

低飽和度の不飽和土の一軸圧縮強度に及ぼすサクシジョンの影響について

名古屋工業大学 正会員 加藤 正司
岐阜工業高等専門学校 正会員 吉村 優治
高松工業高等専門学校 正会員 土居 正信

1.はじめに 近年、サクシジョン（負の間隙水圧）を測定した不飽和土の一軸圧縮強度に関する研究^{1), 2)}が行われているが、それらは比較的飽和度の高い不飽和土を対象としている。本研究では、低飽和度の不飽和土の一軸圧縮強度に及ぼすサクシジョンの影響について、過去に行われた不飽和土の一斉一軸・三軸試験³⁾のデータをもとにして考察を加える。そして、三軸試験結果から得られるサクシジョン～ボンド応力（粘着成分）関係と、一軸試験から予測されるサクシジョンとボンド応力との対応関係を示すものである。なお、以下では、サクシジョン S を間隙空気圧（ u_a ）と間隙水圧（ u_w ）の圧力差（ $S = u_a - u_w$ ）と定義する。

2.サクシジョンとボンド応力の関係 サクシジョンと土中の水分量との関係は、水分特性曲線（図-1）として知られている。サクシジョンが0の状態では水分量を持つ土では、サクシジョンが増加してもある大きさまで水分量の変化はない（図-1中、A点）。このA点のサクシジョンの大きさを、エアーエントリーバリュー（A.E.V.と略す）と呼ぶ。続いてサクシジョンが増加すると、間隙内に空気が侵入することにより径の大きな間隙中から間隙水が排水され、土粒子接点周りにメニスカスを形成する。A.E.V.以下のサクシジョン状態では間隙は飽和されている。このためテルツアギーの有効応力式が成立し、サクシジョンはその大きさが負の間隙水圧として有効応力に寄与すると考えられる。一方、A.E.V.以上の状態では、サクシジョンはすべてが有効応力に対して寄与することはない。

正規圧密状態の飽和土がサクシジョンの増加により不飽和化すると、破壊時のモールの応力円は次式で示す包絡線に接する（図-2）。

$$\tau_f = \sigma_f \tan \phi + c \quad (1)$$

ここで、 τ_f ：破壊面上のせん断応力、 σ_f ：破壊面上の垂直応力、 ϕ ：内部摩擦角、 c ：粘着力。また、図-2の関係に示されるように、粘着力 c は次式のボンド応力 σ_0 （粘着成分）として表すことができる。

$$\sigma_0 = c \cdot \cot \phi \quad (2)$$

サクシジョンの増加とともに、不飽和土の粘着力 c は増加する。その増加傾向は図-3のようになるものと考えられる。すなわち、A.E.V.以下のサクシジョンの大きさでは、サクシジョンがすべて有効応力として作用し、粘着成分も比例的に増加する。サクシジョンの大きさがA.E.V.以上となると、有効応力に対するサクシジョンの寄与率が低下してゆく。そして、粘着成分（ボンド応力）の増加傾向も緩やかなものとなる。このようにサクシジョンの有効応力に対する寄与率の変化は、ボンド応力の変化として現れる。

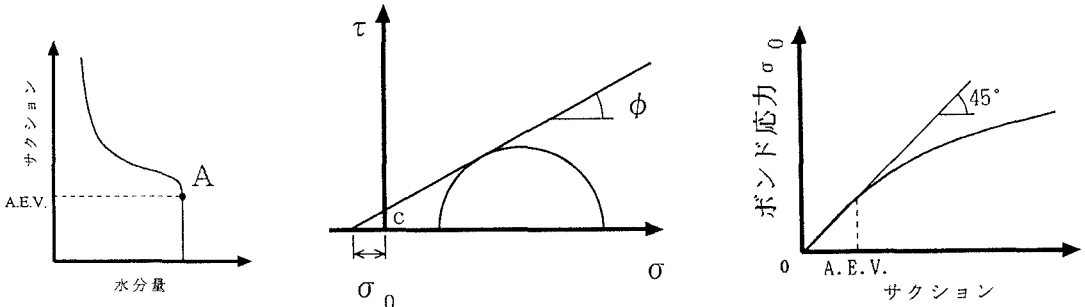


図-1 水分特性曲線 図-2 破壊時のモールの円とボンド応力 図-3 サクシジョン～ボンド応力関係

3. 不飽和土の一斉一軸・三軸試験結果におけるサクシオン～ボンド応力関係

ここでは、平成4年に実施された一斉試験結果を再整理し、三軸試験から得られるサクシオン～ボンド応力関係と一軸圧縮試験から得られる破壊時のサクシオンとボンド応力の関係を比較検討する。

一斉試験に用いられた試料は市販のシルト質粘土（商品名：DLクレー）で、その物理的性質は、 $G_s=2.65$ 、 $w_L=NP$ 、 $I_p=NP$ 、シルト分=92%である。目標含水比（三軸試験では17%、一軸試験では9、11、13、15、17%）に調整した試料を3層に分けて10cmモールドに投入し、2.5kgランマーで各層を25回ずつ締め固めてブロックサンプルを作製し（JSFT711-1190,A-a法）、それをトリミングして直径50mm、高さ100mmの供試体として使用している。この方法によりDLクレーを用いて今年度行った締め固め試験結果を図-4に示す。作製時の供試体の飽和度は20～60%程度である。三軸試験の応力経路としては等方圧縮過程として所定のサクシオン（ $S=0.3, 0.6, 0.9, 1.2 \text{ kgf/cm}^2$ ）を与えた後、平均有効応力を増加し、その後、サクシオンおよび側圧一定で排水条件下で圧縮せん断試験を実施している。一軸圧縮試験では、セラミックディスクを用いてせん断中のサクシオンを測定している。

ここで一軸圧縮強度 q_f と破壊時の平均有効主応力 p_f の関係は $q_f=3p_f$ で与えられる。飽和状態における有効応力に関するDLクレーの内部摩擦角 $\phi=42^\circ$ は不飽和状態に対しても変わらないものと仮定すると、図-5に示す関係を用いて破壊時のボンド応力を推定することができる。

図-6は、一斉試験結果によるサクシオン～ボンド応力関係を示している。図中の黒丸のプロットはサクシオン一定の三軸試験結果に基づくものである。白色で示されているデータは、サクシオンを測定した一軸試験結果から図-5の関係によりボンド応力を推定して、破壊時のサクシオンとの関係をプロットしたものである。一軸試験結果によるサクシオン～ボンド応力関係が三軸試験結果に近い傾向を示すことがわかる。

4. まとめ 低飽和度の不飽和土の一軸圧縮試験に基づくサクシオン～ボンド応力関係は、三軸圧縮試験から得られる関係に近いことが示された。このことは、サクシオンを測定した一軸圧縮試験によっても不飽和土のサクシオン～ボンド応力関係が予測可能であることを示している。よって、サクシオンを測定した一軸圧縮試験は、原位置のサクシオンが測定された場合にその地盤の有するボンド応力を知る簡便な方法の一つとなると考えられる。今後は締め固め方法を変えて一軸試験を行い、供試体作製時の乾燥密度が一定で初期飽和

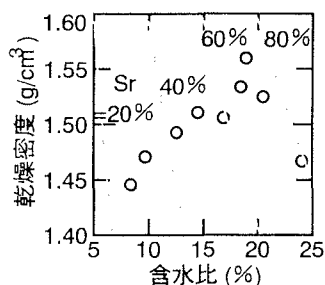


図-4 DLクレーの締め固め試験結果

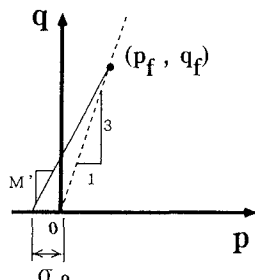


図-5 一軸圧縮強度とボンド応力の関係

度を変えたデータを基にサクシオン～ボンド応力関係について検討する。

参考文献 1) 三田地ら、第30回土質工学研究発表会講演集その1、No247、pp.615-617、1995。 2) 田中ら、第30回土質工学研究発表会講演集その1、No249、pp.621-622、1995。 3) (社)土質工学会編、不飽和地盤の調査・設計・施工に関する諸問題シンポジウム発表論文集、pp.23-58、1993。

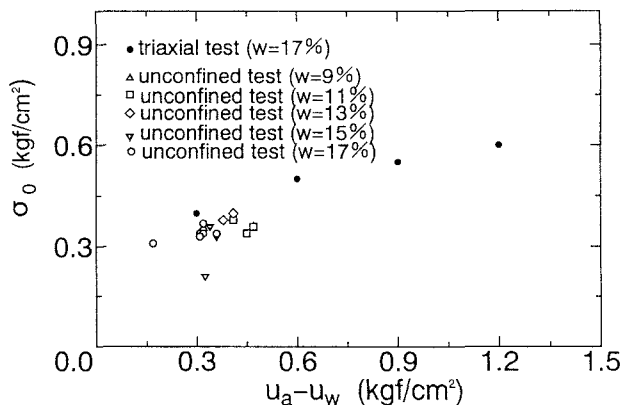


図-6 一斉試験におけるサクシオン～ボンド応力関係（文献3）のデータを再整理したもの）