

Lecture

現場で役に立つ地すべり工学 第6回 Key points in field work for landslide engineers No.6

3. 地すべり発生時の対応

Immediate measures against landslide

塚原俊一／日本工営(株)

Syunichi TSUKAHARA／Nippon Koei Co., Ltd.

上野雄一／日本工営(株)

Yuichi UENO／Nippon Koei Co., Ltd.

新屋浩明／日本工営(株)

Hiroaki SHINYA／Nippon Koei Co., Ltd.

3.4 地すべりの危険度

3.4.1 危険度の高い地すべりとは

地すべり地は古来より重要な生活の場であり、高い農業生産性をもった場所である。したがって、地すべり地での生活者にとっては、田畑や道路のクラック、家の変形があっても簡単にその土地を放棄することはない。事実、多くの人々が激しい地すべり変動後も地すべり地内で生活している。このような土地利用の現実を踏まえ、横山(2005)は、人命・財産を危うくするような激しい変動の予測される地すべりを「危険度の高い地すべり」として抽出することが、地すべりハザードマップにおける当面の目標であると指摘している。

大八木(1992)は地すべりの一生を先滑動期・漸移期・滑動期・消滅期の4期に区分している(図3.4.1)。

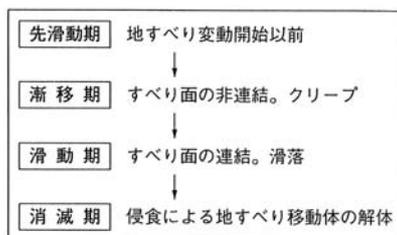


図3.4.1 地すべりの一生(大八木, 1992)

横山ほか(2000)は、地すべり変動が地形に現れるのは、大八木(1992)の漸移期と滑動期で、漸移期から滑動期に移る時と滑動期内の再滑動の際に激しい変動が起こる恐れがあるとしている。すなわち、漸移期の変動の特徴は岩盤クリープであり、すべり面が連続していないので、地すべりの輪郭構造が不連続になっているが、漸移期の地すべりはいずれ滑動期に入る可能性が高いので「危険度の高い地すべり」と判断している。

また、滑動期に入って滑り始め、やがて明瞭な輪郭構造を形成して滑動を停止した比較的安定な地すべりも抵抗体となっている末端部が河川の浸食や切土などによって地すべり移動体の表面積で20%以上消滅すると再び動き出す可能性が高い。このため河川や海岸に面している

地すべりは末端部が浸食で失われる可能性が高いので「危険度の高い地すべり」と判断している(図3.4.2)。

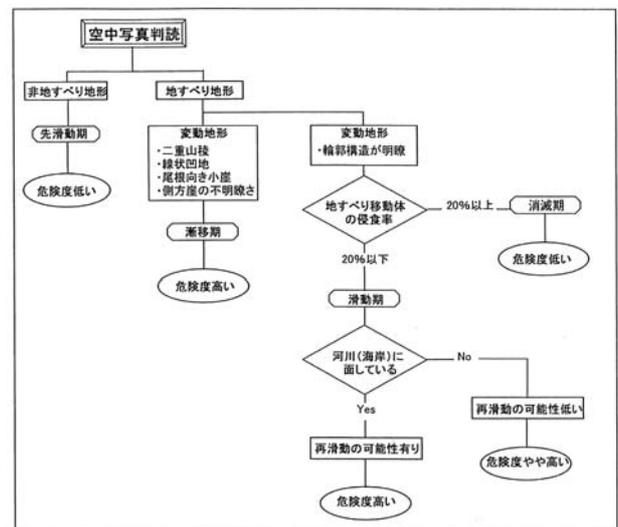


図3.4.2 空中写真判読による地すべり危険度評価の流れ(横山ほか, 2000に加筆)

3.4.2 地すべり発生時の危険度とは

ハザードマップに示されるような地すべりの危険度は、地すべりが発生(滑動)する前の段階での指標として有効である。しかし、本講座で取り扱うような滑動中の地すべりの危険度や滑動を停止した後の地すべりの危険度とは危険度の範囲が異なる。

地すべりの発生現場においては、まず対象斜面全体の概査(現地踏査主体)によって得られるデータのみで、被害の拡大を防ぐために応急対策を必要とするのか、監視だけで対応できるのかなど、地すべりの活動性についての判断が求められる。すなわち、本講座で扱う地すべりの危険度の判断とは、その対象となる地すべりの活動性について、

- (1) 滑動中か否か(滑動を停止しているのか否か)
- (2) 再び動く可能性があるか否か
- (3) 再び動くとなれば地すべりの範囲が拡大していく

のか否か

などを区分して被災する可能性（危険）の高低を判断していくことである。言い換えれば、表3.4.1のどの段階にあるかを判断することともいえる。

表3.4.1 活動性区分のイメージ

段階	状況		活動性	応急対策の必要性	
1	安定している		低 ↑ ↓ 高	小	
2	安定していない	範囲は現状維持		大 保全対象による	
3		範囲が拡大			平面的拡大
4					深度的拡大
5					平面・深度的拡大

また、既往調査観測資料のある箇所で発生した地すべりは概査以外のデータも判断材料になり、より精度の高い判断ができる。しかし、一般には既往地すべり調査観測資料が存在しないケースが多く、既往調査資料のある地すべりは稀である。

このほかに、地すべりの危険度としては十分な調査データに基づく安定解析により得られる斜面の安定度（危険度）や計測から得られる変動速度により注意、警戒、避難、立ち入り禁止を判断するための危険度があるが、これらの危険度についての議論は次号以降に別章で取り扱うこととする。

なお、以下に述べることは精査に着手する前までの地すべりの活動性を考えるうえでの目安であることと、必ずしもすべての地すべりに当てはまるとは限らないことに注意する必要がある。

3.4.3 地すべりが活動中か否か、再び動くのか否かの判定

(1) 地表の現象からの判定

地すべりによって地表に生じた亀裂、陥没などの現象から、その連続性や拡大の進行状況に着目すれば、地すべりの活動性をある程度判定することができる。次のような場合は再び大きく滑動して被害が生じる可能性が高いといえる。

- ① 亀裂が頭部から側部へ、さらに末端部付近にかけて連続して認められる（図3.4.3）。

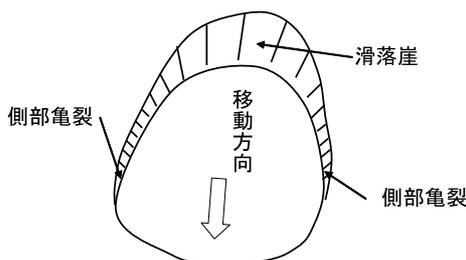


図3.4.3 対称断面形での側部亀裂

- ② 亀裂が時間の経過とともに伸びている。
- ③ 地すべり末端部で崩壊が発生したり、落石が頻発したりしている。
- ④ 地すべりブロック内の沢や地下水の湧水量が急激に変化するか、または濁る。

①、②は運動が継続している証拠であり危険度が高いといえる。逆に、亀裂が頭部のみにしか認められない場合や、亀裂の延長が時間の経過とともに伸びていない場合は、側面部の摩擦抵抗や末端部の抵抗が大きく前者に比べ危険度は低いといえる。

③で地すべり末端部に着目したのは、ここが地すべりの抵抗体となっている部分であり、最も遅く変状が発生するためである。末端部での変状が拡大・進行しているということは地すべりの運動が活発に進み、かつ継続している証拠であり、危険度が高いといえる。なお、末端部の崩壊は地すべりブロックの側部のみに発生する場合もあり、末端部全体で崩壊がみられないからといって安心はできない（図3.4.4）。

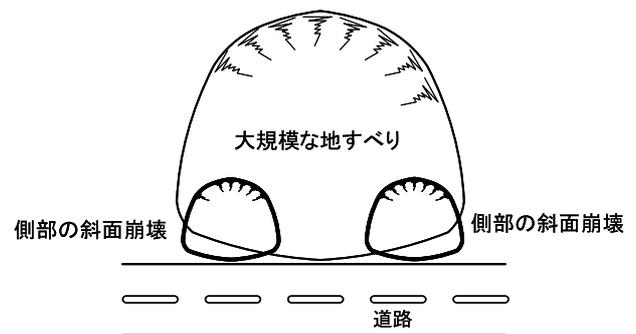


図3.4.4 地すべり末端部の崩壊

④の地下水関連では、活発な運動が継続することによって、地すべり土塊が変形し、地下水の流路が変化したことが考えられるため、湧水量が変化したり、濁ったりすれば危険度が高いといえる。

(2) 地すべり運動の抵抗体の状況からの判定

地すべり運動の抵抗となるものとは、上述したすべり末端部（受動領域）の土塊であり、また、側面抵抗である。

1) 末端部受動領域の土塊の状況

地すべりの安定は図3.4.5に示すように、すべり頭部主動領域（引張領域；すべり面の急勾配部）のすべろうとする滑動力とすべり末端部受動領域（圧縮領域；すべり面の緩勾配部）のすべるまいとする抵抗力の大小関係で決まるといえる。

受動領域の土塊が健全であれば地すべりは安定しているが、崩落・流出して欠落していたり、緩みが激しく2次的小崩壊を繰り返していたりするような場合はすべりの抵抗としての役割を果たしていないので危険度が高いといえる。

斜面勾配からも危険性を推定することができる。一般

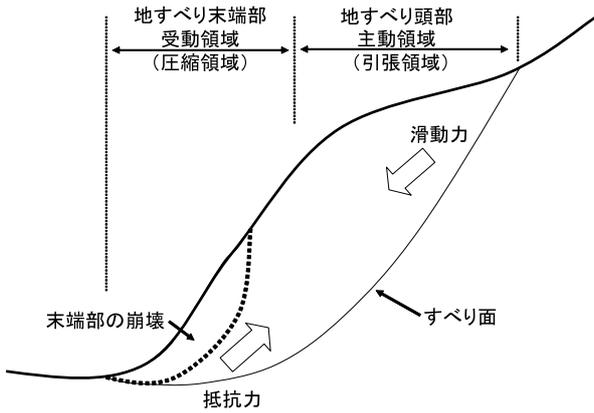


図3.4.5 地すべりの滑動力と末端部の抵抗力

的にはすべり面勾配と地形勾配はほぼ平行か、ややすべり面勾配が緩い場合が多い。このため地表面勾配からある程度すべり面勾配を推定することができる。すなわち、斜面勾配が急傾斜の地形では、すべり面勾配も急傾斜であると推察され、抵抗となる緩勾配部の受動土塊の領域が小さい場合が多いことから、滑動速度が早く地すべり災害の危険度が高いといえる。

また、前述したとおり、地すべりが河川に面している場合も地すべり末端部が河川浸食によって流出される可能性がある。この場合も末端部は土塊の欠落の可能性が高いことから健全のままにあるとはいえず、地すべり発生危険度が高いものとして扱った方がよい(写真3.4.1)。



写真3.4.1 地すべりが河川に面している事例

2) 側面抵抗の状況

側面抵抗の有無を判断することからも危険性を推定することができる。側面抵抗とは地すべりブロック両側面部で移動土塊と不動地盤との間に生じる摩擦抵抗である。側面部分にはすべり面におけるものとは異なる摩擦抵抗が働くとされている。ただし、この摩擦抵抗は評価することが難しく、従来の2次元安定解析では安全側に立っ

て考慮されていない。側面抵抗の有無を推定するには、すべり面の横断形状を推定することがポイントとなる。すべり面横断形状からは、左右対称形よりも非対称の楔型のすべり面形状のほうが危険度は高いと推察される。すなわち、すべり面横断形状が非対称の場合、移動層厚が厚い方に偏りながら運動するため、移動層厚が薄い反対側の側部では摩擦抵抗(サイドフリクション)が極めて小さく、このため危険度が高くなると考えられる(図3.4.6)。

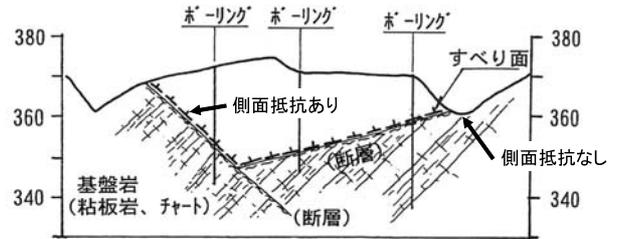


図3.4.6 非対称断面形での側面抵抗 (上野, 2001に加筆)

図3.4.6ではボーリング調査の結果により断面形を把握しているが、地表踏査からでも次のような特徴から非対称形であるか否かの判断ができる(図3.4.7, 写真3.4.2)。すなわち、

- ① 頭部滑落崖の高低差が移動層厚の厚い方で大きいなど形状が非対称形である。
- ② 側部の亀裂が移動層厚の厚い方では圧縮性のズレ亀裂である。
- ③ 側部の亀裂が移動層厚の薄い方では引張性で開口している。小崩壊を生じている場合もある。

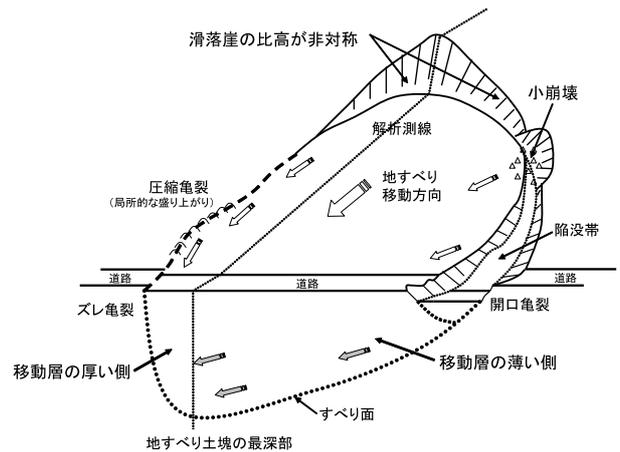


図3.4.7 非対称断面形の地表面現象

3) 地すべりの平面形の状況

地すべり運動の抵抗力を考えるうえで、地すべりの平面形も手がかりとなる。地すべりブロックの平面形は大局的に矩形、三角形、逆三角形、ボトルネック形などに区分されるが、これらの形状は地すべり土塊の縦断的層

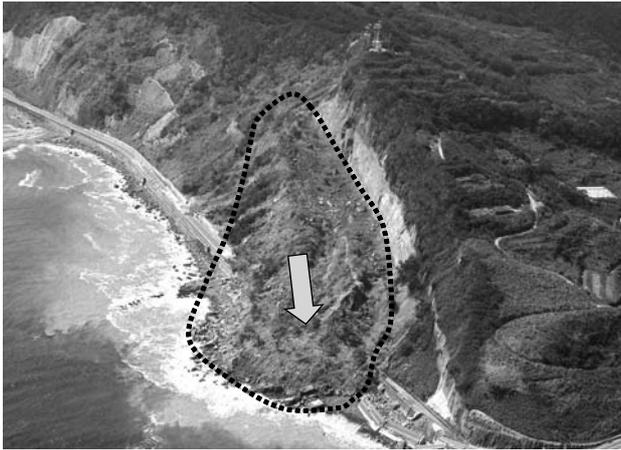


写真3.4.2 非対称断面形の地すべりの例

厚を反映している場合が多い。すなわち地すべり頭部の幅が広く、末端部の幅が狭い逆三角形の平面形状のブロックは、頭部付近の土塊が厚層であり末端部付近の土塊が薄層であるためトップヘビーとなり、すべり末端部の受動領域（抵抗体）が小さい。このため、降雨や土工などの誘因の規模が僅かであっても活発化しやすく、再滑動の危険度が高いといえる。

これに対して、地すべり頭部の幅が狭く末端部の幅が広い三角形の平面形状では、頭部付近の土塊が薄層であり末端部付近の土塊が厚層であるため、抵抗体が大きい。降雨や土工などの誘因が変化しても安定性が大きく損なわれにくいので、比較的安定性が高いといえる。

以上の点をまとめると表3.4.2のとおりとなる。

表3.4.2 地表踏査でみる地すべり危険度判定の目安

危険度	末端土塊の状況	斜面勾配	すべり断面形	すべり平面形
低	健全	緩	対称型	三角形型
↑	↓	↑	↑	↑
↓	↑	↓	↓	↓
高	落石・小崩壊を繰り返す	急	非対称型	逆三角形型

(3) 地すべり運動の誘因からの判定

地すべりはきっかけとなる誘因が働いて運動を起こす。自然条件での誘因として、降雨、融雪、地震などがあげられる。人為条件での誘因では道路建設や宅地造成などに伴う土工（切土、盛土）、ダム湛水などがあげられる。当面の安定を確保する応急対策はこれらの誘因を排除したり、元に戻したりすることを目指して行われる。しかし、自然条件の誘因で生じた地すべりに対して、その誘因を排除することが難しいので、応急対策を施工しても恒久対策工が終了するまでは危険な状態にあり続けるとした方がよい。

(4) 地すべりの危険度を考えるときの留意点

地すべりの危険度を考える場合、地すべり土塊全体の危険度に注目するのは当然であるが地すべり末端部圧縮領域での崩壊に代表されるような地すべり土塊構成材料自体の危険性についても注意しなければならない。地すべりの被災者にとっては、地すべり土塊全体の変動による被災も、地すべり土塊の局所的な崩壊による被災も、被災には変わりがない。「木を見て森を見ず。」とは戒めの言葉であるが、「森を見て木を見ず。」も戒めの言葉としなければならない。

【事例1】

滑動前の地形では地すべり地特有の明瞭な滑落崖はなく、斜面上方に軽微な段差を伴う緩傾斜地と河川近くに川の侵食（攻撃斜面）に伴う崖（遷急線）が分布していた。地すべりは遷急線以高の緩傾斜地の一部を取り込む範囲で発生した。

地すべり発生後の地質調査では、地すべり範囲の基盤岩上面の形状はそれより上方の斜面より急になっていることが判明した。また、地すべり移動層および基盤岩内部の複数の深度には、地層形成時の構造的な弱層や地山のクリープによる破碎部が流れ盤状に存在することがわかった。

しかし、これらのいずれがすべり面になったかについては、コアの性状からは断定できず、孔内傾斜計の観測で初めてすべり面が特定された。クリープに伴う緩み地形の一部が、河川水位の上昇によって地すべりを発生したものと推定された。

これまで一般には、地すべり地特有の滑落崖地形を示す斜面を対象に、調査や対策が行われていた。今後は明瞭な滑落崖がなくとも、地形的に斜面中腹に緩傾斜面が分布する攻撃斜面で、なおかつ地質的にクリープや潜在的な傷が認められる斜面についても注意する必要がある。河川水位の上昇によって緩斜面全体が地すべりを発生する可能性は低くとも、川近くで基盤岩上面が急になっている範囲では小規模な地すべりが生ずる可能性がある（図3.4.8）。

3.4.4 地すべり規模の拡大傾向からの判定

(1) 平面規模の拡大

地すべり頭部から両側部へ、さらに側部から末端部付近へ延びる亀裂により、地すべりの範囲を決めることが

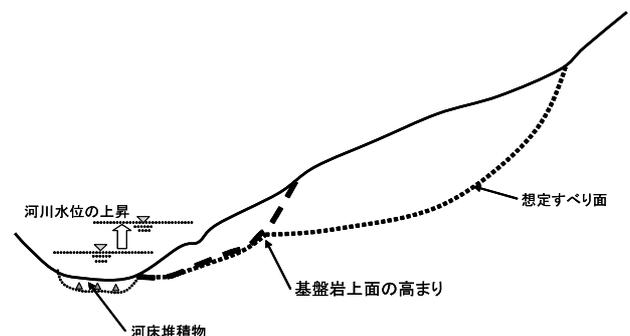


図3.4.8 事例1の断面図

できる。この範囲よりさらに外側に地すべりの形に沿う方向に新たな亀裂が確認された場合には、地すべり範囲が拡大していると判断できる。すなわち、地すべりの運動が活発であり危険度が高いといえる。特に頭部滑落崖より斜面上方に生じる亀裂は新たな滑落崖になりうるも

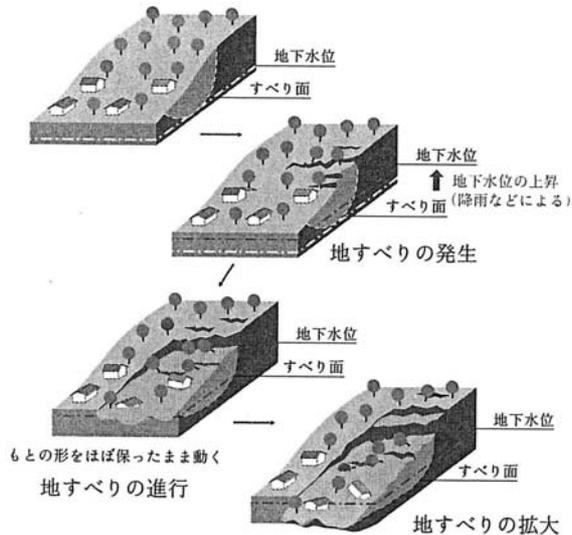


図3.4.9 地すべりの平面的拡大
(千葉県土木部河川海岸課, 2001)

ので注意を要する(図3.4.9)。

地すべり範囲の平面的な拡大は恒久対策工事の規模を大きくするものであるから、応急対策工事を行い、早急に拡大を防ぐ必要がある。

(2) 深さの拡大

渡ほか(1975)、藤田・板垣(1976, 1977)および上野(2001)よれば地すべりの幅と深さ、及び奥行きと深さには相関があることが知られている。地すべりの平面的な拡大、特に幅の拡大が見られた場合にはすべり面の深さが深くなった可能性を考えた方がよい。

【事例2】

第三紀層地すべり地帯の1:1.2の切土のり面で泥岩中に挟まれる数枚の凝灰岩層のうちの1枚をすべり面とする地すべりが発生した。このため、のり面整形を兼ね



写真3.4.3 すべり面が転移していった事例

て全体的に1:2.0で切りなおした結果、上載の土塊が除去されたことにより、当初のすべり面よりも下位の凝灰岩層が応力開放で脆弱化して新たなすべり面が形成されるというようにすべり面が転移していった事例である(写真3.4.3)。

すべり面が深くなれば、すべりの発生メカニズムも変わることになり、恒久対策を難しくしたり、対策規模を大きくしたりする原因となる。この場合も早急に応急対策を講じ、すべり面の転移を防いだ方がよい。

3.4.5 調査時の注意事項

現地調査(踏査)では土砂崩れや地すべりを起こした崩壊斜面内およびその周辺を歩くことになる。しかし、直ぐさま現場に入るのは危険であり、安全な場所から現場全体を眺め、被災状況を概略把握するとともに、現場に安全に近づくルートを検討することが先決である。

調査(踏査)は2人以上の班で行い、調査班の安全確保に努めることを基本とする。現地調査を行う際には、安全確保のため、以下の事項に留意する必要がある。

- ① 調査(踏査)は2人以上/班の編成で行う。
- ② まず、安全な場所から地すべり地全体を眺め、地すべりの全体像および滑動に伴う前兆現象を把握するとともに、地すべり地に安全に近づくルートを決める。
- ③ 地すべり地の上、下の安全な場所に監視員を置く。
- ④ 調査(踏査)班は監視員と連絡を取りながら、また退避ルートを確認しながら地すべり地に近づく。
- ⑤ 監視員は、地すべり地内およびその周辺で異常を発見した場合、直ちに調査(踏査)班に連絡する(無線、大声による)。
- ⑥ 異常の連絡を受けた調査(踏査)班は、直ちに退避ルートで地すべり地から離脱する。

参考文献

- 横山俊治(2005):空中写真判読による地すべり地形分布図をベースにした地すべりハザードマップ, ハザードマップ-その作成と利用-, ハザードマップ編集小委員会編著, 社団法人日本測量協会, pp.74-76
- 大八木則夫(1992):土砂災害, 萩原幸男編集「災害の辞典」, 朝倉書店, pp.179-246
- 横山俊治・田近淳・野崎保(2000):地すべりのハザードマップそのII-ハザードマップへの試み-, 平成12年度シンポジウム予稿集「斜面ハザードマップの現状と課題」, 日本応用地質学会, pp.45-57
- 上野将司(2001):地すべりの形状と規模を規制する地形・地質要因の検討, 地すべりVol.38, No.2, pp.1-10
- 千葉県土木部河川海岸課(2001):自然を感じ, 自然と生きる 千葉県の地すべり, p.2
- 渡正亮・中村浩之・板垣治(1975):地すべり実態統計(その1), 土木研究所資料, pp.6-34
- 藤田寿雄・板垣治(1976):地すべり実態統計(その2), 土木研究所資料, pp.8-42
- 藤田寿雄・板垣治(1977):地すべり実態統計(その3), 土木研究所資料, pp.10-21
- (原稿受付2006年3月29日, 原稿受理2006年4月20日)