

2021年福島県沖地震により崩壊したローム斜面土の物理・力学特性

日本大学 正会員 ○仙頭 紀明

日本大学 非会員 川野辺悠太 文屋 佑亮

1. はじめに

令和3年2月13日、福島県沖を震源とする最大震度6強の地震が発生した。この地震により、福島県二本松市では最大震度5強を観測し、市内の安達太良ローム斜面（エビスサーキット内）で大規模な斜面崩壊が発生した（写真-1¹⁾。斜面は、幅約39m、長さ約138mの範囲で崩壊し、下方にあるサーキットに堆積した¹⁾。

この斜面の崩壊原因を明らかにするためには、現場の地盤の情報を把握する必要がある。そこで本研究では、当該斜面において攪乱及び不攪乱試料を採取し、室内土質試験を実施して、物理・力学特性を明らかにした。加えて、県内に分布する他のロームの物理特性と比較し、崩壊斜面の安達太良ロームとの差異を明らかにした。

2. 試験概要

採取地点は、福島県二本松市沢松倉である。採取日は、2021年8月11日である。試料採取箇所は、写真の丸で囲った斜面の中腹部のすべり面と想定される露頭した粘土層及び深さ3~4mの位置の側方崖である。不攪乱試料は、ブロックサンプリング（押切り式）により採取した。

物理試験は、土粒子の密度試験（JIS A 1202）、土の含水比試験（JIS A 1203）、土の粒度試験（JIS A 1204）及び土の液性限界・塑性限界試験（JIS A 1205）を実施した。力学試験は、土の一軸圧縮試験（JIS A 1216）、定体積条件の土の一面せん断試験（JGS A 0560）を実施した。粘土層に関しては、崩壊から1週間後（2021年2月21日）の調査では、今回調査した夏場の時期よりも高い含水比（ $w_n=92.8\%$ ）が報告されていた¹⁾ため、自然含水比の条件に加えて、吸水により含水比を高くした条件でも実施した。

3. 試験結果

物理試験結果を表-1に示す。土粒子の密度 ρ_s は約 2.53g/cm^3 であり、他のロームと比べても小さいことが特徴である。含水比は粘土層で81.9%、側方崖で58.1%であり、既存の結果¹⁾

写真-1 斜面崩壊状況¹⁾と試料採取位置

表-1 崩壊斜面及び福島県内ロームの物理特性

地点	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	$w_n(\%)$	$w_L(\%)$	$w_p(\%)$	I_p	シルト分 (%)	粘土分 (%)
粘性土	2.534	81.9	95.7	61.6	34.1	41	48
側方崖	2.529	58.1	67.5	45.2	22.3	38	33
大玉村山中	2.667	46.8	63.9	45.0	18.9	22	20
二本松市	2.673	74.7	80.3	52.3	28.0	23	43
西郷村伯母沢	2.749	49.3	88.4	59.8	28.6	9	12
西郷村下羽太	2.663	39.6	81.0	60.8	20.2	1	14
大信村	2.707	42.4	77.0	48.8	28.2	22	42
古殿村	2.735	111.2	144.8	97.6	47.2	20	42
中島村	2.698	89.9	143.5	92.8	50.7	18	42

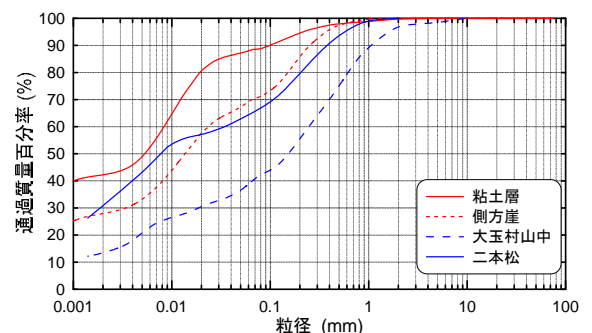


図-1 粒径加積曲線

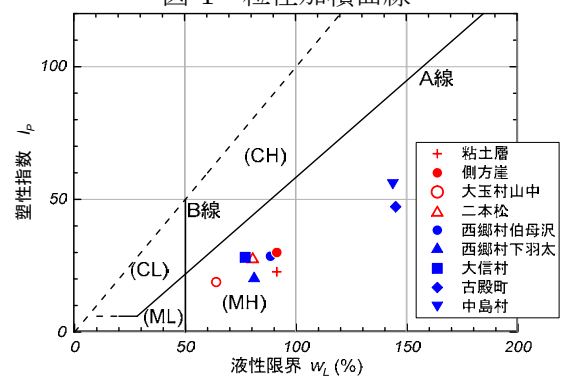


図-2 塑性図

と比較すると低い値を示した。これは、採取日が夏期であり高温・日照により乾燥が原因と考えられる。粒径

キーワード ローム, 2021年福島県沖地震, 斜面崩壊, 物理的性質, 力学特性

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地 日本大学工学部土木工学科 TEL024-956-8710

加積曲線を図-1 に示す。図中には、安達太良ロームである大玉村山中と二本松市の結果を合わせて示した。粘土層の細粒分含有率 F_c は 89.2%，側方崖は 69.8% となった。粘土層は他地域よりも高い F_c を示したのに対し、側方崖は二本松市の粒度分布と同様の傾向を示した。塑性図を図-2 に示す。粘土層、側方崖ともに {MH} (シルト (高液性限界)) に分類された。粘土層の w_L 及び I_p は、側方崖のそれよりも大きい値を示し、より高い塑性を示した。また、県内のロームはいずれも {MH} に分類された。詳しく見ると、古殿町、中島村を除く他地域のロームと類似した傾向を示した。力学試験結果を表-2 に示す。まず、一軸圧縮試験結果から見ると、自然含水比と吸水条件の q_u は 32~35kN/m² であり、同程度であった。粘土層の鋭敏比は吸水条件では 3.8 であり、比較的鋭敏な土といえる。一方、側方崖の q_u は 55.3kN/m² と粘土層より高く、鋭敏比は 1.4 と小さくなった。次に、一面せん断試験の結果を見ると、粘土層の吸水条件での全応力条件の c_{cu} は 22.9kN/m²、 ϕ_{cu} は 6.5° であった。一方、側方崖の全応力 c_{cu} は 30.1kN/m²、 ϕ_{cu} は 30.9° であり、一軸圧縮試験結果と同様に粘土層と比較すると高い値を示した。

最後に、すべり面と想定される粘土層の一面せん断試験 (吸水条件) で求めた全応力の強度定数を用いて、地震時における斜面の安定性を評価した。移動土塊の厚さに対して斜面長が長いこと、斜面末端部は切土りされており解放状態であったことから無限長斜面とみなし、安全率は(1)式により求めた。

$$F_s = \frac{c + (\gamma_t z \cos^2 \beta - k \gamma_t z \cos \beta \sin \beta) \tan \phi}{\gamma_t z \cos \beta \sin \beta + k \gamma_t z \cos^2 \beta} \quad (1)$$

ここで移動体土塊の単位体積重量 γ_t は側方崖の値の 13.1kN/m³、すべり面の傾斜角 β は 20°¹⁾ とした。地表面からすべり面までの深さ z は 3m 及び 4m として試算を行った。図-3 に安全率と震度の関係を示す。安全率が 1 となる震度は 0.23~0.40 と幅を持っているが、現場の地震動の大きさから判断すると、震動により粘土層の滑動が生じた可能性があり、大規模な斜面崩壊のトリガーとなったことが示唆された。

4. まとめ

2021 年福島県沖地震により崩壊した安達太良ローム斜面内のすべり面と想定される粘土層、側方崖から試料を採取して物理・力学特性を求めた。本地点のロームは福島県内の他のロームと同様、{MH} (シルト (高液性限界)) に分類された。粘土層の q_u は、35kN/m² 程度、鋭敏比は 3.8 と比較的鋭敏な土であった。粘土層の強度定数を用いて、地震時における無限長斜面の安全率を評価した結果、震動により粘土層で滑動が生じていた可能性が示唆される結果が得られた。

5. 謝辞

安藤秋彦氏 ((株) 東北サファリパーク) には調査にご協力をいただきました。古河幸雄氏 (前 日本大学教授) には福島県内のロームに関する実験データを提供いただきました。記して謝意を示します。

6. 参考文献

1) 仙頭紀明・原勝重・海野寿康・畠良一・加村晃良・森口周二 (2021) : 2021 年福島県沖の地震において発生したローム斜面の流動的な崩壊, 地盤工学会誌, 69 号, (4), pp. 35-36.

表-2 強度特性

含水条件	粘土層				側方崖	
	自然含水比		吸水		自然含水比	
試料条件	不攪乱	練返し	不攪乱	練返し	不攪乱	練返し
w (%)	83.0		92.4		55.4	
q_u (kN/m ²)	32.2	-	35.0	-	55.3	-
q_{ur} (kN/m ²)	-	11.6	-	9.3	-	40.6
S_t	2.8		3.8		1.4	
ρ_t (Mg/m ³)	1.34-1.45		1.42-1.46		1.29-1.41	
ρ_d (Mg/m ³)	0.68-0.73		0.69-0.71		0.81-0.83	
c_{cu} (kN/m ²)	12.3	-	23.0	-	30.1	-
ϕ_{cu} (°)	21.8	-	6.5	-	30.9	-
c' (kN/m ²)	13.5	-	22.0	-	33.8	-
ϕ' (°)	21.6	-	9.3	-	30.0	-

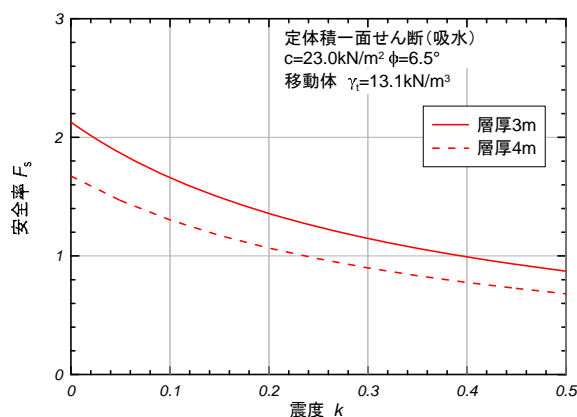


図-3 無限長斜面の震度と安全率の関係