

1 まえがき

不飽和土のせん断強さはサクシオンに密接な関係があることは十分に知られており、Fredlund, Morgenstern and Widger (1978) は、拘束圧力とサクシオンを用いた不飽和土のせん断強度式を提案した。最近では、水分保持曲線によるせん断強度の予測式が提案され、サクシオンと不飽和土のせん断強度の関係が非線形であるという報告がある。土の水分保持曲線に着目すると水分保持曲線は、乾燥過程において Boundary effect zone, Transition zone (Primary and Secondary), Residual stage of unsaturation に区別できる。Boundary effect zone は、土中のサクシオンが Air entry value よりも小さく、土が飽和に近い状態である。Residual stage of unsaturation は、土中のサクシオンがかなり高く、含水量が非常に少ない乾いた状態である。Transition zone (Primary and Secondary) では、サクシオンの増大にたいして含水比の低下が大きな状態である。本研究では、水分保持曲線の Transition zone における不飽和シルトの三軸圧縮試験の結果について報告する。

2 試料と実験方法

実験に用いた試料は非塑性のシルト質土であり、試料の粒径加積曲線を Figure 1 に示す。初期含水比を 9.6% に調整し、1997kPa の圧縮応力で試料を静的に締め固めた。初期条件として、間隙比 0.95、飽和度 27%、乾燥密度 1.35g/cm^3 であった。締め固めた不飽和シルトを不飽和土用三軸圧縮試験機にセットし、等方圧縮状態で拘束圧力とサクシオンを制御した。本実験では 25kPa、50kPa、100kPa の拘束圧力を供試体に与え、セラミックディスクを用いた加圧版法で、150kPa から 450kPa のサクシオンを供試体に与えた。制御したサクシオンが土の間隙中に平衡した後、軸圧縮によって 20% の軸ひずみを 24 時間かけて作用した。Figure 2 に試料の水分保持曲線を示す。サクシオンは理論上、0kPa から 1000000kPa までの大きさを有しており、0kPa から 200kPa 付近のマトリックサクシオンの制御は加圧版法によって行い、マトリックサクシオンと含水比の関係を測定した。セラミックディスクの Air entry value の大きさが 200kPa であったので、200kPa 以上のサクシオンの制御については、蒸気圧法および相対湿度制御法を採用した。蒸気圧法では、塩飽和溶液(硫酸カリウム、硝酸カリウム、塩化ナトリウム、硝酸マグネシウム、塩化マグネシウム、塩化リチウム)を試料とともにガラスデシケーターに入れ、1か月以上静置した後含水比を測定した。相対湿度制御法は、恒温恒湿度槽内に試料を保存し、含水比の測定を行った。制御した相対湿度は 80% から 40% であった。Fredlund and Xing (1994) は、水分保持曲線の予測式を式(1)のように提案しており、加圧版法、蒸気圧法、相対湿度制御法で測定されたサクシオンと含水比の関係を基にパラメータを決定し Figure 2 に水分保持曲線を描いている。

$$w = w_s \left[1 - \frac{\ln \left(1 + \frac{\psi}{\psi_r} \right)}{\ln \left(1 + \frac{1000000}{\psi_r} \right)} \right] \left[\frac{1}{\ln \left[e + \left(\frac{\psi}{a} \right)^n \right]} \right]^m \quad (1)$$

w : 含水比(%), w_s : 飽和状態における含水比(%), ψ : 全サクシオン(kPa), ψ_r : 残留状態のサクシオン(kPa), e : 2.71818, a : Air entry value に関連したパラメータ, n : Transition stage の水分保持曲線の傾きに関連したパラメータ, m : 残留状態の含水比に関連したパラメータ。本実験で用いたシルト質土の場合、 $a = 20$, $n = 2.5$, $m = 1.05$, $w_s = 31\%$, $\psi_r = 500\text{kPa}$ であった。

サクシオンが Air entry value 10kPa を越えると不飽和シルトはサクシオンにたいして急激な低下を示しており、Primary transition zone 領域を示している。また、100kPa 以上のサクシオンが作用するとサクシオンにたいする含水比の低下割合が徐々に減少し、Secondary transition zone であるといえる。500kPa 以上になると不飽和シルトは、Residual state of unsaturation

キーワード: 不飽和土、サクシオン、水分保持曲線、三軸圧縮試験

連絡先: 〒326-8558 栃木県足利市大前町 268 足利工業大学 土木工学科 Tel 0284-62-0605 Fax 0284-64-1061

領域に至り、かなりサクシオンが増大しても含水比の減少はわずかである。

3 実験結果

本実験では、Transition zone 領域における不飽和シルトに三軸圧縮試験を行った。その実験結果をFigure 3に示す。不飽和シルトのせん断強さは、サクシオンの増大にたいして大きくなっており、サクシオンの増大が土粒子間の結合力に貢献しているといえる。サクシオンが150kPaから450kPaの範囲ではあるが、サクシオンにたいする破壊線は直線で近似できる。サクシオンにたいする破壊線の傾きは、Fredlund, Morgenstern and Widger (1978)によって提案された不飽和土のせん断強度式のサクシオンに関する強度増加(ϕ^b)を示す。 ϕ^b は、拘束圧力が25kPa、50kPa、100kPaの場合でもほぼ同一であり、20.3度が算定された。本実験に用いたシルトの飽和状態の有効内部摩擦角は、43度であり、また、サクシオンが Air entry value よりも小さい Boundary effect zone においては不飽和シルトのサクシオンにたいする破壊線の傾きがほぼ43度であることから、サクシオンの増大によって Transition zone に至るとサクシオンにたいする破壊線の傾き ϕ^b が減少し、またサクシオンのせん断強度に寄与する割合が減少していることを示している。破壊時の主応力に関するモールの応力円を拘束圧力25kPa、50kPa、100kPaにたいして描き、Figure 4に示す。応力円群は1本の破壊包絡線に包絡され、包絡線の勾配は、Transition zone における不飽和シルトの拘束圧力に関する内部摩擦角となり、40度として算定された。試料の有効内部摩擦角43度と比較すると、小さな値が得られた。

4 あとがき

本研究において、水分保持曲線の Transition zone における不飽和シルトのサクシオンにたいするせん断強さは、直線的な破壊線で示されるが、その傾きの大きさは、有効内部摩擦角に比べかなり小さい。一方、モールの応力円より求めた破壊包絡線の傾きは、有効内部摩擦角よりも小さな値であった。

参考文献 Fredlund, Morgenstern and Widger, 1978, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 15, No.3, pp.313-321.

Fredlund and Xing, 1994, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 31, No.3, pp.521-532.

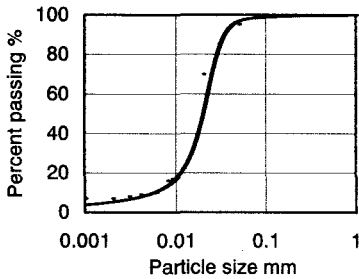


Figure 1. Grain size distribution.

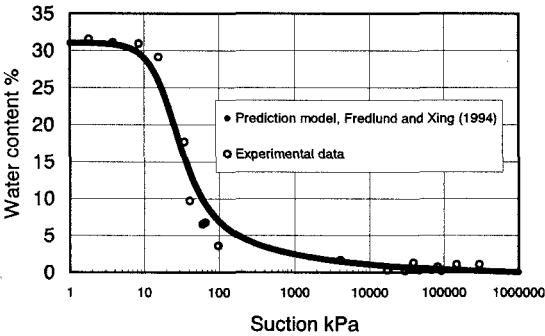


Figure 2. Soil-water characteristic curve for a silty soil

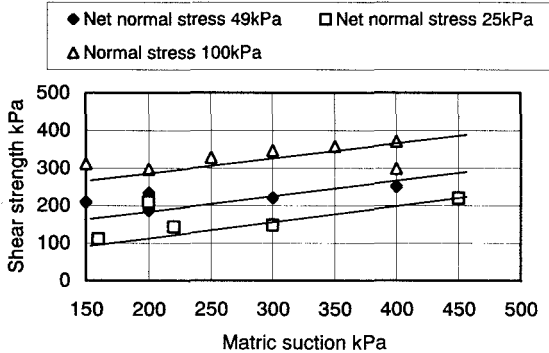


Figure 3. Relationship between shear strength and matric suction.

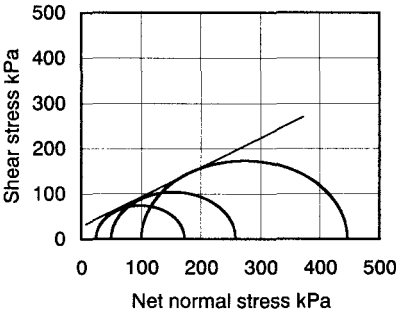


Figure 4. Net normal stress versus shear stress.