得ている。また、Dr=80%のまさ土混合試料において、 $Sc=75\%$ では、スラグ単体よりも 40kPa の強度増加がみられた。図-6 にまさ土混合試料の Dr=60% 時におけるスラグ混入率 $Sc=25, 75\%$ の垂直応力とせん断応力の関係を示す。破壊包絡線から求まる内部摩擦角の最小と最大のものを示しているが、その差は約 14° である。また、図-7 に同一条件における焼却灰混合試料の破壊包絡線を示す。この結果においても、粘着力 c_0 は殆ど変わらないが、内部摩擦角 ϕ は最大 9° の差がある事がわかる。そこで、これらの強度定数 ϕ, c_0 とスラグ混入率の関係をまとめたものを図-8、9 示す。両図より、スラグ混入率の影響は主に、内部摩擦角 ϕ に現れる事が明かとなった。また、これらの結果は、スラグにまさ土、焼却灰を混合する事により、使用目的に応じて材料の強度特性を変動させる事も示している。

3.2 地盤材料としての適応性 図-10、表-2 にスラグ・まさ土混合試料の締固め曲線とその結果を示す。スラグ単体($Sc=100\%$)では、吸水性の悪い単一粒径であるため、水分の増加に伴う乾燥密度の増加がほとんどみられず、締固めが望めない材料である事がわかる。しかし、僅か 25%のまさ土を混入する事により、締固め特性は急激に変化している事がわかる。これは、締固めが困難な溶融スラグに今宿まさ土を混入することによって、締固め特性を改善することが可能であることを示している。以上の結果、スラグ混合材料の地盤材料への適応性考えると、せん断強度及び締固め特性の比較的良好な $Sc=50, 75\%$ の試料は、日本統一分類法によるとシルト混じり砂(SM)に分類される。また、各々最大湿潤密度 $\rho_{tmax}=2.04, 2.28\text{g/cm}^3$ 、内部摩擦角 $\phi=40^\circ \sim 50^\circ$ である。これらの値を盛土材の材料に関する基準³⁾ ($\rho_t=1.9\text{tf/m}^3$ 、 $\phi=30^\circ$)と比較すると、スラグ混合試料 $Sc=50, 75\%$ において盛土材料として使用することは十分可能であると考えられる。

4.まとめ スラグ混合試料において、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)スラグにまさ土及び焼却灰を混入する事により、力学特性を改善することができた。特に、スラグ中に細粒分の大きい土質材料を重量比で 25%程度混入すると良い事がわかる。
- (2)一面せん断時のスラグ混入量の違いによってピーク強度をとるせん断変位が異なり、剛性が変化する事がわかった。
- (3)溶融スラグ単体に粒度改善のため、まさ土及び焼却灰を重量比で 25~50%程度混入する事により、締固め特性が変化し、盛土材として有効利用が可能であると考えられる。

【謝辞】 本研究を行うにあたり、三井造紙(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 一般廃棄物の溶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、1998.3 2) 高尾一、一般廃棄物溶融スラグの土質力学特性 平成12年度土木学会西部支部研究発表会投稿中 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、pp118、1995.9

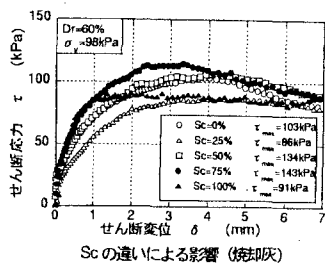


図4 せん断応力とせん断変位の関係

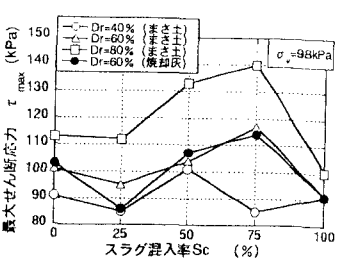


図5 スラグ混入率と最大せん断応力の関係

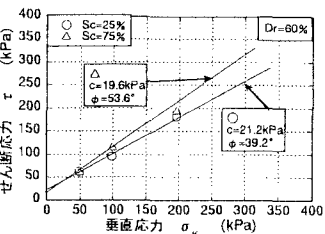


図6 垂直応力とせん断応力の関係 (まさ土)

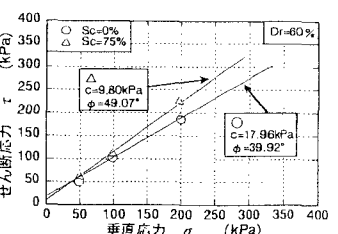


図7 垂直応力とせん断応力の関係 (焼却灰)

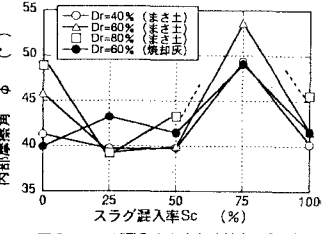


図8 スラグ混入率と内部摩擦角の関係

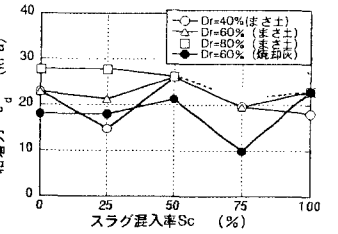


図9 スラグ混入率と粘着力の関係

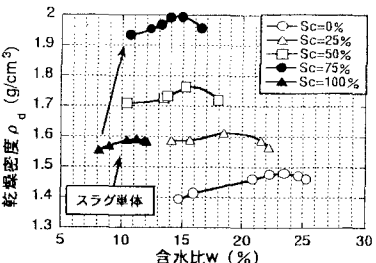


図10 締固め曲線

表2 最適含水比・最大乾燥密度、最大湿潤密度

試料名	Sc=0 (%)	Sc=25 (%)	Sc=50 (%)	Sc=75 (%)	Sc=100 (%)
ρ_{tmax}	1.48	1.61	1.76	2.00	1.59
ρ_{tmax}	1.89	1.92	2.04	2.28	1.77
w_{opt}	23.1	18.8	15.6	14.4	11.1