

基底応力とサクシヨンの制御過程の違いが不飽和せん断強度特性に与える影響について

鹿児島大学 学生会員 ○森山史也, 小田柿晶紘  
 鹿児島大学学術研究院 正会員 酒匂一成, 伊藤真一

1. はじめに

降雨時の斜面崩壊メカニズムを解明するためには、不飽和土のせん断強度特性を明らかにする必要がある。不飽和土のせん断強度に関する室内試験方法の一つである不飽和定体積一面せん断試験は、基底応力制御とサクシヨン制御を行い、供試体を圧密し、体積を一定に保ちながらせん断を行う試験である。この試験において、圧密過程終了時における供試体の応力状態が同じであれば、基底応力制御とサクシヨン制御の順序を変えてもせん断強度が一致すると考えられるが、実際に試験をした際、せん断強度が一致するかどうかは明らかになっていない。そこで本研究では、圧密過程における基底応力制御とサクシヨン制御の制御過程の順序が異なるせん断試験を行い、制御過程の違いが不飽和土のせん断強度特性に与える影響について考察する。

2. 試験概要

図-1 は、不飽和一面せん断試験機の模式図を示す。不飽和一面せん断試験機は、供試体の間隙空気圧  $u_a$  と間隙水圧  $u_w$  を調整することでサクシヨン  $s_u (=u_a - u_w, u_a \geq u_w)$  を制御しながらせん断試験を実施できる。また、垂直応力  $\sigma$  は、セル内の間隙空気圧  $u_a$  の影響を受けるため基底応力  $\sigma_{net} (= \sigma - u_a)$  として制御される。本試験では、串良川堤体土 ( $\rho_s = 2.48 \text{ Mg/m}^3$ ) を用いており、初期含水比  $w_0 = 28\%$ 、初期間隙比  $e_0 = 0.96$  を目標に締固めを行った。図-2 に圧密過程時の基底応力とサクシヨン制御過程を示す。供試体作製後、 $s_u = 10 \text{ kPa}$ 、 $\sigma_{net} = 10 \text{ kN/m}^2$  の応力状態に制御したものを初期状態とする。図-2 に示すような応力経路 ( $s_u = 3, 15 \text{ kPa}$ 、 $\sigma_{net} = 100, 250, 400 \text{ kN/m}^2$ ) で圧密過程を経て、せん断試験を行う。なお、基底応力を求める際に、本試験機では構造上の問題から間隙空気圧の補正 <sup>1)</sup>が必要であるため、基底応力の補正を行って試験結果を取りまとめている。図-2 に示すように、圧密過程終了時の基底応力とサクシヨンの応力状態を Case1~6 で示す。また、制御過程について、サクシヨン制御から基底応力制御を経路(A)、基底応力制御からサクシヨン制御を経路(B)で表し、計 12 通りの応力経路で実施した。なお、Case1~Case3 は吸水過程、Case4~Case6 は排水過程となる。

3. 制御過程の違いがせん断強度特性に与える影響

図-3(a)は吸水過程 (Case1~3)、(b)は排水過程 (Case4~6) におけるせん断変位とせん断応力の関係を示す。Case1, Case5 では、経路(A)、(B)でほぼ同じ試験結果が得られている。しかし、その他の Case では、制御過程によってせん断試験結果が異なっている。そこで、圧密過程終了時の供試体の状態を表す間隙比と含水比に着目し、せん断強度に差が生じた原因を

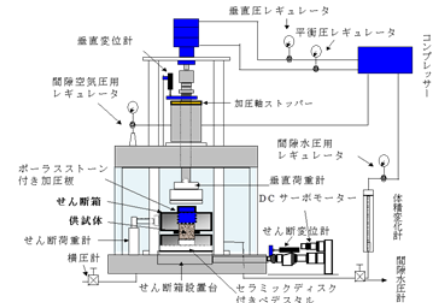


図-1 不飽和一面せん断試験機の模式図

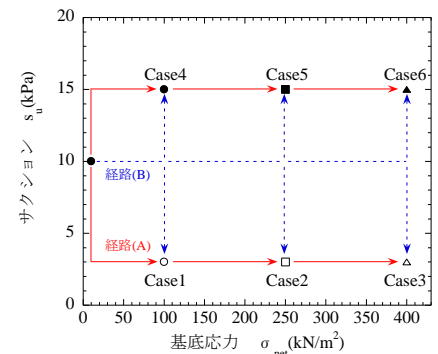
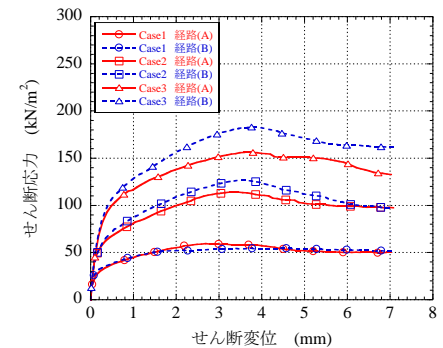
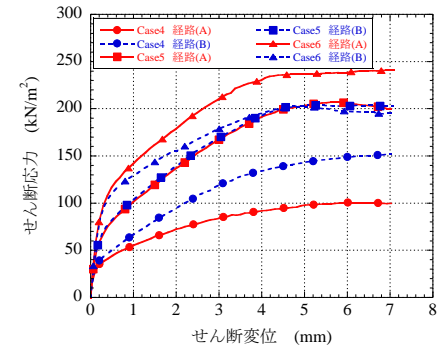


図-2 圧密過程時の基底応力とサクシヨン制御過程



(a) 吸水過程(Case1~3)



(b) 排水過程(Case4~6)

図-3 せん断変位とせん断応力の関係

考察する。図-4(a)は各 Case の経路(A)と経路(B)で比較した圧密過程終了時の間隙比の差 $|\Delta e|$ とせん断強度の差 $|\Delta \tau_f|$ , (b)は圧密過程終了時の含水比の差 $|\Delta w|$ とせん断強度の差 $|\Delta \tau_f|$ を示す。なお、それぞれの差は絶対値で表す。図-4(a)より、間隙比の差は最大 0.08 (Case4) で、本試験において圧密終了時の間隙比の差は小さいことがわかる。一方、図-4(b)より、圧密終了時の含水比についてはややばらつきが大きく、特に吸水過程 (Case1~3) の経路(A)と経路(B)の含水比差がばらついていることがわかる。吸水過程は、排水過程に比べ、平衡状態に達する時間が長くなるため、サクシオン制御時の給水量管理について注意が必要であると思われる。

最もせん断強度差が小さい Case5 は、間隙比および含水比差が小さくなっている。一方、その他の Case では圧密終了時の間隙比差および含水比差とせん断強度差に明確な関係性は見られなかった。

図-5(a)は、吸水過程 (Case1~3) の結果から得られた破壊包絡線、図-5(b)は排水過程 (Case4~6) の結果から得られた破壊包絡線である。なお、破壊包絡線は、せん断応力が最大時のせん断応力と基底応力を用いて求めている。表-1 は破壊包絡線より得られたせん断強度パラメータ (見掛けの粘着成分  $c'$ , 内部摩擦角  $\phi'$ ) の値を示す。図より、吸水過程、排水過程ともに経路(A)と(B)でせん断強度パラメータに大きな違いが見られた。先に述べたように、圧密終了時の間隙比差および含水比差とせん断強度差に明確な関係性が無かったことから、せん断中の応力状態の違いについて今後検討が必要である。制御経路の違いによるせん断強度のばらつきはあるが、 $s_u=3\text{kPa}$  と  $15\text{kPa}$  でのせん断強度を比較すると  $s_u=15\text{kPa}$  のせん断強度の方が大きくなる結果が得られており、従来の不飽和土質力学の知見と一致した結果が得られていると思われる。

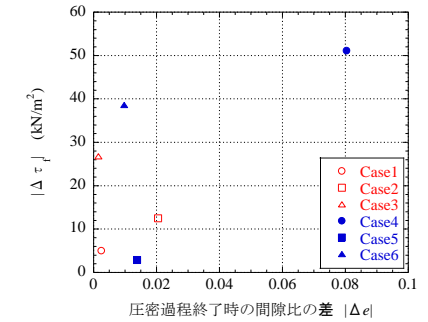
4. おわりに

本研究では、圧密過程における基底応力制御とサクシオン制御の制御過程の順序が異なるせん断試験を行い、制御過程の違いがせん断強度特性に与える影響について考察した。試験結果から、サクシオン制御と基底応力制御の順序がせん断試験結果に影響を与える可能性が見られた。せん断過程前の圧密終了時の含水比および間隙比とせん断強度に着目して考察を行ったが、特に明確な関係性は見られなかったが、吸水過程の Case での圧密終了時の含水比差がばらついており、サクシオン平衡状態を管理する際の給水量の管理について注意が必要と思われる。今回は  $s_u=3, 15\text{kPa}$  の 2 通りでしか試験を行っておらず、試験回数が少なかつたため、今後、試験条件を変化させて試験回数を増やし、せん断強度やせん断強度パラメータにばらつきが生じた原因についてさらに考察する必要がある。

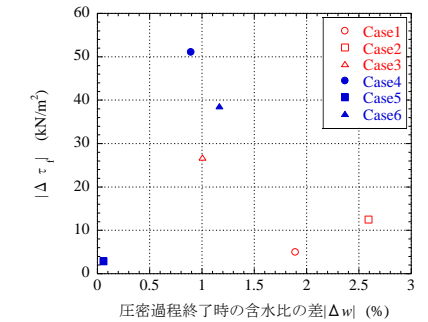
謝辞：本試験を実施するにあたり、右田大也氏 (セントラルコンサルタント(株)) に多大な協力をいただきました。ここに記して謝意を示します。

参考文献

1)三根達也：不飽和定圧一面せん断試験結果における基底応力の影響に関する一考察，鹿児島大学，平成 24 年度卒業論文，pp.13-17，2012。

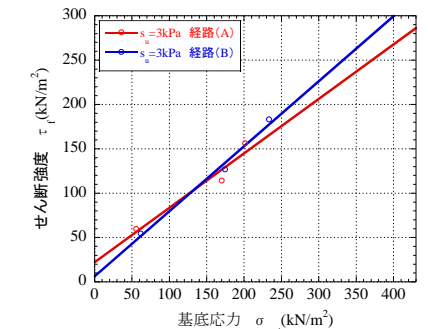


(a) 圧密過程終了時の間隙比の差とせん断強度の差

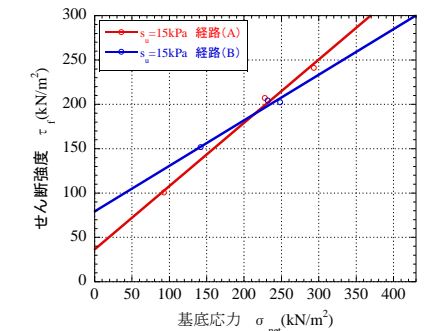


(b) 圧密過程終了時の含水比の差とせん断強度の差

図-4 経路(A)と(B)による圧密過程終了時の間隙比と含水比の違いによるせん断強度の差



(a) 吸水過程(Case1~3)



(b) 排水過程(Case4~6)

図-5 破壊包絡線

表-1 せん断強度パラメータ( $c'$ ,  $\phi'$ )

見掛けの粘着成分 (kPa)		
	経路 (A)	経路 (B)
$s_u=3\text{kPa}$	22.2	6.3
$s_u=15\text{kPa}$	36.7	79.2
内部摩擦角 (°)		
	経路 (A)	経路 (B)
$s_u=3\text{kPa}$	31.55	36.26
$s_u=15\text{kPa}$	35.50	27.23