

サクシオン低下に伴う不飽和稲城砂の強度変形特性

茨城大学 学生会員 ○西丸あずさ 株式会社不動テトラ(元茨城大学) 非会員 布川直矢
茨城大学 正会員 村上哲 フェロー会員 安原一哉 正会員 小峯秀雄

1. はじめに

降雨時の斜面崩壊は、不飽和状態の地盤に雨水が浸透することで、サクシオンが低下し、強度が低下することが要因のひとつと考えられている。サクシオンによって生じる土粒子間吸着力は、土塊の見掛けの粘着力として作用し、せん断に対して抵抗力を発揮している。そのため、サクシオンの低下に伴うせん断強度変形特性に及ぼす影響を把握する事は、降雨による斜面の不安定性を評価する上で非常に重要であると考えられる。そこで、著者らは、保水性が極めて低い砂(桜川砂)のせん断特性に及ぼすサクシオンの影響を検討¹⁾してきた。本稿では、砂質土に分類される稲城砂を用いて不飽和三軸圧縮試験を行ない、サクシオン低下に伴う強度変形特性を検討した結果について報告する。

2. 本研究で用いる試料

実験で用いた試料は、細粒分を含む砂質土である稲城砂(土粒子密度 $\rho_s=2.729\text{g/cm}^3$ 、細粒分含有率 $F_c=14.7\%$)である。稲城砂の粒径加積曲線を図1に示す。また、試料の保水性(サクシオンと飽和度の関係)を調べるために、加圧板法による水浸試験を行った。この水浸試験は、胸組ら²⁾の用いている一次元保水性試験機を用いて実施した。水分特性曲線を図2に示す。飽和度が上昇するサクシオンの値が10kPa以下であることから、次に行う不飽和静的三軸圧縮試験で設定するサクシオンの値は10kPa前後とした。

3. 不飽和静的三軸圧縮試験概要

サクシオンの低下が静的強度および変形特性に与える影響を把握することを目的として、平均基底応力(p_{net})およびサクシオン(s)一定条件において三軸圧縮試験を行った。以下、試験条件について説明する。

供試体は、直径50mm、高さ100mm、目標含水比8%、目標乾燥密度 $\rho_d=1.530\text{g/cm}^3$ ($\rho_{d\text{min}}=1.203\text{g/cm}^3$, $\rho_{d\text{max}}=1.552\text{g/cm}^3$, $Dr=95\%$)となるよう動的締固め法により作製した。不飽和三軸試験装置を図3に示す。試験は、サクシオン変えた5ケース($s=0, 4.9, 14.7, 29.4, 49\text{kPa}$)実施した。試験方法を以下に述べる。

まず、平均基底応力を19.6kPa 载荷し、供試体を自立させた。次に、サクシオンを载荷し、 $p_{\text{net}}=98\text{kPa}$ まで0.65kPa/minの圧密速度で等方圧密した。(サクシオンの载荷方法は、全ケース間隙空気圧(u_a)を98kPaと固定し、所定のサクシオンになるように間隙水圧($u_w=u_a-s$)を载荷した。その際、平均基底応力一定($p_{\text{net}}=19.6\text{kPa}$)となるよう、セル圧も間隙空気圧の増分に等しい圧力を载荷した。)圧密後20時間放置し排水量の平衡状態を確認した。圧密後の供試体状態を本試験の初期状態とした(表1参照)。次に、平均基底応力およびサクシオンを一定に制御し、軸ひずみ速度0.05%/minで排気・排水せん断を行った。

キーワード：不飽和砂質土 せん断特性 サクシオン

連絡先：〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 TEL 0294-38-5174 茨城大学工学部都市システム工学科

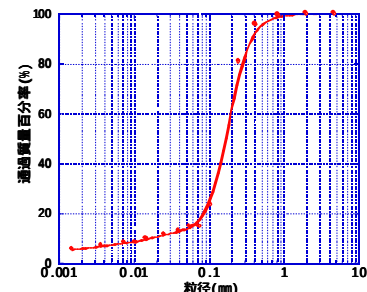


図1 稲城砂の粒径加積曲線

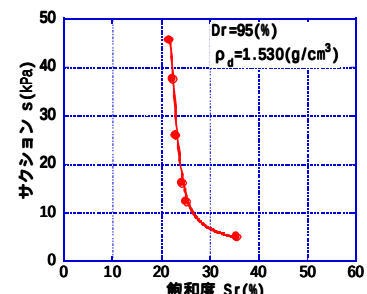


図2 稲城砂の水分特性曲線(吸水過程)

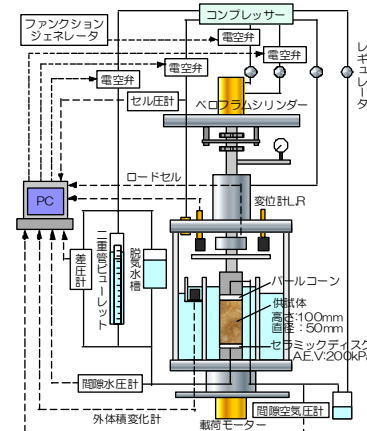


図3 不飽和三軸圧縮試験装置

表1 せん断前の供試体状態

試験 No	s(kPa) サクシオン	Sr(%) 飽和度	e 間隙比
1	0	100	0.770
2	4.9	35.7	0.781
3	14.7	26.7	0.792
4	29.4	26.5	0.775
5	49.0	23.9	0.752

4. サクション低下に伴う不飽和稲城砂の強度変形特性

静的せん断特性に及ぼすサクションの影響を検討する．図4にサクション毎の軸差応力 - せん断ひずみ関係，図5に体積ひずみ - せん断ひずみ関係を示す．図4より，サクションを変えた全てのケースにおいて，最大軸差応力発揮後，ゆるやかなひずみ軟化挙動を示した．また，サクションの低下に伴い，最大軸差応力は小さくなる傾向が分かる． $s=4.9\text{kPa}$ のケースの最大軸差応力は，最もサクションの大きな($s=49\text{kPa}$)ケースの最大軸差応力の約 90%であった．また，飽和状態($s=0\text{kPa}$)のケースの最大軸差応力は不飽和状態($s=49\text{kPa}$)のケースの最大軸差応力の約 80%であったことから， $s=4.9\text{kPa}$ から $s=0\text{kPa}$ の間で大きく強度が低下していると言える．

図5より，体積ひずみについても全ケース共通して，ピーク強度までは体積が収縮し，その後，膨張する傾向が見られた．体積膨張量はサクションの影響を受け，サクションの小さなケースほど，小さい値を示した．河井ら³⁾は，サクションが小さいケースほど膨張が抑制される要因として，不飽和土中の間隙水の存在形態の違いに着目している．不飽和土中には，図6に示すようにバルク水とメニスカス水という2つの形態が混在していると考えられている³⁾⁴⁾⁵⁾．バルク水は土中の間隙を満たしている間隙水であり，サクションが作用すると土骨格を圧縮する方向に働く．メニスカス水は粒子間接点に存在する間隙水であり，サクションが作用することにより，土粒子同士を引き付けあう方向に働き，骨格の剛性を高める働きをする．それぞれの存在割合は飽和度に依存し，飽和度が高いときはバルク水が多く，低いときはメニスカス水が多く占めていると考えられる．今回の試験ケースにおいて，サクションが低く飽和度の高いケース($s=4.9$ ， 0kPa)ケースでは，バルク水が多く存在したことにより，飽和度の高いケース程，サクションが拘束力として作用し，膨張が抑制されたのではないかと考えられる．一方，図4に示す軸差応力とせん断ひずみについては，サクションの大きなケース程大きな最大軸差応力を出している．体積変形については，飽和度の高いケースほど変形を抑制する傾向があるのに対し，せん断変形については逆の現象を示している．不飽和土のサクション低下による強度変形特性については，これらの挙動を考慮して検討を進めていく必要がある．

5. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す．

- 1) 不飽和稲城砂のせん断強度は，サクションの低下に伴い，小さくなる傾向を示した．
- 2) 不飽和稲城砂は，サクションが小さなケース程，体積膨張が抑制される傾向を示した．

【参考引用文献】

1) 西丸あずさ，村上哲，安原一哉，小峯秀雄，布川直矢：不飽和状態における桜川砂の静的せん断特性，土木学会第64回年次学術講演会発表論文集，pp.667-668，2009．2) 胸組智光，小峯秀雄，安原一哉，村上哲：河川堤防堤体材料と想定した一次しらすにおける保水性試験の吸水過程と排水過程による違い，第44回地盤工学研究発表会，2009．3) 河井克行，軽部大蔵，嘉戸善胤，加藤正司：不飽和土の非排水三軸圧縮試験における変形強度特性および水分特性，土木学会論文集，No.715/ -60，pp.287-296，2002．4) 地盤工学会編：不飽和地盤の挙動と評価，丸善，pp.11-28，2004．5) 加藤正司，榊原辰雄，畑中憲彦：三軸試験時の不飽和砂の変形強度特性に与えるサクションの影響に関する基礎的研究，土木学会論文集，No.785/ -70，pp.93-106，2005．

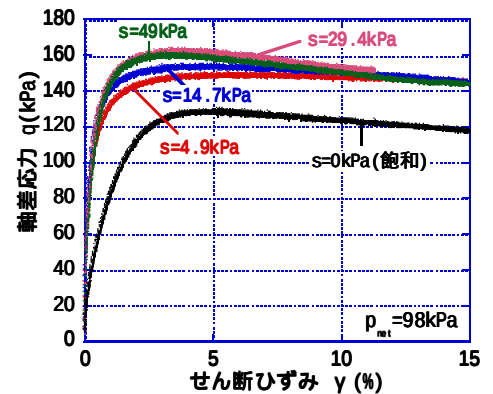


図4 軸差応力 - せん断ひずみ関係

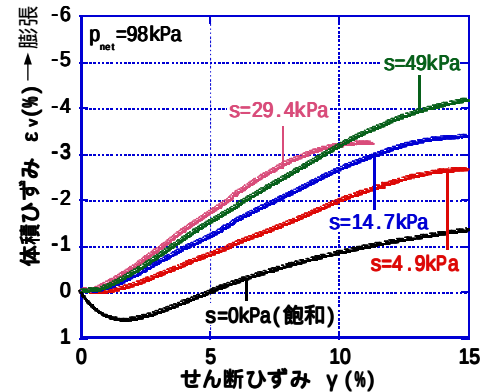


図5 体積ひずみ - せん断ひずみ関係

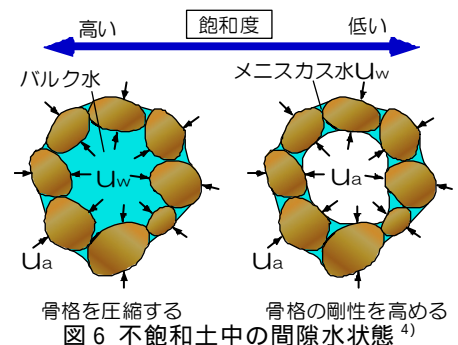


図6 不飽和土中の間隙水状態⁴⁾