

地形情報からの地すべりの予測

応用地質株式会社 上野 将 司

1. はじめに

建設事業に携わる人の多くは、構造物を設計したり防災対策を立案する段階で、地形図、地質柱状図、地質断面図等の、地形・地質情報に接することになるが、一般に地形地質への関心が低いようである。我々地質調査業に従事する者の手による調査報告書ですら、「調査地の地形地質」といった章が設けられていても、報告書のスタイルとして定着した飾りのようなもので、技術的な面でまったく参考にならないような記述になっている場合が多い。

地形図や空中写真および現地での地形観察を十分に行わなかったために、地すべり地での各種調査が適切な位置で実施されず手戻りになった例、崩積土層や古い時代の地すべり地の末端を切土施工することによって地すべりを発生させた例など、調査や工事に支障を来した例は数多くある。このような例をあげるまでもなく、地形と斜面変動には密接な関係が認められる。

そこで、地形から地すべりの予測に有効な情報を読み取ることは、予察段階での重要な作業に位置づけられるものと考え。空中写真や地形図を持って現地の地形を眺めるだけでも、その地形から地下の地質と歴史を想定し、現在のその地域の置かれている環境を理解することができる。このようなことと、地すべり地の特徴とを結び付けて考えれば、以下に示すように地すべりの発生場や規模の予測がある程度可能となる。

2. 地すべりに起因する地形など

模式的な地すべり地形については多くの参考書等に図示されているとおりであるので、ここでは地形判読や現地踏査の上で参考になるとと思われる特徴的地形などを説明する。

2.1 比較的大規模な地形

(1) 二重山稜（図-1）

急峻な地形を呈する山地部では稜線が並行配列したり、線状の凹地が分布することが多い。これらは様々な成因により生じた可能性があるが、どちらかの斜面が不安定化して地すべり的な移動をしたために形成された地形であることが多く、大小様々であり、四国地方にも数多く分布する。尾根を越えた反対斜面から不安定化している例もある。

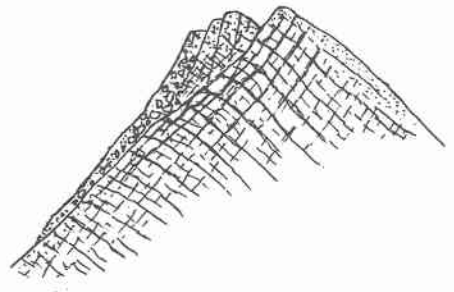


図-1 地すべりによる二重山稜の形成

(2) 隠れた大規模地すべりと湧水位置（図-2）

崩壊や地すべりが発生した場合、その背後に規模の大きな地すべりが存在する場合がある。周辺や上方斜面のチェックが必要である。湧水がある位置は滑落崖と側面亀裂末端に多く認められ、地すべりブロック推定に利用できる。

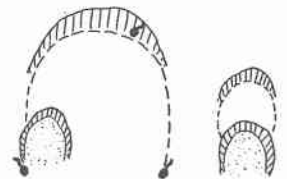


図-2 隠れた大規模地すべりと湧水

(3) 水系発達の相違

地すべりは、比較的に長い時間をかけて形成された地形の一部で発生するために、周辺斜面に比較して水系の発達が悪い。地すべり発生後も地表水が地下に浸透しやすいので、地すべり地内では谷地形が形成されにくい環境にある。

図-3は、徳島県山城町の国政地すべりの地形であり、地すべり地内と周辺斜面では水系の発達状況

が異なっている。この地すべりは、滑落崖が生じた際、上部斜面で北流していた河谷を断ち切ってしまい、河谷上流域の表流水を地すべり地内に引き込んでしまった事例である。

(4) 河床・海岸の岩盤露出状況

岩盤露出のよい海岸線や山間部の河床では、地層の硬軟や構造を反映した海岸や河道の形状が見られる場合がある。大縮尺の地形図（縮尺1/1000～1/5000）や空中写真によってもおおよその地質状況や地すべり地の把握が可能である。図-4の例では、河岸の一部に岩盤が露出せず、大小の岩塊で覆われた区間が存在する。この部分は山腹に発生した地すべり崩壊土砂が堆積している部分であり、河床の岩盤分布状況に着目することによって地すべり地が抽出できたものである。このような事例は国内各地の河川や海岸沿いの地域に存在する。

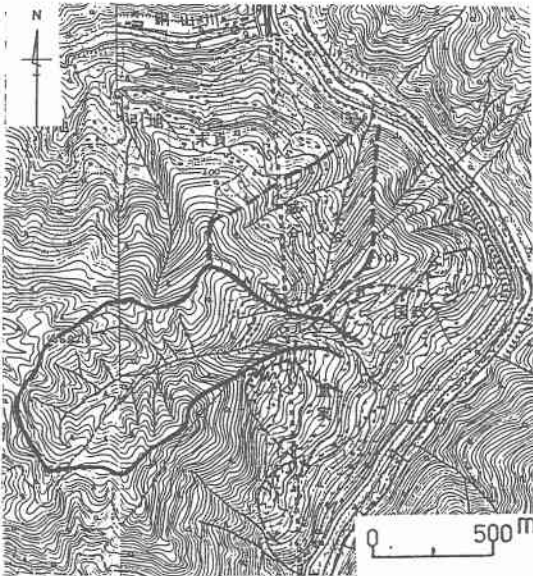


図-3 地すべりによる河川の争奪現象

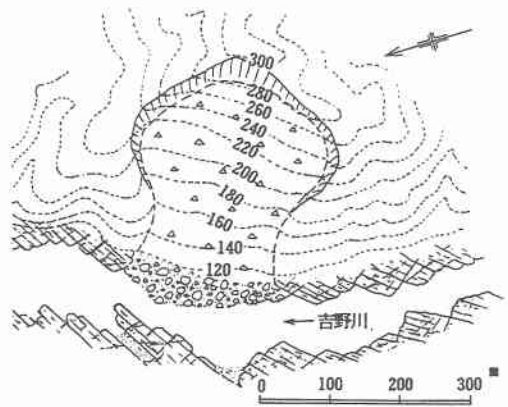


図-4 河床の岩盤状況と地すべり

2.2 比較的小規模な地形など

(1) 鋸歯状斜面

急斜面では岩盤が良好であっても、変形が進行している場合が多く、変形が大きい場合、地表には鋸歯状の変動地形が形成される。ダムサイトの横坑調査の際に新鮮な岩盤においても転倒変位に起因するオープクラックが見つかる場合がある。

(2) 亀裂の種類（セン断、引張、圧縮）

亀裂の配列、開口幅、落差、引張方向、隆起、沈下、圧縮、構造物の変状等に注目して、亀裂や変位のセンスをセン断、引張、圧縮に区分することにより、地すべりの範囲や移動方向を推定することができる。



図-5 鋸歯状斜面

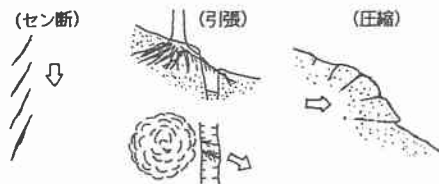


図-6 キレツの種類

(3) 樹木の屈曲とアテ

変動斜面内外では樹木の屈曲に差のある場合がある。樹木の屈曲状況によって斜面変動の区別も可能である。また、切株の年輪を観察することによって地すべり運動の活発な時期を推定することができる。

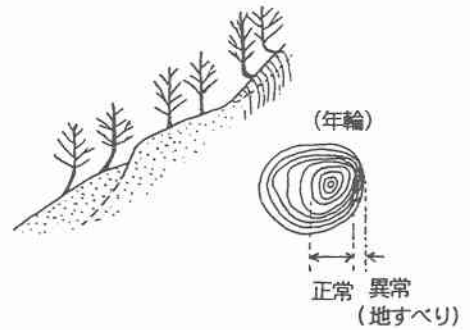


図-7 樹木の屈曲とアテ

3. 地すべりの形状および規模について

詳細な調査が実施された地すべりのうち、その活動範囲やすべり面深度などの実態が明らかになった事例に基づいて、地すべりの形状や斜面傾斜と地すべり規模との関係について検討を行った結果を紹介する。

3.1 地すべりの形状

地すべりの形状要素を、図-8を参考に次のように定義する。

地すべり幅 (W) : 地すべりの最大幅

すべり面深度 (D) : すべり面の鉛直方向の最大深さ

地すべり斜面長 (L) : 地すべり土塊の頭部と末端部の間の直線距離

斜面傾斜角 (β) : 地すべり土塊の頭部と末端部を結ぶ直線の傾斜

また、地すべりの形状要素の相互の比について次のような名称を与え、以下の検討に使用した。

表面形状比 : 地すべり幅に対する地すべり斜面長の比 (L/W)

横断形状比 : すべり面深度に対する地すべり幅の比 (W/D)

縦断形状比 : すべり面深度に対する地すべり斜面長の比 (L/D)

(1) 表面形状比

地すべり幅 (W) に対する地すべり斜面長 (L) の関係を、地すべりの分類別に示すと図-9のようになる。この結果によれば、表面形状比 (L/W) が 0.6~2.5 の範囲にあることがわかる。地すべりの分類別に見ると、わずか2例ではあるが '岩盤すべり' の場合は、表面形状比が大きい値を示しており、初生すべりの場合は比較的小さな値を示す傾向があるようであるが、地すべりの分類別には関係はないといえる。

(2) 横断形状比

すべり面深度 (D) に対する地すべり幅 (W) の関係を、地すべりの分類別に示すと図-10のようになる。この結果によれば、横断形状比 (W/D) が 4~10 の範囲にあることがわかる。

地すべり幅が 120m 以上になると、横断形状比の範囲が 6~10 となり、その範囲が若干小さくなっている。この範囲の値を示す地すべりについて、地すべりの分類別に見ると、横断形状比が比較的大きい値を示すものは、崩積土す

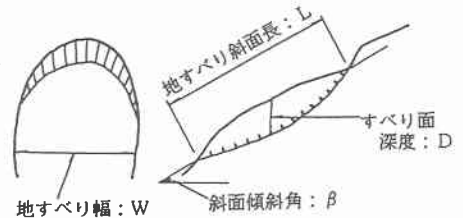


図-8 地すべり形状の名称

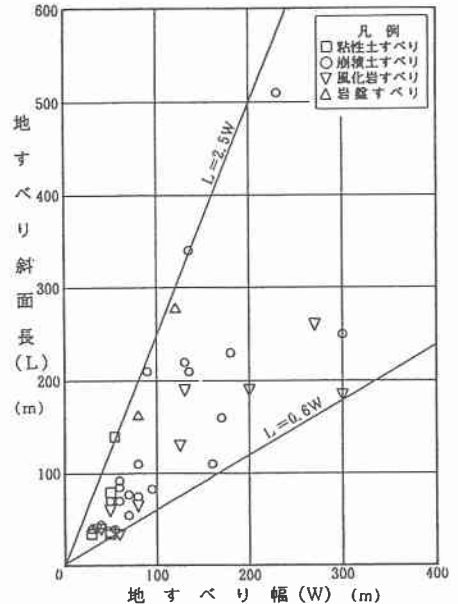


図-9 地すべり幅と地すべり斜面長の関係

べりであり、反対に比較的小さい値を示すものは、岩盤すべりや風化岩すべりであるという傾向が見られる。

岩盤すべりや風化岩すべりの場合は、その地区の地質構造や近辺に存在する断層の影響を強く受けて、すべりの範囲が制約されやすく、これらの要因によって、地すべり幅が比較的小さくなり、したがって、横断形状比が小さい値を示すと考えられる。

(3) 縦断形状比

すべり面深度（D）に対する地すべり斜面長（L）の関係を、地すべりの分類別に示すと、図-11のようになる。この結果によれば、縦断形状比（ L/D ）がおおむね4～15の範囲にあり、横断形状比に比較して、ばらつきが大きくなっている。

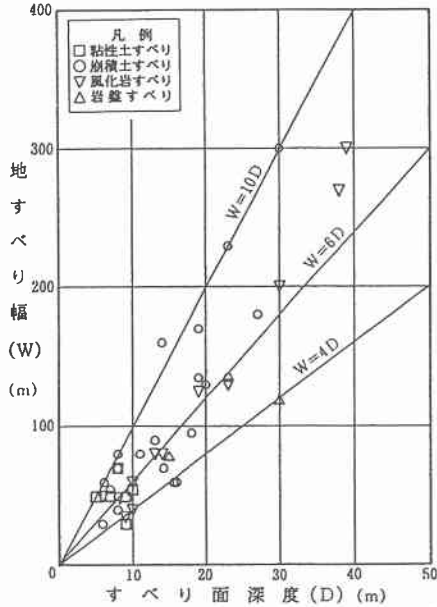


図-10 すべり面深度と地すべり幅の関係

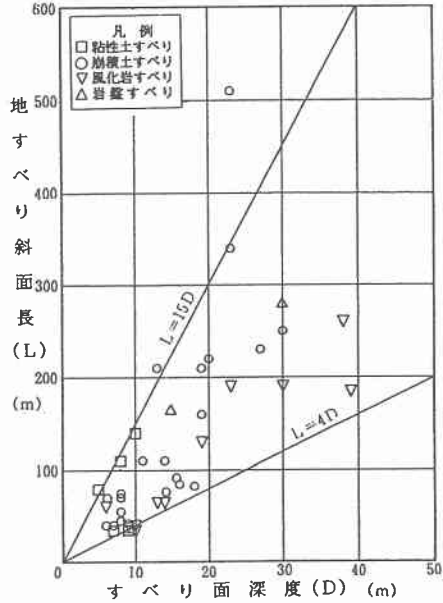


図-11 すべり面深度と地すべり斜面長の関係

3.2 地すべりの規模のついて

3.1 において、地すべり幅、すべり面深度および地すべり斜面長の間の関係について、相関関係があることが認められた。ここでは、斜面傾斜角に対するすべり面深度の関係、および斜面傾斜角に対する横断形状比の関係を示し、地すべりの規模を支配する要因を考察する。

(1) 斜面傾斜角に対するすべり面深度

斜面傾斜角（ β ）に対するすべり面深度（D）の関係は、図-12に示すようになる。この図によれば、ほとんどの点は、図中に示す直線の下側に分布しており、斜面傾斜角が大きくなると、すべり面深度の最大値が小さくなる傾向を示している。これは、斜面の風化変質が進行する過程において、傾斜が急な斜面において、小崩壊などによる斜面の削剥が進行し、厚い風化帯や崩積土が残存することが少なく、したがって、不安定な厚い地層が長期にわたって存在しにくいためと考えられる。

(2) 斜面傾斜角に対する横断形状比

斜面傾斜角（ β ）に対する横断形状比（ W/D ）の関係は、図-13に示すとおりである。この結果によれば、ほとんどの点は、図中に示す2本の平行な直線の間に分布しており、斜面傾斜角が大きくなると、横断形状比の最大値および最小値ともに小さくなる傾向を示している。このことを、図-12に示したように、斜面傾斜角が大きくなるとすべり面深度が浅くなる傾向とあわせて考えると、斜面傾斜角が大きい地すべりほど、地すべり規模が小さくなるものといえる。

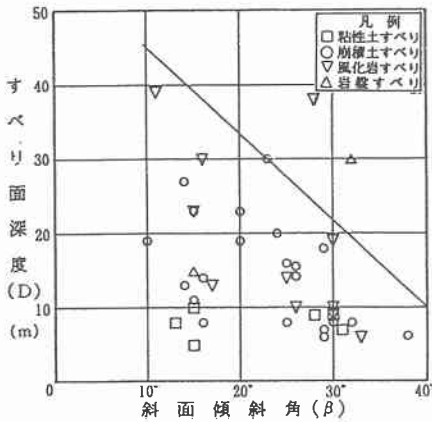


図-12 斜面傾斜角とすべり面深度の関係

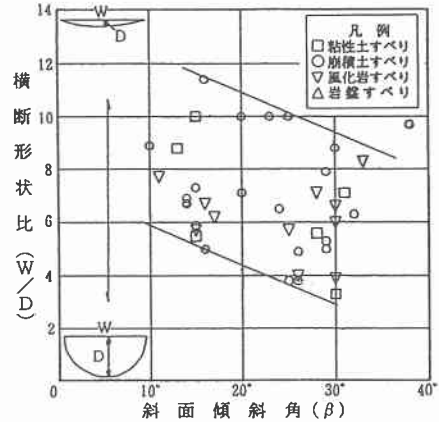


図-13 斜面傾斜角と横断形状比の関係

3.3 実際問題への適用

(1) 地表の変状をもとにした利用

地すべりによる変状が発生した場合、十分な調査・観測を行っていない時点で応急対策工の検討をしなければならないことがある。また地すべり地形が明瞭でありながら、動態観測を続けても動きの認められない地すべりがある。このような場合、前述の横断形状比の関係をを用いて、地表の地すべり幅（W）から地すべり面深度（D）を推定することにより、応急対策工の検討や不安定土量の算定を行う際の助けにすることができる。

地すべり調査に際し、横断形状比を利用した事例を図-14に示す。この地すべりは結晶片岩地帯の岩盤地すべりであり、移動岩塊の直上で実施したボーリングでは、延長20m以上の新鮮なボーリングコアが採取された。このため、掘進を続けるか否かが問題となったが、掘進を継続して横断形状比がほぼ $W=4D$ に相当する深度28m付近ですべり面に相当する土砂状の地層を確認することができた。

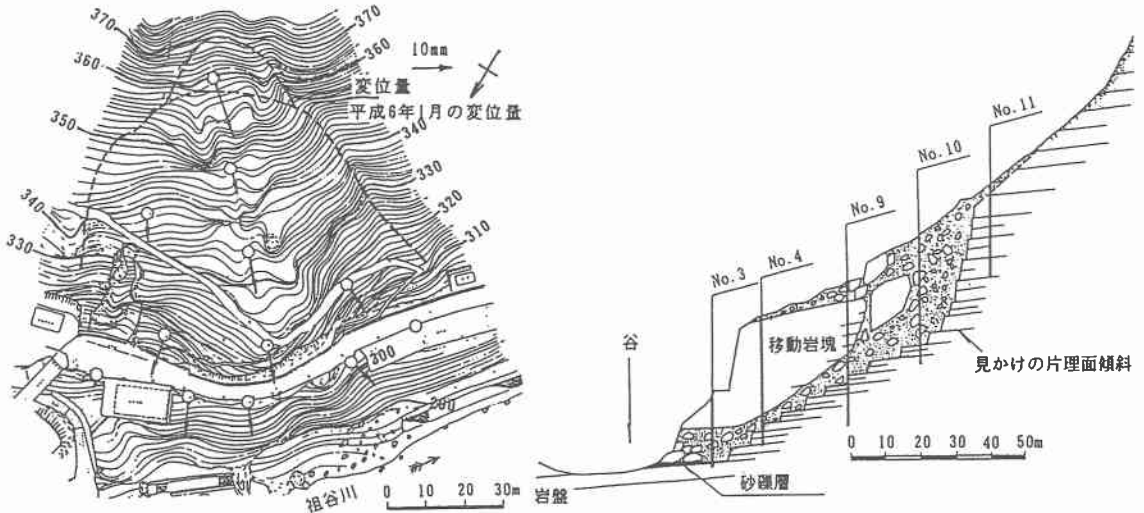


図-14 結晶片岩地帯の岩盤地すべり例

(2) 地質断面から平面的な不安定化範囲の想定

長大切土法面の施工に際しては、ボーリングや物理探査などの調査が実施され、安定解析にもとづいた切土法面の安定対策工の検討がなされるようになってきた。図-15にそのような事例として弾性波探査結

果にもとづいて検討された切土計画断面を示すが、切土による法肩付近の不安定化が懸念され、対策としてアンカー付法枠工があげられた。この場合、三次元の安定解析を適用すれば、道路延長方向に必要な対策工の必要延長を求めることが可能であるが、一般的な技術レベルにはない。そこで横断形状比の関係を適用すれば、地形など他の要素を加えて容易に不安定土層の延長が推定でき、対策工の施工範囲を求めることができる。

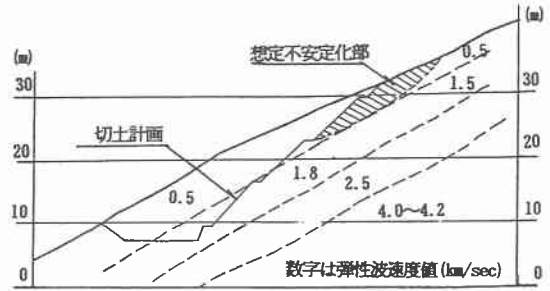


図-15 切土計画時点で想定される不安定化部

(3) ハザードマップへの利用

地すべりの発生場や規模の想定には、一般に地質構成や地質構造などが重要な要素としてあげられ、周辺地域での地すべり履歴等が参考にされるが、地すべり形状と規模に関する検討結果と地形面区分図とを組合せることにより、更に有力な資料を得ることができる。

すなわち、地形図や空中写真をもとにした地形面区分図を作成し、各地形面の傾斜や風化程度の特徴を加味することにより、本章で検討した種々の関係から、各地形面における地すべり発生の有無や規模の推定に役立てることができる。

4. おわりに

地すべりのような斜面変動については、地形図の読図、および空中写真判読による地形解析を詳細に行い、既往の地質文献資料や災害歴を加味すれば、ある程度、その概要把握が可能である。さらに現地踏査を実施し、地形図や空中写真に表現されていないような微地形の分布状況を確認すれば、危険箇所の見落としはほとんどなくなるものと考えられる。このように基礎的で比較的簡便な方法による地形の把握は、地すべり災害を防止する上で、極めて有効なものといえる。

また、地すべりの形状と規模に関する考察の中に提示した相関関係は崩壊現象にもある程度適用できるものである。これらの相関から、斜面の不安定土層厚がわかれば、初生的な地すべりや崩壊の規模の予測が可能であり、逆に斜面の一部に変状が認められれば、すべり面深度の想定が可能であることを示した。

地すべりをはじめとする土砂災害の予測には、地形の詳細把握が大きな力を発揮するものと思われるが、現実的には地形図の読図や写真判読および現地踏査が十分に行われているとは言えない状況にある。これは技術者サイドの問題もあるが、地形調査の有効性について一般によく理解されていない点に問題があるわけであり、本報文が建設技術者の御理解を頂くきっかけになれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 上野将司・田村浩行：地すべりの形状、規模および分布に関する検討，応用地質年報No14, 1992
- 2) 上野将司・田村浩行：地形解析図に対する地質工学的考察，日本応用地質学会平成5年度研究発表論文集, 1993
- 3) 上野将司：のり面崩壊・地すべり調査のポイント，建設工事に伴うのり面崩壊・地すべり対策技術講習会テキスト，高知県法面保護協会, 1994
- 4) 上中博之・岡正範・佐藤進・小貫義男：岩手県二戸郡安代町赤川地すべり地の樹木年代学的研究，地すべりVol. 16, No1, 1979
- 5) 菊地俊一・新谷融・清水収・中村太士：造林木におけるアテ材形成と地すべり変動履歴，地すべりVol. 29, No3, 1992