

溶融スラグと砂の液状化特性の違いについて

明星大学 理工学部 正会員 矢島 寿一
元明星大学 理工学部 渡邊 大樹

1. はじめに

清掃工場から排出される溶融スラグは廃棄物や下水汚泥の焼却灰等を 1300°C以上の高温で溶融したものを冷却し固化させたものである。現在、溶融スラグはコンクリート細骨材として有効利用されているほか、地盤材料として使用される場合もあるが、コンクリート細骨材として利用される量に比べると非常に少ない。地盤材料として使用される場合にも溶融スラグ単体として再利用されるよりも他の建設発生土と混合して利用されることが多い¹⁾。溶融スラグは砂と同様な粒径を持っており、地盤材料として使用する場合には地震時の液状化の問題を指摘されることが多い。そこで本論文では、単体の溶融スラグに対して繰返し三軸圧縮試験(液状化試験)を行い、溶融スラグの液状化特性を検討するとともに、珪砂6号に対しても液状化試験を行い、溶融スラグと珪砂6号との液状化特性の比較を行った。

2. 使用材料

本研究で使用する材料は、溶融スラグと標準砂に粒径分布の近い珪砂6号を使用した。表-1に各試料の物性値を示す。表より間隙比は溶融スラグの方が珪砂6号より小さく、溶融スラグの方が珪砂6号より間隙の量が多いことがわかる。

表-1 各試料の物性値

	密度 ρ_s (g/cm ³)	最大間隙比 e_{max}	最小間隙比 e_{min}
溶融スラグ	2.84	0.77	0.39
珪砂6号	2.65	0.92	0.64

溶融スラグと珪砂6号の粒径加積曲線を図-1に示す。図から溶融スラグと珪砂6号を比較すると、粒径0.075mmから粒径0.425mmの間では、溶融スラグの方が粒子の量が多いが粒径0.425mmから粒径2mmの間では粒子の量はあまりかわらない。

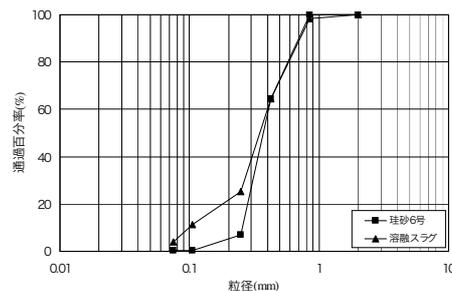


図-1 粒径加積曲線

3. 試験方法

本実験の供試体は直径50mm×高さ100mmの円柱供試体で、供試体を3層に分け、突固めながら相対密度(Dr)=80%になるよう作製した。圧密は有効拘束圧(σ'_c)=100kPaで行った。圧密終了後、有効拘束圧(σ'_c)は変化させずに非排水状態で一定の応力で繰返し載荷試験(液状化試験)を行った。載荷周波数はsin波0.1Hz一定とした。

4. 試験結果

(1)時刻歴

液状化試験時の珪砂6号の繰返し応力比($\sigma_d/2\sigma'_c$)=0.475を図-2に、溶融スラグの繰返し応力比($\sigma_d/2\sigma'_c$)=0.468を図-3に示す。各図中には、両振幅軸ひずみ(DA)=3%に達した点を△でプロットしている。これらの図から、溶融スラグと珪砂6号では与えられた繰返し応力比($\sigma_d/2\sigma'_c$)はほぼ等しいが軸ひずみ(ϵ_a)、過剰間隙水圧比($\Delta u/\sigma'_c$)がDA=3%に達するまでの繰返し回数(N_c)に違いがある。すなわち、珪砂6号では軸ひずみ(ϵ_a)は、繰返し載荷初期にDA=3%に達し、その波形は繰返し載荷とともに振幅が大きくなっている。そして、過剰間隙水圧比($\Delta u/\sigma'_c$)は、繰返し載荷初期より $\Delta u/\sigma'_c=0.95$ に至っている。これに対し、溶融スラグでは軸ひずみ(ϵ_a)は、過剰間隙水圧比が $\Delta u/\sigma'_c=0.5$ 以上となる頃より大きくなり始め、これ以降徐々に大きくなり、両振幅軸ひずみ(DA)がDA=3%に達する。そして過剰間隙水圧比($\Delta u/\sigma'_c$)は繰返し載荷とともに徐々に拘束圧付近まで上昇し、 $\Delta u/\sigma'_c=0.95$ に至っている。以上のことから溶融スラグは珪砂6号に比べ液状化しにくいことがわかった。

(2)珪砂6号と溶融スラグの液状化強度

図-4に溶融スラグと珪砂6号の両振幅軸ひずみ(DA)=3%の繰返し応力比($\sigma_d/2\sigma'_c$)と繰返し回数(N_c)の関係を示す。これより、溶融スラグと珪砂6号ともに、繰返し応力比($\sigma_d/2\sigma'_c$)は繰返し回数(N_c)が増加するほど低下してい

Key Word : 溶融スラグ, 珪砂6号, 液状化特性

〒191-8506 東京都日野市程久保 2-1-1、Tel. & Fax. 042-591-9649、E-Mail, j-yajima@ar.meisei-u.ac.jp

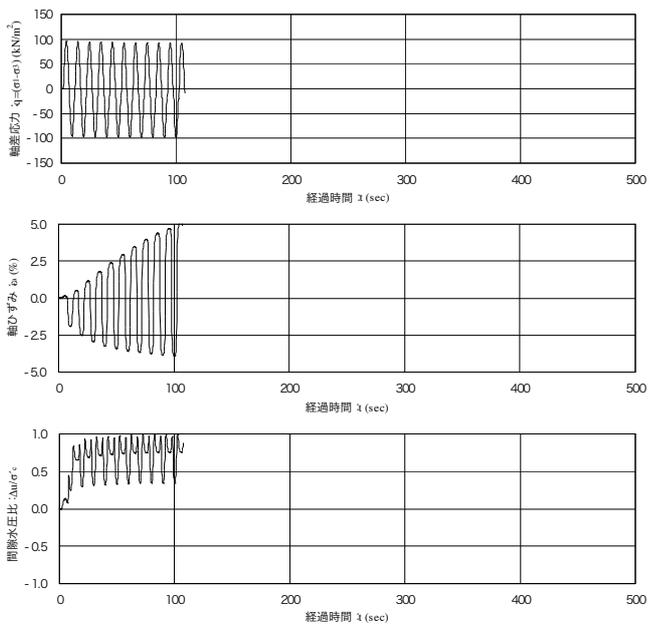


図-2 珪砂6号の時刻歴図($\sigma_d/2\sigma'_c=0.475$)

ることがわかる。そこで繰返し回数(N_c)が $N_c=20$ 時の繰返し応力比($\sigma_d/2\sigma'_c$)を液状化強度とし着目してみると、熔融スラグでは $\sigma_d/2\sigma'_c=0.54$ 、珪砂6号では $\sigma_d/2\sigma'_c=0.34$ であり、熔融スラグは珪砂6号に比べ液状化強度が高いことがわかる。

(3)液状化強度の違いの要因

熔融スラグ、珪砂6号に対し静的三軸試験を行った時の軸差応力($\sigma_1-\sigma_3$)と軸ひずみ(ϵ_1)の関係を図-5に示す。図より熔融スラグの方が珪砂6号よりも軸差応力の最大値が大きく、静的三軸試験でも液状化強度と同様に熔融スラグの方が強度的に強い結果となった。また、熔融スラグ、珪砂6号を倍率150倍の電子顕微鏡で撮影したものを写真-2に示す。これより熔融スラグは表面が滑らかで、珪砂6号は表面がザラザラしており、粒子間の接触を考えた場合、珪砂6号の方が液状化強度は高くなるものと考えられる。しかし、図-1に示す粒径加積曲線からも解るように、熔融スラグは珪砂6号に比べ細粒分が多く、粒子間に細粒分が存在するため、間隙比が小さくなり粒子間の接触を密なものにするため液状化強度を高めていると考えられる。

5. まとめ

今回の試験結果をまとめると以下の通りである。

(1)熔融スラグでは珪砂6号に比べ、両振幅軸ひずみ(DA)=3%と過剰間隙水圧比($\Delta u/\sigma'_e$)=0.95に至るまでの繰返し载荷回数が多く、液状化しにくいことが判明した。

(2) $DA=3\%$ で繰返し回数(N_c)=20回時の繰返し応力比($\sigma_d/2\sigma'_c$)を液状化強度として着目してみると、熔融スラグは $\sigma_d/2\sigma'_c=0.54$ 、珪砂6号は $\sigma_d/2\sigma'_c=0.34$ であり、熔融スラグの方が液状化強度は高い。

(3)熔融スラグの液状化強度を高めた要因は、珪砂6号よりも細粒分が多く含まれていることから、間隙比を小さくしているためと考えられる。

【参考文献】1)例えば、矢島寿一、二宮健太：清掃工場から発生する熔融スラグと粘性土を混合した混合土のせん断特性，第50回地盤工学研究発表会、2015.9.(登校中)

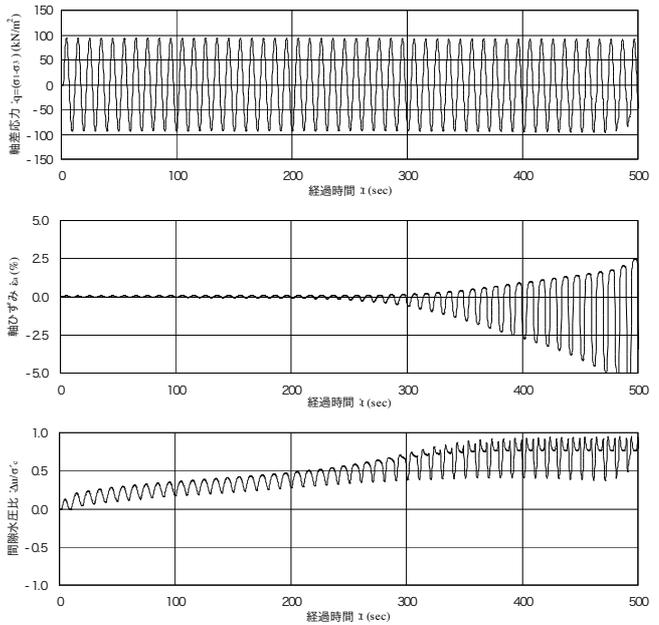


図-3 熔融スラグの時刻歴図($\sigma_d/2\sigma'_c=0.459$)

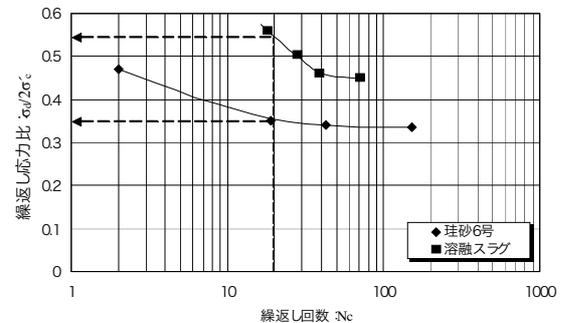


図-4 繰返し応力比と繰返し回数の関係

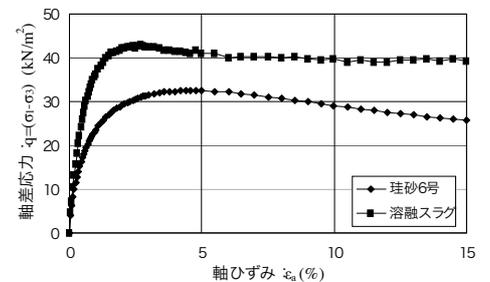


図-5 静的三軸試験結果(CD-Test)

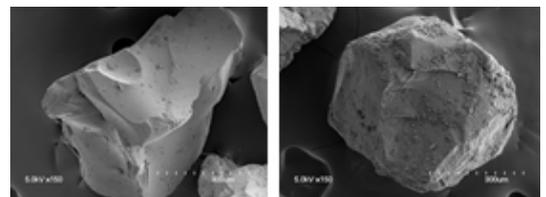


写真-1 熔融スラグ

写真-2 珪砂6号