

異方圧飽和砂の液状化とサイクリックモビリティについて

山口大学工学部 正員 兵動正幸 村田秀一 安福規之
学生員 ○谷水秀行 小浪岳治 山本陽一

1. まえがき

ゆるい飽和砂における液状化と密な砂のサイクリックモビリティは当初Castroら¹⁾により使い分けがなされ、現在もこれらの用語はよく用いられている。しかし、それらの厳密な区分と発生メカニズムについては、最近のVaidら²⁾の研究に一部見られるのみであり、十分に解明されない現状にあると思われる。

本研究では、ゆるい飽和砂の異方圧密下における繰返し三軸圧縮試験を行い、その際生じる流動変形挙動に着目し、密な砂の破壊形態との違いについて検討した。さらに静的非排水せん断試験を行い、動的試験結果との対応により、流動変形発生の要因を調べ、液状化及びサイクリックモビリティのそれぞれのもつ意味について考察を行った。

2. 試料及び試験方法

試験に用いた試料は、豊浦標準砂($G_s=2.643, e_{max}=0.973, e_{min}=0.635$)である。供試体作成には空中落下法を用い、等方圧密後側圧一定で所定の初期せん断応力 q_s まで、平均有効主応力 p_c が全て100kPaになるように異方圧密を行った。なお、供試体は異方圧密後の相対密度が $D_r=30\sim35\%$ 程度になるように作成した。この状態で非排水繰返し三軸圧縮試験及び静的な圧密非排水せん断試験(圧縮・伸張)を実施した。用いた試験機は空圧制御式繰返し三軸圧縮試験機であり、動的試験は荷重制御で静的試験はひずみ制御(0.1%/min)で各々行った。

3. 試験結果及び考察

静的な非排水三軸圧縮試験から得られる有効応力経路は、図-1に示すように大きく3つのタイプに分けることができる。Vaidら²⁾は図-1の(a), (b)を収縮性の砂の挙動と考えており、収縮性の変形が生じた後の最小の非排水強度を S_{SS} (定常状態における残留強度)及び S_{PT} (変相状態の強度)と定義している。ゆるい詰め豊浦砂を対象に行った本試験結果は(b)に相当する。また、このような収縮性の挙動が始まるとき、つまりひずみ軟化が始まるところの応力比をCSR(Critical Effective Stress Ratio)と定義した。

Vaidら²⁾やCastroら¹⁾は、一般に液状化といわれる現象に対して次のような区別を行っている。つまり、図-1(a)のように残留強度が現れる完全に収縮性の砂に対するものをLiquefaction、(b)の砂のように部分的に収縮性の挙動を示すもので流動的な変形の後若干の強度を回復するものをLimited Liquefactionと呼んだ。そして、その他の(c)のような膨張性の砂に対する最終的な破壊現象をCyclic Mobilityと定義した。

ここでは、繰返し三軸圧縮試験結果に静的試験結果を併記し、両者の対応について検討した。図-2, 3中に太い実線で表したものが静的試験結果である。繰返し三軸圧縮試験では、初期せん断応力 q_s と繰返しせん断応力 q_{cyc} の大きさを種々の大きさに変化させた試験を行っている。図-2は、 $q_{cyc}/q_s > 1.0$ の場合のもので圧縮領域において繰返し応力 q_{cyc} と初期せん断応力 q_s の和が変相状態の強度 S_{PT} より小さく($q_{cyc,comp} < S_{PT}(comp)$)、伸張領域で $q_{p,ext} > S_{PT}(ext)$ の条件を満たす例であり、この場合には有効応力経路がCSRに達した頃から流動的挙動が生じ始め、液状化(Limited Liquefaction)に至っている。図-3は、 $q_{cyc}/q_s < 1.0$ の場合のもので静的試験においてひずみ軟化が始まるときのピーク強度と $q_{p,comp}$ の大きさがほぼ等しい場合の例である。この場合の繰返し载荷の有効応力経路は初期に収縮傾向が始まる付近まで徐々に進行し、静的な有効応力経路が軟化挙動に転じ繰返し応力振幅が静的強度を超えようとした時点から変相状態付近まで流動している。以上の結果により、流動開始の応力比は常に一定とは限らず軟化が始まる点(CSR)から変相状態までの収縮性の挙動を示す部分(図-4の太い実線部)で生じ、その位置は軟化曲線の形状と繰返し応力のピーク値によって決まるものと考えられる。密詰め砂(相対密度70%)のような膨張性の砂においては、静的な有効応力経路に軟化挙動は現れずCSRも存在しない。従って、このような砂においては流動変形を伴う液状化

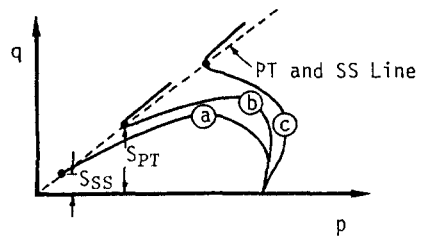


図-1 収縮性の挙動の概念図 (Vaidら²⁾による)

(Liquefaction)に至ることはなく、その挙動は図-5³⁾のようになり、ひずみ振幅の漸増を伴うCyclic Mobilityを起こして破壊に至っている。

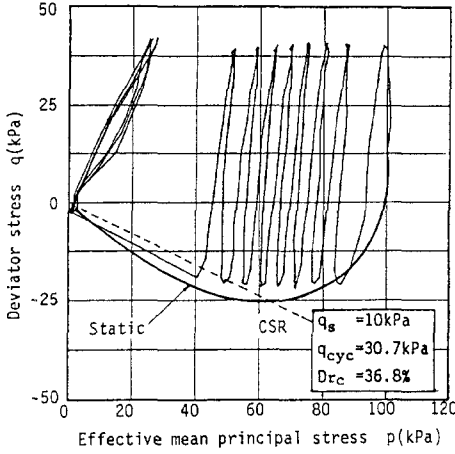


図-2 繰返し試験結果及び静的試験結果の対応 (流動変形を伴って液状化を生じる場合)

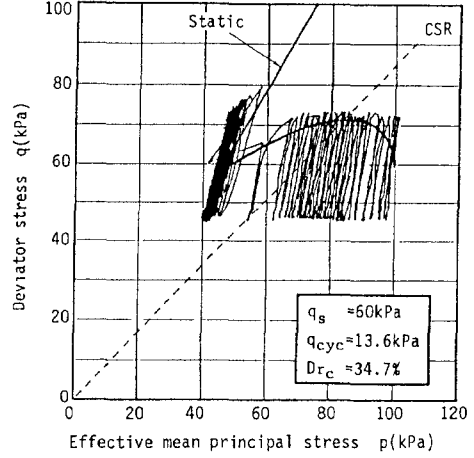


図-3 繰返し試験結果及び静的試験結果の対応 (ある波数を経た後流動する場合)

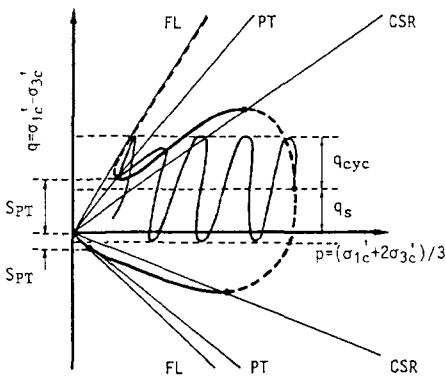


図-4 流動変形発生の概念図

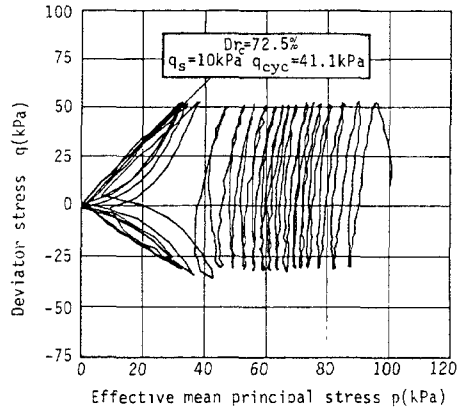


図-5 密な砂の繰返し試験結果 (サイクリックモビリティ)

4. あとがき

ゆるい砂を対象に、異方圧密下で非排水繰返しせん断試験及び圧密非排水せん断試験を行い、両者の対応について検討した。その結果、静的な有効応力経路における軟化挙動部分が流動変形に影響を及ぼすことが明らかとなり、流動変形を伴うか否かで破壊形態を液状化とサイクリックモビリティに分類することが可能となった。

5. 参考文献

- 1) G.Castro and S.J.Poulos: Factors Affecting Liquefaction and Cyclic Mobility, Proc. ASCE, Vol.103, GT6, pp.501-516, 1977.
- 2) Y.P.Vaid and J.C.Chern: Cyclic and Monotonic Undrained Response of Saturated Sands, Advances in The Arts of Testing Soils under Cyclic Conditions, ASCE, Convention, pp.120-147, 1985.
- 3) 兵動他: 初期せん断を受ける飽和砂の動的強度について, 第24回土質工学研究発表会, pp.797-800, 1989.