

東日本大震災で被災した栃木県内の火山灰質土の液状化強度特性の把握

宇都宮大学 学生会員 ○金澤周平

宇都宮大学 正会員 海野寿康, 吉直卓也

1. 研究目的と背景

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、埋立て地盤の液状化や盛土斜面の崩壊、土石流の発生など各地で地盤災害に伴う大きな被害を受けた。栃木県においてもいくつかの災害が発生し、その多くは斜面崩壊や土石流などの土砂災害であった¹⁾。ただし2015年現在、震災時の栃木県内の地盤災害事例に関して学術的/土質学的調査は十分に行われていない。

本研究では東日本大震災の際に被災した栃木県内の崩壊土砂を用いて繰返しせん断変形特性や液状化特性を把握するために繰返し三軸試験を行った。その際、動的せん断特性の比較のため火山灰質土として代表的な鹿児島県産砂の実験を行った。

2. 栃木県の崩壊土の性質

本研究では、土試料として東日本大震災の際に大規模に土砂崩壊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）と高根沢町上柏崎地区の崩壊土砂（以降、“高根沢土”とする）、および火山灰質砂である鹿児島県産砂（以降、“しらす”とする）と豊浦砂を使用した。それぞれの試料の物理特性と粒経過加積曲線を表-1 および図-1 に示す。

烏山土と高根沢土はどちらも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、烏山土は火山灰質シルトに、高根沢土は火山灰質粘性土に分類される。図-2 には締固め曲線を示す。烏山土の締固め曲線は鋭く立った形状であり最大乾燥密度は高い。一方で高根沢土の締固め曲線はなだらかであり最大乾燥密度は小さい。烏山土は砂質土系、高根沢土は粘土系の締固め特性を示すようである。

試料のSEMによる拡大写真を写真-1 に示す。烏山土と高根沢土はしらすと同様に多孔質であるため、火山灰質起源の土の特性を有することが分かる。

3. 繰返し载荷試験条件と試験方法

実験には空圧応力制御の繰返し三軸試験機を用いた。

表-1 試料の物理特性

	烏山土	高根沢土	しらす	豊浦砂	
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.682	2.615	2.412	2.645	
細粒分含有率%	シルト分	20.3	5.3	5	-
	粘土分	12.2	16	7.9	-
細粒分含有率%	32.5	21.9	12.9	-	
液性限界 w_L %	47.9	127.7	NP	NP	
塑性限界 w_P %	38.5	81.2	NP	NP	
塑性指数 I_p	9.41	46.5	NP	NP	

供試体は空中落下法で外径5cm、高さ10cmの円筒状に作製した。供試体の密度については豊浦砂に関しては相対密度60%で作製し、その他の試料は締固め曲線の値を参考に、供試体の密度が最大乾燥密度の80~90%になるように作製した。これ以上の低密度では供試体の作製ができなかった。なお被災時の現場密度の値は不明である。

初期有効拘束圧 σ'_v は全て100kPaの等方圧とし、各供試体の圧密は3t法を用いて行った。圧密終了後の供試体には、全て非排水条件にて繰返しせん断している。

表-2に試料の種類、周波数、繰返し応力比振幅比($\sigma_d/2\sigma'_v$)を示す。本研究では、すべての試料で繰返し载荷はせん断ひずみが両振幅で10% (DA=10%) に至るまで継続した。非排水繰返しせん断が終了した後に排水量を測定し、体積変化量を求めた。

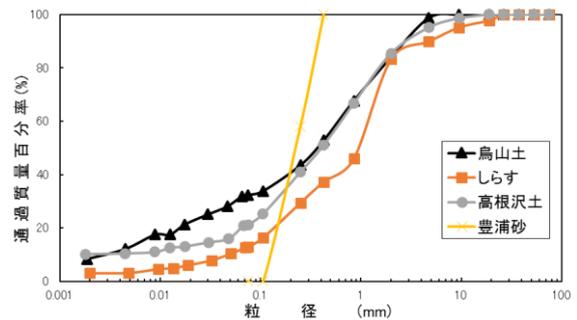


図-1 試料の粒径加積曲線

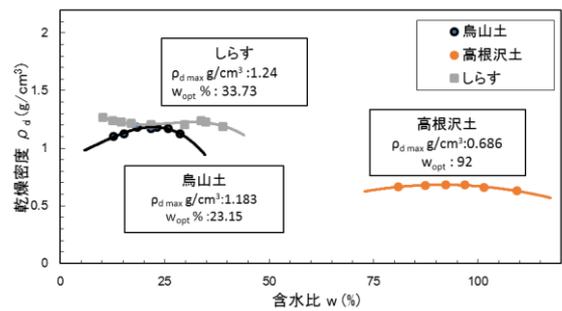


図-2 試料の締固め曲線

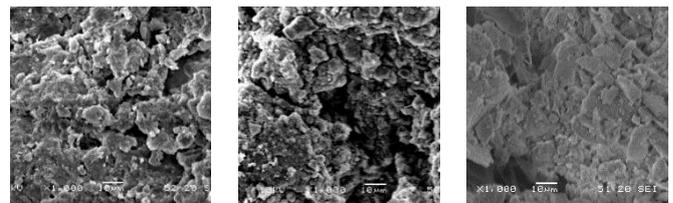


写真-1 試験試料の電子顕微鏡写真

キーワード 液状化, 火山灰質土, 斜面崩壊, 繰返し三軸試験

〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部 TEL. 028-689-6218

表-1 実験条件

ケース	試料	ρ_{dmax}	ρ_{di}	$\sigma_d/2\sigma'_o$	σ'_c
1-1	烏山土	1.183	1.11	0.09	0.96
1-2			1.10	0.11	0.94
1-3			1.08	0.14	0.96
1-4			1.09	0.15	0.98
1-5			1.08	0.16	0.96
2-1	高根沢土	0.686	0.62	0.1	0.95
2-2			0.62	0.12	0.94
2-3			0.63	0.14	0.95
2-4			0.62	0.16	0.95
3-1	しらす	1.24	0.87	0.05	1.00
3-2			0.88	0.06	0.95
3-3			0.90	0.08	0.95
3-4			0.90	0.11	0.95
4-1	豊浦砂	Dr	60%	0.11	0.93
4-2			60%	0.12	0.95
4-3			63%	0.13	0.97
4-4			60%	0.14	0.97

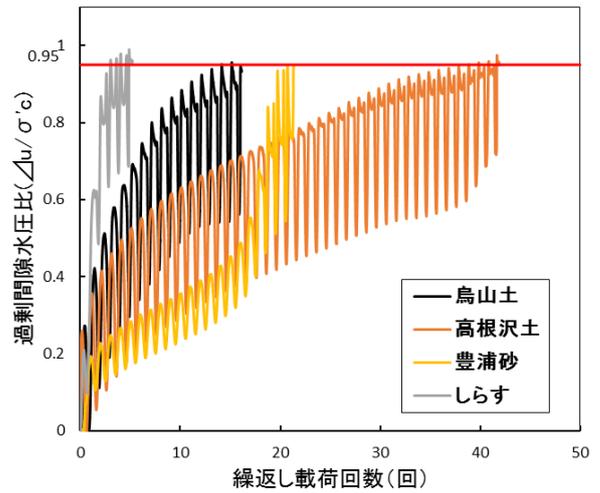
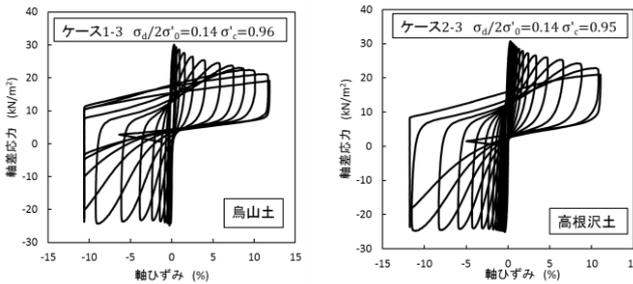


図-4 過剰間隙水圧の時刻歴



(左:烏山土, 右:高根沢土)

図-3 応力ひずみ関係

4. 液状化強度と繰返しせん断変形特性

繰返しせん断試験の一例として、烏山土と高根沢土の繰返し载荷中の応力—ひずみ関係を図-3に示す。応力—ひずみ関係を見ると、烏山土、高根沢土とも繰返し载荷に伴い、軸差応力は減少し、軸ひずみが増加する。

次に図-4には過剰間隙水圧比の時刻歴の一例を示す。図中の载荷条件は、全ての供試体で繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_o$ は0.11~0.12であり、ほぼ等しい応力で载荷している。繰返し载荷を与えることにより、4種の試料全てにおいて過剰間隙水圧比は0.95を超え液状化に至った。個々の試料の水圧の上昇挙動をみると烏山土や高根沢土は、豊浦砂と比べ若干ではあるが水圧の上昇が緩いようである。なお、しらすは载荷初期から急激に水圧が上昇している。図-3と図-4に示す通り烏山土および高根沢土は共に細粒分含有比率が高い土試料であるが繰返しせん断を与えると過剰間隙水圧が上昇し、载荷履歴によっては有効応力がゼロに至り十分に液状化する。

以上を踏まえ図-5に各土試料の液状化強度曲線を示す。烏山土、高根沢土の二つの試料について中密な豊浦砂と比較するとどちらの試料も豊浦砂の液状化強度曲線に近い値を示し、一般的に液状化しやすい粒径の揃った“きれいな砂”の液状化強度に近い値を示す。表-3に繰返し回数20回の時の液状化強度比を示す。しらすの値が0.1以下と極端に低い値を示すのが目につくが、烏山土、高根沢土ともに0.12~0.13と低い値である。

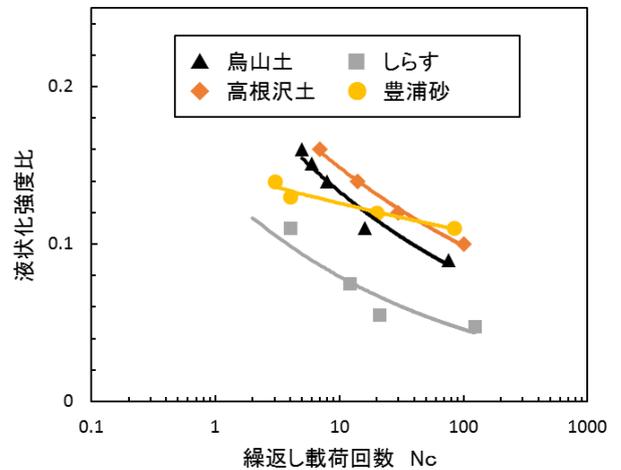


図-5 液状化強度曲線

表-3 R_{L20} の液状化強度比

試料	烏山土	高根沢土	豊浦砂	しらす
$\sigma_d/2\sigma'_o$	0.12	0.13	0.12	0.07

5. まとめ

本研究より得られた知見は以下のとおりである。

1. 烏山土と高根沢土は粒度分布から F_c が20%以上であり、火山灰質粘性土に分類される。また、両試料とも塑性指数 I_p がゼロ以上であり、烏山土は9.4、高根沢土で46.5であった。
2. 非排水繰返し三軸試験の結果、烏山土と高根沢土は繰返し载荷によって $\Delta u/\sigma'_c$ は0.95以上となり载荷履歴によっては液状化に至る。また、その際の液状化強度比は中密な“きれいな砂”と同じ程度の強度しかない。

謝辞：本研究を実施するにあたり栃木県県土整備部砂防水資源課、栃木県烏山土木事務所、栃木県矢板土木事務所の皆様に試料採取の手配や資料提供等、多くの御協力を頂きました。ここに記して厚く御礼を申し上げます。

参考文献 1)土砂災害復旧事業の記録 2011. 3. 11 東日本大震災 栃木県(2014).