

不飽和マサ土を用いた保水性試験と飽和度一定の一次元圧密試験

名古屋工業大学 学生会員 ○沖野 頌悟, 常本 貴史
栗本 悠平

名古屋工業大学 非会員 Qiu Xiaoye

名古屋工業大学 正会員 張 鋒, 岩井 裕正

1. はじめに

自然界に多く存在する不飽和土は、間隙に水と空気が混在するため、飽和土と比較して複雑な力学挙動を示す。しかし、地盤の挙動予測には飽和土の構成式を用いることが多い。降雨による斜面崩壊などを防ぐためには、水分量の変化が影響する不飽和土の力学特性を把握し、それを定式化する必要がある。

本稿では、状態変数として飽和度に着目し、不飽和土圧密試験機を用いて不飽和マサ土の保水性試験、飽和度一定一次元圧密試験を行い、水分特性と異なる飽和度における土の力学挙動を調べた。

2. 試料概要

試験には 2 mm 以下にふるい分けしたマサ土を使用した。圧密試験機に設置した圧密リングにマサ土試料を入れ、直径 60 mm×高さ 10 mm、間隙比 0.65 を目標に一層で静的に締め固めた。保水性試験の目標含水比は 21%とし、飽和度一定一次元圧密試験は最適含水比付近 15%と湿潤側 21%、乾燥側 9%の 3 ケースで行った。

3. 保水性試験

3.1. 試験概要

本試験は、不飽和土において重要な水分特性を確認することを目的として行った。供試体を作成した後、基底応力 ($\sigma_v^{\text{net}} = \sigma_v - u_a$, σ_v : 全応力, u_a : 間隙空気圧) を 50 kPa 載荷し、サクシオン ($s = u_a - u_w$) が 0 kPa の状態で排水量が安定するまで放置した。排水過程としてサクシオンを 0 kPa から段階的に載荷し、250 kPa に達した後、吸水過程に移行してサクシオンを 0 kPa まで段階的に除荷した。サクシオンは 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 250 kPa の 9 段階にわけて各段階で安定を確認した後、載荷、除荷した。

本試験は、 u_a 制御と u_w 制御の 2 種類のサクシオンの制御方法を採用し、それぞれ 2 ケースずつ実施した。 u_a

制御は、初期の間隙空気圧と間隙水圧が 0 kPa である状態をサクシオン 0 kPa とし、間隙水圧を 0 kPa に保持したまま間隙空気圧を制御することでサクシオンを変化させる。 u_w 制御は、初期の間隙空気圧と間隙水圧が 250 kPa である状態をサクシオン 0 kPa とし、間隙空気圧を 250 kPa に保持したまま間隙水圧を制御することでサクシオンを変化させる試験である。

3.2. 試験結果

保水性試験の結果を表 1 と図 1 に示す。表 1 より、サクシオンの載荷・除荷に伴い、供試体の間隙比は低下・増加したが、試験終了時の間隙比は試験開始時より小さい値を示した。図 1 (a), (b)より、サクシオン 30 kPa, 50 kPa のとき保水性が大きいので、飽和度一定圧密試験をサクシオン 30 kPa, 50 kPa で行うこととする。 u_w 制御は、比較的高い精度の再現性が得られた。

表 1 保水性試験の結果

	s = 0 kPa			s = 250 kPa			s = 0 kPa		
Case	w_{0s}	e_{0s}	S_{r0s}	w_{250}	e_{250}	S_{r250}	w_{0f}	e_{0f}	S_{r0f}
u_a -1	20.3	0.610	0.88	6.1	0.598	0.27	17.9	0.602	0.79
u_a -2	22.0	0.585	1.00	9.7	0.564	0.46	18.6	0.573	0.86
u_w -1	18.0	0.572	0.84	8.8	0.563	0.42	15.8	0.563	0.75
u_w -2	21.5	0.596	0.96	9.4	0.576	0.43	15.3	0.583	0.70

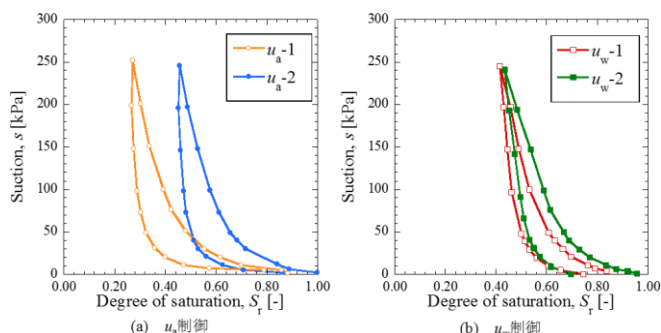


図 1 マサ土の水分特性曲線

4. 飽和度一定試験

4.1. 試験概要

本試験では、初期飽和度の違いによる力学特性の変化を検証するため、不飽和土圧密試験機を用いて加圧

法(Axial Translation Method)により飽和度一定試験を行った。試験手順は、基底応力を 20 kPa 載荷した後にサクシオンを 50 kPa または 30 kPa 載荷し、供試体の排水量が安定するまで放置した。排水量の安定を確認した後、飽和度一定制御に切り替えて基底応力を載荷速度 60 kPa/h として 20 kPa から 965 kPa まで載荷した。飽和度一定制御は、間隙空気圧一定の状態、供試体からの排水量を間隙水圧の増減によって調整する手法²⁾を採用した。飽和度一定制御を行うための条件式を以下に示す。

$$dV_w - S_{r(\text{init})}dV_v = 0 \quad (1)$$

ここで、 dV_w : 間隙水の体積変化、 $S_{r(\text{init})}dV_v$: 初期飽和度と間隙の体積変化の積である。一次元圧密試験では、間隙の体積変化 (dV_v) は供試体の断面積と変位の積に (Adh) より得られる。また、間隙水の体積変化 (dV_w) は PVC (Pressure/Volume Controller) で調整することで飽和度一定を保持できる。

4.2. 試験結果

本稿では、初期サクシオン 50 kPa、30 kPa の圧密試験を行った。初期サクシオン 50 kPa の試験結果を表 2 と図 2 に示す。図 2 (a) より、初期飽和度の低い Case s50-1 では基底応力の増加とともにサクシオンが増加した。また、図 2 (b) より、正規圧密線は初期飽和度の低いケースが高いケースよりも上方に位置している。

表 2 初期サクシオン 50 kPa の飽和度一定圧密試験の供試体物性値

Case	供試体作成時			載荷開始時			試験終了時		
	w_0	e_0	S_{r0}	w	e	S_r	w_f	e_f	S_{rf}
s50-1	8.9	0.651	0.36	9.0	0.623	0.38	6.9	0.480	0.38
s50-2	14.5	0.644	0.60	10.9	0.609	0.48	8.5	0.478	0.47
s50-3	20.1	0.631	0.84	13.9	0.595	0.62	10.1	0.441	0.61

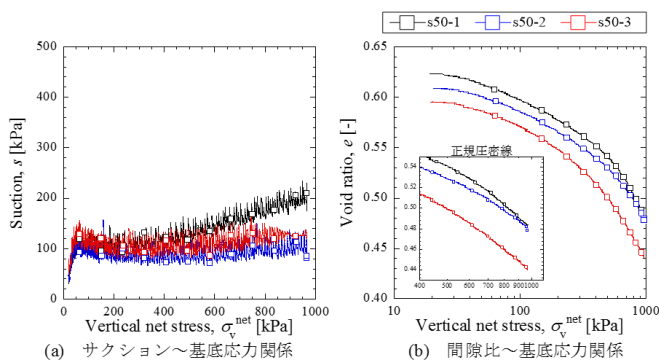


図 2 初期サクシオン 50 kPa の飽和度一定圧密試験

初期サクシオン 30 kPa の試験結果を表 3、図 3 に示す。表 2, 3 から、初期サクシオン 30 kPa の試験の方が、載荷開始時の飽和度に差がみられた。図 3 (a) より、初期飽和度が低いケースが高いケースと比較してサクシオン増加量が多い。また、図 3 (b) より、正規圧密線は初期飽和度が低いほど上方に位置している。Case s30-2 の圧密曲線の傾きが大きい。原因としては、供試体作成時の間隙比が比較的大きいため、載荷による間隙比の変化に影響したと考えられる。

表 3 初期サクシオン 30 kPa の飽和度一定圧密試験の供試体物性値

Case	供試体作成時			載荷開始時			試験終了時		
	w_0	e_0	S_{r0}	w	e	S_r	w_f	e_f	S_{rf}
s30-1	8.8	0.648	0.36	9.3	0.624	0.40	6.8	0.459	0.39
s30-2	9.5	0.659	0.38	10.2	0.642	0.42	7.2	0.449	0.43
s30-3	14.7	0.648	0.60	12.6	0.613	0.55	8.9	0.433	0.55

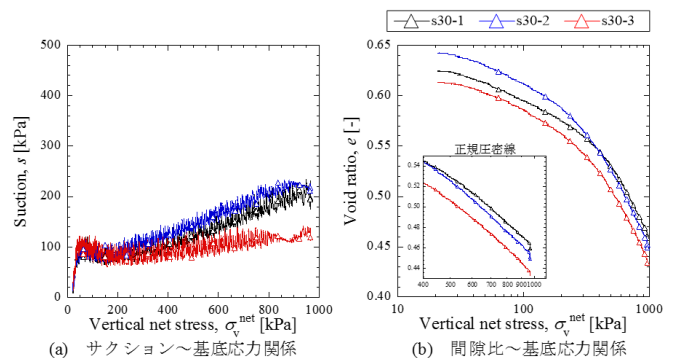


図 3 初期サクシオン 30 kPa の飽和度一定圧密試験

5. まとめ

保水性試験の結果より、サクシオンの載荷・除荷に伴い、供試体の間隙比は低下・増加の傾向を示したが、試験終了時の間隙比は試験開始時より小さい値を示した。また、飽和度一定一次元圧密試験の結果より、初期サクシオン 30 kPa の試験の方が供試体作成時の飽和度の差を試験開始時まで保持している。正規圧密線は、初期飽和度が低いほど上方に移行することを確認した。

6. 参考文献

- 1) Zhang, F. and Ikariya, T. (2011): A new model for unsaturated soil using skeleton stress and degree of saturation as state variable, *Soils and Foundations*, 51 (1), 67-81.
- 2) Burton, G. J., Pineda, J. A., Sheng, D., Airey, D. W. and Zhang, F. (2015): Exploring one-dimensional compression of compacted clay under constant degree of saturation paths, *Géotechnique*, 66 (5), 435-440.