

古第三系神戸層群内の地すべりにおける凝灰岩の貫入現象 Intrusion of tuff due to landslide in the Paleogene Kobe Group

高知大学大学院理学研究科 ○村井 政徳
川崎地質株式会社 加藤 靖郎
高知大学理学部 横山 俊治

1. はじめに

兵庫県三田盆地および西神地域には古第三系神戸層群が分布している。神戸層群は植物化石を多産することで有名であるばかりか、近畿地方の中でも有数の地すべり多発地帯であることで有名である。地すべり研究としては、廣田ほか¹⁾によって地すべり発生が凝灰岩層と密接に関係していることが指摘され、その後、加藤²⁾では、凝灰岩層の岩相・岩質や層厚、他の地層との組み合わせ、断層の有無や配置などに応じて様々なタイプの地すべりが発生していることが明らかにされた。中でも神戸層群における特異な地すべりタイプとしてキャップロック型地すべりが挙げられる。これまでキャップロック型地すべりは、キャップロックのもつ高い地下水の貯留・涵養能力とそこから供給される地下水による下位層の劣化のみが注目されてきた。しかし神戸層群では、キャップロックの荷重により下位層に相当する凝灰岩層が塑性変形し、キャップロックとなる上位硬質層の割れ目に絞り出されるように貫入することが明らかとなった。このような現象はチェコやロシアを中心としたヨーロッパで数多く報告されているものの(例えばZaruba and Menzl³⁾)塑性変形する岩相は泥灰岩(marlstone)である場合が多く、凝灰岩の貫入現象を報告したのは加藤・横山⁴⁾による神戸層群金会地すべりのみである。しかしその後、金会地すべりに加えて吉川町豊岡北地すべり、神戸市押部谷町木津、社町上久米でも貫入現象が観察され、凝灰岩地すべりにおいて一般的な現象であることが明らかになりつつある。

本発表では、これらの凝灰岩の貫入現象の事例について報告するとともに、その発生要因について検討する。

2. 凝灰岩の貫入現象の事例

2.1 吉川町豊岡北地すべりの事例

豊岡北地すべりにおける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凝灰岩層(層厚 3m 程度)が、上位に含礫砂岩層(層厚 5m+)が分布している(図-2)。また、含礫砂岩層

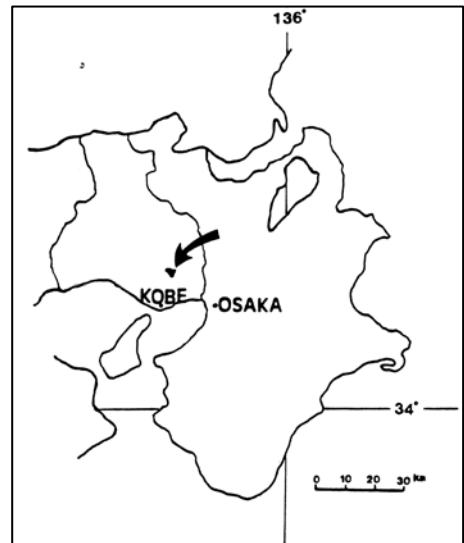


図-1 調査位置図

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）が数 10cm から数 m の間隔で成長していて、含礫砂岩層はブロック化している。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る(図-3)。また、ガルの成長は途中で止まり、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い。ガル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・高塑性の粘土が貫入しているものの、含礫砂岩下底より 1m 程度までしか貫入していない。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もののみである。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考えられる。このような凝灰岩の貫入現象は、大規模地すべりの滑落崖の背後斜面部において発生しており、これまで不動域であると考えられている尾根近傍まで斜面変動が及んでいるといえるであろう。

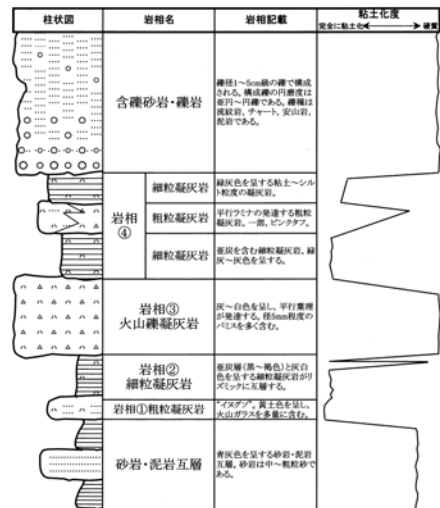


図-2 上久米凝灰岩層の岩相①～④の粒度組成と粘土化度を示す模式柱状図⁵⁾

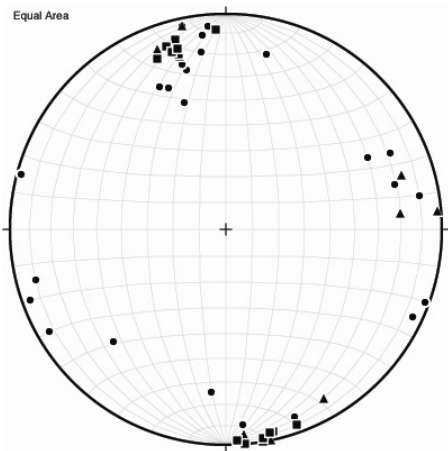


図-3 ガルの走向・傾斜分布(シュミットネット下半球投影)



写真-1 砂岩ブロックと破碎部の境界に凝灰岩が貫入⁵⁾



写真-2 ジグソーパズル状にブロックした含礫砂岩⁵⁾

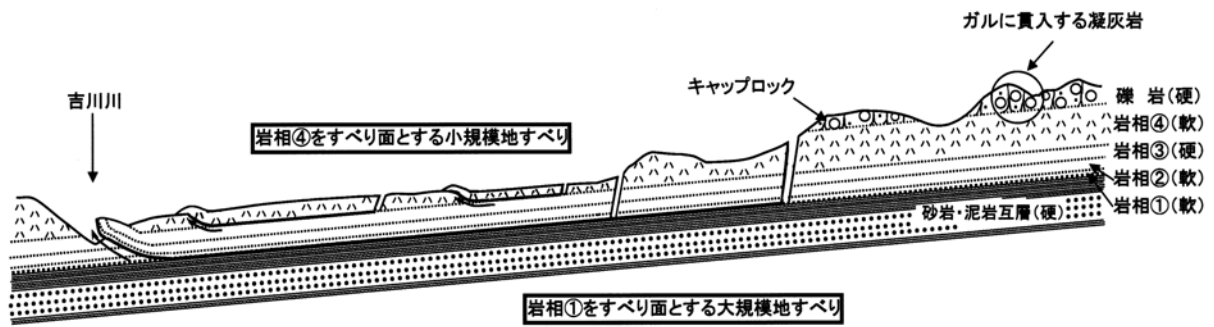


図-4 豊岡北地すべりにおける異なる2層準をすべり面とする並進すべりの滑动モデル

2.2 吉川町金会地すべりの事例

金会地すべりでは、地すべりの末端部、軟質凝灰岩層をすべり面とする地層が斜めに切り上がった尖端部でキャップロック構造に起因する軟質凝灰岩の塑性流動が観察された(図-5)。

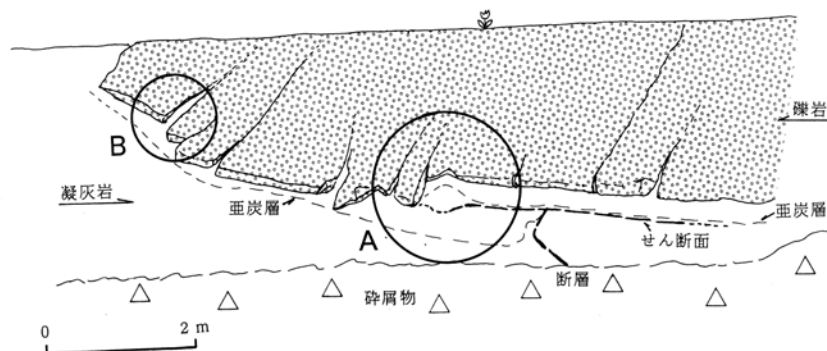


図-5 礫岩層と軟質凝灰岩層の境界に沿った変形形態⁴⁾

豊岡北地すべり同様、礫岩層に数 10cm～数 m 間隔で発達するガルが礫岩層の下底から上方に向かって成長している。ガルは途中で止まっているものも少なくなく、その方向はまた、ガルは数 cm 以下の間隙で開口しており、礫岩起源の岩屑が割れ目を埋めている。

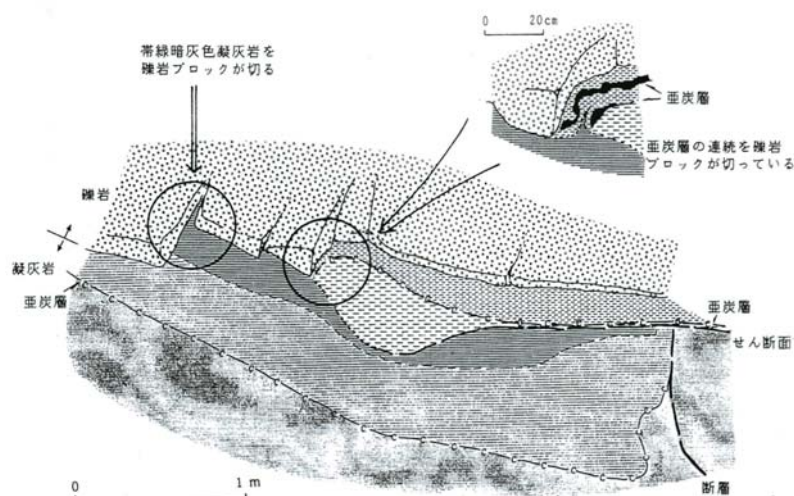


図-6 礫岩ブロックの沈み込みによる軟質凝灰岩層の変形⁴⁾

図-7 に示す部分では最大開口幅 30cm で、そこには礫岩下位の軟質凝灰岩が貫入している。貫入した軟質凝灰岩は割れ目の方向に平行な褶曲軸をもつ背斜構造が発達し、礫岩層との境界は急傾斜のすべり条線が発達する。これはガルの開口に伴って、軟質凝灰岩が褶曲しながら貫入したことを示すものであると考えられる。

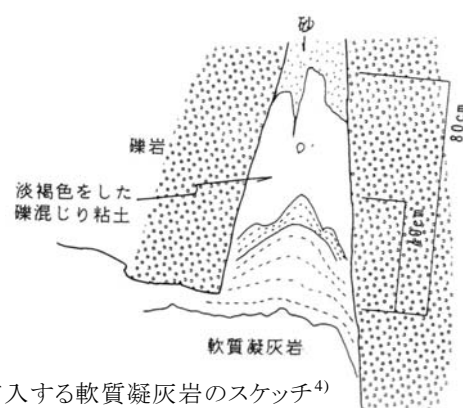


図-7 礫岩のガルに貫入する軟質凝灰岩のスケッチ⁴⁾

2.3 神戸市押部谷町木津の事例

押部谷町木津では、法面掘削によって発生した地すべり変動に関して、軟質粘土化凝灰岩薄層のガルへの貫入が観察された。軟質粘土化凝灰岩薄層は層厚が2cmで断層運動による無数の剪断面が層面に平行に発達している。地すべりのすべり面はこの軟質粘土化凝灰岩薄層の下底面に発達している。軟質粘土化凝灰岩薄層は、その上位の硬質な凝灰岩層に生じた幅 2cm のガルに貫入している。図-8 では、剪断面がマーカーとなって、貫入した軟質凝灰岩薄層が背斜構造を形成しているのが読みとれる。

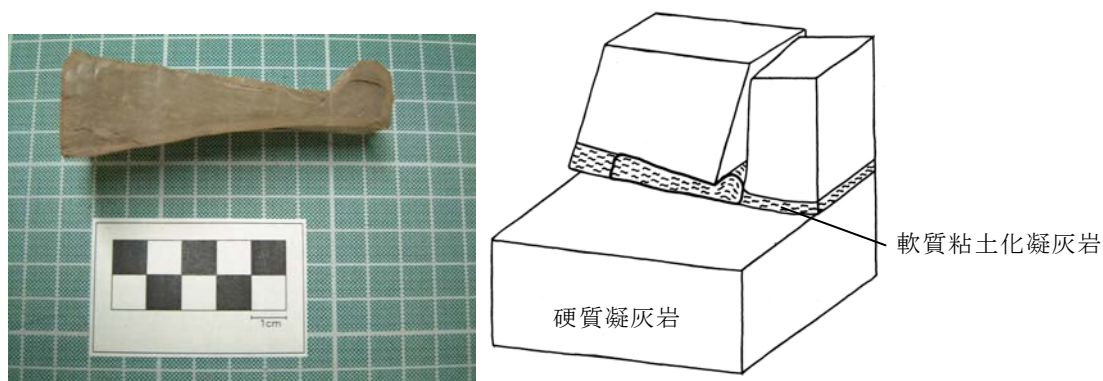


図-8 割れ目に貫入する軟質凝灰岩とそのスケッチ

3. 軟質粘土化凝灰岩のコンシステンシーおよび力学的性質

3.1 コンシステンシー

軟質粘土化凝灰岩と貫入凝灰岩のコンシステンシー特性を表-1 および図-8 に示す。

- ①塑性限界と自然含水比…塑性限界は 20～40%の範囲内にあり、大きな変化はみられない。また、同一地すべりの試料では自然含水比が変化しても塑性限界はほとんど一定であるようである。
- ②液性限界と自然含水比…液性限界は 60～150%の範囲にあり、自然含水比に比べて著しく変化に富む。両者の相関は比較的良く、自然含水比の増加とともに液性限界も増加する。
- ③塑性図…すべての試料が高塑性粘土であり、A線より上にあってCHの領域に入る。塑性指数、液性限界両者の相関は非常に良く、ほぼ $I_p = W_L - 20$ という関係式が成り立つ。

表-1 軟質粘土化凝灰岩と貫入凝灰岩のコンシステンシー特性

	軟質粘土化凝灰岩		貫入凝灰岩
	豊岡北	金 会	
自然含水比 (%)	21.1～50.7	36.9～65.2	63.0～88.9
液性限界 (%)	56.6～118.7	74.5～151.5	122.9～139.6
塑性限界 (%)	18.9～32.0	20.6～36.0	35.2～35.9
塑性指数	37.7～86.7	53.9～117.7	87.7～103.7

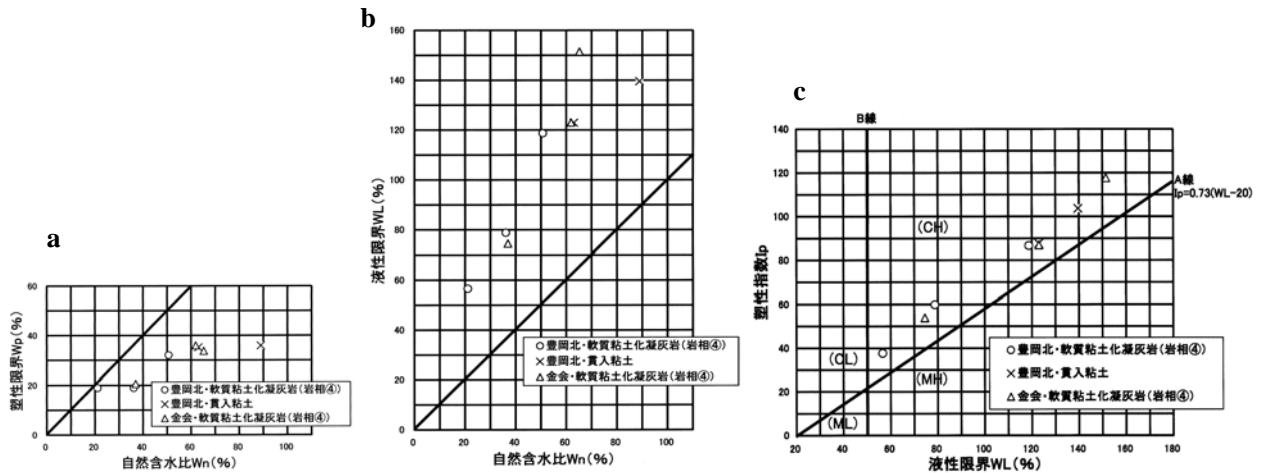


図-8 軟質粘土化凝灰岩と貫入凝灰岩のコンシステンシー特性

(a: 塑性限界と自然含水比の関係, b: 液性限界と自然含水比の関係, c: 塑性図)

3.2 力学的性質

軟質粘土化凝灰岩の一軸圧縮強度は 0.01～1.67MPa である。これに対して硬質凝灰岩の一軸圧縮強度は 30～60MPa, 含礫砂岩はおよそ 20～70MPa と, 軟質粘土化凝灰岩層のその数 10 倍から数 1000 倍である(表-2)。これからも軟質粘土化凝灰岩の強度は非常に小さく, 容易に変形しやすいといえるであろう。

表-2 各岩石の一軸圧縮強度

測定地	岩 石	一軸圧縮強度 (MPa)	測定方法	測定数
豊岡北	(含礫)粗粒砂岩	16.8 ～ 73.2	シュミットハンマー	30
	軟質凝灰岩(岩相④)	0.03 ～ 1.67	針貫入試験	50
金 会	(含礫)粗粒砂岩	20.0 ～ 50.0	シュミットハンマー	40
	軟質凝灰岩(岩相④)	0.01 ～ 1.2	針貫入試験	40
	硬質凝灰岩(岩相③)	30 ～ 60 [*]	ポイントロード試験	54

^{*}100MPa を超えるものもある

4. 軟質凝灰岩の貫入現象の発生要因

軟質凝灰岩の貫入現象の発生要因としてはふたつの要因が考えられる。ひとつめの要因としては、キャップロックのダム効果が挙げられる。礫岩中の割れ目に貯留されている地下水が下位の軟質凝灰岩層に供給され、凝灰岩の劣化をさらに促すとともに地下水位の上昇に伴う間隙水圧が地すべりに作用すると考える。ふたつめの要因としては、キャップロックの荷重が挙げられる。キャップロックである礫岩層中には鉛直方向のガルが成長しており、それによりブロック化した礫岩層が下位層である凝灰岩に沈降すると凝灰岩は塑性変形し、ガルに貫入したりキャップロックの前面に絞り出されると考える。

このような塑性変形をする軟質粘土化凝灰岩の性質としては、①塑性図上で CH の領域にプロットされる高塑性粘土である、②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、③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、④一軸圧縮強度は 0.01～5.45MPa と小さく、容易に変形しうる、が挙げられる。また、地質構造的にも含礫砂岩層と軟質粘土化凝灰岩層や軟質粘土化凝灰岩層と硬質凝灰岩層といった著しく強度の異なる岩相が互層していることが高い延性度較差を生み出し、クリープ変形を容易にしていると考えられる。

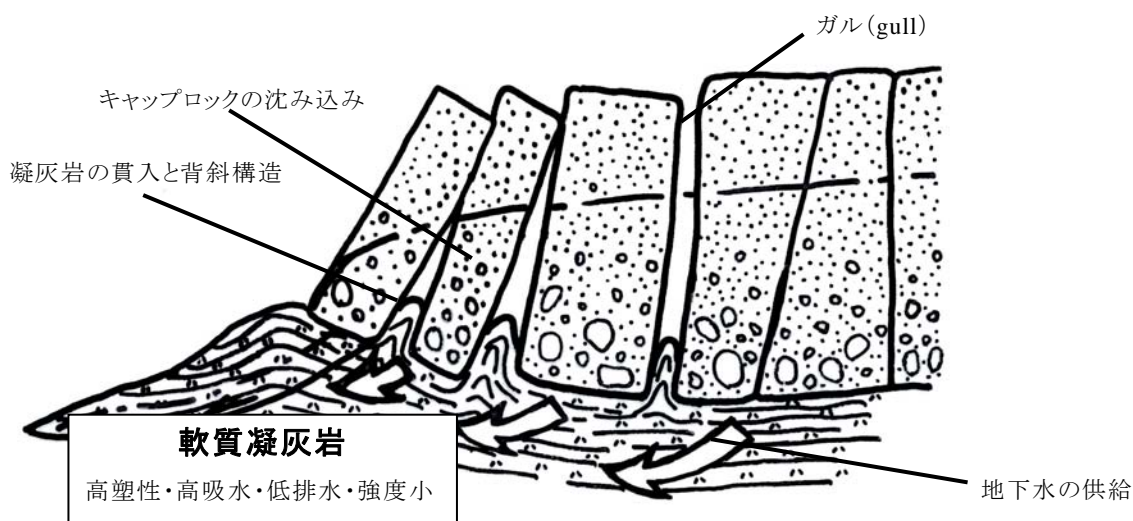


図-9 ガル(引張り割れ目)への軟質凝灰岩の貫入モデル

<引用文献>

- 1) 廣田清治・佐々木一郎・谷岡健則(1987): 島根大学地質学研究報告, No.6, pp.119-130.
- 2) 加藤靖郎(2002): 地すべりと地質学, 古今書院, pp.160-167.
- 3) Zaruba, Q. and Mencl, V. (1969): Landslide and their control, Elsevier, 205p.
- 4) 加藤靖郎・横山俊治(1993): 第 32 回地すべり学会研究発表講演集, pp.79-82.
- 5) 村井政徳・横山俊治(2003): 第 42 回地すべり学会研究発表講演集, pp.495-498.