

令和 2 年(2020 年)7 月豪雨による岐阜県高山市・下呂市のいくつかの 斜面崩壊地の岩石・土層物性と斜面変動分布との関係

若月 強*・秋田寛己*・島田真紀子*・山本信良*・佐藤昌人**

Relationship between Distribution of Slope Movements and Rock and Soil Properties for Some Slope Failures Caused by Heavy Rainfall on July 2020 in Takayama and Gero Cities, Gifu Prefecture

Tsuyoshi WAKATSUKI*, Hiromi AKITA*, Makiko SHIMADA*, Nobuyoshi YAMAMOTO*, and Masato SATO**

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

***Multi-hazard Risk Assessment Research Division,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan*

Abstract

Rock and soil properties were investigated for some slope failures induced by heavy rainfall on July 2020 in Takayama and Gero cities, Gifu prefecture, and relationship between distribution of slope movements and rainfall amount, geology and rock and soil properties was examined. As results, many slope failures occurred on basalt slopes because of soil layer in the slip plane consisting of cohesive soil, which contains a large amount of swelling clay mineral of halloysite and is considered to have a significantly small shear-resistance parameters (c, ϕ). Many slope failures and debris flows occurred on granodiorite porphyry slopes because of soil layer in the slip plane consisting of coarse-grained grus, which contains mainly non-swelling clay minerals and is considered to have high-permeability, small shear-resistance parameters (especially, c) and high-fluidity. On the other hand, a small amount of slope movements occurred on rhyodacite welded tuff slopes because of soil layer in the slip plane consisting of low-permeable, fine-grained grus, which contains mainly non-swelling clay minerals and is considered to have large shear-resistance parameters (especially, c).

Key words: Ueno basalts, Granodiorite porphyry, Nohi rhyolite, Rhyodacite welded tuff, Soil layer, Halloysite, grus

1. はじめに

令和 2 年(2020 年)7 月豪雨では、洪水や土砂災害により熊本県で大きな被害が発生したほか、大分県、長崎県、鹿児島県、広島県、愛媛県、長野県、神奈川県など全国各地で被害が発生した。岐阜県では 7 月 7 日から 8 日にかけて中濃から飛騨地方を中心に断続的に非常に激しい雨となり、飛騨川を中心とする

河川の氾濫や土砂災害、下流域の白川町ではバックウォーター現象による浸水被害が発生するなどの被害が発生した(岐阜県・清流の国ぎふ防災減災センター, 2020)。これらにより、岐阜県では重・軽傷者 2 人、住家全壊 6 棟、半壊 37 棟の被害が発生した。

本報では、岐阜県高山市南部から下呂市北部を対象として、いくつかの崩壊地の岩石・土層物性の計

* 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

** 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 マルチハザードリスク評価研究部門

測を実施した。そして、斜面変動の分布と雨量・地質・土質との関係について考察を行った。

2. 調査地域の地形・地質・降雨状況

調査地域は、岐阜県高山市南部から下呂市北部に存在しており、飛騨山地の西側に位置する飛騨高原と呼ばれる山地の一部である(図 1, 図 2 上)。この地域は、図北東部の標高 3,026 m の乗鞍岳とその周辺を除くと大部分が標高約 1,400 m 以下の山地である。また、北西部の宮川と生井川の流域を除く全ての場所が飛騨川流域である。

調査地域の主な地質を図 2 下に示す。調査地域の北部と南東部には美濃帯の中古生層(Mm, Ms, Mc, Mb)が分布し、北部の一部ではそれらが上宝火砕流堆積物(Kp)に覆われている。中～南部には濃飛流紋岩類(III₃, II₄)とそれに貫入した花崗閃緑斑岩(Gdp)およびこれらを覆う上野玄武岩類(B)、北東部には乗鞍火山噴出物(Vn)がそれぞれ分布している(山田ほか, 1985)。なお、調査地域の上野玄武岩類は鈴鹿高原玄武岩であり、濃飛流紋岩類や花崗閃緑斑岩を推定約 100 m の厚さで覆っている(山田・小林, 1988)。

気象庁解析雨量による、調査地域の 2020/7/6～7/8 における最大 1 時間、3 時間、6 時間、12 時間、24 時間、48 時間、72 時間、1 週間、2 週間雨量の分布を図 3 に示す。図 3 によると、調査地域の南西から北東に帯状に相対的に雨量が多いエリアが伸びており、雨量の積算時間が少ないほどそれが明瞭である。また、積算時間が増すほど雨量が増加している。例えば、高山市朝日町西洞周辺における、最大 1 時間雨量は約 65 mm、最大 6 時間雨量は約 180 mm、最大 24 時間雨量は約 330 mm、最大 72 時間雨量は約 520 mm、最大 2 週間雨量は約 820 mm である(表 1)。1～6 時間の短時間雨量はそれほど多いとは言えないが、2 週間雨量は年降水量約 2,000 mm(アメダス「宮之前」)の約 40% に及んだように、本災害は相対的に短期強雨型ではなく降雨継続型の降雨により発生したと考えられる。

3. 斜面変動の分布と地形・地質・降雨との関係

図 1 には、秋田ほか(2022)が作成した斜面変動範囲図と現地調査のルート上から目視で確認できた斜面変動による土砂流出箇所を記載した。斜面変動範

囲図は、災害前後の Sentinel-2 衛星画像(分解能 10 m)から NDVI(正規化植生指数)差分画像を作成し閾値を定め、また平地部のノイズを除去することにより作成したものである。ただし、分解能が 10 m と粗いことや立木が地表面を隠すことなどにより、面積が約 2,000～3,000 m² 以下の表層崩壊など規模の小さな斜面変動は抽出できていない場合が多い。一方、土砂流出箇所は調査ルート上だけであるが規模の小さな斜面変動も記載されている。

次に、斜面変動範囲・土砂流出箇所と地形図(図 2 上)、地質図(図 2 下)および災害時の雨量分布図(図 3)をそれぞれ比較する。まず、図 3 から、短時間の雨量ほど顕著な、南西～北東方向の相対的に雨量が多いエリアに斜面変動が多い傾向がある。その中でも斜面変動が多発した高山市朝日町西洞周辺は、全ての積算時間の雨量が大きい。次に、図 2 下から、この朝日町西洞周辺とそこから南西部の相対的に雨量が多いエリアには、B(上野玄武岩類玄武岩)、Gdp(花崗閃緑斑岩)、II₃(濃飛流紋岩類流紋溶結凝灰岩)、II₄(濃飛流紋岩類流紋デイサイト溶結凝灰岩)の 4 種類の地質が分布している。これらの中で、斜面変動範囲や土砂流出箇所が集中しているのが Gdp と B の分布域であり、II₃ と II₄ の分布域はこれらより発生頻度が小さい。Gdp の分布域は斜面変動範囲で示される規模の大きな斜面変動が多く、B の分布域は規模の大きな斜面変動は少ないが土砂流出箇所を示される小規模の斜面変動(崩壊・土砂流出)が多い。その他、図の北側では、Kp(上宝火砕流堆積物黒雲母流紋岩溶結凝灰岩)が分布する高山市滝町周辺に斜面変動が多く、Mb(二疊紀～三疊紀玄武岩溶岩・凝灰岩)の分布域でも斜面変動は存在するが、Mc(二疊紀～三疊紀チャート)の分布域には斜面変動はほとんどない。最後に、図 3 上から、調査地の大部分が標高約 1,400 m 以下の山地であり地質ごとの起伏の差は比較的少ないが、高山市朝日町西洞周辺の B の分布域は山頂付近の高原であり起伏が小さい。

4. 崩壊地の岩石・土層物性の調査方法

朝日町西洞周辺とそこから南西部の相対的に雨量が多いエリアに存在する崩壊地で物性調査を実施した。調査斜面の岩型は、玄武岩(B; 図 1 と図 2 の地点 11)、花崗閃緑斑岩(Gdp; 地点 12 と 13)、流紋デ

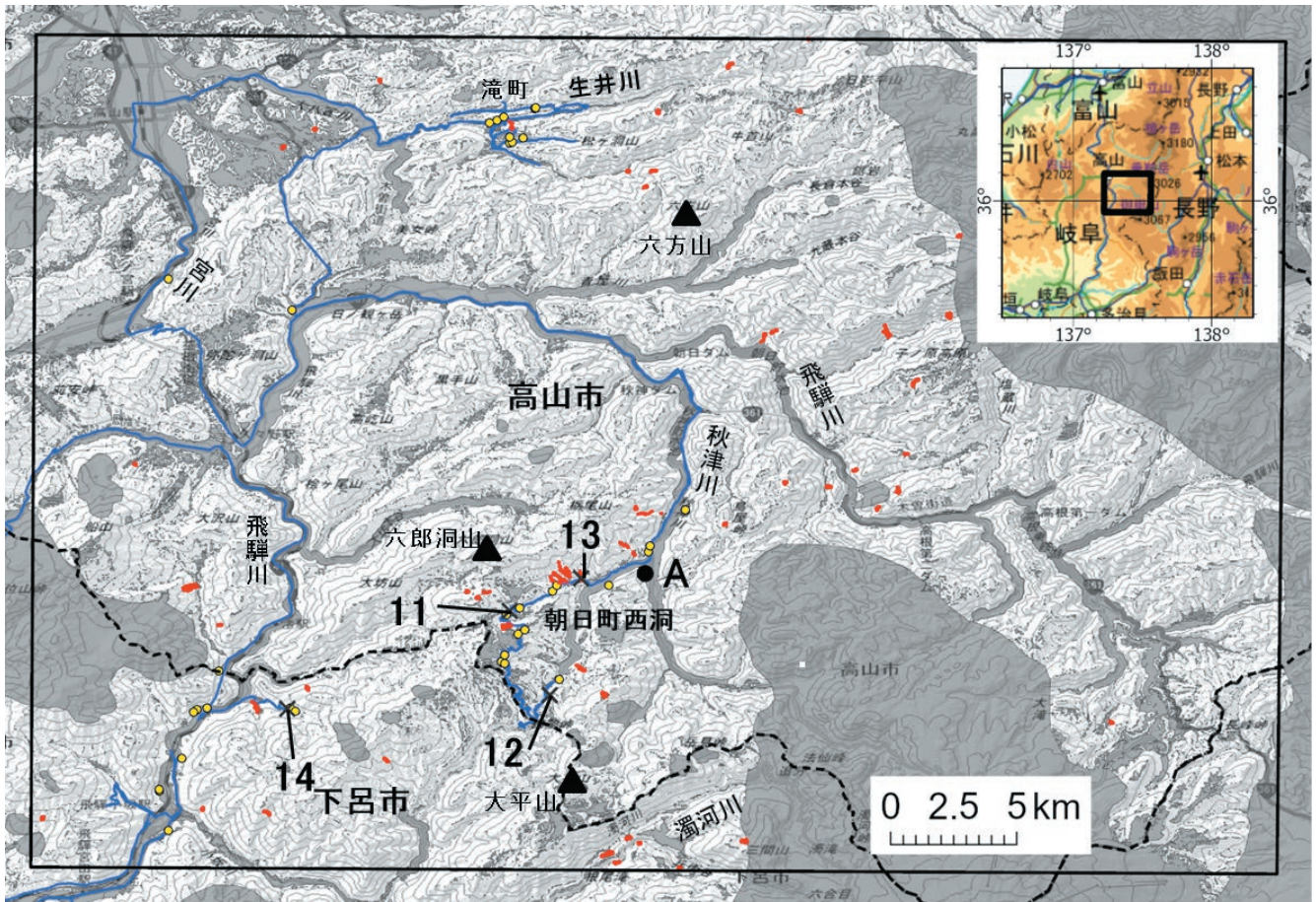


図1 斜面変動範囲と調査地点。黒枠線：判読範囲，赤色：斜面土砂移動範囲，灰色：判読不能範囲，×：調査地点，青線：調査ルート，黄丸：調査ルート上から目視で確認できた斜面変動による土砂流出箇所。A：アメダス「宮之前」の観測地点。斜面変動範囲は秋田ほか(2022)の図12(b)のデータを使用。背景は国土地理院の標準地図。市町村界はESRIのデータ。

Fig. 1 Slope movement range and survey points. Red shading areas are sediment movement regions over the survey area surrounded by black line while grey areas are unreadable regions. Crosses show survey points. Yellow circles show sediment runoffs along survey route (blue line). Location of Miyanomae AMeDAS station of JMA is denoted by A. Slope movement range is obtained from Akita *et al.* (2022). Base-map is obtained from standard map of GSI. The contour interval is 100 m. City boundary is obtained from ESRI.

イサイト溶結凝灰岩(II₄; 地点14)の3種類である。これら3地質(岩型), 計4地点での調査項目を表2に示す。地点11, 12, 14地点は斜面崩壊地であり, 崩壊形状, 土層構造, 岩石と土層の物理的・力学的性質と鉱物組成をそれぞれ計測した。地点13は土石流堆積物上であり, 採取した岩石の物理的力学的性質と鉱物組成を計測した。現地での試料採取は, 2020年8月8~9日に実施した。

崩壊形状の計測方法

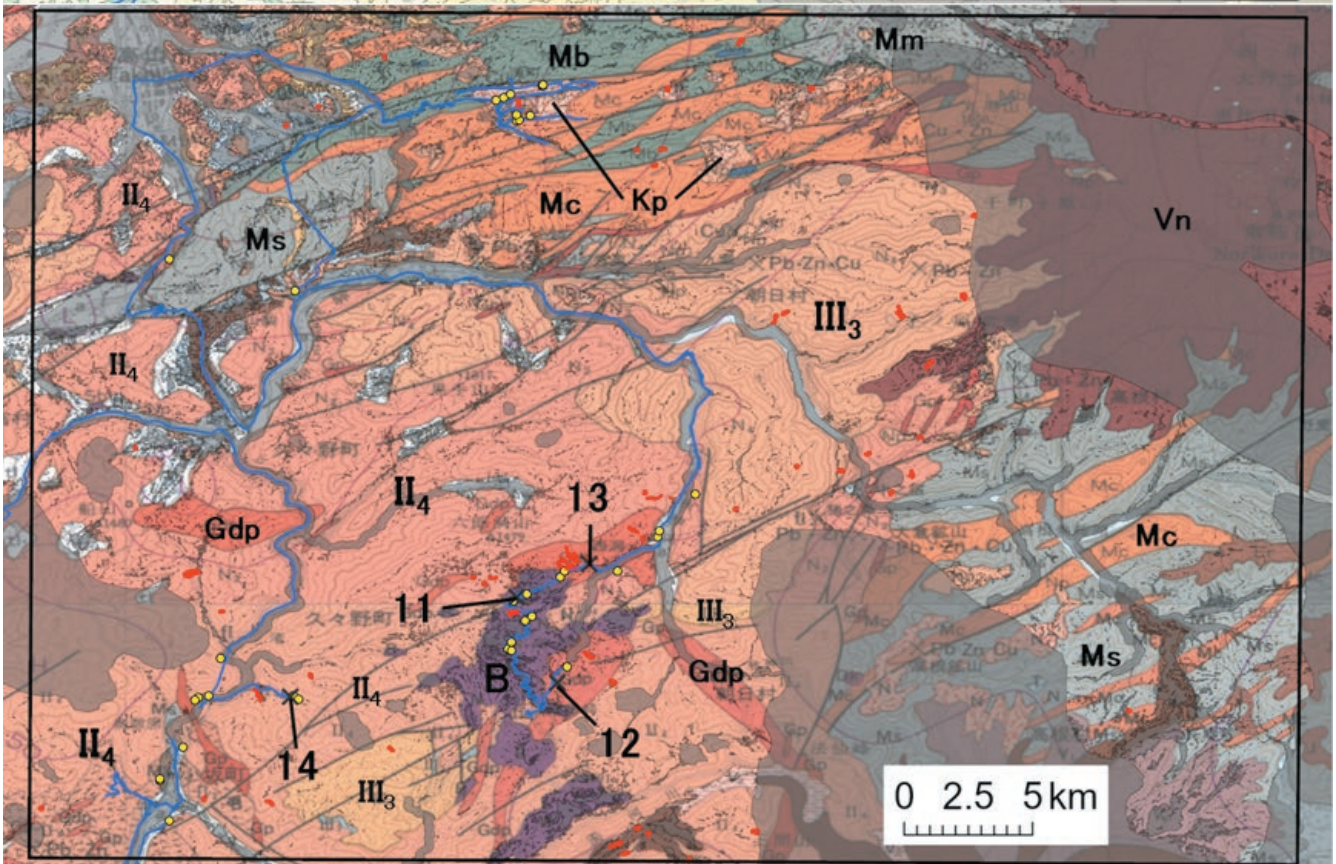
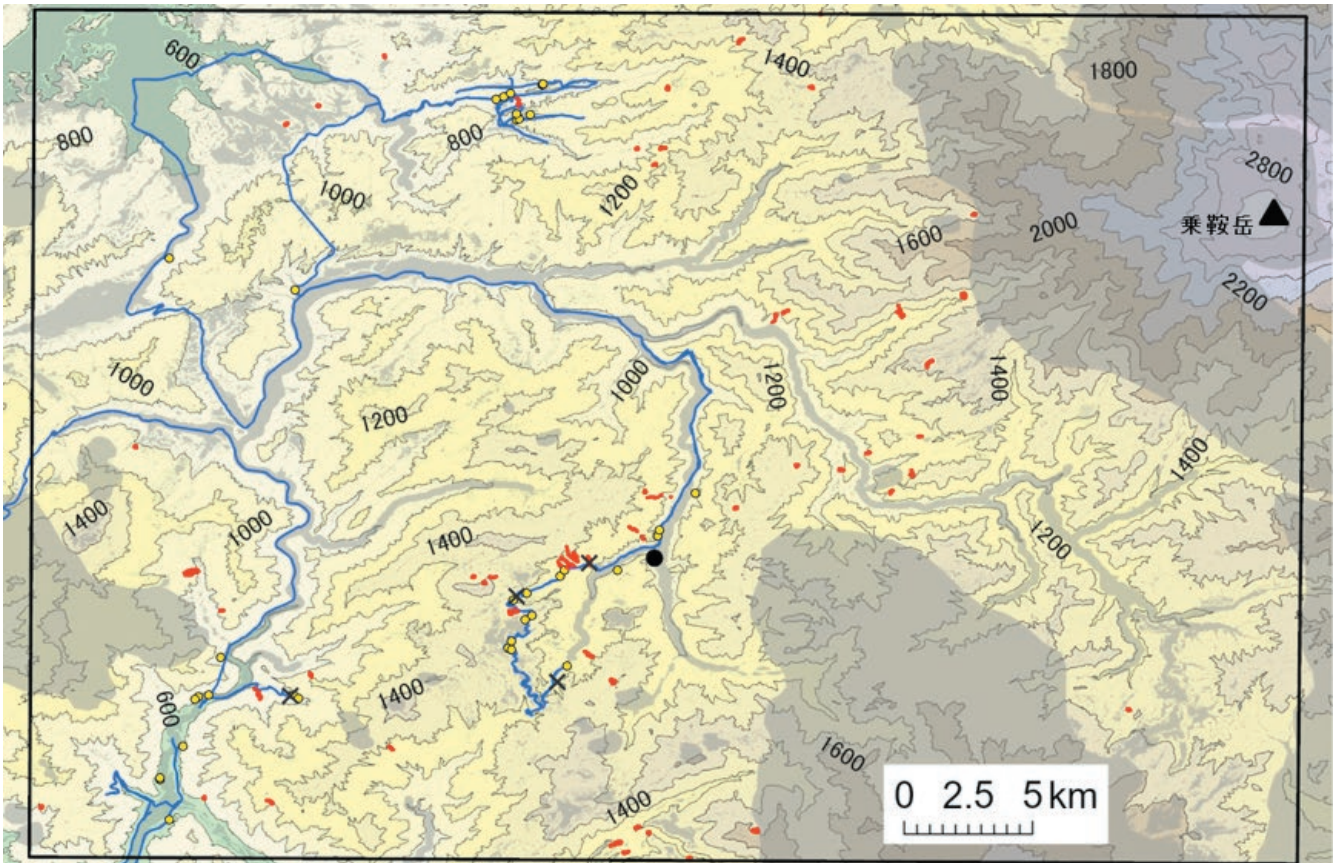
崩壊形状に関しては, レーザー距離計(MDL製, LaserAce300)を用いて, 崩壊地の斜面勾配・崩壊厚・崩壊幅を求めた。ここで崩壊厚は, 斜面法線方向の平均的な厚さである。

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 cm³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・



- 図2** 地形(上), 地質(下)と斜面変動の分布. ×: 調査地点, 赤色: 土砂移動範囲, 黒枠線: 判読範囲, 黒網線: 判読不能範囲, 青線: 調査ルート, 黄丸: 調査ルート上から目視で確認できた斜面変動による土砂流出箇所. 地形図は, 国土地理院の10m DEMを使用し作成した(等高線間隔は200 m). 地質図は, 産業技術総合研究所の20万分の1地質図幅「高山」(下図の北側; 山田ほか, 1990)と「飯田(第2版)」(下図の南側; 山田ほか, 1990).
- ・ 更新世前期-中期上宝火砕流堆積物 Kp: 黒雲母流紋岩溶結凝灰岩(基部に安山岩凝灰角礫岩を伴う)
 - ・ 中新世後期-完新世乗鞍火山噴出物 Vn: 普通輝石紫蘇輝石安山岩・黒雲母紫蘇輝石角閃石安山岩-デイサイトなどの溶岩
 - ・ 鮮新世-前期更新世上野玄武岩類 B: かんらん石玄武岩および普通輝石かんらん石玄武岩の溶岩(玄武岩質安山岩溶岩を伴う)
 - ・ 後期白亜紀花崗閃緑斑岩 Gdp: 角閃石黒雲母花崗閃緑斑岩
 - ・ 後期白亜紀濃飛流紋岩類 III₃: 流紋岩溶結凝灰岩(ステージIII), II₄: 流紋デイサイト・流紋岩溶結凝灰岩(ステージII)
 - ・ ジュラ紀美濃帯ジュラ系 Mm: メランジ(泥岩基質中に砂岩・チャート・石灰岩・玄武岩の岩塊を含む), Ms: 塊状砂岩・砂岩泥岩互層および珪質泥岩(礫岩を伴う)
 - ・ 二疊紀-三疊紀美濃帯ジュラ系中の異地性岩体 Mc: チャート, Mb: 玄武岩溶岩・凝灰岩

Fig. 2 Landform (Upper), geology (Lower) with slope movement range. Crosses show survey points. Red shading areas are sediment movement regions over the survey area surrounded by black line while grey areas are unreadable regions. Yellow circles show sediment runoffs along survey route (blue line). Landform is based on 10m DEM of GSI. The contour interval is 200 m. Geology is obtained from the GSJ geological map of Japan 1:200,000 “Takayama” (Yamada *et al.*, 1989) and “Iida (2nd ed.)” (Yamada *et al.*, 1990).

Early-Middle Pleistocene Kamitakara pyroclastic flow deposit- Kp: biotite rhyolite welded tuff (with andesite tuff breccia at the base).

Middle Pleistocene to Holocene products of Norikura volcano- Vn: Lavas of augite-hypersthene andesite, biotite-hypersthene-hornblende andesite-dacite, etc.

Pliocene to early Pleistocene Ueno basalts- B: olivine basalts and augite-olivine basalt lavas (with basaltic andesite lavas).

Late Cretaceous granodiorite porphyry - Gdp: granodiorite porphyry, hornblende-biotite granodiorite porphyry.

Late Cretaceous Nohi rhyolite- III₃: rhyolite welded tuff (stage III), II₄: rhyodacite and rhyolite welded tuff (stage II).

Jurassic formation of the Mino Belt- Mm: melange (including blocks of sandstone, chert, limestone and basalt in muddy matrix, Ms: massive sandstone, interbedded sandstone and mudstone, and siliceous mudstone (with conglomerate).

Permian to Triassic exotic blocks in the Jurassic formation of the Mino Belt- Mc: chert, Mb: basalt lava and tuff.

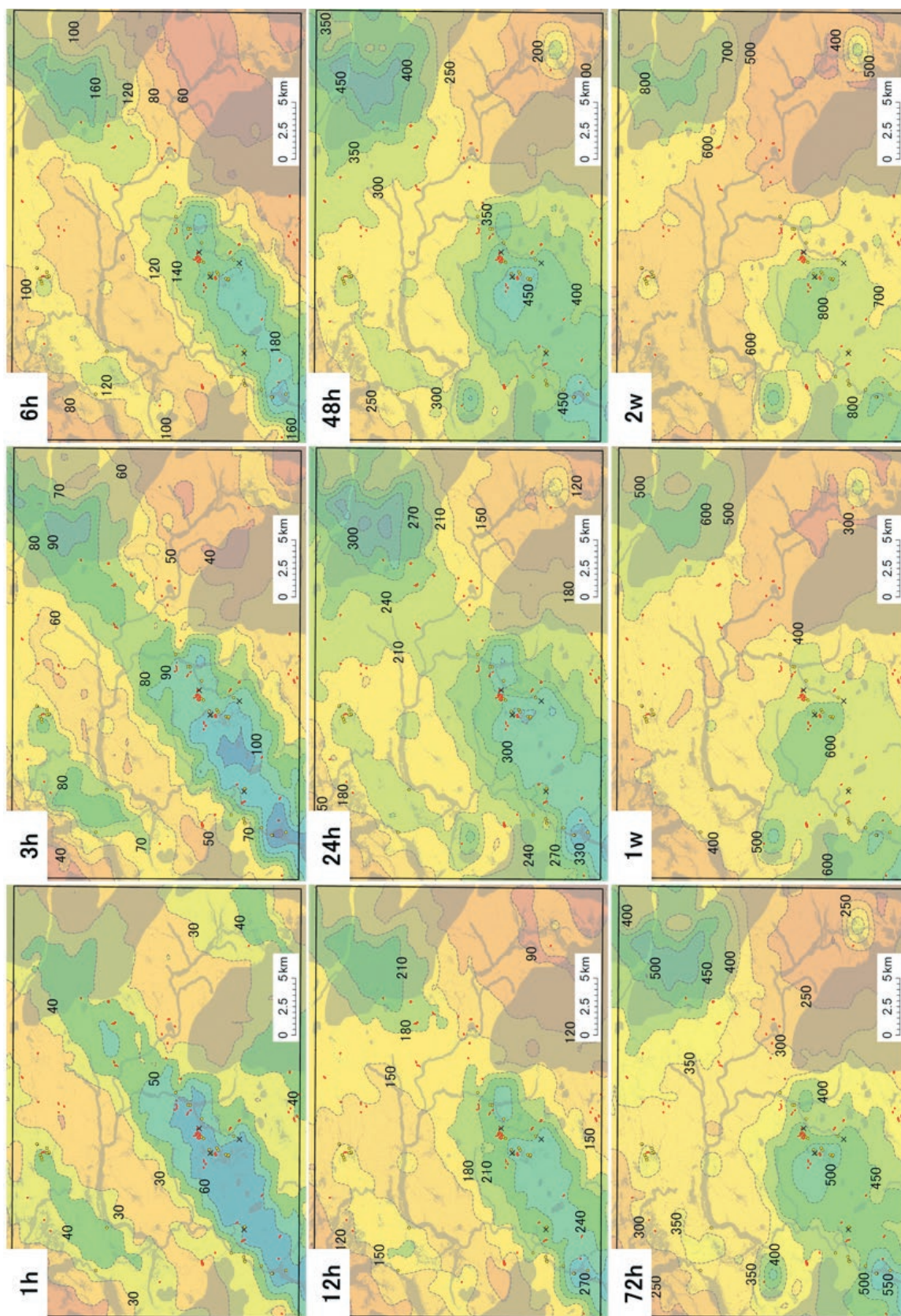


図3 気象庁解析雨量による2020/7/6～7/8における最大1時間、3時間、6時間、12時間、24時間、48時間、1週間、2週間雨量の分布。単位はmm。赤色：土砂移動範囲、黒枠線：判読範囲、灰色：判読不能範囲。黄丸：調査ルート上から目視で確認できた斜面変動による土砂流出箇所。

Fig. 3 Distribution of 1h, 3h, 6h, 12h, 24h, 48h, 1wk and 2wks maximum total rainfall accumulation (mm) over the period from July 6 to 8, 2020 based on the JMA Radar/rain gauge analyzed precipitation. Red shading areas are sediment movement regions over the survey area surrounded by black line while grey areas are uncreadable regions. Yellow circles show sediment runoffs.

表1 斜面変動が集中した高山市朝日町西洞周辺における気象庁解析雨量による2020/7/6～7/8における最大1時間、3時間、6時間、12時間、24時間、48時間、72時間、1週間、2週間雨量の各最大値。年平均降水量は付近のアメダス地点の値。

Table 1 Greatest value of 1h, 3h, 6h, 12h, 24h, 48h, 72h, 1wks and 2wks maximum total rainfall accumulation (mm) over the period from July 6 to 8, 2020 based on the JMA Radar/raingauge analyzed precipitation around Asahicho Nishibori, Takayama City. Annual average precipitation is obtained from the nearby AMeDAS sites.

	1時間 雨量 mm	3時間 雨量 mm	6時間 雨量 mm	12時間 雨量 mm	24時間 雨量 mm	48時間 雨量 mm	72時間 雨量 mm	1週間 雨量 mm	2週間 雨量 mm	年平均 降水量 mm
高山市・下呂市 (2020/7)										
高山市朝日町西洞周辺	約65	約100	約180	約250	約330	約460	約520	約635	約820	2,016 (宮之前)

表2 各調査地点における調査項目
Table 2 Measurement items.

	地質	崩壊形状	土層構造	土層・岩石の物理 的・力学的性質	土層・岩石 の鉱物組成
地点11	玄武岩(B)	○	○	○	○
地点12	花崗閃緑斑岩(Gdp)	○	-	土層のみ	土層のみ
地点13	花崗閃緑斑岩(Gdp)	-	-	岩石のみ	岩石のみ
地点14	流紋デイサイト溶結凝灰岩(II ₄)	○	-	○	○

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 (mm)を、 $P = 100 X / (0.7952 (40 - X)^2)$ の式により換算した支持強度 P (kgf/cm²)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℃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(γ_{nat} , gf/cm³)と乾燥単位体積重量(γ_d , gf/cm³)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 , g/cm³, JIS A 1202), 800℃加熱による強熱減量(L_i , %, 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(γ_{sat} , gf/cm³), 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。

岩石に関しては、サンプル袋に試料を採取し、自

然単位体積重量と乾燥単位体積重量は砂置換法(JIS A 1214)により計測し、飽和透水係数・土壌硬度・粒度組成を除くその他の物性は土層と同じ方法で計測した。

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やハロイサ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 μ m以下に抽出した粘土試料(非処理, エチレンジリコール(EG)処理, および150℃, 350℃, 550℃加熱処理)に対して、それぞれ実施した。ここで、土層の粘土試料と岩石のバルク試料は定方位法で分析し粘土鉱物の同定に、土層と岩石の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。

不定方位法試料のXRDチャートからの各鉱物の判定はChen(1977)に従い、また定方位法試料からの粘土鉱物の判定は以下のように行った。すなわち、緑泥石は、非処理(AD)において14.2～14.4Å(20

= 6.1 ~ 6.2°) と 7.1 ~ 7.2 Å (12.2 ~ 12.5°) と 3.53 ~ 3.58 Å (24.8 ~ 25.2°) に底面反射があり、EG 処理で変化せず、550 °C でも 14.2 ~ 14.4 Å と 7.1 ~ 7.2 Å の底面反射が消失しないことから同定した。パーミキュライトは非処理における 14 ~ 15 Å (5.8 ~ 6.3°) の底面反射が EG 処理で変化せず、さらに 150 °C・350 °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 °C で約 10 Å (8.8°) の反射として現れることにより同定した。14 Å 中間体(緑泥石-パーミキュライト中間体)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 °C で 11.7 Å (7.6°) 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 Å 中間体の中間的なものは両者を併記した(V/14)。雲母粘土鉱物は、非処理における約 10 Å の底面反射が EG で変化せず、350 °C・550 °C で徐々に反射が大きくなることから同定した。ハロイサイトは、非処理における約 10 Å、約 7.5 Å (11.8°)、約 7 Å のいずれかにピークをもつ連続した底面反射が EG 処理で最大 10.5 ~ 11.1 Å (8.0 ~ 8.4°) まで膨潤すること、150 °C・350 °C で層間水の脱水により 10 Å 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。ここで、約 7.3 ~ 7.5 Å (11.8 ~ 12.1°) に底面反射を示し、EG 処理で膨潤しない鉱物は、ハロイサイトの可能性もあるが、膨潤性を示さないことを考慮して本報ではカオリン鉱物に分類した。なお、緑泥石が十分に存在する場合、塩酸処理による分析を実施していないため、約 7 Å の底面反射は、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について確認できなかった。ギブサイトは、非処理における 4.8 Å (18.3°) の底面反射が存在し、この反射が 350 °C ないしは 550 °C 消失することから同定した。また、ハイドロパイオタイト(黒雲母とパーミキュライトの 1:1 規則混合層鉱物)は、非処理における 24 ~ 27 Å (3.3 ~ 3.7°) の底面反射とその 2 次反射と思われる 12 ~ 13.5 Å (6.5 ~ 7.4°) の底面反射が EG 処理で変化せず、12 ~ 13.5 Å の底面反射が加熱処

理で層間水の脱水により高角度側に移動し、550 °C で 10 ~ 11 Å (8.0 ~ 8.8°) の底面反射を示すことにより同定した。

5. 崩壊地の岩石・土層物性の調査結果

(1) 玄武岩斜面(B, 地点 11)

崩壊形状・土層構造および試料採取

地点 11 の崩壊地で土層・岩石の採取と各種計測を実施した(図 4)。崩壊地は平滑斜面に形成された崩壊厚約 2 m の表層崩壊であり斜面勾配が約 19° と小さい(表 3)。崩壊幅は約 11 m、崩壊長は約 27 m であった。周辺には、主にこのような緩勾配の崩壊が散在していた。

試料は計 5 試料を採取した(図 4)。土層試料は、表層土(0.3 m)とすべり面土層(1.5 m)であり、それぞれの数値は崩壊前地表面からの採取深度である(表 4, 表 5)。すべり面土層は基盤岩の組織が残っていることから原位置風化土、表層土は組織が残っていないことから運積土とそれぞれ判断した。すべり面に風化岩盤が全く露出していないことから、すべり面より深部も土層が存在していると考えられる。岩石試料は、基盤岩と思われる崩土中の風化礫(gravel on slope)を採取した。これらは径 1 mm 以下の斑晶と石基からなる微粒岩石である。

物理的・力学的性質

土層と岩石の物理的・力学的性質を表 4 に、粒度組成を図 5 にそれぞれ示す。表 4 によると、風化礫・すべり面土層・表層土の順に、単位体積重量(乾燥・自然・飽和)が減少し、間隙率・間隙比・含水比・飽和度・強熱減量が増加していた。すべり面土層は粘土・シルト画分が 54% の粘性土であり、表層土(同 24%)よりも細粒であった(図 5)。すべり面土層の飽和透水係数は 10^{-5} cm/sec オーダー(0.9 mm/hr) と小さいが、表層土は 10^{-3} cm/sec オーダー(323 mm/hr) と大きかった(表 4)。表層土は、すべり面土層に比べて粗粒であり、間隙(間隙比・間隙率)が大きいため、透水係数が大きくなったと考えられる。

鉱物組成

図 6 上、図 7 左と表 5 に鉱物組成の測定結果を示す。風化礫の主要な鉱物はこの地域の玄武岩の構成鉱物である斜長石・輝石・かんらん石であり、石英とハロイサイトをわずかに含んでいた。一方、すべり面には非粘土鉱物がほとんど存在しておらず、主

要鉱物は膨潤性粘土鉱物のハロイサイトであった。非粘土鉱物がほとんど存在していないため風化礫との関係は不明瞭であるが、ハロイサイトは斜長石・輝石・かんらん石の主要な風化生成物の1つであることから、これらの風化生成物の可能性が高い。一方、表層土には、石英・緑泥石・パーミキュライトないしは14 Å中間体・ギブサイトなどすべり面と岩石にほぼ含まれていない鉱物が存在している。表層土は、すべり面よりも粗粒であることを考慮すると、異なる地質起源の風化物と考えられ、運積土ないしは盛土と判断される。

玄武岩斜面の崩壊・土層の特徴

現地調査や各分析結果から、玄武岩を基盤岩とする斜面には、斜面勾配が小さな表層崩壊(調査斜面は19°)が散在していた。すべり面土層は、母岩の斜長石・輝石・かんらん石の風化生成物と考えられる

膨潤性粘土鉱物のハロイサイトが大部分をなす粘性土であった。すなわち、すべり面は膨潤性粘土鉱物を大量に含む土層であるため、降雨浸透により含水した場合は、せん断強度定数(c, ϕ)が著しく小さくなり、そのため緩勾配斜面で崩壊が発生したと考えられる。また、膨潤性粘土鉱物からなる粘性土であるため透水性が極めて小さく、すべり面より深部への降雨浸透を妨げることで崩壊を促したと考えられる。

表3 斜面崩壊形状

Table 3 Slope form of failure scars.

	地質	崩壊勾配	崩壊幅	崩壊長	崩壊厚
地点11	B	約19°	約11m	約27m	約2m
地点12	Gdp	約25°	約9m	約28m	約1m
地点14	II ₄	約39°	約12m	約16m	約1m

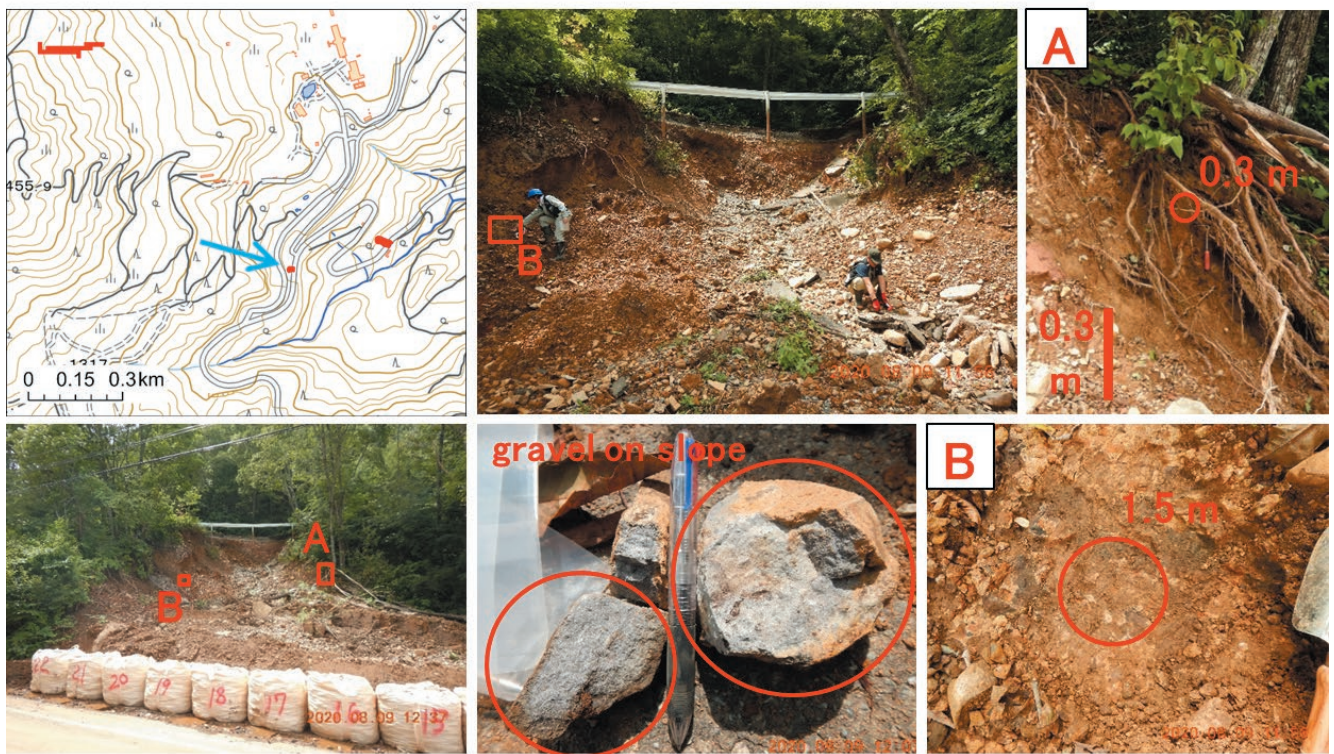


図4 地点11 (B, 玄武岩)の斜面崩壊の様子。(左上)斜面位置。赤色は斜面変動範囲であり、東側の2つの崩壊地は現地調査に基づき加筆。背景は国土地理院の標準地図(25,000分の1地形図,等高線間隔は10m)。(左下)崩壊地全景。(中央上)崩壊地源頭部。(右上, A)表層土層。(右下, B)すべり面の土層。(中央下)基盤岩と思われる転石。表層土層(0.3 m)は運積土,すべり面の土層(1.5 m)は原位置風化土と思われる。赤丸で試料を採取した。

Fig. 4 Slope failure at point 11 (B, basalt). (Top left panel) Location of surveyed slope. Red shading areas are sediment movement regions. Two slope failures in the east side are added based on field survey. Base-map is obtained from standard map of GSI. Contour interval is 10 m. (Bottom left panel) panoramic view of the slope failure. (Top center panel) view of the failure scar. (Top right panel, A) cross section of the side scarp. (Bottom right panel, B) cross section of the slip plane. (Bottom center panel) gravel on the slope that seems to be bedrock. It is estimated that the surface soil (0.3 m) is transported soil and the soil of the slip plane (1.5 m) is *in-situ* weathered soil. Samples were collected at red circles.

表 4 岩石・土層の物理的・力学的性質
Table 4 Physical and mechanical properties of rocks and soil.

	土粒子 単位体積重量 の密度				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		
	乾燥	自然	飽和							平均	標準偏差		
	G_s	γ_d	γ_{nat}	γ_{sat}	n	e	w	S_r	L_i	K_{15}	P		
	g/cm ³	gf/cm ³	gf/cm ³	gf/cm ³	%		%	%	%	cm/sec	mm/hr	kgf/cm ²	kgf/cm ²
地点11_ B													
0.3 m (surface soil)	2.57	0.65	1.05	1.39	74.8	2.97	68.0	53.9	18.9	8.97×10^{-3}	323	4.2	1.7
1.5 m (slip plane, <i>in situ</i>)	2.74	0.95	1.54	1.60	65.5	1.89	55.4	90.2	14.3	2.52×10^{-5}	0.9	5.6	1.3
gravel on slope (slightly weatherd)	2.93	2.58	2.68	2.70	11.8	0.13	4.0	88.1	3.7	-	-	-	-
地点12_ Gdp													
0.5 m (surface soil, <i>in situ</i>)	2.64	-	-	-	-	-	35.1	-	8.8	-	-	-	-
1.1 m (slip plane, <i>in situ</i>)	2.63	-	-	-	-	-	18.6	-	4.4	-	-	-	-
地点13_ Gdp													
gravel by debris flow 2 (moderately weathered)	2.68	2.18	2.19	2.37	18.5	0.23	0.4	4.7	1.1	-	-	-	-
gravel by debris flow 1 (slightly weatherd)	2.68	2.59	2.60	2.62	3.3	0.03	0.5	40.8	1.9	-	-	-	-
地点14_ II ₄													
0.45 m (surface soil)	2.61	0.87	1.15	1.54	66.7	2.00	30.5	42.2	6.6	8.91×10^{-3}	321	2.0	0.3
1.0 m (slip plane, <i>in situ</i>)	2.59	1.31	1.73	1.81	49.3	0.97	32.9	83.9	8.9	1.45×10^{-5}	0.5	10.8	3.8
gravel on slope 2 (slightly weatherd)	2.68	2.42	2.43	2.52	9.8	0.11	0.4	9.7	1.1	-	-	-	-
gravel on slope 1 (slightly weatherd)	2.66	2.51	2.52	2.57	5.8	0.06	0.4	18.0	0.7	-	-	-	-

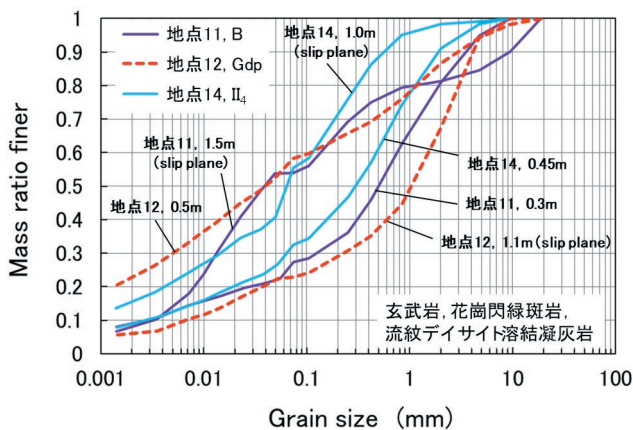


図 5 玄武岩(地点 11), 花崗閃緑斑岩(地点 12), 流紋デイサイト溶結凝灰岩(地点 14)の土層の粒度組成.

Fig. 5 Grain size distribution of soils in the basalt (B, Point 11), granodiorite porphyry (Gdp, Point 12) and rhyodacite welded tuff (II₄, Point 14).

(2) 花崗閃緑斑岩斜面(Gdp, 地点 12, 13)

崩壊形状・土層構造および試料採取

地点 12 の崩壊地で土層の採取と各種計測を実施し, 地点 13 の土石流堆積地では岩石の採取を行った(図 8, 図 9). 地点 12 の崩壊地は谷頭の凹形斜面に形成された崩壊厚約 1 m の表層崩壊であり斜面勾配は約 25° とやや小さい(表 3). 崩壊幅は約 9 m, 崩壊長は約 28 m であった. 表層崩壊の崩土は

谷底まで約 120 m 流下した(図 8). 花崗閃緑斑岩の地域では斜面崩壊だけでなく土石流も目立っており, 例えば地点 13 とその付近には複数存在している(図 9 左上).

試料は計 4 試料を採取した(図 8, 図 9). 土層試料は, 表層土(地点 12 の 0.5 m)とすべり面土層(地点 12 の 1.1 m)である(表 4, 表 5). これらはマサ土(花崗岩質岩石などが風化した石英砂を含む土)であり, 基盤岩の組織が残っていることから原位置風化土と判断した. すべり面の一部には風化岩盤が露出しており, すべり面の直下は比較的硬質で難透水性と考えられる地盤が露出していた(図 8 中央下). 岩石試料は, 基盤岩と思われる土石流堆積物中の風化礫(地点 13 の gravel by debris flow 1, 2)を採取した. これらは径 1 ~ 5 mm の斑晶(一部は約 15 mm に及ぶ)を主とする石基が少ない中粒岩石である.

物理的・力学的性質

土層と岩石の物理的・力学的性質を表 4 に, 粒度組成を図 5 にそれぞれ示す. 土層は試料を採土缶に採取していないため, 単位体積重量・間隙率・間隙比・飽和度・飽和透水係数の計測を実施していない. 表 4 から, 風化礫・すべり面土層・表層土の順に, 土粒子密度が減少し, 含水比・飽和度・強熱減量が増加していることから, 表層に向かって風化が進んで

表5 XRDによる鉱物同定結果
Table 5 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	Px	Ol	Z	(wt %)	Ch	14Å	V/14	M	Hal	K	Gbs	Hbt	
地点11_B																
0.3 m (surface soil)	++	-	++	-	-	-	24.4	+	-	++	(+)	-	??	+	-	
1.5 m (slip plane, in situ)	-	-	-	-	-	-	53.9	-	-	-	-	++	-	-	-	
gravel on slope (slightly weatherd)	(+)	-	++	+	+	-		-	-	-	-	(+)	-	-	-	
地点12_Gdp																
0.5 m (surface soil, in situ)	++	(+)	(+)	-	-	-	55.8	(+)	-	+++	+	-	++	++	-	
1.1 m (slip plane, in situ)	++	+	+	-	-	-	22.7	(+)	++	-	+	+	++	+	-	
地点13_Gdp																
gravel by debris flow 2 (moderately weathered)	+	+	++	-	-	-		(+)	-	-	-	-	+	-	-	
gravel by debris flow 1 (slightly weatherd)	+	+	++	-	-	-		(+)	-	-	+	-	+	-	-	
地点14_II ₄																
0.45 m (surface soil)	++	-	+	-	-	-	29.6	-	-	++	++	-	+	++	++	
1.0 m (slip plane, in situ)	++	-	+	-	-	+	49.2	-	-	-	++	(+)	-	++	-	
gravel on slope 2 (slightly weatherd)	++	-	++	-	-	-		-	-	-	+	-	-	-	-	
gravel on slope 1 (slightly weatherd)	++	-	++	-	-	-		(+)	-	-	(+)	-	(+)?	-	-	

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

Qtz: 石英, Kfs: カリ長石, Pl: 斜長石, Px: 輝石, Ol: かんらん石, Z: 沸石, Ch: 緑泥石, 14Å: 14Å中間体, 14/V: 14Å中間体またはパーミキュライト, Sm: スメクタイト, M: 雲母粘土鉱物, Ha: ハロイサイト, K: カオリン鉱物, Gbs: ギブサイト, Hbt: ハイドロバイオタイト

いると考えられる。すべり面土層は粘土・シルト画分が23%の比較的粗粒のマサ土である(図5)。表層土もマサ土であるが粘土・シルト画分が56%と細粒化が進んでいる。

鉱物組成

図6下, 図7右と表5に鉱物組成の測定結果を示す。風化礫・すべり面土層・表層土の主要な非粘土鉱物は斜長石・カリ長石・石英である。斜長石は表層に向かって大きく減少し, カリ長石はやや減少した。粘土鉱物に関しては, 風化岩には雲母粘土鉱物・カオリン鉱物・緑泥石が存在し, 土層にはこれらに加えて, 14 Å 中間体またはパーミキュライト・ギブサイト・ハロイサイトが形成されていた。カオリン鉱物は岩石より土層の方が増加していた。ハロイサイトはすべり面土層で検出されたが少量である。これらの粘土鉱物の多くは, 斜長石とカリ長石の風化生成物と考えられる。なお, 山田・小林(1988)はこの地域の花崗閃緑斑岩(オコズリ谷岩体)には斜長石・カリ長石・石英だけでなく緑泥石化した角閃石や黒雲母が含まれていると指摘していることから, 緑泥石はこれらを起源とすると考えられる。

花崗閃緑斑岩斜面の崩壊・土層の特徴

現地調査や各分析結果から, 花崗閃緑斑岩を基盤岩とする調査斜面では, 斜面勾配が25°とやや小さな表層崩壊が発生し, 崩土は谷底まで約120 m 流

下した。この地質では土石流が複数発生しており, 図9左上を見ると多くが斜面上部から土砂移動が始まっていることから, 斜面崩壊が流動化したと考えられる。土層はマサ土であり, 斜長石とカリ長石などの風化により, 非膨潤性粘土鉱物である14 Å 中間体またはパーミキュライト・カオリン鉱物・ギブサイトなどが生成されたと考えられる。すべり面土層は, 粘土・シルト画分が少ないマサ土であるため, 透水性が大きくてせん断強度定数(特にc)が小さいと考えられる。すなわち, 崩壊・流動化しやすい土質であると考えられ, そのため斜面勾配がやや小さな斜面でも崩壊が発生したと推察される。また, すべり面の直下は比較的硬質で難透水性の地盤であると考えられることから, すべり面より深部への降雨浸透を妨げることで崩壊を促したと考えられる。

(3) 流紋デイサイト溶結凝灰岩(II₄, 地点14)

崩壊形状・土層構造および試料採取

地点14の崩壊地で土層・岩石の採取と各種計測を実施した(図10)。崩壊地はやや凹形の斜面に形成されており, 斜面勾配が約39°, 崩壊幅は約12 m, 崩壊長は約16 m, 崩壊厚約1 mの表層崩壊であった(表3)。周辺には, このような急勾配斜面での崩壊が散在していた。

試料は計4試料を採取した(図4)。土層試料は, 表層土(0.45 m)とすべり面土層(1.0 m)である(表4,

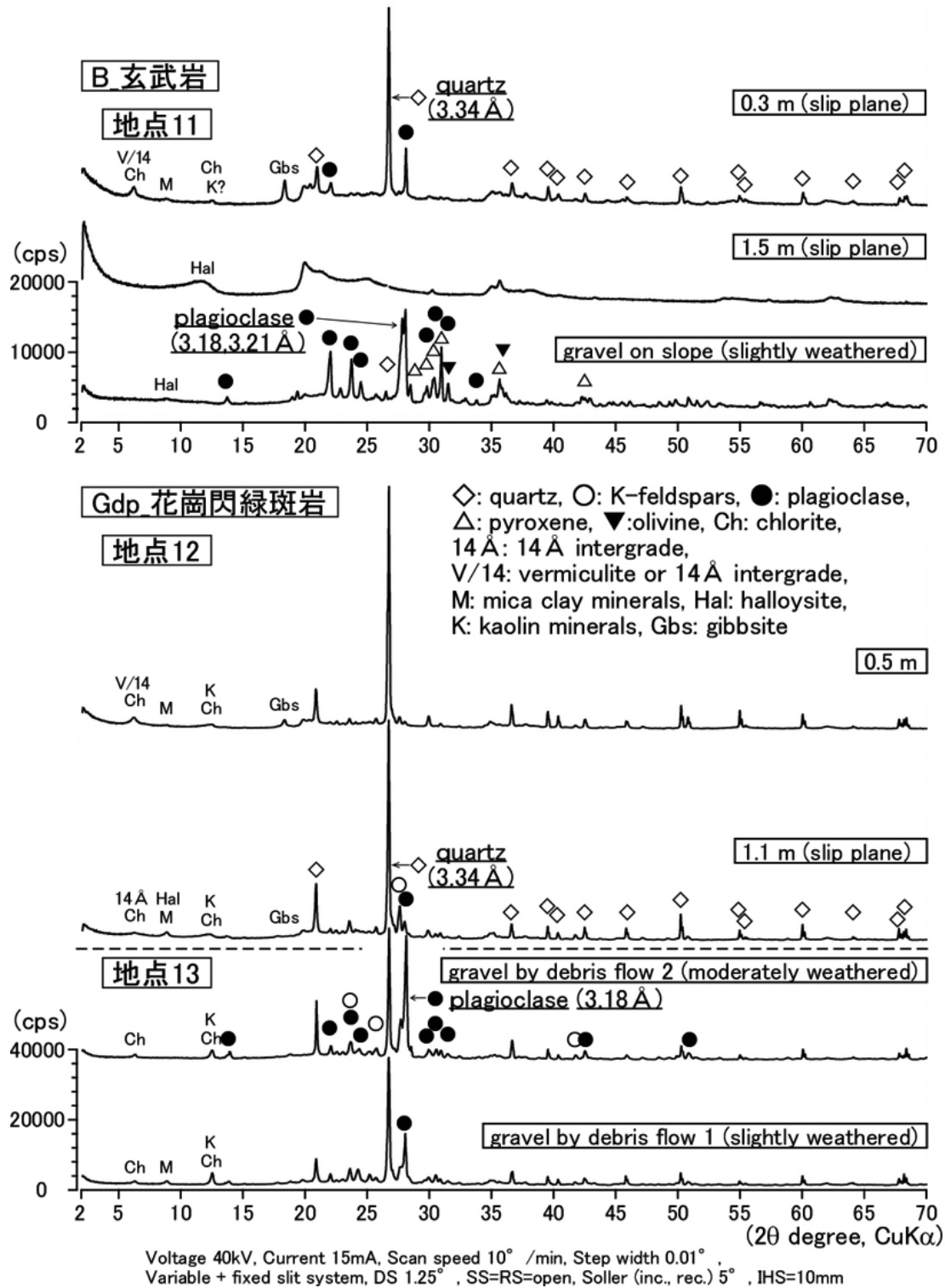


図 6 玄武岩(地点 11)と花崗閃緑斑岩(地点 12, 13)における岩石・土層のバルク試料の XRD チャート。粘土鉱物については、粘土試料の同定結果を記載した。

Fig. 6 X-ray diffractograms for bulk samples of rock and soil for the basalt (B, Point 11) and granodiorite porphyry (Gdp, Points 12, 13). The mineral-identification results of clay samples were described for clay minerals.

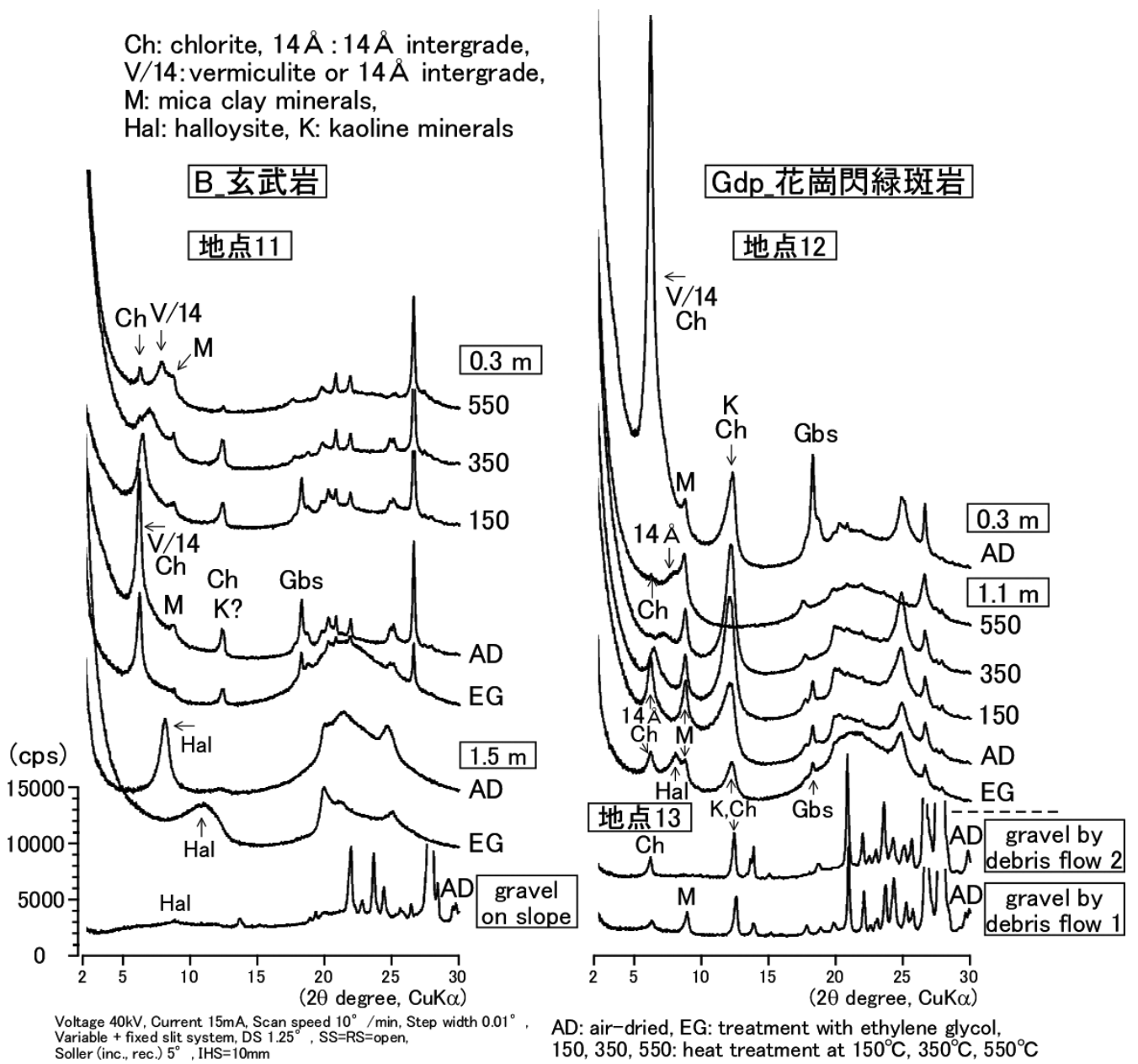


図7 玄武岩(地点11)と花崗閃緑斑岩(地点12, 13)における岩石・土層の粘土鉱物のXRDチャート.
Fig. 7 X-ray diffractograms for clay minerals of rock and soil for the basalt (B, Point 11) and granodiorite porphyry (Gdp, Points 12, 13).

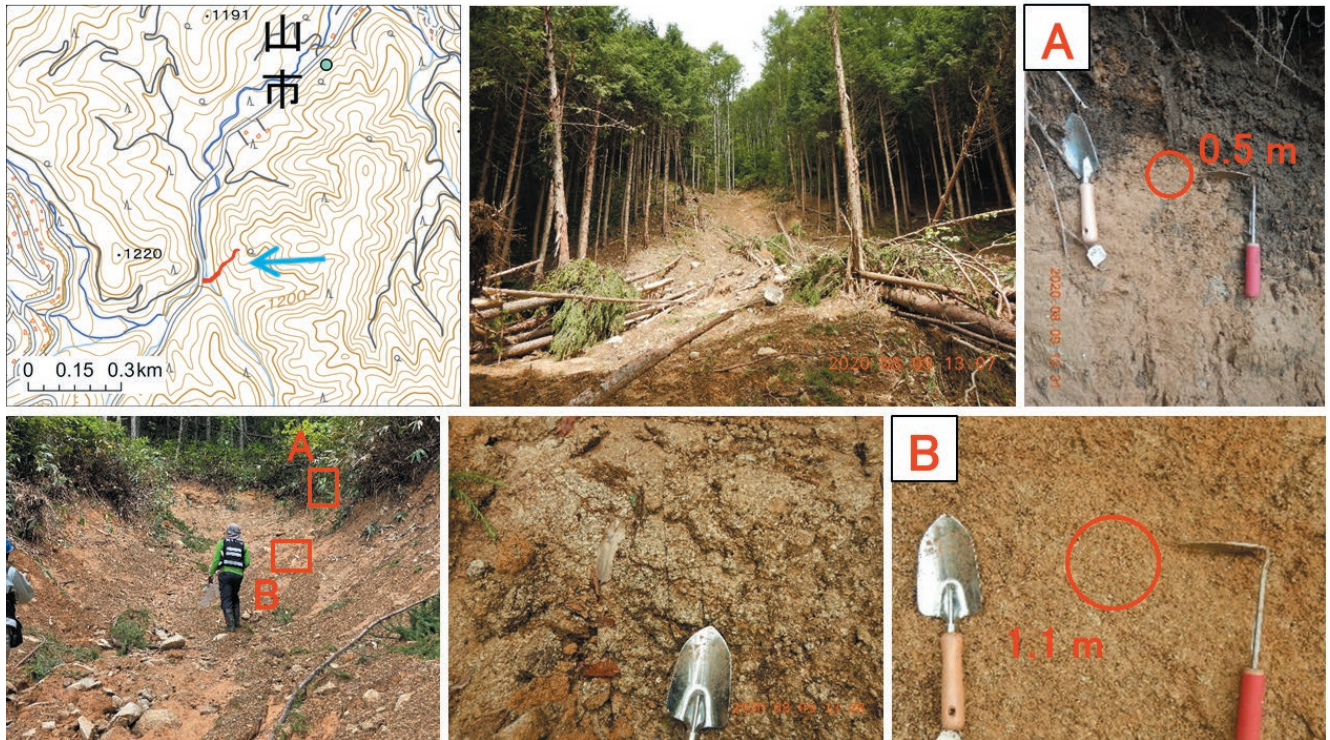


図 8 地点 12 (Gdp, 花崗閃緑斑岩) の斜面崩壊の様子。(左上)斜面位置。赤色の斜面変動範囲と水色の土砂流出箇所は現地調査に基づく。背景は国土地理院の標準地図(25,000分の1地形図, 等高線間隔は 10 m)。(中央上)崩壊地全景。(左下)崩壊地源頭部。(中央下)すべり面に露出した強風化岩盤。(右上, A)表層土層。(右下, B)すべり面の土層。表層土層(0.5 m)とすべり面の土層(1.1 m)はいずれも原位置風化土と思われる。赤丸で試料を採取した。

Fig. 8 Slope failure at point 12 (Gdp, granodiorite porphyry). (Top left panel) Location of surveyed slope. Sediment movement region (red shading area) and sediment runoff (light blue circle) are based on field survey. Base-map is obtained from standard map of GSI. Contour interval is 10 m. (Top center panel) panoramic view of the slope failure. (Bottom left panel) view of the failure scar. (Top right panel, A) cross section of surface soil in the side scarp. (Bottom right panel, B) cross section of the slip plane. (Bottom center panel) highly weathered bedrock exposed on the slip plane. It is estimated that both the surface soil (0.5 m) and the soil of the slip plane (1.1 m) are *in-situ* weathered soil. Samples were collected at red circles.

表 5)。これらはマサ土であり、すべり面土層は基盤岩の組織が残っていることから原位置風化土、表層土は組織が残っていないことから運積土とそれぞれ判断した。すべり面の一部には風化岩盤が露出しており、すべり面の直下は比較的硬質で難透水性の地盤であると考えられる。岩石試料は、基盤岩と思われる崩土中の風化礫 (gravel on slope 1, 2) を採取した。これらは最大径約 2 mm の斑晶と石基からなる細粒岩石である。

物理的・力学的性質

土層と岩石の物理的・力学的性質を表 4 に、粒度組成を図 5 にそれぞれ示す。表 4 から、土層は岩石よりも、土粒子密度と単位体積重量(乾燥・自然・飽和)が小さくて、間隙率・間隙比・含水比・飽和度・強熱減量大きい。これらは風化による土層化

を示していると考えられる。すべり面土層は表層土よりも土粒子密度がやや小さくと強熱減量がやや大きい。また、すべり面土層は、粘土・シルト画分が 49% と多い細粒のマサ土である。表層土は、粘土・シルト画分が 30% でありすべり面土層よりも粗粒である。これらから、すべり面土層は表層土よりも強く風化している可能性がある。すべり面土層の飽和透水係数は 10^{-5} cm/sec オーダー (0.5 mm/hr) と小さいが、表層土は 10^{-3} cm/sec オーダー (321 mm/hr) と大きい(表 4)。表層土は、すべり面土層に比べて粗粒であり、間隙(間隙比, 間隙率)が大きいため、透水係数が大きくなったと考えられる。

鉱物組成

図 11, 図 12 と表 5 に鉱物組成の測定結果を示す。山田・小林(1988)によると、この地域の溶結凝灰岩



図9 地点13 (Gdp, 花崗閃緑斑岩)の岩石採取の様子。(左上)土石流堆積物の位置。赤色が斜面変動範囲で水色が土砂流出箇所。最南端の斜面移動範囲は現地調査を元に加筆。背景は国土地理院の標準地図(25,000分の1地形図, 等高線間隔は10m)。(右上)礫採取地点から見た流域内の様子。(左下)土石流堆積物。礫と土砂が平坦面を形成している。(右下)基盤岩と思われるやや風化した土石流堆積物中の礫。(右下)基盤岩と思われる中風化した土石流堆積物中の礫。赤丸で試料を採取した。

Fig. 9 Rock samples of granodiorite porphyry (Gdp) at point 13. (Top left panel) Location of debris-flow deposits. Red shading areas are sediment movement regions. The southernmost sediment movement region is added based on field survey. Base-map is obtained from standard map of GSI. Contour interval is 10 m. (Top right panel) view in the watershed from above the deposits. (Bottom left panel) view of the deposits. Gravels and soil form a flat surface. (Bottom center and right panels) sampled slightly weathered (1) and moderately weathered (2) gravels that seems to be bedrock.

(東俣一船山溶結凝灰岩層)は、斜長石と石英を主とし、カリ長石・輝石・黒雲母・角閃石などが含まれるようであるが、本研究の風化礫試料からは非粘土鉱物として斜長石と石英だけがXRDにより同定された。他の鉱物は含まれていたとしてもごく少量と考えられる。土層の主な非粘土鉱物も斜長石と石英であるが、斜長石は岩石よりも減少していた。風化礫には粘土鉱物として雲母粘土鉱物と緑泥石がわずかに含まれていた。すべり面土層の主な粘土鉱物は雲母粘土鉱物とギブサイトであり、わずかにハロイサイトが含まれていた。雲母粘土鉱物・ギブサイト・ハロイサイトは、斜長石とカリ長石の風化生成物と考えられる。表層土には、雲母粘土鉱物とギブサイトの他に、ハイドロバイオタイト、14 Å 中間体ま

たはパーミキュライト、カオリン鉱物が含まれていた。ハイドロバイオタイトは非粘土鉱物の黒雲母からパーミキュライトが生成されるときの中間的な生成物であり、この鉱物の存在は風化(土層化)の初期段階を示している可能性がある。すなわち、上述の物理的性質の結果と同様に、すべり面土層は表層土よりも風化が進行していることを示している。この原因は不明であるが、上述したようにすべり面の直下には難透水性の地盤がすべり面土層は滞水しやすいため風化が進みやすいこと、または表層土が風化程度の弱い岩屑と混ざっていることなどが可能性として挙げられる。

流紋デイサイト溶結凝灰岩斜面の崩壊・土層の特徴
現地調査や各分析結果から、流紋デイサイト溶結



図 10 地点 14 (II₄, 流紋デイサイト溶結凝灰岩) の斜面崩壊の様子。(左上) 斜面位置。赤色が斜面変動範囲で水色が土砂流出箇所。調査した崩壊地の斜面移動範囲は現地調査を元に加筆。背景は国土地理院の標準地図 (25,000 分の 1 地形図, 等高線間隔は 10 m)。(中央上) 崩壊地全景。(中央左下の 2 枚) 基盤岩と思われるやや風化した転石。(右上, A) 表層土層。(右下, B) すべり面の土層。表層土層 (0.45 m) は運積土, すべり面の土層 (1.0 m) は原位置風化土と思われる。赤丸で試料を採取した。

Fig. 10 Slope failure at point 14 (II₄, rhyodacite welded tuff). (Top left panel) Location of surveyed slope. Red shading areas are sediment movement regions. The surveyed slope failure is added based on field survey. Base-map is obtained from standard map of GSI. Contour interval is 10 m. (Top center panel) panoramic view of the failure scar. (Top right panel, A) cross section of the side scarp. (Bottom right panel, B) cross section of the slip plane. (Bottom left and center panels) slightly weathered graves on the slope that seems to be bedrock. It is estimated that the surface soil (0.45 m) is transported soil and the soil of the slip plane (1.0 m) is *in-situ* weathered soil. Samples were collected at red circles.

凝灰岩を基盤岩とする斜面では、急勾配斜面 (調査斜面の勾配は約 39°) での表層崩壊が発生していた。土層はマサ土であり、斜長石とカリ長石などが風化して、非膨潤性粘土鉱物である雲母粘土鉱物とギブサイトが主に生成されたと考えられる。すべり面の土層は、粘土・シルト画分が 49% と細粒であり、膨潤性粘土鉱物をほとんど含んでいない。上述した、主にハロイサイトからなる玄武岩のすべり面土層や、粗粒のマサ土からなる花崗閃緑斑岩のすべり面土層に比べて、この細粒のマサ土はせん断強度定数 (特に c) が大きいと考えられる。そのため、流紋デイサイト溶結凝灰岩斜面は、玄武岩斜面や花崗閃緑斑岩斜面に比べて、急勾配斜面でない崩壊することができなかったと考えられる。

6. 玄武岩・花崗閃緑斑岩・流紋デイサイト溶結凝灰岩の各斜面における崩壊分布に与える土層物性の影響

調査地域の崩壊分布に与える土層物性の影響について、限られたデータからではあるが検討を行う。3 章で述べたように、花崗閃緑斑岩 (Gdp) と玄武岩 (B) の斜面は、流紋デイサイト溶結凝灰岩 (II₄) よりも斜面変動の発生頻度が大きかったが、これは岩石風化により形成された土層の物性が、地質ごとに異なっていたためと考えられる。すなわち、5 章で述べたように、玄武岩斜面では膨潤性粘土鉱物のハロイサイトを多く含み含水時のせん断強度定数 (c, ϕ) が著しく小さいと考えられる粘性土からなるすべり面土層が形成されており、花崗閃緑斑岩では透水性が大きく流動化しやすくせん断強度定数 (特に c)

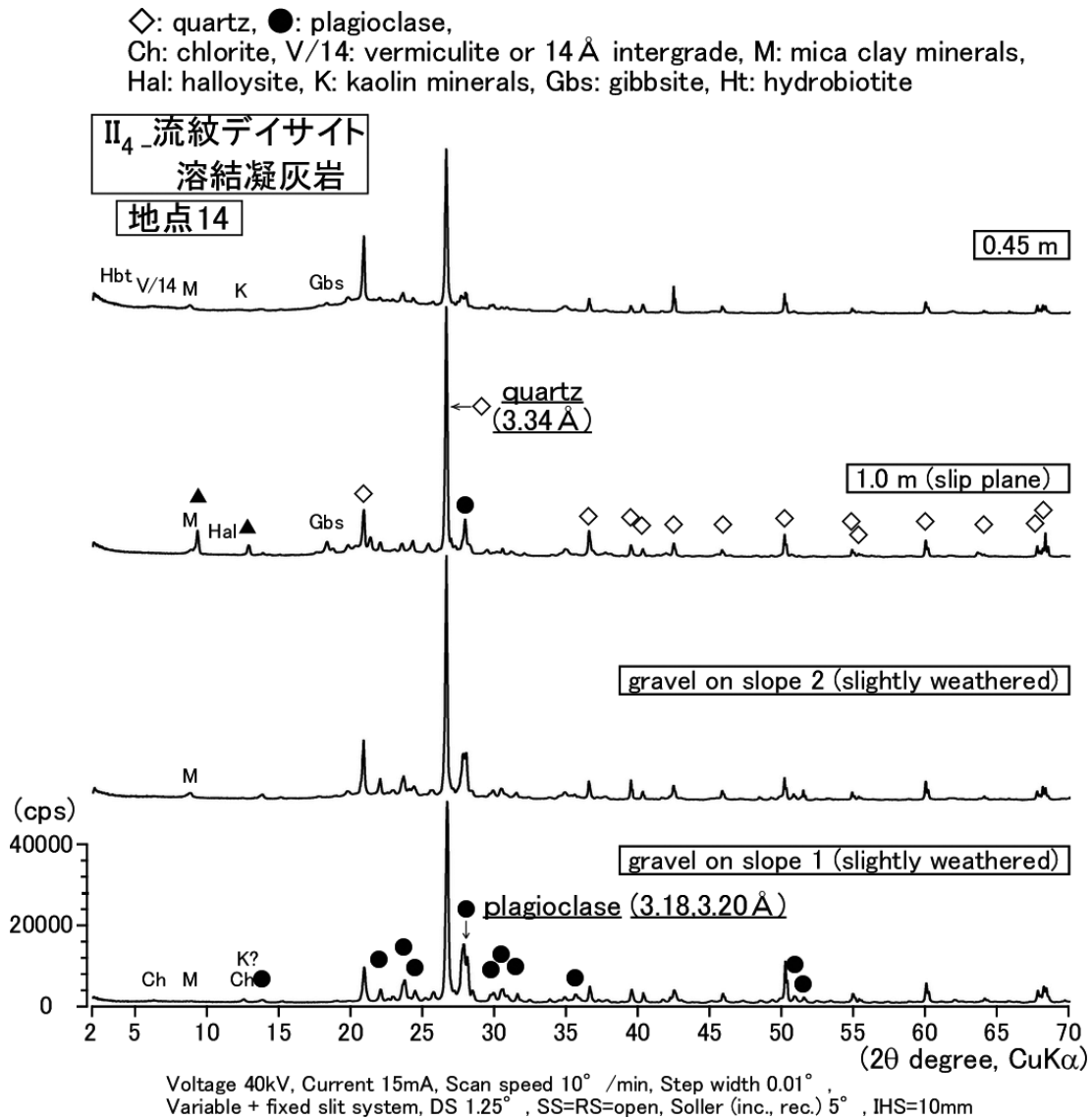


図 11 流紋デイサイト溶結凝灰岩(地点 14)における岩石・土層のバルク試料の XRD チャート。粘土鉱物については、粘土試料の同定結果を記載した。

Fig. 11 X-ray diffractograms for bulk samples of rock and soil for the rhyodacite welded tuff (II₄, Point 14). The mineral-identification results of clay samples were described for clay minerals.

が小さいと考えられる粗粒のマサ土からなるすべり面土層が形成されていたが、流紋デイサイト溶結凝灰岩斜面では膨潤性粘土鉱物をほとんど含まずせん断強度定数(特に c) が大きいと考えられる細粒のマサ土からなるすべり面土層が形成されていた。ここで、花崗閃緑斑岩(中粒岩石)は流紋デイサイト溶結凝灰岩(細粒岩石)よりも粗粒の岩石であったため、相対的に粗粒のマサ土が形成されたと考えられる。以上のような、土層の物性を反映して、玄武岩斜面は緩勾配斜面が多い小起伏山地であっても崩壊が発生

しやすくなり、花崗閃緑斑岩斜面は崩壊やその崩土が流動化した土石流が発生しやすくなったが、流紋デイサイト溶結凝灰岩斜面はこれらの斜面に比べて崩壊・土石流が発生しにくかったと考えられる。また、岩石の構成鉱物の種類や量が等しい場合、化学的・物理的風化が土粒子間の粒界で発生することにより岩石の土粒子化が行われたとすると、細粒土に比べて単位体積当たりの表面積が小さい粗粒土は、相対的に少ない分解・破碎作用により土粒子化が行われるため、土層形成速度が速い可能性がある。す

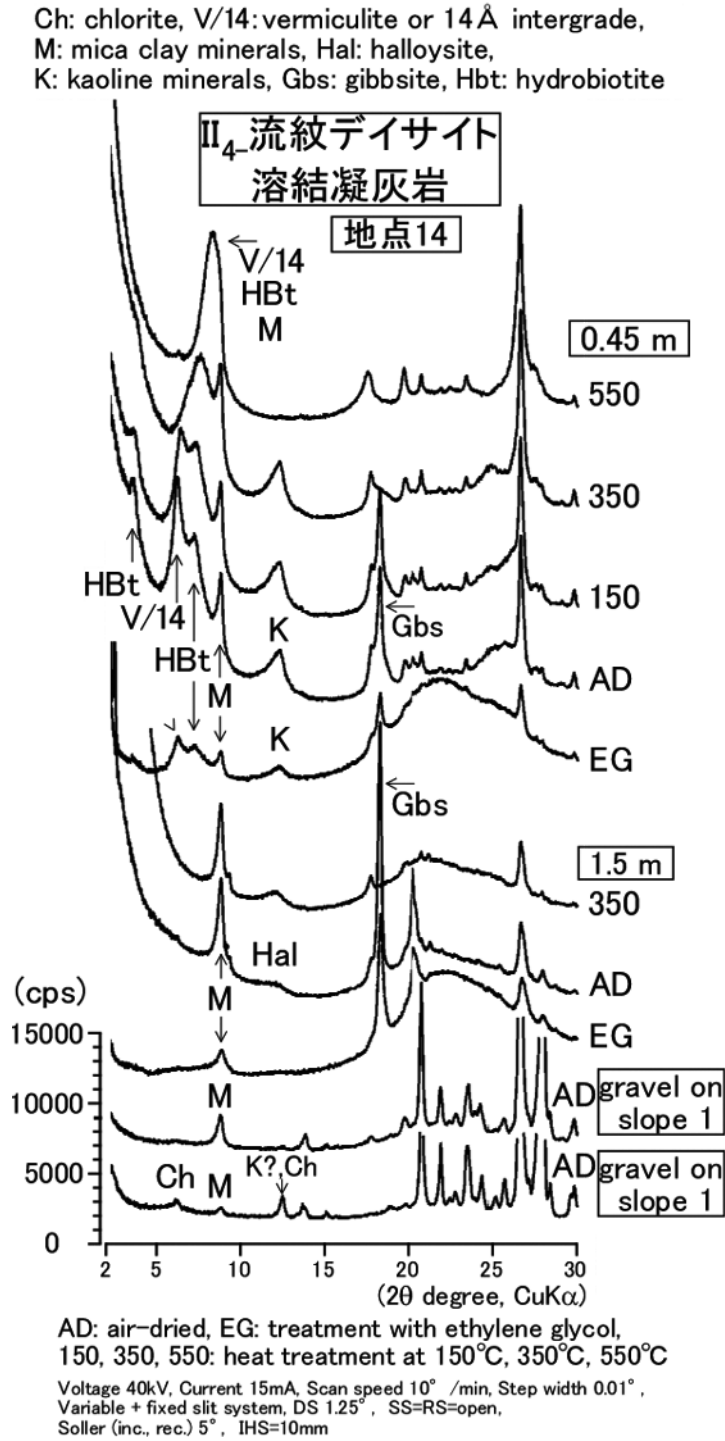


図 12 流紋デイサイト溶結凝灰岩(地点 14)における岩石・土層の粘土鉱物の XRD チャート
Fig. 12 X-ray diffractograms for clay minerals of rock and soil for the rhyodacite welded tuff (II₄, Point 14).

わなち，構成鉱物(石英・長石)が比較的類似している花崗閃緑斑岩と流紋デイサイト溶結凝灰岩の場合は，相対的に粗粒土を形成する花崗閃緑斑岩の方が土層形成速度は速いと考えられ，そのことが斜面変動の発生をさらに促した可能性がある。また，透水

性が低い粘性土からなる玄武岩の土層は短時間での降雨浸透は難しいと考えられるが，本災害は降雨継続型の降雨特性であったため(2章)，すべり面土層までの降雨浸透が可能であったと考えられる。

7. まとめ

令和2年(2020年)7月豪雨における岐阜県高山市南部から下呂市北部の土砂災害を対象として、いくつかの崩壊地の岩石・土層物性の計測を実施した。そして、斜面変動の分布と雨量・地質・土質との関係について若干の考察を行った。結果は以下のようにまとめられる。

- (1) 斜面変動は、調査地域の南西—北東方向の相対的に雨量が多いエリアに多い傾向があり、特に、高山市朝日町西洞周辺で多数発生していた。この地域で斜面変動範囲や土砂流出箇所が集中していたのが花崗閃緑斑岩と上野玄武岩の分布域であり、濃飛流紋岩類の分布域は発生頻度が小さかった。その他、調査地域の北部では上宝火砕流堆積物が分布する高山市滝町周辺に斜面変動が多く、また、二畳紀—三畳紀の玄武岩溶岩・凝灰岩の分布域でも斜面変動は存在していたが、二畳紀—三畳紀のチャートの分布域には斜面変動はほとんど確認できなかった。
- (2) 本災害は、比較的少ない雨が長時間降り続く降雨継続型の降雨により発生したと考えられた。例えば、高山市朝日町西洞周辺では、災害時の最大6時間雨量は約180 mm程度であったが、最大2週間雨量は約820 mmと年降水量の約40%に及んだ。
- (3) 玄武岩の斜面は緩勾配斜面が多い小起伏山地に分布しており、表層崩壊が多発していた。崩壊地の斜面勾配は20°未満と小さい場所が存在していた。これは、斜長石・輝石・かんらん石の風化生成物と考えられる膨潤性粘土鉱物のハロイサイトを主とする、含水時のせん断強度定数(c , ϕ)が著しく小さいと考えられる粘性土がすべり面土層であったためと推察される。また、降雨継続型の降雨特性によって、透水性が低いすべり面土層までの降雨浸透が可能であったと考えられる。
- (4) 花崗閃緑斑岩の斜面は、表層崩壊や土石流が多数発生していた。崩壊の斜面勾配は25°程度とやや小さい場所が存在していた。これらは、石英・斜長石・カリ長石と非膨潤性粘土鉱物(14 Å 中間体またはパーミキュライト・カオリン鉱物・ギブサイト)を主とする、透水性が大きくて流動しやすくせん断強度定数(特に c)が小さ

いと考えられる粗粒のマサ土がすべり面土層であったためと推察される。

- (5) 流紋デイサイト溶結凝灰岩の斜面は、玄武岩や花崗閃緑斑岩の斜面に比べて、斜面変動の発生頻度は小さかった。これは、斜長石・カリ長石と非膨潤性粘土鉱物(雲母粘土鉱物とギブサイト)を主とする、せん断強度定数(特に c)が相対的に大きいと考えられる透水性の低い細粒のマサ土がすべり面土層であったためと推察される。
- (6) 花崗閃緑斑岩は流紋デイサイト溶結凝灰岩よりも粗粒の岩石であったため、相対的に粗粒のマサ土が形成されたと考えられる。また、化学的・物理的風化が土粒子間の粒界で発生することにより岩石の土粒子化が行われたとすると、相対的に粗粒土を形成する花崗閃緑斑岩の方が流紋デイサイト溶結凝灰岩よりも土層形成速度は速く、そのことが斜面変動の発生をさらに促した可能性がある。

以上の結果は、わずかな物性調査からの推察であるので、今後は小規模な斜面変動の正確な分布調査や追加地盤調査のデータなどを加えて、詳細な検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 秋田寛己・若月 強・檀上 徹・佐藤昌人(2022) : NDVI 差分画像を用いた斜面変動範囲抽出手法の検討—令和2年7月豪雨による熊本県・岐阜県の土砂災害解析事例—。主要災害調査, **60**, <http://doi.org/10.24732/NIED.00003447>.
- 2) 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, 67p.
- 3) 岐阜県・清流の国ぎふ防災減災センター(2020) : 令和2年7月豪雨災害検証報告書, 223p.
- 4) 山田直利・足立守・梶田澄雄・原山智・山崎晴雄・豊 遙秋(1985) : 高山地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 111p.
- 5) 山田直利・小林武彦(1988) : 御嶽山地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 136p.

- 6) 山田直利・野沢 保・原山 智・滝沢文教・加藤 碩一・広島俊男・駒澤正夫(1989): 20万分の1地質図幅「高山」, 地質調査所. (2022年7月26日原稿受付, 2022年8月23日改稿受付, 2022年8月24日原稿受理)
- 7) 山田直利・脇田浩二・広島俊男・駒澤正夫(1990): 20万分の1地質図幅「飯田(第2版)」, 地質調査所. (2022年9月9日公開)

要 旨

令和2年(2020年)7月豪雨における岐阜県高山市南部から下呂市北部の土砂災害に対して、いくつかの崩壊地の岩石・土層物性を計測して、雨量・地質・物性と斜面変動分布との関係を検討した。その結果、本災害は比較的少ない雨が長時間降り続く降雨継続型の特徴を示した。玄武岩斜面では、膨潤性粘土鉱物のハロイサイトを多く含み、含水時のせん断強度定数(c , ϕ)が著しく小さいと考えられる粘性土からなるすべり面土層が形成されていたため、斜面崩壊が多数発生したと推察された。花崗閃緑斑岩では、膨潤性粘土鉱物をほとんど含まず、透水性が大きくて流動化しやすくせん断強度定数(特に c)が小さいと考えられる粗粒のマサ土からなるすべり面土層が形成されていたため、斜面崩壊や土石流が多数発生したと推察された。一方、流紋デイサイト溶結凝灰岩斜面では、膨潤性粘土鉱物をほとんど含まず、せん断強度定数(特に c)が大きいためと考えられる細粒のマサ土からなるすべり面土層が形成されていたため、斜面変動の発生頻度が小さかったと推察された。

キーワード: 上野玄武岩, 花崗閃緑斑岩, 濃飛流紋岩類, 流紋デイサイト溶結凝灰岩, 土層, ハロイサイト, マサ土