

# (Ⅲ-1) 細砂の液状化試験

日建設計 中瀬土質研究所 正会員 ○中村明彦 片桐雅明 大石幹太

## 1. はじめに

砂地盤の液状化に関する研究は、要素試験はもとよりモデル実験、数値シミュレーションなど幅広い分野で活発に行われている。最近、小型模型でも実地盤の応力状態を再現できる遠心模型装置が導入され、遠心力場での振動台実験(例えば文献1)も行われ始めた。通常、遠心模型地盤の作製には換算粒径を小さく抑えるために細砂が用いられる。このため遠心力場での液状化挙動をより克明に解析するためには、相似粒度で粒径が異なる材料の液状化特性を明確しておく必要がある。そこで、本研究では相似粒度を有する異なる砂の液状化特性を把握するための第1段階として、細砂の繰返し非排水三軸試験を行ったので報告する。

## 2. 試料および試験方法

実験に用いた試料は硅砂A8号で、その物理的性質を表-1に示す。今回用いた試料と豊浦砂と比較すると、平均粒径で約半分、均等係数で約2倍の違いがある。

相対密度が50%となるように、矩形断面(1.5×15mm)を持つノズルから一定高さ(650mm)のもとで試料を自由落下させ、三軸供試体(φ50×h100mm)を作製した。

供試体の飽和には、二重負圧方法<sup>2)</sup>を用い、さらに試験時の背圧を3 kgf/cm<sup>2</sup>とした。これにより0.96以上のB値が得られた。圧密は等方圧密で有効拘束圧 $\sigma'_c$ を2 kgf/cm<sup>2</sup>、圧密時間を30分間とした。ここで、 $\sigma'_c$ を2 kgf/cm<sup>2</sup>としたのは繰返しせん断時の軸ロッドの摩擦を相対的に軽減するためである。

非排水繰返し過程では、油圧サーボシステムを用いて、正弦波形の繰返し軸荷重を周期0.1Hzで圧縮側から連続的に加えた。また繰返し軸荷重の片振幅値 $\sigma_a$ は0.47~0.6 kgf/cm<sup>2</sup>とした。行った実験では、圧縮荷重の片振幅と伸張荷重のその和の変動が3%以下、およびそれらの比が0.97~1.03の範囲にあり、「土の繰返し非排水三軸試験方法」の基準<sup>2)</sup>を満足していた。

## 3. 細砂の液状化特性

図-1に $\sigma_a=0.6$  kgf/cm<sup>2</sup>の実験結果を示す。(a)図は軸差応力、(b)図は軸ひずみ、(c)図は過剰間隙水圧の時刻歴を示している。軸ひずみが5%を越える付近から、加えた軸荷重に多少乱れは認められるが、全体を通して入力波は正弦波形と見なせる。過剰間隙水圧は加えた軸荷重と同位相の変動をしながら徐々に増加し、ある時点dから急増加して、有効拘束圧にはほぼ等しい値に達している。軸ひずみは繰返し回数10回から急激に増加し、ゆる詰め砂の特徴を呈している。

図-2に有効応力経路を示す。ここで横軸は平均有効拘束圧 $p'=(\sigma'_1+2\sigma'_3)/3$ 、縦軸は軸差応力 $q=\sigma'_1-\sigma'_3$ である。また三軸CD試験で得られた $\phi_a$ から算出した破壊線(FL)も示した。(p', q)点は繰返し載荷とともにa-b-cと移動し、伸張側の破壊線と考えられる応力状態付近dに達したときに、それまでの経路とは異なる挙動、すなわち破壊線に沿って原点に戻る経路e-oを示し、その後、f-o-gのように圧縮伸張両側のFLに沿って移動した。

軸ひずみ~軸差応力関係(図-3)も典型的な形状を示し、伸張側から破壊に至っている。各ポイントは図-1, 2の

表-1 試料の物理的性質

	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$D_{50}$ (mm)	$U_c$	$e_{max}$	$e_{min}$
硅砂	2.652	0.100	2.93	1.333	1.136
豊浦砂	2.654	0.175	1.38	0.992	0.609

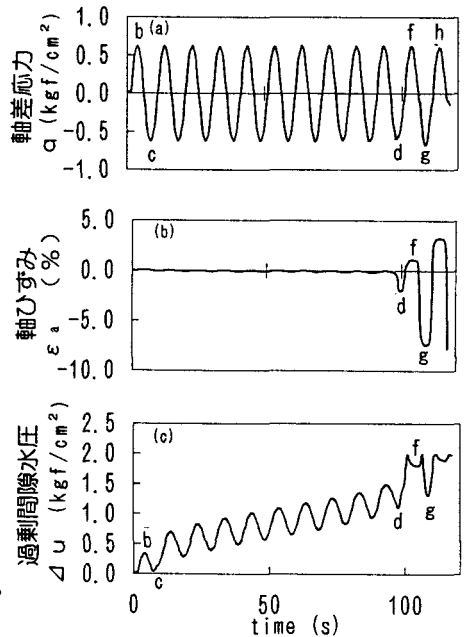


図-1 代表的な測定例

それと対応している。

液状化を両振幅 $DA=5\%$ と定義して、液状化応力比～繰返し回数関係をプロットしたものが図-4である。同図には硅砂8号を用いて行った液状化試験結果<sup>1)</sup>(□)および相対密度64%・直径5cmの豊浦砂供試体に対して行った一斉試験の結果<sup>2)</sup>(範囲で示す)、および相対密度50%の豊浦砂供試体の結果<sup>3)</sup>(△)も示してある。今回行った結果(■)は、一般に言われている液状化応力比～繰返し回数曲線と同様の形状を示し、豊浦砂の一斉試験の下限に位置した。また $Dr=50\%$ の豊浦砂(△)と比較すると、今回用いた試料の方が若干上方に位置しているが、この差は誤差範囲にあり、同程度の液状化曲線と見なせる。さらに、同じ試料を用いている柴田らの結果<sup>1)</sup>と比較すると、相対密度の違いのため本研究で得られた結果はやや下方に位置しているものの、その差はほとんどなく、豊浦砂の場合と異なっている。これは試料の違いによるものと考えられる。

図-5に過剰水圧消散時の圧縮係数 $m_v=(\Delta V/V)/\Delta \sigma_v'$ ～有効応力比 $Re=(\sigma_v'-u_e)/\sigma_v'$ 関係を示す。図中には八木が新潟砂( $Dr:40\sim60\%$ )を用いて行った結果<sup>4)</sup>も同様に示す。今回のデータ(■)は4点と少ないが、八木が行った範囲にあり、過剰間隙水圧消散時の圧縮性に及ぼす試料の違いは少ないものと考えられる。

#### 4. まとめ

$D_{50}=0.1mm$ の細砂の繰返し非排水三軸試験を行い、豊浦砂等の液状化特性と比較・検討した。細砂の液状化強度曲線は、よく知られている形状を呈し、相対密度が等しい豊浦砂のそれと同程度となった。過剰水圧消散時の体積変化は、試料の違いにあまり影響されないような傾向を示した。

今後、同条件下でのデータを蓄積すると共に、低拘束下での液状化特性や異なる密度での液状化特性、および液状化特性に及ぼす粒子径の影響、さらに間隙流体の粘性を変えた場合の液状化特性など、遠心場での振動台実験に関わる基礎研究を行うつもりである。

[謝辞] 本研究を遂行するにあたって、本研究所斎藤・角南両主任研究員および片上研究員から多くの助言を受けた。

[参考文献] (1) 柴田ら(1991):遠心力場における飽和砂地盤の液状化実験,第26回土質工学研究発表会概要集, pp. 1045-1048. (2) 土質工学会編(1990):土質試験の方法と解説, pp. 421-450. (3) 土岐ら(1986):Cyclic undrained triaxial strength of a sand by a cooperative test program,土質工学会論文報告集, Vol. 26, No. 3, pp. 117-128. (4) 八木(1972):繰返しせん断による砂の体積変化と過剰間隙水圧,第7回土質工学研究発表会概要集, pp. 297-300.

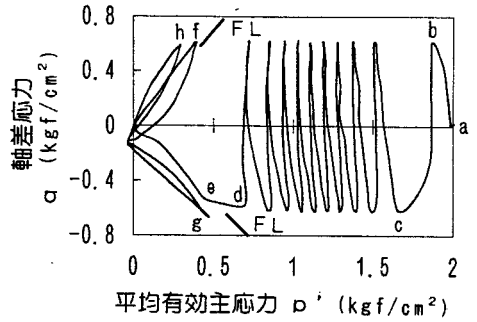


図-2 有効応力経路

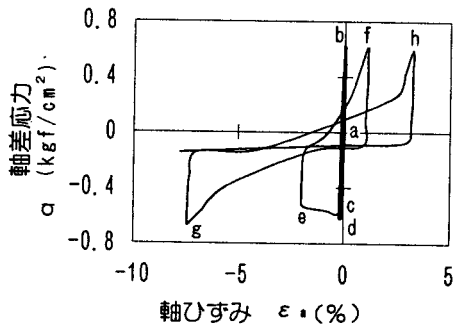


図-3  $\varepsilon_a \sim \sigma_a$ 関係

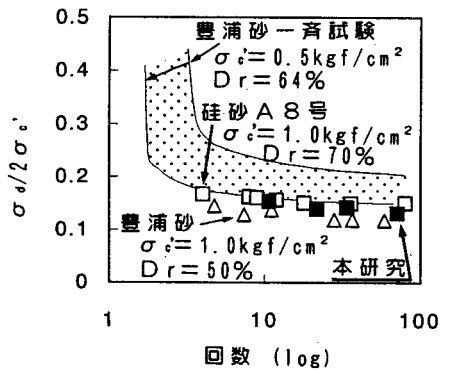


図-4 各試料の液状化抵抗

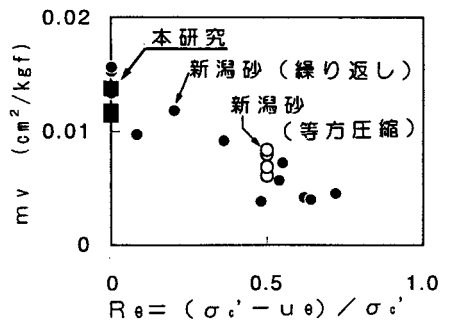


図-5 過剰水圧消散時の体積変化