

神戸大学自然科学研究科 学生員○櫻井健一
 神戸大学自然科学研究科 学生員 汪 偉川
 神戸大工学部 正会員 河井克之

1. 本研究の目的

これまで不飽和土は挙動が複雑であるために、変形問題と浸透問題に分けて研究が進められてきた。しかし現象を合理的に説明するために、二つの問題を連成する必要がある。この両問題を連成するものが、水分特性曲線であると考えられる。本研究ではこの連成問題へのアプローチとして、非排水圧縮試験を行い、不飽和土の圧縮特性及び水分特性を検討する。また実験から最乾燥水分線を求め、間隙水分布を算出する方法を検討する。

2. 実験装置及び方法

用いた試料は市販のカオリン KS であり、その物理的性質は $G_s=2.622$, $w_p=42.6$, $w_L=72.0$, $I_p=30.4$ である。含水比調整された試料を突固めとトリミングによって直径 35mm、高さを 80mm に成形し、不飽和土用三軸試験機に設置した。この試験機は、供試体上部から間隙空気圧を載荷することができ、供試体下部のセラミックディスクを介して、吸排水量と間隙水圧を測定できるようにになっている。非排水試験では、与えた空気圧と測定された水圧の差がサクションとなる。実験はまず排水条件下で加圧法によりサクション履歴を与え、所定の含水状態にした。その後、空気圧を一定に保ったまま非排水条件で等方圧縮しその時の水圧を測定した。

3. 実験結果と考察

(1) 水分特性

表 1 は圧縮開始時の供試体の状態、図 1 はサクション載荷段階、図 2 は非排水圧縮段階の各供試体の水分特性（サクション s と飽和度 S_r の関係）を表している。供試体 ucu9, ucu10 は圧縮段階の後半にあまり圧縮していないため、飽和度も変化しないが、各供試体はほぼサクションの減少に伴い飽和度が增加するという傾向にあり、水分特性曲線の吸水曲線の傾向に類似していることから、モデル曲線との比較を行った。図 3 中の点線は河井¹⁾の水分特性曲線モデルによって得られた理論吸水曲線である。このモデルは、サクションを変化させて飽和度を測定した結果から得られたものであり、図 3 からサクション変化による水分特性曲線と土骨格圧縮による飽和度変化によって得られた水分特性曲線が一致することが分かる。

表 1 圧縮開始時の供試体の初期状態

供 試 体	空気圧 (kPa)	飽和度 (%)	含水比 (%)	間隙比
ucu3	197	47.0	31.6	1.76
ucu4	197	57.3	38.3	1.76
ucu6	295	42.4	30.0	1.85
ucu8	293	45.4	30.8	1.77
ucu9	197	50.5	33.8	1.75
ucu10	196	52.7	34.5	1.71

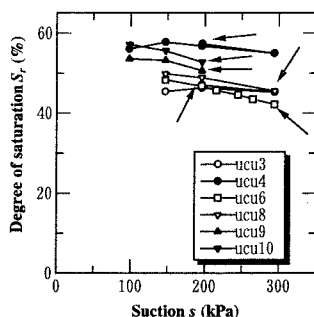


図 1 サクション載荷段階の $S_r \sim s$

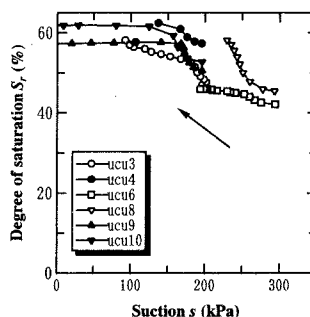


図 2 圧縮段階の $S_r \sim s$

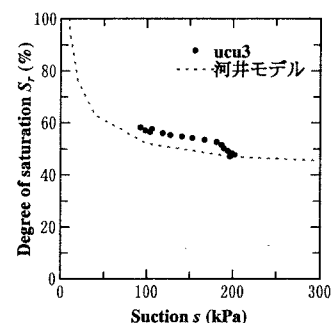


図 3 河井モデルとの比較

(2) 圧縮特性

図4に試験結果の $e \sim \log(p + p_s)$ を示す。ucu 供試体は不飽和土を、cu 供試体は飽和土を表している。両者を比較すると、不飽和土の方が傾きが大きい。これは圧縮中のサクシオン減少によるコラプス性圧縮の影響であると考えられる。また ucu9 と ucu10 では後半に圧縮が見られない。この時、拘束圧増分は間隙水圧増分と等しくなっており、不飽和でありながら飽和土のような挙動を示している。この現象を仮飽和現象と呼ぶことにする。

(3) 最乾燥水分線

不飽和土の内部分応力を決定するには、間隙水の分布の割合を把握する必要がある。軽部ら²⁾は最乾燥水分線を仮定して、最乾燥水分線上の飽和度 S_{rd} を用いて、バルク水とメニスカス水の割合を求めた。今回の非排水等方圧縮試験では B 値から、直接間隙水の割合を求めることを試みる。式(1)は河井³⁾が提案しているもので、

$$B = \frac{\Delta u_w}{\Delta p_r} = \frac{S_{rb}}{100 - S_{rc}} \quad (1)$$

ここに最乾燥水分線より求められる式、

$$S_{rb} = \frac{(100 - S_{rc})(S_r - S_{rd})}{100 - S_{rd}} \quad (2)$$

を代入すると、

$$S_{rd} = \frac{S_r - 100B}{1 - B} \quad (3)$$

となる。式(2)を用いて、今回の試験結果から最乾燥水分線が図5-(a)のように求まったが、大きなばらつきがある。そこで、新たに B 値から最乾燥水分線を求める方法を提案する。これは、 B 値とバルク水が吸着水を除く間隙水中に占める割合と一致するという考えで、式(4)で表せる。

$$B = \frac{\Delta u_w}{\Delta p_r} = \frac{S_{rb}}{S_r - S_{rc}} \quad (4)$$

これと式(2)と連立すると、

$$S_{rd} = \frac{S_r(100 - S_{rc}) - B(S_r - S_{rc})}{100 - S_{rc} - B(S_r - S_{rc})} \quad (5)$$

となる。これにより実験結果を整理すると、図5-(b)のように表せ、ばらつきが(a)より小さくなっている。ここで、式(1)と式(4)から直接バルク水が占める飽和度 S_{rb} を求められることは重要な意味を持つ。つまり、CU 試験で B 値を測定すれば S_{rb} と S_m が求まり、その含水状態（サクシオン、飽和度）における軽部モデルのバルク応力 p_b とメニスカス応力 p_m を直接算出できる。

4. まとめ 不飽和土の非排水圧縮試験を行い、以下の知見を得た。

- ① 非排水圧縮時のサクシオン変化は水分特性曲線の吸水線に相当する。
- ② 圧縮中のサクシオン変化によるコラプス性圧縮により、圧縮量は大きいが、飽和度が高くなってくると飽和土のように体積変化が小さくなっていく。
- ③ 値から最乾燥水分線を算出し、内部の含水状態を推定する方法を提案した。

参考文献：1) 河井：間隙比の影響を考慮した水分特性曲線モデル，土木学会論文集 No.666/III-53,291-302,2000. 2) 軽部ら：不飽和土の間隙水状態と土塊の力学的挙動の関係について，土木学会論文集, No.535, pp.83-92, 1996. 3) 河井ら：水分特性曲線のモデル化及び不飽和土における土骨格と土中水の連成問題，神戸大学博士論文，2001

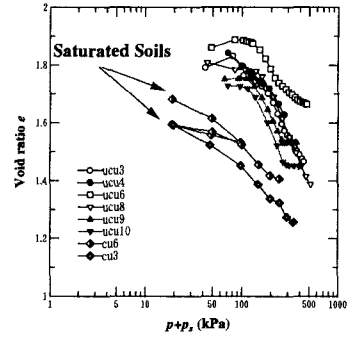
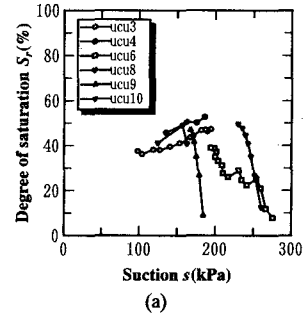
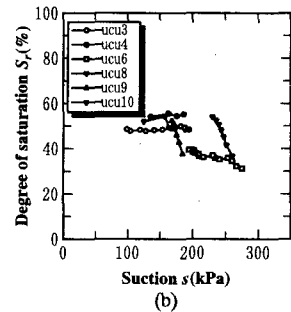


図4 $e \sim \log(p + p_s)$



(a)



(b)

図5 S_{rd} の比較