

1 まえがき

地盤の浅い部分是不飽和領域であり、土中の間隙水圧は負の値を示し、間隙内にサクションが作用している。地盤の表層では、大気中の相対湿度の変化や降雨の土中への浸透によってサクションが大きく変化している。このような領域は **Active Zone** と呼ばれ、その深さは地盤条件で異なる (Blight, 1997)。相対湿度が低下すると土中水が大気中に蒸発し、土中に大きなサクションが働き、体積収縮あるいはクラックを発生させる原因となる。このようにサクションは土中の応力状態を変化させる役割を有しており、また環境の変化が地盤に与える影響を考える場合にサクションは重要な応力変数となる。本研究では、高いサクション領域における締め固めた不飽和土の一軸圧縮強度とサクションの関係を明白にすることを目的とし、乾燥過程 (サクション増加過程) における粘性土の一軸圧縮強度の変化や、シルト質土の一軸圧縮強度に与える湿潤過程・乾燥過程の影響を検討している。

2 試料と実験方法

本実験において、粘性土としてカオリンをまた、シルト質土として非塑性の **DL-clay** を用いた。カオリンと **DL-clay** の水分保持曲線を Figure 1 と 2 に示す。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、飽和塩溶液を用いた蒸気圧法、相対湿度制御法で測定されたサクションと含水比の関係を基にパラメータを決定し Figure 1 と 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 : 全サクション (kPa)、 ψ_r : 残留状態のサクション (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。カオリンの場合、 $a=500$ 、 $n=0.55$ 、 $m=2$ 、 $w_s=60\%$ 、 $\psi_r=500$ kPa。DL-clay の場合、 $a=20$ 、 $n=2.5$ 、 $m=1.05$ 、 $w_s=31\%$ 、 $\psi_r=500$ kPa であった。

初期含水比 31.7% で締め固めたカオリン (間隙比 0.99、飽和度 83.1%) を一定温度、一定湿度に制御された恒温恒湿度槽内に 1 カ月以上静置し、乾燥させた。本実験では相対湿度を 80% から 40% まで低下させた。供試体中の間隙内と槽内の相対湿度が平衡状態に至った後、供試体を恒温恒湿度槽内から取り出し、0.5mm/min の変位速度で一軸圧縮試験を行い、一軸圧縮強度と含水比を測定した。一方、9.6% の含水比に調整した DL-clay を静的に締め固めて作製した (間隙比 0.95、飽和度 27.0%)。一度、DL-clay 供試体を相対湿度 40% の恒温恒湿度槽内に静置し、含水比を減少させた後、50%、60%、70%、80% の順に相対湿度を増加させ、サクションを減少させた (湿潤過程)。それぞれの相対湿度の環境下に 1 カ月以上静置し、一軸圧縮強度と含水比を測定した。

3 実験結果

カオリン供試体の乾燥過程にともなう一軸圧縮強度と含水比を Table 1 に示す。Table 1 の中の “Initial” は、締め固め直後を意味しており、その時のサクションは、含水比をもとに Figure 1 の水分保持曲線から求めた値である。また、相対湿度にたいするサクションの値はサクションと相対湿度の関係から算出している。カオリンの一

キーワード : 不飽和土、サクション、水分保持曲線、一軸圧縮強度、残留状態

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

軸圧縮強度は、相対湿度の低下（サクシジョンの増大）にともない大きくなっている。また含水比は高いサクシジョンを受けることでかなり減少し、同時にサクシジョンの増大によって小さくなっている。相対湿度 80%はサクシジョン 30000kPa に相当し、Figure 1 の水分保持曲線から考えるとカオリンが Residual stage of unsaturation（残留状態）に至っているといえる。Figure 3 は、サクシジョンとカオリンの一軸圧縮強度の関係を示しており、Figure 3 中の破線の傾きは、Fredlund, Morgenstern and Widger（1978）が提案した不飽和土のせん断強度式の中の ϕ^b に相当する。算出された残留状態のカオリンの ϕ^b は、0.3 度であった。Table 2 に DL-clay の湿潤過程における一軸圧縮強度と含水比の測定結果を取りまとめ、併せて乾燥過程での実験結果（Nishimura and Fredlund, 1999）も示している。相対湿度が 40%から増大するにつれて一軸圧縮強度は、減少する傾向が見られ、相対湿度 80%において最も小さな値を示している。また、含水比は、相対湿度の増大（サクシジョンの低下）とともにわずかであるが大きくなっている。Figure 4 は、DL-clay の一軸圧縮強度とサクシジョンの関係に与える乾燥過程、湿潤過程の影響を示している。同じ大きさのサクシジョンであっても、乾燥過程の一軸圧縮強度が湿潤過程の一軸圧縮強度よりも大きいことがわかる。また、94000kPa、69000kPa のサクシジョンにおいて、乾燥・湿潤過程の影響が大きく表われ、一軸圧縮強度に大きな差が見られる。参考文献 1)Blight, G.E. 1997. The active zone in unsaturated soil mechanics. 1st GRC LECTURE. 2)Fredlund, D.G. and Xing, A. 1994. Canadian Geotechnical Journal. 31. 521-532. 3)Fredlund, D.G., Morgenstern, N.R. and Widger, R.A. 1978. Canadian geotechnical Journal, Vol.15. 313-321. 4)Nishimura, T. and Fredlund, D.G. 1999. IS-Shikoku'99. 757-762.

Table 1. Summary of unconfined compression tests for a kaolin.

Relative humidity %	Total suction kPa	Unconfined compressive strength kPa	Water content %
Initial	900	394	31.7
80	30000	551	2.16
70	48000	763	1.56
60	69000	608	1.21
50	94000	986	0.95
40	124000	1000	0.88

Table 2. Summary of unconfined compression tests for a silty soil.

Relative humidity %	Total suction kPa	Unconfined compressive strength kPa (Drying)	Unconfined compressive strength kPa (Wetting)	Water content %
Initial	41	28.8		9.6
88	17000	25.4		0.26
80	30000	32.4		0.3
70	48000	38.8		0.26
60	69000	58.3		0.18
50	94000	59.2		0.15
40	124000	55.7		0.1
50	94000		36.7	0.11
60	69000		41.3	0.33
70	48000		33.8	0.3
80	30000		27.9	0.36

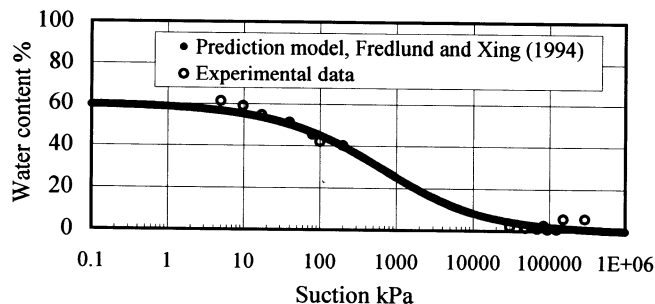


Figure 1. Soil-water characteristic curve for a kaolin.

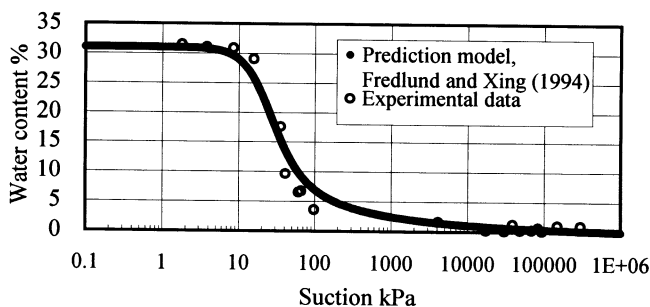


Figure 2. Soil-water characteristic curve for a silty soil.

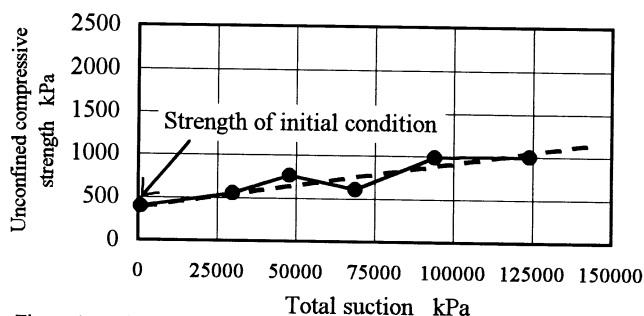


Figure 3. Relationship between unconfined compressive strength and total suction for a kaolin.

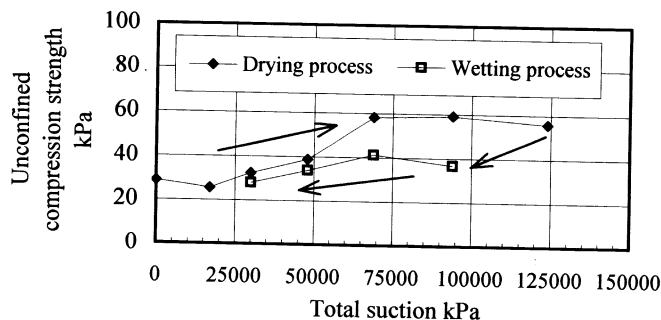


Figure 4. Relationship between unconfined compressive strength and total suction for a silty soil.