【論 説】

地すべりの型と対策

渡 正 亮*

On Types of Landslide and their Control Methods

by Masasuke WATARI

1. はし が き

地すべりについての調査研究は、過去に多くの研究者の努力のお蔭で、近年急速に進歩し、その発生や運動の機構が次第に明らかにされつつあることは周知の事実である。このためには、いままで幾多の先輩の献身的な努力があったわけであり、これら諸先輩に対してわれわれは深甚な感謝と尊敬を払うものである。

これらの調査研究は各分野（地質、地形、土質、砂防、農業工学、地球物理、地球化学等）の人々により、それぞれの専門分野の特色を生かしつつ展開され、地すべりの予知や分類や対策工や調査方法の開発の面で大きな貢献をして来た。そこで、私はそろそろこの地すべり科学を系統的に集大成して、どのようにして地すべりを予知し、抑制することによって防災するかというわれわれに課せられた目標に近づけることを始めても良いのではないかと考えている。

もちろん、この問題については特に小出博氏、谷口敏雄氏、高野秀夫氏等の諸先輩が早くから考えられ、また現在でも筆者の属する建設省でも砂防部の地すべり対策室が、また、農林省や林野庁でも各担当部局がその努力を傾けておられるわけである。

筆者はここに、この問題解決の一段階として、地すべり対策に結びついた型の分類を、過去の諸先輩の展開された理論を吸収させて戴きつつ、提案してみたいと思う。

弱輩の身で、これら大先輩の偉業にはとても及ぶべくもないが、大先輩の業績をある程度集約させて頂いてこれを対策と直結したいという筆者の意図をご理解戴ければ幸甚である。

2. 地すべりの型の分類

地すべりの分類については過去に非常に多くの提案が各学問分野の研究者からされているが、これを大きく分類すると、1) 地質および地質構造によるもの、2) 運動形態によるもの、3) 地すべり土塊の質によるものに分類されよう。1)に属するものとして最も著名なものは小出博氏によるもので、これは運動機構に非常に明確な差異のある三つの形式を、地質と地質構造によって特徴

づけた点に特長を持ち、この点甚だ明快な割り切り方をしている。この外にも中村慶三郎氏や最近の藤原明敏氏のものもこの範囲に属する。

2) と3) については、これらを総合したものが多く、谷口敏雄氏、高野氏、中村氏、小出氏、渡辺寛氏のものがこれに属している。この分類の中で特徴的な点を述べると小出氏、および中村氏等が地すべりが崩壊なり山崩れから漸移したものであると考えた点である。

崩壊→地すべり性崩壊→一次的地すべり→二次的地すべり (小出博氏による)

山崩→崩壊性地すべり→普通地すべり→匍行性地すべり (中村慶三郎氏による)

これは地すべり地形の発達に関連して考えられたもので、地形の発達と地すべり運動の相関性を示唆したものであるといえよう。

3) に属するものは主として古典的なものが多く、テルツァギ、ベック、シャープ、ハイム等の分類である。

さてここで、元に戻って、われわれはなぜ地すべりを分類するかという点を少し考えてみよう。

分類にはそれぞれ目的があるはずである。ある目的を達成するために便利ように分類を行なって、それぞれの分類に応じたように目的達成の手段が決められるものである。しからば地すべりの分類は何のために行なわれるかという、それはその予知と対策のためである。ここでいう予知とは、地すべりの発生前に、ここに地すべりが存在することを明らかにすることとさらにその危険度、滑落時期を予告することであるから、上述の2項目をさらに具体的な作業で分けると次のとおりである。

1) 地すべり分布の調査

2) 地すべりの対策（発生前の地すべりも含めて）

すなわち、ある地域に地すべりがどのように分布するかという調査を行なうときは、普通、地質、地形、地球物理等の専門家に依頼して、踏査してもらって、地すべり分布図を作製してもらう。この調査のためにはどのような地質地形のところにはどんな地すべりが多いかという分類がまず頭の中にあって始めて可能である。このための分類、すなわち地すべりの地質地形分類が行なわれる。

次にその地すべりを発生しないように抑制したり、運動中のものを抑止する場合には、その調査、対策の主眼

* 建設省土木研究所

は、地すべりの運動形態に移って来る。すなわち、どのようなすべり面の分布、土塊の形、運動状態、地下水分分布のときには、どのように抑制するかを運動形態で分類して、対策計画が立てられるはずである（もちろん地質地形の問題も入って来るが、主眼点は運動形態になるという意味である）。

このように地すべりの分布と対策という二つの目的のためには二つの分類が必要なわけで、これが前項の 1) (地質、地形) と 2) (運動形態) になるのであろう。

1) の分類については 前述のとおり、過去に多くの専門家によるものが多く、これはむしろ地質、地形の専門家におまかせした方が良さそうであるので、筆者は後者の運動形態について少々考えてみたいと思う。

3. 地すべり運動形態と型分類

地すべりにもいろいろな地質、地形、運動状態、地下水分分布があって、その一つ一つをとり上げて、全く同一のものはなく、似ていてどこかが違っていたり、似ても似つかないものもあったり、それはちょうど人間の顔や体質が個人個人で相異なっているのと同じように、誰かにいわれたことがある。全くそのとおりで、筆者もいままでに、調査をしたり、対策の指導に当たった地すべりの数は 1,000 以上にものぼると思うが、どれをとっても全く同一ということはない。しかし似たものはあって、こういうものにゆき当たると、その以前に診た類似の地すべりを思い出して、あのときはどのようにして安定をはかったかと思い起してそれを参考にして対策を決めることはよくある。これが実は運動形態による分類（対策のための分類）の重要な因子になるわけである。

いわば、われわれは医師のようなもので、患者に出会った場合は、まず、病歴、徴候、年令、体格、触診等（文献調査と踏査）から始まって、その患者の病気の根源を類推し、それに適合した検査（調査）を行なう。病気の根源が不明瞭な場合は、ちょうど人間ドックに入れるように概括的な検査（概査）を行なって、病源を確かめ、細かい検査（精査）を行なって治療法（対策工法）を決める。この決め方も患者の体質、年令、その他を勘案して決定するのが普通である。（ ）は地すべり対策の場合の用語を当てはめてみた。

地すべりを病気に例えると、その地すべりすなわち病気の進行状態や、回復のし方も患者によって大いに異なっていることも周知の事実である。一般に若い人は病気の進行が著しく早く、知らないうちに重大事態になったり、治療が成功すると早急に回復して社会に復帰できる。小児の場合は特にこれが明瞭である。ところが老年になると病気の進行が遅いかわりに回復も遅く、再発したり、小康を保ったりの繰返しで、若い人にとって即効的な薬もそれほど効果を表わさない。中年過ぎると人

間誰しもこの傾向はあるようである。地すべりの場合もどうもそれとよく似た傾向が見受けられる。たとえば、長野県茶臼山の地すべりは、すでに 100 年以上もの間運動を続けており、といって滑落してしまうわけでもなく、対策工もすでに数十年にわたって続けられ、最近になってようやく安定化のきざしが見え始めている。これに対して富山県の胡桃の地すべりは、明確な運動は早期に発生して、その運動は急速であり、この運動の終結も非常に早かった。パイオントダム（パイオントダム）の地すべりなどは、活動の徴候がみえてから終結（滑落）まで 1 年足らずであった。このような運動状態の相異は何から起るかというと、これは地すべり土塊の性質によるところが大きい。

茶臼山地すべりはその流動地帯を見ると、ほとんど粘土より成っているのに対して、パイオントダムや胡桃は、新鮮な岩盤より成っていた。いわゆる地すべり地形も茶臼山は誰がみてもわかるように明瞭であるのに対して、パイオントダムの場合は事前に地形でこれを予知することは相当困難であろう。これはちょうど小児の病気の予防が困難なのとよく似ている。すなわち地すべりにも人間と同様に老人型、成人型、青年型、小児型に分類すれば、それが、それぞれの地すべりの土塊の性質、地形、すべり面、予知の方法、主要な対策工等を代表するものになるのではないかと考え、筆者は、地すべりを以下の四つの型に分けてみた。

- a) 幼年型（主として新鮮な岩、または風化した岩より成る）
- b) 青年型（主として風化岩（キレツが多い）より成る）
- c) 壮年型（主として巨礫混りの土砂より成る）
- d) 老年型（主として、礫混り土砂や粘土より成る）

これらの四つの型は、前述の小出氏、中村氏の分類に見るように幼年→青年→壮年→老年と地すべりが漸移する場合も充分考えられるが、すべてが漸移するものではなく、火山碎屑物や崖錐のすべりのように青年あるいは壮年型から出発するものも考えられる。

4. 各分類型の特長

a. 幼年型

過去に地すべりを発生したことのない、したがって地形的にも地すべり地形を呈しない斜面に発生するもので、多くは新鮮な岩盤より成り、発生すると運動速度が大きく、突発的である。地すべり土塊は一体となって運動し、すべり面が山腹に出ている場合は、多くの場合、滑落する（病気ならば死亡?）。末端に隆起部を伴うときは運動も比較的小さく（2 cm/day 以上）、滑落しないことがある。

頭部に明瞭な滑落崖または帯状の陥没を生じ、そこに地下水は集中する。運動中に次第に頭部が明瞭になって

図-1

来るが、発生前には頭部が不明瞭である。地形的には凸形斜面上に多く発生し、すべり面は平面状で、頭部ではほとんど $70^{\circ}\sim 90^{\circ}$ に直立し、ちょうど椅子のような形の地すべり面になる。すべり面粘土も厚さ2cm程度が見られる程度である。運動した距離に比例して土塊を形成する岩盤にキレツが発生し、側面部、末端部および陥没部

では礫状化が進み側面部では2次的に浅い地すべりを発生することもある。一般にすべり土塊の厚さが大きく20m~40mでまれには100m以上のもの(例 バイオンダム、トック山)もみられる。わが国では以前は年間2~3例発生する程度で、特に強雨との関連が大きかったが、近年は大規模土工やダム湛水の影響で増加している。長崎県北松浦地区に多く見られる外、結晶片岩地帯や第三紀層にも見られる。新潟県の魚沼層に見られるすべりもこれに似ている。建設省所管のものでは群馬県少林山が、農林省では香川県小豆島肥土山、国鉄では東北本線青森県浅虫が有名である。この発生機構についてはなお、疑問の点が多く、明瞭ではないが、山の尾根部を横切る断層等の存在がその素因となっていることは十分考えられ、一般に尾根の鞍部が地すべりの境界となることからこのことが示唆される。

土工によって発生する場合は、小規模土工で発生した例は少なく、たいていは大規模土工(数万 m^3 以上の)によるもので、発生前の安全率を1.00と仮定すると、0.7~0.8にこれを下げたときに起っている。すなわち、逆にいえば、安全率が1.3~1.2にあったものが、土工によってバランスを崩したことになる。

対策工としては、頭部のキレツの部分に地下水が集中しているのを、応急対策として、長い横ボーリングによって、キレツの下すべり面付近で、地下水を排除すると活動を急速に緩和することができる。恒久対策としてはトンネル排水工や、頭部土塊の排除工が有効であり、末端部での杭挿入工も、運動が緩和した後の再発防止には非常に有効である。

地形的に地すべり地形を呈さないために、あらかじめ、そこが地すべり危険地であるということを予知することは非常に困難で、熟達した専門家による踏査とボーリング等による精査によってのみ予知ができる。

b. 青年型

多くは一度滑動した幼年型が再発したものである。幼年型が安定すると、その土塊は周囲の岩盤に較べて、どうしてもキレツが多くなっているため、降雨の浸透が促進されて風化する。このために強風化岩の形式をとる。特に末端部や側面部、陥没部では甚だしく、巨礫混じり土砂の形態をとる場所もある。地形的には幼年型のときにできた頭部(台地状部)と滑落崖(たいていは馬蹄形)が明瞭に残るので1/3,000~1/5,000の地形図で予知することができる。運動速度は1.0~2.0cm/dayのものが多く、降雨期や融雪期に激しく、乾期には安定しているものがあり、ある程度断続的である。運動にともなって頭部は次第に2~3個に分裂して、地すべりのブロック化の徴候が見られるし、冠頂部に新たに幼年型のすべりを発生して、地すべり地が後退してゆく場合もある。すべり面は末端部では平面状であるが頭部付近では弧状

に変化し、円弧と直線の複合した形になっている。末端部と側面部には2次的な壮年型や老年型の地すべりを伴うことがある。幼年型が発生してから青年型が再発するまでの期間は、埋木のカーボン法による年代測定によると10,000~20,000年のものも見られ、幼年型が第四氷河期に発生しているものが見出されている。集中豪雨、異常融雪等の異常気象や中規模の土工が誘因となり易い。

地すべり土塊は強風化岩であるからだいたい褐色系に変色しており、ボーリングを行なうと、すべり面を境にして明瞭に色が変わるので、これによっても、すべり面の分布を確認することができる。土塊の厚さは20m~30mがほとんどで、それ以上の厚さのものはわが国ではほとんど見当らない。

地下水は頭部(残丘とも呼ばれ二~三つ分かれていることが多い)の背後の滑落崖や陥没部直下に集中していることが多いので、この排除が非常に有効であるが、滯水部の透水性が幼年型よりも悪いので、長い横ボーリングだと本数が多くなるので集水井工法が最も有効かつ経済的である。また地すべり地周辺からのトンネル排水も地すべりのブロック化が十分進んでいない段階では有効である。頭部の土塊排除、末端付近での杭挿入工も有効である。対策工の効果は即効的である。

この型の地すべりは結晶片岩地帯(小出氏の破碎帯地すべり)に最も多く見出されるが、新第三紀層でも頻発する(たとえば新潟県国鉄飯山線の高場山)、また大規模なものとしては大阪府亀ノ瀬がこの型に属する。能登半島基部の新第三紀層中にもときどき見つけることができる。斜面の安定度は幼年型より悪く、1.05~1.15である。

c. 壮年型

最も一般的な地すべりで土塊は主として礫混りの土砂によって構成されている。青年型がさらに漸移したものもあるが、崖錐状の堆積物の場合等は、この型から始まる。頭部は青年型よりさらに分かれて、地すべり地全体が、いくつかの階段状斜面に分かれる。上部では巨礫混り土砂で風化岩盤の形態をとるが、末端に至るほど、細粒化して礫混り土砂や粘土状を呈する。運動は次第に断続的になり、5~20年に1回ぐらいの割合で発生する。その運動も、ブロックによって異なり、各運動ブロックは相互に関連性を持つ。地形は典型的な地すべり地形となり、すべり面は弧状を呈す。すべり土塊の厚さは10~20mである。地表の乱れが甚だしく、池や沼、湿地、凹地等が各所に見られるようになるので1/5,000~1/10,000の地形図からも容易に判読できる。霖雨や融雪等で発生し易く、末端部は老年型の流動状を呈する場合もある。斜面の安定度はさらに悪く1.03~1.05であり、3%程度安全率を低下させてもすべる可能性がある。多くの運動ブロックに分かれるため、地下水も広範囲に分散しがち

であるが、斜面内の台地部の上端付近に集る傾向を持つので、短い横ボーリング(30~50m)や多数の集水井によって安定化を促進することが可能である。頭部が多数あるため頭部の排土工は、他の運動ブロックの活発化を促進する可能性があるので適用の場合は十分注意を要する。杭挿入工も、青年型に近いものほど有効で、老年型に近づくとも適用できない。地表水排除工や暗渠工も有効な工法である。この型の地すべりの代表的なものは長野、新潟両県等の新第三紀層中に広く分布するし、蛇紋岩の地帯でも良く見受けられることができる。

d. 老年型

土塊がさらに細粒化すると、地すべり土塊の大部を礫混りの粘土で形成されるようになる。そうになると、ブロック化はますます進行して、無数の小さい運動ブロックに分割され、複雑な運動を起こし、この運動も継続的になる。地表地形はほとんど一様な緩勾配の斜面となり、すべり面を連続すると、地表勾配をほぼ等しい緩斜面になり、すべり土塊の厚さも5m~10m程度になる。速度も小さくなって0.5cm/day以下になり、異常気象の場合でも、全土塊が滑落することがなく、その一部の決壊を伴う程度になる。

斜面の安定度は非常に悪く、少量の土工によっても運動が活発化する。地形的には凹形斜面に発生し、運動によって毎年地表の状態が変化するので、地元の聞込みによっても容易にその分布を探ることができる。青幼年型が滑落した後の斜面に発生することもある。斜面上部には明瞭な台地部を残すこともあり、この場合は、この台地のたいてい礫混り土砂より形成される。運動は流動状で明らかに曲流する場合が見られる。地下水はこの地域内に完全に分散し、毛細管状の小さな網状の地下水によって構成されるので、集水面の広い暗キヨ工等で排除する以外に方法がない。地すべり地域外からの地下水流入を遮断することや、地表水の浸透を防止することも有効な工法であるが、土塊の一部排除や、杭挿入工は適用できない。

対策の効果も遅効的で2~3年後にやっと幾分の効果が表われる程度であるから、重要な構造物等の設置は絶対に避けるべきである。この型の地すべりは、新第三紀層の中や、温泉余土に起因した火山性地すべりにも一部見られる。

5. 型分類と対策計画

上述の型は、種々の体質を持った人々を数種の典型に分類してその特長とする治療法を述べたわけで実際にはこれらの型の組合せである。たとえば幅に対して長さの長い地すべりはたいていが後退性のものであり、したがって下部から老年型—壮年型—青年型—幼年型と連続している場合もある。このような場合は、その部位によっ

て、これに適した対策工法が採用されて初めて全体計画が立てられるわけである。

対策工法については前項に述べたが、この外に砂防堰堤工等の河川海岸構造物による溪流等の横浸蝕の防止工法があるが、この工法はいずれの地すべりの型にとっても有効な工法であり、河川や海岸浸蝕の盛んな所では必ず用いた方がよい。

前述のとおり対策の効果は幼年型に近いほど即効的であり地下水の集中度も良く、滞水層の透水性も良いので、対策計画策定の場合は年令の若い型の部分でできるだけ早期に集中的に対策工を行なって、その部分を安定化してから年令の高い部位の対策を行なうことが望ましい。

最後に、地質上から見た地すべり発生機構が今後さらに明確になれば、この型の上に地質名（たとえば新第三

紀壮年型のごとく）を載せて、さらに明確な対策工法の適用方法や調査の適用方法まで論及できることを望んでいる。

6. あとがき

筆者の行なった分類は、要するに諸先輩の行なった分類を整理し、これに対して、その実用化を図ったに過ぎないし、分類型の数もわずか四つでは、実用上は少な過ぎる感が無いでもない。今後、研究が進んで、各種の特例が見出され、さらに複雑化した分類方法が表われることを希望したい。

最後に、筆者の分類が諸先輩の分類を参考にして作ったものに過ぎないことを説明するために、2～3の分類に対してその対照表を作ってみた。

分類者名 型	高野 秀夫氏	小 出 博 氏	中村 慶三郎氏	谷 口 敏 雄 氏
幼 年 型	崩 壊 型 地 塊 型 粘 稠 型 流 動 型	崩壊及び地すべり性決壊	山 崩 れ	岩石の平面型すべり
青 年 型		間歇型 一次地すべり 継続型 一次地すべり 二次地すべり	崩壊性地すべり	岩石をふくんだ土砂の円弧型すべり 土砂の円弧型すべり
壮 年 型			普通地すべり	
老 年 型			匍行性地すべり	匍行型すべり