

1. はじめに

笹原<sup>1)</sup>は降雨浸透に伴う砂質土斜面の変形を検討するために、サクシオン制御可能な三軸圧縮試験装置を用いて、異方応力状態の不飽和砂質土のサクシオン除荷試験を行っている。サクシオン除荷試験では供試体に载荷したサクシオンを徐々に除荷する応力経路をとる。しかし現実の斜面への降雨浸透過程を考えると、サクシオンの変化ではなく、降雨浸透等による土壌水の移動(吸排水)により土の体積含水率が増減することに伴い土は変形する。今回はこの過程を再現するために、異方応力条件下での不飽和砂質土供試体に吸水させて変形させる吸水試験を実施し、吸水過程における変形と、従来のサクシオン除荷試験における変形の比較を行った。またこの際吸水速度が供試体の変形に与える影響を見るために、供試体への吸水圧を変えた試験も行った。

2. 研究方法

2.1 試料

珪砂と藤の森粘土を混合して、50%粒径が0.5mmで均等係数が244の試料を作成した(図-1)。またこの試料を用いて間隙比0.625~0.629、含水比8.4~9.3の供試体を作成した。

2.2 試験装置と方法

試験装置としてサクシオン制御型三軸圧縮試験装置<sup>2)</sup>を用いた。吸水試験は不飽和状態の供試体に、斜面内の土の応力状態を考慮して異方応力を载荷し、一定の吸水圧をかけて吸水させる、以下の手順で行った。

- (1) 供試体を三軸セル内にセット。
- (2) 側圧及び軸圧9.8(kPa)の元でサクシオン78.5(kPa)を载荷。
- (3) 側圧19.6(kPa), 98.1(kPa)の元で等方圧縮。
- (4) 主応力差200(kPa)になるまでひずみ速度0.017 (%/min.)でせん断(側圧一定)。
- (5) 注水圧(間隙水圧)を供試体に载荷し、供試体に2cm<sup>3</sup>の水を吸水させる(ここまで排気・排水条件)。その後排気・非排水条件で供試体の変形とサクシオンが平衡状態になるまで待つ。この吸水ステップを5段階繰り返す。なおNo.2の第3,4ステップにおいては1cm<sup>3</sup>の注水を行った。

吸水試験は吸水速度の影響を見るため、注水圧をNo.1では0.5(kPa)、No.2では5(kPa)とした。またサクシオン除荷試験は上記と同じ試料、間隙比で(4)までは同一の手順だが、(5)の吸水過程の代わりにサクシオン除荷過程を与えたUcNo.3の結果<sup>1)</sup>を用いた。

3. 結果

図-2にNo.1の吸水ステップ毎の体積圧縮、軸変位、排水量、サクシオンの経時変化を示す。これを見ると吸水後半から供試体は体積圧縮および軸圧縮を開始するが、吸水中より吸水後のサクシオン上昇過程での変形の方が著しい。なお吸水後のサクシオン上昇過程では、吸水停止直後のペDESTAL周辺はほぼ飽和状態であり、その後供試体内を水分移動するのに伴ってペDESTAL周辺の水分が減少するためと思われる。なおNo.2の吸水ステップ毎の挙動もほぼ同様であった。

次にステップ毎の吸水速度を図-3に示す。横軸は各ステップ最終時のサクシオンである。また吸水試験のみならずサクシオン除荷試験の各サクシオン除荷ステップでの吸水速度も示す。ここで吸水速度の定義は、吸水試験およびサクシオン除荷試験におけるステップ毎の体

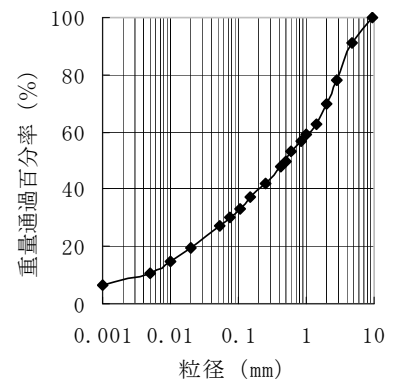


図-1 試料の粒度分布

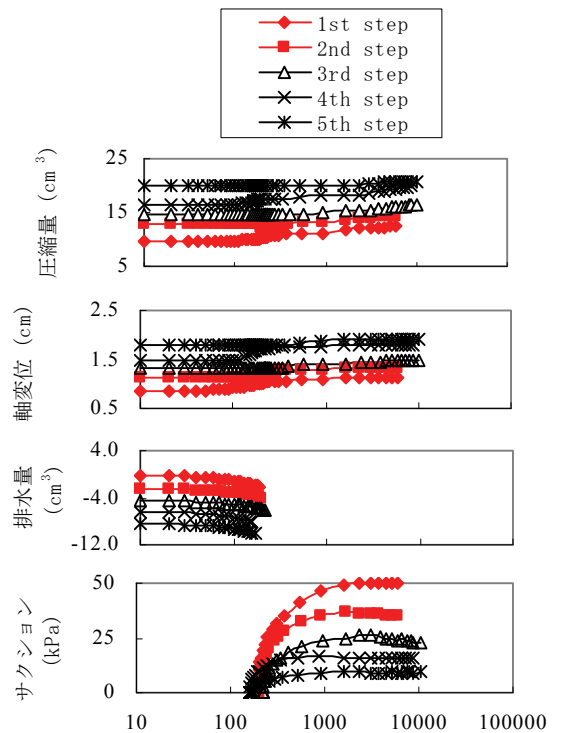


図-2 吸水ステップ毎の体積圧縮、軸変位、排水量、サクシオンの経時変化 (No.1)

積含水率増分  $\Delta\theta$  を各ステップの継続時間 DT で除した値とした。これを見るとサクシオン除荷試験では吸水試験に比べて吸水速度が小さいことがわかる。また吸水試験ではサクシオン減少に伴って吸水速度が大幅に減少するが、サクシオン除荷試験では逆にやや増加する傾向がある。また吸水試験 No.1 と No.2 では注水圧が異なるにも関わらず、吸水速度はほとんど同様である。つまり吸水試験 No.1, No.2 では吸水圧により強制的に吸水しているのではなく、サクシオンによる自然吸水が起こっていると考えられる。

#### 4. 吸水ないしはサクシオン減少に伴う変形挙動

吸水試験およびサクシオン除荷試験における、吸水およびサクシオン除荷に伴う軸ひずみの増加、体積ひずみの増加を図-4, 5 に示す。これらを見ると吸水試験は供試体の吸水に伴うサクシオンの減少と共に、そしてサクシオン除荷試験でもサクシオンの減少と共に、軸ひずみおよび体積ひずみが進行することがわかる。ただし軸ひずみの増加は、吸水速度のほぼ等しい吸水試験 No. 1 と No. 2 ではほぼ同様な増加となるが、吸水速度の小さいサクシオン除荷試験では非常に小さい。それに対して体積ひずみの増加はいずれの試験もほぼ同様な増加である。これより軸ひずみの主成分であるせん断は吸水速度の影響を受けるが、体積圧縮は吸水速度の影響がないことが示唆される。

次に吸水、サクシオン除荷ステップ最終時における供試体の体積含水率とサクシオンの関係を図-6 に示す。これを見ると、図-4 の軸ひずみと同様に、吸水速度の小さなサクシオン除荷試験においては体積含水率が非常に小さい。またサクシオン除荷試験においては、サクシオン除荷に伴う体積含水率の増加（吸水量）が非常に小さく、サクシオンが小さい領域でも曲線の勾配はそれほど変化しない。それに対して No.1, No.2 における体積含水率とサクシオンの関係は、サクシオンが小さくなると曲線勾配が小さくなり、通常いわれる土壌水分特性曲線の形状の特徴を有している。また同一試料で作成した、異なる体積含水率の供試体を用いて、サクシオン制御の排気・排水条件で行った三軸圧縮試験における限界状態での体積含水率とサクシオンの関係にはほぼ一致する。

#### 5. まとめ

以上より異方応力下の不飽和供試体の吸水、ないしはサクシオン除荷に伴う変形においては、吸水速度の小さなサクシオン除荷試験の体積含水率増加が非常に小さいことがわかった。そして吸水速度が小さいサクシオン除荷試験のせん断は、吸水速度の大きな吸水試験に比べて非常に小さいことから、せん断には吸水速度の影響があることが示唆された。

#### 参考文献

- 1) 笹原克夫：サクシオン制御式三軸圧縮試験装置を用いたサクシオン除荷に伴う不飽和砂質土のせん断変形について、平成 21 年度砂防学会研究発表会概要集
- 2) 笹原克夫, 酒井直樹, 栗原淳一：初期間隙比を変えた不飽和砂質土の破壊時及び限界時のせん断強度と間隙比, 土木学会論文集 C, Vol.64, No.2, pp.197-208, 2008.

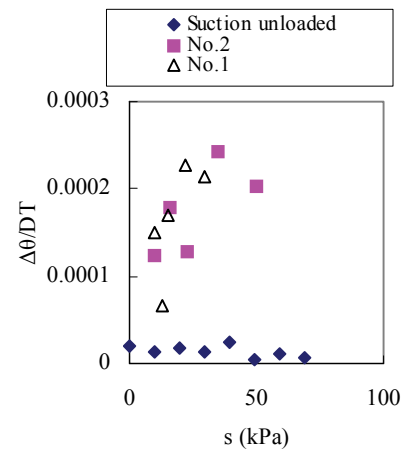


図-3 吸水速度の変化

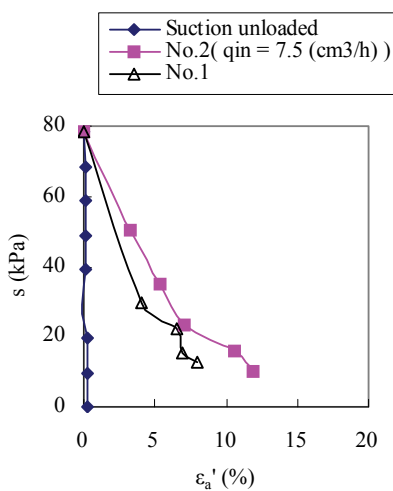


図-4 サクシオン除荷に伴う軸ひずみ

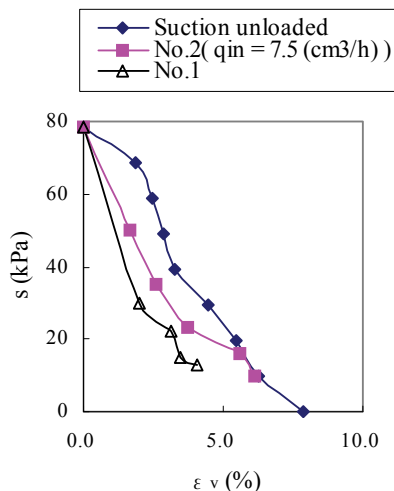


図-5 サクシオン除荷に伴う体積ひずみ

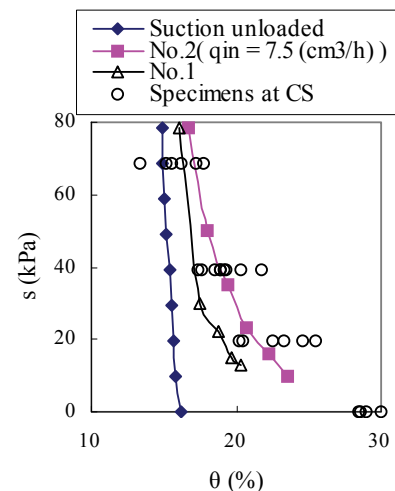


図-6 サクシオン除荷に伴う体積含水率