

飽和および不飽和砂質土の非排気・非排水条件下における三軸圧縮試験

(現西日本旅客鉄道) 京都大学大学院

正会員 ○狩野 修志

京都大学大学院

フェロー会員

岡 二三生

京都大学大学院

正会員

木元 小百合

京都大学大学院

正会員

肥後 陽介

京都大学大学院

学生会員

森本 恭弘

1. 研究の背景および目的

不飽和地盤の変形特性のうち、特に非排気・非排水条件下での挙動については未解明の部分が多い。降雨時に表層が飽和する場合や、地盤内部でガスが発生する場合には、非排気・非排水条件になることが考えられる。本研究では、河川堤防で採取された砂質土を用い、非排気・非排水条件で種々のサクション下で三軸圧縮試験を行った。

2. 試験概要

2.1 試験試料

本研究では、木津川 11.8km 地点の吉之見樋門撤去工事現場の右岸川表側の堤体内で採取された砂質試料を、2mm 以下にふるったものを使用した。用いた試料の物理特性を表 - 1 に、粒径加積曲線を図 - 1 に示す。

表 - 1 物理特性

土粒子密度 (g/cm^3)	2.637
最大間隙比 e_{max}	1.221
最小間隙比 e_{min}	0.716
平均粒径 D_{50} (mm)	0.354
細粒分含有率 F_c (%)	26
砂 (%)	74
シルト (%)	16.8
粘土 (%)	9.2
最適含水比 w_{opt} (%)	10.5
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm^3)	1.898

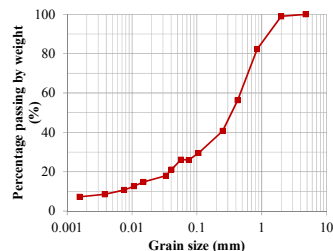


図 - 1 粒径加積曲線

2.2 供試体作製方法

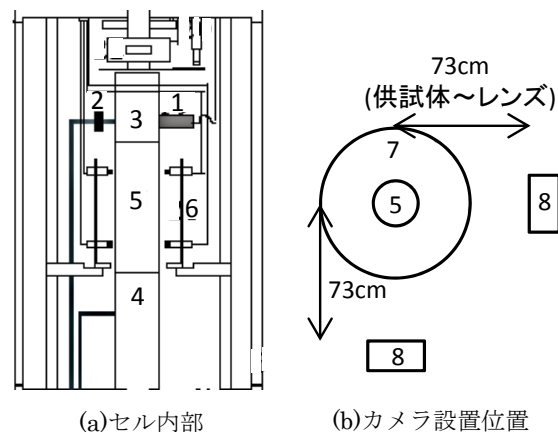
供試体は、最適含水比 10.5% に調整した所定量の木津川堤防砂を用いて、高さ 10cm、直径 5cm、締固め度 85% を目標に締固め法で作製した。飽和土の試験では、上記の方法で作製した供試体を自然乾燥させ使用した。

2.3 試験装置

試験装置の概略図を図 - 2 に示す。供試体上部のキャップには間隙空気圧計と空気圧作動式バルブが設置されており、非排気状態を作り出すことができる。ペDESTAL は不飽和試験の場合はセラミックディスク付きのものを用いている。

2.4 供試体の体積測定方法

不飽和土の試験では、非接触ギャップセンサー（非接触変位計）と軸変位計により体積ひずみを求めている。また、セル外部から撮影した供試体の写真を画像解析ソフトで処理することによっても体積ひずみを求め、結果を比較した。写真を用いる方法では、図 - 3 に示すように画像解析ソフトを用いて供試体とセル水の境界を得た後、体積積分して求めた。



番号	各部の名称	5	供試体
1	間隙空気圧計	6	ギャップセンサー (非接触変位計)
2	開閉バルブ	7	セル
3	キャップ	8	カメラ
4	ペDESTAL		

図 - 2 試験装置概略図

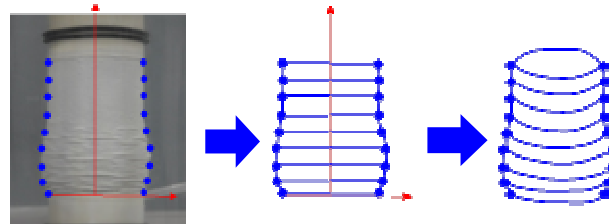


図 - 3 写真から体積を計算する手順

2.5 試験手順

飽和土の試験では、設置・通水、セル圧・背圧上昇、圧密、せん断の順に実施し、不飽和土の試験では、設置、セル圧・間隙圧上昇、吸排水圧密、せん断の順に実施した。

キーワード 不飽和土、三軸試験、サクション

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学 4C クラスターC1 棟 TEL 075-383-3193

3. 飽和土および不飽和土の三軸圧縮試験

3.1 試験条件, 応力変数

試験条件は表 - 3 に示すとおり, 飽和土については有効拘束圧 100, 200 (kPa) の 2 ケース, 不飽和土については初期サクシオン 0, 10, 80, 100 (kPa) の 4 ケースの結果を示す. 応力変数には, 以下で定義される平均骨格応力 σ'_m を用いている.

$$\sigma'_m = \sigma_m - P^F \quad (1)$$

$$P^F = (1 - S_r)u_a + S_ru_w \quad (2)$$

ここで, σ_m : 平均全応力, P^F : 平均間隙圧, S_r : 飽和度, u_a : 間隙空気圧, u_w : 間隙水圧である. ひずみ速度は全てのケースで 0.1%/min とした.

表 - 3 不飽和土の試験条件及びせん断前諸量

ケース名	セル圧 (kPa)	間隙空気圧 (kPa)	間隙水圧 (kPa)	サクシオン (kPa)	有効拘束圧 (kPa)	間隙比, e	含水比, w (%)	飽和度, S_r (%)
ua-uw=0	300	200	200	0		0.571	17.16	79.19
ua-uw=10	300	200	190	10		0.607	10.69	46.43
ua-uw=80	300	200	120	80		0.611	9.98	43.09
ua-uw=200	300	200	0	200		0.610	8.96	38.74
CU100	300		200		100	0.592	22.4	
CU200	400		200		200	0.565	21.4	

3.2 試験結果

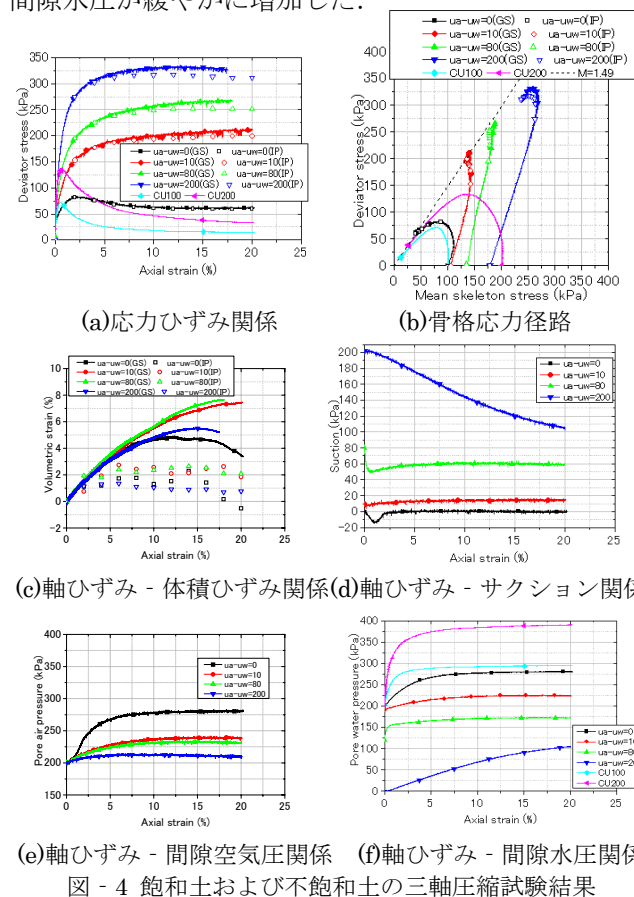
図 - 4(a)~(f)に試験結果を示す. 不飽和土のケース名末尾の GS (Gap sensor) および IP (Image Processing) は, 非接触変位計から求めた体積, 写真から求めた体積で整理したものをそれぞれ示している.

図 - 4(a)の応力-ひずみ関係より, 飽和土のケースでは大きくひずみ軟化挙動を示しており, 有効拘束圧が大きいほど軸差応力は大きくなっている. 不飽和土のケースでは初期サクシオンが大きいほど軸差応力が大きくなっていることが確認できる.

図 - 4(b)に示す骨格応力径路では, 初期サクシオンが大きいケースを除いて, せん断終了時の応力比は飽和土の非排水三軸圧縮試験の限界状態の応力比 $M = 1.49$ にほぼ一致している. 初期サクシオンが 200(kPa) のケースでは限界状態の応力比はやや大きくなる傾向がみられた.

図 - 4(c)に示す軸ひずみ - 体積ひずみ関係より, 写真から求めた体積ひずみは非接触変位計から求めた体積ひずみよりも小さくなっている.

図 - 4(d)~(f)に示す軸ひずみ - サクシオン関係, 軸ひずみ - 間隙空気圧関係および軸ひずみ - 間隙水圧関係より, 初期サクシオンが小さいケースでは間隙空気圧と間隙水圧の増加量がほぼ変わらないため, せん断中のサクシオンはあまり変化しなかった. 一方, 初期サクシオンが大きいケースでは, 間隙水圧の増加量が大きいため, サクシオンは大きく減少した. また, 初期サクシオンが大きいケースでは他のケースに比べて間隙水圧が緩やかに増加した.



4. 結論

不飽和土の三軸試験では初期サクシオンの増加により軸差応力が大きくなった. また, 間隙水圧および間隙空気圧の挙動は初期サクシオンにより異なった. 応力径路について骨格応力を用いて整理した結果, せん断終了時の応力比は, 初期サクシオンが小さいケースでは, 飽和土の非排水三軸圧縮試験の限界状態の応力比にほぼ一致し, 初期サクシオンが大きいケースでは限界応力比はやや大きくなった.

参考文献

- 1) Jommi, C., Remarks on the constitutive modelling of unsaturated soils, Experimental Evidence and Theoretical Approaches in Unsaturated Soils, Tarantio, A. and Mancuso, C. eds., Balkema, pp. 139-153, 2000.