

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年6月10日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23760442

研究課題名（和文） 圧密履歴の異なる粘土の収縮特性とその骨格構造の予測への応用

研究課題名（英文） Characteristic of shrinkage of clay with different consolidation hysteresis and prediction of skeleton structure

研究代表者

河村 隆 (KAWAMURA TAKASHI)

信州大学・工学部・助教

研究者番号：50324231

研究成果の概要（和文）：

(1) 体積収縮後（絶対乾状態）における最小間隙比は，初期含水比，供試体の寸法および真空圧が異なる場合においても，土の種類ごとにほぼ同じである。

(2) 密再構成粘性土の収縮および不飽和化特性をそれぞれ二本の直線で定式化した。必要なパラメータは e_{min} または w_s のみであり，試験結果との適合性は高い。

(3) 初期含水比 $w_0 > w_p$ (w_p : 塑性限界) における $w \sim V/V_0$, S_r , e の関係は，初期含水比毎に二本の直線で近似することができる。600kPa 以上の高圧で一次元圧密した $w_0 < w_p$ の場合は，一旦収縮した後に少し膨張する挙動を示す。

研究成果の概要（英文）：

(1) The minimum void ratio after volumetric shrinkage (absolute dry condition) is almost the same for every kind of soil, if the size, vacuum pressure and initial water content of soil specimen differ from each other.

(2) Shrinkage and desaturation characteristics of reconstituted cohesive soil can be formulized in two straight lines, respectively. A required parameter is only e_{min} or w_s and the compatibility with test results is high.

(3) The relation of $w \sim V/V_0$ in initial water content $w_0 > w_p$ (w_p : plastic limit), S_r , and e can be approximated in linear for every initial water content. In $w_0 < w_p$ which carried out the one-dimensional consolidation by the high pressure of 600 or more kPa, once shrinkage, the behavior which expands for a while is shown.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：土質力学，土の物理的特性，粘土，収縮特性，真空圧，間隙比，含水比，飽和度

1. 研究開始当初の背景

(1) 自然粘土の骨格構造と年代効果

自然粘土は，堆積後の長い年月の経過により，二次圧密，セメンテーション，シキソトロピーなどの様々な作用を受けている。このような力学的・化学的作用を長期間受けた結果，自然粘土の持つ骨格構造は，練返し粘土や圧

密時間の短い粘土とは異なるものとなっており，力学的挙動も大きく異なることが知られている。このような自然粘土の持つ性質を年代効果と呼び，一軸圧縮強さ，圧密降伏応力などの増加がその力学的特徴として挙げられている。年代効果は，地盤の圧密沈下を精度良く予測できない原因となっている。骨

格構造の違いを定量的に評価できれば、圧密沈下解析の高精度化に有用である。

(2) 電子顕微鏡による微視的構造の観察

電子顕微鏡 (SEM など) が土質工学・地盤工学にも多く適用されている。電子顕微鏡を用いた骨格構造に関する研究は、微視的構造の形態を視覚的な把握や定量的に表現したものがほとんどであったが、最近では画像解析によって微視的構造を定量評価するための研究も進んでいる (例えば、森脇ら, 高温環境と土-粘土の微視的構造から廃棄物の地中処分問題まで—シンポジウム, 1997)。しかし、定量評価した結果と土質工学的性質との関連付けなどはほとんど行われていない。

(3) 乾燥過程における収縮特性

土の乾燥過程における収縮特性 (含水比, 体積変化, 飽和度および間隙比の関係) および収縮時の変形特性は、土の初期状態 (初期含水比, 初期骨格構造など) によって異なることが知られている (風間ら, 第 33 回地盤工学研究発表会, 1998. 松岡ら, 土木学会第 56 回年次講演会, 2001)。

2. 研究の目的

(1) 圧密履歴の異なる粘土 (一次元圧密粘土, 等方圧密粘土およびスラリー粘土) の収縮特性 (含水比, 体積変化, 飽和度, 間隙比の関係) および収縮時の変形特性を明らかにする。

(2) 圧密履歴の異なる粘土の骨格構造の違いを定量的に評価する。

(3) 収縮特性と骨格構造を関連づけて、骨格構造の予測手法を確立する。

3. 研究の方法

真空蒸発法 (図-1) は、供試体を静置した真空デシケータ内を水の飽和蒸気圧 p_e (室温 $T=23^\circ\text{C}$ において $p_e=-98.5\text{kPa}$) よりも少し小さい真空圧 ($|p_v| < |p_e|$) に減圧することにより、間隙水を蒸発させて短時間で含水比を低下 (不飽和化) させ、乾燥収縮させる方法である。

試料には、十分に脱気した純水 (脱気純水) と NSF 粘土 (塑性指数 $I_p=40.8$)、カオリン粘土 ($I_p=37.2$)、笠岡粘土 ($I_p=35.1$)、栗田粘土 ($I_p=30.5$)、若里シルト ($I_p=21.3$) および千曲川シルト ($I_p=12.0$) の 6 種類の土試料を用いた。土試料の粒度分布を図-2 に示す。ここで、 w_L : 液性限界, w_p : 塑性限界および w_s : 収縮限界である。脱気純水の場合は、断面積が $A_{s0}=0.85\sim 183.9\text{cm}^2$ と異なるガラス容器に初期高さ $h_0=3\text{cm}$ 注水して供試体とした。土試料の場合は、 w_L の約 1.5~2 倍で繰り返して 3

時間脱気した後、圧密圧力 78.4~392kPa で一次元圧密 (3t 時間) した圧密再構成試料 (初期含水比 $w_0=0.59\sim 0.92\text{wL}$) を作製し、小型供試体 (初期直径 $d_0=2.4\text{cm}$, 初期高さ $h_0=1.6\text{cm}$, 初期表面積 $A_{s0}=20\sim 21\text{cm}^2$) および大型供試体 ($d_0=5.0\sim 8.1\text{cm}$, $h_0=3.8\sim 6.0\text{cm}$, $A_{s0}=113\sim 205\text{cm}^2$) に成形した。

脱気純水の試験では、段階的に真空圧を増加 (減圧) させ、供試体を静置した真空デシケータを電子天秤の上に置いて、全体の質量の減少量から蒸発量を算定した。圧密再構成粘性土では、一定の真空圧を負荷し、所定時間毎に供試体を真空デシケータから取り出して質量、直径および高さを測定した。なお、全ての試験は恒温室 (室温 $23\pm 1^\circ\text{C}$) で実施した。

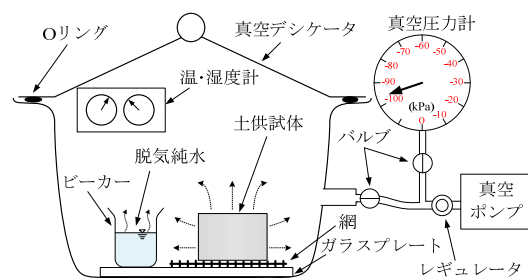


図-1 試験装置

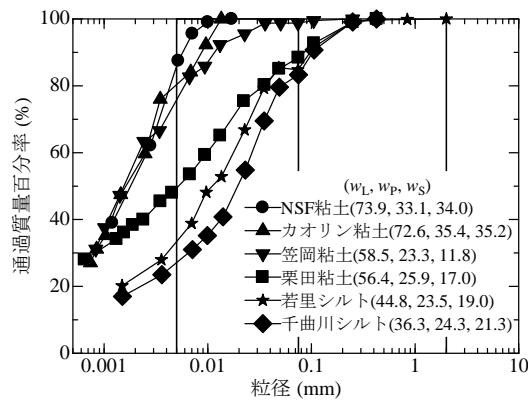


図-2 粒度分布

4. 研究成果

(1) 液性限界から塑性限界程度の含水比を有する一次元圧密試料の収縮特性

① 脱気純水の場合と同様に、圧密再構成粘性土中の間隙水の蒸発は、水の飽和蒸気圧 $p_e=-98.5\text{kPa}$ (室温 23°C) の約 95% である $p_v=-93\text{kPa}$ 程度を超えると生じる (図-3)。

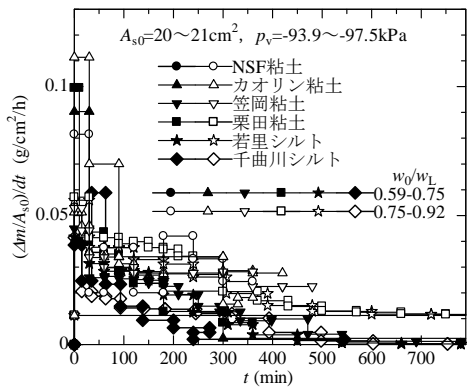


図-3 圧密再構成粘性土の蒸発速度の経時変化の一例

②設定した条件において、減圧に伴う間隙水の蒸発速度は非常に小さい。蒸発速度は真空圧負荷直後が最大であり、その値は $0.02 \sim 0.12 \text{ g/cm}^2/\text{h}$ 程度の範囲で異なる。一方、約60分後は、真空圧、初期含水比や土の種類によらずほぼ同じであり、 $0.01 \sim 0.03 \text{ g/cm}^2/\text{h}$ 程度に減少し、それ以降も時間とともにさらに減少する (図-4)。

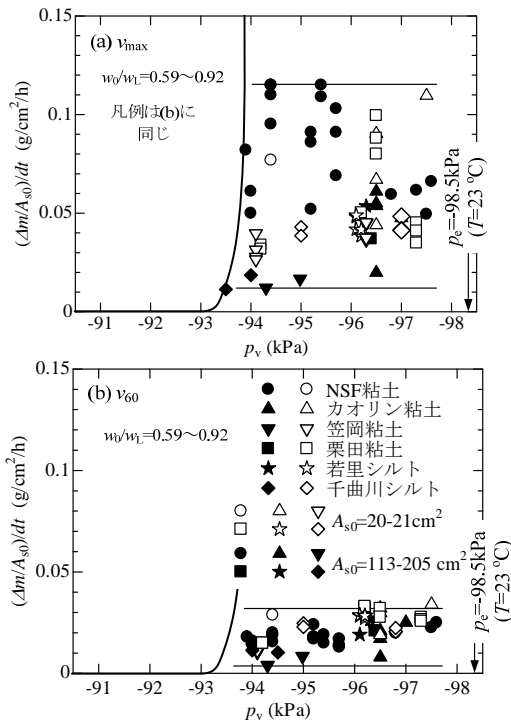


図-4 圧密再構成粘性土の蒸発速度

③体積収縮後(絶乾状態)における最小間隙比 e_{\min} は、初期含水比、供試体の寸法および真空圧が異なる場合においても、土の種類ごとにほぼ同じである。真空蒸発法は、粘性土の含水比を短時間で低下(不飽和化)させ、乾燥収縮させる方法として有効であると考えられる (図-5)。

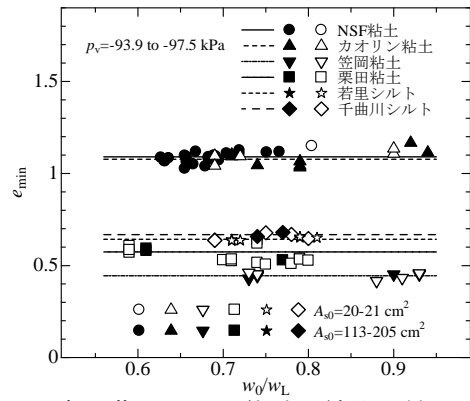


図-5 真空蒸発による体積収縮後の最小間隙比

④圧密再構成粘性土の収縮および不飽和化特性 ($w \sim e$, $w \sim V/V_0$ および $w \sim S_r$ の関係) をそれぞれ二本の直線で定式化した。必要なパラメータは e_{\min} または w_s のみであり、試験結果との適合性は高い。 e_{\min} は真空蒸発法により短時間で簡単に求めることができる (図-6, 7)。

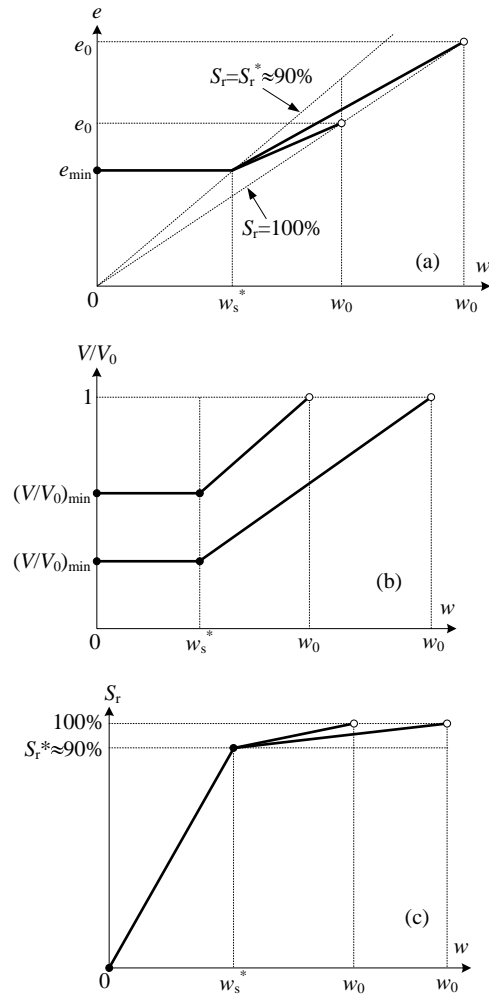


図-6 収縮曲線のモデル化

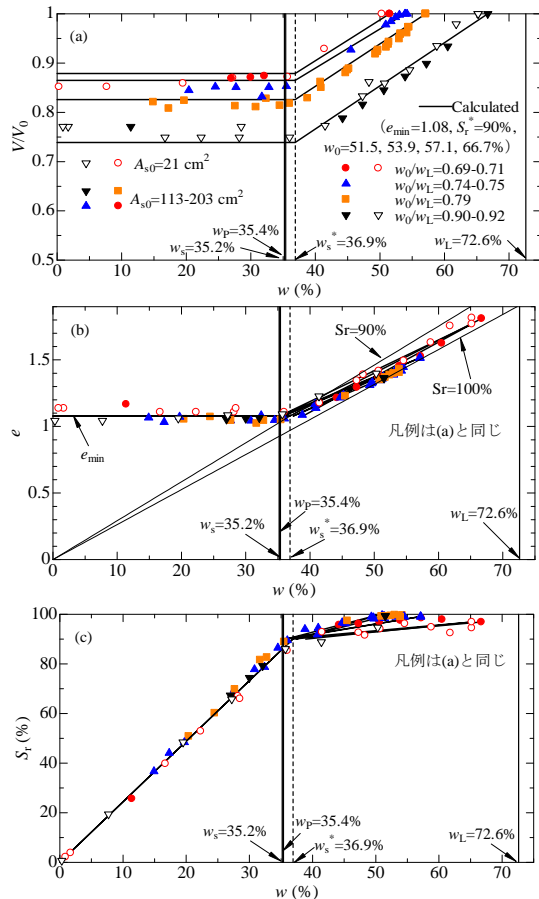


図-7 収縮および不飽和化特性の一例 (カオリン粘土)

(2) 塑性限界以下の含水比を有する一次元圧密試料の収縮特性

① 初期含水比 $w_0 > w_p$ (w_p : 塑性限界) において, $w \sim V/V_0$, S_r , e の関係は, 初期含水比毎に2本の直線で近似することができる. 600kPa以上の高圧で一次元圧密した $w_0 < w_p$ の場合は, 一旦収縮した後少し膨張する挙動を示す.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① T. Umezaki & T. Kawamura: Shrinkage and desaturation properties during desiccation of reconstituted cohesive soil, *Soils and Foundations*, Vol. 53, No. 1, pp. 47-63, 2013, 査読有
DOI : 10.1016/j.sandf.2012.12.003

[学会発表] (計5件)

- ① 梅崎健夫, 河村 隆 : 圧密再構成粘性土

における間隙水の真空蒸発特性, 第48回地盤工学研究発表会, 2013.7.25, 富山市.

- ② 梅崎健夫, 河村 隆 : 圧密再構成粘性土の乾燥に伴う収縮および不飽和化特性のモデル化, 第48回地盤工学研究発表会, 2013.7.25, 富山市.

- ③ 梅崎健夫, 河村 隆 : 圧密再構成粘土の含水比低下に伴う収縮特性, 平成24年度土木学会中部支部研究発表会, 2013.3.8, 豊田市.

- ④ 河村 隆, 梅崎健夫, 和田光司, 豊田富晴: 保水性試験の効率化における真空蒸発法の適用(その4), 第47回地盤工学研究発表会, 2012.7.14, 八戸市.

- ⑤ 河村 隆, 梅崎健夫, 和田光司, 豊田富晴: 加圧板法の吸水過程の効率化における真空蒸発法の適用, 平成23年度土木学会中部支部研究発表会, 2012.3.8, 長野市.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河村 隆 (KAWAMURA TAKASHI)

信州大学・工学部・助教

研究者番号 : 50324231