

開発と斜面災害

島 通 保

1. はじめに

斜面災害はおまかに分類して、地すべりと呼ばれている現象と崩壊と呼ばれている現象に分けられている。しかし両者の区別は厳密にはつけにくいものである。その典型的なものについていうと、地すべりは、地質的に特定の地質の所に多く発生し、主として粘性土をすべり面として滑動し、移動する土塊も原形を保ちつゝ動く場合が多い。その規模は1～100 haと大きい、移動速度は小さいのが普通である。崩壊は地質との関連は少なく、特定のすべり面のようなものはない。一般に発生は突発的で、移動土塊は乱される。移動速度も1 cm/sec 以上できわめて大きい場合も多い。いづれにしても斜面のある部分の移動である点では共通であり、以下においては両者をまとめて地すべりと呼ぶことにする。

地すべりは、現象としては有史以前からあったが、災害として人々の生活に大きな被害を及ぼすようになってきたのは、千年以上前の頃からであったといわれている。当時は地すべりがどのような原因で発生するのかもわからず、たゞ恐怖に怯えながら日々を過していた。現在ではかなりよくわかってきた地すべりも、明治以前には、ほとんど手のつけようのない災害であった。

明治以後、日本でも近代化の過程に入り、鉄道、道路の建設も実施されるようになり、昔からの地すべり地帯にも村落・都市が形成されてきた。大ざっぱにいうと、第二次大戦以前は自然的誘因、すなわち降雨・融雪による地すべりが殆んどであり、第二次大戦以後、特に昭和30年代半ば以降の高度成長期には、開発に関係すると思われる地すべりも出現し始めた。こゝでは主として開発に関係すると考えられる地すべりについて考えてみることにする。

2. 地すべり調査法の開発

地下水などの自然的誘因にしろ、あるいは人工的誘因によるものであっても、地すべりが発生した場合、なるべく早い時期に、動きの特性を把握することが必要である。このための調査法は戦前から既に研究されていたが、戦後、地すべり防止のためには、地すべり現象自体の実態を把握することの重要性が認識され始めた。地すべりが発生した際地表に現れる変動については、現在のように全体的および定量的なものではないにしろ、定性的には古くから、経験的に知られていた。しかしながら、地すべりの原因である地中の状態については、戦前はほとんどわかっていなかった。

戦後昭和20年代には各地に豪雪および豪雨による大規模の地すべりが多発し、住民、家屋、鉄道、道路および河川に大きな被害が発生した。人々の関心も高まりつゝあったが、昭和22年5月に起った新潟県西頸城郡能生谷村の柵口地すべりによる大災害を契機として、政府からも地すべり調査の予算が出された。20年代前半は、新潟、長野、富山の北陸3県から地すべり調査が始められ、ついで徳島、長崎その他の県においても実施されるようになった。20年代および30年代に地すべり調査研究も次第に進み、地すべり防止の対策工事も活発に行われるようになってきた。

主として行政官庁の予算によって行なわれた地すべりの調査および防止工事を実施するに当たって、各省份の法制に従っていたが、地すべり災害防止のためには統一的な法律の下に行うことが有効であることが

理解され、昭和33年に地すべり等防止法が制定された。これ以後地すべり調査法の開発にも、それまでより多くの予算が認められ、種々の方法が開発され、防止対策工事の設計に対しても、資する所大となった。

地すべりの内、1. の所で説明した狭義の地すべりは普通、現在まで過去に何度か地すべりを起した所が多く、単純な一定の傾斜の斜面ではない。特色のある地形をしており、地質的にも第三紀層や結晶片岩である。このような所は多くの場合、前述の法律で危険箇所指定されており、その中や、付近に居住者が生活していれば、地すべり地上部におけるクラックの発生、末端部のはらみ出しおよび湧水の異状なども発見されることもあり、地すべり防止の対策の対象とされる。調査としては踏査による地表に現れた変状の特色などから地すべりの進行を予想することは、戦前から行なわれていた。戦後20年代および30年代に開発されたのは、最初は測地学において昭和の初期から用いられていた、地表の伸縮および傾斜を計測する方法を地すべり地における観測に適したものに変えたものがある。地すべりにおいて重要なのは地中の動きであるが、一つはボーリング孔の曲がる深度を測定する方法の開発である。塩ビのパイプが多量に生産されるまでは、孔内に金属製のパイプを挿入しおき、棒を突込んでパイプの曲がりの位置からすべり面の位置を推定する方法や、ひずみゲージ式の孔内傾斜計の挿入によってすべり面の位置を検知する方法が開発された。塩化ビニールのパイプが多量に生産されるようになった30年代には、現在パイプ歪計と呼ばれているパイプの側面にゲージを貼付し、パイプの曲りをゲージの電気抵抗の変化として取り出そうとするものが開発され、種々工夫改良されたものが現在も広く用いられている。孔内傾斜計式のものも昭和50年代の始め頃からは、サーボ機構をもつ高精度の加速度型のものによって、すべり面深度を正確にとらえられるようになった。その他、挿入式の歪計も開発される等、昭和50年代以降はすべり面の計測実績は蓄積された。現在ではすべり面における、すべりの連続に近い自動計測のシステムも開発され、地すべりの際の地下水の増加と地すべりの拡大過程の関係も次第に明らかにされつつある。一方融雪による地すべり地帯においては、先に述べたパイプ歪計の他、ワイヤー式層移動量計が用いられるようになってきた。地表面の伸縮量を測る伸縮計の方法をボーリング孔に適用したものである。この方法の特色はすべり量が1m前後になっても、使用を続けることが可能なことであるが、設置後、数ヶ月間の小さい変動量を計測するには、適さない。

地すべりの主要な誘因である地下水の調査も、戦後間もない時期から始められ、地すべり地全体の地下水の賦在状態を推定する方法として、地下水探査法が研究され、含水と電気抵抗の間に密接な関係のあることに着目して、比抵抗法が適用され、かなりの成果を得た。その後、昭和40年代後半から地温調査法が多くの地すべり地に適用され、有効な方法であることが認められた。精査としては、水脈の平面的な位置を調べる方法として、地下水追跡法、水脈の深さを調べる方法として、地下水検層法が開発され、その有効性は多くの地すべり地において実証されつつある。以上が地下水の分布の調査法であるが、もう一つ重要なのは地下水圧の調査法である。この物理量の信頼性および精度の高い値を得ることは困難であって、現在でも地すべり地の大部分においては、ボーリング孔の地下水位の深さで、推定しているのが現状である。地すべり地においても、20年以上前から間隙水圧計による間隙水圧の測定が始められた。地すべり地では、ボーリング孔のすべり面深度を中心とした適当な深度に埋設するわけであるが、地表から、深度10m～数十mの所に埋設する。そのため、埋設が間隙水圧計にとって適切な状態になされる保証は充分でなく、その状態を知ることは容易でない。測定値の信頼度も高くないことが多い。充分信頼の置けるものにするのは今後の問題である。

地すべり地の安全率を評価することは、この報告の表題にとっても極めて重要である。このためには、これまで述べたすべり面の深さ、地下水位の外、すべり面の粘土の強度を知ることが必要である。しかし、地すべり地ですべり面は薄いので、この薄層を見逃すこともあり、またすべり面の粘土もクラックなどの不連続的なものの外、礫等も含んでいることもあって、土質試験によって、土の強度を正確に求めることは容易でない。また地すべり地は通常もまれていることも多いから、それ程数多くないボーリング孔のサ

ンプルから、すべり面全体の土の強度を評価することは困難な問題である。そのため、開発に当たっても、造成された斜面の安全率は1.2よりかなり高めになるように造成することが必要である。

3. 開発と地すべりの発生

近年、都市近郊の開発に伴う、地すべり災害の発生の問題は多くの人々の注目を集めるようになった。多発するようになったのは最近であるが、明治以後の近代化においても現在の学問的なレベルから見ると、明治、大正、昭和の初期に発生した地すべりの中にも、開発が何らかの形で関係していたと思われるものがある。例えば、奈良県と大阪府の境にある大和川右岸の亀の瀬地すべり地の明治以後の地すべりの歴史を振り返ってみると、何度か、地すべりが発生している。明治以前については記録に残されたものはないが、ゆるやかな地すべりはあったと思われる。古文書の残っているこの地方において、記録がないのは顕著な地すべりがなかったことによると考えられる。所が明治25年に大阪と奈良を結ぶ現在の関西本線の前身である大阪鉄道が、当時は亀の瀬地区においては、大和川右岸に開通した。この地区においてはトンネルであった。この亀の瀬トンネルの完成により、大阪～奈良間が全線開通した。その11年後の明治36年に大きな地すべりが発生した。また大正12年に明治の路線より山側に、路線の変更が行なわれ、新しい複線のトンネルが開通した。その8年後の昭和6年に峠地区を中心とした大規模な地すべりが発生した。昭和54年から施工が開始された深礎工は一旦最深部まで直径4.0m～6.5mの縦孔が掘削される。その時点では中空の柱が形成される。その後その内部は鉄筋コンクリートで充てんされて完成する。最初峠地区から始められ、ついで清水谷も実施されている。この内、峠地区の施工においては、中空になったことによる影響は出なかったが、清水谷の深礎工工事が始められた頃から、中空による抵抗の影響と考えられる、清水谷地区のすべりが、孔内傾斜計によって観測され、変位量も多い年には10mm近くになることもあった。この事から推定して、明治25年および大正12年に完成したトンネルが10年近くの後の、地すべりを誘発した一因であった可能性はある。

戦後においては、都市近郊の開発によって、地すべり災害の発生し易いものとして、一つは宅地造成におけるものがある。その地点が地すべり等防止法の区域に指定されている所であれば、地すべり調査を実施し、防止工事を行うことが義務づけられている。近年は行政官庁の指導もかなり厳格におこなわれているようである。このような区域に指定されていない所でも、行政官庁の許可は必要とされている。このような所に対しても、それ相当の調査・防止工事が実施されればよいが、十分な調査もされないうちに宅地造成が行なわれることもあった。大きな災害のあった直後は官庁の認識も高く、ほぼ充分に実施されている。造成の計画が始められた時期が20年以上前であったものについては、法規上の規制も不十分で、監督官庁の担当者の認識も充分でない場合もあり、そのようなものに関しては、現時点においても一度、点検しておくべきものもある。宅地造成の場合、小規模なものであれば、殆ど切土のみによって、平地を造成して、地すべり災害を起したことがあったが、近年はこのようなケースについても監督官庁の指導が厳しくなったため、宅地造成において、切土による地すべり災害は少なくなった。大規模な造成においては、盛土及び切土によって土地造成が実施されている。通常盛土に使用される土は遠方から運ぶことは、経済的でないため、切土によって出てきた土を使用することが多い。良質のものであれば問題ないが、よくない土であれば、別の所の土を運んでくるか、防止工事を充分に行うことが必要である。いずれにしても、造成後の完成地盤に対する安定計算を行って、安全性が充分になるように設計しなければならない。

盛土地盤を造成する際、特に注意すべき地形は谷地形を埋めて、盛土地盤を造成する場合である。降雨のない時期には、そこに流水がなくても、ある程度以上の雨のある期間は、水が流れるのが普通である。このような条件の所に盛土した場合、この盛土部分およびその周辺の地下水位は、造成工事以前より高く従って、集水面積、盛土土質の透水係数、盛土状態および観測によって得られる谷地形の流水量から地下

水位の上昇分を推定し、安全率の低下量を計算しておくことが必要である。

その他都市近郊の開発として重要であるものとして、道路の建設および改修工事がある。この場合、地すべり災害を発生させないことを充分考えて、設計および施工方法が考えられるが、都市近郊の丘陵地に建設される場合、注意すべきことが二つある。一つは建設される道路自体の安全であり、もう一つのものとして、建設された道路が周辺、特に下方に人家その他の施設がある場合、道路建設の結果、道路から下方の斜面の安全性が低下することがある点である。

都市近郊の丘陵地に建設される道路は林道としての規格に合えばよい場合が多い。本来林道は人家のない山の中に建設されるため、その安全基準は低い。従って、監督官庁も法規に照らして特に問題がなければ、建設される箇所の状況を充分考えて、審査していないことがある。建設される所が都市近郊の丘陵地で、林道であっても、その下に多数の住宅が存在する場合には、単に法規的な観点のみからみて、それに合致する設計で許可することは危険であり、そこに危険地帯を造成するような結果となることもある。

建設される道路はある箇所では、豪雨時に一種の水路となることもあり、そのような箇所に対しては、道路に降雨水が多量に溢れることのないよう特別の配慮がなされなければならない。宅地造成の場合も同様であるが、道路の場合においても、切土および盛土によって建設されることが多い。切土によって出た土は通常同じ道路の盛土部分に使用され、切土の方が多き時には、余った土は持ち出されるか、その道路の斜面に捨てられる。丘陵地における道路ではカーブやヘアピンの部分が多く、盛土部分の容積より切土部分の容積の方が多き場合がよくある。その結果、残土は斜面に捨てられることが多い。特に問題であるのは、斜面の内、谷状地形であった所で、こゝには比較的多量の土を捨て易いから、こゝに捨てられた土の量は多い。しかも最初に谷状であった所は、降雨の際こゝを通過して降雨水は流れていたことが多く、道路建設後もこゝに水は集まり易い。道路建設時の路面の排水路がしっかりと作られていないと、豪雨の際、水は路面から溢れ、先の谷状地形に捨てられた箇所に入った流水は、捨土の部分を崩したり、下方にすべらせ、地すべりが発生することになる。下に人家があれば、これらに直撃して、押し潰し、死者がでることになる。その一例が昭和57年の豪雨時に奈良県で発生した。この時も道路の排水路自体は林道の規格に合致していたが、建設された所が下方に多数の人家のある所であり、この点を考えただけでも、単に林道の規格に合致しただけの道路を建設すべきでなかった。この箇所では、先に述べた捨土部分に豪雨時に地すべりが発生し死者も数人であった。

いづれにしても、都市近郊の開発は次第に丘陵地形において、実施されることが多くなってきている。特に関西地方の京阪神の都市に近い所では、平野部が少なく、宅地造成も丘陵地にされることが多く、それに伴い、道路・鉄道の交通網も同じような地形に整備されてきている。

大都市近郊において、種々の開発が実施されているが、地形的には丘陵地であっても、地すべり等防止法で指定された地域も多い。このような所が開発される場合、現在では何らかの調査が行なわれる。地すべり等防止法の指定地では本格的な調査が実施され、その結果に基づいて安全度を確保する防止工事がなされる。

特別の場合を除いて、開発しようとする箇所は、現に地すべりを起こしていたり、最近地すべりが発生した所ではない。すなわち現状では安定していることが多い。このような箇所を開発の対象とする場合、その箇所の空中写真、地形図および地質図から、開発した場合どの程度安全度が低下するか、おおよそ見当をつけ、また、まず踏査を行って工事を行った際、問題になりそうな場所を探すことから始める。最近ではないにしても、比較的近い時期（数十年前）に地すべりを起した箇所については、対策工事が実施された程度にもよるが、現在の安全率について、おおよその見当がつく。余り大した対策工事がなされていない箇所であれば、その安全率は1.0よりそれほど大きくはないであろう。また十分な防止対策工事が実施されていれば1.2を上まわっていることは、ほぼ確実にみてよいであろう。

遠い過去は別として、100年以上にわたり、崩壊も起したことがない所であれば、その地点において規模の大きい切土や斜面上部の盛土を行うような開発でなければ、踏査による地表からの地形・地質的観察

結果によって、その安全性を推定してよいであろう。しかし地形的にもまた地質的にも斜面脚部の切土が斜面の安全率をかなり低下させ、地すべりの発生の可能性のある所では、先ず現状の安定性を精査的に調べる必要がある。斜面上部における変動を調べるための伸縮計・傾斜計の設置、適当な本数のボーリング孔の掘削により、コアの採取、および精度の高い、信頼性のある地中の変動状態を調べるための、孔内傾斜計の設置が必要である。採取したコアの弱面に相当すると思われる深度の土質強度試験を行う。またボーリング孔を利用した地下水位の測定を行う。観測データの解析と、土質強度を取り入れたいくつかの推定すべり面をとっての安定解析を行い、現状での一応の安全率を求める。かなりの降雨時においても、地表および地中に変動がなく、推定安全率が1.2をかなり上まわるようであれば、現状での安全率は充分とみなせる。ついで切土その他の工事を行った工事後の地形に対する安全率を求め、1.2をかなり上まわり1.4以上であれば、開発のための工事を行ってもよいといえる。たゞ、その地点が人や車のよく通過する道路のような所であれば、観測を行いながら工事を進めることが必要である。また設計した道路改修・宅地造成などの工事後の地形の安全率が1.2を下まわったり、また上まわってもわずかであれば、当然防止工事は実施しなければならない。地すべり防止工法には、大きく分けて抑制工と抑止工があるが、こゝではこれらの点については省略する。

4. 地すべりの予知・予測

都市近郊の開発の対象となった丘陵地が、地すべり等防止法の指定区域である場合や、宅地造成、道路建設において災害発生の危険の可能性が問題とされた地域では、工事中および工事後において、伸縮計その他の計測器をその地域に設定して、安全に工事が実施され、完成後も安全であることを監視することが行われるようになってきた。開発の着手された時期が、昭和40年前後の頃では、法規による規制がまだ不十分で、事前にしっかりした調査、安全性を充分に考えた防止対策なしに行われたこともあった。

造成地の安全性の監視の行われた例では、通常、工事中および工事完成後に地すべりの兆候の現れやすい場所、例えば、地形・地質的観点からクラックの発生し易い、滑落崖等に伸縮計、傾斜計、パイプ歪計などを設置して、その動きを観測し、後で述べる方法によって予測を行うようにする。

地すべりが破壊的なものになるのは、変動が始まってすぐではなく、数日から一ヶ月以上経過してからのことが多く、初めはゆるやかである。このように前兆現象としての動きが現れるのは、通常、すべり面の強度を地すべり土塊に働く外力が上まわっている場合である。その時期は、降雨による間隙水圧の増加によって、すべり面の強度が低下し始めた時、また斜面の末端のノリ面カットで支えがとられた時である。工事中の場合以外では、造成地完成後にノリ面の末端をカットしたりするようなことはない。造成地の地すべりでは、地下水の増加によるすべり面の強度弱化によることが多い。

地すべり土塊の動きの状況を観測し、その時間変化を解析して、破壊的な状況になる時点を予測する方法は齊藤迪孝氏によって始められた。初めは人工斜面に、人工降雨を降らせ、地すべり土塊の動きを計測し、地表面ひずみおよび傾斜の増加と破壊発生の時刻の間関係を調べた。その際土塊は、マイナスの加速度、一定の速度およびプラスの加速度の動き、三段階を経て破壊に至ることを明らかにした。それぞれ一次クリープ、二次クリープおよび三次クリープと呼ばれている。

ついで鉄道沿線の地すべりの予想される斜面、地すべりを起こし今後も危険の予想される斜面に、伸縮計その他の計測器を設置し、移動の時間変化から破壊発生時刻を求める方法を開発した。動きが加速度的になる三次クリープになる過程に入った際において、3つの時刻のひずみを求め、それから、破壊時刻を求める式を提案し、幾つもの成功例が得られた。

その後も多くの人によって、基本的にはひずみの時間変化から、破壊時刻を推定することが試みられた。表示に使用する量として移動速度の逆数その他の量が用いられたが、本質的には同じものである。

以上述べた方法はいずれも土塊の動きの時間変化から破壊時刻を推定するものであった。動きの誘因はいずれも降雨・融雪による地下水の増加である。降雨・融雪の続く場合には、この方法によって、かなり多くの場合、破壊時を推定することができる。降雨の場合、途中で降雨が止み、地下水が減少する状態が続くと、破壊に至る過程が緩み、または止むことがある。このような過程についても、地中の地下水の状態の変化を把握するため、間隙水圧計などを用いた研究が最近、次第に盛んになってきたが、未だその成果は実際に有郊な推定を行える程になっていない。

普通小規模の宅地造成地や道路などでは、上述の計器観測によって、地すべりの発生を予知するようになっていないことが多い。地すべりは斜面の上部にクラックが現れ、これが更に拡って、大きく動くことが多い。したがって、降雨の続く時期には、斜面の上部の点検が重要である。クラックを発見したら、簡易な方法であっても、なんらかの計測が必要で、クラックが更に拡大するかどうかを調べなければならない。またクラックはその周辺にも次第に発生してくることがよくあるから、その状況も調べる。

上部にクラックが発生する時期には、斜面の末端付近にははらみ出しが現れることがよくある。このような斜面の横から見通して、凸状のはらみが発見されたら、地すべりの前兆の疑いをもって、見守ることが必要である。造成時の整形のミスのあることもあるから、区別することの困難なこともよくある。この場合この付近から湧水があることが多く、上部にクラックが発生している際には、地すべりの前兆と思って、対処の仕方を考えるべきである。クラックの拡大が進行して、地すべりの直前には、小石が落ちてくるともよくある。特に崩壊的な場合はそうである。

地すべりの誘因は地下水であることは、先にも述べたが、この点に着目して、斜面を点検する必要がある。降雨のない時に斜面を点検した時には、湧水がみられないが、降雨時期に湧水がある所がある。特に、通常にごったことのない湧水が、急ににごったり、湧水量が急に変わった場合には、地すべりの前兆として注意しなければならない。この原因として地山が変形し、水みちに変状が生じて、水量が増加してにごる場合と水みちが閉じて湧水が減少する場合が考えられる。

さきに述べた計測が実施されている場合はよいが、実施されていない場合、注意しなければならないのは、豪雨時に、雨が小降りになったりすると一安心したくなるが、強い雨が長く続き、数時間小止みの状態になった後で、地すべりの起った例もこれまでかなりあった。このような場合警戒をゆるめてはならない。

地すべりの発生時期に関しては、計器観測によるデータがある場合、かなりよい精度で予測し得ることが多くなったが、地すべり予知において、発生時刻のつきに求めなければならないのは、どの程度の速度で、どのくらいの距離滑るのかである。地すべりのタイプは、その運動状態に着目して分類した場合、クリープ的にじわじわ動くものと、すべり面が液状化して、大きい速度で動くものがある。前者の場合、一度に動く距離は大きくても、十数m程度であるが、後者のタイプでは、その速度も1秒間に1m以上であり、その距離も100m以上に及ぶものもある。(例えば、昭和51年9月に発生した一つの宮地すべり、昭和60年7月の長野市地附山地すべり)

クリープ的な動きをするものは、すべり面粘土の間隙水圧の上昇によるすべり面の強度低下によって発生する。もう一つの流動的に地すべり土塊が広がっていくものは、すべり面付近が液状化している。実際の地すべり地におけるすべり面の土質が、すべり時どちらのタイプになり易いか、これまでの所よくわかっていない。降雨状態や融雪の進みによっても、地下水の増加の様相は異なるし、それが初期の段階の動きに影響を与え、すべり面が液状化するかどうかを決める一つの重要な因子となる。このようにその様相を調べることの困難な性質が重要な原因となっているため、地すべりの動きの速さや、地すべり土塊の到達距離については、現段階では正確な予測は困難である。たゞ液状化し、土塊が流動化する最悪の場合において、おおよその見当をつけることは可能である。

5. 地すべり発生時の応急的対策

応急的な対策はその中の大部分は行政側の責任において、また、その具体的な対策も行政当局によって設計されることになる。地すべりの前兆および進展過程の情報の収集ということになると住民や地すべりの調査および防止工事を分担する会社の協力は必要であり、貴重なものも多い。

明瞭な前兆が発見されたときには、応急的に以下に述べるような対応策を講ずることは、地すべりの運動速度をゆるくし、また規模を大きくしないためにも必要である。このことは被害、特に人命に関するものを少なくすることができ、本格的な恒久対策を立てるための調査も行い易くなる。応急的な対策に当たっては、地すべりは、なお運動中であつたり、二次すべりの危険性もあるから、充分な監視のもとに行うべきである。人命が失なわれた例はかなり以前には時々あつた。

降雨・融雪と地すべり運動との関係や、地すべりの規模の程度などに応じて種々の応急対策を利用する。

1) 降雨と地すべり発生時との関係から見て、降雨当日や翌日に地すべり運動の始まるものと、降雨から数日経過後または融雪水によって活発化するものとは、誘因となる地下水圧の深度が異なることが多い。前者の場合浅い地下水による作用によって地すべりが発生し、すべり面も深くない場合が多い。このような地すべりにおいては、地表水の排除工や浅層地下水排除工として、暗きょ工・横孔排水ボーリング工を実施する。地下水位が深い時は、地すべり土塊の透水性はよい事も多く、深いすべり面に対しても早く地下水が貯留し易い。このような場合にはかなり深い所の地下水位を排除できるような横孔排水ボーリング孔を設計するようにする。ただ、三紀層地すべり地における泥岩などの風化したものが地すべり土塊の時には、透水性がよくないことが多いから、地下水位は必ずしもそれ程深くはない。

どのような場合でも、クラックは発生し、拡大傾向を示しているであろう。降雨が地中に入るのをなるべく少なくするため、直ちにビニールシートでクラックを覆う。また地すべり地域内におよびその付近に、池や貯水池などがあると、地すべりの形態によっては、その水が流入するから、開削して、そこに水がないようにしておかなければならない場合もある。この方法についても予め考えておくことが望ましい。

2) 地すべりの規模がそれ程大きくない場合には、押え盛土工、H鋼杭など比較的速やかに実施可能な工法を採用して、動きを小さくしたり、二次的なすべりを防止することを考える。地すべりの規模が大きい場合には、人工的に簡単に抑止することは困難であるが、地形上有効であれば上部の排土工を実施し、一旦、動きがゆるやかになった時点で、排水工、鋼管工などの抑止工で、危険の少ない状態にして、本格的な調査を始める。

3) 地すべりの滑落崖の形、クラック、陥没、隆起および運動形態から、単一の運動ブロックで、すべり面の形状が円弧的であると推定されるときには、頭部の排土が有効であることが多い。運動形態から、運動がかなり長い距離にわたって、斜面方向に続いているブロックにおいては、すべり面の形状はほぼ直線の場合が多い。このような形態の地すべりに対しては、地すべり末端にそのスペースがあれば、押え盛土工は応急対策としては有効であろう。しかし上部の排土の効果は余り期待できない。

地すべりが発生した場合当然二次地すべりの発生による二次災害に対する対策は重要な問題である。

地すべりが発生し、クラックの拡りが十分に予想される場合には、斜面およびその周辺に人家があつたり、道路が通っているような場所であれば、緊急避難の問題も重要である。

避難警報のための監視体制と判断基準として次のようなことが考えられる。

地すべり地の斜面において以下に述べるような現象が現われたら、直ちに影響範囲の住民の避難や交通止めなどの措置をとるべきである。

地すべり運動を計測する場合、既にクラック等が出現した地点を中心に計測する。一般に地すべりの範囲は誘因となる降雨が続く場合、拡がるのが普通であるから、これを知るためには、監視に適した地点、例えば対岸のような所があれば、こゝに監視する人がいて、降雨が続くとき、地すべりの状況を随時、地

すべり地周辺の人々に通告するようにすべきである。

地すべりの運動速度およびその増大であるが、主クラックの所で時間あたり2mm～6mmを越えたとき、または一日あたり3cmを越えた時には一応警戒体制をとる必要があり、これが更に加速状態になり、三次クリープの段階になって、破壊的な状態になる時刻までの時間が一日以内になった時には、まず弱者から避難を始めるべきであろう。

先に、クラックの拡大を測るための計器として、ごく簡単なものでも、速やかに設置することが必要であることを述べた。二次地すべりによる被害が止みそうになく、また計測器による測定のために、危険な地点を通わねばならないような場合には、最近自動記録のシステムが開発されてきた。二次すべり、三次すべり、工事中の安全性さらに工事完成後も、かなりの期間地すべり地の安全性の監視し続けることが必要な地すべり地においては、観測地点もよく考えて、より完全で信頼性の高い自動記録のシステムおよび電話回線の付設によって、地すべりの監視を基地で、行うことが必要であろう。徳島地すべり観測所はこのようなシステムの開発に関し、日本はもとより、世界的にみても先駆的な役割を果し、今日では全国の主要な地すべり監視モデル地域において、その地すべり地に適した形に改良され、地すべり移動特性の解明、対策工事および避難基準の確立へ向けた、災害の軽減および予防の研究に役立てられている。

6. お わ り に

以上、著者が防災研究所地すべり部門および附属徳島地すべり観測所に勤めさせていたゞいてから、災害科学の一分野である地すべりの研究および現実に発生している地すべり災害から学んだことの内、主として開発による地すべり災害について述べた。防災研究所在任中、地すべり部門および徳島地すべり観測所のスタッフの方々はもとより、他の分野の方々および研究の場を用意下さった行政機関その他の方々の暖かいご指導、ご援助をいたゞきながら、研究させていたゞいた。何とか現在の所まで努力してきましたが、この間、楽しいことの多かった研究生活を、送ることができたことを深く感謝しております。

DEVELOPMENT AND SLOPE DISASTERS

By *Michyasu SHIMA*

Synopsis

The slope failures are provoked by the several natural phenomena and artificial operations. The slope failures accompanied by the development in the hills increase and become the important social problem. In this paper, the influence of development in the hills is explained, and the main causes of the many occurrences of the slope failure had to do with the level of the investigation method and the civil engineering works. Another problem was no perfection of the restriction of the law. When the developments of the hills are projected, the main civil engineering works are the developments of the building land and the construction of the road and dams. The investigation methods of the slope in these developments are discussed and the points of problem are explained. After the development has been perfected, too, the observations of the all kinds of instruments are found to be significant.

When the occurrence of the landslide occurs rapidly, the methods of many kinds of the emergency disaster prevention must be planned, and the effect of the system of the watch was proved in many cases.