

不飽和土の三軸圧縮挙動と強度に対する試験条件の影響

鳥取大学工学部 正 会 員 清水 正喜
鳥取大学大学院 学生会員 ○西岡 龍二
鳥取大学大学院 学生会員 坂本 創

1. はじめに

サクシオン一定排水条件および間隙空気圧またはサクシオン一定非排水条件で不飽和土の三軸圧縮試験を行い、サクシオンや体積変化を調べるとともに強度に対する正味の拘束圧とサクシオンの影響について考察した。

2. 試験装置及び供試体

試験装置は清水・坂本¹⁾が使用したものをを用いた（図1）。排水量は二重管ビュレット内水位、体積変化量はセル内水位の変化量を測定することで算定できる。Yリング装着型載荷棒を用いてセル水がセル外に蒸発するのを防いだ。

試料は DL クレーを用いた（表1）。試料を含水比 60%に調節して十分に練り返した後、三軸セル内で予圧密を行い供試体にした。予圧密は取り外しが可能なモールドを三軸セルのペデスタルに設置してその中で行った。49.2kPa まで段階的に圧密し、5.7kPa まで除荷を行った。次に、サクシオン 30kPa を作用させて供試体を不飽和化した。予圧密終了後、モールドを取り外し三軸圧縮試験を行った。

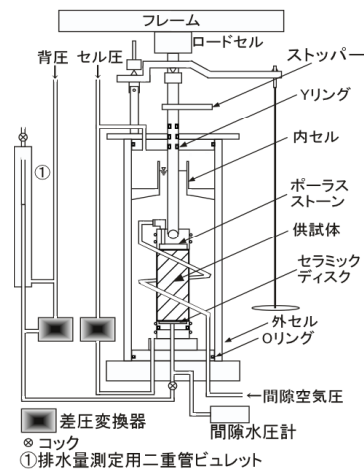


図1：試験装置
（三軸圧縮試験時）

3. 試験方法

試験は圧密圧力、サクシオンおよび排水条件を変えて行った（表2）。

等方圧縮過程では、所定の正味の拘束圧（ $\sigma_{3net} = \sigma_3 - u_a$ ）とサクシオン（ $s = u_a - u_w$ ）を作用させた。軸圧縮過程では排水と非排水の条件で

試験を行った。排水試験はセル圧 σ_3 と間隙空気圧 u_a を一定にして行った。非排水条件においては u_a 一定の条件と、 u_w の変化に伴って u_a も同じ量だけ変化させることでサクシオンを一定に保つサクシオン一定条件（ s 一定）の2通りで行った。非排水条件では軸ひずみ速度 0.0244 %/min で、排水条件では 0.0051 %/min でせん断した。

4. 結果

u_a 一定非排水試験（ $\sigma_{3net} = 200\text{kPa}$ ）の結果を図2に示す。この条件ではせん断により間隙水圧が上昇し、そのためサクシオンは減少した。

s 一定非排水試験（ $\sigma_{3net} = 200\text{kPa}$ ）の結果を図3に示す。この条件ではせん断に伴って u_w が上昇した。サクシオンを一定に保つために u_a を上昇させた。そのため σ_{3net} は減少した。 $\sigma_{3net} = 0$ になったとき u_a の制御を止めた。その後も u_w は上昇しつづけたため、サクシオンは減少した。

排水試験（ $\sigma_{3net} = 200\text{kPa}$ ）の結果を図4に示す。この条件では軸圧縮初期は体積が圧縮し排水が生じた。その後、体積変化が膨張に転じたが、排水は収まらなかった。これは、初期の体積圧縮に起因する排水の遅れ、または、水分保持特性の間隙構造の依存性が理由として考えられる。

せん断応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ と正味の平均応力 $(\sigma_1 + \sigma_3)/2 - u_a$ との関係で表

表1：試料の物理的性質

$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	$w_L(\%)$	$w_P(\%)$	シルト(%)	粘土(%)
2.697	NP	NP	83	17

表2：試験条件

等方圧縮過程 (軸圧縮時初期値)		軸圧縮過程
σ_{3net}	s	試験条件*
100 kPa	70 kPa	U(u_a 一定)
		U(s一定)
		D
200 kPa		U(u_a 一定)
		U(s一定)
		D

(*: U は底面非排水, D は底面排水, 上面はすべて排気・排水条件である)

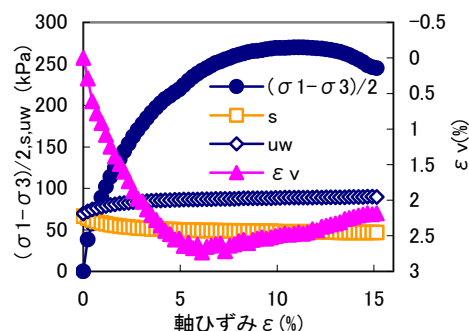


図2： u_a 一定非排水試験
（ $\sigma_{3net} = 200\text{kPa}$, $\sigma_3 = 340\text{kPa}$,
 $u_a = 140\text{kPa}$ ）

キーワード：不飽和土 せん断強度 三軸圧縮試験 排水条件 応力経路

連絡先：清水正喜 〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4-101,鳥取大学工学部,土木工学科

した応力経路を図5に示す。排水試験と u_a 一定非排水試験は u_a が一定なので経路は直線になる。s 一定非排水試験では u_a を制御（増加）した間は左へカーブする曲線になったが、 $\sigma_{3net}=0$ になると空気圧の制御を止めたので経路は原点を通る直線となった。せん断応力のピークは $s=70\text{kPa}$ の時に現れたが供試体は破壊していなかったもので、 $\sigma_{3net}=0$ になってからのピークを破壊時と考える。

各条件において、 σ_{3net} の値が大きいとせん断強度が大きくなっているのが分かる。排水試験と s 一定非排水試験を比べると、両条件ともサクシオンは 70kPa 一定である

が、強度は排水条件のほうが大きい。s 一定非排水試験では σ_{3net} が減少したため強度が最も小さくなったと考えられる。

せん断強度に対するサクシオンの影響を調べるためにせん断応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ とサクシオン s との関係を表した（図6）。排水試験では s が一定なので直線を描いた。 u_a 一定非排水試験では s が減少したため左側に移動した。s 一定非排水試験は、サクシオン制御中は、排水試験と同じ経路で、サクシオン制御を止めた後は、サクシオンは減少し左側へ移動した。

この図より、 σ_{3net} が同じ場合、排水条件が異なると、せん断強度はサクシオンによって変化することがわかる。各直線の傾き k と σ_{3net} の関係を図7に示す。 k は一定であるか、 σ_{3net} に依存するか、データ数が限られているため定かではない。仮に一定と見なせれば不飽和土のせん断強度に関する Fredlund らの説が、排水条件が異なっても成り立つことが実証されたことになる。

5. 結論

正味の拘束圧 σ_{3net} が同じでも排水条件が異なればサクシオンの違いによってせん断強度は異なるが、サクシオンによるせん断強度増加率は拘束圧や試験条件に依存しない可能性が示唆された。

参考文献 清水・坂本：不飽和土の三軸圧縮試験における排水

条件の影響，土木学会中国支部第 56 回研究発表会，pp.313—314，2004. 2) Fredlund, D. G & Rahardja, H. : Soil Mechanics for Unsaturated Soils, John Wiley & Sons, Inc, 1993.

