

側方拘束条件における不飽和スラリー粘土の真空圧密挙動

信州大学工学部 正会員 ○河村 隆, 正会員 梅崎健夫

1. はじめに 真空圧密工法¹⁾は、軟弱地盤中にドレーンを打設し、通常地表面を気密シートで覆い、真空ポンプを用いて地盤内を減圧し、圧密を促進させる軟弱地盤改良工法である。これまでに、側方拘束条件における飽和粘土の真空圧密は一次元圧密であることを明らかにしている²⁾。しかし、地下水面よりも上の地表面付近の地盤は不飽和状態であり、不飽和地盤の真空圧密特性については十分に検討されていない。

本研究では、飽和度 80%程度の不飽和状態を再現した不飽和スラリー粘土に対する側方拘束条件における真空圧密試験を実施した。試験中の供試体側面における気泡の観察および圧密後の側方変位、含水比の実測結果を飽和スラリー粘土の場合と比較し、不飽和粘土の真空圧密挙動について検討する。

2. カラム型圧密試験の概要 試料には、宇部港(C)粘土（土粒子密度 $\rho_s=2.633\text{g/cm}^3$ 、液性限界 $w_L=72.6\%$ 、塑性限界 $w_p=31.2\%$ 、塑性指数 $I_p=41.3$ ）を用いた。不飽和スラリー粘土試料は、 w_L 程度に調整したスラリー試料をハンドミキサーによって空気を巻き込むように攪拌することにより作製した。一方、飽和スラリー粘土試料は、 $2w_L$ 程度に練り返したスラリー試料を真空圧（ $p_v=-92\text{kPa}$ 程度）で 12 時間程度脱気することにより作製した。

透明アクリル円筒（内径 74.8mm）のカラム型圧密試験装置の概略を図-1 に、試験ケースを表-1 にそれぞれ示す。ここで、 w_0 ：初期含水比、 S_0 ：初期飽和度、 h_0 ：初期高さ、 m_0 ：初期質量である。スラリー試料をアクリル円筒に投入し、表面を平らに均して供試体とした。供試体の初期状態は表-1 に示すとおりである。飽和スラリー試料の場合は、投入時に巻き込まれる気泡を除去するために $p_v=-92\text{kPa}$ 程度でさらに 3 時間脱気した。供試体作製後、その上にろ紙および O リング付き載荷盤を設置した。載荷盤の上に純水を注水して試験中にその水位が保たれることから、気密性の確認を行った。所定の圧密圧力を負荷して、上面からの片面排水により圧密試験を実施し、軸ひずみに対する 3t 法によって試験の終了を決定した。真空圧密は、アクリル円筒上部を大気開放した状態で、ウォータートラップを介して真空ポンプにより供試体上面に真空圧 $p_v=-78.4\text{kPa}$ を負荷することにより実施した。一方、載荷圧密は、ウォータートラップを大気開放した状態で、空気圧により 78.4kPa の鉛直応力を供試体上面に負荷することにより実施した。

試験中は、装置上部に設置した変位計により供試体の鉛直変位、ウォータートラップの質量変化により排水量を測定した。また、所定時間毎に透明シートをカラムの周面に貼付し、供試体周面に発生する気泡の変化を記録した。試験終了後、供試体をカラムより押し出して高さ 2cm 毎にワイヤーソーで切り出し、直径、質量および含水比の測定を実施した。

3. 試験結果および考察 図-2 に軸ひずみ ε_a の経時変化（沈下曲線）を、図-3 に試験終了後に実測した側方ひずみ ε_r 、含水比 w_1 および飽和度 S_{r1} と試験終了時の供試体高さ h_1 で正規化した高さ h/h_1 の関係を、それぞれ示す。図-3 に示す側方ひずみはノギスによって実測した直径から、飽和度は実測した質量、体積および含水比から、それぞれ算定した値である。

飽和スラリー粘土の場合、図-2、図-3(b)に示すように、真空圧密と載荷圧密の沈下曲線および圧密終了後の含水比分布はほぼ同様である。また、ここでは割愛したが、真空圧密および載荷圧密の軸ひずみと体積ひずみがほぼ一致していることも確認している。さらに、図-3(a)に示すように、試験後に実測した飽和スラリー粘土の側方ひずみは真空圧密、載荷圧密のいずれにおいてもほぼゼロである。すなわち、飽和スラリー粘土の真空

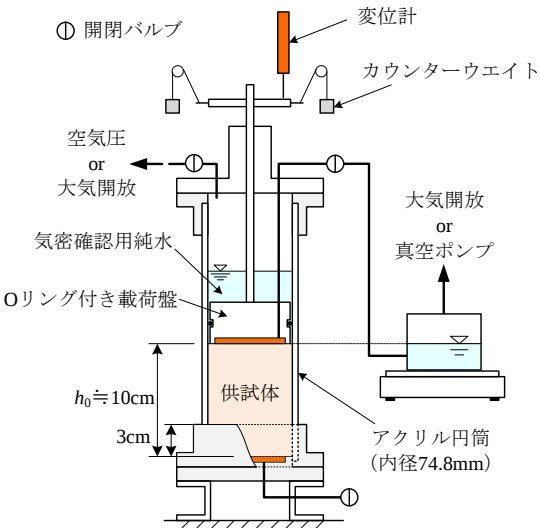


図-1 カラム型圧密試験装置

表-1 試験ケース

ケース	圧密方法	飽和状態	w_0 (%)	S_{r0} (%)	h_0 (mm)	m_0 (g)
SS	載荷圧密	飽和	142.4	99.7	94.5	556.7
VS	真空圧密		141.5	98.2	10.4	606.3
SU	載荷圧密	不飽和	72.2	86.1	95.5	592.8
VU	真空圧密		73.2	86.1	94.8	586.1

圧密および荷重圧密は同様の圧密挙動を示し、いずれも一次元圧密である。

不飽和スラリー粘土の場合、図-3(a)に示すように、荷重圧密の側方ひずみはほぼゼロであり、飽和スラリー粘土の場合と同様に一次元圧密である。しかし、真空圧密の場合には、図-2, 3(b)に示すように、沈下曲線および圧密終了後の含水比分布は荷重圧密とほぼ同様であるが、図-3(a)に示すように、側方ひずみは1~1.5%である。すなわち、側方収縮が生じて三次元変形となり、荷重圧密とは異なる挙動である。

図-4 に不飽和スラリー粘土供試体の側面における気泡の発達状況の一例を示す。飽和スラリー粘土の場合、荷重圧密、真空圧密のいずれの場合においても供試体側面に気泡が確認されなかったため、ここでは割愛した。図-4(a-1), (b-1)に示すように、初期状態において供試体周面の気泡はほぼ一様に分布している。圧密の進行とともに、荷重圧密、真空圧密のいずれも気泡の面積が増加する。特に、真空圧密の気泡の増加が顕著であり、気泡が圧密の進行にともなって膨張するとともに数も増加する。気泡は排水側から徐々に増大し、空隙として試料側面に広がる。このことが圧密挙動の違いに影響を及ぼしていると考えられる。

4. まとめ 得られた主な知見は以下のとおりである。

(1) 飽和スラリー粘土において、真空圧密と荷重圧密の沈下曲線および圧密終了後の含水比の分布はほぼ同様であり、また、両者とも軸ひずみと体積ひずみはほぼ等しい。すなわち、両者の圧密挙動はほぼ同じであり、いずれも一次元圧密である。(2) 不飽和スラリー粘土の場合、荷重圧密は一次元圧密である。しかし、真空圧密の場合、沈下曲線および圧密終了後の含水比は荷重圧密の場合とほぼ同様であるが、側方収縮が生じて三次元変形となり、荷重圧密と異なる挙動を示す。(3) 不飽和スラリー粘土の真空圧密において、試料側面に分布する気泡が圧密の進行にともなって膨張するとともに数も増加する。気泡は排水側から徐々に増大し、空隙として試料側面に広がる。このことが圧密挙動の違いに影響を及ぼしている。

謝辞 本研究の実験は、石橋慶久氏（現姫路市役所）の修士論文の一環として実施された。ここに付記して感謝の意を表します。

【参考文献】1)W. Kjellman: Consolidation of clay soil by means of atmospheric pressure, Proc. Conf. On Soil Stabilization, M.I.T., Cambridge, pp.258-263, 1952. 2)梅崎健夫, 河村 隆, 鈴木俊介, 飯塚貴久: 真空圧密工法の施工過程を考慮した粘土の圧密および強度増加特性, 施工過程を考慮した地盤の変形・破壊予測に関するシンポジウム, 地盤工学会, pp.93-100, 2002.

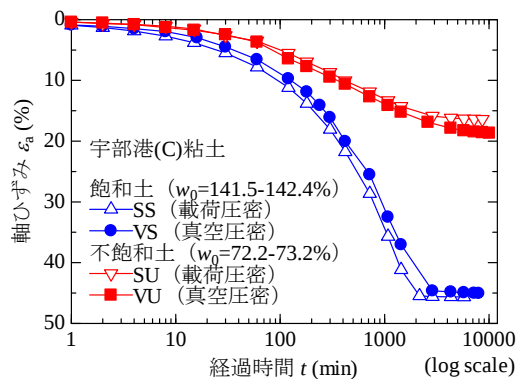


図-2 沈下曲線

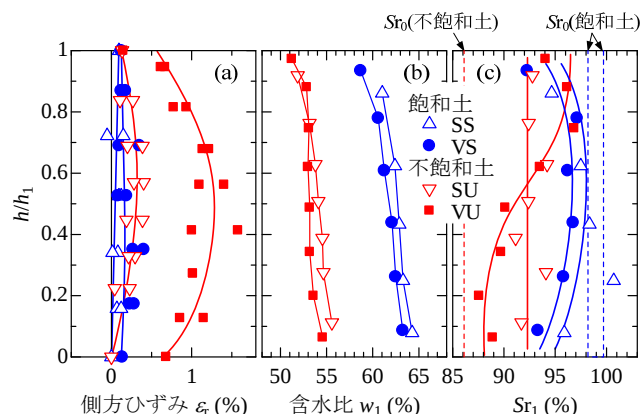


図-3 試験後の側方ひずみ, 含水比および飽和度の分布

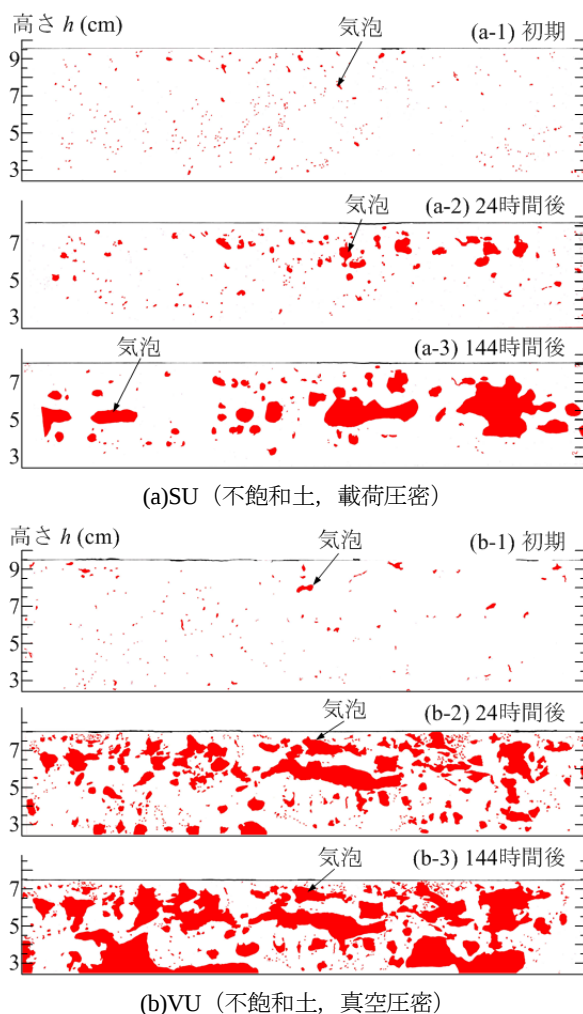


図-4 供試体側面における気泡の発達状況の一例