

(III-23) 一次元圧縮過程における不飽和土の ϕ^b

足利工業大学 正会員 西村友良

足利工業大学 学 生 落合容子 佐藤正志

まえがき

不飽和状態の地盤や土構造物の工学的問題に関する調査や研究が盛んに行われている。不飽和土のせん断特性および体積変化に関わる応力変数として拘束圧力とサクション力の二つが上げられ、不飽和土のせん断強さを表す破壊規準は多くの研究者たちによって提案されている。Fredlundら¹⁾は(1)式の不飽和土のせん断強さに関する破壊規準を提案し、強度定数の ϕ' および ϕ^b を求めるには飽和状態および不飽和状態のせん断試験を行う必要性があると述べている。

$$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b \quad (1)$$

また、サクション力の大きさや土質によって不飽和土のせん断強さの増加量がサクション力の増大に伴い減少し、さらにせん断強さが低下することを土の水分保持曲線を使ったモデルから予測している²⁾。不飽和土の強度定数を求めるには、三軸圧縮試験や直接せん断試験が行われているが、供試体として締固め土や飽和状態から乾燥させた不飽和土である。そのため締固めの過程で変化するサクション力やせん断抵抗力の変化を検討した報告が見られない。そこで本研究ではゆる詰め状態から一次元圧縮試験を行い、間隙比の変化およびマトリックサクションを計測し、含水比一定における不飽和土の一次元圧縮特性を明らかにする。さらに不飽和土にベーンせん断試験を行い、一次元圧縮の進行に伴うせん断強さや強度定数 ϕ' および ϕ^b の変化について考察することを目的としている。

実験方法

実験に用いた試料はDL-clayと呼ばれるシルト質土で、所定の含水比に調整した後、試料を三軸圧縮試験の底版に装着したモールド中にゆる詰めに入れ、供試体を作成した。供試体下端では十分に飽和したAEV (200kPa) のセラミックディスク付きペDESTALと供試体とが接しており、圧縮中の負の間隙水圧が測定された。一次元圧縮試験のひずみ速度は、0.01%/minから1.0%/minの範囲で検討を行い、 $e-\log P$ 曲線に与えるひずみ速度の影響が見られなことから0.5%/minのひずみ速度を選択した³⁾。ベーンせん断試験はハンド型式 (GEONOR製; Hand-Held Vane Tester) を用いて行った。供試体に9.8, 49, 98, 490, 980kPaの圧縮応力 (拘束圧力) を載荷後、供試体上面にベーンブレードを押し込み、ベーンブレードを手動で回転させてベーンせん断強さを計測した。

実験結果

供試体が締固められ間隙比が減少していく過程をFig-1に示す。 $e-\log P$ 曲線はS字に似た形であり、供試体の初期状態の間隙比が大きいため圧縮による間隙比の減少量は大きい。また、供試体の含水比が大きいため間隙比が小さくなる傾向が見られる。締固めが進行すると、飽和状態の正規圧密線に近づき、やがて $e-\log P$ 曲線の軌跡が拘束圧力の軸に平行な直線に移行すると考えられる。次に不飽和土が締固まる過程での土中の負の間隙水圧を計測した結果をFig-2に示す。土中の間隙空気圧は大気圧に等しいと仮定しているため、負の間隙水圧の大きさはマトリックサクションになる。拘束圧力にたいするサクション力の変化は、一次元圧縮過程における不飽和土の有効応力成分の拘束圧力とサクション力の関係を明白にしていることになる。含水比の小さい供試体ほどサクション力が増大する傾向である。間隙比の高い状態から不飽和土が締固められると土粒子同士の接する接点の数が増大し、これらの接点には間隙水によってメニスカスが形成され、サクション力が増大すると考えられる。しかし、拘束圧力が500kPa以上になると拘束圧力の増加量にたいするサクション力の増加割合は次第に減少していることが示されている。拘束圧力の変化量に対するサクション力の変化量の比をOloofssonら⁴⁾は α として(2)式で表現し、不飽和土の初期飽和度に大きく影響されると述べている。

$$\alpha = \frac{\Delta(u_a - u_w)}{\Delta(\sigma_c - u_a)} \quad (2)$$

ベーンせん断強さと拘束圧力の関係をFig-3に示す。拘束圧力の増大につれてベーンせん断強さが増大している

のは、締固めの進行にともなう間隙比の減少（密度の増大）のためである。また、同一の拘束圧力において含水比が小さいほどベーンせん断強さが増大する傾向にある。拘束圧力の変化量とベーンせん断強さの変化量の比は $\tan \phi'$ となる。Fig-3より ϕ' の大きさは拘束圧力が増大するにつれて減少する傾向が見られるが、含水比の大きさによる影響は明確でない。

Fig-4は、締固め中に計測されたサクシオン力とベーンせん断強さの関係を拘束圧力ごとに表している。これまでのサクシオン力にたいする不飽和土のせん断強さの関係を検討した報告や ϕ^b を求めた報告⁵⁾では、排水状態でサクシオン力を制御していたため、サクシオン力の変化は供試体に含水比の変化を与えていた。しかし、本研究では含水比一定条件下で供試体中のサクシオン力が増大しているためこれまでの研究報告と相違がある。Fig-4から、ベーンせん断強さはサクシオン力の増大によって増大しているが、その変化を表す ϕ^b は、拘束圧力の大きさによって変化し、拘束圧力が増大することで ϕ^b が大きくなる傾向が見られる。

あとがき

今後はベーンせん断強さの精度を高め、980kPa以上の拘束圧力を受けた不飽和土のベーンせん断強さを計測し、 ϕ^b 、 ϕ' の変化について検討する。

参考文献1)D.G.Fredlund and N.R.Morgenstern; The shear strength of unsaturated soil, Canadian Geotechnical Journal, 15,313-321,1978. 2)D.G.Fredlund and A.Xing; The relationship of the unsaturated soil shear strength to the soil-water characteristics curve, Canadian Geotechnical Journal, 32,440-448,1995. 3)坂口真司,西村友良;不飽和土の一次元圧縮特性に与えるひずみ速度の影響,第23回関東支部技術研究発表会,pp.362-363,1996. 4)Olou.S.Y and D.G.Fredlund; A method for determination of ϕ^b for statically compacted soils, Canadian Geotechnical Journal, 33,272-280,1996. 5)V.Escario and J.Saez; The shear strength of partly saturated soils, Geotechnique, 453-456,1986.

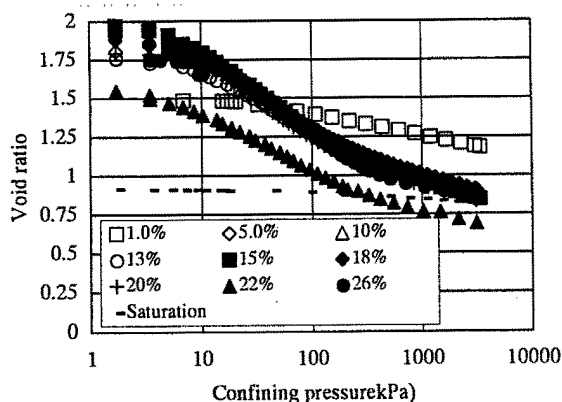


Fig-1 Relation between confining pressure and void ratio

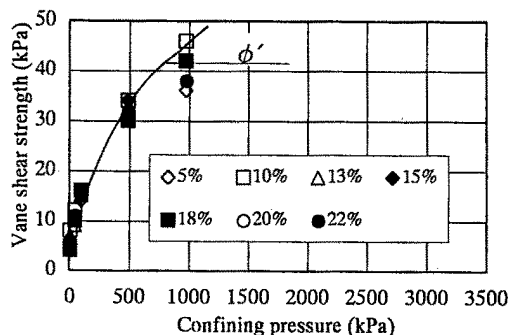


Fig-3 Relation between confining pressure and vane shear strength

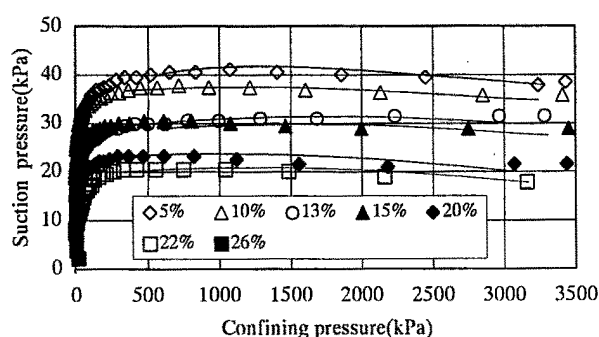


Fig-2 Relation between confining pressure and suction pressure

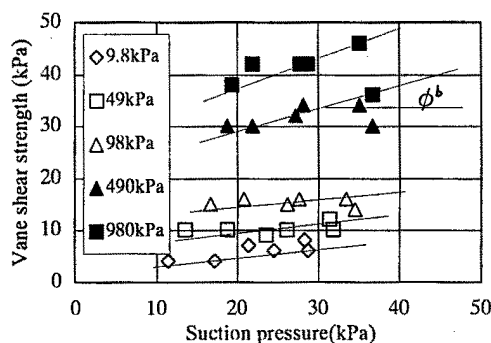


Fig-4 Relation between suction pressure and vane shear strength