

## P10. 神戸層群小規模流動型地すべりの特徴

Feature of small scale flow-like landslides of the Kobe Group

仲辻裕美(高知大・理), 村井政徳(高知大院・黒潮圏海洋), 横山俊治(高知大・理)  
Hiromi Nakatsuji(Kochi Univ.), Masanori Murai(Kochi Univ.), Shunji Yokoyama(Kochi Univ.)

### 1. はじめに

神戸層群は古第三紀後期始新世～前期漸新世の地層で、湖成～河川成の碎屑岩とそれに挟在する凝灰岩からなる<sup>1)</sup>。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<sup>2)</sup>、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、 $10^6\text{m}^3$ 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、 $10^2\text{m}^3$ 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、凝灰岩の特性を色濃く反映した“流動型すべり”(以下、小規模流動型地すべりと呼ぶ)で、豪雨時には神戸層群の分布地域の各地で発生している。

本論では、美囊郡吉川町豊岡地区の4地点、大沢町日西原地区の3地点で発生した小規模流動型地すべりについて報告する(図-1)。これらの小規模流動型地すべりは2004年10月の台風23号で活動したもので、非変動斜面が流動化したもの、変動が活発化して流動化したものが含まれる。本論では、はじめに小規模流動型地すべりに共通する特徴について概観し、つぎに奥山上池脇と日西原地区で発生した小規模流動型地すべりの事例を報告する。



図-1 調査地域

### 2. 小規模流動型地すべりに共通する特徴

#### (1) 発生場所の地形・地質条件

小規模流動型地すべりはすべて圃場整備に伴う切土斜面で発生している。いずれの切土斜

面も、上位の硬質な礫岩層と下位の軟質粘土化凝灰岩層からなるキャップロック構造をもっている。豊岡地区の4地点では、日西原砂岩礫岩部層<sup>3)</sup>の礫岩層と豊岡凝灰岩部層<sup>3)</sup>(上久米凝灰岩層<sup>1)</sup>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。日西原地区の3地点では、日西原砂岩礫岩部層中の礫岩層とその中に挟在している軟質粘土化凝灰岩層がキャップロック構造を形成している。いずれの地点でも軟質粘土化凝灰岩層の下位にやや硬質な凝灰岩層が分布しているのが特徴である。

## (2) 地すべりの規模

小規模流動型地すべりは発生前の体積が、 $10^1 \sim 10^4 \text{m}^3$  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小規模流動型地すべりの大きな特徴である。

## (3) 地すべり構造

流動化する地層は軟質粘土化凝灰岩層である。4地点の地すべりでは、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。他の3地点の地すべりは、軟質粘土化凝灰岩層のみが変動している。いずれの場合も変動が大きくなると、やや硬質の凝灰岩層の直上に分布する軟質粘土化凝灰岩層中にすべり面が形成され、椅子型の滑落(並進すべり)が発生する。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おいて発生し、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。

## (3) 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変動前の層厚の $1/3 \sim 1/4$ にまで薄く広がる。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 $L/D$ は22.0と非常に大きい値を示している<sup>4)</sup>。流動化した軟質粘土化凝灰岩層は粘りけが強く、切土斜面にへばりついている。それでいて非常に流動しやすく、微地形に規制されて移動していく。そして、勾配 $8^\circ$ 程度のアスファルト上でも移動していく。流動型地すべりの移動体の表面は波打ったような起伏があり、その表層にはしばしば方解石が晶出している(写真-1)。その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、一旦降雨にあうと、膨らんでプヨプヨになる。

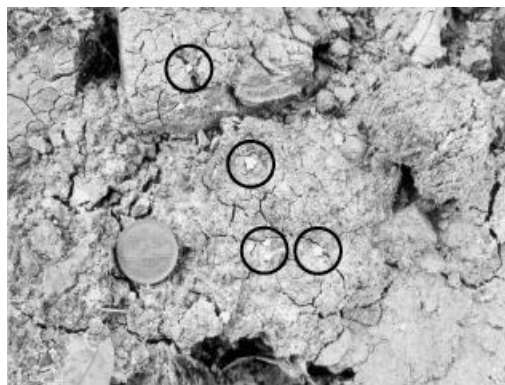


写真-1 移動体表層から晶出している方解石  
(奥山上池脇で発生した地すべりより)

### 3. 豊岡地区・奥山上池脇の流動型地すべり：初期の流動から末期の流動まで地すべりの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。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(図-2)。

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。同様の初期変動現象は 2004 年 12 月にも同じ斜面内で発生しているのが観察される(図-3, 左中央)。変動初期にはクラックだけが走っているところもある。

つづいて、2004 年 5 月に観察した時には、粗粒凝灰岩層の直上の細粒凝灰岩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。このときの発生域のすべり面断面形状は図-2 に示されているすべり面と同じである。このとき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。大部分は形状を変えつつも流動化しなかった。地すべり発生後、粗粒凝灰岩層上に対策効果のない蛇籠が施工された。

最終的には、2004 年の台風 23 号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が蛇籠を乗り越え、動路面にまで達した。この変動が末期の流動型地すべりである。

この地すべりにおける等価摩擦係数は 0.58 である。また、2004 年 2 月の現地観察では、礫岩層と細粒凝灰岩層の境界で凍結した湧水が認められた(写真-2)。

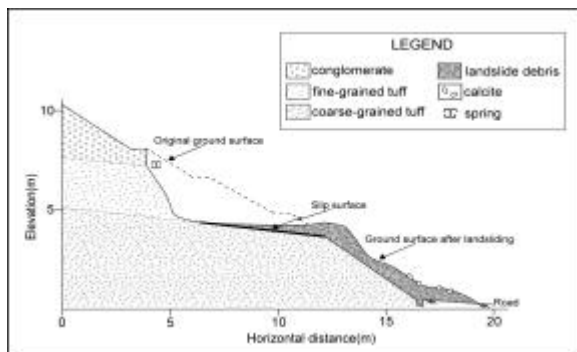


図-2 地質断面図(奥山上池脇, 2004 年 12 月)

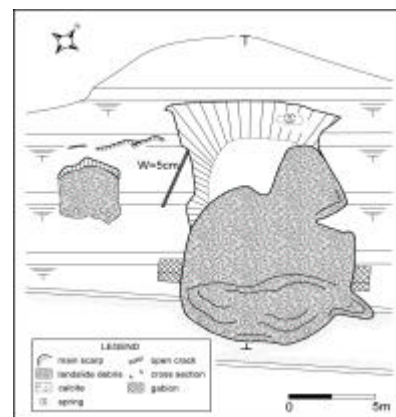


図-3 平面図(奥山上池脇, 2004 年 12 月)



写真-2 パイプ孔より流出した湧水(奥山上池脇)

4. 日西原地区 A - 流動型地すべり：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は発生した。

地質は日西原砂岩礫岩層部層で、下位より岩相変化の著しい含礫砂岩層、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(図-4)。また、含礫砂岩層の中と、含礫砂岩層と粗粒凝灰岩層の境界部には軟質粘土化した細粒凝灰岩の薄層を挟むところもある(図-5)。

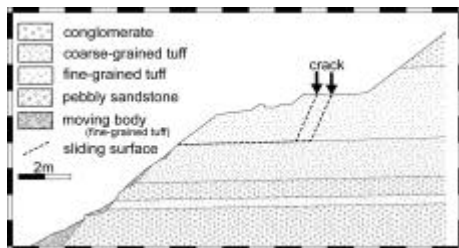


図-4 地質断面図  
(日西原 A-流動型地すべり)

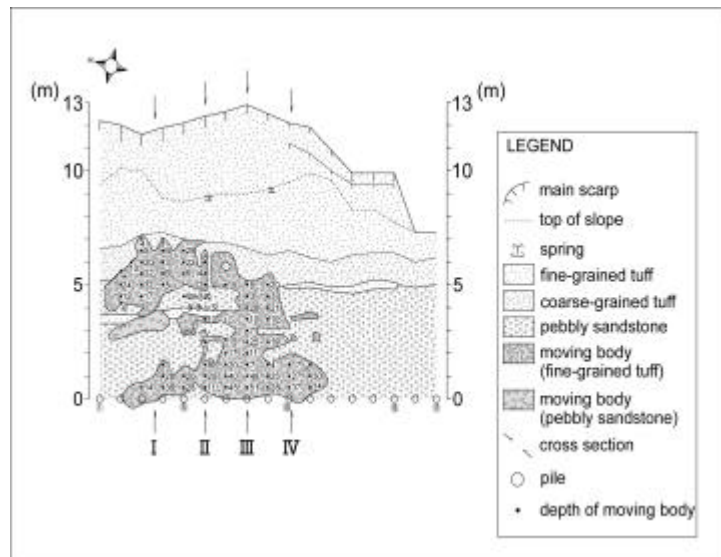


図-5 展開図(日西原 A-流動型地すべり)

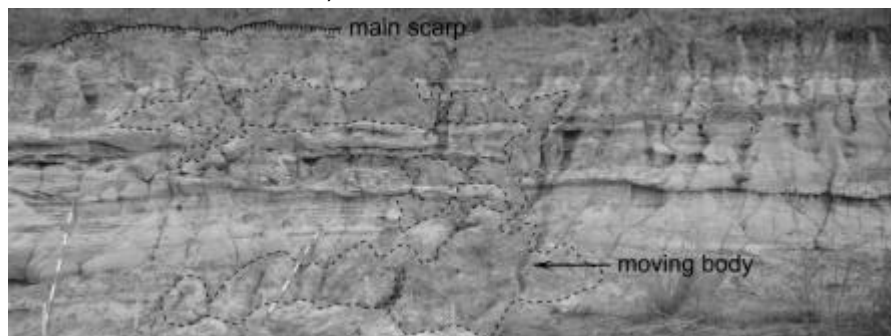


写真-3 日西原地区 A-流動型地すべり，全景

地すべりは細粒凝灰岩層中に施工された平坦面の肩付近で発生し、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。クラックに沿って浸食が深部に進み、孤立したブロックの中には傾動しているものも見られる。図-4 に示す通り、高角度のクラックは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並進すべりを起こしている可能性が大きい。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、表面浸食が著しく、特に最下位の含礫砂岩層はリルが発達し、岩質の違い(耐浸食強度の違い)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

動体はその浸食微地形に支配され、緩傾斜部では下方への流下を止め側方に移動している。また、リルの中に流れ込んだ流動型地すべり移動体は浸食され途切れている。その結果、地すべり移動体は、図-5 や写真-3 に見られるように複雑な分布形態を示している。

## 5. 軟質粘土化凝灰岩の性質

### (1) 物理的性質

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物理的性質を比較するために、奥山上池脇の地すべりと日西原地区 A-流動型地すべりについて、液性・塑性限界試験を行った。その結果、両地域ともに非変動域の軟質粘土化凝灰岩(奥山上池脇：71.4～83.7%，日西原地区 A-流動型地すべり：65.7～82.0%)に比べ流動型地すべり移動体(奥山上池脇：82.5～109.9%，日西原地区 A-流動型地すべり：80.3～89.3%)のほうが、液性限界値は高い値を示した。また、塑性指数を比較しても、非変動域の軟質粘土化凝灰岩(奥山上池脇：48.9～63.7，日西原地区 A-流動型地すべり：37.6～58.3)に比べ流動型地すべり移動体(奥山上池脇：62.7～85.2，日西原地区 A-流動型地すべり：55.5～66.5)のほうが高い(図-6、図-7)。

日西原地区 A-流動型地すべりにおいては粗粒凝灰岩でも液性・塑性限界試験を行っており、その結果は図-7 に示すように軟質粘土化凝灰岩に比べ液性限界値，塑性指数ともに低い値を示している。

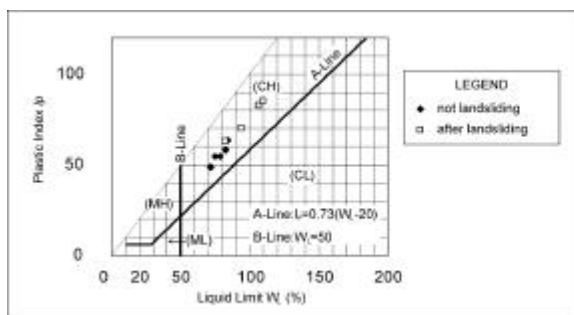


図-6 凝灰岩の塑性図  
(奥山上池脇の流動型地すべり)

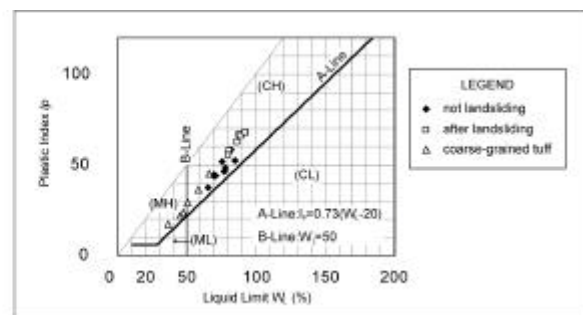


図-7 凝灰岩の塑性図  
(日西原地区 A-流動型地すべり)

自然岩水比についても、同様の比較を行うと、非変動域の軟質粘土化凝灰岩 (奥山上池脇：30.7～48.6%，日西原地区 A-流動型地すべり：20.4～66.4%)に比べ、流動型地すべり移動体(奥山上池脇：54.9～76.8%，日西原地区 A-流動型地すべり：54.1～67.4%)のほうが高い値を示した。

### (2) 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、水簸試料による X 線解析分析の結果、粘土鉱物はほとんどがスメクタイトもしくはスメクタイト/イライト混合層鉱物(ほとんどがスメクタイト)である。また、本調査地のスメクタイトは Na と Ca がほぼ等量に含まれており、Na-Ca 型スメクタイトである。



## 7. 小規模流動型地すべり発生の要因

神戸層群の軟質粘土化凝灰岩には、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となっていることは間違いないが、その他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。小規模流動型地すべりが発生した切土斜面では、上位に硬質な礫岩層、下位に軟質な凝灰岩層が分布するキャップロック構造を成している。礫岩層と軟質粘土化凝灰岩層の境界部には、パイプ孔が存在し、水みちを形成している(写真-2)。降雨がない平常時もこのパイプ孔を伝って地下水が軟質粘土化凝灰岩層中に供給され、軟質粘土化をより促進させていると考えられる。また、礫岩層から凝灰岩層への地下水の供給は間隙水圧も上昇させ、地すべり発生の誘因となるとも考えられる。

軟質粘土化凝灰岩は高含水・高塑性であるので容易に塑性変形することができ、しかも高吸収・低排水であることから、塑性変形が持続しうる条件が継続的であると考えられる。このような軟質粘土化凝灰岩の物理的性質が、流動型地すべり発生を可能にしていると考えられる。

また、流動型地すべり移動体表層部からはしばしば方解石が晶出している(写真-1)。この方解石の晶出は、一種の塩類風化である。地表付近のCa型スメクタイトとNaを含む地下水との間でイオン交換が行われ、その結果Caは方解石( $\text{CaCO}_3$ )となって地表に晶出し、スメクタイトの層間イオンはNaへと置換されNa型スメクタイトに変化したと考えている。NaイオンはCaイオン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、また塑性指数も増加するため、より流動化地すべりを発生させやすくなるものと考えられる。

このように、軟質粘土化凝灰岩はさまざまな視点からみても塑性変形しやすいと考えられるが、しかし、粗粒凝灰岩は図-7からもわかるように、液性限界値・塑性指数ともに低い。このことから、粗粒凝灰岩は塑性変形しないと考えられる。

## 引用文献

- 1) 尾崎正紀・松浦浩久(1988)：三田地域の地質．地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)，地質調査所，89p．
- 2) 廣田清治・佐々木一郎・谷岡健則(1987)：神戸層群の地すべりと地形，地質の関係(兵庫南部地区・吉川町)．島根大学地質学研究報告，no.6，pp.119-130．
- 3) 近畿農政局北神戸農地保全事業所(2004)：きたこうべ直轄地すべり対策事業誌，510p．
- 4) 上野将司(2001)：地すべりの形態と規模を規制する地形・地質要因の検討．地すべり，Vol.38，pp.105-114