

# 不飽和マサ土を用いた飽和度一定の一次元圧密試験

名古屋工業大学 学生会員 ○常本 貴史, 栗本 悠平  
 名古屋工業大学 非会員 小林 聖二, Qiu Xiaoye  
 The University of Newcastle 非会員 Glen J. Burton  
 名古屋工業大学 正会員 張 鋒, 岩井 裕正

## 1. はじめに

自然界に存在する地盤の多くは不飽和状態であり、間隙に水と空気が混在する。そのため、不飽和土は飽和土と比較して複雑な力学特性を示し、水理学的特性を考慮しなければならない。一方、近年では飽和土を対象とした構成則が数多く提案されており、地盤の挙動予測にも飽和土の構成式を用いることが多い。しかしながら、降雨による斜面崩壊など水分量の変化に起因した地盤挙動を正確に予測するためには、不飽和土の力学特性を理解し、その特性を定式化する必要がある。

本稿では、飽和・不飽和状態に依らず地盤材料の力学特性を統一的に表現できる飽和・不飽和土の弾塑性構成式の構築を目的とし、不飽和マサ土を用いた飽和度一定試験を実施した結果を報告する。

## 2. マサ土を用いた飽和度一定の一次元圧密試験

試験には 2mm 以下にふるい分けしたマサ土を使用した。マサ土の粒径加積曲線を Fig.1, 物性値を Table1 に示す。供試体作製時には、圧密試験機に設置した圧密リングに所定のマサ土試料を入れ、直径 60 mm×高さ 10 mm, 間隙比 0.65 を目標に、一層で静的に締固めた。試験パターンは締固め試験から得られた最適含水比付近と、その乾燥側と湿潤側の含水比 2 ケースずつ、計 5 ケースの目標含水比 ( $w = 9, 12, 15, 18, 21\%$ ) で行った。

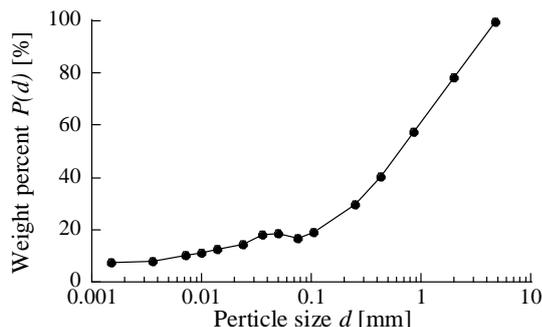


Fig.1 マサ土の粒径加積曲線

Table1 マサ土の物性値

	Unit	Value
Liquid limit $w_L$	%	NP
Plasticity index $I_p$	%	NP
Specific gravity $G_s$	-	2.66
Maximum dry density $\rho_d$	Mg/m <sup>3</sup>	1.85
Optimum water content $w_{opt}$	%	13.7

本試験では、初期飽和度の違いによる力学特性の違いを検証するために、不飽和土圧密試験機<sup>1)</sup>を用いて加圧板法により飽和度一定試験を実施した。試験に用いたセラミックディスクの空気侵入値 (AEV) は 1500 kPa である。なお、飽和度一定試験を実現するために、間隙水圧と間隙水体積を同時に制御できる PVC (Pressure/Volume Controller) を導入した。

試験は基底応力 ( $\sigma_v^{net} = \sigma_v - u_a$ ,  $\sigma_v$ : 全応力,  $u_a$ : 間隙空気圧) を 20 kPa 載荷した後、サクシオン ( $s = u_a - u_w$ ,  $u_w$ : 間隙水圧) を 100 kPa ( $u_a = 500$  kPa,  $u_w = 400$  kPa) 載荷し、供試体の排水量が落ち着くまで放置した。排水量が安定したことを確認した後、飽和度一定制御に切り替え、基底応力を 60 kPa/hr の載荷速度で 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では、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 Glen<sup>ら</sup><sup>1)</sup>が提案した手法を採用した。飽和度一定に制御する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、 $dV_w$ : 間隙水体積変化,  $S_{r(\text{init.})} dV_v$ : 初期飽和度と間隙水体積変化の積である。一次元圧密時には、間隙水体積変化 ( $dV_v$ ) は供試体断面積と供試体変位の積 ( $Adh$ ) より得られ、間隙水体積変化 ( $dV_w$ ) は PVC で調節することで飽和度を一定に保持できる。また、圧縮試験の場合、載荷に伴い間隙水体積は減少することから、間隙水体積も減少させる必要がある。つまり、飽和度一定を保持するためには間隙水圧が減少し、サクシオンは増加する。

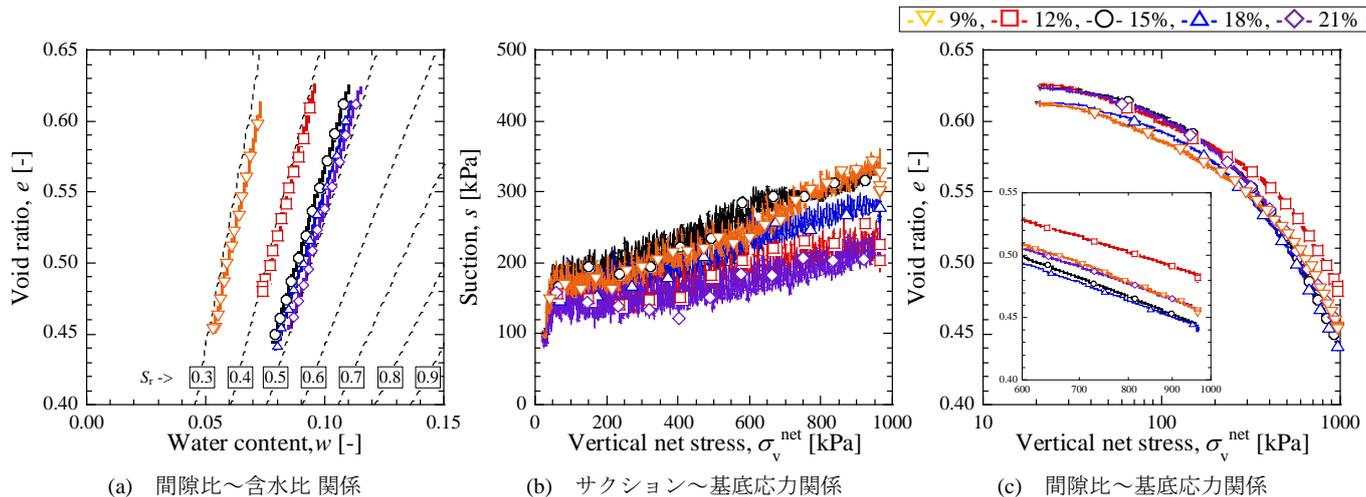


Fig.2 マサ土を用いた飽和度一定の一次元圧密試験結果

Table2 試験時の供試体物性値

	供試体作製時 (初期)			$S_r$ 一定試験開始前			$S_r$ 一定試験終了後		
	$w_0$	$e_0$	$S_{r0}$	$w$	$e$	$S_r$	$w_f$	$e_f$	$S_{rf}$
▽	8.5	0.642	0.35	7.4	0.613	0.32	5.3	0.453	0.31
□	12.1	0.650	0.49	9.6	0.625	0.41	7.3	0.479	0.41
○	15.0	0.650	0.62	11.0	0.625	0.47	8.0	0.446	0.48
△	17.8	0.651	0.73	11.1	0.613	0.48	7.9	0.441	0.49
◇	21.8	0.660	0.88	11.5	0.623	0.49	8.5	0.455	0.50

### 3. 試験結果

Fig.2(a)~(c)に飽和度一定の一次元圧密試験結果、Table2 に供試体作製時および試験開始前後における供試体の物性値を示す。Fig.2(a)より、間隙比の減少に伴い含水比は低下し、 $wG_s = eS_r$ 式（破線）から、飽和度一定に保持されていることが確認できる。Fig.2(b)に着目すると、基底応力の増加によりサクシオンは増加し、サクシオン増分は初期飽和度によって異なると言える。また、試験開始時の飽和度が概ね一致した実験ケースは、サクシオン増分に違いが見られ、初期飽和度が高いほどサクシオン増分が小さくなる傾向が得られた。Fig.2(c)に示す正規圧密線の位置に着目すると、乾燥側では湿潤側や最適含水比と比較して、正規圧密線は上方に位置しており、初期含水比が12%のケースが最も高い位置にある。一方、試験開始時の飽和度が概ね一致した実験ケースの正規圧密線は、顕著な差が見られなかった。

Fig.3は横軸を骨格応力 ( $\sigma'' = \sigma_v^{net} + S_r s$ ) で整理した図である。Fig.2(c)と比較すると、乾燥側の場合、正規圧密線は同様に上方へ位置したが、含水比21%の正規圧密線は下方に移行した。これは、Fig.2(b)

よりサクシオン増分の違いによる影響と確認できる。今後はこれらの結果を踏まえ、「飽和度が小さいほど正規圧密線が上に平行移動する」と仮定して開発した飽和・不飽和土の弾塑性構成モデル<sup>2)</sup>の妥当性を検証していく。

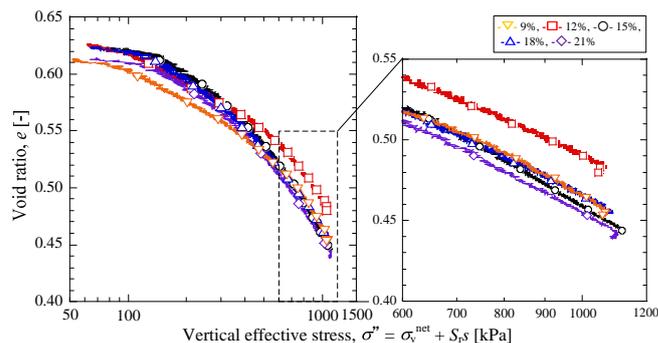


Fig.3 間隙比～骨格応力関係

### 4. 結論

不飽和土圧密試験機を用いて、飽和度一定の試験を実施した。その結果、基底応力増加によるサクシオンの増分は初期飽和度により異なる。正規圧密線は、乾燥側は上へ位置し、湿潤側は試験開始時の飽和度が一致したことから顕著な差が見られなかった。

### 参考文献

- 1) G. J. Burton, J. A. Pineda, D. Sheng, D. Airey and F. Zhang (2015): Exploring one-dimensional compression of compacted clay under constant degree of saturation paths, *Geotechnique* (in printing).
- 2) F. Zhang and T. Ikariya (2011): A new model for unsaturated soil using skeleton stress and degree of saturation as state variables, *Soil and Foundations*, 51 (1), 67-81.