

圧密再構成粘性土の含水比低下に伴う体積収縮および飽和度低下特性(その1)

信州大学工学部 正〇梅崎健夫, 正 河村 隆

1. はじめに 真空蒸発法^{1,2)}を6種類の圧密再構成粘性土に適用し, 真空蒸発が生じる真空圧および蒸発速度について検討した. また, 含水比低下に伴う体積収縮および飽和度低下特性を検討するための端緒として, 真空蒸発後の無収縮過程³⁾における最小間隙比 e_{min} とそれをういた収縮限界 w_s の決定手法について検討した.

2. 試験概要 真空蒸発法は, 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 $p_e=98.5\text{ kPa}$)付近である真空圧 $p_v=-96\text{ kPa}$ ($\approx 0.97p_e$)程度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)させる方法である.

試料には, 表-1に示す6種類の粘性土を用いた. ここで, ρ_s :土粒子密度, I_p :塑性指数, w_L :液性限界, w_s :収縮限界, CF :粘土含有率, SF :砂分含有率である. 純水を加えて練り返したスラリー試料を一次元圧密した圧密再構成試料から, 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($d_0=5.0\sim 8.1\text{ cm}$, $h_0=3.8\sim 6.0\text{ cm}$, $A_{s0}=113\sim 205\text{ cm}^2$)を作製した. 真空蒸発法($p_v=-93.5\sim -97.5\text{ kPa}$)を適用した後, 所定時間ごとに供試体の質量, 直径および高さを測定した.

3. 試験結果および考察 図-1(a)~(f)に, 栗田粘土を用いた場合の試験結果の一例を示す. ここで, m/m_0 :初期質量 m_0 で正規化した質量, V/V_0 :初期体積 V_0 で正規化した体積, w :含水比, e :間隙比および S_r :飽和度である. V/V_0 および e は, 時間の経過とともに減少して V_{min}/V_0 (V_{min} :最小体積)および最小間隙比 e_{min} に収束し, 含水比が低下しても体積変化が生じない無収縮過程に達する. 真空圧を十分な時間負荷すれば, 絶乾状態($w=0\%$, $S_r=0\%$)に至る. A_{s0} が小さいほど蒸発は速く, 小型供試体では500~600分程度で絶乾状態となる.

図-2(a), (b)に, 図-1(b)に示した質量変化から求めた蒸発速度の最大値 v_{max} および真空圧負荷60分後における蒸発速度 v_{60} と真空圧の関係を示す. 蒸発速度は, 真空圧を負荷した直後に最大となり, その後減少する. 図-2(a), (b)中の曲線は, 別途実施した純水のみのもので踏まえて, 真空蒸発が生じる境界線を示したものである. 圧密再構成粘性土中の間隙水の蒸発は, $p_v < 93\text{ kPa}$ ($\approx 0.95p_e$, $|p_v| > 93\text{ kPa}$)において生じる. v_{max} は $0.02\sim 0.12\text{ g/cm}^2/\text{hr}$ と, 試験条件により異なっている. 60分後には, すべての条件において $v_{60}=0.01\sim 0.03\text{ g/cm}^2/\text{hr}$ 程度となる. A_{s0} が小さいほど蒸発速度は速くなるが, 間隙水の蒸発いずれも純水のみよりも遅い.

図-3に, すべての試験から得られた e_{min} と w_0/w_L の関係をまとめて示す. 圧密再構成粘性土の真空蒸発後の e_{min} は, p_v , w_0 および A_{s0} に関わらず, 試料ごとにほぼ同じ値となる. また, 供試体の大きさに関わらず e_{min} が一定であることから, 供試体の変形や含水比の変化は供試体全体でほぼ一様に生じていると考えられる.

図-4に, 別途実施した収縮定数試験(JIS A 1209: 2009)から得られた収縮限界 w_s における間隙比 e_s と真空蒸発法から得られた e_{min} の関係を示す. 図中には, すべての試験ケースの平均値と範囲を試料ごとに示した. w_s は, 正規収縮線(飽和状態 $S_r=100\%$ を保ったまま含水比低下, 体積収縮する過程)と無収縮線の交点として計算される値であり, $e_s=G_s \cdot w_s/100$ と

キーワード: 粘性土, 収縮限界, 体積収縮, 飽和度, 含水比, 真空圧

連絡先: 〒380-8553 長野市若里4-17-1 信州大学工学部土木工学科, TEL&FAX:026-269-5291

表-1 試料の諸特性

	ρ_s (g/cm ³)	I_p	w_L (%)	w_s (%)	CF (%)	SF (%)
NSF粘土	2.726	40.8	73.9	34.0	85.5	0
カオリン粘土	2.630	37.2	72.6	35.2	79.7	0
笠岡粘土	2.702	35.1	58.5	11.8	74.5	1.2
栗田粘土	2.622	30.5	56.4	17.0	49.2	11.6
若里シルト	2.665	21.3	44.8	19.0	32.5	15.2
千曲川シルト	2.686	12.0	36.3	21.3	26.5	16.7

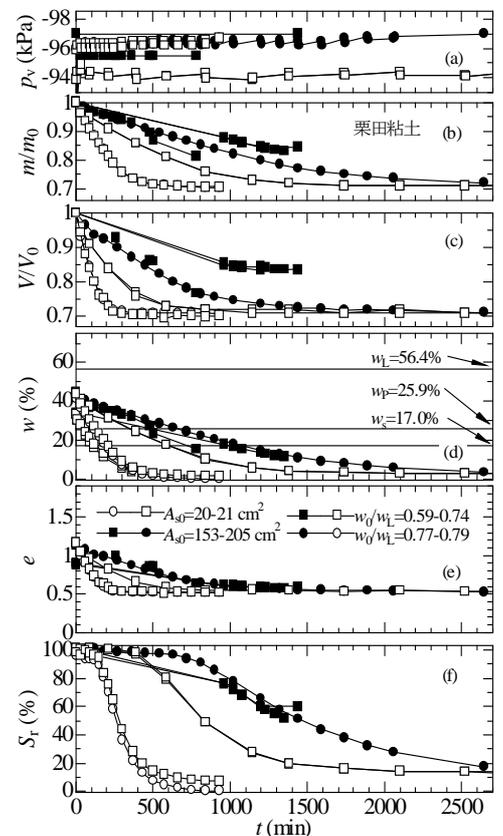


図-1 試験結果の一例

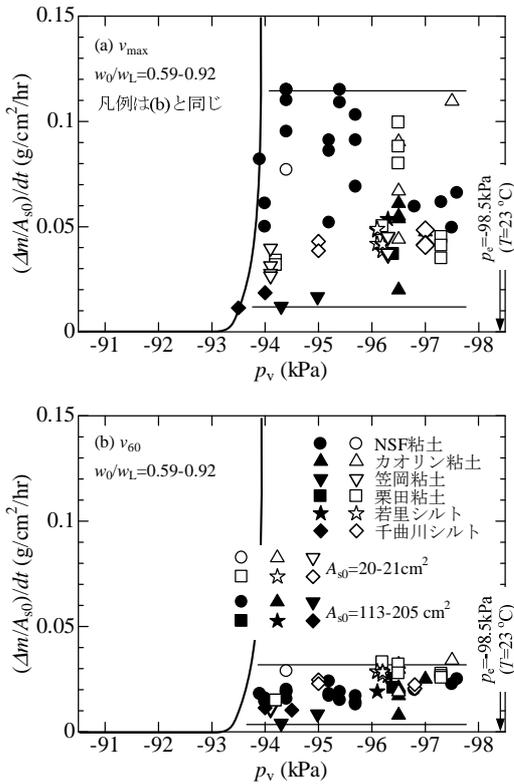


図-2 真空蒸発における間隙水の蒸発速度

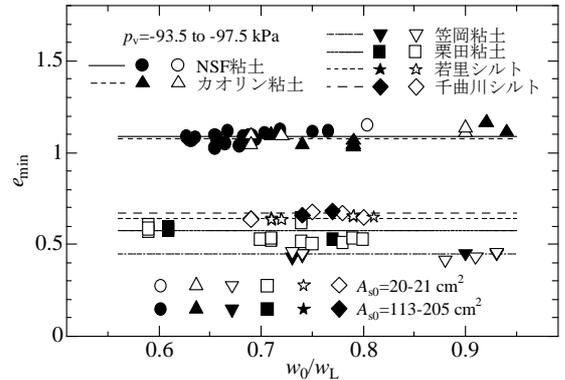


図-3 真空蒸発による体積収縮後の最小間隙比 e_{min}

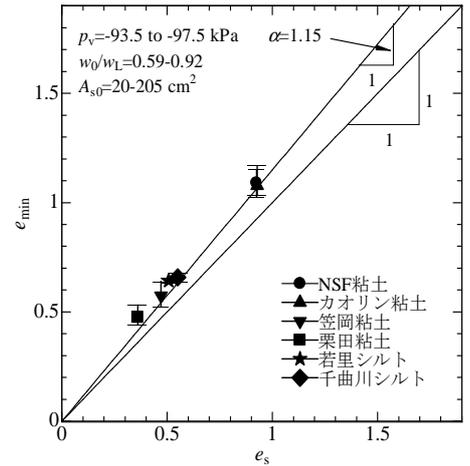


図-4 真空蒸発後の最小間隙比 e_{min} と収縮限界における間隙比 e_s の比較

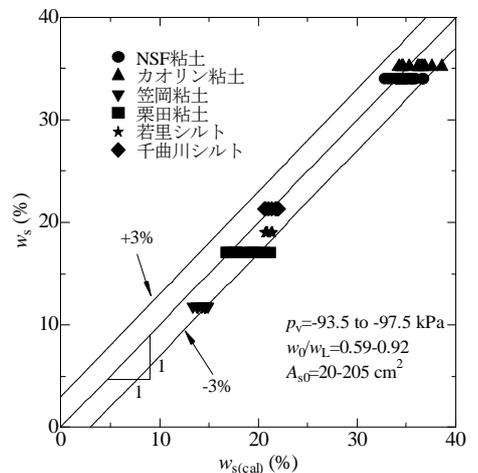


図-5 真空蒸発における e_{min} から算定した $w_{s(cal)}$ と収縮限界 w_s の比較

して算定される. ここで, G_s : 土粒子比重である. 図に示すように, e_s と e_{min} の関係は, 土の種類, p_v , w_0 および A_{s0} に関わらず, 次式で評価できる.

$$e_{min} = \alpha \cdot e_s \approx 1.15e_s \quad (1)$$

e_s と e_{min} の値が異なるのは, 以下のように考察される. 収縮定数試験はスラリー状態からの空気乾燥を実施するものであり, 試料の初期状態や蒸発速度の違いが影響している. さらに, e_s と e_{min} の定義の違いも一因である. w_s の値は, 式(1)を用いれば, 次式で算定することができる.

$$w_s = e_s \cdot S_r / G_s = (1/\alpha) e_{min} \cdot 100 / G_s \approx 87e_{min} / G_s \quad (2)$$

図-5 に, 収縮定数試験により求めた w_s と真空蒸発から得られた e_{min} を式(2)に代入して算定した $w_{s(cal)}$ の関係を示す. $w_{s(cal)}$ の値は w_s よりも少し大きいものの, その差は最大で3%程度である. $w_{s(cal)}$ は工学的な問題には十分適用可能であると考えられる. 収縮定数試験は, 通常, 1週間以上の長期間を要するが, 真空蒸発法において, 途中の体積収縮や飽和度低下の特性を求めなければ, 最終的な e_{min} のみを求めるだけで, w_s の概略値を短時間で容易に算定することができる. 例えば, 小型供試体 ($w_0=0.6\sim0.9w_L$, $d_0\approx 2\text{ cm}$, $h_0\approx 1.5\text{ cm}$ 程度) に -96 kPa 程度の真空圧を負荷すれば, 1日以内の短時間で収縮限界を算定できる.

4. まとめ 圧密再構成粘性土における主な知見は以下の通りである. ①間隙水の蒸発は, 真空圧 $p_v < -93\text{ kPa}$ ($\approx 0.95p_c$, $|p_v| > 93\text{ kPa}$) において生じる. ②減圧に伴う間隙水の蒸発速度は $v_{60} = 0.01\sim0.03\text{ g/cm}^2/\text{hr}$ 程度であり, 間隙水の蒸発は純水の場合よりも遅い. ③真空蒸発後の最小間隙比 e_{min} は, 真空圧, 初期含水比, 初期表面積に関わらず, 土の種類ごとに一定となる. ④小型供試体に真空蒸発法を適用すれば, 1日以内の短時間で収縮限界の概略値を算定できる.

【参考文献】1)梅崎健夫, 河村 隆: 真空蒸発による軟弱地盤の含水比低下特性, 第4回地盤改良シンポジウム, pp.201-208, 2000. 2)梅崎健夫, 河村 隆, 黒田幹裕, Dini Budiani, 豊田富晴: 真空蒸発法による不飽和粘土供試体の作製法(その4), 第44回地盤工学研究発表会, pp.653-654, 2009. 3)収縮定数試験, 地盤材料試験の方法と解説, 地盤工学会, 二分冊の1, pp.153-161, 2010.