

脱水・吸水過程における不飽和土の強度の違い

前橋工科大学
前橋工科大学

学生会員
正会員

○並木 雅弥
森 友宏

1. 研究の背景と目的

地下水位以浅の不飽和土では、(a)降雨浸透後の吸水過程における土粒子間サクシジョンの急減、(b)降雨終了後の脱水過程における土粒子間サクシジョンの回復が生じることが知られており、同飽和度の土でも、吸水過程と脱水過程では土の強度に違いが生じるとされている。しかし、実際の吸水過程と脱水過程での土の強度の違いの程度が明らかになっていないのが現状である。本研究では、土粒子間に形成されるメニスカス水の形状とサクシジョン応力との関係を計測することで、脱水過程と吸水過程の不飽和土のせん断強度の違いを明らかにするものである。

2. 研究の流れ

試料は珪砂 5 号～9 号を等質量ずつ混ぜた混合珪砂と前橋泥流堆積物の 2 種類を使用する。試料の物理特性は表 1 に示す通り。また、繰返し不飽和三軸圧縮試験機を用いて表 2 に示した実験ケースを行う。図 1 は水分特性曲線の模式図であり、ある状態から脱水・吸水した状態では、僅かな飽和度の違い ΔS_r でもサクシジョンの差 ΔS が大きくなることを示している。図 2 は供試体の作り方を示したものである。図 1 中の①は飽和度 100%の状態、②は①を重力のみで排水完了した状態、③は②に空気圧を加えて脱水した状態（標準供試体）を表している。この標準供試体を僅かに湿らせた状態が④、僅かに脱水させた状態が⑤を表している。③・④・⑤においてサクシジョン応力・せん断強度・飽和度などを求め、吸水時(④)と脱水時(⑤)ではどれだけ強度に差が生じるのかを求めることで、僅かな飽和度の違いにより生じるサクシジョン応力が強度に及ぼす影響を検討する。

表 1 実験ケースの組合せ

項目	内容	
試料	混合珪砂5-9号 (等質量混合)	前橋泥流堆積物
締固め度 D_{c0}	80%	90%
有効拘束圧	50kPa	
初期飽和度 S_{r0}	80%	

表 2 試料の物理特性

試料	混合珪砂	前橋泥流堆積物
土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.673	2.735
最適含水比 $\omega_{\text{opt}}(\%)$	12.22	21.49
最大乾燥密度 $\rho_{\text{dmax}}(\text{g/cm}^3)$	1.68	1.639
均等係数 U_c	5.2	7.5
曲率係数 U_c'	0.69	0.675

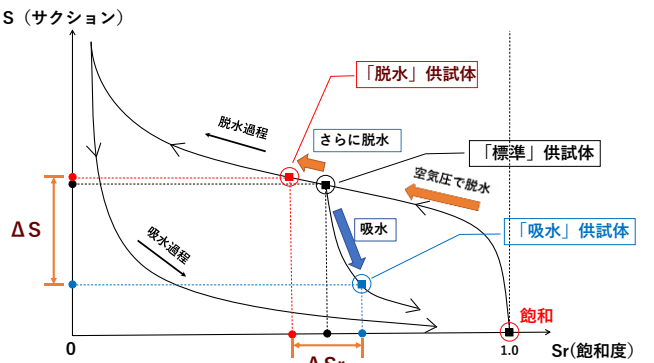


図 1 水分特性曲線の模式図

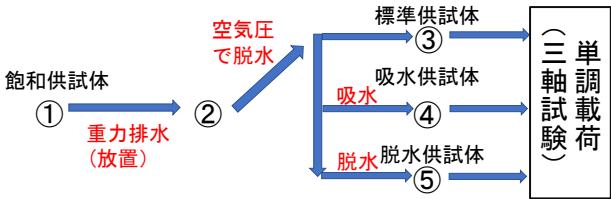


図 2 供試体の作り方のフロー

3. 実験手法

- (a) それぞれの試料を用いて、 $D_c=90\%$ と $D_c=80\%$ で保水性試験を行う。その結果から水分特性曲線を求め、供試体が $S_r=80\%$ となるための空気圧を求める。
- (b) $\phi=5\text{cm}$, $h=10\text{cm}$ の供試体を $S_r=80\%$ 以上で作成し、不飽和三軸圧縮試験機にセットする。
- (c) 圧密過程では有効拘束圧を 50kPa まで上げると共に、(a)で求めた空気圧を供試体にかけて脱水。圧密が完了後、(d1)～(d3)の供試体を作成。
- (d1) 圧密完了後の供試体 (図 2 の③、以降「標準」

供試体と記す).

- (d2) 有効拘束圧をかけたまま、空気圧を 0kPa まで下げ、水 0.5ml を供試体に吸水させた供試体 (図 2 の④, 以降「吸水」供試体と記す).
- (d3) 空気圧を 2kPa 上げ、0.5ml 脱水した供試体 (図 2 の⑤, 以降「脱水」供試体と記す).
- (e) それぞれの供試体で非排水かつ変位制御 (0.12%/min) をした状態で単調圧縮を行う.

4. 結果と考察

ここでは、前橋泥流堆積物の $D_c=90\%$ のケースについてのみ述べる. $D_c=90\%$ の前橋泥流堆積物に関して「吸水」と「標準」と「脱水」供試体でせん断試験を行った結果、下の表 3、図 3、図 4 の結果を得た. 表 3 と図 3 より、初期せん断剛性 G_0 がケース「脱水」と「吸水」では約 3 倍、最大軸差応力は 13kN/m^2 異なっている. この時、「脱水」ではピークが表れたが、「吸水」ではピークが表れなかった. また、残留軸差応力は、全てのケースで同程度となった. これは、供試体内部に大きなひずみ ($\epsilon_a \approx 10\%$) が生じることによって、土粒子の構造が乱れ、土粒子間に懸架されるメニスカス水の形状が同様になったからと考えられる. すなわち、ひずみが大きくなると水分の吸脱水履歴の影響は小さくなり、供試体の強度は飽和度のみに依存することになる. 次に図 4 から分かるように、せん断初期においてはサクシオンが低下したが、せん断が進むにしたがって ($\epsilon_a=0.5\%$ 以降)サクシオンは増加に転じた. この際、サクシオンの増加量は「脱水」で 9kN/m^2 、「吸水」で 5kN/m^2 となり、「脱水」の方がサクシオンの増加量が大きくなった. このことは体積ひずみの増加量の傾向と符合する(「脱水」>「吸水」). 「脱水」の方が、せん断時により大きな体積膨張を生じており、水分履歴の違いが供試体内部の土粒子間のメニスカス水の構造に影響を与え、ひいてはせん断時の体積変化にも影響を及ぼしていることが推察される.

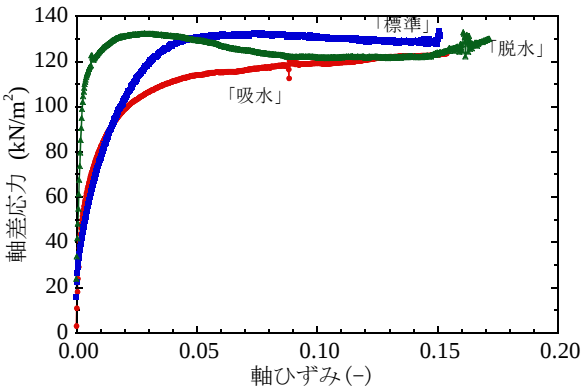


図 3 軸差応力～軸ひずみ図

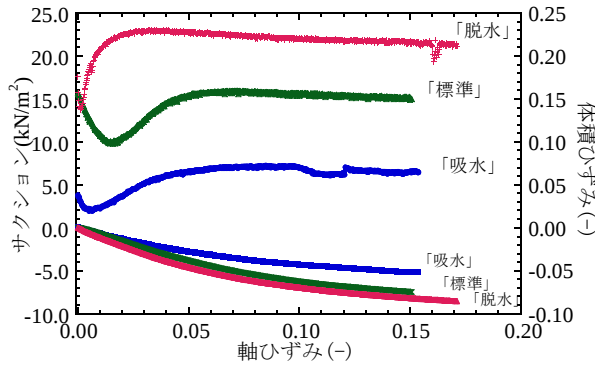


図 4 サクシオン～軸ひずみ～体積ひずみ図

5. まとめ

供試体の水分履歴の違いによって、供試体に働くサクシオン応力が変化し、僅かな飽和度の違いでもせん断剛性と最大軸差応力に大きな差が生じることが示された. 特に、地盤の変形しやすさの指標となる初期せん断剛性は、水分履歴が異なると飽和度で僅か 1%の違いで 3 倍も差が表れた. このことは、地盤が脱水過程にある晴天時と、地盤が吸水過程にある降雨時における斜面の安全性の差を明確に表している. 不飽和地盤のせん断強度は、地盤の水分履歴に大きな影響を受けるのであり、単純に飽和度から地盤のせん断強度を計測すると、誤った強度を計測してしまう可能性がある.

参考文献

- 1) 公益社団法人地盤工学会： 地盤材料試験の方法と解説-二分冊の 2-, pp. 625-660, 2009.
- 2) 土木学会： 土質試験のてびき第 3 版, 2015.

表 3 各実験ケースから得られた力学特性

実験 ケース	ρ_{d0} (g/cm^3)	S_{r0} (%)	G_0 (kN/m^2)	最大軸差応力 (kN/m^2)	最大軸差応力時の 軸ひずみ (-)	残留応力 (kN/m^2)
「脱水」	1.452	80.68	112506.4	132.3	0.028	121.8
「標準」	1.426	75.34	75077.3	132.5	0.076	130.9
「吸水」	1.439	79.08	36497.7	119.3	0.100	119.3