

下水汚泥から生成される溶融スラグの一面せん断試験結果の検討

前橋工科大学 学生会員○大澤 綾子
前橋工科大学 正 会 員 土倉 泰
前橋工科大学 学生会員 米山聡一郎

1. はじめに

近年地球環境への関心が高まるなかで、「リサイクル」という言葉を頻繁に耳にし、そして実際数多くのリサイクル製品が作られている。本研究ではリサイクル製品の一つである溶融スラグの性質を調べる。使用した材料は、下水汚泥の減量を目的として、市内下水処理場で生成された溶融スラグである。本文では物理的性質を検討するとともに一面せん断試験を行い、その結果を他の試料と比較検討する。

2. 物理的性質について

溶融スラグはガラス質で、棒状の粒子が混在しているが、大半は表面がとがって角張った形状の粒子からなる。種々の物理試験を行った結果、土粒子密度 $\rho_s = 2.75 \text{ g/cm}^3$ 、最大密度 $\rho_{d \text{ max}} = 1.56 \text{ g/cm}^3$ 、最小密度 $\rho_{d \text{ min}} = 1.32 \text{ g/cm}^3$ であり、また、粒度分析の結果、日本統一土質分類法によれば、粒度は砂質土に分類されることがわかった。溶融スラグのなかには、粒径 4.75 mm 以上の非常に大きな塊も含まれるが、質量百分率でおよそ 1% 未満と微量である。また、 0.075 mm より小さい粒子の含有率は非常に小さかった。そこで $0.075 \sim 4.75 \text{ mm}$ のもののみで最大密度と最小密度の試験を行った。本来 2 mm 以上の粒子が含まれる場合、JIS で定められた試験を行うことは適当ではないが、ここではこれを準用した。その結果を表 1 に示す。また表 1 には比較のため、豊浦標準砂とガラスビーズ（粒径 2 mm ）の土粒子密度 ρ_s 、最大密度 $\rho_{d \text{ max}}$ 、最小密度 $\rho_{d \text{ min}}$ を示す。

表 1 試料の物理試験結果

	土粒子密度 (ρ_s)	最大密度 ($\rho_{d \text{ max}}$)	最小密度 ($\rho_{d \text{ min}}$)
溶融スラグ	2.75	1.56	1.32
豊浦標準砂	2.64	1.65	1.33
ガラスビーズ	—	1.55	1.48

3. 一面せん断試験の方法

供試体の大きさは直径 5 cm で高さ 2 cm とした通常的一面せん断試験を行う。圧密応力 σ_c を 49.05 kPa 、 98.1 kPa 、 196.5 kPa の 3 種類でそれぞれについて 3 回ずつ行う。また、せん断変位がおよそ 8 mm になったところで、せん断を終了する。供試体の作成には空中落下法を用いた。また、溶融スラグについては、粒径 $0.075 \text{ mm} \sim 4.75 \text{ mm}$ の試料を使用する場合と 2 mm ふるいを通過した試料のみ用いる場合の 2 種類の試料を対象として試験を行った。上記 2 種類の呼び名称を表 2 の通りとする。特に、溶融スラグの供試体作成時には破碎が起らないように十分注意した。どの供試体を作成する場合も落下高さは小さくして、できるだけ緩く詰まるように心がけた。表 3 に相対密度を示す。

表 2 溶融スラグを用いた供試体の呼び名称

	呼び名称
$0.075 \text{ mm} \sim 4.75 \text{ mm}$ の試料	2 mm 以上含有
2 mm ふるいを通過した 0.075 mm 以上の試料	2 mm ふるい通過分

キーワード：一面せん断試験、溶融スラグ、相対密度、粒子破碎

連絡先：〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460-1

TEL. 027-265-7305

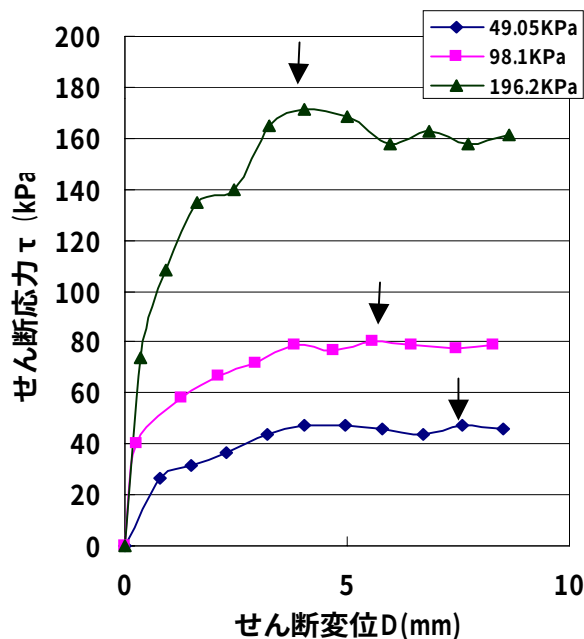


図1 溶融スラグ(2 mm以上含有)の応力-変位曲線

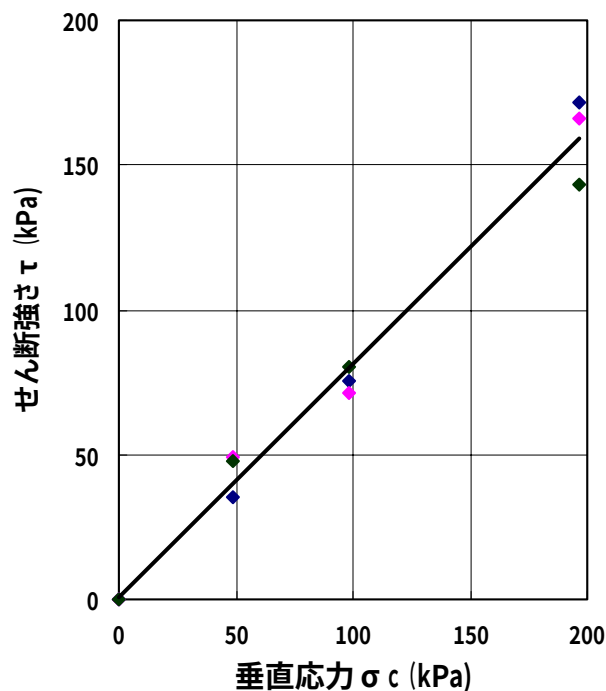


図2 溶融スラグ(2 mm以上含有)の強度

表3 各試料の乾燥密度とせん断強さ

試料	相対密度 D_r (%)	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	せん断強さ ϕ
2mm以上含有	-80	1.1~1.3	40 °
2mmふるい通過分	未計算	1.3~1.5	38 °
豊浦標準砂	3	1.4	35 °
ガラスビーズ	10~20	1.5	30 °

4. 一面せん断試験の結果

せん断強さ τ_f はせん断応力 τ が最終せん断変位までの最大値とし、せん断強さ τ_f と垂直応力 σ_c をプロットした直線の傾き(せん断抵抗角 ϕ) を求めその大きさを評価を行った。溶融スラグはガラス質である。質感の似たガラスビーズに類似した結果が現れると推測した。実際には図1で示すように溶融スラグは最終せん断変位に至るまでにせん断応力 τ が大きく変動した。このような変動はガラスビーズにおいてより顕著に見られた。強度は図2のようになりに大きくなった。豊浦標準砂、ガラスビーズのせん断強さ、相対密度、乾燥密度については表3に示す。溶融スラグは他の2つと比べると相対密度が非常に小さく作成したにも関わらず、最も大きなせん断抵抗角 ϕ を得た。また、2 mmふるい通過分についても乾燥密度が小さいにも関わらず、せん断強さは大きくなった。溶融スラグの粒子は角張っており、それらがせん断されるとき、粒子間の摩擦の効果というよりも粒子の噛み合わせの効果が大きいため、ガラスビーズや豊浦標準砂より大きなせん断抵抗角を得たと考えられる。本研究では試料をできる限り緩く詰めた供試体に対するせん断を行ったが、比較的大きなせん断強さが得られた。

5. おわりに

下水汚泥から生成される溶融スラグのせん断強さを検討するにあたり、圧密定体積一面せん断試験を行った。相対密度 D_r や乾燥密度 ρ_d をあえて低く設定したにも関わらず、大きなせん断強度が得られた。これは溶融スラグの角張った粒子形状のためであろう。この溶融スラグは、埋め戻し材料として適していると考えられる。