

不飽和状態における桜川砂の静的せん断特性

茨城大学 学生会員 ○西丸あずさ 正会員 村上 哲
フェロー会員 安原 一哉 正会員 小峯 秀雄
学生会員 布川 直矢

1. はじめに 豪雨時に起こる斜面崩壊や堤防の破堤などは、不飽和状態の地盤が水浸により安定性が低下し生じるものと考えられる。これらの破壊現象を考える際には、不飽和土のせん断特性を把握する必要がある。不飽和土の研究は、シルトや粘性土を中心に実施され、不飽和砂を対象とする研究は、それらに比べて少ないのが現状である¹⁾。よって、本研究では、不飽和砂のせん断特性を把握するために、平均有効応力およびサクシオンを一定に制御した三軸圧縮試験を行った。本論文では、不飽和砂の静的せん断特性をサクシオンの違いに基づき検討した結果について報告する。

2. 本試験に用いた試料および供試体作製方法 実験に用いた試料は、土粒子の密度 $\rho_s=2.672(\text{g}/\text{cm}^3)$ 、砂分 96%、細粒分 4%、最大粒径 2.0mm の砂(以下、桜川砂と称す。)である。図 1、図 2 に試料の粒径加積曲線および水分特性曲線を示す。非塑性シルトと保水特性を比較した。非塑性シルトに比べ桜川砂の保水性は低く、飽和度の上昇に対してサクシオンは大きく低下する。水侵入値は 5kPa 程度であることから、この値を境に水分保持状態が変化すると考えられる。この桜川砂を用いて、含水比 8.0%、乾燥密度 $\rho_d=1.34(\text{g}/\text{cm}^3)$ ($\rho_{d\min}=1.33(\text{g}/\text{cm}^3)$, $\rho_{d\max}=1.66(\text{g}/\text{cm}^3$), $Dr=5.6\%$) を目標に動的締固め法により作製した直径 5cm、高さ 10cm の円柱供試体に対し、次に述べる試験を実施した。

3. 不飽和桜川砂の平均基底応力およびサクシオン一定三軸圧縮試験方法 図 3 に実験時の応力経路を示す。供試体に与えるサクシオンの大きさは、水侵入値 ($s=5\text{kPa}$) を境に $s=0, 2.94, 14.9, 29.4, 49.0\text{kPa}$ の 5 ケースを実施した。以下に、試験手順を述べる。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、サクシオンを負荷し (A→B), $p_{\text{net}}=98\text{kPa}$ 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($u_w=u_a-s$)を負荷した。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(B→C)。圧密後(点 C)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。なお、本研究では、有効応力は、次式に示す Bishop の有効応力式²⁾ $\sigma'=(\sigma-u_a)+\chi(u_a-u_w)$ により算出した。また、パラメーター χ は $Sr/100$ で整理した。

4. 不飽和桜川砂の静的せん断特性 不飽和桜川砂の静的せん断特性をサクシオンの違いに基づいて検討する。図 4 に、せん断ひずみの増加に伴う軸差応力、体積ひずみの関係を示す。軸差応力とせん断ひずみの関係から、せん断開始初期に着目すると、サクシオンの低下によりせん断ひずみが大きくなることから、さらに、せん断中の体積変化も、サクシオンの低下に伴い大きくなる傾向が認められる。以上の変形特性か

キーワード：不飽和砂 せん断特性 三軸圧縮試験

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

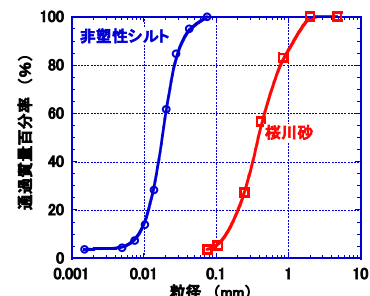


図 1 各試料の粒径加積曲線

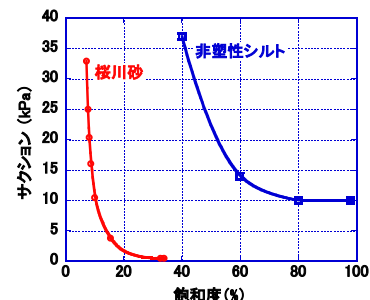


図 2 各試料の水分特性曲線 (吸水過程)

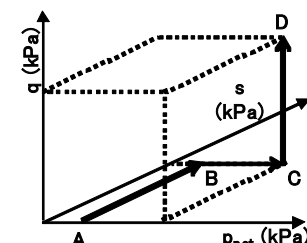


図 3 試験時の応力経路

表 1 圧密後の供試体状態

試験No.	s(kPa) サクシオン	Sr(%) 飽和度	e 間隙比
1	0	100	0.953
2	2.94	37.49	0.950
3	14.9	16.52	0.942
4	29.4	14.60	0.919
5	49.0	14.75	0.906

ら、不飽和桜川砂は、サクシオンが低下することで変形が生じやすくなるといえる。一方、せん断強度はサクシオンによる違いが明確ではない。よって、実験を行ったサクシオンの範囲では、不飽和桜川砂のせん断強度はサクシオンによる影響が比較的小さく、飽和供試体と同程度のせん断強度であるといえる。

図5に、不飽和桜川砂の有効応力比とせん断ひずみの関係を示す。有効応力比とせん断ひずみは、せん断初期において、サクシオンの小さなケースほど、せん断ひずみが大きくなる傾向にある。図6に示す有効応力比と体積ひずみの関係も、サクシオンの小さなケースほど、体積ひずみの値が大きい。また、有効応力比の増加に伴い、各ケースにおける体積ひずみの差も大きくなる傾向にある。その一因として、図7に示すせん断前の間隙比が考えられる。有効応力比の増加に伴い、各ケースにおける間隙比の幅は小さくなる傾向を示している。よって、サクシオンが小さいケースほど、せん断前の間隙比が大きいことから、せん断による体積ひずみが大きくなることが分かる。

以上より、不飽和桜川砂の有効応力比とひずみの関係は、同程度の拘束圧条件下においても、サクシオンによる依存性が確認され、サクシオンの低下により変形が生じやすくなることが示された。また、体積ひずみは、せん断前の間隙比にも依存する傾向が認められた。

5. 結論 本研究では、不飽和桜川砂のせん断特性を把握するために、平均基底応力およびサクシオン一定三軸圧縮試験を行った。得られた知見を以下に示す。

- 1) 不飽和桜川砂は、サクシオンの低下に伴い、変形が生じやすくなることが分かった。
- 2) 不飽和桜川砂のせん断強度は、サクシオンによる影響が比較的小さいといえる。
- 3) 不飽和桜川砂の静的せん断過程の有効応力比とせん断ひずみの関係は、せん断初期においてサクシオンに依存する傾向にあることが分かった。
- 4) 不飽和桜川砂の静的せん断過程の有効応力比と体積ひずみの関係は、サクシオンおよびせん断前の間隙比に依存する傾向が認められた。

《参考文献》

- 1) 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オンの影響に関する基礎的研究，土木学会論文集，No.785/III-70，pp.93-106，2005。
- 2) Bishop, A. W.: The principle of Effective Stress, Teknisk Ukeblad, Vol.39, pp.859-863, 1955。

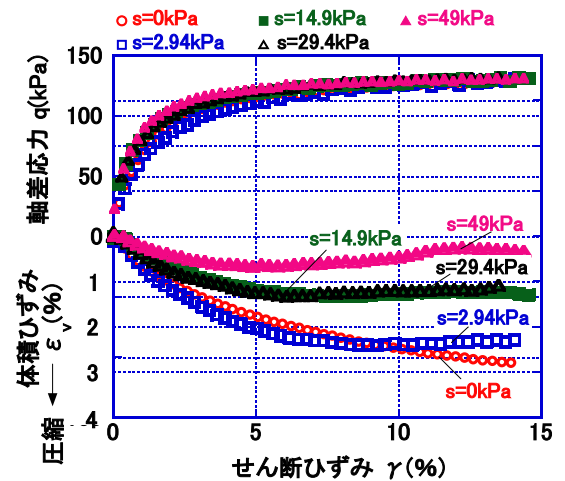


図4 せん断ひずみの増加に伴う軸差応力・体積ひずみの関係

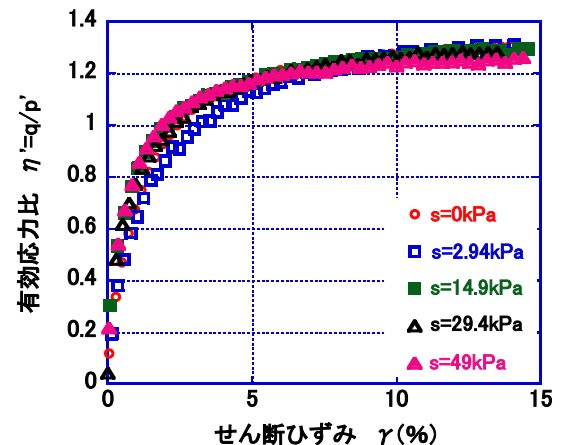


図5 有効応力比とせん断ひずみの関係

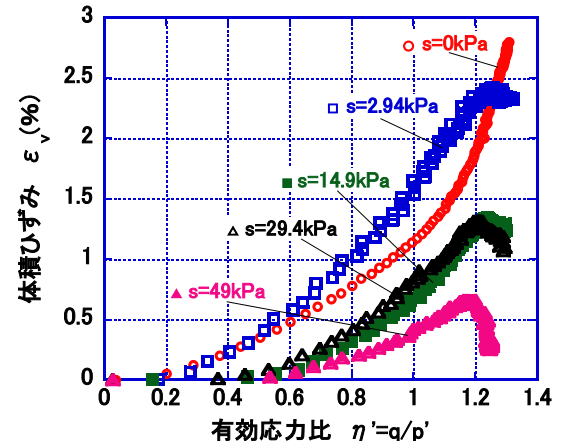


図6 有効応力比と体積ひずみの関係

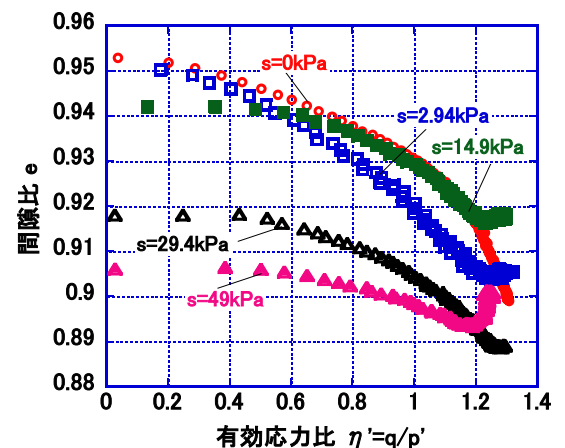


図7 有効応力比と間隙比の関係