

不飽和土の非排水等方圧縮試験による最乾燥水分線の定量化について

神戸大学工学部 正会員 河井克之
 神戸大学自然科学研究科 学生員 汪 偉川
 (株)リクル-トコスモス 小川圭亮

1. 本研究の目的

軽部の研究では、最乾燥水分線を定義し、間隙水の構成割合を推定し、 p_b, p_m を定量化しているが、この最乾燥水分曲線の仮定については、理論上の式の展開により定義している。本研究では、不飽和土の非排水等方圧縮試験を行い、 B 値を求め、応力成分から間隙水分布を推定し最乾燥水分線を定量化することを目的とする。

2. 実験装置及び方法

用いた試料は市販の 5 クレーであり、その試料の物理的性質は $G_s = 2.709, w_p = 29.6, w_L = 43.0, I_p = 13.4$ である。試料は含水比調整をして、直径 35mm、高さを 80mm に整形し、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、吸排水量もしくは間隙水圧を測定できるようになっている。非排水試験においては、与えた空気圧と測定された水圧の差がサクシオンとなる。実験はまず排水条件下で加圧法によりサクシオン履歴を与え、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下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) 不飽和土における B 値の考え方

不飽和土では間隙空気の圧縮があるために実際には体積変化が起こる。ここで、間隙水の移動はなくバルク水はその形態を保持すると考える。不飽和土の分応力は、実質応力 p とバルク応力 p_b の和であるため、等方的な外力増分 p_T が間隙水相へ作用するのはバルク水が占める作用面積だけである。このとき、間隙水圧の増分 u_w は、

$$\Delta u_w = \frac{S_{rb}}{100 - S_{rc}} \Delta p_T \tag{1.1}$$

ここで、 S_{rb} はバルク水の占める飽和度、 S_{rc} は限界飽和度であり吸着水相の占める飽和度である。ここに最乾燥水分線より求められる式¹⁾

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

を代入すると

$$B = \left| \frac{\Delta u_w}{\Delta p_T} \right| = \frac{S_r - S_{rd}}{100 - S_{rd}} \tag{1.2}$$

となる。実験により B 値が求めれば、式 (1.2) を展開した式

$$S_{rd} = \frac{S_r - 100B}{1 - B} \tag{1.3}$$

によって、最乾燥水分線上の飽和度 S_{rd} が求まる。このような理論的な流れから、実験では B 値を求め、最乾燥水分線を予測することを目標とする。

(2) 供試体の状態変化

図-1 は、サクシオン履歴を与えた時の供試体の状態変化である。サクシオン載荷段階終了時の供試体のサクシオン、飽和度を表すプロットを太い矢印で示している。目的どおり供試体 Bd と Bw は同じ飽和度で異なるサクシオンを表し、 Ad と Aw は、同サ

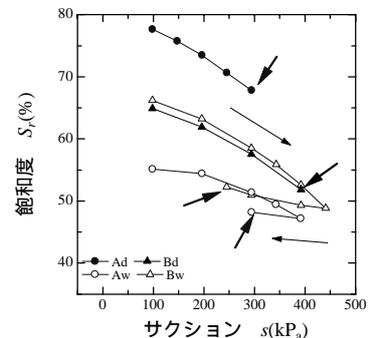


図-1 サクシオン載荷段階供試体状態変化

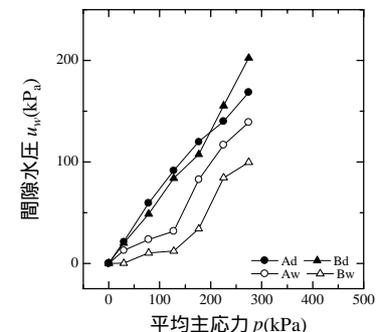


図-2 非排水等方圧縮段階供試体状態変化

キーワード：不飽和土，サクシオン，最乾燥水分曲線，非排水等方圧縮試験， B 値

連絡先：〒657 - 8501 神戸市灘区六甲台町 1 - 1

クシオンで異なる飽和度の供試体がである．図-2 は，非排水等方圧縮段階の供試体状態変化である．同じサクシオン値の供試体 Ad と Aw を比較すると，飽和度の高い Ad の方が高い間隙水圧を発生する．また，同じ飽和度でサクシオン値が異なる供試体 Bd と Bw を比較すると，サクシオン値が高い Bd の方が高い間隙水圧を生じる．
 (3) 水分特性

河井らは Brooks&Corey 式²⁾ $S_e = \frac{S_r - S_{ra}}{100 - S_{ra}} = \left(\frac{S_b}{s} \right)^\lambda$ の s と S_e をパラメーターとして水分特性曲線のモデルを提案した．図-3 は実験の例の一つであり，図中の点線は河井らの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，サクシオンを変化させて飽和度を測定した結果により得られたものである．この結果より，サクシオンによって得られた水分特性曲線飽和度を変化させること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．

(4) 非排水段階の間隙比変化

図-4 は非排水等方圧縮段階の間隙比変化である．不飽和土の排水等方圧縮試験(サクシオン一定)では，横軸に $p+p_s$ をとると飽和土のグラフと平行になる結果が得られている．しかし図 4 では飽和土の圧縮曲線よりも不飽和土の圧縮曲線の傾きの方が大きくなっている．これは圧縮中のサクシオンの減少によるものと考えられた．つまり，外部応力による体積圧縮とサクシオン減少によるコラプス性圧縮の和が現われたのだと考えられる．

(5) 最乾燥水分線

一般に，飽和度と B 値は密接な関係にあるとされているが，軽部が示した最乾燥水分線はサクシオンの関数として表され，式 (1.2) に従うと，飽和度が同じであっても，サクシオンが異なれば，バルク水とメナスカス水の割合(間隙水の割合)が異なることから，B 値に違いが現われることになる．軽部のよると最乾燥水分線は Brooks&Corey 式で表された主吸水曲線を空気侵入値以下において二次放物線で補完したものである．補完の方法としては水侵入値で補完する方法(本田による)も考えられている．図-5 では，今回の試験結果から得られた最乾燥水分線と理論最乾燥水分線を比較したものである．試験結果ではピークが 200~250(kPa)であることが分かったので，空気侵入値で補完する最乾燥水分線がより正しいと考えられる．

4 . ま と め

最乾燥水分線の定量化を目標に，非排水等方圧縮試験を行ったが，定量化にはいたらなかった．しかし，試験より B 値を求め，式 (1.3) により，最乾燥水分線上の飽和度を求めた結果，空気侵入値以下で二次放物線補完したような最乾燥水分線が得られた．これは，軽部の提案している最乾燥水分線に近い．そこで，実際には，試験により最乾燥水分線上の一点 (s, S_{rd}) を求め³⁾，その一点をとるように軽部の最乾燥水分線を当てはめるのが最善であると考えられる．

参考文献： 1) 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. 2) 河井ら：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/ -53, 291-302, 2000. 3) 河井ら：定サクシオン下での不飽和土の異方圧密挙動，建設工学研究所論文報告集 第 42-A号，2000 .

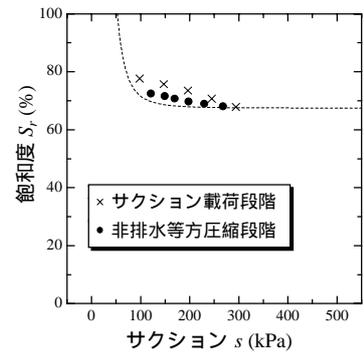


図-3 非排水等方圧縮段階の水分特性 (サクシオン~飽和度)

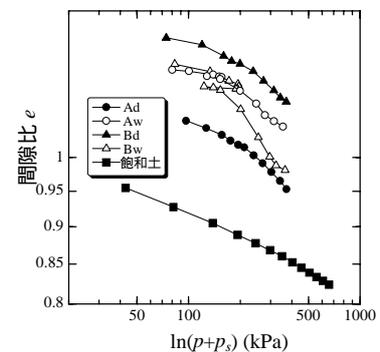


図-4 非排水等方圧縮段階の間隙比変化

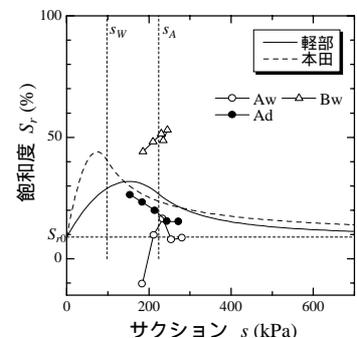


図-5 軽部・本田の最乾燥水分線の比較