

地質学的 視点による 地すべりの診断

長谷川 修一

はせがわ しゅういち
香川大学工学部 教授

1

はじめに

地すべり対策の設計には、土質力学を基礎とした安定解析が不可欠である。安定解析には、現状の安全率、地すべりの範囲、すべり面の位置・形状、すべり面の強度定数（粘着力、内部摩擦角）、地すべり移動体の重量、地下水位、間隙水圧が必要である。しかし、実際には安定解析に必要な情報をすべて独立に得ることはできないので、いくつかの仮定のもとに安定解析を行っているのが現状である。また、調査時点で得られた数値は、地すべりの変遷とともに変化するであろう。このような地すべりの診断と治療方法は、合理的でかつ有効であるが、西洋医学のように病气を見て、患者や家族を見ていないところがないだろうか。

テルツァギーは、土の力学現象の数学的な一般化に伴う危険性の解毒剤として、土木（応用）地質学に注目した。地質学の第一の特徴は、地質学的な時間軸で考えることである。また地質学は、地すべりを対象地区の局所的な問題でなく、より広域的な地質構造、多様な地質現象からの視点も提供する。本論では、地すべりの調査、対策が西洋科学技術でありがちな局所最適、全体最悪にならないようにするために、どのような地質学的視点を提供できるか考えてみたい。

2

地すべりの本質とは

本論では焦点をしぼるため、「地すべりは、斜面を構成する物質が斜面下方に塊の状態で運動する現象」とする（大八木、2004）。

地すべりの特徴は、風化のほとんど及ばない深度でのせん断現象であるといえる（吉松、1995）。それでは、風化のほとんど及ばない深度でのせん断面、すなわちすべり面の成因は何であろうか。私は、風化のほとんど及ばない深度におけるすべり面は、基本的には熱水変質作用によって形成されたと考えている。

残念ながら、地すべり調査におけるボーリングコアの記載には、熱水変質の視点が欠けている。たとえば、地すべり調査に使用されている地すべり地質区分（藤原、1979）では、熱水変質による粘土化部は強風化岩（W₁）と記載される。このため、粘土化は地表風化によるもの

との誤解が根強いのではないだろうか？風化と熱水変質を識別した記載方法が必要である。

熱水変質作用は、広域的な地下増温率によって与えられる温度より、より高温の局所的な溶液が関与する変質作用である（歌田、1995）。熱水溶液は、断層、節理、岩脈などを通路にし、また地下から地表に向かって流動する。このため、熱水変質帯は周囲の地層、岩石とは不調和な構造をとり、特徴的な鉱物組み合わせをもつ熱水変質帯を形成する。

西南日本外帯には第四紀の火山活動がなく、また中新世の火成岩体の分布もわずかなため、中新世の火成活動に伴う熱水変質作用による岩盤劣化が見逃されている。たとえば、四国の中央構造線沿いには中期中新世の流紋岩の貫入に伴う熱水変質帯が形成されており、地すべりの素因となっている（長谷川、2002）。**図-1**は、中央構造線近傍で発生した切土による地すべりの事例である。ここでは、地表付近から地下に向かって熱水変質による粘土化が顕著になり、著しく粘土化した流紋岩がすべり面となって、地すべりが発生している。この流紋岩粘土は、スメクタイトを多く含み、小さな内部摩擦角をもっている。

同様の熱水変質作用は、中央構造線付近だけでなく、連続性のよい断層に沿って、地質帯を問わず広く四国地方に存在する可能性が高く、地すべりの素因として注目される。

小出（1956）は、日本の地すべりを、第三紀層地すべり、破碎帯地すべり、温泉地すべりに分類したが、すべり面粘土の成因から見れば、三者とも熱水変質作用が主役であろう。このように考えると、地すべりの主たる実行犯は熱水変質粘土、そして犯罪組織は熱水変質作用といえるのではないだろうか。

3 山の隆起と解体の黒幕

では山地を隆起させ、地すべりを活発化させる原因は何であろうか？火山の場合には、火山体の成長と解体にマグマが深くかかわっていることは容易に推察できるが、非火山地帯ではどうであろうか。

じつは、西南日本外帯山地の隆起は地質帯や現在のプレートの沈み込みではなく、中期中新世の花崗岩体と関係が深い。ちなみに西日本外帯の最高峰は、いずれも外

図-1 切土斜面で発生した熱水変質に起因する地すべりの事例

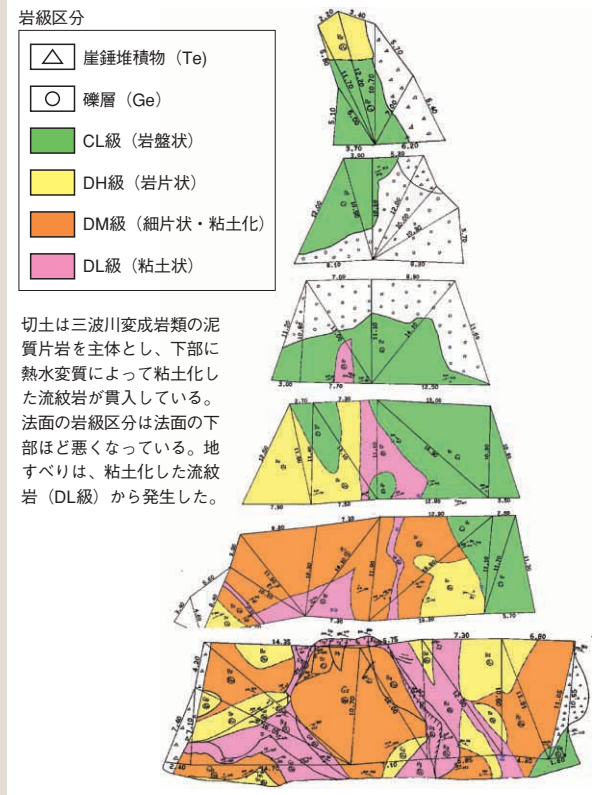
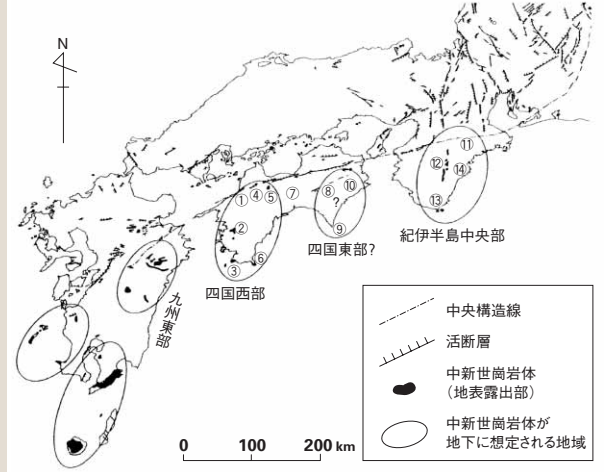


図-2 西南日本外帯に伏在すると推定される中期中新花崗岩体（長谷川・大野、2006）



帯における中期中新世の1400万年前後の年代を示す花崗岩体と密接に関係している。たとえば、紀伊半島では大峯酸性岩類の南北列中に仏経ヶ岳（1915m）がある。四国では中心部に面河花崗岩が顔を出している石鎚コールドロンの一角に石鎚山（1982m）がある。九州の最高峰である宮之浦岳（1935m）は中期中新世の花崗岩から構成されている。

私は、西南日本外帯において現在地表に露出している花崗岩体は氷山の一角で、地下には大規模な花崗岩体が伏在している可能性が高いと考えている（長谷川・大野、

2006：図-2)。また、花崗岩体の規模は、外帯の半島の規模に比例し、紀伊半島、足摺半島、室戸半島の順に大きいと推定される。西南日本外帯山地は、中新世における花崗岩体の形成後に隆起し、第四紀の初めまでに現在の地形配置はほぼ完成したようである（長谷川ほか、2002）。これは、中新世に西南日本外帯の地下に形成された密度の小さな花崗岩体が浮力によって上昇・隆起して、西南日本外帯の山地が形成されたと説明できる。

西南日本の地下に伏在すると推定される中新世の花崗岩体は、古傷のない塊状の岩体のため、地震活動も低調で、活断層の分布もまれである。しかし、中新世花崗岩マグマはその上方に位置する古期岩類には熱水変質作用を与えて、地すべりなどの素因となっている。このように考えると、西南日本に分布する中新世花崗岩体は山地の隆起と解体の黒幕ではないだろうか。

4

地すべりの変遷

地質学の視点では、現在の地すべり現象は、山地が隆起して解体される過程において、地質学的な時間のなかで起こっている斜面の変遷の一コマである。

ここでは、斜面は、①斜面の不安定化の進行（地すべり前駆現象）、②地すべりの発生・発展・衰退・消滅による斜面の安定化の繰り返しととらえることができる。つまり、地すべりは、不安定になった斜面をより安定な状態に移行させるために発生するものである。したがって、これから発展途中の地すべり地塊を力づくで止めることは、場合によっては将来の不安定度を高めるものとなる。逆に、すべりきった地すべり地塊は安定化したとみなすこともできる。

現存する地すべり地形は、数十万年前までさかのぼることができ（柳田・長谷川、1993：図-3）、一般に古い地すべり地形ほど安定している（稲垣ほか、2005：図-4）。また、大規模な地すべり地形では、古い地すべり地塊が斜面高所に残存し、その下方斜面に2次、3次の地すべり地形が形成されている。一般に河川に近く、地すべり地塊が河床に達するほど、また地すべり地形が明瞭で、新しい（開析が進んでいない）ほど、活動度が高いと想定される（もちろん例外もある）。地すべり地形の発達史を考慮した地すべりブロックの区分には、航空レーザー測量によって作成された赤色立体地図が有効である。

図-3 地すべり地形の開析度と形成年代との関係（柳田・長谷川、1993）

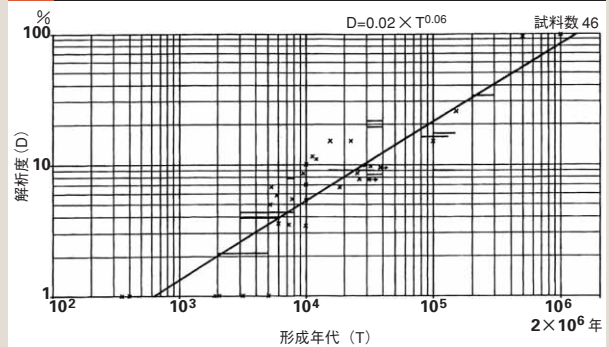
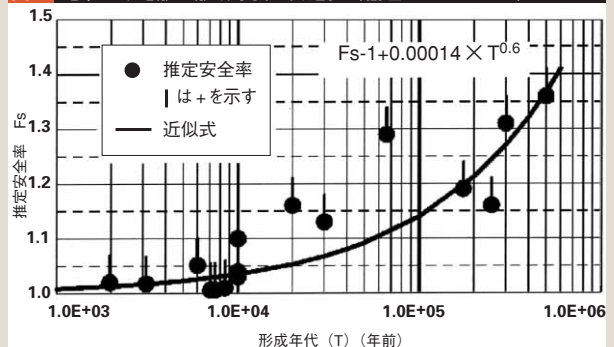


図-4 地すべり地形の形成年代と安定性（稲垣ほか、2005）



5

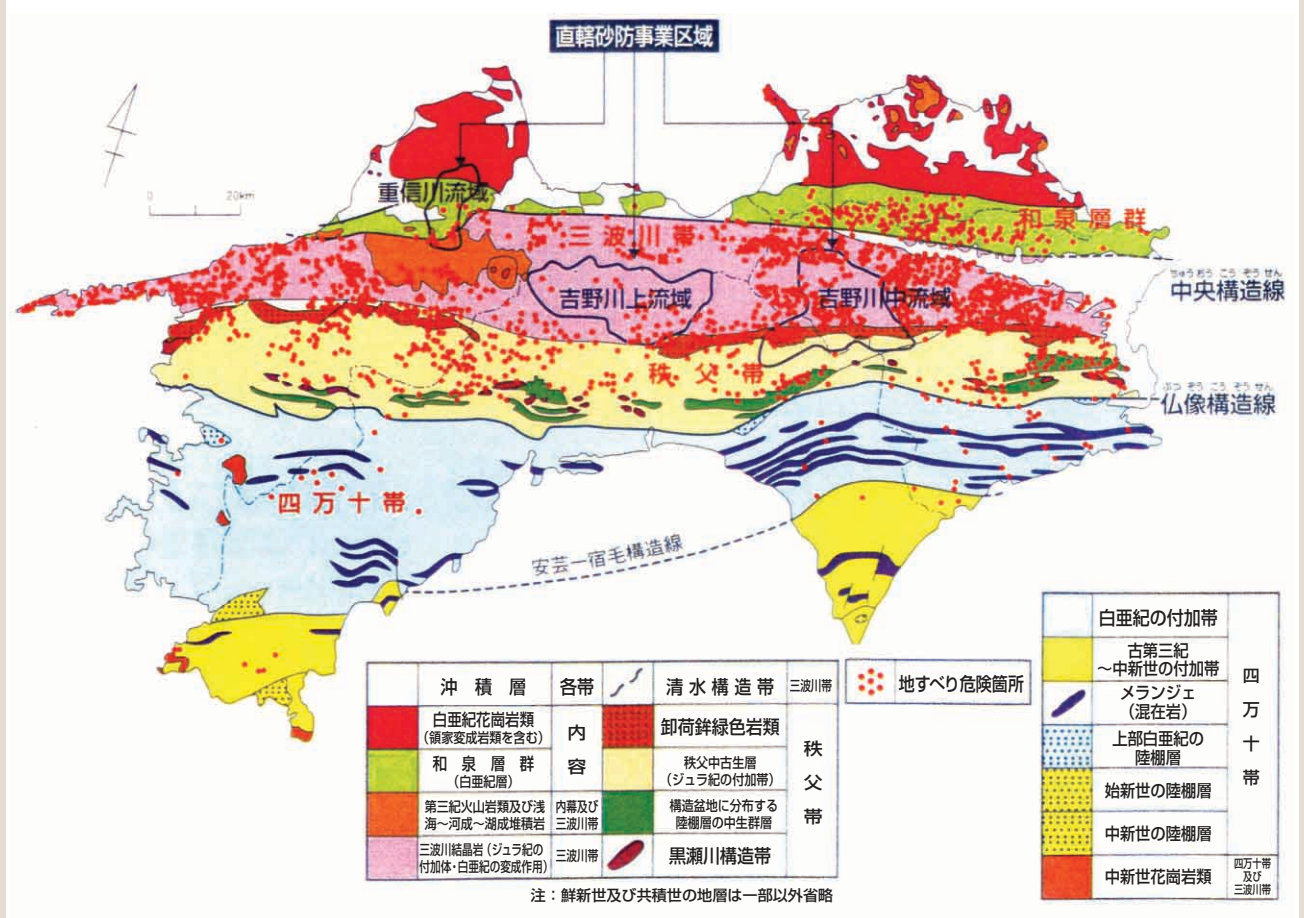
非火山地帯の大規模地すべり地形は内陸活断層による直下型巨大地震によって形成された

四国における大規模地すべり地形は、三波川－秩父帯からなる四国山地と和泉層群からなる讃岐山脈に集中し、領家花崗岩分布域と四万十帯には少ない（図-5）。

このような地すべり地形の分布は、地質の影響もあるが、基本的には中央構造線活断層系からの距離減衰に支配されているようにみえる。地すべり地形の分布は、過去の南海トラフの巨大地震の震度分布や台風などによる集中豪雨の分布形態と明らかに異なっている。また、南海トラフの巨大地震や日雨量1000mmを超える集中豪雨によっても、大規模地すべり地形が形成された事例は報告されていない。

四国における大規模地すべり地形は中央構造線活断層系による巨大地震によって形成された可能性が高いと推定される。これは、中央構造線近傍に大規模な地すべり地塊が集中していることから推定できる（長谷川、1999）。また、四国山地に分布するほとんどの地すべり地形が、活動していないことも、大地震を誘因として形成されたことを支持している。

図-5 四国の地質図と地すべり分布 (四国山地砂防事務所, 2006)



6 地すべりの宿命

地すべりや斜面崩壊などの斜面移動現象に共通して言えることは、人間は丈夫な人も丈夫でない人もいずれは死を迎えるように、斜面も丈夫であろうが、弱かろうがいつかは崩れることである。つまり、弱い斜面はちょっとした雨や地震にも耐えることはできずに、頻繁に小規模な崩壊を繰り返す。これに対して、丈夫な斜面はちょっとした雨や地震にも耐えることはできるが、耐えに耐えただけ大きな外力によって大きく崩れる。

人間が施すあらゆる治療方法も、対策工法も延命策でしかない。地すべり対策工も未来永劫に有効なのではなく、斜面の変動を局所的かつ一時的に緩和しているにすぎないのではないだろうか。しかし、延命策がまったく無駄なのではなく、適切な延命策によってしばしの間良質な生活 (QOL) が保たれることに意味がある。このように考えると、地すべり対策の目的は地すべりを抑止することではなく、地すべり地の住民の生活・文化・伝統

や道路などのライフラインを護ることであろう。また、棚田などの美しい景観や生態系の保全も地すべり対策の目的と考えると、コンクリートで固めることは目的に反することになるのではないだろうか。

★参考文献

- 1 藤原明敏 (1979) : 地すべりの解析と防止対策、理工図書、p.601
- 2 長谷川修一 (1999) : 中央構造線沿いの大規模地すべり——その特徴と地盤工学上の問題点——、土と基礎、58-7 (493)、21-24.
- 3 長谷川修一 (2002) : 四国の地質現象の黒幕としての中期中新世珪長質火成岩体、日本応用地質学会平成14年度研究発表界論文集、23-26.
- 4 長谷川修一・大野裕記 (2006) : 活断層の分布形態を規制する中期中新世火成岩体、月刊地球号外No.54、50-58.
- 5 稲垣秀輝・大久保拓朗・長谷川修一・矢田部龍一 (2005) : 古期地すべりの安定性、土と基礎、47-2 (570)、17-19.
- 6 小出博 (1956) : 日本の地すべり、東洋経済新報社
- 7 大八木則夫 (2004) : 分類/地すべり現象の定義と分類、地すべり——地形地質学的認識と用語——、地すべり学会、3-15
- 8 四国山地砂防事務所 (2006) : 四国の地質及び地すべりの分布、<http://www.skr.mlit.go.jp/sabo/dosha/dosha-f.html>
- 9 歌田実 (1995) : 地下深部における岩石の変質、放射性廃棄物と地質科学——地層処分現状と課題——、東京大学出版会、226-308.
- 10 柳田誠・長谷川修一 (1993) : 地すべり地形の開析度と形成年代との関係、地すべりの機構と対策に関するシンポジウム論文集、土質工学会四国支部、9-16.
- 11 吉松弘行 (1995) : 第2章地すべり、ジオテクノート6土は襲う——地盤災害——、地盤工学会、27-47.