

P1. 神戸層群凝灰岩地すべりの構造：豊岡北地すべりの例

Structure of tuff landslide in the Kobe Group : in case of Toyooka-kita landslide, Yokawa Town, Hyogo Prefecture

○村井政徳 (高知大・理), 横山俊治 (高知大・理)
Masanori MURAI, Shunji YOKOYAMA (Kochi Univ.)

1. はじめに

古第三紀始新世～漸新世の夾炭第三系は日本各地に点在しており、そこでは凝灰岩を素因とする地すべりが多数確認されている。しかし、その構造、運動様式については十分に理解されておらず、神戸層群の凝灰岩地すべりもそれらのひとつである。したがって、神戸層群の凝灰岩地すべりの内部構造、運動様式を解明することは、古第三系凝灰岩地すべりの実態を解明するひとつの手がかりになるであろうと考える。よって本論では神戸層群の凝灰岩地すべりの地すべり構造について報告することとする。

神戸層群の分布地域は、近畿地方でも有数の地すべり多発地帯として知られており、空中写真や地形図判読によって多くの地すべり地形の存在を読みとることができる。中でも三田盆地中央部の吉川町では、ほとんどの斜面が地すべりによって形成されており、全体として小起伏山地あるいは丘陵地地形を呈している。

吉川町に分布する地すべりについてはいくつかの研究報告がなされており、廣田ほか¹⁾では、地すべりの発生源は凝灰岩で、特にKyu-tf2層(尾崎・松浦²⁾の上久米凝灰岩層に相当)の分布地域で地すべりが多発していることが明らかにされた。この報告によって、上久米凝灰岩層は神戸層群の凝灰岩地すべりの諸問題を解決する上で、極めて重要な岩相であると提起された。その後、秋山・東³⁾はボーリング観察結果から上久米凝灰岩層を特徴づける岩相を区分し、その岩相を用いることにより、地すべり内部構造の判別が可能であると指摘した。しかし、上久米凝灰岩を素因とする凝灰岩地すべりの構造に関する研究は加藤・横山^{4), 5)}の金会地すべりのみであり、その実態については未だ不明な点も多い。

そこで今回、上久米凝灰岩層分布地域である豊岡北地すべりを対象に地すべり構造の解析を行った。その結果、以下の2つの地すべり構造について新しい知見を得ることができたので報告するとともに、若干の考察を行うこととする。

- (1) 地すべり発生層準の異なる岩盤地すべりが共存した2階建て構造をなしている
- (2) 滑落崖背後斜面部において、キャップロック構造に起因して軟質凝灰岩が塑性変形している

2. 豊岡北地すべりの概要

豊岡北地すべりは、兵庫県美囊郡吉川町南部に位置し、南から北に向かって流下する吉川川の右岸斜面にあたる。

豊岡北地すべりを含む周辺地域は、古第三系神戸層群吉川累層上部層が分布し、下位より砂岩・泥岩互層、上久米凝灰岩層、礫岩および含礫砂岩層からなる(図-1)。上久米凝灰岩層は粘土化程度の異なる複数の凝灰岩が互層していることが特徴で、5つの岩相に区分されており³⁾、豊岡北地すべりでは岩相①～岩相④が確認された。秋山・東³⁾で「細粒凝灰岩」と記載されている岩相④については、地表踏査およびコア観察の結果、3層に細区分した。地質構造としては、走向は北-南～北西-南東で、西～南西へ5～10度緩く傾斜した同斜構造をなしている。また、坊主岩-大岩鼻を結ぶ稜線には比較的硬質な礫岩および含礫砂岩が分布しており、明瞭なケスタ地形が認められる。本地すべりは、ケスタ背面の流れ盤部で発生しており、地すべりの規模は、最大幅約500m、長さ約1,000mで、東西に細長い緩傾斜地を形成している。

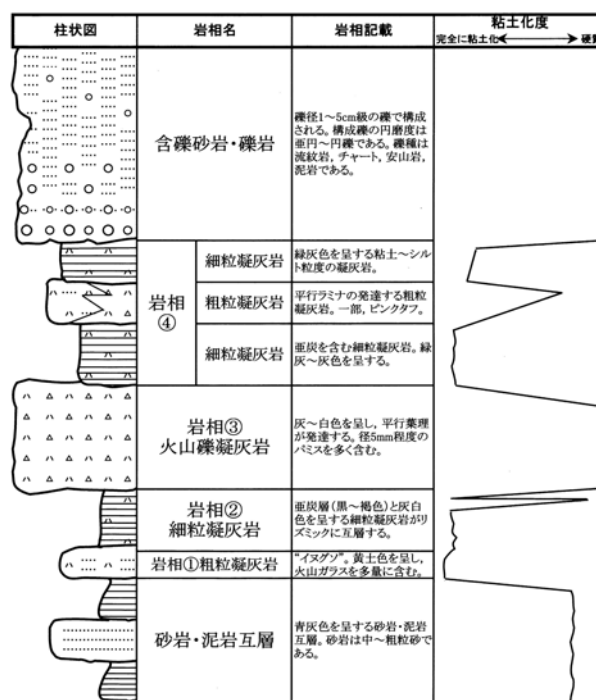


図-1 調査地域に分布する岩相の粒度組成と粘土化度を示す模式柱状図

3. 地すべり発生層準の異なる地すべりの共存

豊岡北地すべりは上久米凝灰岩層中で発生した凝灰岩地すべりで、発生層準の異なる岩盤地すべりが共存した2階建て構造をなしている(図-2)。

図-3に示した本地すべりの輪郭をつくる大規模地すべり地形は、軟質粘土化凝灰岩層からなる岩相①をすべり面とするものである。岩相①は黄土色を呈する高含水の軟質粘土化凝灰岩(自然含水比:88.9%,塑性指数:110.2)で地元では「イヌグソ」と呼ばれている。岩相①をすべり面とする根拠としては、集水井施工中に岩相①の下面で条線が認められていること、岩相①の直下位に挟在する亜炭層を取り込んでいること³⁾が挙げられる。また、大規模地すべりの末端部では、ボーリング調査の結果、岩相の繰り返し(岩相①および岩相②)が2回出現)が数箇所認められる³⁾ほか、露頭においても上位層である岩相③(硬質凝灰岩層)の直上に岩相①が分布する(図-3の▲印で図示した箇所)ことから、岩相①が上位層に衝上して移動体スラブが形成されていると考えられる。

一方、豊岡北地すべり内には岩相④中の軟質粘土化凝灰岩層をすべり面とする小規模な地すべりが多数発生している。さらに、これらの小規模地すべりは大規模地すべり地外にも発生している。既往の調査では、岩相④は軟質粘土化が著しいため、「粘土」や「シルト」などと記載されてきたが、ボーリングコア観察では原岩組織が明瞭に残されているのが確認でき、畦畔に露出する露頭では岩相④は成層構造をなしているのが観察できることから、大規模地すべり移動体内で発生している小規模地すべりはいわゆる崩積土地すべりではなく、初生構造を残存した岩盤地すべりであると考えられる。



図-3 豊岡北地すべり・地すべりブロック図

(→: 地すべりの移動方向, ★: 含礫砂岩への凝灰岩の貫入が認められた箇所, ▲: 露頭およびボーリングにおいて岩相①の繰り返し認められた箇所)

4. 地すべり頭部におけるキャップロック構造

大規模地すべりの滑落崖の背後斜面では、岩相④中の軟質粘土化凝灰岩層はその上位の含礫砂岩層(キャップロック)の荷重で塑性流動を起こし、同時にブロック化した含礫砂岩層中の割目に貫入しているのが認められた(図-3★印で図示した箇所、図-4および図-5の写真参照)。

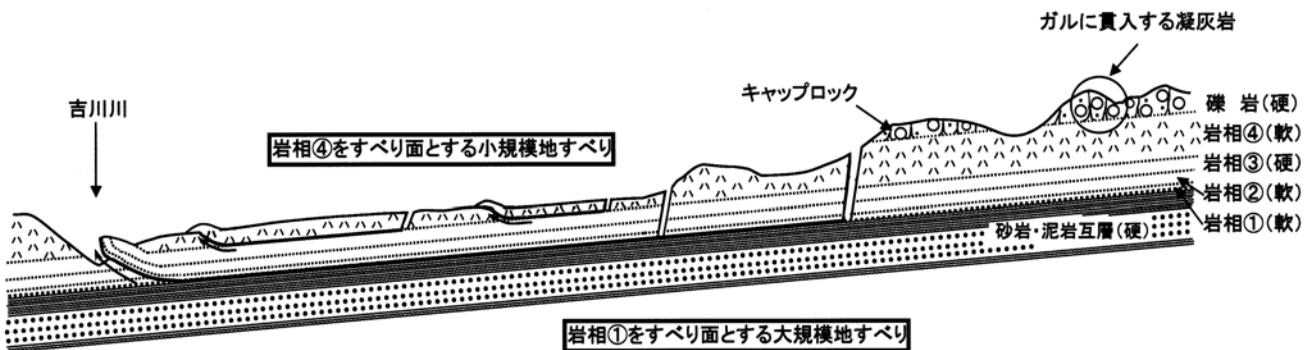


図-2 豊岡北地すべりにおける異なる2層準をすべり面とする並進すべりの滑動モデル



図-4 含礫砂岩のガルに貫入する軟質凝灰岩



図-5 砂岩ブロックと破碎部の境界に凝灰岩が貫入

キャップロック構造に起因する凝灰岩の塑性変形構造は、農道建設によりカットされた法面において観察することができた。この露頭では、下位に軟質粘土化した岩相④（層厚 3m 程度）が、上位に含礫砂岩層（層厚 5m+）が分布している。含礫砂岩層中には層厚 1m 程度の軟質粘土化凝灰岩層が挟まれている。含礫砂岩層には、下底から鉛直に近い引張り割れ目（ガル：gull）が成長しているものの、含礫砂岩層に挟在する凝灰岩薄層まで達しているものはなかった。ガルの走向・傾斜は $N70\sim 85^{\circ} E, 80^{\circ} S (N)$ が卓越しており、それに直交するものもいくつか認められた（図-6）。

割れ目には下位の軟質粘土化凝灰岩から絞りだされるように高含水の粘土が貫入しているのが確認されたが、これは含礫砂岩下底より 1m 程度までしか貫入していなかった。それより上位では、貫入粘土は確認できず、割れ目は最大で幅 5mm 開口しているものや密着したのみであった。また、鉛直割れ目と含礫砂岩中に挟在する凝灰岩薄層とは接していないことから、割れ目に貫入している粘土は割れ目上方から流入してきたものではなく、下位の凝灰岩層から貫入してきたものであるといえるであろう。

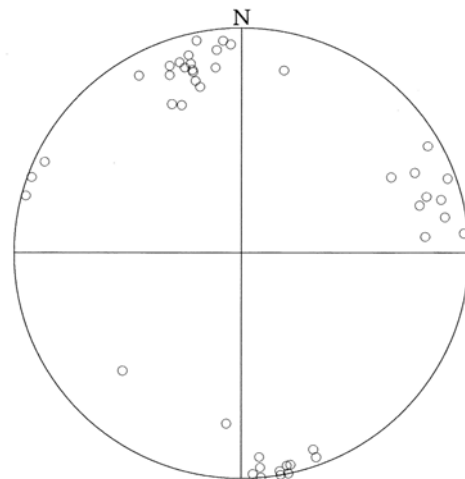


図-6 ガルの走向・傾斜分布
（シュミットネット下半球投影）

含礫砂岩下位の凝灰岩（岩相④）と貫入凝灰岩のコンシステンシー特性を調べるために液性・塑性限界試験を行った結果を表-1 に示す。液性限界は 56.6～139.6%，塑性指数は 37.7～103.7 と高い値を示し、谷本・池尻⁶⁾の凝灰岩（地すべり粘土）の値とほぼ近い値が得られている。また、凝灰岩層は高吸水・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る。軟質粘土化した凝灰岩層は地表面では非常に乾燥して亀甲状の割れ目が発達しているものの、乾燥収縮した部分は厚くても表層 1cm 程度で内部はいつも湿潤状態であり保水性が高いといえる。

表-1 軟質粘土化凝灰岩（岩相④）と貫入凝灰岩のコンシステンシー特性

	岩相①	岩相④	貫入凝灰岩
自然含水比 (%)	88.9	21.1～50.7	63.0～88.9
液性限界 (%)	144.6	56.6～118.7	122.9～139.6
塑性限界 (%)	34.4	18.9～32.0	35.2～35.9
塑性指数	110.2	37.7～86.7	87.7～103.7

軟質粘土化凝灰岩の一軸圧縮強度は、0.03～1.67MPa であり、硬質凝灰岩や含礫砂岩とでは数 10 倍から数 1000 倍の差がある。

表-2 各岩石の一軸圧縮強度

岩石	一軸圧縮強度 (MPa)	測定方法	測定数
含礫砂岩	16.8～73.2	シュミットハンマー	30
岩相①	0.01 以下	針貫入試験	不能
岩相④	0.03～1.67	針貫入試験	90
金会硬質凝灰岩 (参考)	30.0～60.0	ポイントロード	54

また、軟質粘土化凝灰岩（岩相④）と貫入凝灰岩の X 線回折による粘土鉱物の同定を行った。その結果、スメクタイトが最も多く、次いでスメクタイト/イライト混合層鉱物が認められた。粘土鉱物以外では、石英、斜長石、カリ長石が認められた。

表-3 軟質粘土化凝灰岩の構成鉱物とその量比

	岩相④				貫入粘土	
	1a	3a	3b	5b	4	5a
smectite		++		+++	++++	+++
I/S	+++		++			
Illite	--	-	+	--	--	--
Chlorite						--
Quartz	+	++	+++	+++	-	++
plagioclase	+++	++++	++	++	-	++
K-feldspar	++		-	+		
amphibole		+	++	+	--	++

++++: 非常に多い, +++: 多い, ++: 普通, +: 存在,
-: 少ない, --: 非常に少ない

表-4 軟質粘土化凝灰岩 ($\leq 2\mu\text{m}$) の全岩化学分析結果

	岩相④				貫入粘土	
	1a	3a	3b	5b	4	5a
SiO ₂	61.9	64.1	64.0	66.9	52.4	62.8
TiO ₂	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
Al ₂ O ₃	19.0	17.7	17.8	15.4	23.8	18.3
Fe ₂ O ₃	5.6	4.4	5.2	4.0	6.5	4.3
MnO	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MgO	1.3	1.1	1.2	0.8	1.1	1.0
CaO	3.0	2.7	2.2	1.9	1.2	1.3
Na ₂ O	1.7	1.8	1.9	2.2	0.2	1.2
K ₂ O	1.2	2.0	2.3	3.1	1.0	2.1
P ₂ O ₅	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Total (wt%)	94.3	94.5	95.3	94.8	86.8	91.7

5. おわりに

神戸層群の凝灰岩層は多かれ少なかれ粘土化しているものが多く、岩相の全てが完全に軟質粘土化していることもある。軟質粘土化凝灰岩層の層厚は数 cm~5m 程度である。その一方でほとんど粘土化していない硬質凝灰岩層もあり、それと軟質粘土化凝灰岩層とが互層している凝灰岩層もある。地すべり発生は硬質凝灰岩層・軟質凝灰岩層の組合せ、凝灰岩層と碎屑岩層との組合せが重要な働きをしていて、特異な地すべりが発生していると考えている。

今回観察されたようなキャップブロック構造に起因した変形構造は、本地すべりと同じく上久米凝灰岩層が分布する金会地すべり⁵⁾においても報告がなされてい

るほか、神戸市押部谷町木津、社町上久米の他の層準の凝灰岩においても同様の凝灰岩の貫入現象が観察されていることから、神戸層群凝灰岩地すべりにおける一般的な構造であると考えられる。

地すべりの規模については、藤田・笠間⁷⁾は、神戸層群の地すべりは個々の地すべり活動は小規模なものが大部分であるが、それらが集まって全体として大規模地すべり地域を形成していると考えているが、小規模な地すべりとは発生層準が異なる大規模な地すべりが存在していることから、それぞれ別個の地すべりとして捉えるのが妥当であると考えられる。また、中川ほか⁸⁾は上久米凝灰岩分布地域には地すべりブロックが集中するとともに、比較的地すべりブロックが大きなものが認められると指摘しており、これは岩相①と下位の砂岩・泥岩互層との境界をすべり面とするもので、豊岡北地すべりのほか金会地すべりや南水上地すべりがこれに相当すると考えられる。しかし、大規模地すべりと小規模地すべりの時間的關係については今後の課題である。この課題を解決するためには、個々の地すべりの素因となる凝灰岩の物性を明らかにして運動様式を解明する必要がある。さらに、発生層準の異なる地すべりの相互關係が明らかになれば、地すべり発達史を紐解くことが可能であると考えられる。

謝辞

最後に本発表を行うにあたり、農林水産省近畿農政局北神戸農地保全事業所からボーリングデータ等の使用を許可していただきました。また、広島大学地球惑星科学教室の北川隆司先生には凝灰岩の X 線分析をしていただきました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 廣田ほか (1987): 島根大学地質学研究報告, 6, pp.119-130
- 2) 尾崎・松浦 (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, 93p.
- 3) 秋山・東 (1999): 第 38 回日本地すべり学会研究発表講演集, pp.435-438
- 4) 加藤・横山 (1992): 第 31 回日本地すべり学会研究発表講演集, pp.91-94
- 5) 加藤・横山 (1993): 第 32 回日本地すべり学会研究発表講演集, pp.79-82
- 6) 谷本・池尻 (2001): 神戸層群人為的要因による地すべり. 財団法人建設工学研究所, 神戸, 145p.
- 7) 藤田・笠間 (1983): 神戸地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅). 地質調査所, 115p.
- 8) 中川ほか (2000): 第 39 回地すべり学会研究発表講演集, pp.379-382