

不飽和土の繰り返し載荷による変形特性

Deformation properties of an unsaturated soil due to cyclic loading

○佐藤 友孝* 藤井 健人* 斎藤 広隆* 向後 雄二*

○SATO Tomotaka* FUJII Kento* SAITO hirotaka* KOHGO Yuji*

1. はじめに

地震時の道路盛土や河川堤防の崩壊などの被害には、構造物自体の一時的な機能喪失に加え、道路の封鎖など社会的に影響を与えるケースも多い。そこで、レベル2地震動に対しては、崩壊時変形量が許容範囲内に収まることを基準としている。その変形量の評価手法には、安定解析法より得られる臨界すべり面状の土塊の変形量を求める方法や、有限要素法により直接求める方法などがある。前者の手法は、Newmarkにより簡易な手法が示されて以来、ロックフィルダムなどを対象として多くの研究がおこなわれている。一方、後者の手法は、実地震波に対する地盤の非線形挙動を、地盤構造・材料特性の不均質性をふまえて直接評価できる¹⁾。

本研究ではフィルダムの耐震性能をも念頭に置いて、有限要素法による安全性評価方法の開発を目指す。そのためには、不飽和土の応力-ひずみ関係を表現できるモデルが必要である。ここでは、前段として不飽和土を対象に静的繰り返し圧密排水(CD)三軸圧縮・等方圧縮試験を行った。

2. 試験方法

(1) 試験材料

試験にはDLクレーを試料として用いた。DLクレーは、シルト分が90%のほとんど均一の粒径からなり、塑性はNPで、日本統一分類では(ML)に分類される。土粒子密度は $\rho_s=2.65 \text{ g/cm}^3$ である²⁾。

(2) 静的繰り返し三軸圧縮試験

供試体はDLクレーを含水比17%に調製し、乾燥密度 1.30 g/cm^3 となるように直径5cm、高さ10cmのモールドに5層に分けて突き固めた。供試体の初期条件を表1に示す。三軸室は二重セル式であり、供試体の体積変化は内セル上部の水槽(リファレンス)水位と内セル内の水位との圧力差により測定した。セラミックディスクは空気侵入値100kPaのものを用いた。試験条件は、サクシオン $s=0, 25, 50, 100 \text{ kPa}$ の4条件に対し、拘束圧は基底応力で100kPaとした。24時間圧密後、せん断速度 $0.03\%/\text{min}$ でせん断した。軸ひずみがそれぞれ3%、5%に達する点で、繰り返しを行った。サクシオン $s=u_a-u_w$ であり、ここに u_a : 間隙空気圧、 u_w : 間隙水圧である。

(3) 静的繰り返し等方圧縮試験

三軸圧縮試験と同様に、供試体は乾燥密度 1.30 g/cm^3 となるように直径6cm、高さ4cmの圧密リングに3層で突き固めた。供試体の初期条件を表2に示す。圧力室は二重セル式であり、供試体の体積変化は内セルの水位量をギャップセンサーで計測した。試験条件は、サクシオン0, 25, 50, 80kPaそれぞれに対して、平均基底応力 p_{net} (0-700kPa)を24段階に分けて繰り返し載荷した。

表1 三軸圧縮試験供試体初期条件

Table.1. Initial conditions of the specimens for the triaxial tests

圧力条件 (kPa)	供試体作製時			
	含水比 (%)	ρ_d (g/cm^3)	間隙比 e	S_r (%)
0	17.5	1.305	1.031	45.0
25	17.1	1.296	1.045	43.2
50	17.3	1.296	1.045	44.1
100	17.1	1.300	1.039	43.6

表2 等方圧縮試験供試体初期条件

Table.2. Initial conditions of the specimens for the isotropic tests

圧力条件 (kPa)	供試体作製時			
	含水比 (%)	ρ_d (g/cm^3)	間隙比 e	S_r (%)
0	16.91	1.314	1.017	44.1
25	16.80	1.304	1.032	43.2
50	16.74	1.313	1.018	43.6
80	16.80	1.297	1.043	42.7

*東京農工大学 Tokyo University of Agriculture and Technology

キーワード: 不飽和土, 繰り返し載荷, サクシオン

ここで、平均基底応力 $p_{net}=p-u_a$ 、 p ：平均全応力である。

3. 試験結果

(1) 静的繰り返し三軸圧縮試験

図 1, 2 は静的繰り返し三軸圧縮試験より得られた、軸ひずみに対する軸差応力、体積ひずみ関係をそれぞれ示す。今回のサクシジョンの範囲では、軸差応力はサクシジョンが増加するとともに増加した。サクシジョン 0, 25kPa では、ピーク強度は現れず、軸差応力は単調に増加した。サクシジョン 50, 100kPa では、ピーク後、軸差応力は減じた。体積ひずみに関しては、終局状態の体積ひずみの大きさは、サクシジョンの増加により減少した。すべてのサクシジョン条件で体積圧縮が生じるが、サクシジョン 0, 25kPa では、単調に圧縮し続けるのに対し、サクシジョン 50, 100kPa では圧縮後の膨張が見られた。また除荷過程では、体積圧縮が生じ、このときのひずみ増分はサクシジョンの増加により増加する傾向があった。

(2) 静的繰り返し等方圧縮試験

図 3 に、静的繰り返し等方圧縮試験により得られた e - $\log p_{net}$ 関係を示す。

過圧密線の傾きは、サクシジョンの大小にかかわらず、ほぼ一定であることが確認された。圧密降伏応力に関しては、サクシジョンの増加により増加される傾向があったが、圧縮指数に関してはサクシジョンとの傾向は見られなかった。

4. まとめ

DL クレーに対して、不飽和土を対象に繰り返し三軸圧縮試験、等方圧縮試験を行い、不飽和土の応力-ひずみ関係、体積変化挙動を調べることができた。三軸試験に関しては、強度、体積変化ともサクシジョンへの強い依存性がみられた。一方、等方圧縮試験では、弾性特性はサクシジョンの影響をほとんど受けないが、降伏応力はサクシジョンの増加とともに増加する傾向があった。今後は、精度を高めつつ様々な条件での応力-ひずみ関係を求めていく必要がある。また、有限要素法を用いた地盤変形量評価手法へのフィードバックを行っていく所存である。

参考文献

- 1) 中村晋・澤田純男・吉田望：多層構造を有する斜面の地震時永久変形の簡易評価手法とその適用性，土木学会論文集 C, Vol.63 No.1, pp.269-284 (2007)。
- 2) 向後雄二：不飽和土の土質力学的特性と土質構造物の安定性に関する研究，農業工学研究所報告 第 34 号 (1995)

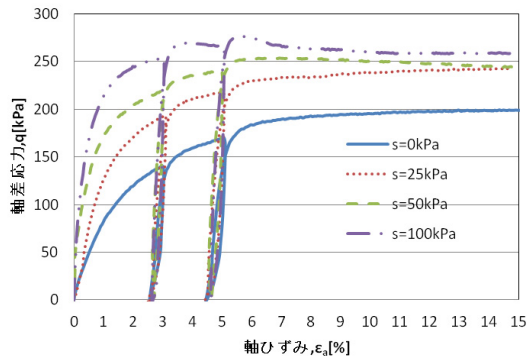


図 1 軸ひずみ-軸差応力関係

Fig.1. Relationships between deviator stress and axial strain

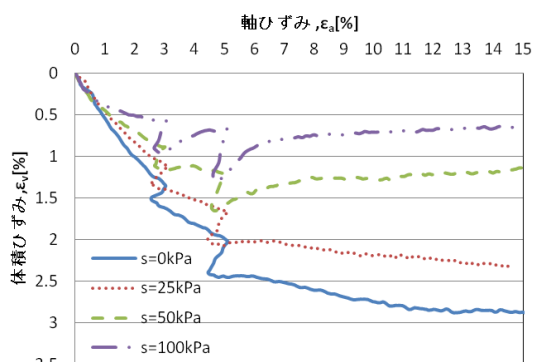


図 2 軸ひずみ-体積ひずみ関係

Fig.2. Relationships between volumetric strain and axial strain

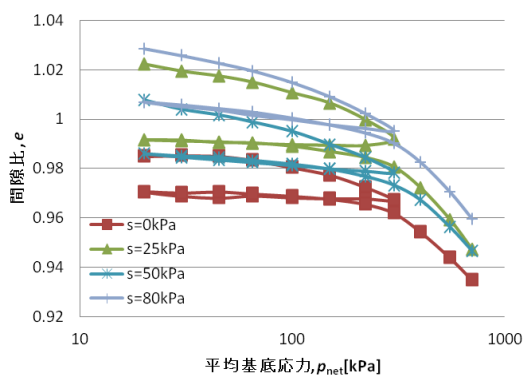


図 3 間隙比 e -平均基底応力 $\log p_{net}$ 関係

Fig.3. Relationships between void ratio, e and mean net stress, $\log p_{net}$