

最近の地すべり研究の動向について*

島 通 保

1. ま え が き

地すべり現象それ自体は、地球の表面で浸蝕作用が始った頃から、断続的に発生していたが、ほとんど世間の関心を引かなかった。その理由としては、恐らく地すべり現象が人口密度の極度に低い山間僻地に起ったため、社会経済に重大な影響を与えるまでに至らず、たゞその付近の少数の住民の被害にとどまる程度であったということが考えられる。しかしながら戦後においては、経済活動の発展に伴ない、土地利用も高度化し、丘陵地・山地さらに奥地の山岳地帯の開発によって、斜面の安定条件は悪化し、地すべりの被害も激増しその影響の及ぶ範囲も広がって、公共の利害に深い関係をもたらした。とくに戦後の経済活動は、全国各地を交通網・情報網によって相互に密接に結びつけたため、山間の地すべりの災害は都市活動にも重大な影響を及ぼすようになり、それを単に局所的なものとして軽視するわけにはいなくなり、地すべり防止に対しては、国家的見地からも、緊急な災害防止対策として取上げられるようになった。

ところでこのような社会的要請に応えて有効な防止工事を実施するためには、まず地すべり現象の実態の解明が必要であることが認識されるようになり、戦後各地で発生した大規模の地すべり（例えば昭和22年5月の能生谷地すべり）の調査を契機として、地すべり研究は本格化した。勿論戦前にも、地理学者、地質学者によって興味を持たれ、地すべり地の地形的・地質的特性の研究が行なわれたが、地すべり研究が災害科学として、本格化してからの日は浅い。地すべり現象は非常に複雑な現象で、その発生の原因と考えられるものも数多くあるから、これを解明するには多方面の知識を必要とし、様々の方法をもってこれにアプローチしなければならない。今日まで、地形学・地質学・地球物理学・土質工学・砂防工学など、多くの分野の研究者によって多面的な研究が行なわれているが、1つの地点の地すべりそれ自体が複雑である上に、日本だけとっても、地質条件・地理条件によりその種類は非常に多く、個性的であり、詳細に調査・研究された例もそれ程多くはないという事情もあって、未解決の問題が多い。

地すべり現象の研究は、いろいろの角度から行なわれているが、この報告では地すべり現象の研究方法と実態の調査方法に限って、最近の研究の特色および今後の問題点について述べてみることにする。

山地や丘陵で、斜面の一部が何らかの原因によって、平衡状態を破って下方に移動していく現象には、地すべりの外に山崩れあるいは崩壊に関するものも含まれる。地すべりと崩壊とは形態の上では似ており、その境界ははっきりしないが、その区別は一口でいえば、一方は土塊の一体的なすべりであり、他方はくずれという言葉によって表わされる現象といつてよいであろう。こゝでは地すべりの方に重点を置くことにする。

2. 地形・地質構造の研究

地すべりの学問的な研究は大体昭和10年頃から始められ、戦後にかけての主な方法は、地形学的・地質学的なものであった。すなわち、地すべり地を踏査によって詳細に調査し、地すべりを系統的に分類しようとするものであったといつてよい。その代表的なものとしては、地すべり地の地質の特徴による分類があり、第3紀層地すべり、破碎帯地すべり、温泉地地すべりに分類されている。またすべり面に注目して、その形が円弧形であるか、平面であるかによる分類や、すべり面が基盤中に存在し、基岩の風化状態・構造に関係

* 昭和47年度防災研究所研究発表会特別講演（1973年2月6日）

の深い基盤地すべりと、すべり面が崩積土・風化土などの表層中あるいは基岩との境界面に存在する表層地すべりとに分類することも試みられた。その他、移動土塊が、流動的であるか、一体性の強い地塊型であるか、または崩壊型であるかなどの運動形態による分類も行なわれた。このように日本各地に発生した数多くの地すべりの特色を細かく調べて、色々な角度から分類していこうとする努力が主なものであった。

その後、現在まで多くの人々によって、分類の再検討もなされている。渡正亮氏は、地すべり運動のくり返しに伴う地すべり地形の発達過程を4つの段階——1. 発生前および幼年期、2. 青年期、3. 壮年期、4. 老年期——に分類している。この分類は斜面の安定度や地すべりの運動状態の特性とも対応しており、防止対策立案にあたって目やすを立てる上でも有効と思われる。また現在では空中写真の利用が容易になるとともに、空中写真を立体視して得られる地形の観察から、微妙な地形のパターンが認識されるようになり、地すべり地形発達の中での地すべり現象のもつ意味についての考察も行なわれるようになった。また空中写真によって地質構造上の弱線の発見も可能になり、その技術の向上と共に広く用いられるようになったが、単に地形上からは予測し難い、幼年期の岩盤地すべり予測の一つの手段とすることは今後の問題であろう。

以上のような地質学・地形学の立場からの研究は、戦前は主に学問的関心からのものであったため、それらの成果を災害として発生する地すべり防止の目的に使用しようとした場合、あまり役に立たなかったようである。そのため、戦後は、地すべり防止の実際的、社会的要請に応える方向の研究が推進されるようになった。地質学的方法にしても、ボーリング孔から得られるコアサンプルよりのデータの解釈とその結果の積極利用による地すべりの地質特性、とくに破砕帯などの劣弱層の推定が行なわれるようになった。

地質構造を調査するためにも、地質学的方法の外、弾性波探査、電気探査などの物理探査の方法が広く適用されている。例えば弾性波探査においても、複雑な地質構造をもつ地すべり地に対しては、通常の屈折法の外、ボーリング孔を利用する方法、すなわち、孔中にピックアップと震源を設置して測定することにより、スベリ層・破砕帯などを含む複雑な微細構造を探査する方法など、新しい方法の開発が進められている。この方法は地すべりのすべり面の位置、形や地下水の帯水域が、層構造と密接に関係しているような地すべり地の場合にはとくに有効と思われる。今後さらに土質力学的調査との密接な協力により、その適用範囲も広がっていくことが期待される。

3. 移動機構と予知の研究

戦後の新しい傾向の主流は、複雑な構造の自然地形である地すべり地の地すべり現象自体、および地すべりを引き起す原因となる、地下水などの誘因を地球物理学的・土質力学的計測方法と化学的な分析によって定量的に捉え、それらの解析結果を基礎資料として防止工事を行い、地すべりを止めることにある。なお土質力学的な説明は戦前から行なわれていたが、それらは盛土などの土木構造物の斜面崩壊の方法をほとんどそのまま用いたものであった。盛土などの土木構造物では媒質はほとんど均質であり、その土質の力学的性質もかなりよくわかっている。したがって、理論的解析のためのデータも整っているから、すべり面の形も円弧と仮定でき、その位置も理論的に推定可能であるなど、地すべりの説明も比較的容易である。しかし自然地形で起る地すべりでは、地下構造が複雑で、土質の強度常数の分布も構造によって左右される。また周囲に比べて内部摩擦角・粘着力などの強度も低く、また地下水などの水によって強度低下を受け易い層が一般にすべり面になる。したがって、すべり面の位置を各種の探査によって決め、不均一な土質の強度常数分布を知ってはじめて、厳密な理論的解析が可能であるなど、その取扱方法も土木構造物を対象とする場合に比べて相当に違ったものにならなければならない。したがって、そのままの形で適用したものは、實際的でなく、有意義な結果は得られなかった。

地すべりは一般に緩慢な土塊の運動であるから、その運動形態の把握が必要である。このことは単に実態の把握のためということだけでなく、それが地すべりの初期状態を観測しているのであれば、その後に発生する本格的な地すべり発生の予知の手段ともなるし、また防止工実施後のものであれば、効果の判定に役立つ。

土塊の動きは表面および土塊中における媒質の変形、運動の観測によって得られるが、地すべりではその他、動いている土塊の範囲、特にすべり面の深さの決定が重要である。

まず、地表面の動きは、地すべり地およびその周辺の地表に多数設置された伸縮計、傾斜計から得られるデータの解析によって明らかになる。地すべり地の規模は長さ・巾で 100m～数 km に及ぶため、土塊の動きは一樣でなく、時間的なずれをもってブロック状に動くということ、1 日周期の周期的な変動も現れることなど、その動きの複雑なことがわかってきており、広い地すべり地に対し、防止工事を行うに際しても、これらの結果は重要である。

前述のように、土地の動きが初期状態のものであれば、それを測って本格的な地すべり発生の予知が可能ではないかということが期待されるが、このための試みも色々なされている。それらの中で、国鉄の斎藤博士による、崩壊性地すべりに対して行なわれた、伸縮計を使ったものが少ない成功例の一つである。それは地すべりの地表に設置した伸縮計による、継続的な観測データの解析によるものである。土塊の破壊に至るプロセスがクリープ変形である点に注目して、変形の時間的変化の特性曲線（移動速度）から、破壊の時刻を予知しようとする試みである。クリープ曲線が破壊に至るまでに 3 つの段階を持つことは、模型斜面による崩壊実験によってまず確かめられ、その中、定常ひずみ速度を示す 2 次クリープとひずみの加速を示す 3 次クリープの段階に、ひずみの変化の割合と破壊時間との間に密接な関係のあることが示された。崩壊時刻に最も関係の深いのは、地すべり地上部のクラック発生場所における観測値であり、その観測値を使って、崩壊発生の 3 日前における予知の誤差は、1 日程度であるという実際例が得られている。これは急激に地すべりの発生する崩壊性地すべりの例であるが、もっとゆっくりと持続的に動く通常の地すべりの場合は、動きも複雑であるため、現在のところ、未だ正確な予知はほとんど不可能であり、今後に残された問題といえる。

上記の観測は、地表で行なえるから、観測値の精度はほぼ充分に高くとれるが、地中内部の動きを計量的にとらえることは仲々困難である。現在広く実施されている方法は、ボーリング孔に直径 5 cm 前後のビニールパイプを挿入し、土塊の動きによって、とくにすべり面附近において、ビニールパイプが曲げられるのをパイプの側面に貼付けられたストレインゲージによって計測するものである。あるいは、その中にパイプの曲がりを計る計測器を挿入して、それによって計ることも行なわれている。

いずれの場合も地表での計測に比して、その精度が相当に低下するのが難点である。挿入式のひずみ計によって計測し、統計的データ処理を行うなど、手数をかければ、すべり面の位置、土塊の変形の程度も定量的に把めるようになってきているが、地すべり機構の理論的解明に役立つレベルのものが得られるようになるには、計測器・解析方法の開発など今後の研究にまたなければならない。

地すべりは土塊を下方に引く重力の作用に対して、すべり面付近の土質のせん断抵抗力が負けた時に起るが、その発生の条件を定量的に求めるいわゆる安定解析には、すべり面の土質の粘着力、内部摩擦角などの強度常数が必要である。しかしながら、広い地すべり地から、どれくらいのサンプルを採ったらよいかの問題、厚さ数 cm 程度のすべり層からボーリング孔を使って不攪乱試料をとることの困難等のため、安定解析に必要な地すべり面の強度を決めることは非常に困難であり、現在のところ精度の高い解析は未だ行なわれていない。このためサンプルによって決めるよりも、すべり面附近の変形や土圧を、ある期間にわたって計測し、これらの量の関係より、すべり層の土質の変形・強度常数を求める方法が考えられている。

地すべり地の広さや、時には深さ 50 m 以上にもなるすべり面までの深さを考えれば、地すべり土塊全体の動きを立体的に詳しく知ることはなかなか大変なことであり、現在のところ比較的小規模の地すべり地で、少数の場合行なわれている程度であるが、現在ではコンピューター使用による構造解析の手法が開発されてきたので、今後は地表と地中の動きの詳細なデータも生かされるであろうし、解析に堪えるデータをとる努力もなされている。例えば、種々の自然のおよび人為的な誘因による移動のデータを基に、地すべり土塊を粘・弾性媒質とみなして、これに構造解析的处理をほどこし、地中内部の力学的常数を推定することなど可能となろう。

4. 誘因と防止工法の研究

地すべりの直接的な誘因としては、地下水圧の作用と地震の作用とが知られている。地震の方はそれ自体の予知が現在の段階では不可能のため、それによる地すべりは突発的である。したがって、危険ではあるが、その発生数は地下水によるものに比して非常に少い。そのため現在の所、その研究も少いが、開発の進展により、斜面の安定条件は悪化しているから、今後、地震時における災害発生個所の増大が予想される。

地下水の供給源は雨および雪であるが、西南日本に存在する破碎帯地すべりは雨によるものであり、裏日本の第三紀層地すべりは雪による地下水が主な誘因であることがわかってきている。一口に地下水が誘因であるといってもその作用のメカニズムを実証的に明らかにすることは容易ではない。すなわち、地下水圧の増大はすべり層粘土の間隙水圧の上昇をもたらし、これはその粘土の有効圧力を減じて、土のせん断抵抗力を減らす働きをすることを考えられているが、実証しようとする、すべり層が粘土である場合、現在の間隙水圧計では厳密にその中の圧力をとり出すことは困難である。またこの外、地下水の変化は粘土の含水比の変化をもたらして、土のせん断抵抗力が減るのではないかという考えもある。地下水圧の作用のメカニズムははっきりしないとしても、地下水圧と土塊の移動との間には、高い相関関係のあることは、多くの事例の示すところである。しかしその場合でも、この間の関係を厳密につきとめるためには、すべり面に直接影響を与えている地下水の圧力をとり出す必要がある。この問題も仲々困難ではあるが、最近ボーリング孔に対し充填層を作って、孔中での地下水を数個所に分離して相互の影響を抑え、特定の位置の地下水圧をとり出すことが試みられている。この方法により、すべり面に関係のある水圧と移動との関係が調べられているが、未だその例は少く今後の研究にまたなければならない。

最も重要な誘因である地下水の地すべり地における分布についても色々調べられ、その結果、地下水は全体にわたってある深さに一様に層状に存在することは稀であり、地下の透水性の土質・岩盤中に水脈状に流れていることが明らかにされた。地すべり防止の最も有力な手段は地下水の排水であるが、この目的のためにもその存在位置、流れの径路をつきとめることが必要である。このため地すべり研究においては地下水の探査は非常に重要な課題となっている。地下水の探査はまず大地の電気的比抵抗分布や地温分布から概略的な分布状態を求め、ついでボーリング孔に薬品を投入し、その行方を別のボーリング孔や湧水点において調べるというのが一般的な方法である。電気探査を実施する場合の問題点として、計測される電気的比抵抗値と土質・岩盤の含水比の対応が一意的であるとはいえず、難しいということがある。現在、ボーリング孔中での電気検層法のような、より直接的な方法によって、その間の関係が、地すべり地毎に求められるようになってきているが、それによって地すべり地全体にわたって求められた比抵抗分布値の地下水の含水比についてもつ意味を明らかにすることも可能となり、電気探査法は一層有効になってきている。また最近では地下水の追跡も単に地点間の水流の関係だけでなく、深さも指定された地点間の関係や、水流の太さなどを求める方法が研究されてきている。以上のような方法によって、水脈の位置、特に地すべりに関係の深い水脈の位置、水流の速度、水脈の太さがわかってくると、効率的な排水のための横ボーリング、集水井の位置の決定が可能となる。

防止工法のもう1つの有力な方法として、杭や擁壁によって直接地すべりを止めることも、比較的規模の小さい地すべり地においては実施されているが、このための工事設計の方法として、最近有力になってきたものに有限要素法によるものがあるが、今後この方法はさらに開発されていくであろう。

5. む す び

以上最近までの地すべり研究を概観してきたが、地すべり現象の学問的な解明の歴史は浅く、そのため地すべり防止対策を立てる上で、個々のエンジニアの経験に頼ることが多かったが、現在ようやく科学的な対処の方法がわかってきた段階ではないかと思われる。今後この方向を一層強く推進していくことが必要であろう。

ON RECENT TRENDS OF LANDSLIDE STUDY

By *Michiyasu* SHIMA

Synopsis

In this paper, some consideration of recent methods is described with respect to elucidation of mechanism of landslide, prospecting of ground water in landslide area, landslide control work, and prediction of landslide from early phenomena. It is pointed out that the results of these investigations are very available to plan the concrete landslide control in the present status.