

真空蒸発による不飽和粘土供試体の作製方法 (その5)

信州大学工学部 学○田中秀和, 正 梅崎健夫, 正 河村 隆

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)~4)}を提案している. 脱気純水と飽和圧密再構成粘土を用いた真空蒸発試験を実施し, 間隙水の蒸発が始まる真空圧と蒸発速度について詳細に検討した.

2. 真空蒸発法 真空蒸発法は, 図-1に示すように, 供試体を静置した真空デシケータ内を水の飽和蒸気圧付近である真空圧 $p_v = -95\text{kPa}$ 程度 (23.5°Cにおける飽和蒸気圧 $p_e = -98.4\text{kPa}$ の約97%) に減圧し, 間隙水を供試体の表面から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に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作製できる手法である.

3. 試験概要 試料には, 十分に脱気した純水および表-1に示す5種類の土試料を用いた. 脱気純水は断面積が $A_{s0} = 0.85 \sim 183.9\text{cm}^2$ 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. 圧密再構成粘土は, w_L の約1.5~2倍で練り返したものを予圧密容器内で3時間脱気した後, 圧密圧力 $78.4 \sim 392\text{kPa}$ で一次元圧密 (3t時間) して飽和粘土試料を作製し, 所定の初期直径 D_0 , H_0 に成形して円柱状の供試体とした. 初期含水比および初期断面積を $w_0/w_L = 0.59 \sim 0.75$, $0.75 \sim 0.92$, $A_{s0} = 20 \sim 21$, $110 \sim 210\text{cm}^2$ の2種類に変えた.

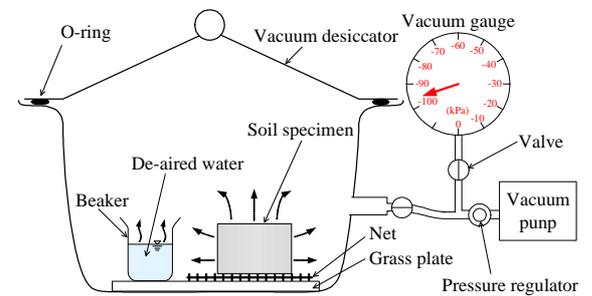


図-1 真空蒸発法の概要

表-1 土試料の諸特性

	ρ_s (g/cm ³)	I_p	w_L (%)	w_p (%)
NSF(B)粘土	2.726	40.8	73.9	33.1
カオリン(B)粘土	2.630	37.2	72.6	35.4
笠岡(A)粘土	2.702	35.1	58.5	23.3
栗田粘土	2.622	30.5	56.4	25.9
若里(B)粘土	2.665	21.3	44.8	23.5

脱気純水では, 徐々に真空圧を増加 (減圧) させる試験を実施した. 飽和圧密再構成粘土では, 蒸発速度を詳細に検討するために真空圧を一定にした試験を実施した. いずれも, 供試体を静置した真空デシケータを電子天秤の上において, 全体の質量の減少量から供試体の蒸発量を算定した.

4. 試験結果および考察 図-2に脱気純水の真空蒸発試験の結果の一例を示す. ここで, Δm は蒸発量, $(\Delta m/A_{s0})/\Delta t$ は蒸発速度であり, 1時間に 1cm^2 から蒸発する質量として求めた. 真空圧が低い間は質量変化は無く, 蒸発は全く生じていない. 真空圧を徐々に増加させるとある真空圧から蒸発が生じ始め, 真空圧をさらに増加させると蒸発量は急激に増加する.

図-3は真空圧と純水の蒸発速度の関係を A_{s0} ごとに整理したものである. 真空圧が水の飽和蒸気圧よりも幾分小さい -93kPa 程度 (室温 23.5°Cにおける飽和蒸気圧の約95%) までは, 蒸発は全く生じていない. しかし, 真空圧が -93kPa 程度を越えたあたりから, 蒸発量が増加する. 真空圧が高いほど, 断面積が小さいほど, 蒸発速度は大きい. 断面積が小さいほどばらつきが大きい. メニスカスの先端部分では水の薄層が形成されているために急速な蒸発が生じることが知られている⁵⁾. 蒸発速度に及ぼす断面積の影響は, ガラス容器の内側に生じるメニスカスのためであると考えられる.

図-4に, 飽和圧密再構成粘土の定圧試験から得られた蒸発速度の経時変化を示す. いずれの条件 (初期含水比, 初期表

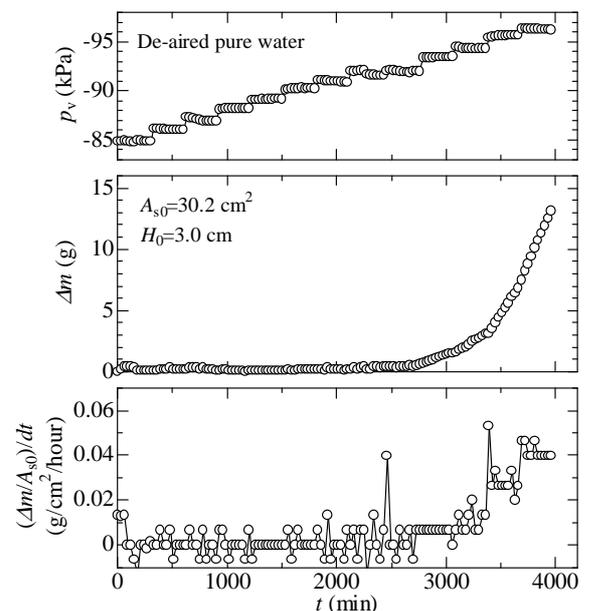


図-2 真空蒸発試験の結果の一例 (脱気純水)

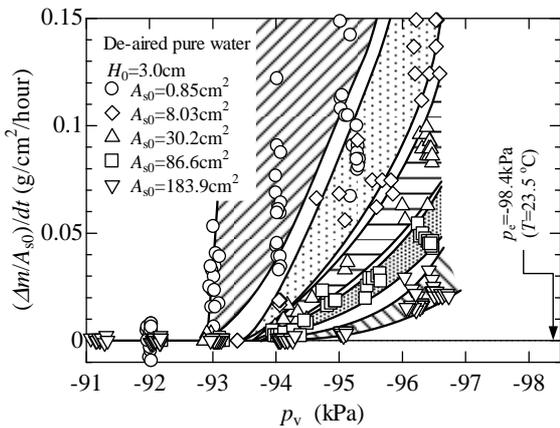


図-3 真空圧と蒸発速度の関係 (脱気純水)

面積, 真空圧および試料) においても, 真空圧負荷開始直後の 30~60 分以内に, 速度は最大となり, その後急速に減少し, 60 分以降は徐々に減少してほぼゼロに至る。

図-5 に初期表面積および初期含水比が異なる圧密再構成粘土の蒸発速度と真空圧の関係を示す。蒸発速度の最大値 v_{max} および 60 分後における速度 v_{60} を示した。蒸発が始まる真空圧は, いずれの条件においても, 脱気純水と同じく -93kPa を越えた付近である。蒸発速度の最大値は $0.02 \sim 0.12 \text{ g/cm}^2/\text{hr}$ 程度であり, 条件によって大きく値が変化する。図-3 に示した脱気純水の結果と比較すると, 60 分までは同じ面積の脱気純水より早い場合と遅い場合が混在しており, 初期表面積と v_{max} の関係は明確ではない。飽和粘土の表面には, 無数の微小な間隙が飽和した状態で存在しており, 供試体表面の間隙 1 個に存在する間隙水の表面積は小さいためであると考えられる。一方 p_v を負荷して約 60 分後における蒸発速度は, 初期表面積が小さい方が少し大きい, 真空圧, 初期含水比, 土の種類によらずほぼ同じで, $0.01 \sim 0.03 \text{ g/cm}^2$ 程度であり, 非常に小さい。

5. まとめ 得られた主な知見は以下の通りである。①脱気した純水だけの場合と同様に, 飽和圧密再構成粘土中の間隙水の蒸発は, 水の飽和蒸気圧 $p_e = -98.4 \text{ kPa}$ (室温 23.5°C) の約 95% 程度の $p_v = -93 \text{ kPa}$ 程度を超えると生じる。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 $0.02 \sim 0.12 \text{ g/cm}^2/\text{hr}$ 程度の範囲で大きく異なる。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, $0.01 \sim 0.03 \text{ g/cm}^2/\text{hr}$ 程度に減少し, それ以降も時間とともにさらに減少する。

【参考文献】1)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. 2)井上友博, 梅崎健夫, 河村 隆: 真空蒸発法による不飽和粘土供試体の作製法 (その 1), 平成 16 年度研究発表会講演概要集, 土木学会中部支部, pp. 235-236, 2004. 3)井上友博, 梅崎健夫, 河村 隆: 真空蒸発法による不飽和粘土供試体の作製法 (その 2), 第 40 回地盤工学研究発表会, pp.883-884, 2005. 4)梅崎健夫, 河村 隆, 武藤裕久, 小相澤拓也: 真空蒸発法による不飽和粘土供試体の作製法 (その 3), 第 43 回地盤工学研究発表会, pp.747-748, 2008. 5)Wayner, P. C., Jr., Microscale Heat Transfer. Taylor & Francis, New York, pp.187-226, 1997.

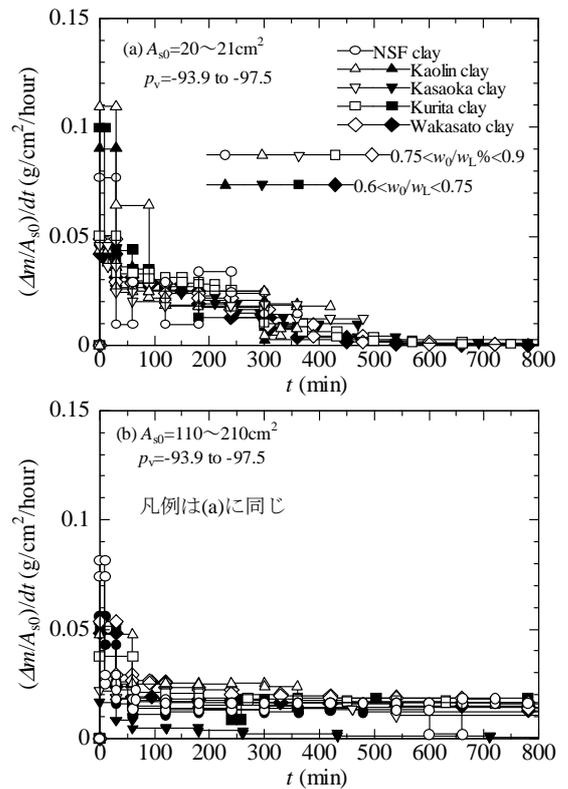


図-4 蒸発速度の経時変化 (飽和圧密再構成粘土)

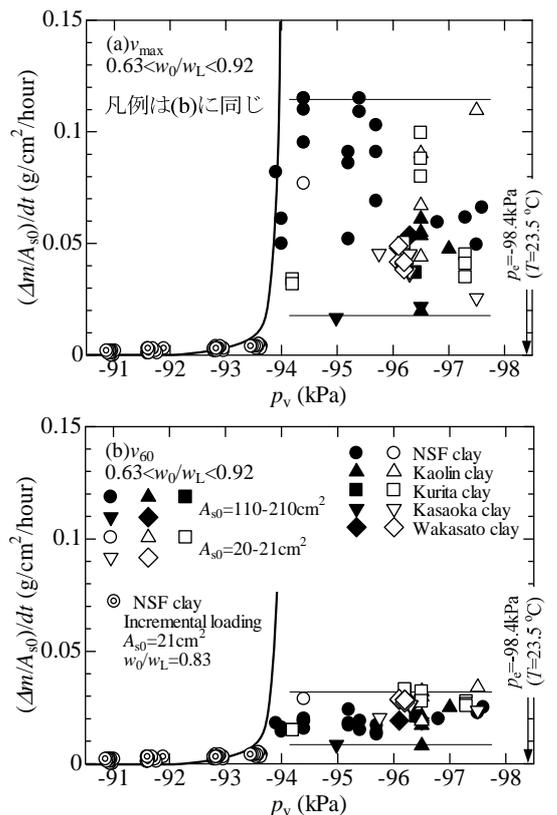


図-5 真空圧と間隙水の蒸発速度の関係 (飽和圧密再構成粘土)