

低拘束圧力下の不飽和土のせん断強度に与える湿潤作用の影響

足利工業大学 正会員 西村友良

1 まえがき

盛り土・切り土の斜面の安定問題に取り組む際には土の力学定数を適切に判断しなければならない。斜面の比較的表層部分は不飽和状態であるので土中のサクシヨンの大きさととの関係や拘束圧力の影響を考慮する必要がある。サクシヨンの大きさと含水比の関係を示す水分保持曲線ではサクシヨンが増大するにつれて、Boundary 領域、Transition 領域、Residual 領域に区別される。地表面付近の空気の蒸気圧の変化いわゆる湿度の影響を表層部分が受けている場合、土は Residual 領域にあり、土中には高サクシヨンが平衡している。同時に拘束圧力が低いことも特徴である。このような高サクシヨンを受け、かつ低拘束圧力下での不飽和土のせん断強度を測定することは、斜面表層領域の安定計算にとって重要なことである。そこで本研究では、斜面表層領域の安定性評価を念頭に不飽和土の定圧一面せん断試験を行い、せん断強度を求めた。ただし、不飽和供試体に対して蒸気圧法によって土間隙内を高サクシヨンに平衡させ、かつ湿潤作用を与えて、せん断強度の変化を検討した。

2 試料と実験方法

試料には非塑性シルト質土を用いた。試料の水分保持曲線を求めたところ、空気侵入値（AEV 値）は 10kPa であり、サクシヨンが 2830kPa では試料は Residual 領域であった。突固めによる土の締固め試験（JIS A 1210）の試験方法 A-a を実施したところ試料の最適含水比は 17% であった。17% に含水比調整した後、不飽和土用一面せん断箱の中で静的に締め固めた。不飽和土用一面せん断箱を図 - 1 に示す。締固め後の供試体の目標間隙比を 0.91 とした。

供試体中の間隙水を蒸発させ、間隙内に高サクシヨンを載荷させるために、塩薬品と蒸留水を供試体とともにガラスデシケータの内に入れ密閉した。塩の種類によって、空気中の蒸気圧が定まり、ある大きさの湿度が保たれる。この方法は湿度定点¹⁾を利用した蒸気圧法²⁾である。湿度の大きさからサクシヨンの大きさを定量的に求めることは可能であり、本実験に用いた 6 種類の塩と 20 環境下での湿度ならびにサクシヨンの大きさを表 - 1 にとりまとめる。

本実験では作製した供試体を湿度 11% の環境下で約 1 ヶ月間、ガラスデシケータ内に静置して土中水を蒸発させた。次に、11% 以上の湿度環境下に供試体を置いて供試体中のサクシヨンを 296000kPa から低下させ、サクシヨンの湿潤作用を与えた。湿潤過程においても約 1 ヶ月間の養生期間の設定をし、その後供試体を一面せん断試験機にセットし、3.5kPa の垂直応力を載荷してせん断変位速度を毎分 0.25mm として定圧一面せん断試験を実施した。本実験に用いた 6 種類の塩の内、塩化リチウムは空気中の湿度を 11% にするとともに湿度が 0 から 50 の間において平衡する蒸気圧が一定いわゆる相対湿度が変わらない塩であるという特徴がある¹⁾。

3 実験結果

3-1 せん断応力 - せん断変位の関係

供試体の初期状態から湿度 11% の環境下で土中水の蒸発を受けその後、湿度 11% 以上の湿度の空気にさらされた全ての供試体の含水比は 1% 以下の低い値であった。このような小さな含水比をもつ供試体の低拘束圧力下でのせん断応力 - 水平変位の関係を図 - 2 に示す。水平変位の発生とともにせん断応力の増加が見られた。最大せん断応力の値は 34kPa から 39kPa の範囲内であった。供試体の内、湿度 98% の場合を除いて、明確なピーク強度を示す応力 - ひずみ曲線が見られた。また、最大せん断応力を示した後は急激に抵抗力を失い、せん断応力が 20kPa 程度まで減少している。よって、残留強度は、最大せん断応力の 50% 以下であるといえる。湿度 98% の場合はピーク強度が、水平変位 0.9mm で見られたのにたいして、湿度 98% 以外の場合、ピーク強度を示した水平変位は 0.5mm 以下であった。特にピーク強度発生時の水平変位が小さいものだと 0.12mm であった。

キーワード: 不飽和土, 定圧一面せん断強度, サクシヨン/連絡先: 栃木県足利市大前町 268 TEL 0284-62-0605 tomo@ashitech.ac.jp

次に、せん断変形の進行にともなう供試体の垂直方向の変位を示す。供試体の垂直方向の変位は、不飽和土用の一面せん断箱の上部に取り付けたガイドに変位計をセットして測定を行った。測定された垂直方向の変位と水平変位の関係を図 - 3 に示す。湿度 98%の供試体を除いて、せん断に伴う体積膨張が確認されている。垂直方向の膨張量の大きさは、湿度の大きさと密接な関係や定性的な性状を見ることはできない。

3 - 2 湿度（サクシオン）とせん断強度の関係

次に、湿度に対するせん断強度の関係を求めるために、図 - 4 に湿度とせん断強度の関係を示す。図 - 4 ではせん断強度の値が、ほぼ一定値を示しており、湿度に対して水平な破壊線として判断できる。本実験で高サクシオンを受けた供試体の含水比は 1 %以下であり、土のせん断抵抗性が土粒子間の水分量に依存しているからであるといえる。表 - 1 の湿度とサクシオンの値からサクシオンに対する土の強度増加率は零として評価が出来ることになる。

4 まとめ

本研究では静的に締め固めた土に蒸気圧法（湿度制御）による高サクシオン制御を行い、試料の Residual 領域におけるせん断強度について検討を行った。特に本実験では小さな垂直応力の定圧一面せん断試験であったので、低拘束圧力下でのせん断試験といえる。得られた結果からせん断強度に与えるサクシオンの影響は極めて小さく、強度増加率に置き換えるとその値は零である。したがって、Residual 領域での土のせん断抵抗力の大きさはサクシオンの影響が小さいと考えられる。

謝辞 本研究を進めるにあたり財団法人前田記念工学振興財団より平成 17 年度研究助成の補助を得ました。ここに記して深く謝意を表します。

参考文献 1) 上田政文: 湿度と蒸発, 基礎から計測技術まで, コロナ社, 2000 年. 2) 地盤工学会編: 土質試験の方法と解説 (第一回改訂版), 第 7 章土の保水性試験, pp.118 - 132, 2000.

表 - 1 塩と湿度・サクシオン値

塩		湿度%	サクシオン kPa
硫酸カリウム	K_2SO_4	98	2830
リン酸二水素アンモニウム	$NH_4H_2PO_4$	93	9800
塩化ナトリウム	$NaCl$	75	39000
硝酸マグネシウム	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	54	83400
塩化マグネシウム	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	33	148000
塩化リチウム	$LiCl$	11	296000

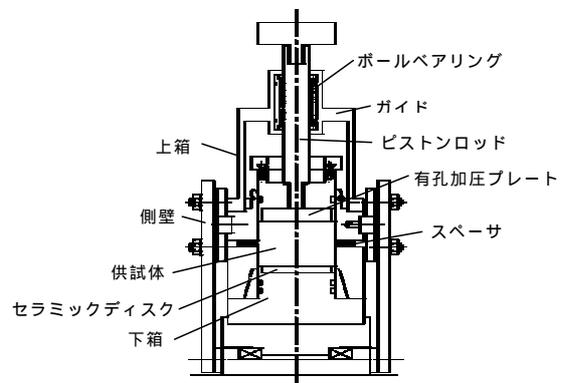


図 - 1 不飽和土用一面せん断箱

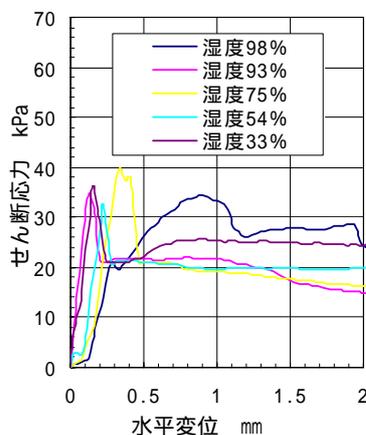


図 - 2 せん断応力 - せん断変位曲線

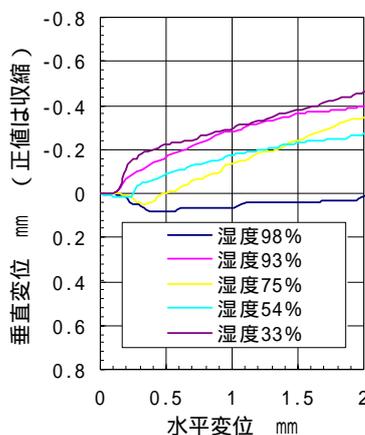


図 - 3 垂直変位 - せん断変位曲線

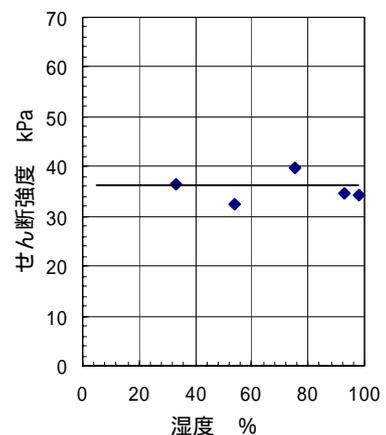


図 - 4 せん断強度と湿度の関係