不飽和シルトの強度定数に与える高サクションの影響

足利工業大学　正 会 員　　西村友良
足利工業大学　学生会員　○横尾将貴　柿崎佳和

1 まえがき

自然斜面，盛土･切土斜面の表層部分ならびに地盤の表層部分から地中の地下水面までは不飽和領域である．不飽和土は土粒子，間隙空気，間隙水の三相構成であるため，土中にはサクションが存在している．サクションの大きさは地中の深度によって異なり，地下水面付近ではサクションは小さく，一方大気との境界となる表層部分では，蒸発作用の働きによって土中の含水比が低下しサクションは大きくなり，その変動は大気中の湿度変化が関係していると考えられている．地表面からの土中水の蒸発によって，かなりの大きさのサクションが土間隙内に作用し，斜面の緩みや崩壊に繋がることが考えられる．このような大気中の湿度変化の影響により，高いサクションを受けた不飽和土の特性を検討することは，斜面表層部分ならびに地盤表層部分の安定性の評価において非常に重要であり，実際の地盤を取り巻く環境を評価する上で不可欠といえる．そこで本研究では，サクションの制御方法として蒸気圧法を用いて，締固めた不飽和供試体に高サクションを与え，三軸圧縮試験を実施し，供試体の等方圧縮特性，せん断特性ならびに土の強度定数について検討を行い，飽和供試体と比較することを目的とした．

2 試料と実験方法

試料には非塑性のシルト質土を用いた．試料の土粒子密度は 2.65g/cm^3，最大粒径は 0.1mm，シルト含有率は 92%であった．突固め試験（JIS A 1210）呼び名 a（乾燥法，繰返し）から得られた締固め曲線から，試料の最適含水比は 17%と求められた．本実験では，最初に供試体の締固め（初期）含水比を，最適含水比の乾燥側となる 10%とした．試料の締固めには，内面がフッ素樹脂加工された内径 5cm，高さ 30cm の二つ割れモールドを使用した．試料を所定質量に計量し，モールドに全量を投入し，ベロフラムシリンダーによって圧縮力を静的に載荷した．試料に加える圧縮力は 2043kPa とし，試料脱型後，高さ 10cm に成形したものを供試体として用いた．締固め後の供試体目標間隙比は 0.96 とした．サクションの制御方法は，土質試験の方法と解説の「土の保水性試験」[1]の中に，制御サクションの範囲に応じた方法が記述されているが，本実験では 1500kPa 以上の高サクション制御を行うため蒸気圧法を適用した．ただし，本実験では塩薬品ではなく恒温恒湿槽を用いて湿度環境制御を行い，供試体間隙内に高サクションを与えた．なお，サクション（ψ）と湿度（RH）との関係は，式（1）より算出することができる．

$$\psi = -135022 \ln(RH) \qquad (1)$$

三軸圧縮試験は，サクション制御後の供試体を二重セル構造の三軸圧縮試験機にセットし実施した．供試体の体積変化は非接触変位計を応用して測定した．三軸圧縮試験機の断面図を図-1 に示す．

本実験で実施した三軸圧縮試験では，高サクションを受けた土の等方圧縮特性を求めるため，供試体に対して基底応力を段階的に 600kPa まで増大させた．その後，除荷過程として基底応力を段階的に減少させた．除荷過程における基底応力がそれぞれ 600kPa，400kPa，200kPa，100kPa，50kPa の段階で排気排水条件の下，軸圧縮過程に入った．また，軸ひずみ速度は毎分 0.1%とし，軸ひずみ量 15%付近まで軸圧縮を行うようにした．

さらに本実験では，供試体のせん断特性に与える高サクションの影響を検討するために，飽和化を試みた供試体のせん断特性を求めている．供試体の飽和化は，背圧 200kPa を作用させ B 値 0.95 以上を確認し，軸圧縮過程は排水条件で実施している．

3 実験結果

図-2 は，サクション制御後の供試体に対して等方圧縮試験を実施し，供試体の比体積と基底応力との関係を求めたもの

キーワード：不飽和土，サクション，湿度，強度定数
連絡先：〒326-8558 栃木県足利市大前町 268-1 足利工業大学都市環境工学科 Tel 0284-62-0605　Fax 0284-64-1061

である．図-2 の圧縮曲線から得られる圧縮指数ならびに膨張指数の値は 0.027 と 0.003 であった．図-3 は，600kPa の基底応力を受けた後，600kPa，400kPa，200kPa，100kPa，50kPa の基底応力において軸圧縮を受けた際の供試体の応力－ひずみ曲線である．どの基底応力においても，軸ひずみ発生とともに直線的に軸差応力が伸びている．基底応力 200kPa，100kPa，50kPa ではピーク強度が見られた．一方，基底応力がさらに増加すると，明確な最大軸差応力が見られなくなり，軸ひずみが増大しても，緩やかな軸差応力の増加が続いている結果となった．図-4 は，軸圧縮過程における供試体の体積ひずみを示している．供試体の体積ひずみは，軸ひずみの増加に伴って膨張あるいは収縮を示している．明確な体積膨張を示しているのは，基底応力が 50kPa の場合であり，基底応力が増加するにつれてせん断中の体積変化は収縮が卓越している．図-5 は，それぞれの基底応力において求めた平均主応力と軸差応力の関係を示しており，同時に破壊線を描いている．この破壊線の傾きである摩擦係数 M から，高サクションを受けた土の内部摩擦角を算出すると 31°，また見かけの粘着力は約 40kPa として評価される．内部摩擦角に与える高サクションの影響を検討するために，飽和化した土の有効内部摩擦角を求めた．図-6 は，飽和化した供試体に対して，200kPa，100kPa，20kPa の側方向応力において，排水条件下で軸圧縮試験を実施して求めた平均有効主応力と軸差応力の関係と破壊線を示している．この破壊線の摩擦係数 M から有効内部摩擦角は 32°と算出され，見かけの粘着力は約 8kPa と評価された．

4　まとめ

本実験では，不飽和土の等方圧縮特性，せん断特性ならびに強度定数について検討するため，恒温恒湿槽による湿度環境制御によって締固めた不飽和供試体に対して高サクションを与え，三軸圧縮試験を実施した．高サクションを受けた不飽和供試体の摩擦係数 M より内部摩擦角は 31°と評価された．一方，飽和供試体の有効内部摩擦角は 32°となり，高サクションの影響は見られなかった．しかし，見かけの粘着力には相違が確認された．

参考文献

1) 地盤工学会編：土質試験の方法と解説（第 1 回改訂版），第 7 章土の保水性試験，pp.118-132，2000.

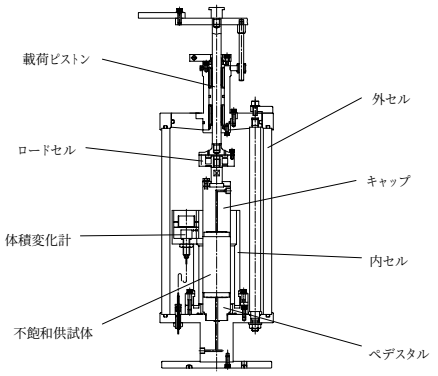

図-1　三軸圧縮試験機

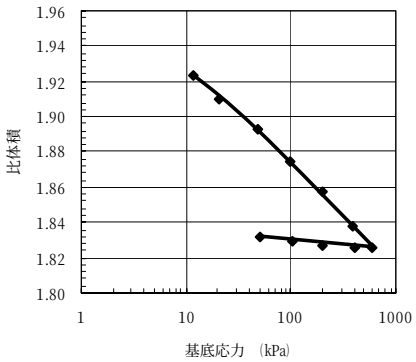

図-2　圧縮曲線

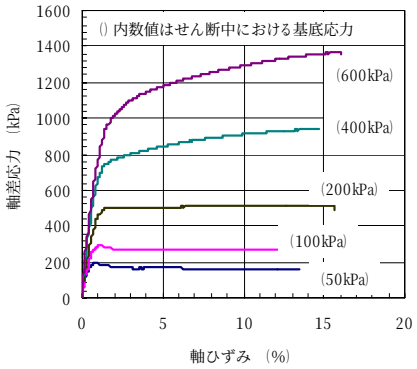

図-3　応力－ひずみ曲線

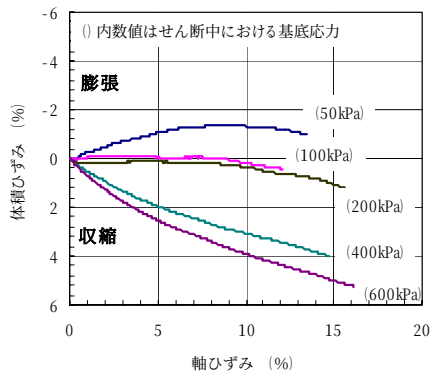

図-4　体積ひずみと軸ひずみの関係

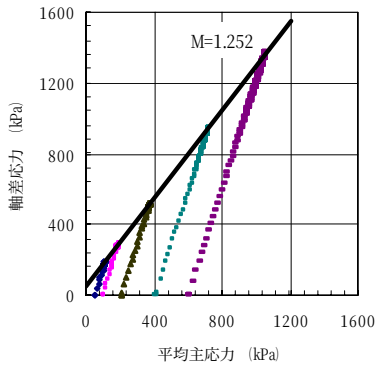

図-5　不飽和供試体の破壊線

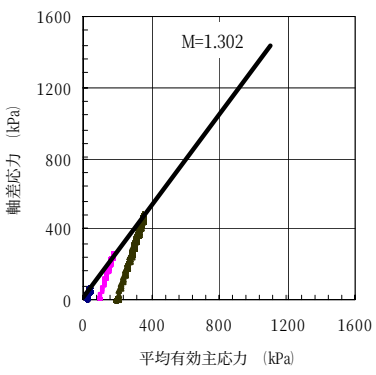

図-6　飽和供試体の破壊線