

神戸層群で多発する小規模流動型地すべりの特徴と発生要因 Characteristics and causal factors of small-scale earthflows occurred frequently in the Kobe Group, Japan

村井政徳(高知大院・黒潮圏海洋)*, 横山俊治(高知大・理), 廣田清治(愛媛大院・理工)
Masanori MURAI(Kochi Univ.)*, Shunji YOKOYAMA(Kochi Univ.)
and Kiyoharu HIROTA(Ehime Univ.)

キーワード: 小規模流動型地すべり, 神戸層群, 凝灰岩

Key words: small-scale earthflow, Kobe Group, tuff

1. はじめに

神戸層群分布地域で発生する地すべりの発生源の大部分は凝灰岩であり(廣田ほか, 1987), 凝灰岩の物性・力学的性質の差異, 地質構造などを反映して, 10^6m^3 規模の大規模地すべり, $10^3\sim 10^4\text{m}^3$ 規模の中規模地すべり, 10^2m^3 規模以下の小規模地すべりが発生している。小規模地すべりは, いわゆる‘流動型地すべり’(以下, 小規模流動型地すべりと呼ぶ)である(図-1)。小規模流動型地すべりは主に, 宅地造成や圃場整備などによって人工的に切土された斜面で発生する地すべりで, 現在神戸層群分布地域でもっとも頻繁に発生しているタイプの地すべりである。その特徴は, きわめて狭い範囲で, 明瞭なせん断面に沿って剛体が滑り落ちるというよりも, 移動層全体が破壊され流れ出るように移動することである。

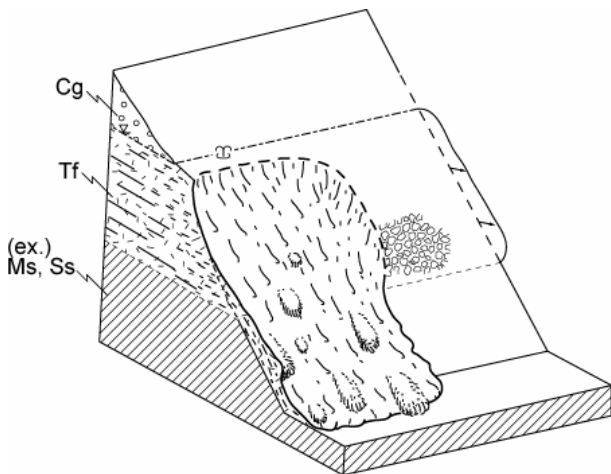


図-1 小規模流動型地すべりの概念図

本論では, 神戸層群分布地域で発生する小規模流動型地すべりに共通する特徴について概観し, さ

らに個別の事例として三木市吉川町豊岡の奥山上池脇と神戸市北区大沢町日西原の農道切土斜面で発生した小規模流動型地すべりについて報告するとともに, それらの発生要因を考察する。

2. 小規模流動型地すべりに共通する特徴

<地すべり発生場所の地質>

小規模流動型地すべりは, すべて道路建設や宅地造成, 圃場整備といった人工的に切土された斜面で発生している。いずれの切土斜面も, 上位に硬質な礫岩層, 下位に軟質粘土化した凝灰岩層が分布しており, キャップロック構造を形成している。奥山上池脇の斜面には日西原砂岩礫岩部層(近畿農政局, 2004)の礫岩層と豊岡凝灰岩部層(近畿農政局, 2004)(尾崎・松浦(1988)の上久米凝灰岩に相当)のユニット4の軟質粘土化凝灰岩層とがキャップロック構造を形成している。日西原の農道切土斜面では日西原砂岩礫岩部層中の礫岩層とそこに挟在している軟質粘土化凝灰岩層とがキャップロック構造を形成している。両地点とも軟質粘土化凝灰岩層の下位にはやや硬質な凝灰岩層が分布するのが特徴である。

<地すべりの規模>

小規模流動型地すべりは地すべり発生前の体積が $10^2\sim 10^1\text{m}^3$ 規模と小さい。このように地すべりの規模が非常に小さいこと, すなわち小規模の体積でも活動することが大きな特徴である。

<地すべり構造>

流動化する地層は軟質粘土化した凝灰岩層である。この凝灰岩層の流動によって上位の礫岩層も変動し, 礫岩層からその下位の軟質粘土化凝灰岩層に達する高角度の主滑落崖が形成されている。地す

べりがさらに発達すると、滑落崖を形成する高角度の亀裂は軟質粘土化凝灰岩層の下位のやや硬質な凝灰岩層にまで達する。軟質粘土化凝灰岩層中にはすべり面が形成され、椅子型の並進すべりへと発展する。軟質粘土化凝灰岩層の流動化(塑性流動)は並進すべり発生の初期から末期にかけて発生し、末期になると軟質粘土化凝灰岩層の全層が流動化している。

＜流動特性を示唆する現象＞

流動化した軟質粘土化凝灰岩は薄く引き伸ばされるような形で広がっていく。たとえば、豊岡地区の奥山上池脇で発生した小規模流動型地すべりでは、縦断形状比 L (長さ)/ D (深さ)は 22.0 と非常に大きい値を示している。流動化した軟質粘土化凝灰岩は粘性が高く、切土斜面にへばりつくように分布している。それでいて、含水量が増加すると非常に流動しやすくなり、侵食の差異によって生じた微地形に規制されて移動していく。流動型地すべりの移動体表面は波打ったような凹凸がある。その移動体表面は乾燥すると亀甲状のクラックが走り、かさぶた状になるが、一旦降雨に遭うとポップコーンのように膨らんでブヨブヨになる。また、移動体表面には、しばしば粒状や円盤状の方解石が晶出している。

3. 奥山上池脇切土斜面の事例: 地すべり進化過程が認められる事例

本地すべりは斜面勾配 1:1.5 で切土され、切土後数年が経過している切土斜面で発生した(図-2)。

地質は、下位より豊岡凝灰岩部層ユニット 4 のや

や硬質な粗粒凝灰岩層、同じくユニット 4 の軟質粘土化した細粒凝灰岩層、日西原砂岩礫岩部層の礫岩層が分布している(ステージ 1)。

斜面変状は、2003 年 10 月頃よりみられた。地すべり発生初期段階の変状としては、高さ 20~30cm の滑落崖が礫岩層と細粒凝灰岩層との境界付近に形成され、軟質粘土化した細粒凝灰岩層が斜面の麓まで流下した(ステージ 2)。つづいて、2004 年 5 月の観察時には、粗粒凝灰岩層の直上の細粒凝灰岩層中にすべり面が形成され、椅子型の並進すべりが発生していた(ステージ 3)。この時の地すべり変動では、地すべり移動体の末端部は流動化したか、大部分は形状を変えつつも流動化しなかった。最終的には、2004 年台風 23 号による降雨で地すべり移動体全体が流動化し、流動化した細粒凝灰岩は道路面にまで達した(ステージ 4)。

4. 日西原農道切土斜面の事例: 斜面の微地形に規制された流動現象を示す事例

本地すべりは斜面勾配 1:1 で切土された切土斜面で発生した。

地質は日西原砂岩礫岩部層に相当する箇所、下位より岩相変化の激しい含礫砂岩層、やや硬質な粗粒凝灰岩層、軟質粘土化した細粒凝灰岩層、礫岩層が分布している。また、含礫砂岩層中と、含礫砂岩層と粗粒凝灰岩層との境界部には軟質粘土化した細粒凝灰岩層の薄層を挟むところもある(図-3)。

地すべりは細粒凝灰岩層中に施工された小段(平坦面)の法肩付近で発生し、流動化した地すべり移動体が斜面の麓まで流下した。

地すべり発生域では多数の高角度のクラックが発生している。クラックに沿って侵食が深部に進行し、孤立したブロックの中には傾動しているものもみられる。図-4 に示すとおり、高角度のクラックは細粒凝灰岩層下位の粗粒凝灰岩層の直上まで発達し、地層境界面に沿ったすべり面と連結して

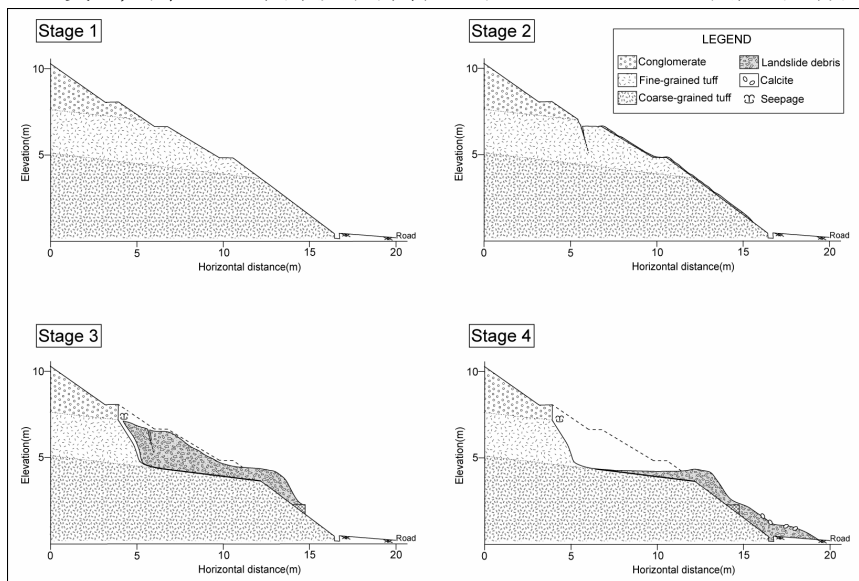


図-2 奥山上池脇の切土斜面で発生した流動型地すべりの進化過程(断面図)

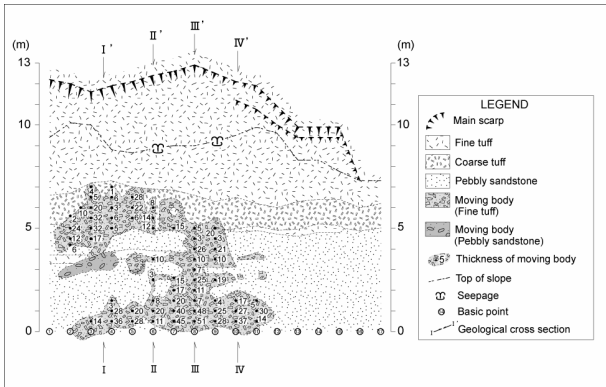


図-3 日西原切土斜面の展開図

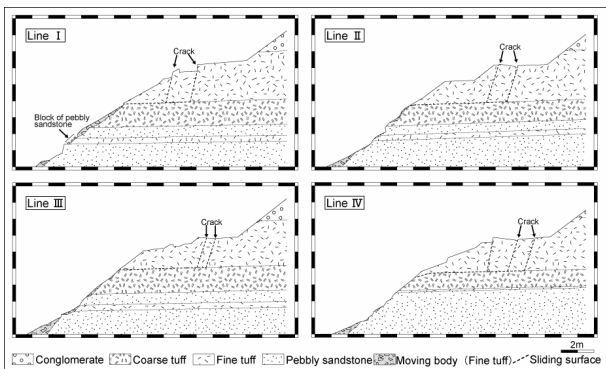


図-4 日西原地すべりの断面図

並進すべりを起こしている可能性が高い。現在流動化は、地すべり移動体の一部で発生している。この切土斜面では、表面侵食が著しく、岩質(耐侵食強度)の違いによる凹凸で斜面勾配が細かく変化している。流動型地すべり移動体はその侵食微地形に支配され、緩傾斜部では下方への流下を止め斜面側方に移動している。また、リルの中に流れ込んだ地すべり移動体は侵食され分断されている。その結果、図-3 に示すように流動型地すべりの移動体は複雑な分布形態をなす。

5. 軟質粘土化凝灰岩の性質

<コンシステンシー特性>

流動型地すべり移動体とその発生源となった非変動域の軟質粘土化凝灰岩層のコンシステンシー特性を比較するために液性・塑性限界試験を実施した。その結果、奥山上池・日西原両地点ともに非変動域の軟質粘土化凝灰岩(奥山上池:71.4~83.7%, 日西原:65.7~82.0%)に比べて移動体(奥山上池:82.5~109.9%, 日西原:80.3~89.3%)の方が液

性限界値は高い値を示した。同様に、塑性指数も非変動域(奥山上池:48.9~63.7, 日西原:37.6~58.3)に比べて移動体(奥山上池:62.7~85.2, 日西原:55.5~66.5)の方が高い(図-5)。

また、日西原では粗粒凝灰岩層でも液性・塑性限界試験を実施しており、その結果、図-5 に示すように軟質粘土化凝灰岩に比べ液性限界・塑性指数ともに低い値を示している。

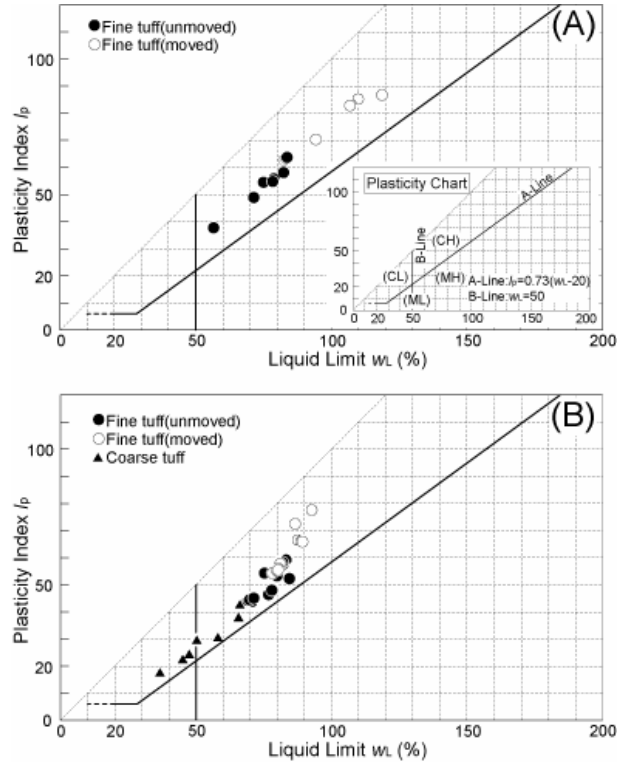


図-5 塑性図(A:奥山上池脇, B:日西原)

<粘土鉱物学的性質>

軟質粘土化凝灰岩は、ほとんどが粘土鉱物から構成されており、水ひ試料によるXRD分析の結果、粘土鉱物はスメクタイトである。また、原子吸光分析で水ひ試料中のCa, Mg, Na, Kの4種類の陽イオン量を測定した結果、Caが陽イオン全体の約80%を占めることが明らかとなった。このことから、軟質粘土化凝灰岩層中のスメクタイトはCa型のスメクタイトであると考えられる。

6. 小規模流動型地すべりの発生要因

<キャップロック効果>

神戸層群の軟質粘土化した凝灰岩には、多量のスメクタイトが含まれ、それが地すべりの素因のひとつ

つになっていることは間違いないが、そのほかにも岩相の組み合わせが地すべり発生の素因として重要な役割を果たしている。神戸層群では、礫岩から砂岩、泥岩と上方に向かって細粒化し、その上位に凝灰岩が堆積するというひとつの堆積サイクルがある。凝灰岩層の上位には、次の堆積サイクルの始まりである礫岩層が分布する。礫岩層は神戸層群の他の碎屑岩よりも風化、侵食に対する耐久性が高く、地形的にキャップロックとして残存する。このキャップロックとなる礫岩層は、地下水涵養層として礫岩層の直下に分布する凝灰岩層に地下水を供給する。それにより、凝灰岩は軟質粘土化が促進される。また、礫岩層から凝灰岩層への地下水の供給は凝灰岩層を飽和させ、地すべり発生の誘因にもなると考えられる。

＜方解石晶出による斜面表層の塩類風化＞

流動型地すべりの移動体表層部からは、しばしば方解石が晶出している(図-6)。この方解石の晶出は、一種の塩類風化である。奥山上池脇と日西原の切土斜面の軟質粘土化凝灰岩中に含まれるスメクタイトはCa型のスメクタイトである。また、礫岩層と軟質凝灰岩層の境界部付近にみられる湧水の化学分析を行なった結果、湧水中には多量のNaが含まれていることが明らかとなった。これらを連関して考えると、Naを多く含む地下水は蒸発する過程で、地表部では、スメクタイトの層間イオンであるCaと地下水に含まれるNaがイオン交換し、スメクタイト中のCaは方解石(CaCO_3)として晶出する。一方、Naはスメクタイトの層間イオンとして置換され、地表部ではNa型のスメクタイトに変化すると考えている。Na型のスメクタイトはCa型のスメクタイトに比べ親水力が勝り、より多くの水を含むことができる。このため、膨潤したスメクタイトの強度は低下し、コンシステンシーにも変化がでると考える。塑性指数が増加した凝灰岩は、流動型地すべりを発生しやすくなると考えられる。

＜凍結融解による斜面表層の風化＞

冬季には、切土斜面表層部はしばしば完全に凍結している。2006年2月12日～13日にかけて軟質粘土化凝灰岩が流動化した箇所(2ヶ所)で、表層から5cm間隔で30cm深までの地温を計測した。その結果、地表より10cm深まででは地温が氷点下にならなるといことがわかった(図-7)。軟質粘土化凝灰岩層は常に湿潤状態にあることから、斜面表

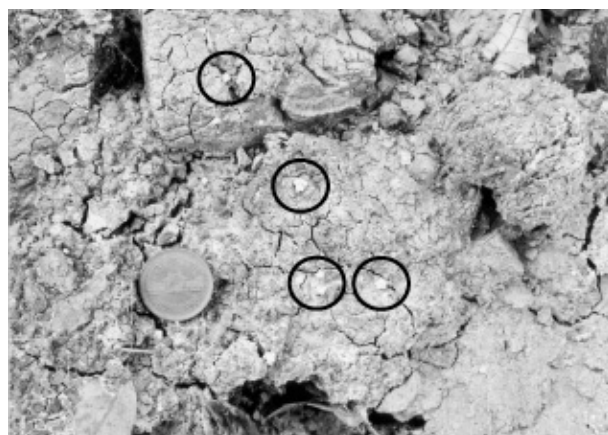


図-6 移動体表層から晶出している方解石

層部での微細な凍結破砕が起きている可能性は十分にあると考えられる。神戸層群が分布する三田盆地では、12月～3月にかけての4ヶ月間のうち、毎年100日程度は最低気温が氷点下になることから、凍結融解作用が斜面表層部の風化に影響を及ぼしている可能性は高いと考える。

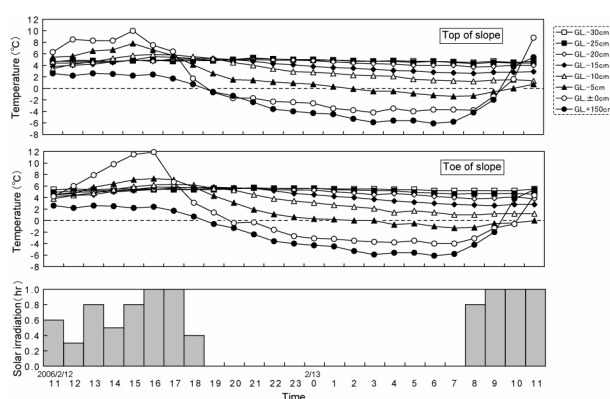


図-7 日西原切土斜面表層部地温の日変化

＜乾湿繰り返しによる風化＞

軟質粘土化凝灰岩層の表層は乾燥すると亀甲状のクラックが生じてかさぶた状になるのに対し、一旦降雨に遭うと膨潤して膨らむ。この一連の乾湿繰り返しは凝灰岩表層部の劣化を促進させ、強度を低下させていると考えられる。

謝辞

本研究の一部に平成17年度深田研究助成金を使用した。ここに記して、厚くお礼を申し上げます。

引用文献 =省略=