

群馬大学大学院 真崎和子

日建設計 中瀬研究所 片桐雅明 片上典久 斎藤邦夫

1. はじめに

地震によって引き起こされる被害の一つである液状化は、沿岸埋め立て地のような細粒土と砂質土が混在した地盤でも起こる。これらの細粒土が混入した砂質土の液状化特性については多くの研究者が取り組み、その挙動についてはある程度明らかになりつつあるが、また明確な評価は得られていない。そこで今回は、まさ土を起源とした鉱物粒子を含む兵庫県南部地震で発生した液状化に伴い発生した噴砂試料とシリカ系鉱物が大部分を占める試料を用い、粒度の違い、細粒分の量及び種類に着目して液状化特性を調べたので報告する。

2. 試料及び試験方法

実験には、同一鉱物からなる試料として珪砂A8号、珪砂7号（細砂と呼ぶ）と多種鉱物を含むと考えられる六甲アイランドの噴砂跡から採取した試料R-6、R-7（噴砂と呼ぶ）を用いた。それらの物理的性質を表-1に、粒度試験の結果を図-1、図-2に示す。

珪砂7号は豊浦砂と同様な粒度で似たような物理的性質を示している。珪砂A8号は平均粒径が豊浦砂の約半分であり、細粒分は4割近くに達しているが、そのほとんどはシルト径の粒子である。

噴砂の採取位置はまさ土を埋め立てた六甲アイランドの北部で、試験に用いたR-6、R-7の2試料ともその色合いからまさ土を起源としているとみなせた<sup>1)</sup>。R-6は50%程度、R-7は40%程度を細粒分が占め、しかも両者は20%程度の粘土径の粒子を含有している。

細砂および噴砂の供試体作製法は、空中落下法を用いた。細砂については相対密度が50%となるように、噴砂では $\rho_d = 1.15 \text{ gf/cm}^3$  となるように、落下高さを変えて三軸供試体（ $\phi 50 \times 100 \text{ mm}$ ）を作製した。供試体の飽和には二重飽和方法を用い、試験時の背圧を $2.0 \text{ kgf/cm}^2$  とした。これにより三軸供試体のB値は0.96以上が得られた。圧密は等方応力条件下で行い、その有効拘束圧 $\sigma_c$ を $1.0 \text{ kgf/cm}^2$  とした。非排水繰返し過程で油圧サーボシステムを用いて、周期0.1 Hzの正弦波の繰返し軸荷重を圧縮側から連続的に加えた。

3. 試験結果および考察

図-3、図-4に両振幅ひずみ $DA = 5\%$ としたときの細砂および噴砂の繰返し応力比と繰返し回数との関係を示す。図-3には、参考のため $D_r = 50\%$ の豊浦砂のデータも加えた<sup>2)</sup>。珪砂7号、珪砂A8号、 $D_r = 50\%$ の豊浦砂では、繰返し回数20回での繰返し応力比は、0.135~0.155の非常に狭い範囲にあり、しかも液状化強度曲線の形状もよく似ており、粒径の違いによる差はほとんど見られない。一方、図-4の噴砂では、細粒分の混入率が大きいR-6の液状化抵抗はR-7よりも大きくなっており、粒径および細粒分の混入量の影響が現れている。

図-5に、珪砂7号を用いて行った実験結果を液状化判定基準として、 $DA = 1, 5, 10\%$ としたときの液状化強度曲線を示す。ゆる詰めであるため、供試体の変形はほとんどの実験で1波目で $DA$ は増加するが、繰返し振幅応力比が一番小さい場合には、 $DA = 5\%$ に達するまでに60回以上の繰返し回数が必要となっている。

表-1 物理性質

	土粒子密度	$e_{max}$	$e_{min}$	均等係数 $U_c$	D50
珪砂7号	2.639	1.197	0.667	1.54	0.162
珪砂A8号	2.655	1.333	1.136	2.66	0.08
豊浦砂	2.654	0.992	0.609	1.34	0.178
噴砂R-6	2.641	-	-	49	0.046
噴砂R-7	2.653	-	-	98	0.087

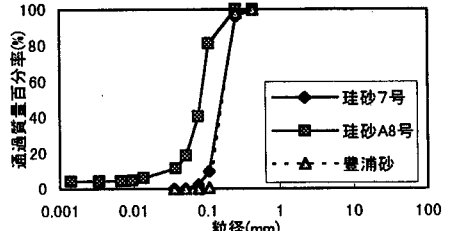


図-1 粒径加積曲線(細砂)

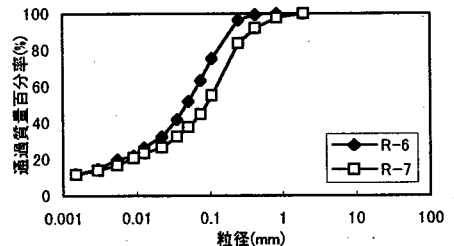


図-2 粒径加積曲線(噴砂)

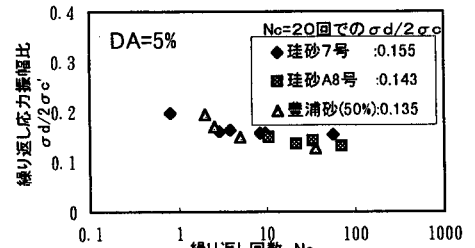


図-3 細砂の液状化抵抗

繰り返し回数と発生したDAの関係を詳しく見るために、各DA一定の液状化強度曲線が繰り返し回数20回での繰り返し応力振幅比(この場合には0.155)と交わるときの繰り返し回数を求め(図-5参照)、縦軸に軸ひずみ、横軸に繰り返し回数を取り、変形の進行挙動を調べる。図-6に $D_r=50\%$ の豊浦砂と珪砂の結果を示す。すべての図は $DA=5\%$ で繰り返し回数20回のポイントを通ることとなる。参考のために、 $D_r=80\%$ の豊浦砂のデータ<sup>2)</sup>も示す。この図では、各関係の傾斜が問題となる。 $D_r=50\%$ の豊浦砂および鉛直に立ち上がり、ある回数でひずみが急増し、破壊に至ることを示している。一方、 $D_r=80\%$ の関係は45度の傾斜を有し、繰り返し回数とともに変形が増加している。

珪砂の場合は、両材料とも $DA=1\%$ にはすぐに達し、その後 $DA=5\%$ に達するまでにかかなりの繰り返し数が必要となることを示している。さらに $DA$ が10%に至るまでの挙動は、珪砂A8号は $D_r=50\%$ の豊浦砂と同程度に急増しているが、豊浦砂と同じ物性値を持つ珪砂7号は、珪砂A8号よりも繰り返し回数が必要となることを示している。この $DA=5\%$ から10%に至るまでの挙動は、若干ではあるが、細粒分が少ない粒径大きい珪砂7号の方が液状化抵抗が大きいと判断できる。

図-7に、R-6およびR-7に対する図-6と同様の関係を示す。細粒分を多く含むR-6の関係は鉛直に近く、細粒分が比較的少ないR-7はゆるづめ砂特有の $DA=1\%$ に至るまでの回数が少なく、そこから $DA=5\%$ に達するまでは緩やかな曲線を示している。しかし、 $DA=5\%$ から10%に至るまでは、R-6よりも変形は急増したことになる。この $DA=5\%$ から10%に至るまでの図-6と図-7の違いは、細粒分の混入量や粒径の違いに対して矛盾した結果を示している。この理由として次のようなことが考えられる。珪砂の細粒分はシリカ砂微粉末でほとんど不活性のシルト径の粒子であると考えられるのに対し、まさ土は20%程度の粘土径粒子を混入しており、しかも風化過程を経ているので、多くの粘土鉱物も混入しているものと考えられる。珪砂A8号の液状化抵抗がそれよりも粒子径が大きく、しかも細粒分を含まない同質の砂の液状化強度よりも小さいことは、その細粒分の不活性さが影響したものと考えられる。また、今回細砂では $D_r=50\%$ を、噴砂では $\rho_d=1.15 \text{ g/cm}^2$ を目標に供試体を作成したが、この範囲の密度では細粒分の影響よりも密度が液状化抵抗を大きく支配していることも推測され、今後密度を変えた実験を行うことが明要かと考えられる。

#### 4. まとめ

単一鉱物からなる細砂と多鉱物から構成されると考えられる噴砂を用いて、ゆる詰め状態での液状特性を調べ、細粒分の量だけでは液状化特性の違いを説明できないことがわかった。その理由として、細粒分の性質が関係していることも示唆された。今後は細粒分を、その量だけでなく鉱物の種類という視点からの検討も必要と考えられる。

[参考文献] (1) 片上ら(1995): 液状化で噴出した砂の物理特性(兵庫県南部地震による災害)、第30回土質工学会研究発表会概論集, pp67-68. (2) 安田進(1988): 液状化の調査から対策工まで、鹿島出版会, pp55-57.

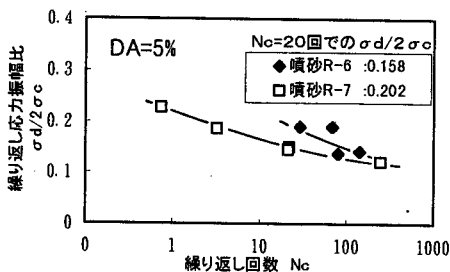


図-4 噴砂の液状化抵抗

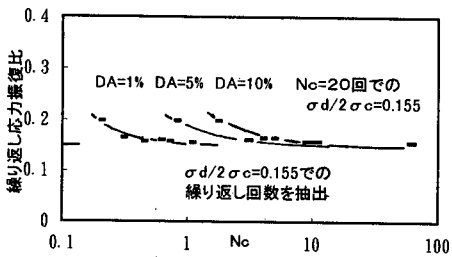


図-5 各DAを液状化判定基準にした珪砂7号の液状化抵抗曲線

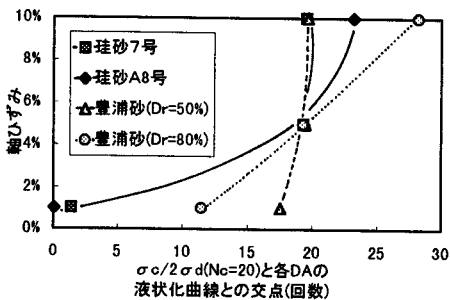


図-6 回数と軸歪みの関係(細砂)

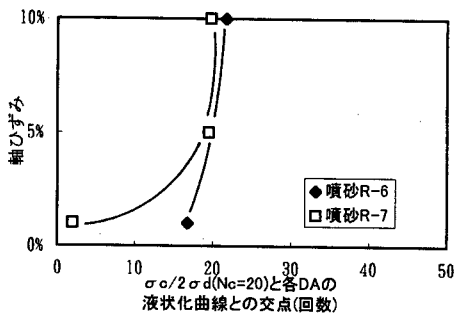


図-7 応力比と軸歪みの関係(噴砂)