

北海道胆振東部地震による厚真町の斜面災害現場から採取した火山性土の不飽和力学特性

東京大学生産研究所

学生会員

○佐藤樹

東京大学生産研究所

フェロー会員

桑野玲子

東京大学生産研究所

正会員

大坪正英

東京大学生産研究所

学生会員

川口勇一郎

東京大学生産研究所

Beatrice Yason

1. はじめに

2018年の9月6日に発生した北海道胆振東部地震(Mw=6.6)では、震源に近い勇払郡・厚真町を中心に広い範囲で浅層の土砂崩れや斜面崩壊が数多く発生した。2018年10月12日に行った現地調査では、斜面崩壊は比較的固い粘土層をすべり面として発生しており、すべり土塊やすべり面の表面には、泥濘化した状態の火山灰質粘性土(黄褐色粘性土)や、第四紀火山によって生成されたと考えられる火山砕屑物(赤褐色降下軽石)が観察された。本研究で対象とした図1の崩壊地点(42° 45' 21.9"N 141° 59' 00.9"E)は、5~15°の緩い勾配で約150mの流動が生じていた。本論文では、対象崩壊箇所のすべり面の西側端面から粘土層上の残存土塊の土を数種類採取し物理試験を行った他、赤褐色降下軽石層に圧密非排水・非排気不飽和三軸圧縮試験を実施し、原位置での含水比における挙動を調べた。

2. 採取試料の物理特性

現地調査より対象とした崩壊地点の地層の様子を図2に示す。すべり面となったのは図の下部にある粘土層であった。粘土層の上には下方から順に2~5cmの薄い砂層、70cm程度の樽前d(Ta-d)層①(赤褐色降下軽石層)が分布しており、それより上部には黒ボクや腐植土などが分布していた。赤褐色軽石層の中には数メートルごとにアーチ状に分布する黄褐色粘性土層と、その内側に存在する黄褐色軽石層が観察された。赤褐色・黄褐色軽石は、容易に手で粒子破碎させることができ、赤褐色軽石は手で潰すと簡単に液状態となった。図2に示した層の内、黒ボク以外の試料についてそれぞれ攪乱土採取、湿潤密度算定用の円筒を用いた不攪乱土採取を行った。図3(a)は採取した試料の粒径加積曲線である。火山性土はふるい分けによる粒子破碎を考慮し、軽石と黄褐色粘性土については手で3分間のふるい分けを行った。他の試料については振動ふるい機で1時間のふるい分けを行った。赤褐色軽石と黄褐色軽石は比較的似た粒度分布を持つ。



図1 試料採取した崩壊地点

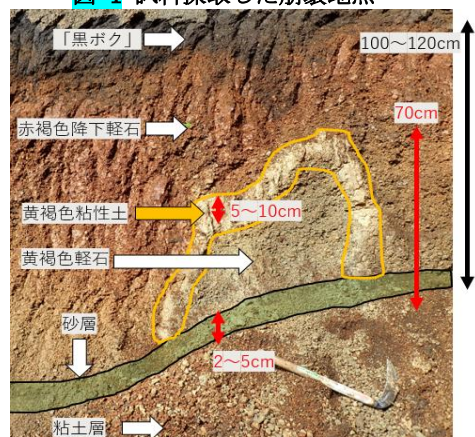


図2 採取地点の写真

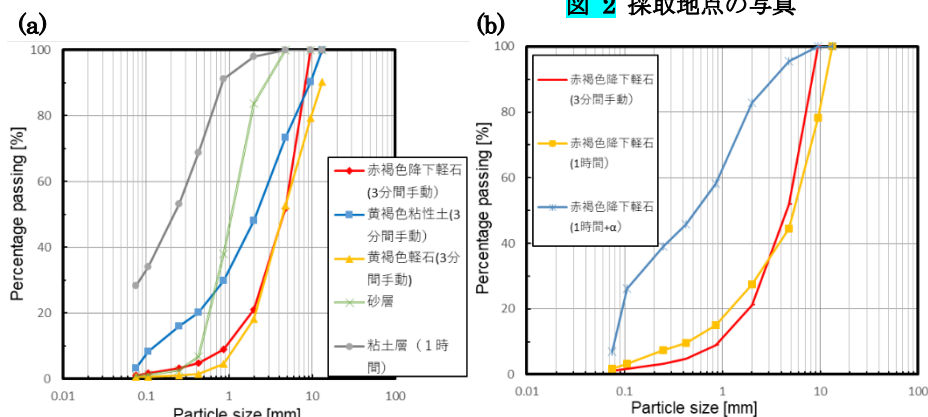


図3 採取した試料の粒径加積曲線

図2に示した層の内、黒ボク以外の試料についてそれぞれ攪乱土採取、湿潤密度算定用の円筒を用いた不攪乱土採取を行った。図3(a)は採取した試料の粒径加積曲線である。火山性土はふるい分けによる粒子破碎を考慮し、軽石と黄褐色粘性土については手で3分間のふるい分けを行った。他の試料については振動ふるい機で1時間のふるい分けを行った。赤褐色軽石と黄褐色軽石は比較的似た粒度分布を持つ。

キーワード 不飽和三軸試験, 高間隙構造土, 火山灰質土, 粒子破碎, 軽石

連絡先

〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 TEL 03-5452-6843

っていることが観察された。また、黄褐色粘性土については 2mm 以上の軽石状の粒も 20%以上含まれていた。図 3(b)は赤褐色軽石層についての、手動 3 分間のふるい分け、振動ふるい機で 1 時間のふるい分け、スプーンで可能な限り粒子破砕させたのちに振動ふるい機で 1 時間ふるい分け (1 時間 + α)、の粒度分布である。粒子破砕により粒径が小さくなる。表 1 は採取試料の物性値一覧である。どの土も乾燥密度が 0.6 g/cm^3 以下であり、非常に低密度な状態で堆積していることが分かる。また、赤褐色降下軽石と黄褐色粘性土は 200%を越える高含水比であった。

3. 不飽和三軸圧縮試験

対象崩壊地点より採取した赤褐色軽石に対し、二重セルを用いた不飽和三軸圧縮試験機²⁾を用いて圧密非排水・非排気三軸圧縮試験を行った。実験に用いた試料は、赤褐色軽石の現地湿潤密度と自然含水比より算出した乾燥密度 0.42 g/cm^3 を目標値とし、供試体高さを 5 層に分けて湿潤締固め法で高さ 100mm、直径 50mm のモールドを用いて供試体を作製した。試料は目標の乾燥密度で締固められるように、自然乾燥させ含水比調整したものを用いた。供試体作製直後の含水比は、153%である。原位置の土被り圧よりも大きい 50kPa、100kPa を圧密圧力として与え、圧密速度 2.5 kPa/min で圧密をしたのち、変位速度 0.239 mm/min で非排水試験を行った。(※圧密の際、どちらの試験でも排気チューブから水が排出され、含水比が 0~20%程度変化してしまった。)

4. 実験結果

図 4 が等方圧密過程の結果である。圧密時の体積ひずみは 50kPa で 5%、100kPa で 8%程度であった。図 5、図 6 は三軸圧縮過程の結果である。赤褐色降下軽石は両方の試験で常に負のダイレイタンシーを示し、100kPa では軸ひずみ 7.5%付近でピーク強度を示した。間隙空気圧と水圧はほぼ同じ値となったが、粒径が大きくサクションが小さいためと考えられる。どちらの拘束圧でも、軸ひずみが 10%を超えるとひずみが進行しても軸差応力がほぼ上昇せず一定に収束する定常状態に至った。

参考文献

- 1) 川尻峻三. “平成 30 年北海道胆振東部地震による地盤災害緊急報告会 (資料公開).” 公益社団法人地盤工学会. 2018 年 10 月 2 日. https://www.jiban.or.jp/wp-content/uploads/2018/10/kawajiri_20181002.pdf [アクセス日: 2019 年 01 月 20 日].
- 2) Wang, Hailong & Sato, T & Koseki, J & Chiaro, Gabriele & Tan Tian, J. (2016). A System to Measure Volume Change of Unsaturated Soils in Undrained Cyclic Triaxial Tests. Geotechnical Testing Journal. 39. 20150125. 10. 1520/GTJ20150125.

表 1 採取試料の物性値一覧 (※赤褐色降下軽石のコンシステンシー特性では、乾燥させスプーンで可能なだけ破砕し、さらに、1 時間以上振動ふるい機にかけて、粒径 $425 \mu\text{m}$ 以下となったものを試料とした)

	土粒子密度 $\rho_s [\text{g/cm}^3]$	自然含水比 $w_n [\%]$	乾燥密度 $\rho_d [\text{g/cm}^3]$	間隙比 e	コンシステンシー特性		
					$w_L [\%]$	$w_p [\%]$	$I_{np} [\%]$
赤褐色降下軽石	2.56	212.83	0.42	5.36	102.5	77.9	24.6
黄褐色粘性土	2.78	210.94	0.40	5.63	157.0	104.7	52.3
黄褐色軽石	2.82	163.14	0.36	6.33	NP		
砂層	2.69	82.82	0.55	3.81	NP		
粘性土	-	76.69	0.82	-	-	-	-

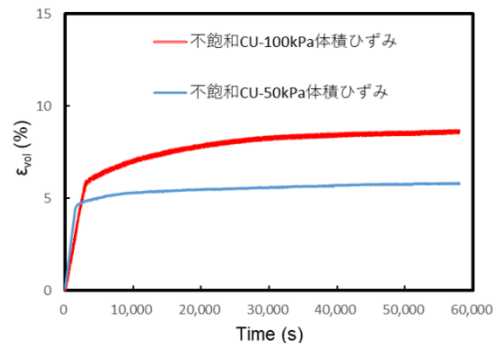


図 4 不飽和 CU 試験等方圧密過程結果

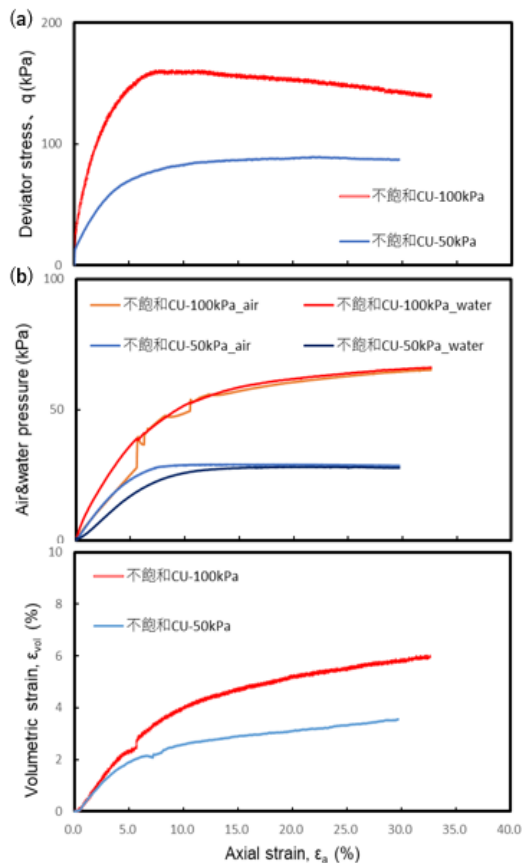


図 5 不飽和 CU 試験の三軸圧縮過程における (a)軸差応力—軸ひずみ関係、(b)空気圧・水圧—軸ひずみ関係、(c)体積ひずみ—軸ひずみ関係

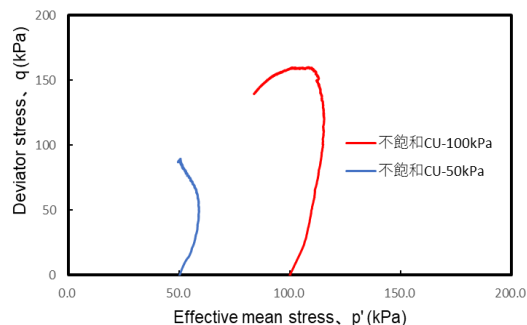


図 6 不飽和 CU 試験の応力経路