

長期圧密した再生砂の繰返し非排水三軸試験と非排水三軸伸張試験

前橋工科大学 学生会員 ○網島宏太郎
前橋工科大学 正会員 土倉 泰

1. まえがき

長期にわたる砂の圧密は液状化強度を増大させる¹⁾。本文は、このことについて、コンクリートを破砕してつくられる再生砂を対象として確かめるために行っている実験結果を報告するものである。試料には 2mm ふるいを通過した再生砂を使用して、圧密時間を様々に設定した供試体に対する三軸試験を実施する。液状化強度の比較をするとともに、非排水三軸伸張試験の有効応力経路も調べ、圧密時間が増えるのにもなってダイレイタンスによる収縮の大きさが変化することを示す。

2. 試料および供試体作成

試料には、前橋市内の砕石工場で作られた再生砂 RC-10 を使用した。標準型三軸試験の供試体の材料とするとき、大きな径の土粒子は適さないので、最大粒径 2mm となるようにふるいで粒度調整した。調整後の粒径加積曲線を図 1 に示す。土質材料の工学的分類体系における小分類で、細粒分まじり砂に分類される。最大密度は 1.33g/cm^3 、最小密度は 1.08g/cm^3 である。

粒度調整した気乾状態の再生砂を三軸供試体用モールドあるいはマイターボックスに突き棒をつかって 10 層に分けて詰めた。このときの相対密度は 70~80% である。その後、図 2 に示すようにおもりを載せ、ビニールまたは水槽の中で浸水養生した。ここで、供試体は異方圧密状態で養生されることに注意を要す。

3. 繰返し非排水三軸試験

繰返し非排水三軸試験を、拘束圧一定、振動数 0.2Hz の正弦波で行う。供試体に等方圧を加えて初期状態とした。等方圧は、浸水養生した際の上載圧に合わせた値とした。供試体は異方圧密履歴をもつので、試みに、上載圧 100kPa で浸水養生を 1 時間行った供試体で、繰返し応力振幅比 R ($\sigma_d/2\sigma'_0$) (σ_d : 繰返し偏差応力, σ'_0 : 初期有効拘束圧) を 0.35 に設定した試験を行うと、異方圧密状態となる浸水養生を行わずに作成した供試体に対して $R=0.35$ で行った試験とほぼ同様の結果が得られた。

そこで、上載圧 100kPa とした浸水養生を 16 日、133 日の 2 通りに設定した供試体を各々 4 体準備して試験を行った。その結果を図 3 に示す。エイジングによる液状化強度の増加がみられる。

4. 非排水三軸伸張試験

上記の繰返し非排水三軸試験で得たデータから有効応力経路を描いてみると、伸張側で過剰間隙水圧が大きく上昇するもの

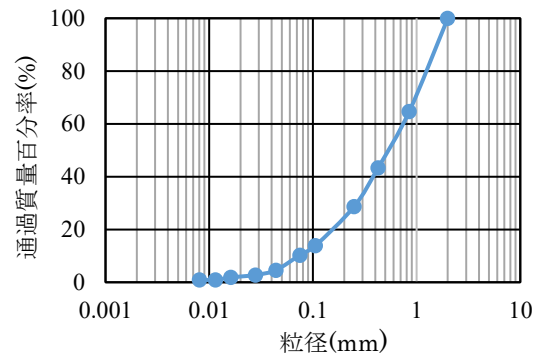


図 1 再生砂の粒径加積曲線



図 2 供試体の浸水養生

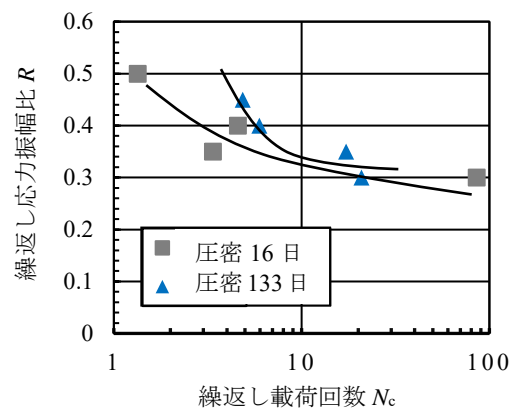


図 3 液状化強度 (初期拘束圧 100kPa)

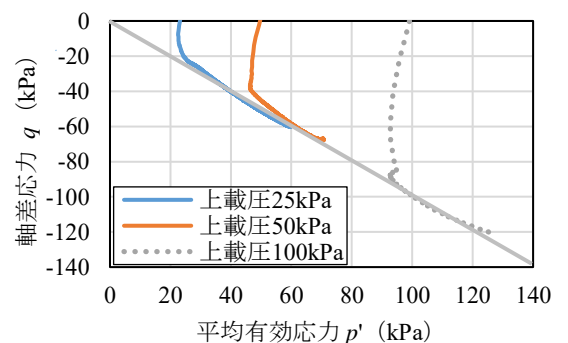


図 4 伸張試験の有効応力経路 (圧密 16 日)

キーワード 液状化, 再生砂, エイジング, 有効応力経路, 三軸伸張試験, 変相線

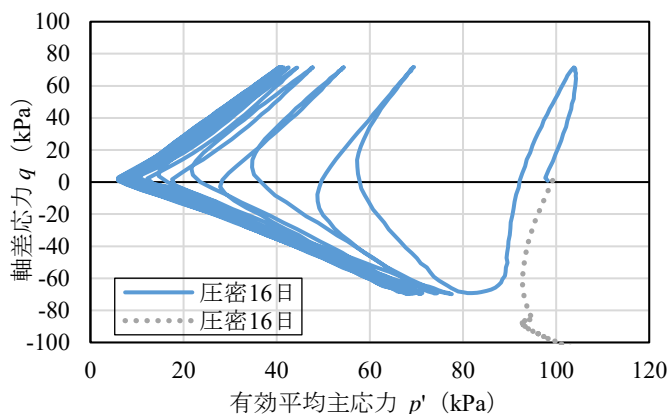


図5 有効応力経路 (100kPaで圧密16日)

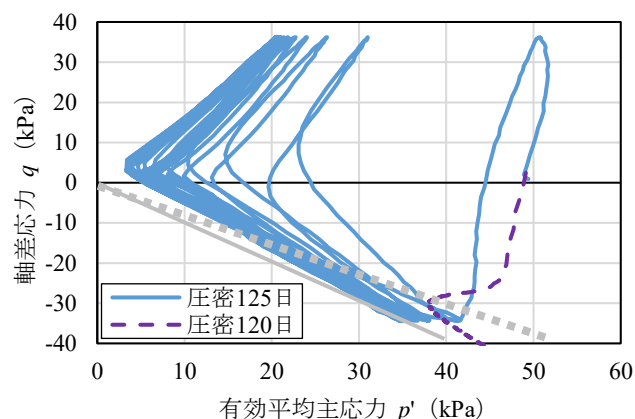


図7 有効応力経路 (50kPaで圧密120日程度)

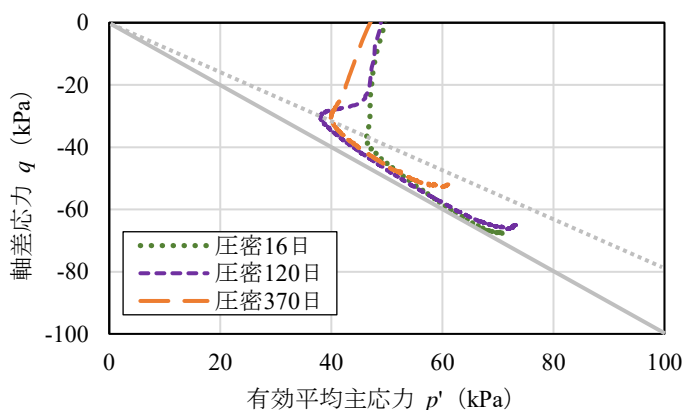


図6 圧密時間による有効応力経路の変化

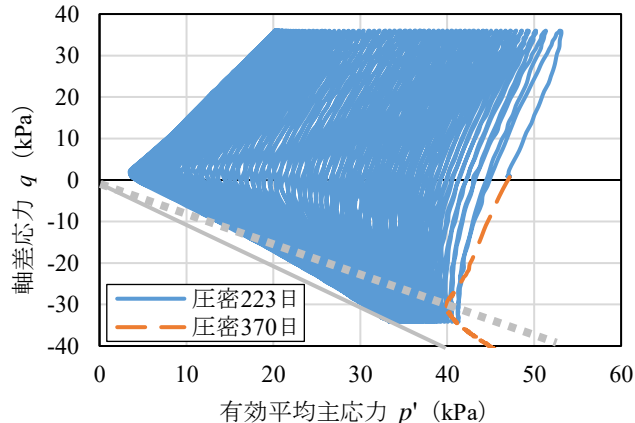


図8 有効応力経路 (50kPaで圧密223日以上)

が散見された。この原因について検討するために、非排水三軸伸張試験を行って有効応力経路を調べた。上載圧を25kPa, 50kPa, 100kPaの3通りとし、16日間の浸水養生をした。それぞれに対し浸水養生時の上載圧と一致する等方圧をかけて初期状態とし、拘束圧一定で軸ひずみ変位を0.125mm/分で加えた結果を図4に示す。100kPaの有効応力経路の曲がり方が最もはっきりしている。なお、3試験で得られた破壊線はほぼ一致した。

100kPaで圧密16日を経た供試体を対象に $R=0.35$ とした繰返し試験・単調載荷伸張試験それぞれの有効応力経路を図5にあわせて示す。繰返し試験では、伸張側1回目の荷重反転時に過剰間隙水圧が急増する。一方、単調載荷伸張試験の有効応力経路では、圧縮から膨張へと移る前に小さく曲がる場所が特徴的である。

5. 非排水三軸伸張試験で得られる有効応力経路の圧密日数による変化

非排水三軸伸張試験を、圧密時間の異なる供試体に対して行うと、有効応力経路が変化することがわかった。その状況を、変相線・破壊線とともに図6に示す。圧密16日の結果は図4のものと同一である。圧密120日の有効応力経路はS字型となり、ダイレイタンスーによる収縮が大きい。図7に、圧密125日の供試体に $R=0.35$ の繰返し試験を行った結果とあわせて有効応力経路を示す。図5と同様に、伸張側1回目の荷重反転時に過剰間隙水圧が急増する。次に、図6において圧密370日の有効応力経路がL字型となることに着目する。この供試体ではダイレイタンスーによる収縮がほぼない。これと対応して、日数は異なるが数字の比較的大きい圧密223日の供試体で $R=0.35$ とした試験において液状化に対する抵抗が大きくなることを図8に示す。

6. あとがき

おもりを載せた浸水養生による長期圧密が再生砂の液状化強度を増大させることについて繰返し非排水三軸試験で確認した。供試体のなかでは、セメンテーションあるいは粒子構造変化が生じていると推察される。そうした変化が供試体内の全体に広がるまでにはある程度の時間を要し、それが部分的な進行にとどまる段階では負のダイレイタンスー発生の傾向が強まることを、圧密時間による有効応力経路の違いから説明した。

参考文献

- 1) Towhata, I et al. (2017): Liquefaction perspective of soil ageing, Géotechnique 67, No. 6, 467-478.