

不飽和火山灰質土の繰返しせん断変形特性の把握

宇都宮大学 学生会員 ○隈元太朗, AFIFAH YASMIN BINTI ZAKARIA

宇都宮大学 正会員 海野寿康, 吉直卓也

1. 研究背景と目的

2011年東北地方太平洋沖地震（以下、東日本大震災）においては、地盤の液状化や盛土斜面の崩壊、土石流の発生などの地盤災害が各地で発生した。栃木県内でもいくつかの災害が発生し、その多くは斜面災害や土石流などの土砂災害であった¹⁾。金澤ら（2015）²⁾は、地下水位よりも深い位置に存在する飽和土の繰返しせん断変形特性や液状化特性の把握を行った。

一方、土砂災害は地表面付近の不飽和土も崩壊、流動化することから、本研究では不飽和土の繰返しせん断特性や液状化特性を把握するために不飽和土の繰返し三軸試験を行った。

2. 使用する試料の性質

本研究では、土試料として東日本大震災の際に大規模な土砂災害が発生した栃木県那須烏山市川西地区の崩壊土砂（以降、“烏山土”とする）と、動的せん断特性の比較のため火山灰質砂である鹿児島県産砂（以降、“しらす”とする）、および非火山灰質土との比較のために人工配合材料である石英粉と珪砂の1:1配合試料を使用した。それぞれの試料の物理特性と粒径加積曲線を表-1および図-1に示す。烏山土は地質学的に火山灰由来の土であるが、細粒分含有率が高く火山灰質シルトに分類される。試料のSEMによる拡大写真を写真-1に示す。烏山土としらすは多孔質であるため、ともに火山灰質起源の土の特性を有することが分かる。また、石英粉は人工材料であり、その表面は火山灰質土と比べて比較的滑らかである。

3. 繰返し三軸試験条件と試験方法

実験に用いた繰返し三軸試験装置は三軸室内に内セルが設置されており、せん断中の体積変化が計測可能になっている。供試体上部で間隙空気圧 u_a 、供試体下部で間隙水圧 u_w が別々に測定できるため、サクシオン ($s = u_a - u_w$) の計測が可能になっている。

表-1 試料の物理特性

	烏山土	しらす	石英粉+珪砂
土粒子密度(g/cm^3)	2.682	2.412	2.649
細粒分含有率(%)	シルト分	20.3	5.0
	粘土分	12.2	7.9
細粒分含有率(%)	32.5	12.9	44.7
液性限界 w_L (%)	NP	NP	NP
塑性限界 w_p (%)	29.3	NP	NP
塑性指数 I_p	NP	NP	NP

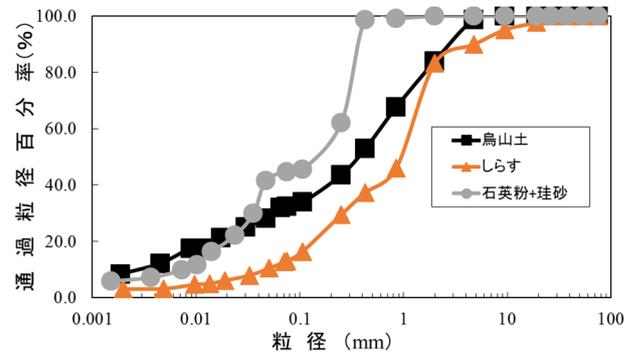


図-1 試料の粒径加積曲線

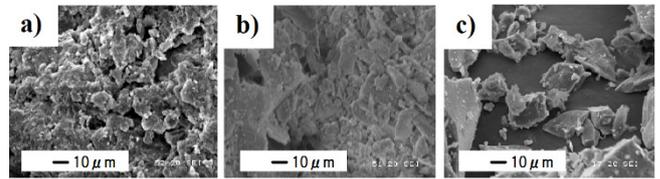


写真-1 試験試料の電子顕微鏡写真

供試体の作製方法は次の通りである。①所定の乾燥質量の土を所定の飽和度 ($S_r = 85 \sim 95\%$) になるように調整し、スラリー状にしたのちモールドに流し込み供試体を作成した。②圧密およびサクシオンの載荷手順は、拘束圧 σ_c を 20kPa と与えたのち、基底応力を一定に保ったうえで段階的に間隙空気圧を与えた。圧密終了は 3t 法を用いて判断した。③圧密終了後の供試体に対して、ひずみ制御非排気非排水条件下で図-2 示す繰返しせん断を行った。載荷は軸ひずみ片振幅 0.2, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0% の正弦波を各 10 波ずつ、 $f = 0.045\text{Hz}$ で与えた。④非排気非排水繰返しせん断が終了したのち、排水量と外体積変化を測定した。

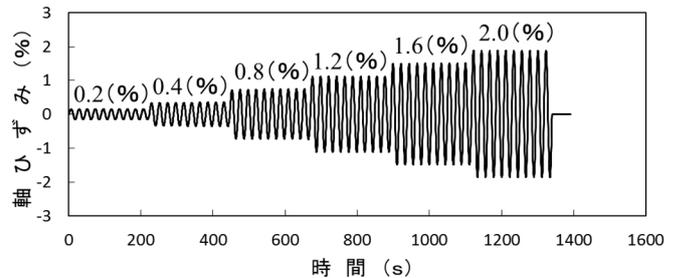


図-2 ひずみ制御載荷ステップ

キーワード 液状化, 不飽和土, 火山灰質土, 斜面崩壊, 繰返し三軸試験

〒321-8585 栃木県陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部 TEL.028-689-7044

不飽和土に対する有効応力について本研究では、最も一般的な不飽和土の有効応力式とされる Bishop³⁾の有効応力式を用いた。Bishop の提案式は次式で表される。

$$\sigma' = (\sigma - u_a) + \chi(u_a - u_w) \quad (1)$$

パラメータ χ に関して、本研究では、 $\chi = Sr/100$ を採用した。上記により、せん断中の有効応力減少比は、次式によって定義される。

$$\text{有効応力減少比} = 1 - \frac{\sigma'_m}{\sigma'_{mo}} \quad (2)$$

4. 試験結果

表-2, 図-3 は繰返しせん断前後の平均有効主応力の変化を示したものであり、烏山土 a-1, しらす b-1, 石英粉と珪砂の配合材料 c-1 は初期サクシオンを 2.0~4.0kPa 程度与えた試験体, a-2, b-2, c-2 は初期サクシオンを 18~20kPa 程度与えた試験体である。全ての試験に共通しているのはせん断の前後で平均有効主応力が低下していることである。また、繰返しせん断後の有効応力減少比が 0.95 以上のものは液状化したと考えられる。

a) 火山灰質土どうしの比較

図-3 の烏山土 a-1, しらす b-1 を比較すると、いずれの試験も平均有効主応力は低下している。一方、図-4 の烏山土 a-2, しらす b-2 で比較すると、石英粉と珪砂の配合材料 b-2 に比べて烏山土 a-2 の平均有効主応力が著しく低下していることが分かる。また、図-5 は有効応力減少比と初期飽和度の関係であり、同じ初期飽和度では烏山土の有効応力減少比のほうがより 1.0 に近い値になり、より液状化しやすいことが言える。

b) 非火山灰質土との比較

図-3 の烏山土 a-1, 石英粉と珪砂の配合材料 c-1 を比較すると、石英粉と珪砂の配合材料 c-1 の方が少ない載荷回数で液状化していることが分かる。図-5 より、初期飽和度が低くなるにつれ石英粉と珪砂の配合材料は有効応力減少比が低くなり、液状化しなくなる。一方、烏山土は低い初期飽和度においても有効応力減少比は高い数値を示しており、広い範囲の初期飽和度の値で平均有効主応力の低下、有効応力減少比の増加がみられる。

表-2 せん断前後の平均有効主応力の変化 (MEPS: 平均有効主応力 s_i : 初期サクシオン)

ケース	試料	s_i (kPa)	MEPS $_i$ (kN/m ²)	MEPS $_{ev}$ (kN/m ²)
a-1	烏山土	2.11	22.37	1.52
a-2		18.52	32.04	6.12
b-1	しらす	3.34	23.80	2.69
b-2		20.43	34.03	16.88
c-1	石英粉	2.60	22.03	-1.61
c-2	+珪砂	19.93	33.02	9.51

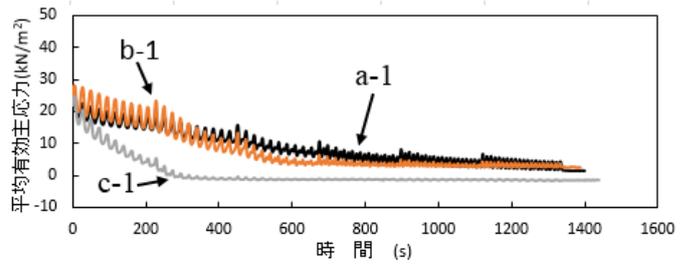


図-3 低サクシオン下での平均有効主応力の時刻歴

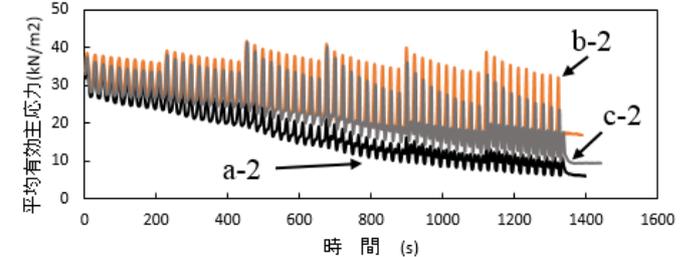


図-4 高サクシオン下での平均有効主応力の時刻歴

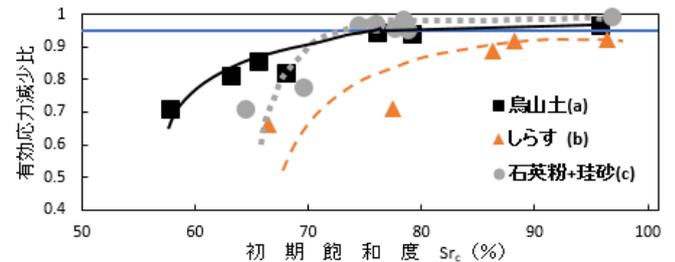


図-5 初期飽和度と有効応力減少比の関係

5. まとめ

本研究により得られた知見は以下の通りである。

- 繰返しせん断試験により、烏山土、しらす、石英粉と珪砂の配合材料はいずれの試料もせん断後に平均有効主応力の低下が見られ、不飽和土においても初期飽和度によってはせん断によって液状化する。
- 烏山土は、しらすとの比較により細粒分含有率 F_c が高いのにも関わらず、いずれの飽和度においても有効応力減少比が高く、より液状化に至りやすい試料である。また、人工配合材料との比較により低い初期飽和度の値でも液状化に至る。

謝辞: 本研究は、JSPS 科研費 15K20900 と JSPS 科研費 15H02263 の助成を受けて実施したものです。

参考文献

- 土砂災害復旧事業の記録 2011.3.11 東日本大震災 栃木県(2014)
- 金澤周平: 東日本大震災で被災した栃木県内分布火山灰質土の物理特性、液状化強度特性の把握(2015)
- Bishop, A.W., Alpan.I., Blight, G.E. and Donald.I.B : Factors controlling the strength of partly saturated cohesive soils. Proc.Colorad Conference, pp.503-532, (1960).