

横浜国立大学大学院 学生会員 ○佐藤 一也

横浜国立大学工学部 正会員 プラダン・テージ

1. はじめに： 地震時の液状化現象に起因した地盤災害の一つに、初期せん断を受けた地盤が液状化によって軟化し広い範囲にわたって流動する永久変位という現象がある。永久変位のような地盤災害を検討するにあたっては、液状化後、あるいは液状化過程での地盤の強度低下を定量的に把握しておく必要がある。しかし、これまで行われてきた研究は、豊浦砂のような細粒分を含まないきれいな砂に関するものであり、細粒分を含む砂の液状化後、あるいは液状化過程の強度・変形特性は未だ解明されていない。本研究では、細粒分を含んだ砂に対して繰返し三軸試験を行い、液状化にともなう剛性の低下に関する検討を行った。

2. 試料および実験方法： 試料には細粒分を全く含まない豊浦標準砂、細粒分を含む浅間山砂、成田砂を用いた。試料の物理的性質を図1に示す。試験機には繰返し三軸試験機を用い、非排水繰返しせん断を行った後非排水条件のままで静的せん断を行った。繰返しせん断は周波数0.1Hz、有効拘束圧0.5kgf/cm²、静的せん断はせん断速度15%/minのひずみ制御とした。なお繰返し回数は20波に固定し、繰返し応力比を変えることによって過剰間隙水圧比0.0~1.0の範囲で各試料5ケース行った。供試体は高さ15cm、直径7.5cmで、空中落下法によって相対密度50%となるように作製した。

3. 結果および考察： 図2~図4に、繰返しせん断後の静的せん断試験から得られた応力~ひずみ関係を示す。これらから過剰間隙水圧が増加するにつれて、応力~ひずみ曲線が右に傾くことがみてとれる。また、豊浦砂においては液状化によって失われた抵抗力が急激に回復しているのに対し、細粒分を含む砂においては徐々に応力が回復している。ただし応力の回復が始まるまでのひずみ量は、豊浦砂よりも細粒分を含む砂の方が小さい。

液状化過程における砂の変形を定量的に把握するため、剛性低下率 E_1/E_0 。（ただし、 E_0 ：繰返しせん断を行っていない供試体のひずみレベル0.1%での割線係数、 E_1 ：液状化後の供試体のひずみレベル0.1%~1.0%の割線係数）が定義されている。")

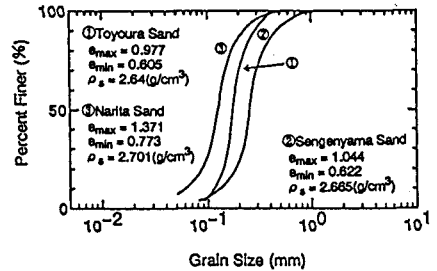


図1 粒径加積曲線

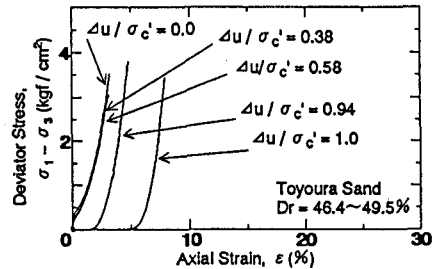


図2 応力~ひずみ関係（豊浦砂）

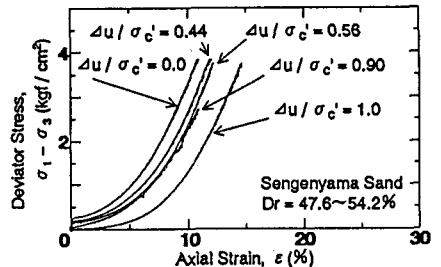


図3 応力~ひずみ関係（浅間山砂）

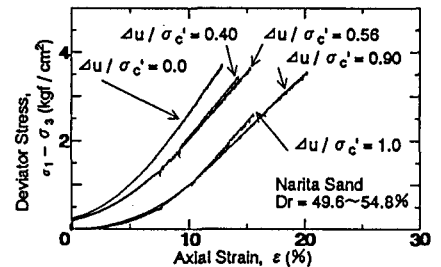


図4 応力~ひずみ関係（成田砂）

図5に、浅間山砂の剛性低下率と過剰間隙水圧比の関係を示す。剛性は水圧の増加にともなって緩やかに低下するが、水圧比が1.0に近づくと急激に低下している。さらに図6には、各試料の液状化の進行にともなう剛性低下率の変化を示す。ただし、 E_1 のひずみレベルは1.0%とした。これらを比較すると、過剰間隙水圧比が0.5より小さい段階では、豊浦砂の剛性は浅間山砂、成田砂に比べてあまり低下してこない。しかし、過剰間隙水圧が0.5より大きくなり1.0に近い値になると、豊浦砂の剛性が最も顕著に低下しており、細粒分を含む砂の剛性は豊浦砂に対してより大きな水圧比段階において急激に低下する。これは細粒分を含む砂が粘性を発揮したためと考えられる。過剰間隙水圧比1.0での剛性低下率は豊浦砂が約1/500、浅間山砂が約1/150、成田砂が約1/250であり、豊浦砂の剛性が最も大きく低下している。

図7には、ひずみレベル1.0%、3.0%、10%のときの軸差応力と過剰間隙水圧比の関係を浅間山砂について示す。この図から、一定の応力では、水圧比が大きくなるほどより大きなひずみが発生することがみてとれる。また水圧比1.0において、ひずみレベル1.0%、3.0%での軸差応力は0.1kgf/cm²以下であるが、ひずみレベル10%では1.3kgf/cm²程度の強度を保っている。これは繰り返しせん断によって水圧比が1.0となった供試体の強度の回復が、ひずみレベル3.0%~10%で始まることを意味している。

さらに図8に、ひずみレベル1.0%における各試料の軸差応力～過剰間隙水圧比関係を示す。液状化過程では豊浦砂の強度は細粒分を含む砂に比べて大きい、水圧比が1.0に近づくといずれの試料においても強度はほぼ失われ、低応力でひずみが発生していることがわかる。

4. まとめ： 以上のことから次のような結論を得た。

- ① 過剰間隙水圧が上昇するにしたがって砂の剛性は低下する。
- ② 細粒分を含む砂はきれいな砂に比べて、液状化過程において、ひずみレベル一定とした強度が小さい。
- ③ きれいな砂は急激に応力が回復するのに対し、細粒分を含む砂は徐々に応力が回復する。

<参考文献> 1) 規矩・安田・増田・佐藤：細粒分を含んだ砂の液状化後の変形特性試験，第29回土質工学研究発表会，1994（投稿中）

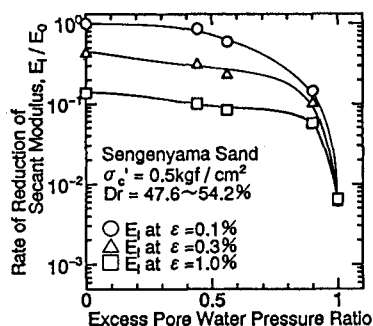


図5 $E_1/E_0 \sim \Delta u/\sigma'_c$ 関係（浅間山砂）

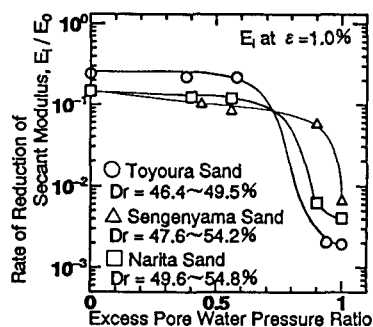


図6 $E_1/E_0 \sim \Delta u/\sigma'_c$ 関係（ $\epsilon = 1.0\%$ ）

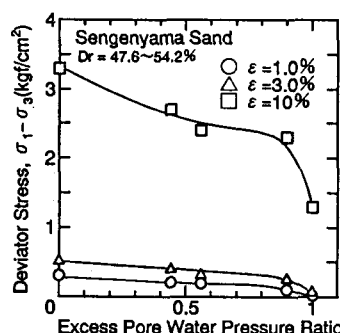


図7 $(\sigma_1 - \sigma_3) \sim \Delta u/\sigma'_c$ 関係（浅間山砂）

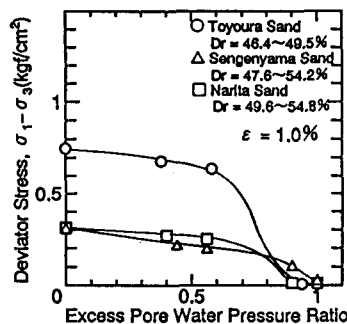


図8 $(\sigma_1 - \sigma_3) \sim \Delta u/\sigma'_c$ 関係（ $\epsilon = 1.0\%$ ）