

## 令和元年(2019年)東日本台風による斜面崩壊地の岩石・土層物性： 特に宮城県丸森町周辺のいくつかの事例について

若月 強\*・吉原 直志\*・遠藤 悠一\*・大森 想\*・島田 真紀子\*

### Rock and Soil Properties for Slope Failures Caused by Typhoon Hagibis on October 2019: Especially Some Cases around Marumori Town, Miyagi Prefecture

Tsuyoshi WAKATSUKI, Naoyuki YOSHIHARA, Yuichi ENDO, Kokoro OHMORI, and Makiko SHIMADA

\*Storm, Flood and Landslide Research Division,  
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan  
waka@bosai.go.jp

#### Abstract

We investigated rock and soil properties for the slope failures induced by Typhoon Hagibis on October 2019 near Marumori Town, Miyagi Prefecture, and the Omoe Peninsula and Fudai Village in Sanriku coastal area, Iwate Prefecture. The soil layer was physically and chemically weathered toward the ground surface mainly due to *in-situ* weathering in the granodiorite slope where shallow slope failure occurred frequently. The slip plane consisted of weakly weathered, highly permeable, coarse-grained soil and contained halloysite (10 Å). Cohesive soil layer was formed in the tuff slope where some slope failures occurred along the gentle slip plane (5° to 10°). Soil in the slip plane was low permeability, and smectite and halloysite are contained. Some shallow slope failures occurred on the sedimentary rock slopes, and harder gravelly rock and low-permeable cohesive soil containing a large amount of smectite derived from muddy rock were exposed on the slip plane. The mineral compositions of granodiorite were similar each in the Omoe Peninsula, Fudai Village and Marumori Town. Compared to granodiorite, the welded tuff in the Omoe Peninsula was fine-grained rock lacking biotite which is easily weathered.

**Key words:** Slope failure, Granodiorite, Tuff, Sedimentary rock, Soil, Smectite, Halloysite

#### 1. はじめに

令和元年(2019年)東日本台風により、東北地方では、宮城県丸森町とその周辺や岩手県三陸海岸沿い地域などにおいて、多数の斜面変動(主に斜面崩壊・土石流)が発生した(例えば、若月ほか, 2020a, b)。一般に東北地方は関東以西に比べて土砂災害の頻度が低いため、斜面崩壊に関するデータが比較的少ない。崩壊規模・頻度の予測研究の進展には、地質と土質の関係に関する地域差を明らかにすることが不可欠である。このような観点から本報では、令和元年東日本台風によって、宮城県丸森町とその周辺の

斜面崩壊地において、岩石の鉱物組成と土層の諸物性を調査した結果を報告する。また、岩手県三陸海岸沿いの斜面崩壊地付近の岩石の鉱物組成についても報告する。

#### 2. 調査斜面

##### 2.1 宮城県丸森町とその周辺

調査地域は、宮城県丸森町と隣接する福島県伊達市等である(図1左)。同地域には、相馬市と伊達市の境界に位置する標高825mの霊山のほか、主に標高200~600m程度の丘陵地が広く分布している。

\* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門

図中には、国土地理院が災害直後に撮影した空中写真の正射画像を元に、斜面変動や流水によって土砂

が移動した範囲を判読し作成した土砂移動分布図を示した。

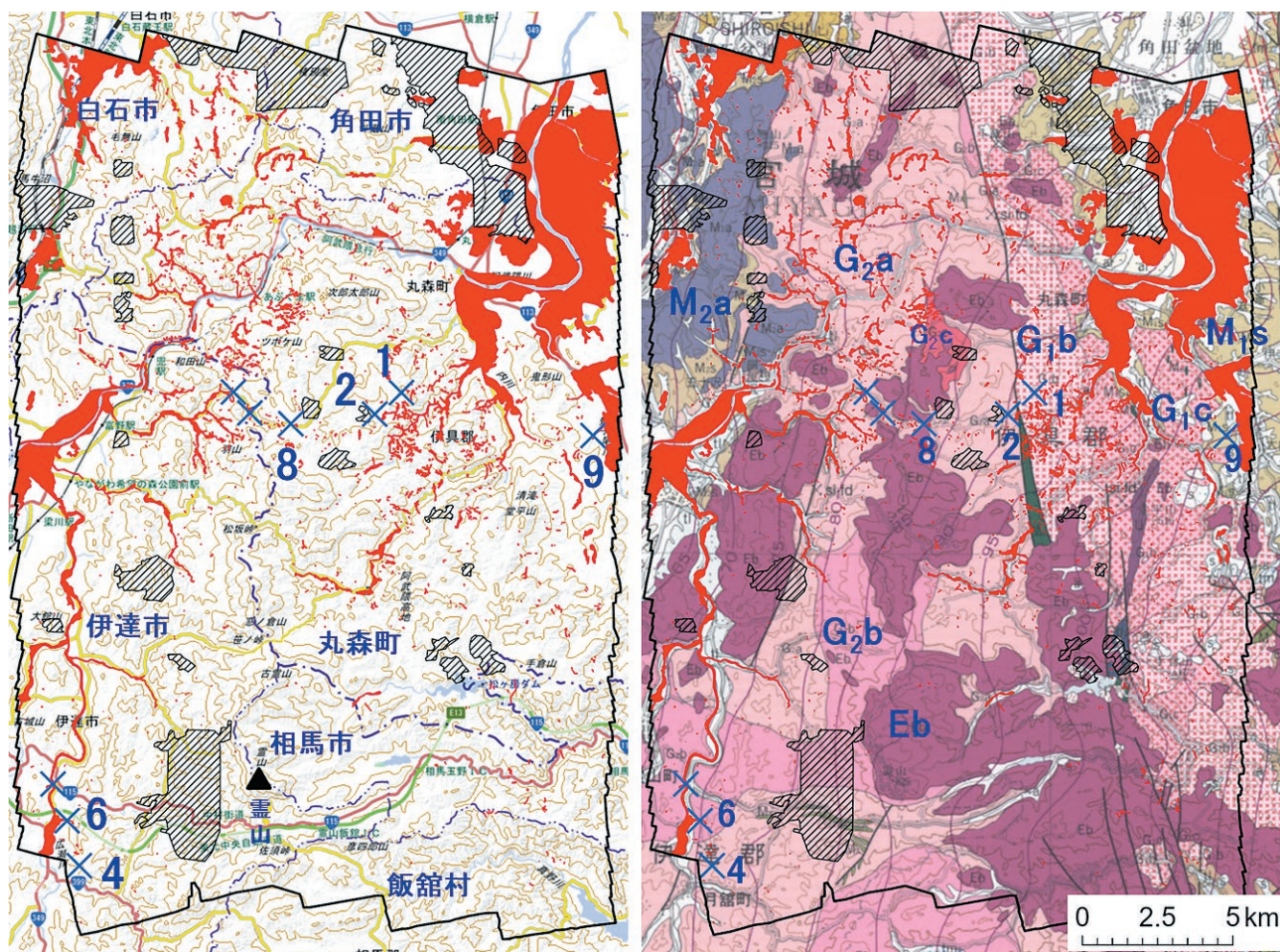


図1 宮城県丸森町とその周辺の地形(左)と地質(右)(若月ほか(2020b)の図1, 2を改変)。青数字:調査地点, 赤色:斜面変動や流水による土砂移動範囲, 黒枠線:判読範囲, 黒網線:判読不能範囲。地形図は国土地理院の標準地図(等高線間隔は100 m)。地質図は産業技術総合研究所の20万分の1地質図幅「福島」(久保ほか, 2003)。

- ・中期中新世椏木層・大内層および迫層 M<sub>1s</sub>: 礫岩・砂岩・泥岩および流紋岩凝灰岩
- ・中期中新世梁川層・堀口層・土湯峠層・飯坂層・二の沢層・網木川層(主部)・小野川層およびその相当層 M<sub>2a</sub>: 安山岩火砕岩および溶岩
- ・前期中新世霊山層・大久保層・網木川層最下部およびその相当層 Eb: 玄武岩—安山岩火砕岩および溶岩
- ・白亜紀前期阿武隈花崗岩類 G<sub>2c</sub>: 白雲母黒雲母花崗岩, G<sub>2b</sub>: 黒雲母花崗岩(淡紅色黒雲母花崗岩・灰色黒雲母花崗岩)・角閃石含有黒雲母花崗閃緑岩, G<sub>2a</sub>: 角閃石黒雲母花崗閃緑岩・片状角閃石黒雲母トータル岩
- ・白亜紀前期北上花崗岩類 G<sub>1c</sub>: 黒雲母花崗岩・角閃石含有黒雲母花崗閃緑岩, G<sub>1b</sub>: 角閃石黒雲母花崗閃緑岩・片状角閃石黒雲母花崗閃緑岩)

Fig. 1 Landform and traces of sediment movements around Marumori Town in Miyagi Prefecture. Blue numbers show survey points. Red shading areas are sediment movement regions over the survey area surrounded by black line while hatched areas are unreadable regions. Landform is obtained from standard map of GSI. Contour interval is 100 m. Geology is obtained from the GSJ geological map of Japan 1:200,000 “Fukushima” (Kubo *et al.*, 2003).

M<sub>1s</sub>: Miocene conglomerate, sandstone, mudstone and rhyolite tuff, M<sub>2a</sub>: Miocene andesite volcanoclastic rocks and lava, Eb: Miocene basalt to andesite volcanoclastic rocks and lava,

G<sub>2c</sub>: Cretaceous muscovite-biotite granite, G<sub>2b</sub>: Cretaceous biotite granite and hornblende-bearing biotite granite, G<sub>2a</sub>: Cretaceous Hornblende-bearing biotite granodiorite and foliated hornblende-biotite tonalite.

G<sub>1c</sub>: Cretaceous biotite granite and hornblende-bearing biotite granodiorite, G<sub>1b</sub>: Cretaceous hornblende-biotite granodiorite and foliated hornblende-biotite granodiorite.

表1 各調査地点における調査項目  
Table 1 Measurement items.

	地質	崩壊形状	土層構造	土層の物理的・ 力学的性質	土層・岩石 の鉱物組成	
丸森周辺	地点1	花崗閃緑岩(G <sub>1b</sub> )	○	○	○	
	地点2	花崗閃緑岩(G <sub>2a</sub> )	○	○	○	
	地点4	花崗閃緑岩(G <sub>2a</sub> )	○	-	○	土層のみ
	地点6	花崗岩(G <sub>2b</sub> )	-	-	-	岩石のみ
	地点8	安山岩－玄武岩質凝灰岩(Eb)	○	-	○	○
重茂半島	地点9	泥質岩(M <sub>1s</sub> )	○	-	○	○
	地点45	デイサイト溶結凝灰岩(Hd)	-	-	-	岩石のみ
	地点52	花崗閃緑岩(g <sub>1</sub> )	-	-	-	岩石のみ
普代村	地点20	花崗閃緑岩(g <sub>2</sub> )	-	-	-	岩石のみ

20万分の1地質図幅「福島」(久保ほか, 2003)によると, 調査地域の範囲の主な地質は, 中生代白亜紀前期の花崗岩類(北上花崗岩類および阿武隈花崗岩類)と中新世の火山岩類と堆積岩類である(図1右). 花崗岩類は, 花崗閃緑岩(G<sub>1b</sub>, G<sub>1c</sub>, G<sub>2a</sub>)と花崗岩(G<sub>2b</sub>, G<sub>2c</sub>)によって構成される. また, 火山岩類は玄武岩－安山岩質(Eb)と安山岩質(M<sub>2a</sub>)の火砕岩・溶岩に, 堆積岩類は礫岩・砂岩・泥岩および凝灰岩(M<sub>1s</sub>)によりそれぞれ構成される. ここで, 本地域のEbは, 霊山層(玄武岩溶岩流・降下堆積物とラハール堆積物・河川堆積物・湖成堆積物からなる陸成層; 柳沢ほか, 1996)に相当し, 花崗岩類やM<sub>1s</sub>を覆って高標高部を形成している. M<sub>1s</sub>は湖沼成堆積物や河川堆積物を主な起源とし(久保ほか, 2003), 強く削剥を受けたと考えられ, 標高200m以下と低標高の丘陵が多い. 後述する調査斜面(地点9)は, M<sub>1s</sub>のうち金山層の下部層(岩相は, 礫岩・シルト岩・細～粗粒砂岩・亜炭および凝灰岩)を基盤岩とする(藤田ほか, 1988).

調査地域では, 2019年10月12日に, 最大1時間雨量が約30～75mm, 最大6時間雨量が約160～370mm, 最大24時間雨量が約270～590mmの豪雨によって, 特に, 花崗閃緑岩の分布域において斜面変動が多発した(図1右, および若月ほか(2020b)). 火山岩類や堆積岩類の分布域でも斜面変動が発生しているが, その頻度や規模は概して小さかった. また, 花崗岩の分布域は, 雨量が少なく斜面変動の頻度や規模も小さかった.

本報では, 図1左に示す6地点(1, 2, 4, 6, 8, 9)の

斜面崩壊発生地で岩石・土層試料の採取などを実施した. それぞれの地質と調査項目を表1に示す. なお, これらの地点番号は, 各地の斜面変動の写真をまとめた若月ほか(2020a)の地点番号に対応している.

## 2.2 三陸海岸沿い

三陸海岸沿いの調査地域は, 重茂半島と普代村である. 20万分の1地質図「盛岡」(吉田ほか, 1984)によると, 重茂半島の主な地質は, 花崗閃緑岩(g<sub>1</sub>, 岩相は角閃石黒雲母花崗閃緑岩・花崗岩および花崗斑岩)と溶結凝灰岩(Hd, 岩相はデイサイト溶結凝灰岩および凝灰角礫岩)である. 同様に普代村の主な地質は, 花崗閃緑岩(g<sub>2</sub>, 岩相は角閃石黒雲母花崗閃緑岩およびトータル岩)である.

両地域では2019年10月12～13日の豪雨により多くの斜面変動が発生した. 雨量は, 重茂半島と普代村でそれぞれ, 最大1時間雨量が約75～100mmと約40～85mm, 最大6時間雨量が約230～350mmと約135～280mm, 最大24時間雨量が約300～435mmと約225～370mmを記録した(若月ほか, 2020b). 両地域においても, 斜面変動は花崗閃緑岩の分布域において多発したが, 火山岩類の分布域では少なかった(若月ほか, 2020b).

本報では, 重茂半島南部の2地点(地点45(N39.4830°, E142.0036°)と地点52(N39.5104°, E142.0246°)), 普代村の1地点(地点20(N39.9911°, E141.8778°))の斜面崩壊地付近で, 岩石試料を採取し鉱物組成を測定した(表1). なお, これらの地点番号は, 若月ほか(2020a)の地点番号に対応している.

### 3. 調査方法

各崩壊地において、崩壊形状・土層構造・土層の物理的・力学的性質・土層と岩石の鉱物組成をそれぞれ計測した。

#### 崩壊形状の計測方法

崩壊形状に関しては、レーザー距離計 (MDL 製, LaserAce300) を用いて、崩壊地の斜面勾配・崩壊厚・崩壊幅を求めた。ここで崩壊厚は、斜面法線方向の平均的な厚さである。

#### 土層構造の計測方法

斜面土層構造は、斜面調査用簡易貫入試験機 (筑波丸東製, 先端コーン径 2.5 cm) を用いて計測した。得られた結果は、先端コーンが 10 cm 貫入するのに要する打撃回数である  $N_c$  値で表した。そして、 $N_c < 5$  の軟弱土層を U 層,  $5 \leq N_c < 10$  のやや締まった土層を M 層,  $10 \leq N_c < 30$  のかなり締まった土層を L 層と設定した。

#### 土層の物理的・力学的性質の測定方法

土層の物性に関しては、滑落崖などにトレンチを掘り、その場で土壌硬度を測定するとともに、 $100 \text{ cm}^3$  の採土缶とサンプル袋に試料を採取して、実験室で物理的性質 (土粒子の密度・単位体積重量・間隙率・間隙比・含水比・飽和度・強熱減量・飽和透水係数・粒度組成) を測定した。土壌硬度は、山中式土壌硬度計 (大起理化工業 (株)) を用いて測定した。この硬度計のバネの縮み  $X(\text{mm})$  を、 $P = 100 X / (0.7952 (40 - X)^2)$  の式により換算した支持強度  $P (\text{kgf/cm}^2)$  で表した。採土缶については、採取時の重量、飽和透水係数 ( $K$ , JIS A 1218 の変水位透水試験法による)、 $110 \text{ }^\circ\text{C}$  で 48 時間炉乾燥後の重量を順に計測した。これらの重量から採土缶の重量を引いて、自然単位体積重量 ( $\gamma_{nat}$ ,  $\text{gf/cm}^3$ ) と乾燥単位体積重量 ( $\gamma_d$ ,  $\text{gf/cm}^3$ ) を算出し、含水比 ( $w$ , %) を求めた。また、サンプル袋の試料を用い、粒度組成 (JIS A 1204, シルト以下の細粒分は沈降法・砂以上の粗粒分は篩分け法による)、土粒子の密度 ( $G_s$ ,  $\text{g/cm}^3$ , JIS A 1202)、 $800 \text{ }^\circ\text{C}$  加熱による強熱減量 ( $L_r$ , %, JIS A 1226) を計測した。なお、採土缶で採取していない地点の含水比は、サンプル袋の試料を用いて測定した。ここで、強熱減量は粘土鉱物中の化合水・結合水や有機物などの含有量を反映した指標である。飽和単位体積重量 ( $\gamma_{sat}$ ,  $\text{gf/cm}^3$ )、間隙率 ( $n$ , %), 間隙比 ( $e$ ), 飽和度 ( $S_r$ , %) は、土粒子密度と乾燥単

位体積重から計算により求めた。

#### 土層と岩石の鉱物組成の測定方法

鉱物組成の分析は、土や岩石の強度低下に大きく寄与するスメクタイトなどの膨潤性粘土鉱物の存在確認と風化状況の把握のために実施した。分析は、株式会社リガク製の MiniFlex600 (検出器は D/teX Ultra2) を用いた X 線粉末回折法 (XRD) により、岩石はメノウ乳鉢により細粉碎したバルク試料に対して、土層はバルク試料と水簸法により  $2 \mu\text{m}$  以下に抽出した粘土試料 (非処理, エチレングリコール (EG) 処理, および  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $550 \text{ }^\circ\text{C}$  加熱処理) に対して、それぞれ実施した。ここで、粘土試料は定方位法で分析し粘土鉱物の同定に、バルク試料は不定方位法で分析し主に粘土鉱物以外の鉱物 (非粘土鉱物と呼ぶ) の同定にそれぞれ供した。

バルク試料の XRD チャートからの各鉱物の判定は Chen (1977) に従い、また粘土鉱物の判定は以下のように行った。すなわち、パーミキュライトは非処理 (AD) における  $14 \sim 15 \text{ \AA}$  の底面反射が EG 処理で変化せず、さらに  $150 \text{ }^\circ\text{C} \cdot 350 \text{ }^\circ\text{C}$  で層間水の脱水によりこの反射が徐々に高角側に移動し、 $550 \text{ }^\circ\text{C}$  で約  $10 \text{ \AA}$  ( $8.8^\circ$ ) の反射として現れることにより同定した。 $14 \text{ \AA}$  中間体は、非処理と EG 処理による特徴はパーミキュライトと同じであるが、加熱処理による高角度側への移動が鈍く  $550 \text{ }^\circ\text{C}$  で  $11.7 \text{ \AA}$  ( $7.6^\circ$ ) 付近に広い底面反射を示すことから同定した。また、加熱処理による高角度側への移動が、パーミキュライトと  $14 \text{ \AA}$  中間体の中間的なものは両者を併記した ( $V_{rm}/14\text{\AA}$ )。スメクタイトは、非処理における  $14 \sim 15 \text{ \AA}$  ( $2\theta = 5.8 \sim 6.3^\circ$ ) の底面反射が EG 処理で膨潤して  $17 \sim 18 \text{ \AA}$  ( $4.9 \sim 5.2^\circ$ ) に移動することから同定した。加熱処理による挙動はパーミキュライトに近い。緑泥石は、非処理試料において  $14.2 \sim 14.4 \text{ \AA}$  ( $6.1 \sim 6.2^\circ$ ) と  $7.1 \sim 7.2 \text{ \AA}$  ( $12.2 \sim 12.5^\circ$ ) と  $3.53 \sim 3.58 \text{ \AA}$  ( $24.8 \sim 25.2^\circ$ ) に底面反射があり、EG 処理で変化せず、 $550 \text{ }^\circ\text{C}$  でも  $14.2 \sim 14.4 \text{ \AA}$  と  $7.1 \sim 7.2 \text{ \AA}$  の底面反射が消失しないことから同定した。雲母粘土鉱物は、非処理における約  $10 \text{ \AA}$  の底面反射が EG で変化せず、 $350 \text{ }^\circ\text{C} \cdot 550 \text{ }^\circ\text{C}$  で徐々に反射が大きくなることから同定した。ハロイサイト ( $10 \text{ \AA}$ ) は、非処理における約  $10 \text{ \AA}$  の底面反射が EG 処理で膨潤して  $10.5 \sim 11.1 \text{ \AA}$  ( $8.0 \sim 8.4^\circ$ ) に移動すること、 $150 \text{ }^\circ\text{C} \cdot 350 \text{ }^\circ\text{C}$  で層間水の脱水により  $10 \text{ \AA}$  の反射

が徐々に小さくなり約7 Åの反射が大きくなること、550 °CでOH脱水によりこの7 Åの反射が消失することから同定した。カオリン鉱物は、非処理における約7 Å (12.6°)の底面反射がEG処理と150 °C・350 °Cで変化せず、550 °CでOH脱水によりこの7 Åの反射が消えることから同定した。ギブサイトは、非処理における4.8 Å (18.3°)の底面反射の存在により同定した。なお、これらの粘土鉱物の一部は混合層鉱物を形成している可能性があるが、本報ではこの同定は実施しなかった。

#### 4. 調査結果と考察

##### 4.1 宮城県丸森町とその周辺の各斜面

##### (1) 花崗閃緑岩斜面(地点1, 2, 4)と花崗岩斜面(地点6)崩壊形状・土層構造および試料採取

崩壊形状と土層構造の調査は、花崗閃緑岩斜面(地点1, 2, 4)でのみ実施した(図2, 3, 4)。地点1の崩壊地は2つに分かれておりいずれもやや谷型の斜

面に、地点2と4の崩壊地は平滑斜面にそれぞれ形成されていた。崩壊形状をまとめた表2によると、これら3地点の崩壊地は、勾配が約35～45°、崩壊幅約10～17 m、崩壊長約22～39 m、崩壊厚約1.5 m以下の表層崩壊であった。調査地域には、このような表層崩壊が多数存在していた。

地点1と2の簡易貫入試験結果を示した図5によると、崩壊地脇の土層は比較的厚くて、急勾配斜面にも関わらず全土層(U+M+L層)の厚さは2.5～4.5 mに及ぶ。また、崩壊地脇の土層のU層は0.8～1.7 mの厚さが存在するが、崩壊地内の土層のU層は、0.2～0.3 mしか存在していなかった。このU層は、すべり残りの運積土や崩壊直後の表層の緩み物質と考えられる。したがって、すべり面(崩壊面)はU層の下端ないしはM層中にすべり面が形成され、それより浅部の主にU層が崩壊によって除去されたと考えられる。

試料採取は、花崗閃緑岩斜面では岩石と土層(地

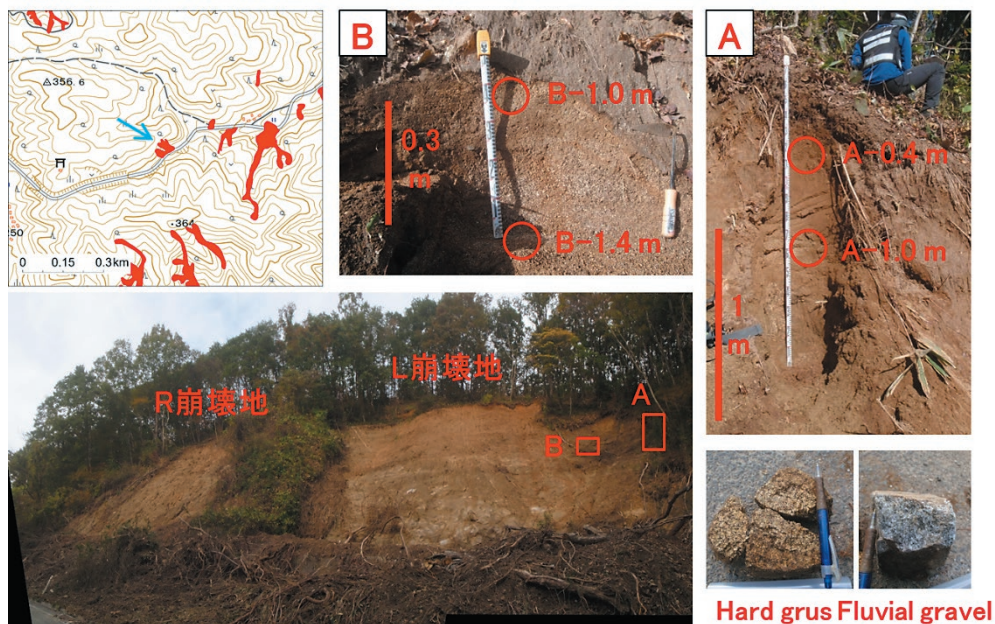


図2 地点1(G<sub>1</sub>b, 花崗閃緑岩)の斜面崩壊の様子。(左上)斜面位置。赤色は土砂移動範囲であり、青矢印で示す崩壊を調査した。背景は国土地理院の標準地図(等高線間隔10 m)。(左下)2つの表層崩壊の全景。(中央上, B)すべり面の土層,(右, A)滑落崖の土層。(右下)オニマサ試料と基盤岩と思われる河床礫試料。すべり面の土層は原位置風化土、滑落崖の土層は下部が原位置風化土で上部が運積土と考えられる。土層試料は赤丸で採取した。

Fig. 2 Slope failure at point 1 (G<sub>1</sub>b, granodiorite). (Upper left panel) surveyed slope indicated by the blue arrow. Red shading areas are sediment movement regions. Base-map is obtained from standard map of GSI. Contour interval is 10 m. (Lower left panel) panoramic view of L and R failure scars. (Upper center panel, B) cross section of slip plane. (Right panel, A) cross section of side scarp. (Lower right panel) sampled hard grus and a fluvial granodiorite gravel. It is estimated that the soil of the slip plane is *in-situ* weathered soil, the soil in the side scarp is *in-situ* weathered soil at the lower part, and the upper part is transported soil. Soil samples were collected at red circles.

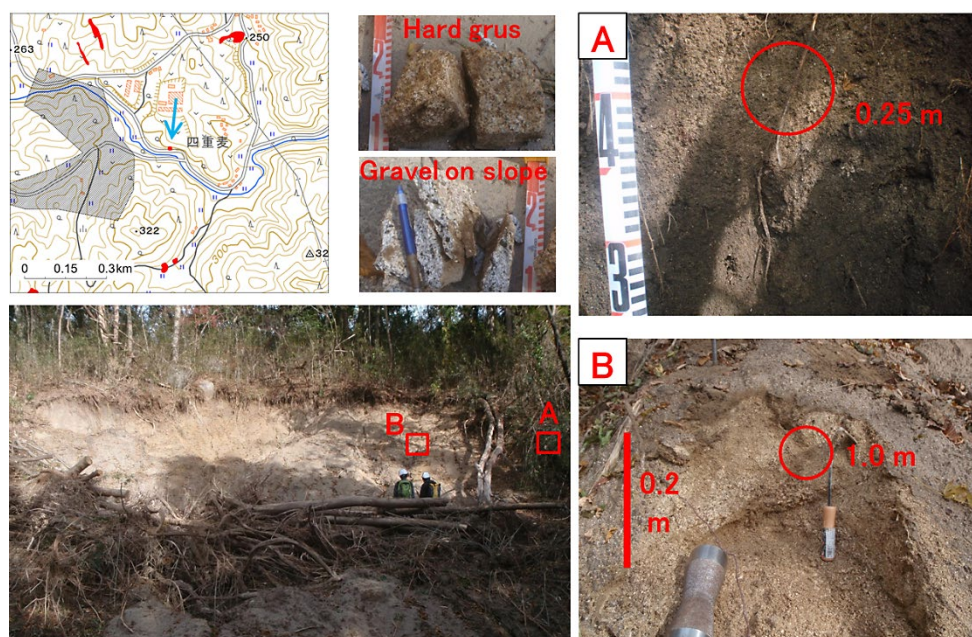


図 3 地点 2 (G<sub>2</sub>a, 花崗閃緑岩) の斜面崩壊の様子. (左上) 斜面位置. 赤色は土砂移動範囲であり, 矢印で示す崩壊を調査した. 黒網線は判読不能範囲である. 背景は国土地理院の標準地図 (等高線間隔 10 m). (左下) 表層崩壊の全景と試験地点. (中央上) オニマサ試料と基盤岩と思われる転石試料. (右上, A) 表層土層. (右下, B) すべり面の土層. すべり面の土層は原位置風化土, 表層土層は運積土と考えられる. 土層試料は赤丸で採取した.

Fig. 3 Slope failure at point 2 (G<sub>2</sub>a, granodiorite). (Upper left panel) surveyed slope indicated by the blue arrow. Red shading areas are sediment movement regions while hatched areas are unreadable regions. Base-map is obtained from standard map of GSI. Contour interval is 10 m. (Lower left panel) panoramic view of the failure scar. (Upper center panel) sampled hard grus and a granodiorite gravel on slope. (Upper right panel, A) cross section of surface soil. (Lower right panel, B) cross section of slip plane. It is estimated that the soil of the slip plane is *in-situ* weathered soil and the surface soil is transported soil. Soil samples were collected at red circles.



図 4 地点 4 (G<sub>2</sub>a, 花崗閃緑岩) の斜面崩壊の様子. (左上) 斜面位置. 赤色は土砂移動範囲であり, 矢印で示す崩壊を調査した. 背景は国土地理院の標準地図 (等高線間隔 10 m). (左下) 崩壊地の上部. ガードレールを残して薄く崩れていた. (中央上) 崩壊地上側から見た崩壊地の様子. 崩土が下方の林道まで流入した. (中央右) 崩壊地の上部にある切り取り露頭の様子. (中央下) この露頭の深度 2.8 m の様子. 試料は赤丸で採取した. 採取した土層はいずれも原位置風化土である. (右) 基盤岩と思われる河床礫試料.

Fig. 4 Slope failure at point 4 (G<sub>2</sub>a, granodiorite). (Upper left panel) surveyed slope indicated by the blue arrow. Red shading areas are sediment movement regions. Base-map is obtained from standard map of GSI. Contour interval is 10 m. (Lower left panel) view above the failure scar that was slipped thinly, leaving the guardrail. (Upper center panel) panorama view of the failure scar from the scar head. Sediment flowed into the forest road below. (Center right panel) view of a road-cut outcrop above the failure scar. (Bottom center panel) A view at the depth of 2.8 m on the outcrop. (Right panel) sampled fluvial granodiorite gravels. Soil samples were collected at red circles. These are *in-situ* weathered soil.

表2 斜面崩壊形状. L, Rは図2のそれらに対応している.

Table 2 Slope form of failure scars. L and R correspond to those in Fig. 2.

		地質	崩壊勾配	崩壊幅	崩壊長	崩壊厚	
丸森周辺	地点1	G <sub>1</sub> b	L	約39°	約17m	約39m	1~1.5m
			R	約35°	約14m	約31m	~1m
	地点2	G <sub>2</sub> a	約35°	約12m	約22m	0.7~1m	
	地点4	G <sub>2</sub> a	約45°	約10m	約25m	~1m	
	地点8	Eb	5~10°	8m	20~25m	2~2.5m	
	地点9	M <sub>1</sub> s	約45°	約5m	約10m	0.7m	

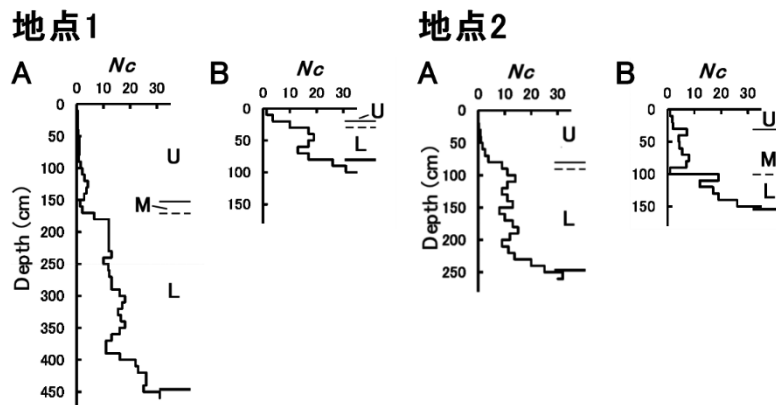


図5 花崗閃緑岩斜面(地点1と地点2)の簡易貫入試験結果. A, Bは, 図2と図3のそれらに対応している. すなわち, Aは崩壊地脇, Bは崩壊地内の試験結果である.

Fig. 5 Results of simplified dynamic cone penetration test on the granodiorite slopes (points 1 and 2). A and B correspond to those in Figs. 2 and 3. A is the result beside the failure scar and B is the result in the failure scar.

点1, 2, 4; 計13試料), 花崗岩斜面では岩石のみ(地点6; 計2試料)に対して実施した. 土層試料において, 各採取ポイントの数値は地表面からの採取深度である. 各試料は, 表層土(surface soil; U層), すべり面(slip plane, potential slip plane; 主にM層), 下部土層(grus; L層), オニマサ(hard grus), 岩石(fluvial gravel, gravel on slope)に分けることができる(表3, 表4).

#### 土層の物理的・力学的性質

花崗閃緑岩斜面(地点1, 2, 4)の土層の物理的・力学的性質を表3に, 粒度組成を図6にそれぞれ示す. 各地点の土層は, 表層に近づくほど, 単位体積重量(乾燥・自然・飽和)・土壤硬度・簡易貫入試験値が小さくなり, 間隙率・間隙比・含水比・強熱減量が大きくなる傾向があった. 飽和透水係数は, 深度に関係なく $10^{-2} \sim 10^{-3}$  cm/sec オーダー(58~886 mm/hr)であり, 透水性が高い. 粒度組成に関しては, いずれの深度においても粘土・シルト画分(粒径0.0625 mm(4φ)以下)が約30%以下であり,

同じ地点内では表層に近づくほど粘土・シルト画分が増加した(図6). また, M層とL層には, 母岩の組織が見られる場合が多かった(図2, 3, 4). これらの特徴は, 土層が主に原位置風化土であり, かつ表層に向かって物理的・化学的風化が進行していることを示している. なお, U層は, 母岩の組織がほとんど存在していないことから, M層よりも風化がさらに進み母岩組織が崩れた原位置風化土ないしは上部斜面からの花崗閃緑岩起源の運積土と考えられる. すべり面(地点1のB-1.0 m, 地点2の1.0 m, 地点4の0.8 m)に着目すると, 粘土・シルト画分は10~17%, 乾燥単位体積重量は $1.35 \sim 1.45$  gf/cm<sup>3</sup>, 飽和透水係数は $1.8 \times 10^{-3} \sim 1.4 \times 10^{-2}$  cm/sec(64~510 mm/hr), 強熱減量は2~3%であり, 風化程度の小さな高透水性の粗粒土であることを示している.

#### 土層と岩石の鉱物組成

岩石に関して, 採取した花崗閃緑岩(地点1のfluvial gravel, 地点2のgravel on slope)は中~粗粒の岩石であり, 花崗岩(地点6のfluvial gravel 1, 2)

表3 土層の物理的・力学的性質

Table 3 Physical and mechanical properties in the soil layer.

	土粒子の密度		単位体積重量		間隙率		間隙比		含水比		飽和度		強熱減量		飽和透水係数		土壌硬度		簡易貫入試験値
	$G_s$	$\gamma_d$	乾燥	自然	$n$	$e$	$w$	$S_r$	$L_i$	$K_{15}$	$P$	平均		$N_c$					
			$\gamma_{nat}$	$\gamma_{sat}$								標準偏差							
$g/cm^3$	$gf/cm^3$	$gf/cm^3$	$gf/cm^3$	%	%	%	%	%	cm/sec	mm/hr	$kgf/cm^2$	$kgf/cm^2$							
Marumori																			
地点1_ G <sub>1</sub> b_花崗閃緑岩																			
A-0.4 m (surface soil), layer U	2.70	0.77	0.99	1.49	71.3	2.49	27.6	30.4	6.3	$1.61 \times 10^{-3}$	58	0.5	0.2	1					
A-1.0 m (surface soil), layer U	2.72	1.07	1.31	1.68	60.6	1.54	20.2	38.6	4.4	$3.10 \times 10^{-3}$	112	1.6	0.3	2					
B-1.0 m (slip plane, <i>in situ</i> ), layer M	2.72	1.35	1.54	1.85	50.4	1.02	12.8	38.5	2.8	$1.79 \times 10^{-3}$	64	2.9	0.4	3~10					
B-1.4 m (grus, <i>in situ</i> ), layer L	2.73	1.53	1.72	1.97	43.8	0.78	11.6	43.5	2.2	$2.21 \times 10^{-3}$	80	21.0	5.6	17					
地点2_ G <sub>2</sub> a_花崗閃緑岩																			
0.25 m (surface soil), layer U	-	0.97	1.20	1.61	63.6	1.75	25.0	35.8	5.6	$3.56 \times 10^{-3}$	128	0.8	0.3	1~2					
1.0 m (slip plane, <i>in situ</i> ), layer M	2.65	1.46	1.68	1.91	45.0	0.82	15.5	49.7	3.1	$1.74 \times 10^{-3}$	63	3.5	0.9	5~7					
地点4_ G <sub>2</sub> a_花崗閃緑岩																			
0.8 m (potential slip plane, <i>in situ</i> ), U/M	2.66	1.38	1.54	1.86	48.1	0.93	10.1	33.9	2.1	$1.42 \times 10^{-2}$	510	2.3	0.3	-					
1.8 m (grus, <i>in situ</i> ), layer M	-	1.32	1.41	1.82	50.5	1.02	7.2	18.8	1.5	$2.46 \times 10^{-2}$	886	4.8	0.8	-					
2.8 m (grus, <i>in situ</i> ), layer L	2.66	1.61	1.68	2.01	39.5	0.65	3.8	17.1	1.1	$1.92 \times 10^{-2}$	690	21.8	6.4	-					
地点8_ Eb_安山岩-玄武岩質凝灰岩																			
0.4 m (surface soil)	2.71	1.03	1.36	1.65	62.2	1.65	40.0	54.3	8.0	$1.57 \times 10^{-3}$	56	2.0	0.5	-					
2.2 m (slip plane, soil)	2.71	1.12	1.57	1.71	58.7	1.42	32.0	77.1	7.6	$2.91 \times 10^{-4}$	10	8.7	2.3	-					
2.3 m (slip plane, weathered bedrock)	2.78	1.09	1.63	1.70	60.7	1.54	57.0	88.9	9.8	$2.55 \times 10^{-6}$	0.09	20.8	8.8	-					
地点9_ M <sub>1</sub> s_泥質岩																			
0.4 m (surface soil)	2.66	1.30	1.76	1.81	51.2	1.05	39.7	91.1	7.9	$2.27 \times 10^{-7}$	0.01	2.1	0.5	-					
0.8 m (slip plane, soil)	2.70	1.22	1.52	1.77	54.9	1.22	36.2	55.4	6.0	$7.27 \times 10^{-4}$	26	4.3	1.0	-					

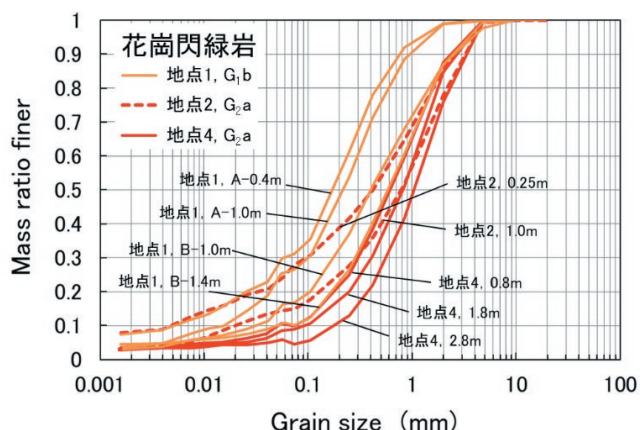


図6 花崗閃緑岩斜面(地点1, 2, 4)の土層の粒度組成  
Fig. 6 Grain size distribution of soils on the granodiorite slopes (Points 1, 2 and 4).

は細～中粒の岩石であった。図7, 8と表4に鉱物組成の結果を示すように、これら岩石の主要鉱物は、石英・斜長石・カリ長石・黒雲母・角閃石・緑泥石であった(表4, 図7)。緑泥石の存在は調査地域の花崗岩類が熱水変質した可能性を示している。また、花崗閃緑岩は花崗岩よりも、斜長石・黒雲母が多く、カリ長石が少ない。角閃石は花崗閃緑岩のみに含まれていた。これらは両岩石の一般的特徴と概ね一致している。

花崗閃緑岩斜面(地点1, 2, 4)の土層に関しては、岩石と同様に石英・斜長石・カリ長石・角閃石が検出されたが、黒雲母と緑泥石はほとんどの土層に存在しなかった(表4, 図7)。これらは、風化により消失したと考えられる。斜長石は、若干ばらつきはあるが、オニマサから表層に近づくほど減少しており、徐々に風化していると考えられる。石英・カリ長石・角閃石は深度による変化は小さかった。一方、粘土試料の分析により同定された土層中の粘土鉱物は、主にパーミキュライト・カオリン鉱物・ハロイサイト(10 Å)であり、その他にスメクタイト・14 Å 中間体・雲母粘土鉱物・ギブサイトが含まれている場合もあった(表4, 図8)。これらは斜長石・黒雲母・緑泥石の風化生成物と考えられる。パーミキュライトとカオリン鉱物は、ほとんどの試料に含まれており、表層に近づくほど増加する傾向があった。ハロイサイトもほとんどの試料に含まれており、深度による変化は概して小さいが、最表層部(地点1のA-0.4 mと地点2の0.25 m, いずれもU層)では減少していた。また、ハロイサイトを欠くか少ない試料には雲母粘土鉱物が含まれていた。ギブサイトは、粘土・シルト分が多い(約26～30%)表層土層(地点1のA-1.0 m, 0.4 m, いずれもU層)に含まれていた。



表4 XRDによる鉱物同定結果  
Table 4 Mineral composition of rocks and soils obtained by XRD.

	非粘土鉱物						シルト・粘土画分 粘土鉱物									
	Qtz	Kfs	Pl	Bt	Am	Z	(wt %)	Ch	Vrm	14Å	Vrm/14Å	Sm	M	Hal(10Å)	K	Gbs
<b>丸森</b>																
地点1. G <sub>1b</sub> 花崗閃緑岩																
A-0.4 m (surface soil)	++	(+)	+	-	++	-	30.3	-	+++	-	-	-	-	+	+++	+
A-1.0 m (surface soil)	+++	-	++	-	+	-	25.8	-	+	-	-	-	-	++	++	+
B-1.0 m (slip plane, <i>in situ</i> )	+++	(+)	++	-	+	-	16.5	-	++	-	-	-	-	++	++	-
B-1.4 m (grus, <i>in situ</i> )	+++	(+)	++	-	(+)	-	10.7	-	+	-	-	-	-	+	+	-
hard grus (in situ)	+++	(+)	+++	-	+	-		-	+	-	-	-	-	++	+	-
fluvial gravel (slightly weathered)	+++	+	+++	+	+	-		+								
地点2. G <sub>2a</sub> 花崗閃緑岩																
0.25 m (surface soil)	+++	+	+	-	(+)	-	25.5	-	+++	-	-	-	(+)	-	+	-
1.0 m (slip plane, <i>in situ</i> )	+++	+	++	-	-	-	14.6	-	-	+	-	-	+	+	(+)	-
hard grus (in situ)	+++	+	++	+	+	-		-	+	-	-	-	-	+	(+)	-
gravel on slope (slightly weathered)	+++	+	+++	+++	+	-		-								
地点4. G <sub>2a</sub> 花崗閃緑岩																
0.8 m (potential slip plane, <i>in situ</i> )	+++	++	++	-	(+)	-	10.3	-	++	-	-	-	-	++	++	-
1.8 m (grus, <i>in situ</i> )	+++	++	++	-	(+)	-	8.6	-	+	-	-	+	-	++	++	-
2.8 m (grus, <i>in situ</i> )	+++	+	++	-	(+)	-	5.4	-	+	-	-	-	+	-	+	-
地点6. G <sub>2b</sub> 花崗岩																
fluvial gravel 2 (moderately weathered)	+++	++	++	(+)	-	-		(+)*								
fluvial gravel 1 (slightly weathered)	+++	++	++	(+)	-	-		(+)*								
地点8. Eb 安山岩－玄武岩質凝灰岩																
0.4 m (surface soil)	+	-	(+)	-	-	-	64.6	+++	-	-	+++	-	+	-	?	-
2.2 m (slip plane, soil)	+	(+)	(+)	-	(+)	-	70.6	++	-	++	-	-	+	-	?	-
2.3 m (slip plane, weathered bedrock)	-	-	-	-	-	-	29.6	-	-	-	-	++	-	++	+	-
2.35 m (slip plane, weathered bedrock)	-	-	-	-	-	-						?				
地点9. M <sub>1s</sub> 泥質岩																
0.4 m (surface soil)	+	+	+	-	-	-	53.7	+	-	-	-	++	(+)	-	?	-
0.8 m (slip plane, soil)	+	+	+	-	-	+	43.4	-	-	-	-	+++	(+)	-	(+)	-
weathered bedrock	+	+	+	-	-	-						?				
<b>三陸海岸沿い</b>																
地点45_Hd 溶結凝灰岩																
gravel by sediment flow	++	+	+++	-	-	-		(+)*								
地点52_g <sub>1</sub> 花崗閃緑岩																
gravel by sediment flow	+++	+	++	+	(+)	-		(+)*								
地点20_g <sub>2</sub> 花崗閃緑岩																
gravel by sediment flow	+++	+	+++	++	+	-		(+)*								

+++ dominant, ++ abundant, + present, (+) poor, ? maybe, - not detected

\* estimated from bulk sample

Qtz: 石英, Kfs: カリ長石, Pl: 斜長石, Bt: 黒雲母, Am: 角閃石, Z: 沸石,

Ch: 緑泥石, Vrm: バーミキュライト, 14Å: 14Å中間体, Sm: スメクタイト, M: 雲母粘土鉱物, Hal(10Å): ハロイサイト(10Å), K: カオリン鉱物, Gbs: ギブサイト

すべり面(地点1のB-1.0 m, 地点2の1.0 m, 地点4の0.8 m)の鉱物組成に着目すると, 全ての試料にハロイサイト(10 Å)が含まれていた。

#### 花崗閃緑岩斜面と花崗岩斜面の崩壊・土層の特徴

各分析結果から, 表層崩壊が多発した花崗閃緑岩斜面の土層では, 主に原位置風化により, 表層に向かって物理的・化学的風化が進行し, 土層の細粒化, 単位体積重量の減少, 間隙の増加・拡大などの物理的変質が発生したと考えられる。また, 鉱物の変質としては, 斜長石・黒雲母・緑泥石からバーミキュライト・カオリン鉱物・ハロイサイトなどの粘土鉱物が生成され, それに伴い強熱減量が増加した。すべり面は, U層の下端ないしはM層に形成されており, 風化程度の小さな透水性の高い粗粒土からなり, ハロイサイト(10 Å)が含まれていた。ハロイサ

イトは膨潤性粘土鉱物であり, すべり面のせん断強度低下を促している可能性がある。ただし, すべり面が粘土・シルト画分が少ない粗粒土からなることを考慮すると, その度合いは小さいと考えられる。また, 花崗閃緑岩に関しては, 北上花崗岩類(G<sub>1b</sub>)と阿武隈花崗岩類(G<sub>2a</sub>)の岩種による岩石・土層の諸性質の差異は小さいと考えられる。

一方, 花崗閃緑岩に比べて花崗岩は, 風化しやすい斜長石・黒雲母が少ない岩石であり, そのため土層生成は相対的に不活発であり, それがこの地域に崩壊が少なかった1つの原因である可能性がある。

#### (2) 凝灰岩斜面(地点8)

##### 崩壊形状および試料採取

地点8は凝灰岩を基盤岩とする斜面である(図9)。崩壊地はやや谷型の斜面に形成されており, すべり

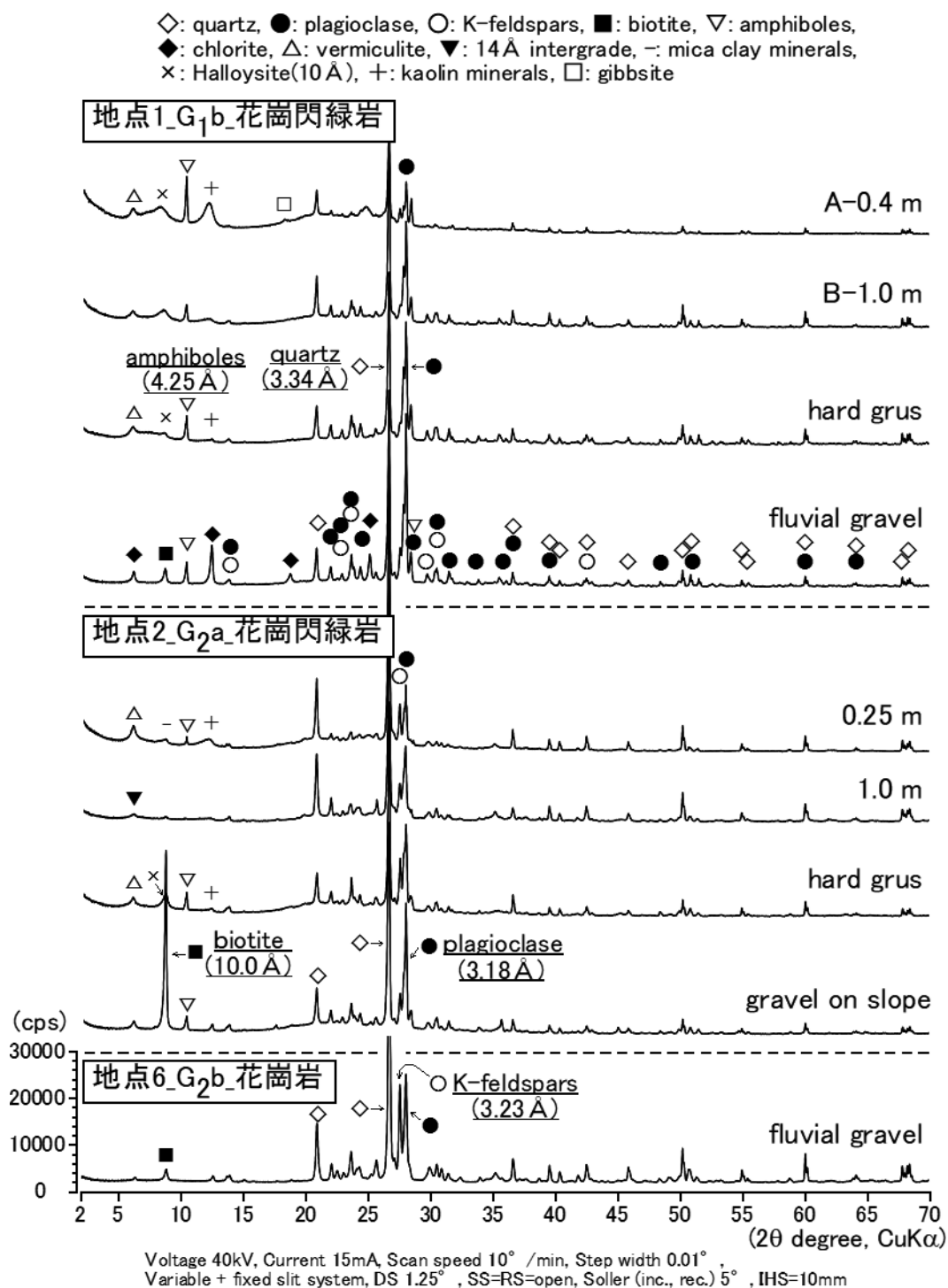


図7 花崗閃緑岩斜面(地点1, 2)と花崗岩(地点6)における岩石・土層のバルク試料のXRDチャート。粘土鉱物については、粘土試料の同定結果を記載した。

Fig. 7 X-ray diffractograms for bulk samples of rock and soil on the granodiorite (points 1 and 2) and granite (point 6) slopes. The mineral-identification results of clay samples were described for clay minerals.

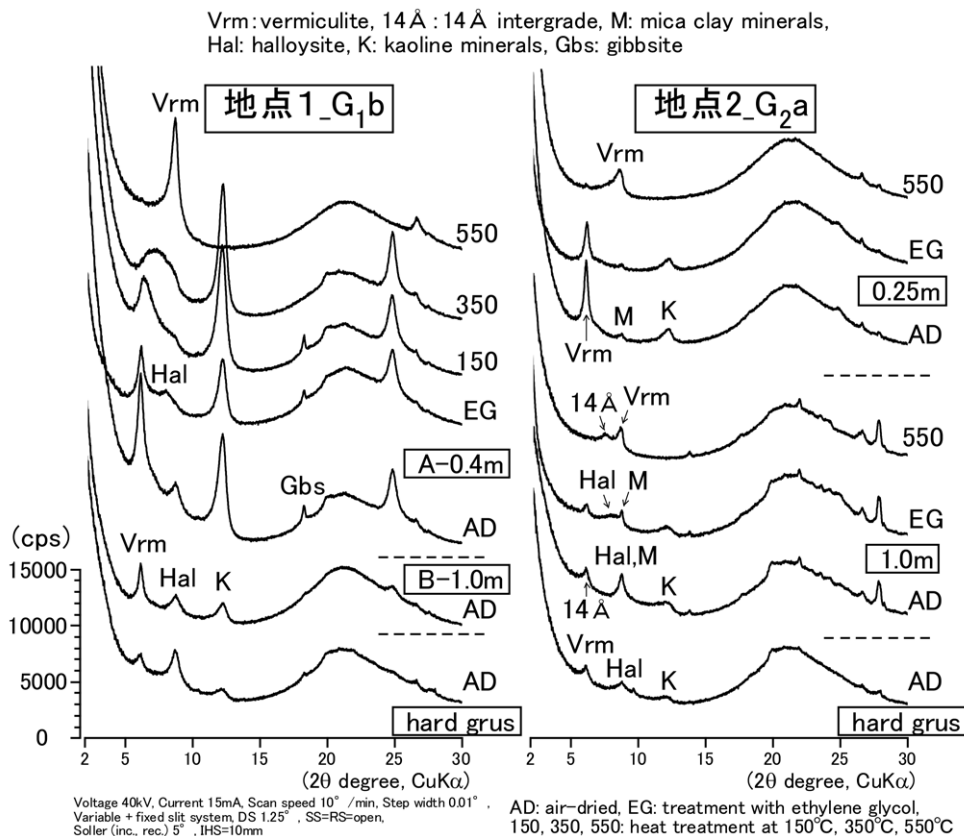


図8 花崗閃緑岩斜面(地点1, 2)における土層とオニマサの粘土試料のXRDチャート  
 Fig. 8 X-ray diffractograms for clay samples of soil and hard grus on the granodiorite slopes (points 1 and 2).

面には強風化した泥質凝灰岩が露出していた。崩壊形状は、勾配が約5～10°、崩壊幅が約8m、崩壊長が約20～25m、崩壊厚約2～2.5mであり、勾配がかなり小さく崩壊厚がやや大きな崩壊であった(表2)。ただし、凝灰岩を含む玄武岩－安山岩質火砕岩・溶岩(Eb)の分布域には、このような緩勾配の崩壊よりも、勾配30°以上の急勾配斜面の崩壊の方が多く、本地点は比較的特殊な崩壊と考えられる。これは、2.1節で述べたように、Ebの岩石は、溶岩流・降下堆積物・ラハール堆積物・河川堆積物・湖成堆積物という多様な岩相をもつためと考えられる。

崩壊地において計4試料を採取した(図9)。0.4mは表層土、2.2m・2.25m・2.3mはすべり面の試料であり、それぞれの数値は地表面からの採取深度である(表3, 表4)。すべり面は場所によってそれぞれ物質が異なっており、2.2mは土層、2.3mは原位置での強風化して土層化しつつある亀裂の少ない泥質凝灰岩、2.35mは原位置性の割れ目の多いやや硬質な泥質凝灰岩であった。すべり面土層(2.2m)と

表層土には母岩の組織が見られず、すべり面のやや硬質な風化岩石(2.35m)にはスレーキングによる小さな亀裂が存在していた。

#### 土層の物理的・力学的性質

土層の物理的・力学的性質を表3に、粒度組成を図10にそれぞれ示す。表層土(0.4m)とすべり面土層(2.2m)を比較すると、粒度組成に関しては、いずれも粘土・シルト画分が65～71%とかなり多い粘性土であった。また、すべり面土層は表層土よりも、単位体積重量(乾燥・自然・飽和)・土壤硬度・飽和透水係数が大きく、間隙率・間隙比・含水比が小さかった。特に、飽和透水係数は両土層の差が大きく、表層土は $10^{-3}$  cm/sec オーダー(56 mm/hr)であるが、すべり面土層は $10^{-4}$  cm/sec オーダー(10 mm/hr)と小さかった。土壤硬度もすべり面土層の方が約4倍も大きかった(8.7 kgf/cm<sup>2</sup>)。これらは、単位体積重量など物理的性質のわずかな差が、力学性や透水性の大きな違いとなって現れたことを示している。2.3mの試料は、土層化しつつある風化岩盤であり土粒子

への分解が不十分であるため、表層土とすべり面土層よりも粗粒であり、土壌硬度が大きく、透水係数が小さかった。強熱減量に関しては、3つの試料は7.6～10%とほぼ同じである。

### 土層と岩石の鉱物組成

図 11, 12 と表 4 に鉱物組成の結果を示す。すべり面の風化岩石(2.3 m, 2.35 m)とそれらより浅部のすべり面土層(2.2 m)・表層土(0.4 m)とは、鉱物組成が異なっていた。すなわち、すべり面の風化岩石には非粘土鉱物がほぼ存在せず、主に膨潤性粘土鉱物であるスメクタイトとハロイサイトが含まれていた(2.3 m)が、それらより浅部のすべり面土層と表層土には石英・斜長石・カリ長石・角閃石がわずかに含まれており、粘土鉱物は非膨潤性(緑泥石, 14 Å 中間体ないしはパーミキュライト, 雲母粘土鉱物)であった。なお、2.35 m 試料の粘土の同定は実施していないが、バルク試料において、15.1 Å (5.83°) を中心とする大きな底面反射が存在すること、スレーキングによる小さな亀裂が存在することから、スメクタイトが含まれている可能性がある。これらの結果から、すべり面土層と表層土は、母岩組織が欠如

し、また深部の風化岩石と鉱物組成が異なることから、異地性の土が多く混ざった運積土であると考えられる。なお、すべり面土層(2.2 m)と表層土(0.4 m)の 7 Å (12.4°) の底面反射は、塩酸処理による分析を実施していないため、緑泥石だけの反射か、または緑泥石とカオリン鉱物が混在した反射かのどちらであるか確認はできなかった。

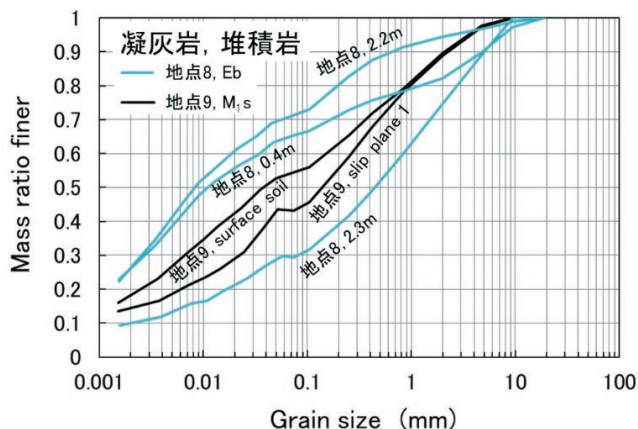


図 10 凝灰岩斜面(地点 8)と堆積岩斜面(地点 9)の土層の粒度組成

Fig. 10 Grain size distribution of soils on the tuff (point 8) and sedimentary-rock (point 9) slopes.

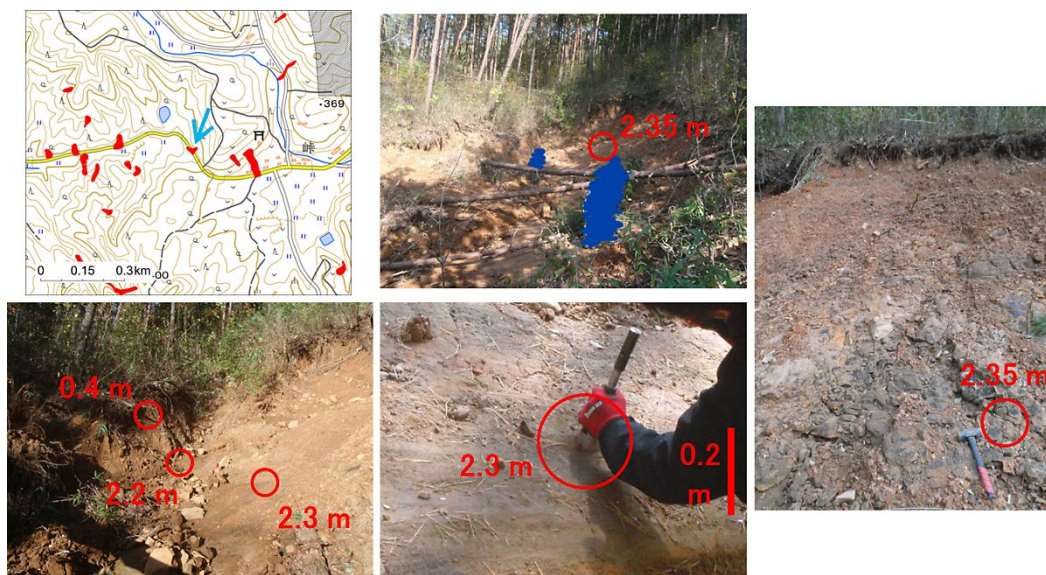


図 9 地点 8 (Eb, 凝灰岩) の斜面崩壊の様子。(左上) 斜面位置。赤色は土砂移動範囲であり、矢印で示す崩壊を調査した。黒網線は判読不能範囲である。背景は国土地理院の標準地図(等高線間隔 10 m)。 (中央上) 崩壊地を左岸側から見る。写真内中央左の土塊はすべり残ったものである。(左下) 崩壊地内右岸側から見たすべり面の様子。(中央下) すべり面に露出した強風化し土層化しつつある亀裂の少ない泥質凝灰岩。(右) すべり面に露出した割れ目の多いやや硬質な泥質凝灰岩。この凝灰岩にはスレーキングによる小さな亀裂が存在する。土層試料は赤丸で採取した。

Fig. 9 Slope failure at point 8 (Eb, tuff). (Upper left panel) surveyed slope indicated by the blue arrow. Red shading areas are sediment movement regions while hatched areas are unreadable regions. Base-map is obtained from standard map of GSI. Contour interval is 10 m. (Upper center panel) view of the failure scar from the left bank. The slipped soil mass remained in the center left of the photo. (Lower left panel) view of the slip plane from the right bank. (Bottom center panel) highly weathered muddy tuff with few cracks in the slip plane. The tuff is gradually disintegrating to form soil. (Right panel) slightly hard muddy tuff with many cracks on the slip plane. There are small cracks due to slaking. Samples were collected at red circles.

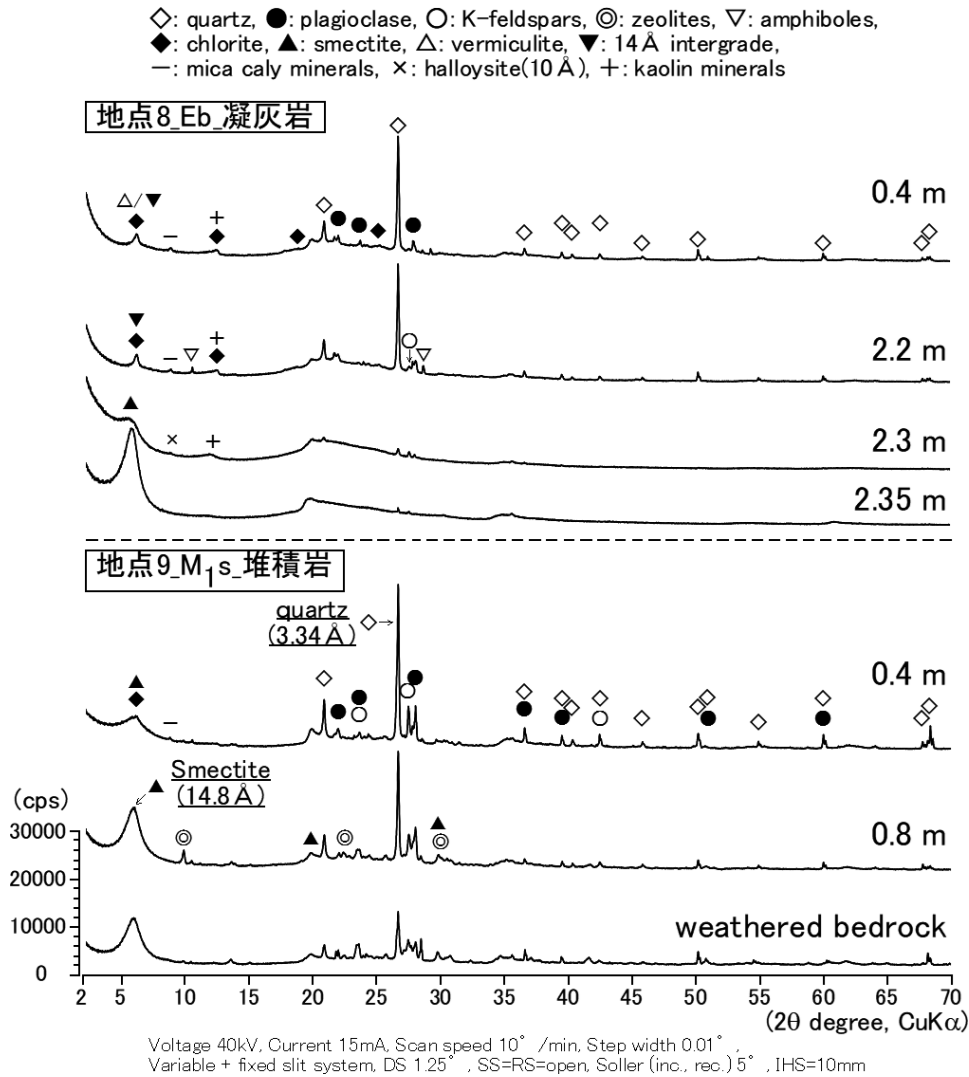


図 11 凝灰岩斜面(地点 8)と堆積岩斜面(地点 9)における岩石・土層のバルク試料の XRD チャート。粘土鉱物については、粘土試料の同定結果を記載した。

Fig. 11 X-ray diffractograms for bulk samples of rock and soil on the tuff (point 8) and sedimentary rock (point 9) slopes. The mineral-identification results of clay samples were described for clay minerals.

### 凝灰岩斜面の崩壊・土層の特徴

各分析結果から、凝灰岩斜面の土層は粘性土であり、すべり面は風化岩石と運積土からなると考えられ、表層土に比べて透水性が著しく低く、この風化岩石にはスメクタイトとハロイサイト(10 Å)が含まれていた。このことから、斜面はすべり面より浅部に地中水が集まり間隙水圧が発生しやすい土層構造をもつと考えられる。また、すべり面が含水するとスメクタイトとハロイサイトの膨潤により、せん断強度が著しく減小すると推察される。急勾配斜面の崩壊だけでなく、すべり面勾配が小さな(5~10°)崩壊が発生したのは、このようなせん断強度特性や浸透特性を反映したためと考えられる。

### (3) 堆積岩斜面(地点 9)

#### 崩壊形状および試料採取

地点 9 は堆積岩を基盤岩とする斜面である(図 13)。道路脇の平滑斜面に表層崩壊が発生しており、崩壊前斜面は切り取り面だったと思われる。崩壊形状は、勾配が約 45°, 崩壊幅が約 5 m, 崩壊長が約 10 m, 崩壊厚約 0.7 m であり(表 2), 付近の道路沿いにはよく似た形状の崩壊が数カ所存在していた。すべり面には主に硬質な砂礫質岩と土層が露出しており、この土層は軟質な泥質岩の風化物と考えられる(図 13 右)。軟質な泥質岩はすべり面土層の中や崩土中に散在している。これらの砂礫質岩と泥質岩は成層構造をなしており、また凝灰質岩石の可能性もある。

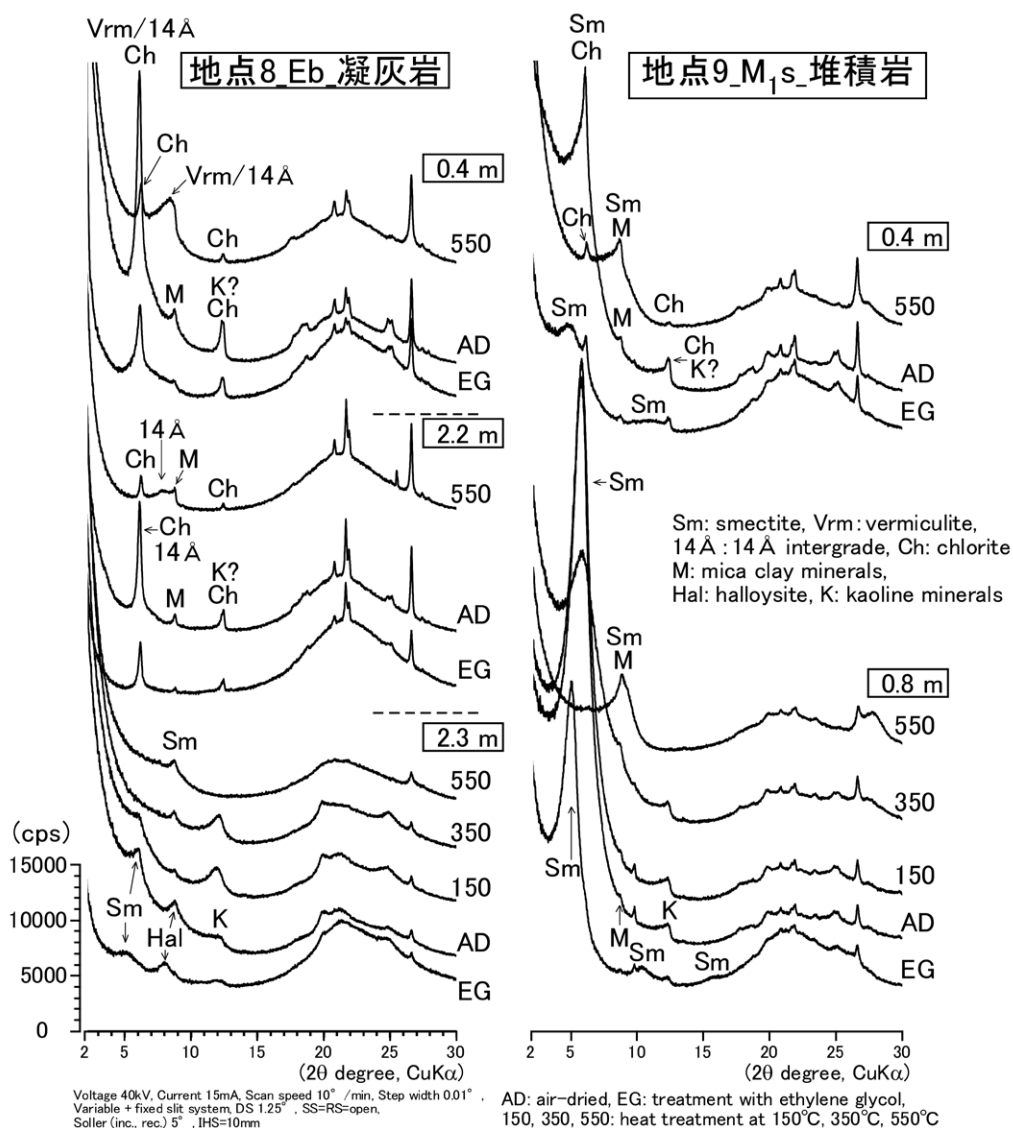


図 12 凝灰岩斜面(地点 8)と堆積岩斜面(地点 9)における岩石と土層の粘土試料の XRD チャート  
 Fig. 12 X-ray diffractograms for clay samples of rock and soil on the tuff (point 8) and sedimentary rock (point 9) slopes.

崩壊地において計 3 試料を採取した(図 13)。それぞれ、0.4 m は表層土、0.8 m はすべり面、weathered bedrock は崩土中の軟質な泥質岩の試料であり、各数値は地表面からの採取深度である(表 3、表 4)。

#### 土層の物理的・力学的性質

土層の物理的・力学的性質を表 3 に、粒度組成を図 10 にそれぞれ示す。表層土(0.4 m)とすべり面土層(0.8 m)は、いずれも粘土・シルト画分が 44 ~ 54% を占める粘性土であり、飽和透水係数は、 $10^{-4}$  cm/sec オーダー以下(0.01 ~ 26 mm/hr)とかなり小さかった。また、土壌硬度は 2.1 ~ 4.3 kgf/cm<sup>2</sup>、強熱減量は 6 ~ 8% とほぼ同じであった。

#### 土層と岩石の鉱物組成

図 11、12 と表 4 に鉱物組成の結果を示す。非粘土鉱物に関しては、表層土(0.4 m)・すべり面土層(0.8 m)・風化岩(weathered bedrock)の全てに、石英・カリ長石・斜長石が少量含まれており一部に沸石がわずかに存在していた。構成鉱物の類似性は、すべり面土層や表層土が泥質岩の風化物であることを示している。表層土とすべり面土層の主要な粘土鉱物はスメクタイトであり、その他に緑泥石・雲母粘土鉱物・カオリン鉱物が含まれていた。なお、風化岩の粘土の同定は実施していないが、バルク試料において、0.8 m 試料と同様に 14.8 Å を中心とする大き

な底面反射が存在することから、スメクタイトが含まれている可能性がある。

#### 堆積岩斜面の崩壊・土層の特徴

各分析結果から、堆積岩斜面は、砂礫質岩と泥質岩が基盤岩と考えられ、すべり面には泥質岩が風化した粘性土と硬質な砂礫質岩が露出していた。表層土も泥質岩起源の粘性土であった。これら粘性土であるすべり面土層や表層土は透水性がかなり低く、スメクタイトが多く含まれていた。表層土の透水性が小さいため、短時間での雨水の浸透は困難であろうが、長時間の降雨によりすべり面まで浸透した場合には、スメクタイトの膨潤により粘性土のせん断強度は著しく減小すると考えられる。ただし、すべり面の平均的な強度は、硬質な砂礫質岩の強度を含めたものであるため、粘性土の強度よりは大きいと考えられる。また、堆積岩(M<sub>1</sub>s)地域は多量のスメクタイトが存在する軟弱地盤であるため、低標高(200 m以下)の丘陵になるほど削剥が進み、そのため崩壊頻度が小さくなった可能性がある。

#### 4.2 重茂半島、普代村の斜面崩壊地付近で採取した岩石の鉱物組成

重茂半島では溶結凝灰岩(Hd)と花崗閃緑岩(g<sub>1</sub>)、普代村では花崗閃緑岩(g<sub>2</sub>)の各分布域において、斜面崩壊地付近で採取した各1個の岩石(gravel by sediment flow)を採取した(図14)。Hdは微粒、g<sub>1</sub>は中～粗粒、g<sub>2</sub>は中粒の岩石であり、それぞれの鉱物組成を測定した。その結果、重茂半島と普代村の花崗閃緑岩(g<sub>1</sub>, g<sub>2</sub>)は、丸森町付近の花崗閃緑岩(G<sub>1</sub>b, G<sub>2</sub>a)と同様に、石英・斜長石・カリ長石・黒雲母・角閃石・緑泥石が含まれていた(表4)。それぞれの存在量も丸森の花崗閃緑岩と概ね類似している。これらの岩石が中～粗粒であり、G<sub>2</sub>aを除くと同じ北上花崗岩類であること考慮すると、重茂・普代でも丸森と類似した風化土層が形成されている可能性がある。

一方、重茂半島の溶結凝灰岩(Hd)からは、石英・斜長石・カリ長石が同定された(表4)。花崗閃緑岩と比較すると、黒雲母を欠く細粒の岩石であることから、風化による土層形成は不活発であると考えら

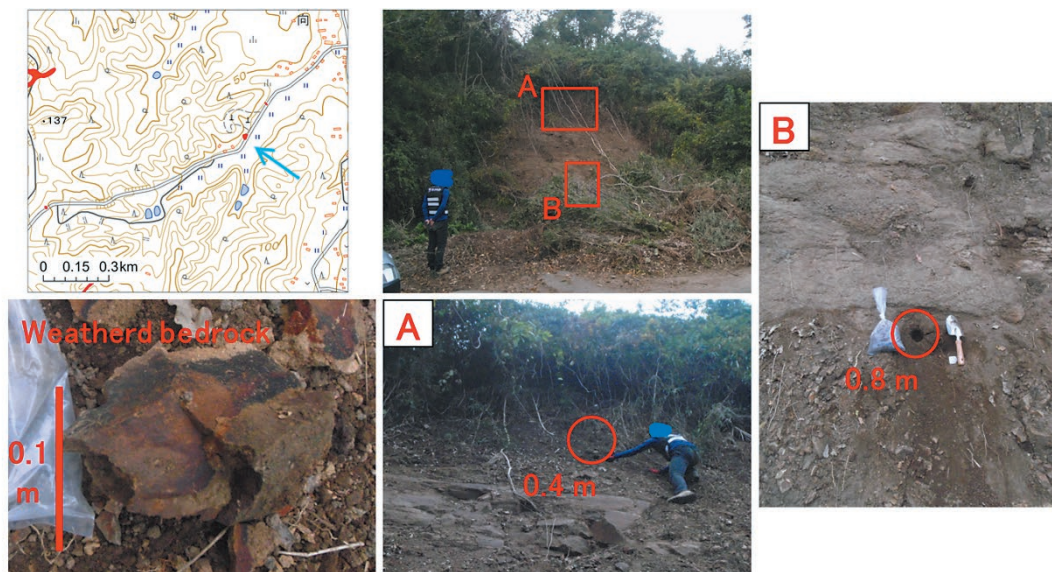


図13 地点9(M<sub>1</sub>s, 堆積岩)の斜面崩壊の様子。(左上)斜面位置。赤色は土砂移動範囲であり、矢印で示す崩壊を調査した。背景は国土地理院の標準地図(等高線間隔10 m)。(中央上)崩壊地全景。切り取り斜面が崩れたと思われる。(左下)すべり面から転落した泥質の風化岩盤の試料。(中央下, A)崩壊地冠頂部。(右, B)すべり面の様子。写真下部は土層, 上部は硬質な砂礫質岩がそれぞれ露出している。この土層は泥質岩盤起源の原位置風化土と思われる。表層土は運積土である。土層試料は赤丸で採取した。

Fig. 13 Slope failure at point 9 (M<sub>1</sub>s, sedimentary rock). (Upper left panel) surveyed slope indicated by the blue arrow. Red shading areas are sediment movement regions. Base-map is obtained from standard map of GSI. Contour interval is 10 m. (Upper center panel) panoramic view of the failure scar estimated to be formed on a road-cut slope. (Lower left panel) sampled weathered muddy bedrock that fell from the slip plane. (Bottom center, A) head scar. (Right panel, B) slip plane. Soil is exposed in the lower part of the photo and hard gravelly-sandy rock is exposed in the upper part. The soil is estimated by the *in-situ* weathered materials originating from the muddy rocks. The surface soil is transported soil. Soil samples were collected at red circles.

れ、そのことが斜面崩壊が少なかった原因の 1 つであった可能性がある。

以上は、少ないデータからの推論に過ぎず、土層厚や物性の調査からの検討が今後不可欠である。

## 5. まとめ

令和元年(2019年)東日本台風による斜面変動に関して、宮城県丸森町とその周辺に発生した斜面崩壊地の岩石・土層の諸物性、および岩手県三陸海岸沿いの斜面崩壊地付近の岩石物性について調査した。結果は以下のようにまとめられる。

- (1) 表層崩壊が多発した丸森付近の花崗閃緑岩斜面では、土層は、主に原位置風化により、表層に向かって物理的・化学的風化が進行していた。それに伴い、斜長石・黒雲母・緑泥石から、パーミキュライト・カオリン鉱物・ハロイサイトなどの粘土鉱物が生成されたと考えられる。すべり面は、U層の下端ないしはM層に形成されており、風化程度の小さな透水性の高い粗粒土からなり、膨潤性をもつハロイサイト(10 Å)が含まれていた。
- (2) 丸森付近の凝灰岩斜面は、土層が粘性土であり、すべり面は表層土に比べて透水性が著しく低く、一部には膨潤性をもつスメクタイトとハロイサイト(10 Å)が含まれていた。したがって、土層はすべり面より浅部に地中水が集まりやすい構造を持ち、すべり面の強度は小さいと推察される。その結果、急勾配斜面の崩壊だけでなく、すべり面勾配が小さな(5 ~ 10°)崩壊が発生

したと考えられる。

- (3) 丸森付近の堆積岩斜面は、砂礫質岩と泥質岩が基盤岩と考えられ、すべり面には泥質岩起源のス멕タイトを多く含む粘性土と硬質な砂礫質岩が露出していた。粘性土の強度はかなり小さいと考えられるが、すべり面の平均的な強度については、硬質な砂礫質岩の強度を含めて検討する必要がある。また、多量のス멕タイトが存在する軟弱地盤であるため削剥が進み、低標高(200 m以下)の丘陵化したため、崩壊頻度が小さくなった可能性がある。
- (4) 重茂・普代・丸森の花崗閃緑岩の鉱物組成は類似しており、重茂・普代でも丸森とよく似た風化土層が形成されている可能性がある。重茂の溶結凝灰岩は、花崗閃緑岩と比較すると、黒雲母を欠く細粒の岩石であることから、風化による土層形成は不活発であると考えられ、そのことが斜面崩壊が少なかった原因の 1 つとなった可能性がある。

広域における斜面崩壊の予測研究においては、崩壊と雨量・地形・地質の統計的な関係を議論することがしばしば行われているが、地質、特に火山岩類・堆積岩類・変成岩類は種類が多いため、何らかのタイプ分けが求められている。さらに、同じ地質区分であっても岩質が場所によって著しく異なる場合もある。したがって、崩壊発生地域の物性値データを増やすことで崩壊予測に適した地質分類を行い、それに基づく解析によって予測式の確立を目指したい。

### Hd, gravel by sediment flow $g_1$ , gravel by sediment flow $g_2$ , gravel by sediment flow



図 14 (左)重茂半島の地点 45 (N39.4830°, E142.0036°) で採取したデイサイト溶結凝灰岩 (Hd) の礫試料。(中)重茂半島の地点 52 (N39.5104°, E142.0246°) で採取した花崗閃緑岩 ( $g_1$ ) の礫試料。(右)普代村の地点 20 (N39.9911°, E141.8778°) で採取した花崗閃緑岩 ( $g_2$ ) の礫試料。

Fig. 14 (Left panel) sampled dacite welded tuff (Hd) gravel at point 45 (N39.4830°, E142.0036°) in the Omoe Peninsula. (Center panel) sampled granodiorite ( $g_1$ ) gravel at point 52 (N39.5104°, E142.0246°) in the Omoe Peninsula. (Right panel) Granodiorite ( $g_2$ ) sampled gravel at point 20 (N39.9911°, E141.8778°) in Fudai Village.



## 参考文献

- 1) Chen, P.Y. (1977): Table of key lines in X-ray powder diffraction patterns of minerals in clays and associated rocks, Indiana Geological Survey Occasional Paper 21, 67pp.
- 2) 藤田至則・加納 博・滝沢文教・八島隆一(1988)：角田地域の地質，地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)，地質調査所(現 地質調査総合センター)，99pp.
- 3) 久保和也・柳沢幸夫・山元孝広・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久(2003)：20万分の1地質図幅「福島」，産業技術総合研究所 地質調査総合センター。
- 4) 若月 強・吉原直志・遠藤悠一・大森 想(2020a)：2019(令和元)年10月12～13日台風19号による斜面変動調査報告。(URL: <http://mizu.bosai.go.jp/key/2019MiyagiIwate>, 2020.7.8)
- 5) 若月 強・吉原直志・遠藤悠一・大森 想・古賀 亘(2020b)：令和元年(2019年)東日本台風による宮城県丸森町周辺と岩手県三陸海岸沿いの斜面変動の分布，主要災害調査，58，21-34.
- 6) 柳沢幸夫・山元孝広・坂野靖行・田沢純一・吉岡敏和・久保和也・滝沢文教(1996)：相馬中村地域の地質，地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)，地質調査所(現 地質調査総合センター)，144pp.
- 7) 吉田 尚・大沢あつし・片田正人・中井順二(1984)：20万分の1地質図幅「盛岡」，地質調査所(現 地質調査総合センター)。  
(2020年11月30日原稿受付，  
2020年12月15日改稿受付，  
2020年12月15日原稿受理)

## 要 旨

令和元年(2019年)東日本台風による斜面変動に関して、宮城県丸森町とその周辺に発生した斜面崩壊地の岩石と土層の諸物性、および岩手県重茂半島と普代村の斜面崩壊地付近の岩石物性について調査した。その結果、表層崩壊が多発した花崗閃緑岩斜面では、土層は、主に原位置風化により、表層に向かって物理的・化学的風化が進行していた。すべり面は、風化程度の小さな高透水性の粗粒土からなり、ハロイサイト(10 Å)が含まれていた。凝灰岩斜面では、すべり面の斜面勾配が小さい(5°～10°)崩壊が発生しており、土層は粘性土であり、すべり面は低透水性であり、一部にはスメクタイトとハロイサイトが含まれていた。堆積岩斜面では表層崩壊が発生しており、すべり面には泥質岩起源のスメクタイトを多く含む低透水性の粘性土と硬質な砂礫質岩が露出していた。重茂半島・普代村と丸森町の花崗閃緑岩の鉱物組成は類似していた。また、重茂半島の溶結凝灰岩は、花崗閃緑岩と比較すると、風化を受けやすい黒雲母を欠く細粒の岩石であった。

**キーワード**：斜面崩壊，花崗閃緑岩，凝灰岩，堆積岩，土層，スメクタイト，ハロイサイト