

初期せん断応力を受ける飽和砂の動的強度について

復建調査設計係 正員 藤井照久

山口大学工学部 正員 兵動正幸

岡三興業株式会社 正員 小浪岳治

山口大学工学部 正員 安福規之 村田秀一

1. まえがき

水平なゆるい飽和砂地盤が、地震時に繰返しせん断を受け液状化を起こすことは広く知られている。一方、斜面あるいは構造物基礎地盤などのように内部の土要素が初期せん断応力をうける地盤においては、初期及び繰返しせん断応力の大きさの組合せにより、液状化を起こして破壊する場合と大きな残留変形によって破壊するそれぞれの場合があることがこれまでの筆者らの実験において認められた^{1), 2)}。本報は、様々な異方応力下で圧密した飽和砂に対して行った非排水繰返し三軸圧縮試験結果について述べるとともに、これらのうち液状化により破壊したケースに限定して、それら動的試験結果と静的非排水せん断試験結果を対応させ、両者の関連性について考察したものである。

2. 試験に用いた試料及び試験方法

実験に用いた試料は、豊浦標準砂 ($G_s=2.643$, $e_{max}=0.973$, $e_{min}=0.635$) とカーボネイト砂³⁾ ($G_s=2.723$, $e_{max}=2.451$, $e_{min}=1.621$) である。供試体は飽和完了後まず所定の圧力まで等方圧密し、次に側圧一定で所定の初期せん断応力 q_s までせん断を加える方法で平均有効主応力 p_c が全て100kPaとなるよう異方圧密を行った¹⁾。その後非排水状態とし側圧一定の下、静的せん断試験を0.1mm/minのひずみ制御方式で、動的試験を荷重制御方式で0.1Hzの正弦波軸荷重を加えることによりそれぞれ行った。なお供試体の異方圧密後の相対密度は、豊浦標準砂で $D_r=35, 50, 70\%$ 、カーボネイト砂で $D_r=70\%$ 程度となるよう管理した。ここで、偏差応力及び平均有効主応力の定義はそれぞれ以下の通りである。 $q = \sigma_1 - \sigma_3$, $p = 1/3(\sigma_1 + 2\sigma_3)$ 。

3. 試験結果及び考察

3.1 動的試験結果

図-1は、動的試験で液状化を起こした結果の典型的な有効応力経路を示したものである。図のように、液状化に至る場合、まず伸張側で変相線に達し破壊状態となり、その後圧縮側でも同様の状態となることがわかる。図-2は、 $D_r=70\%$ の豊浦砂について、軸ひずみ両振幅 $DA=5\%$ に至るに必要な繰返しせん断応力比 q_{cyc}/p_c と繰返し回数 N の関係を初期せん断応力 q_s の違いに対して示したものである。この図から、 q_s の増加と共に液状化強度が増加していく傾向が認められる。同様の傾向が、他の相対密度の豊浦砂あるいはカーボネイト砂においても確認された。

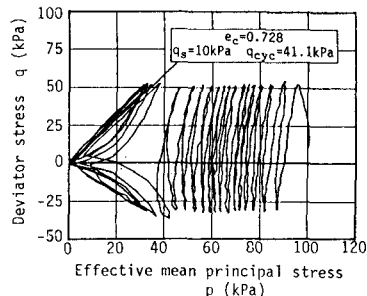


図-1 動的有効応力経路($D_r=70\%$)

3.2 静的試験結果

静的試験においても種々の q_s から非排水せん断試験を行った。このうち、伸張側へせん断を行った結果について図-3に掲げた。この図より変相点の位置は、初期せん断応力 q_s の大きさにかかわらず、ほぼ同じであることがわかる。ここで、変相点の軸差応力を S_{PT} とし、初期点 q_s から S_{PT} までの軸差応力の差 $|S_{PT} - q_s|$ をそれぞれの初期応力状態から見た非排水せん断強度と定義すると、図-4に示すように伸張側の非排水せん断強度は $|S_{PT} - q_s|_{ext}$ 、圧縮側の非排水せん断強度は $|S_{PT} - q_s|_{com}$ によりそれぞれ与えられる。 $|S_{PT} - q_s|_{ext}$ を p_c で正規化した値を各初期せん断応力 q_s に対してまとめたものが図-5である。この図から、伸張側における非排水せん断強度は q_s の増加と共に増加することが認められる。

3.3 液状化強度と静的非排水せん断強度の関係

図-6は、上述した静的非排水伸張せん断強度と図-2から得られた繰返し回数20回における液状化強度との関係を表したものである。この図から、液状化強度と伸張側の静的非排水せん断強度の間には一義的關係が存在し、両者の関係は相対密度の違いのみなら

ず、材料の違いにもかかわらず一つの直線で近似できるという大変興味深い結論が得られた。この関係を用いれば、例えば地盤の初期せん断応力状態が既知であれば、その初期せん断応力を想定した静的非排水伸張せん断試験を行うことによりその地盤の液状化強度を推定することが可能となる。

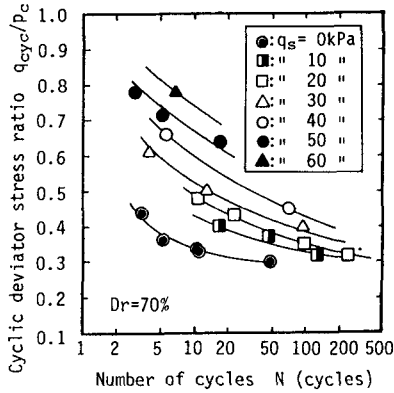


図-2 DA=5% に至るに必要な繰返しせん断応力比 q_{cyc}/p_c と繰返し回数 N の関係($D_r=70\%$)

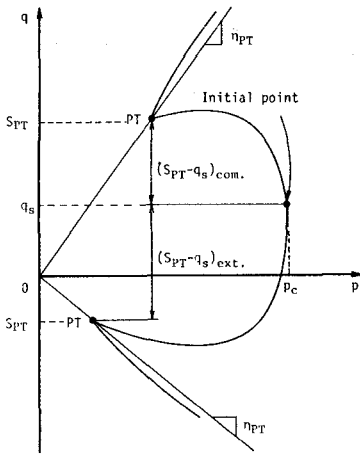


図-4 変相点における静的非排水強度の概念

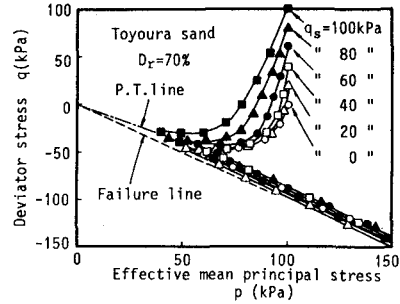


図-3 静的有効応力経路($D_r=70\%$)

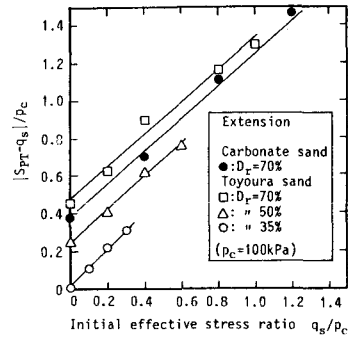


図-5 静的非排水強度の比較 (伸張せん断)

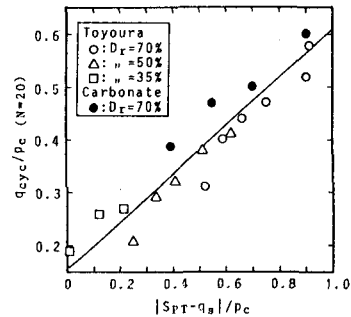


図-6 静的非排水伸張せん断強度と液状化強度の関係

参考文献

- 1) Hyodo, M., Murata, H., Yasufuku, N. and Fujii, T.: Undrained Cyclic Shear Strength and Deformation of Sands Subjected to Initial Static Shear Stress, Proc. 4th Int. Conf. on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Mexico City, pp.81-103, 1989.
- 2) 兵動正幸・村田秀一・安福規之・小浪岳治・谷水秀行: 異方圧密砂の非排水繰返しせん断挙動に及ぼす密度の影響, 第25回土質工学研究発表会, pp.747-750, 1990.
- 3) 小浪岳治・兵動正幸・安福規之・村田秀一: カーボネイト砂の非排水繰返しせん断挙動, 平成3年度土木学会中国四国支部研究発表会, 投稿中, 1991.