

平成 30 年北海道胆振東部地震で発生した緩勾配斜面崩壊に関する実験的研究

北海道大学農学院 ○竹中源弥 山田孝

1. はじめに

平成 30 年北海道胆振東部地震では M6.7 を記録し、斜面崩壊が高密度で多発した。この地震誘因の斜面崩壊の特徴として、崩壊は水を多く含んだテフラ層がすべり面とされる点と、斜面勾配が 30° 以下と豪雨誘因の表層崩壊より緩い勾配でも発生した点が挙げられる⁽¹⁾。この緩勾配斜面での崩壊が特に顕著である厚真町東和地区では、多くの崩壊は Ta-d 最下部の風化層がすべり面とされる⁽²⁾。しかし本研究の調査地では、水を多く含んで容易に泥濁化する En-a が崩壊斜面に露出しており、さらに崩土の最下層部(旧地盤直上位層)として存在するため En-a が崩壊に大きく関わったと推察できる。そこで本研究では、高含水 En-a の地震応答を明らかにし、テフラ堆積地における地震誘因の緩勾配斜面崩壊について考察した。

2. 研究方法

厚真町東和地区での斜面(斜面勾配 10°、平滑型)において、トレンチ調査とすべり面での堆積層調査、崩壊斜面頭部から採取した試料の土質試験(湿潤・乾燥密度、粒度分布、自然含水比、液性・塑性限界、三軸圧縮試験(UU))を実施した。トレンチ調査では、崩壊斜面の堆積区域にある崩土の最上流部をトレンチ掘削した結果⁽³⁾を再整理し、崩土の内部構造、特に旧地盤の直上位層である En-a の存在を把握した。次に堆積層調査では、表面が Ta-d 軽石層(赤褐色)で被覆された箇所の En-a 層の存在確認と層厚測定を実施した。崩壊斜面頭部での土質試験では、現地調査の結果から本崩壊のキー層とした En-a 層に着目した。最後に崩壊斜面にて En-a を不攪乱ブロックサンプリング(200 mm×600 mm)し、実験室内で浸水させて飽和状態にした後に、図-1 に示す装置で振動実験を実施した。

振動実験に際し、まず本研究では「水で飽和した En-a と基岩(泥岩)の境界付近が地震動による繰返しせん断を受けて間隙水圧が上昇し、有効応力が低下することで滑动型表層崩壊(崩土が 1 つの土塊として滑落)に至った」可能性を検討した。実験では地震加速度に伴う En-a 試料底面の間隙水圧変化を測定し、以下に示す震度法を用いた簡易斜面安定解析を行った。

$$F_s = \frac{c + (\sigma_0 - u - k_h \sigma_0 \tan \beta) \cos^2 \beta \tan \phi}{(\sin \beta + k_h \cos \beta) \sigma_0 \cos \beta}$$

ただし、Fs:安全率 c:粘着力(kN/m²) σ₀:鉛直応力(kN/m²) u:間隙水圧(kN/m²) k_h=α/g:震度係数 β:斜面勾配(°) φ:内部摩擦角(°)とした。β=10°、g=980gal、u と α は図-3 に示した振動実験の結果、σ₀ は表-3 の値と En-a 試料の表面積(2.0 × 10⁻²m²)を用いた。c と φ は業者による三軸圧縮試験(UU)の結

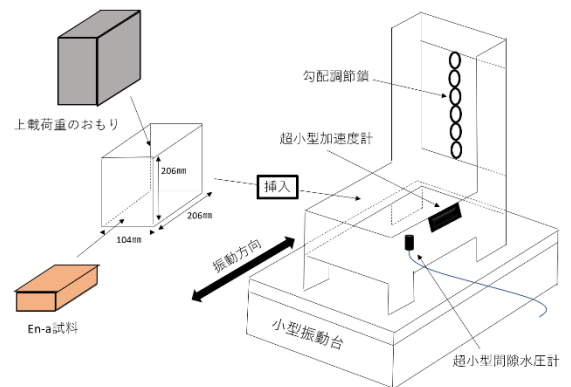


図-1 実験装置模式図



図-2 トレンチ掘削での崩土-旧地盤境界

表-1 En-a 物性値

飽和度 (%)	96.2
自然含水比 (%)	92.7
液性限界 (%)	72.7
塑性限界 (%)	41.7
粘着力 c (kN/m ²)	15.9
内部摩擦角 φ (kN/m ²)	4.37

表-2 En-a の粒度分布

粒径階 (mm)	質量百分率 (%)
中礫分 (75-19)	0.5
細礫分 (19-4.75)	0.3
粗砂分 (4.75-2)	4.2
中砂分 (2-0.85)	23.2
細砂分 (0.25-0.075)	23.3
シルト分 (0.075-0.005)	39.7
粘土分 (0.005-)	8.8

表-3 土層の密度と層厚

土層の種類	ρ _s (g/m ³)	z _i (m)	Σ ρ _s z _i (g/m ²)
Ta-a/b	1.102 × 10 ⁶	0.15	165.3
Ta-c	9.63 × 10 ⁶	0.20	192.6
Ta-d(火山灰)	8.83 × 10 ⁶	0.15	176.6
Ta-d(軽石)	8.41 × 10 ⁶	0.50	420.5
合計	-	1.05	950.5

果である。なお振動実験で使用した地震波形は防災科学研究所の K-NET⁽⁴⁾から追分観測所での観測データをダウンロードし、振動台のストロークを超過せず、かつ観測された最大水平加速度を下回らないように振幅倍率を調整した。

3. 結果・考察

トレンチ調査では堆積区域の崩土を最上流側で掘削して内部の層構造を確認したところ、旧地盤の直上位層は En-a であった(図-2)。また Ta-d などの En-a 上位層は殆ど攪乱されておらず、崩土上の樹木は倒れていなかった。堆積層調査では斜面全体を通して En-a の存在が確認できた。また、表-1~3 に示す土質試験結果から、En-a は砂分 50.7% に対して細粒分 48.5%(%)と殆ど差がないこと、自然含水比 $\omega_n=92.7\%$ が液性限界 $\omega_L=72.7\%$ を上回ることから、En-a は変形および流動しやすい流動粘土とみなすことができる。以上の現地・土質試験結果から、調査対象地での斜面崩壊の地震時せん断面は Ta-d と En-a 境界、En-a 内部、En-a と基岩(泥岩)境界の 3 通りが考えられ断定には至らないが、En-a が関与していると言える。

今回の地震で最大水平加速度を観測した追分観測所の地震波形を用いて振動実験を実施したところ、間隙水圧は最大地震加速度近傍で急上昇し、約 3 秒遅れて最大となった。最大地震加速度 $\alpha_{max}=1136(\text{gal})$ のとき、間隙水圧 $u=0.196(\text{kN/m}^2)$ 、最小安全率 $F_{smin}=1.059$ を示した。今回の実験条件で安全率 F_s が 1 を下回ることにはなかった。

今回の実験条件で F_s が 1 を下回らない要因は幾つか考えられるが、その 1 つに斜面安定解析が対象外とする現象が発生した可能性があり、水の影響は間隙水圧 u と異なる形で現れるのではないかと考えた。まず 1 つ目に地震動による繰返しせん断を受けて En-a が軟化し、強度低下が起きることで En-a 内部がせん断された可能性がある⁽⁵⁾。2 つ目に En-a と基岩(泥岩)の境界に水膜が形成され、静止摩擦係数 μ が低下することですべり性崩壊が発生した可能性がある⁽⁶⁾。もちろん、Ta-d と En-a の境界付近をせん断面として崩壊した可能性もまだ否定されていない。今後は堆積崩土全域での流れ方向に対するトレンチ掘削などを通したせん断面の特定や、加振による強度定数の変化を考慮した実験条件の検討など、テフラ堆積地における地震誘因の緩勾配斜面崩壊に関する検討を深める。

4. 参考文献

- (1) 小山内ほか (2019): 平成 30 年北海道胆振東部地震による土砂災害, 砂防学会誌: Vol.71, No.5, 54-65
- (2) 古市ほか (2019): 東和川流域における表層崩壊と土砂流出。「地震による地すべり災害」刊行委員会 編著: 地震による地すべり災害-2018 年北海道胆振東部地震-. 北海道大学出版, 136-141
- (3) 間片・山田 (2020): 地震に起因した火山灰堆積斜面崩壊による崩土の長距離移動実態の解明~2018 年 9 月北海道胆振東部地震による厚真町の事例~, 令和 2 年度(公社)砂防学会北海道支部研究発表会
- (4) National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (2018), NIED K-NET, doi:10.17598/NIED.0004
- (5) 安原ほか (2020): 火山灰質粘性土の地震時繰返し軟化に基づく住宅基礎地盤の変状の考察, 地盤工学ジャーナル: Vol.15, No.2, 225-239
- (6) 國生 (2000): 砂層の成層構造による液状化時の水膜形成と地盤安定性への影響, 応用地質: 第 41 巻, 第 2 号, 77-86

図-3 地震加速度に伴う間隙水圧と安全率の変化

