

一般廃棄物溶融スラグの力学特性

山口大学大学院 学生会員○伊藤満富 丸岡雄一郎
山口大学大学院 正会員 兵動正幸
山口大学工学部 正会員 中田幸男 吉本憲正

1. はじめに

一般廃棄物の排出量は年々増加し、焼却処理で減容化、安定化、無害化させたのち、焼却残さを埋め立て処分する方法が国土の狭い我が国では一般的な中間処理として行われ、焼却率は70%を超えている。それに伴い、ごみの適正処理のために必要な最終処分場の確保が困難になってきており、ごみの排出抑制、焼却による減量化を図ることが重要な課題となっている。そこで、高温条件下で有機物を燃焼、ガス化させるとともに無機物を溶融し冷却し、スラグ化する溶融固化技術が開発された¹⁾。スラグ化するメリットは、減容化とダイオキシン類や重金属類などの溶出が抑制される点にある。そのため、作製されたスラグは、道路用材、コンクリート用骨材等に有効利用されている。しかし、スラグを大量に消費できる地盤材料に有効利用するには、未知の部分が多い。そこで本研究は、一般廃棄物溶融スラグを地盤材料へ有効利用することを念頭に置き、地盤材料への適応性を判断するために、一連の力学試験を実施した。

2. 試料特性

本研究で使用した一般廃棄物溶融スラグは、焼却残さを熱分解溶融炉で溶融した後、冷却水によって急冷・固化し製造された水砕スラグ（以下スラグとする）である。表-1にスラグの物理特性を示す。写真-1にスラグ粒子の拡大写真を示す。これより、粒子形状が複雑で表面が角張っていることがわかる。スラグの粒度分布を豊浦砂、下関まさ土(以下まさ土)を比較して図-1に示す。細粒分が他の試料に比べて少なく、砂分とされる2mm~0.075mmの占める割合が大きい。締固め試験結果を図-2に示す。スラグは含水比15%までは密に締固めることができたが、それ以上はモールドから水があふれ出し、密度が大きくならなかったため、最大乾燥密度を得ることができなかった。

3. 一面せん断試験

地盤材料としてのせん断強度を求めることを目的とし、一面せん断試験を行った。試料はスラグを用い、締固め法にて供試体を作製した。初期相対密度を50, 70, 90%とし、変位速度0.2mm/min、垂直応力を50~200kPaの条件にて行った。図-3に代表的な結果としてスラグの応力比~垂直変位~せん断変位関係を示す。図には、初期相対密度50, 90%で $\sigma_v=50, 150\text{kPa}$ の各垂直応力下における結果を示した。応力比~せん断変位関係より、いずれの拘束圧も相対密度が低い方が初期の立ち上がりが緩やかであるが、ピーク応力比にはあまり差がないことがわかる。せん断変位~垂直変位関係では、相対

表-1. 物理特性

	原粒スラグ	下関まさ土	豊浦砂
$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.714	2.652	2.643
e_{max}	0.924	1.066	0.973
e_{min}	0.574	0.591	0.635
$e_{\text{max}}-e_{\text{min}}$	0.35	0.475	0.338
$d_{50}(\text{mm})$	0.858	1.19	0.2
U_c	5.144	14.579	1.2

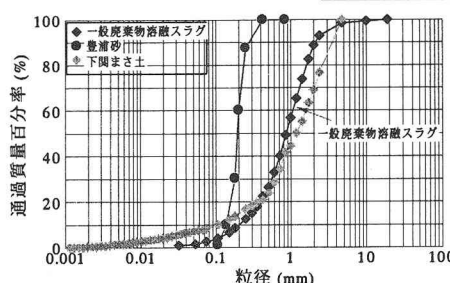


図-1. 粒度分布

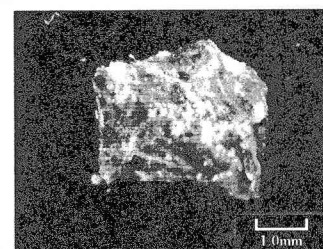


写真-1. 拡大写真

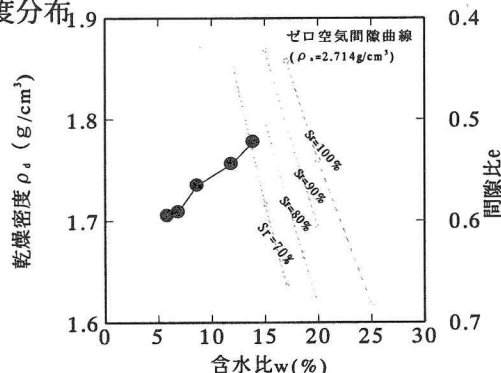


図-2. 締固め試験

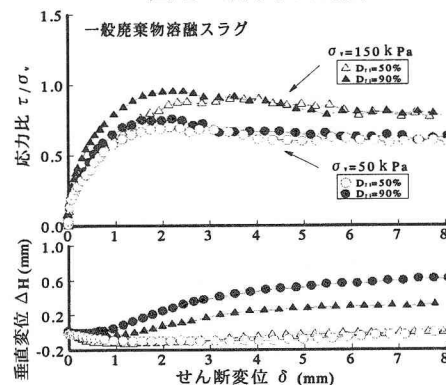


図-3. 応力比~垂直変位~せん断変

密度によって顕著に挙動がことなることが見て取れる。図-4 にせん断抵抗角 ϕ ～相対密度関係を示す。スラグは他の自然砂よりも高いせん断抵抗角を示した。

4. 透水試験

排水材として必要な透水性を把握するために透水試験を定水位透水試験によりおこなった。供試体を空中落下法により作製し、飽和させた後、供試体を通過した透水量を30分ごとに計測した。動水勾配 $i=1\sim3$ 、相対密度を50, 70, 90%, 拘束圧を10, 100, 200kPaと試験条件を変えておこなった。透水係数の平均値として動水勾配 $i=2$ のときの透水係数を代表的な値として図-5 に示した。透水係数は概ね $0.3\sim2.0 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ の範囲で得られ、豊浦砂と同等以上の高い透水係数を示した。これは豊浦砂などと同じように細粒分が少なく、粗砂に分類される粒径を多く含み、粒子形状も複雑なことから個々の粒子間の間隙が大きいことが原因と考えられる。

5. 二層透水試験

排水材として地盤中に存在する場合、長期間の通水における土粒子の目詰まりによる透水性の低下が懸念される。そこで、透水試験機を用いてスラグを排水材として想定し、地山試料としてまさ土を用いた二層透水試験を行った。供試体はまさ土を加圧機で締固めたものを下層に設置し、スラグは締固めたまさ土の上に空中落下法で作製した。供試体条件は、まさ土は先頭粒径を10mm, 4.75mm, 1.18mm となるように粒度調整をしたものを用い、初期乾燥密度を $\rho_{di}=1.54 \text{ g/cm}^3$ とし、拘束圧 $\sigma'_c=10 \text{ kPa}$ 、動水勾配 $i=3$ 、スラグ初期相対密度を $D_{ri}=90\%$ とした。図-6. は試験に用いた3種類のまさ土の粒度分布に、目詰まりが生じない粒度選定基準を当てはめたもので、都市公園技術標準解説書による基準において全てのまさ土の粒度分布、パイピング比においてはまさ土1.18mm 以下の粒度分布が目詰まりを起こさず、粒径比においては全てのまさ土の粒度分布が目詰まりを起こす結果となっている。

図-7 に二層透水試験の透水係数の経時変化を示す。10mm 以下は

継続的に透水係数が落ち続け、4.75mm 以下は計測初期における透水係数の下がり幅が他に比べ小さく目詰まりを起こすまでに時間を要しているが、図-5 の透水試験より得られた透水係数を用いて算出した理論値と比較すると実験結果の方が数値が小さいことから目詰まりが生じているといえる。1.18mm 以下においては100(min)を越えるとほとんど透水係数に変化がなくなり、これ以上の目詰まりによる透水性の低下はないと思われる。目詰まりによる透水性の低下があまり起こらないのは、1.18mm 以下であるが、4.75mm 以下が高い透水係数を最終的に保ち、覆土材として用いた場合、適していると思われる。

6. まとめ

試験結果をまとめると、豊浦砂以上の透水性を有しており、せん断強度の高い材料であることがわかった。二層透水試験においては、粒度選定基準における目詰まりを起こさないと示された粒度分布よりも、透水性を保つ粒度分布が明らかになった。

7. 参考文献 1) 財団法人 廃棄物研究財団：スラグの有効利用マニュアル pp. 9～11, 18 1999.

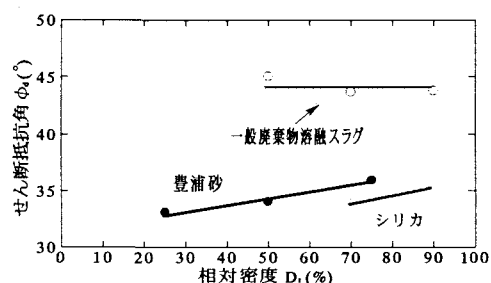


図-4. せん断抵抗角 ϕ ～相対密度関係

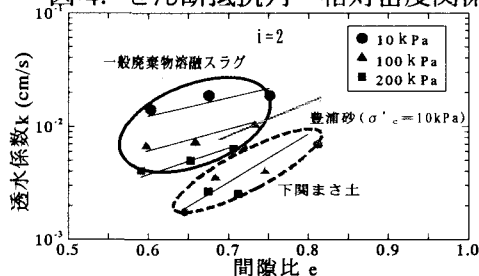


図-5. 透水係数と拘束圧の関係

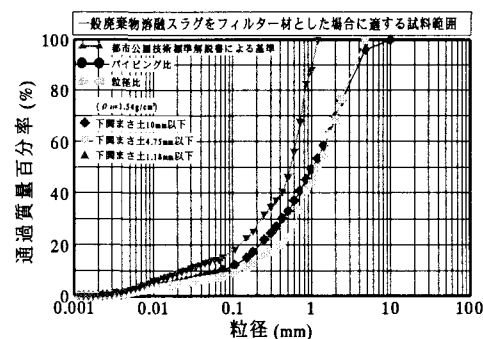


図-6. 粒度選定基準

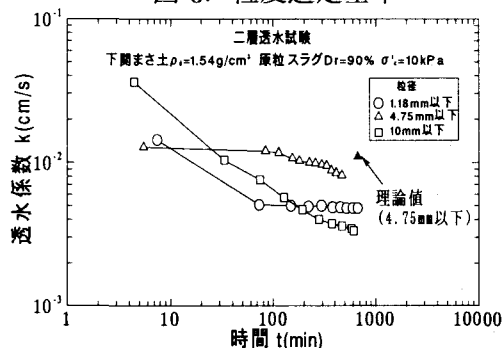


図-7. 透水係数の時間的変化