

真空蒸発を受けた粘土の含水比低下に伴う体積収縮特性 (その2)

信州大学工学部 正 梅崎健夫, 正 河村 隆, ○谷口愛弓

1. はじめに 著者らは透水性の低い粘土に対して不飽和供試体を短時間で容易に作製する方法として真空蒸発法^{1)~5)}を提案している. 本文では, $0.6 \sim 0.9w_L$ (w_L : 液性限界) に予圧密した飽和粘土試料および $1.5w_L$ 程度の含水比のペースト状の粘土に真空蒸発法を適用し, 正規収縮過程および無収縮過程の2直線の交点から決定される含水比¹⁾について検討した. そして, その値と学会基準 (JIS A 1209:2000) で定められる収縮限界について比較検討した.

2. 真空蒸発法 真空蒸発法は²⁾, 図-1に示すように, 供試体を静置した真空デシケータ内の水の飽和蒸気圧付近である真空圧 $p_v \leq -95\text{kPa}$ に減圧し, 間隙水を蒸発させて不飽和供試体を作製するものである. 本手法は, 締固めによる動的荷重や空気圧負荷による透水力など予圧密圧力以外の応力履歴を供試体を与えることが少なく, 透水性の低い粘土に対して不飽和供試体を短時間で容易に作製する手法である.

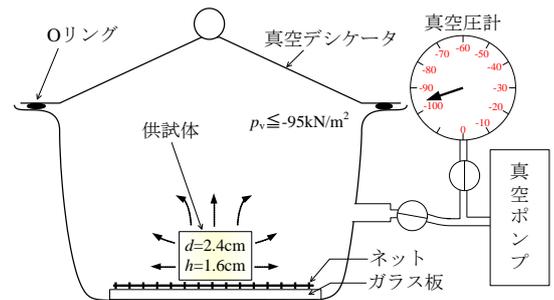


図-1 真空蒸発法の概要

3. 試験条件 試料には, NSF(B)粘土 (土粒子密度 $\rho_s=2.726/\text{cm}^3$, 液性限界 $w_L=73.9\%$, 塑性限界 $w_p=33.1\%$, 収縮限界 $w_s=34.0\%$, 塑性指数 $I_p=40.8$) を用いた. w_L の約2倍で練返したスラリー試料を予圧密容器内で3時間脱気した後, 所定の予圧密圧力 p_0 で一次元圧密して飽和粘土試料を作製した. それを所定の直径 d , 高さ h に成形して供試体とし, 真空蒸発法を適用した. 所定時間ごとに, 真空圧を解除して供試体を取り出し, 質量, 直径および高さを測定した.

ペースト状の粘土として, $1.5w_L$ で練返した試料を真空圧-90kPaで7時間脱気した後, 写真-1(a)に示すように周りにOHPシートを巻いて容量を増加させたガラス容器 (内径4.5cm, 高さ1.55cm, 容量23.13 cm^3) に, 試料を容器容量よりも多く入れて (写真-1(b)) -90kPaでさらに7時間脱気を行い, 気泡が出なくなったことを確認して, OHPシートを取り除きあふれた部分を直ナイフで成形して供試体とした. そして, -95kPaで真空蒸発を行った. 質量変化が平衡した後に炉乾燥し, パラフィン法により収縮後の真空蒸発後の体積を求めた.

4. 試験結果および考察 上記のように十分に脱気を行うことにより, 写真-1(c)に示すように真空蒸発させることができる. しかし, 脱気が不十分な場合には, 写真-1(d)に示すように, キャビテーションが生じて真空蒸発後の体積を求めることができない.

図-2に真空蒸発法における初期体積 V_i で正規化した体積 V/V_i と含水比 w の関係 (収縮曲線) を示す. 初期含水比 w_i によって異なる関係となるが, いずれの試料においても, 含水比の低下とともに体積が直線的に減少し, その後緩やかに体積変化が収束していき, 収縮限界 (w_s) 付近以下では体積変化がほとんど生じない無収縮の状態となる. ペースト状の粘土の場合は, 途中の体積変化が測定できないため, 初期と終了後のデータのみを示した. 飽和

粘土を一様に, かつゆっくりと乾燥させた場合には, 正規収縮, 残留収縮, 無収縮の三つの過程の収縮挙動を示す³⁾. 正規収縮とは, 含水比低下に対応して体積



(a)ガラス容器の周りにOHPシートを巻く



(b)試料を入れた状態



(c)真空蒸発後の供試体



(d)失敗例

写真-1 ペースト状の粘土の真空蒸発

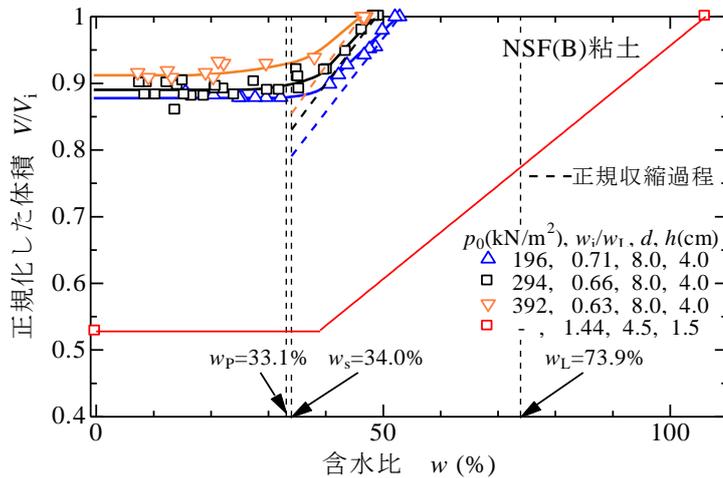


図-2 正規化した体積と含水比の関係 (カオリン粘土)

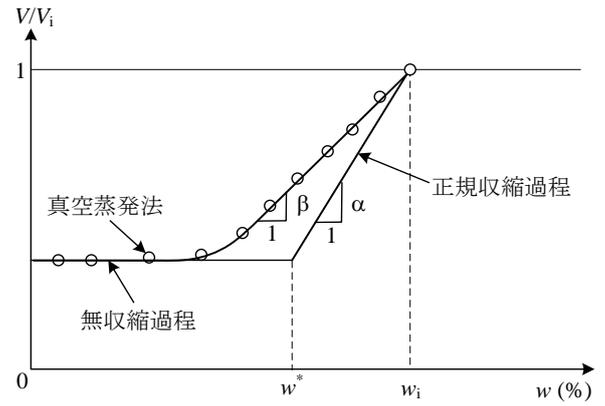


図-3 真空蒸発法における収縮曲線の模式図

が収縮する過程であり、常に土は飽和状態である。図中には、それぞれの w_i に対応する正規収縮過程における V/V_i と w の関係 ($V/V_i = (G_s / ((S_{ni}(1+e_i)))w + 1/(1+e_i))$), ここで、 G_s : 土粒子比重, S_{ni} : 初期飽和度 ($\approx 100\%$), e_i : 初期間隙比) を破線で示している。真空蒸発から得られた初期の収縮過程における直線の勾配は正規収縮過程の勾配よりも緩やかであり、早い段階から供試体の不飽和化が生じている。ペースト状の粘土では、初期状態、正規収縮過程および無収縮過程を2直線で結んで示した。ペースト状の粘土に真空蒸発法を適用することにより、このような関係を容易に求めることができるので、収縮限界のみをより簡便に推定することができる。

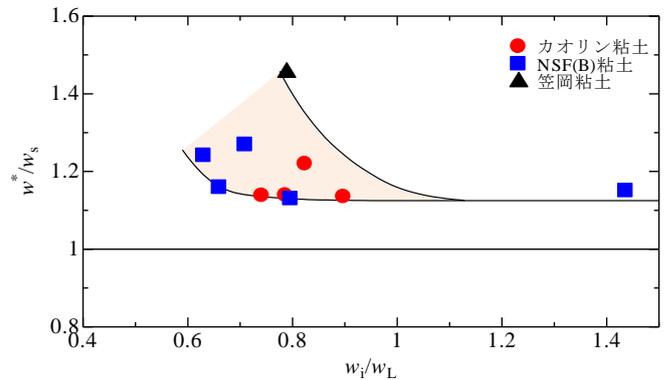


図-4 w^*/w_s と w_i/w_L の関係

ここで、図-3 に示すように、 V/V_i と w の関係を整理して考察する¹⁾。ここで、 α : 正規収縮過程における直線の傾き, β : 真空蒸発により得られる収縮過程における直線の傾き, w^* : 正規収縮過程と無収縮過程の2直線の交点における含水比であり、これが JIS A 1209:2000 の収縮限界に相当するとされる。

図-4 に w^*/w_s と w_i/w_L の関係を示す。図中には過去に得られたカオリン粘土および笠岡粘土の結果も示している。 w_i が低いほど w^*/w_s は1よりも大きい。一方、 w_i が高くなるにつれて w^*/w_s は小さくなり、 $w_i/w_L = 1.0$ 以上においては、 $w^*/w_s = 1.15$ 程度で収束する傾向を示している。これは、真空蒸発による含水比低下速度が速いために、十分な体積収縮が生じないためであるが、 w^* の値から w_s を決定できる可能性がある。通常、収縮限界の測定 (JIS A 1209:2000) には1週間以上の長期間を要する。真空蒸発法は短時間で容易に供試体の含水比を低下 (本文のペースト状の粘土では約2日間) させることが可能であり、データを蓄積することにより、収縮限界の測定時間を大幅に短縮できる可能性が示唆される。

5. まとめ 得られた主な知見は以下の通りである。①十分に脱気した粘土試料に対して真空蒸発を実施することにより、ペースト状の粘土にも真空蒸発法を適用することができる。②NSF(B)粘土の初期含水比 $1.5w_L$ から得られた正規収縮過程と無収縮過程の2直線部分の交点の含水比 w^* は、収縮限界 w_s の1.15倍程度の含水比となり、 w^* の値から w_s を決定できる可能性がある。③真空蒸発法のデータを蓄積することにより、収縮限界の測定時間を大幅に短縮できる可能性が示唆される。

【参考文献】1) 梅崎健夫, 河村 隆: 真空蒸発を受けた粘土の含水比低下に伴う体積収縮特性, 土木学会第64回年次学術講演会, pp.337-338, 2009. 2)井上友博, 梅崎健夫, 河村 隆: 真空蒸発法で作製した不飽和粘土供試体の圧密・強度特性, 第38回地盤工学研究発表会, pp. 923-924, 2003. 3)Haines, W.P.: The volume-changes associated with variation of water content in soil, Jour. Agric. Sci., Vol.13, pp.293-310, 1923.