

乾燥過程におけるスラリー粘性土の収縮特性 (その1)

信州大学工学部 正 河村 隆, 正〇梅崎健夫  
 信州大学大学院 瀬谷 曜

1. はじめに スラリー粘性土に真空蒸発法<sup>1)</sup>と画像解析法<sup>2)</sup>を適用して, 乾燥過程における収縮特性を形状変化と体積収縮の特性に分けて検討し, 既往の圧密再構成粘性土の結果と比較した.

2. 試験概要 試料には, NSF(C)粘土(土粒子密度 $\rho_s=2.723\text{g/cm}^3$ , 液性限界 $w_L=57.5\%$ , 塑性限界 $w_P=35.7\%$ , 収縮限界 $w_s=37.6\%$ )を用いた. スラリー状の試料を収縮皿(内径約4.8cm, 深さ約1.6cm, 容量約23.1 $\text{cm}^3$ )に入れて, スラリー粘土の供試体( $w_0/w_L=1.8, 2.1, w_0$ :初期含水比)とした. 画像解析用の測点(ガラスビーズ5個)を上端面に設置し, 真空蒸発法( $p_v \doteq -95\text{kPa}$ )を適用して, 乾燥収縮試験を実施した. 画像解析により水平変位 $\Delta x_i$ および鉛直変位 $\Delta z_j$ を求め, 供試体の平均水平ひずみ $\bar{\varepsilon}_x$ , 平均鉛直ひずみ $\bar{\varepsilon}_z$ および体積ひずみ $\varepsilon_v$ を次式により算定した<sup>1)</sup>.

$$\bar{\varepsilon}_x = (\sum_{i=1}^4 \varepsilon_{xi})/4 = \overline{\Delta x_i}/\bar{x}_0, \bar{\varepsilon}_z = (\sum_{j=1}^5 \varepsilon_{zj})/5 = \overline{\Delta z_j}/z_0 \quad (1)$$

$$\varepsilon_v = (1 - \bar{\varepsilon}_x)^2(1 - \bar{\varepsilon}_z) = 1 - (V/V_0) \quad (2)$$

ここで,  $z_0$ : 供試体の平均高さの初期値,  $\bar{x}_0$ : 各測点間の距離の初期値,  $V$ : 体積,  $V_0$ : 初期体積である. 試験方法および画像解析の詳細については, 文献2)を参照されたい.

3. 試験結果および考察 図-1に, 乾燥過程におけるスラリー粘土と圧密再構成粘土( $w_0/w_L=1.0$ )の $w \sim (1 - \bar{\varepsilon}_x)$ および $w \sim (1 - \bar{\varepsilon}_z)$ 関係を示す. 圧密再構成粘土の結果は, 別途実施したノギス法により測定した結果である. 圧密再構成粘土の場合, 両者の関係はいずれも同一の2直線による近似が可能であり, 等方収縮により含水比が低下し,  $w_s$ 付近で無収縮状態に至る. 一方, スラリー粘土の場合は, それぞれ異なる3直線で近似できる. 含水比の低下に伴って, まず, 鉛直方向の収縮が卓越して水平方向の収縮がほとんど生じない異方収縮となる. その後, ある含水比( $w_{iso}$ )になると鉛直, 水平方向ともに収縮が生じ, さらに含水比が低下すると $w_s$ 付近で無収縮状態に至る.

図-2は, 形状変化について検討するために, 図-1の結果を $\bar{\varepsilon}_x \sim \bar{\varepsilon}_z$ 関係に再整理したものである. 圧密再構成粘土の場合,  $\bar{\varepsilon}_x \sim \bar{\varepsilon}_z$ 関係は1:1の直線に沿って推移しており, 等方収縮である. 一方, スラリー粘土の場合, 初期含水比 $w_0$ によらず, 試験開始直後は,  $\bar{\varepsilon}_z$ が $\bar{\varepsilon}_x$ の約11倍卓越して生じる異方収縮となり,  $\bar{\varepsilon}_x \sim \bar{\varepsilon}_z$ 関係は式(3)で近似できる. その後,  $w < w_{iso}$ においては, 等方収縮に近い挙動を示し, 両者の比率は式(4)で近似できる. ここで,  $w_{iso}$ は乾燥過程において等方収縮の始まる含水比である.

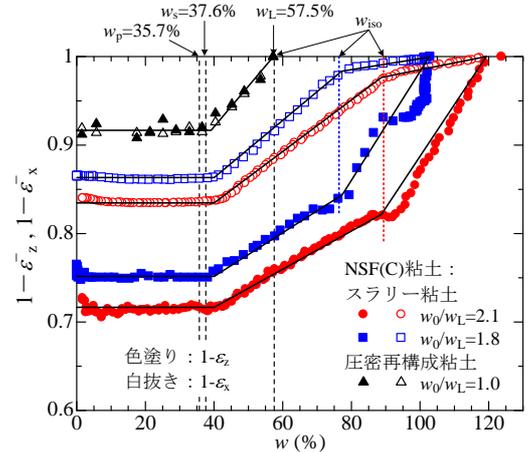


図-1  $w \sim (1 - \bar{\varepsilon}_x)$ および $w \sim (1 - \bar{\varepsilon}_z)$ 関係

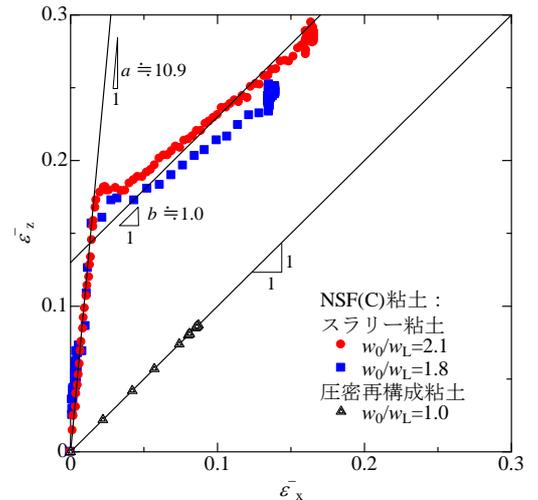


図-2  $\bar{\varepsilon}_x \sim \bar{\varepsilon}_z$ 関係

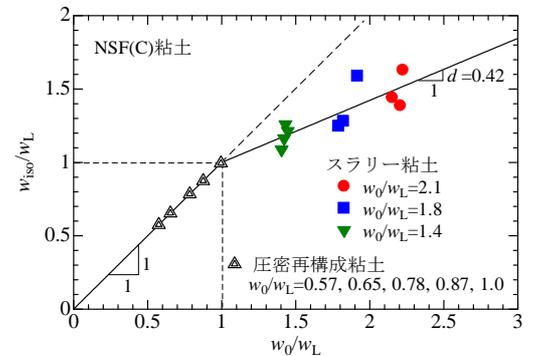


図-3  $w_0/w_L$ と等方収縮の始まる含水比 $w_{iso}/w_L$ の関係

キーワード 不飽和土, スラリー, 乾燥収縮, 変形特性, 飽和度, 画像解析

連絡先 〒380-8553 長野市若里4-17-1 信州大学工学部水環境・土木工学科 TEL 026-269-5289

$$\bar{\varepsilon}_z = a \times \bar{\varepsilon}_x, \quad a \cong 10.9 \quad (3), \quad \frac{\Delta \bar{\varepsilon}_z}{\Delta \bar{\varepsilon}_x} = b, \quad b \cong 1.0 \quad (4)$$

図-3に、 $w_0/w_L \sim w_{iso}/w_L$  関係を示す。両者の関係は、 $w_0/w_L = 1$  で折れ曲がる2直線の関係となる。すなわち、圧密再構成粘土 ( $w_0/w_L < 1$ ) の場合は、含水比の低下開始と同時に等方収縮が生じるため、 $w_{iso}$  は式(5)によって決定される。一方、スラリー粘土 ( $1 \leq w_0/w_L$ ) の場合は、等方収縮が遅れて生じ、 $w_{iso}$  は式(6)で決定することができる。

$$w_{iso}/w_L = w_0/w_L \quad (w_0/w_L < 1) \quad (5)$$

$$(w_{iso}/w_L - 1) = c(w_0/w_L - 1), \quad c = 0.42 \quad (1 \leq w_0/w_L) \quad (6)$$

図-4, 5に、乾燥過程におけるスラリー粘土の  $w \sim e$  および  $w \sim Sr$  関係を示す。 $w_0$ によらず、いずれも2本の直線で近似できる。

図-4に示す  $w \sim e$  関係は、試験開始直後から、正規収縮線 ( $Sr=100%$ ) に沿って、 $w$  が低下する。その後、 $w=w_s^{**} (\cong 41.4\% = 1.1w_s)$ ,  $Sr=Sr^{**} (\cong 100\%)$  で折れ曲がり、無収縮状態 ( $e = e_{min} \cong 1.1$ ) となる。無収縮状態における間隙比  $e_{min}$  は、 $w_0$ によらずほぼ同じであり、圧密再構成粘土の場合とも等しい。図-5に示す  $w \sim Sr$  関係は、まず、 $Sr \cong 100%$  を保った状態で含水比が低下し、その後、 $w_s^{**}$  で折れ曲がり、原点に向かう間隙比一定の直線 ( $e=e_{min}$ ) となる。これらの関係は、図-6に赤線で示すように模式化できる。スラリー粘土は、土の骨格構造が形成されておらず、初期の乾燥過程においては含水比の低下量に等しい体積収縮が生じるために  $Sr \cong 100%$  が保たれ、 $w_s^{**}$  付近において土の骨格構造の形成が始まり、不飽和化が進行するものと考えられる。一方、梅崎・河村<sup>1)</sup>は、6種類の圧密再構成粘性土の結果に基づいて、 $w \sim e$  および  $w \sim Sr$  関係を定式化している(図-6中の黒線)。圧密再構成粘性土の場合、土の骨格構造が形成されており、含水比低下と同時に不飽和化も生じる。 $w \sim e$  および  $w \sim Sr$  関係は  $w=w_s^* (\cong 1.04w_s)$ ,  $Sr=Sr^* (\cong 90\%)$  で折れ曲がる2直線で近似できる。

**4. まとめ** NSF(C)粘土を用いて得られた主な知見は以下のとおりである。①スラリー粘土と圧密再構成粘土の乾燥過程における形状変化の特性は異なる。スラリー粘土は、まず、鉛直ひずみが卓越する異方収縮が生じ、 $w < w_{iso}$ において等方収縮へと変化し、その後、無収縮状態となる。②スラリー粘土の等方収縮が生じる含水比  $w_{iso}$  は、 $w_{iso} < w_0$  となり、 $w_0$ が高いほど  $w_{iso}$  も高くなる。③スラリー粘土の  $w \sim e$  および  $w \sim Sr$  関係は、 $w_0$ によらず、正規収縮線 ( $Sr=100%$ ) に沿って  $w$  が低下し、その後、 $w=w_s^{**} (\cong 41.4\% = 1.1w_s)$ ,  $Sr=Sr^{**} (\cong 100\%)$  で折れ曲がり、無収縮状態 ( $e = e_{min} \cong 1.1$ ) となる2本の直線で近似できる。

**参考文献** 1) T. Umezaki & T. Kawamura: Shrinkage and desaturation properties during desiccation of reconstituted cohesive clay, Soil and Foundations, Vol.53, No.1, pp.47-63, 2013. 2) 河村 隆, 梅崎健夫, 瀬谷 曜: 乾燥過程におけるスラリー粘性土の体積収縮への画像解析の適用(その3), 第51回地盤工学研究発表会, 2016(印刷中).

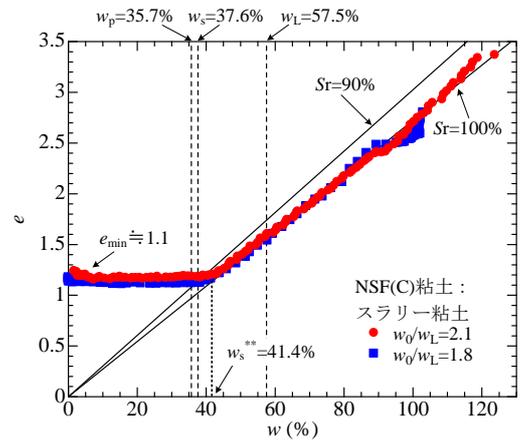


図-4 スラリー粘土の  $w \sim e$  関係

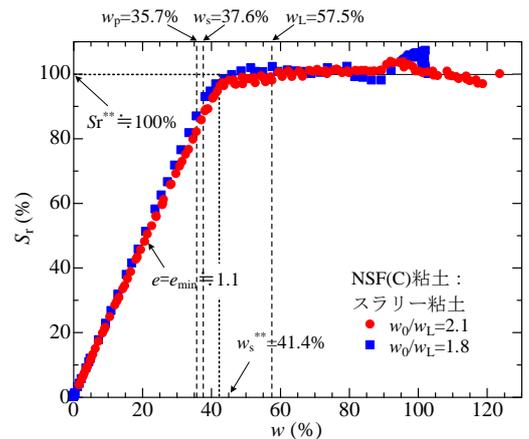


図-5 スラリー粘土の  $w \sim Sr$  関係

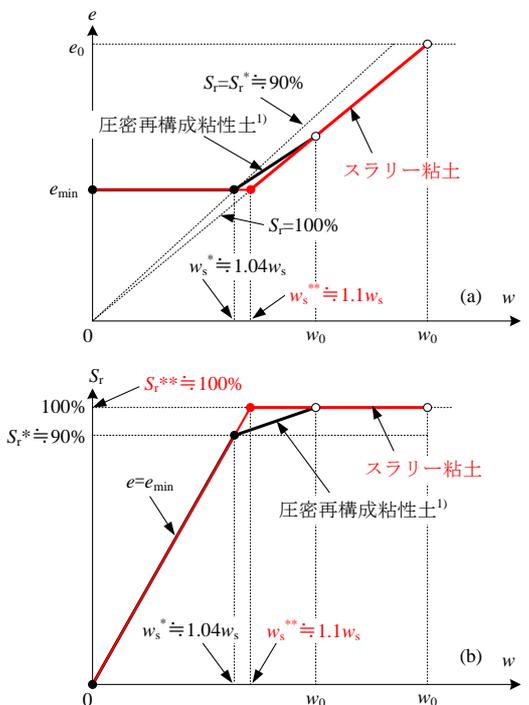


図-6 スラリー粘土および圧密再構成粘性土の収縮および不飽和化の模式図