

Lecture

現場で役に立つ地すべり工学 第1回 Key Points in Field Work for Landslide Engineers No.1

1. 講座を始めるにあたって

Introduction

白石秀一／(株)日さく

Shuichi SHIRAIISHI／Nissaku Co., Ltd.

近年の日本列島は異常気象に見まわれることが多く、豪雨や地震に伴い各地で突発的な土砂災害が発生している。各種の土砂災害の中でも地すべり（狭義）は、これまでのように山間地だけでなく人口が密集した都市域でも発生することがあり、しばしば大きな社会的問題となる。

地すべりが発生した場合、その第一報は行政機関に届けられる。行政機関等の技術者は現地に赴き現地調査を行い、住民の安全を確保するための適切な判定を迫られ

るところが、地すべりはそれぞれ独自の顔を備えていることが多く、現地の特性を十分に考慮した判定が必要となる。その場合、判定の根拠が一定の法則性を持つ部分は必ずしも多くはなく、技術者の経験と勘に頼る部分も少なくない。それゆえ、地すべり対策が経験工学と呼ばれる根拠ともなっている。

これまで、地すべりに関する教科書とも呼ばれる書籍は数多く出版されてきたが、地すべりが発生している現地に赴いたとき、現地でどのような観察を行い、どのような判定を下すべきなのかという点について、詳しく書かれた書籍は少ない。本講座は、現場経験が豊富な技術者たちが、みずからの経験に基づき、地すべりが発生した場合に「どのように地すべりを読み取るか」、「現地で見られる現象がどのような意味を持っているのか」、そして「観察結果に基づき、どのような判定を下すべきなのか」、そして、「それぞれの特徴を持った地すべりに、どのように対応したのか」という点について、具体的事例をもとに、分かりやすく解説している。

講座の構成は表-1のようになっている。第2回では、地すべり発生初期に見られる現象（前兆現象）について解説する。第3回から6回では地すべり発生現場に赴いた場合、どのような点に注意をして観察を下すべきなのか、その結果、どのようなことがわかるのかという点について解説する。また、第7回から10回は、地すべりが発生した場合の監視方法と、その結果の利用法について解説する。第11回から13回では、地すべり発生時の対応方法について具体的に解説する。それぞれの内容については、技術者の苦い経験も含まれている。あえて失敗談を紹介するのは、それを他山の石としていただくことを願うからである。

地すべりが発生したとき現場へ駆けつける技術者にとって、この講座が適切な判定を下せるための一助となれば幸いと考えている。

(原稿受付2005年7月14日、原稿受理2005年8月26日)

表-1 本講座の構成

No.	巻	号	発行月	タイトル
1	42	3	2005年 9月	1. 講座をはじめるとにあたって
2	42	3	2005年 9月	2. 地すべりの前兆現象
3	42	4	2005年 11月	3. 地すべり発生時の対応 3.1 地表踏査 その1 (1) 踏査時の着目点 (2) 地形の変状
4	42	5	2006年 1月	3.2 地表踏査 その2 (3) 構造物の変状 (4) 植生の変状
5	42	6	2006年 3月	3.3 地すべり移動体の形状
6	43	1	2006年 5月	3.4 地すべりの危険度
7	43	2	2006年 7月	4. 監視と予測 4.1 初期動態観測
8	43	3	2006年 9月	4.2 崩壊予測と適用例
9	43	4	2006年 11月	4.3 警戒避難基準
10	43	5	2007年 1月	4.4 モニタリング
11	43	6	2007年 3月	5. 応急調査・応急対策工の計画 5.1 調査ボーリングの配置計画 5.2 ボーリングに付随する調査および 地中動態観測
12	44	1	2007年 5月	5.3 すべり面の判定
13	44	2	2007年 7月	5.4 応急対策工
14	44	2	2007年 7月	6. 講座を終えるにあたって

Lecture

現場で役に立つ地すべり工学 第2回 Key Points in Field Work for Landslide Engineers No.2

2. 地すべりの前兆現象

Precursors of landslide

阿部真郎／奥山ボーリング(株)
Shinro ABE／Okuyama Boring Co., Ltd.

キーワード：前兆現象，地すべり
Key words：precursor, landslide

白石秀一／(株)日さく
Shuichi SHIRAIISHI／Nissaku Co., Ltd.

2.1 前兆現象とは

科学が未だ発達していない時代，特に地震や火山活動，地すべりなど自然災害の前兆現象は，人類にとって災害が近づいていることを知るための重要な知識であり情報でもあった。鼠などの一斉逃避や，ナマズなど動物の異常な行動，さらには地震雲などの気象現象の変化などは現在も時々話題となる。病気とか政変などの場合は「兆し」とか「兆候」などが前兆現象に相当するのであろう。すなわち前兆現象は事（変）が起こる時の「前触れ」であり「初期症状」といえる。そのため古来より人々はこの前兆現象を知ることによって，自然災害から逃避する時間やすべを得ることができるために，ことのほか神経を費やしてきた。すなわち，我々は自然災害の予知・予測の手段として前兆現象を使ってきたわけである。

前兆現象を論ずる場合，数千年～数万年間変動を繰り返しているような地すべりのどの時点の地すべり現象を「事が起きた」もしくは「発生した」時点としてその「前兆」を議論するのが問題となる。すなわち地すべり災害の発生時点を亀裂の発生時とするのか，滑落崖の形成時もしくは移動土塊が数10mも移動した時点とするのかなどによって前兆現象の対象範囲は大きく異なる。本稿では地すべりが道路を陥没させて通行不可能な状態にしたり，家屋が住居としての機能が損なわれるほど変状をきたした場合など人間の社会生活へ大きな影響を及ぼした時点を生起時点とした。そして，それ以前の現象を地すべりの前兆現象として取り扱うこととする。

従来前兆現象は，人間の目や耳，鼻などで直接感じることができる異常現象のことであった。しかし，最近では，自然災害の地形・地質の発生素因の形成段階における現象や，遠い地点で発生した自然災害が人間社会へ影響を与えるまでの現象なども前兆現象と呼ばれるようになってきた。

すなわち，地すべりにおいて，現在，前兆現象とされるものは火山災害などと同様に時間的な差異や災害のメカニズムを考慮すると，次のように分類できる。

1) 前活動期（すべり面形成期）の前兆現象

地形・地質などの災害発生素因が形成された後の地盤

への歪の累積期における前兆現象である。火山の場合ではマグマのマグマ溜まりへの蓄積などの現象がこれにあたる。地すべりの場合，場合によっては弱面などが存在するものの，真のすべり面がまだ形成されていないか，もしくはまだ連続していない時期の重力的な山体クリープ（横山，1995：千木良，1998：渡，2005など）などの現象が対象となる。多重山稜などを地すべり形成の重要な前兆現象として研究の対象としている場合も多い（八木，1996など）。現在の生活を営む者にとって場合によっては数千～数万年以上も早い時期の前兆現象であり，それを知ることの必要性は少ない。しかし，初生的な岩盤地すべりや地震に伴う地すべりなどの場合，このような初期的な岩盤変形などは重要な前兆現象といえる。

2) 地すべり活動初期の前兆現象

地下内部などでは明らかに現象が起きているが，まだ地表への変状が現れていない時期の前兆現象である。火山の場合はマグマ溜まりから山体直下へのマグマの移動に対応して発生する火山性地震などに相当する。

地すべりでは連続するすべり面が形成され，移動土塊の微小な変動に起因する地下内部に現れる現象が対象となる。それまで停止していたような再発型地すべり地に設置した計器に，微小ながら累積する変動が見られるような場合もこの時点の現象である。地下での地すべり変動に伴う岩盤の破碎音や亀裂の発生音などの地中音を対象に周波数を解析する研究も行われている（福田ほか，2002など）。福島県・会津地方における地すべり地の住民の話では，対策工が施されるかなり以前に，深夜，地下から地底が押し上がるような，かすかな鈍い音を何回か聞いたという。おそらくこのような時期の地すべりの前兆現象と考えられる。

3) 地すべり活動期の前兆現象

地表に種々の現象が現れて地すべり活動の直前ないしは活動を開始したと判断される時期のものである。

火山噴火の場合ではマグマの上昇に対応して発生する地表の亀裂・断層，低周波地震，噴気量の増加などが相当する。

地すべりの場合は土塊移動などの進行に伴って見られ

る地表の変状現象が対象となる。一般に前兆現象といわれる異変の多くがこの時期のものである。すなわち、地面に割れ目の発生、斜面での小崩壊発生や水の噴き出し、湧水、沢または井戸の水の濁り、家屋への亀裂や、ドアの開閉など建て付けの変状、擁壁への亀裂、擁壁・樹木・電柱の傾斜、池や沼の水量の急変、地面や道路の隆起や沈下、などである。

これらはいずれも移動土塊の変形と、地下水の圧力変化などに起因するもので、一部は我々が現地で良く目にする現象である。このような変状の場合は、気象やすべり面形状、地質の種類にもよるが地すべり発生直前である場合があり、十分な注意が必要となる。

4) 地すべり発生中の前兆現象

以上1)～3)の前兆現象の他に、地すべり現象の発生した場所が人間の生活する場所と離れている場合、地すべりの発生や移動過程で起こる現象を前兆現象と呼ぶ場合がある。河川の上流域で発生した土石流の場合、下流域の生活圏内まで到達するまでにある程度の時間を要する。その間、下流域の住民は川の水位の急低下や流木の増加、山鳴り、泥臭いような異常臭気などを前兆現象として注意している(遠藤・井良沢, 2005など)。地すべりでの事例は稀であるが、秋田県澄川地すべりのように、上流域で発生した地すべりの移動土塊が河川を流下したことが知られている。大規模地震の発生時などには上流域で発生した地すべりが土石流化することがあり、同様の前兆現象に注意が必要である。

我々の現場踏査の多くは、一般に上記3)に示した現象を対象として地すべりの規模や深さ、そして今後の地すべりの発達過程を予測することが目的となる。

これまでこのような「前兆現象」、特に3)に示したような現象を真正面から捉えた研究報告は数少ない。その理由として、「地すべりの予測」や「地すべりの危険度評価」などの分野で前兆現象と同様な現象を対象とした研究が進められていることに加えて、前兆現象が事変(災害)が発生してはじめてその現象が「前兆」であったことがわかる経験的な事実であるために発生時や発生前の詳細なデータを得ることができないことによると考えられる。さらに、前兆現象には科学的な説明が難しいとされている動物の行動や気象異変などを対象とした宏観異常現象を含んでいることなどが考えられる。

筆者らはこれまでいくつかの変動している大規模地すべり地内で蛇やカモシカなどを見ており、地すべり変動に伴う動物の大移動やたとえば「地すべり雲」といった宏観異常現象には残念ながらまだ直接出合ったことがない。

最近、窪田(2003)は、1997年に発生した秋田県八幡平の澄川地すべりに関して、2年前からの温泉水や噴出する蒸気の変化、それに地表の亀裂確認などの前兆現象を報告している。澄川地すべりの場合にはこのような前兆現象を知ることにより迅速な避難が行われ、その結果犠牲者が出なかったという点で特筆できる事例である。

2.2 前兆現象としての亀裂発生と地すべりの進展予測

われわれ技術者が、「地すべりが発生した」と報告を受け、現地に向くのは、主に前述した3)の段階である。しかし、地すべりが発生しそうだという報告は2)または3)のごく初期の段階であることもある。

現地に現れた、前兆現象としての亀裂の解釈、特にその亀裂がその後どのように拡大し、どのような地すべり範囲となるかという課題は、現場を確認した技術者に必ず求められる。この課題は一筋縄で解決できる問題ではない。以下に2つの事例を示す。

1985年7月26日に長野市で発生した地附山地すべりは、多くの人命を奪うと共に、民家へも多大な被害をおよぼした地すべりである。この地すべりの移動域となった部分を、「戸隠有料道路(バードライン)」が通過していた。有料道路の路面や擁壁に亀裂が確認されたのは、地すべり発生の12年前にあたる1973年である。亀裂が発生した位置は、後の地すべりの側方境界部分とほぼ一致している(図-1)。この部分の変状は補修により対応していた。その後、1981年になると、後の地すべりの冠頭部に当たる位置の変状が認められるようになっていく。さらに地すべり発生2年前の1983年には地すべりの冠頭部に当たる位置に亀裂が発生したことが確認されている。地すべり発生の前年からは、それらの変状がしだいに拡大していき、地すべりによる変状であることが明瞭になっ

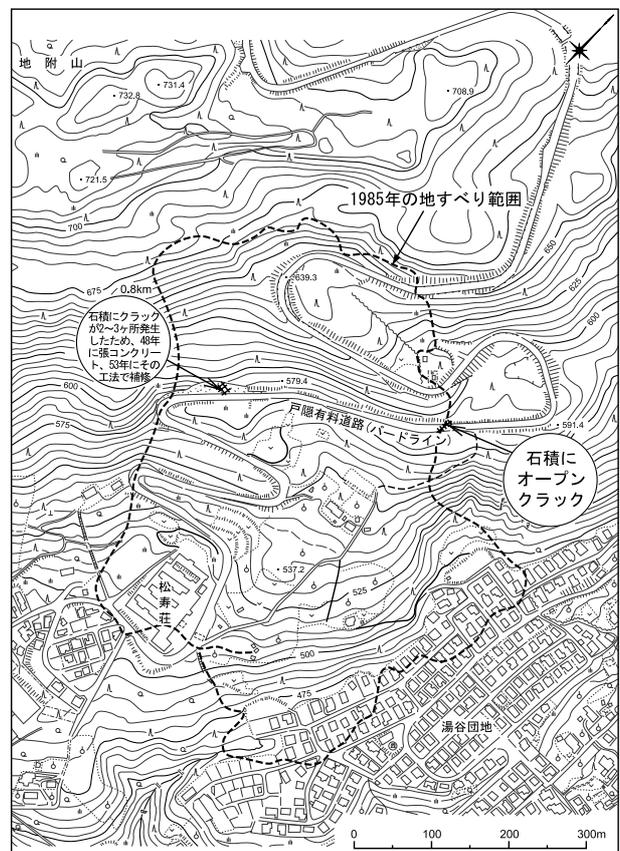


図-1 地附山地すべりで1973年に確認された地表面変状(地附山地すべり機構解析検討委員会:1989に一部加筆)

た(図-2)。しかし、この時点でも、変状が現れたのは、地すべりの上半部のみである。地すべり発生直前には、最終的な地すべり末端部よりかなり上方に、圧縮性の変状が確認されている。ところが、最終的な地すべり末端は、圧縮性の変状が現れた位置よりも約300m下方になっている。つまり、最終的に大きな被害をもたらした地すべり末端や押し出し域を示す徴候は最終段階まで、確認できなかった。

このように、地すべりの最も早い段階で発生した前兆のみで、その後発生する地すべりの全貌を予測することは極めて難しい。この点について、もうひとつの例を示す。

同じ長野市の南部、下石川地区では1999年10月に、地すべりの頭部にあたる位置の、リンゴ畑の中に亀裂が発見された。このため周辺の踏査や地元での聞き込みを行ったところ、次のような変状が確認された(図-3)。

- ① リンゴ畑の中にできた亀裂 長さ2~3mのものが雁行状に連続していた。この亀裂は開口し、水がたまっていた。
- ② 上部市道下のブロック積擁壁に亀裂が見られ、開口していた。ただし、亀裂は新しい物ではなかった。
- ③ ①亀裂発見の数日前に篠ノ井配水池の送水管がはずれ、大規模な漏水が見られた。
- ④ 篠ノ井配水池を取り囲むブロック積み擁壁に亀裂が

発生していた。これも新しい物ではなかった。

- ⑤ 篠ノ井配水池下の農道のコンクリート舗装が圧縮され盛り上がっていた。これも新しいものではなかった。
- ⑥ ⑤の箇所の下では、8月末の豪雨で小崩壊が発生していた。
- ⑦ 下部市道下の農道のコンクリート舗装にずれが見られた。

このような前兆現象の見られた位置と、地形を考慮し、図-3の破線で示した範囲(A)を、今後起こり得る地すべりの範囲と推定した。これは、現地に見られた浅い沢地形(古い地すべり地形とも見えるもの)をトレースしたようになっている。ところが、実際の移動域は図-3の実線(B)で示した範囲であった。この範囲は尾根地形と見える部分にあっている。つまり、今回発生した地すべりは、過去の地すべり(当初推定した沢地形の部分)に取り残された部分が活動したと見ることもできる。

上記の①から⑦までの変状の中で、後に発生した地すべりと関連した現象は、①、②、③、④のみであった。①については、この斜面がかつてから少しずつ変状が進行していたため、移動がわずかつ繰り返す、それが最終的に今回の地すべりにつながったと考えたと説明できる。②については、亀裂の発生や崩壊そのものは集中豪雨が直接の原因であるが、後に地すべりになる範囲の境界としてはすでに存在しており、潜在的な亀裂集中部に集中豪雨の浸透水が集中し、崩壊を発生させたものと考えている。それに対し、④については軟弱な地盤の盛土を行い、配水池の用地を造成のための擁壁を築造したことが原因と考えられる。⑤については原因は不明である



図-2 地附山地すべり1981年8月時点の地表面変状(地附山地すべり機構解析検討委員会:1989に一部加筆)

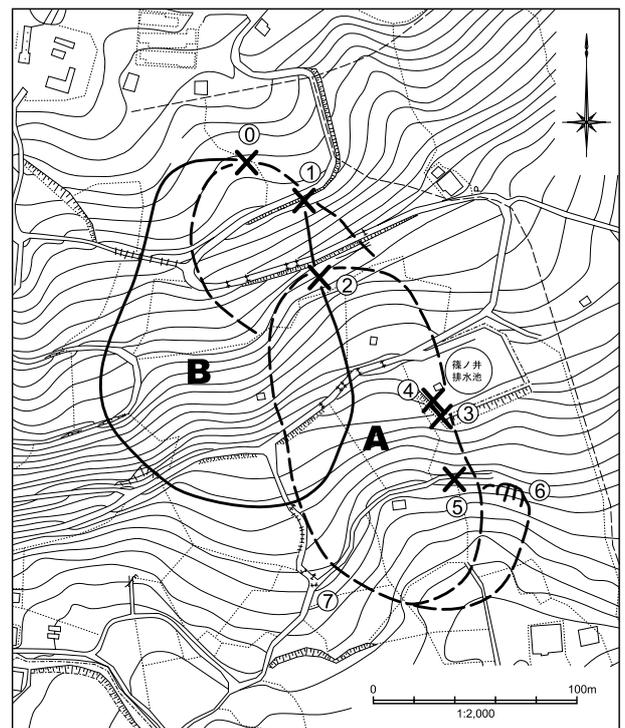


図-3 下石川地すべりにおける地表面の変状と地すべり範囲

が、より古い時期に発生した現象を同レベルで扱ったことが、まちがいの原因である。⑥については、原因の異なる現象を一括して取り扱ったことが、誤認を招いた。一方、⑦の現象は地すべりによる現象であったが、発生位置が後の地すべり移動域とかなり離れていたため、地すべり範囲を誤認させる原因となった。これは地すべり末端の移動体がその上に乗っていた農道のコンクリート舗装の床板を押し出したため、床板全体が下方に押され、その先端にあたる、地すべり範囲の約50m下方に変状が現れ、移動範囲をより大きなものと誤認する結果となった。

このように地すべり発生初期の、わずかな前兆現象のみで、その後起こり得る現象の全体像を的確に捉えることは極めて難しい。発見された異常現象はその発生原因と発生時期をしっかりと確認し、同じレベルの前兆現象のみを取り扱うようにする必要がある。

また、地すべりの範囲の予想にあたっては、新たに発生する地すべりが、どのような地形の部分にあたるのか(たとえば、古い地すべり地形の再活動なのか、それとも古い地すべりの近傍にある新しい地すべりの活動なのか、など)という点についても、注意を払う必要がある。

亀裂ばかりではなく、湧水もひとつの目安となることを忘れてはならない。地附山地すべりの発生前にはバードライン周辺にいくつかの湧水が見られたことが指摘されている(当時の関係者の談話)。下石川地すべりでも、当初、最初に発見された亀裂には水がたまっていたが、地すべりの進行とともに水が地下へ浸透してしまった。地すべりの進行により、地下のすべり面が連続し、それ

に沿って浸透したものと思われる。

以上の事例は、現地で発生している前兆現象から、その後の変状を的確に予測する事が容易な作業ではないことを示している。そのため我々は、長期間に及んで変化する地表面の状況を根気強く観察し、さまざまな仮説を組み立てながら丹念に自然現象を解き明かしていく必要がある。このような作業は社会的責任とそのための精神的重圧を伴うが、ダイナミックな自然と対峙する技術屋の仕事冥利ともいえる。

参考文献

- 千木良雅弘(1998):災害地質学入門, 近未来社, 206p.
- 遠藤康多佳・井良沢道也(2005):土砂災害時の警戒避難実態調査及び前兆現象検知のための室内崩壊実験, 平成17年度砂防学会学術講演集, pp. 240-241.
- 福田誠・金井洋平・新関敦生・酒井與喜夫(2002):振動センサーと低周波増幅器を用いた地すべり予知方法について(2), 第37回地盤工学研究発表会講演集, pp. 2247-2248.
- 窪田康宏(2003):1997年秋田県鹿角市澄川地区の地すべり, それ以前に見られた徴候, 日本地すべり学会誌, No. 40, No. 1, pp. 84-87.
- 渡正亮(2005):山腹のゆるみと地すべりの初生について, 日本地すべり学会誌, Vol. 41, No. 5, pp. 57-66.
- 八木浩司(1996):地すべりの前兆現象としての二重山稜・多重山稜・小崖地形と変動様式, 地すべり研究の発展と未来(中村三郎編著), 大明堂, pp. 1-25.
- 横山俊治(1995):和泉山地の和泉層群の斜面変動:岩盤クリープ構造解析による崩壊「場所」の予測に向けて, 地質学雑誌, Vol. 101, No. 2, pp. 134-147.
- 地附山地すべり機構解析検討委員会(1989):地附山地すべり機構解析報告書, 長野県土木部. 308p.
- (原稿受付2005年7月14日, 原稿受理2005年8月23日)

3. 地すべり発生時の対応

Immediate measures against landslide

阿部真郎／奥山ボーリング株式会社
Shinro ABE／Okuyama Boring Co., Ltd.

キーワード：地表踏査，地すべり，すべり面
Key words：field reconnaissance, landslide, slip surface

3.1 地表踏査 その1

3.1.1 踏査時の着目点

(1) 踏査の目的

地すべり発生時の踏査は地すべり災害の発生機構を早急に解明し対策を講ずるための初動調査であり，緊急を要し，また危険が伴う。その点で通常の地表地質踏査とは大きく異なる。

地すべり発生時における踏査の主な目的は次の3点に集約される。

- 1) すべり面の把握と発生機構の推定
- 2) 変動範囲もしくは危険範囲の把握と危険度の判定。
- 3) 調査および対策工計画の為の基本資料の収集。

地すべり調査で最も重要なものはすべり面の掌握であり，地すべり発生時の踏査の目的も全く同様である。すべり面の把握なしでの地すべり対策工計画は非常に困難なものであり，その効果も期待できないことになる。そのため踏査は常にすべり面の把握を念頭にいて行うこととなる。すべり面は次の本格的な調査で明らかにすれば良いというのでは無く，この踏査で少しでも手がかりをつかむという姿勢が重要である。

変動範囲および危険範囲の把握や危険度の判定は避難体制などの確立には不可欠であり，当然調査位置や数量，また対策工計画の種別・数量・位置・施工順の判断資料としても重要となる。

本格的な調査および対策工は，踏査が終了次第開始する場合が多い。調査・対策工の計画は踏査の後の卓上でまとめることになるが，その大枠は現場内で検討し，また決定しておくべきである。

地すべり発生時の踏査は以上の3点を常に念頭にいて，踏査の最中に自問自答しながら仮説をたて，それを証明し，またはそれを壊してまた仮説を構築することを繰り返しながら行うことになる。すなわち，初動調査においては地すべり機構の60%程度を掌握し，その後の調査はその仮説の正否をひとつずつ確認するぐらいであるという意気込みが必要である。勿論自らの仮説を覆す勇気が大事であることはいうまでもない。

(2) 踏査の対象，範囲およびルート

1) 踏査の対象

地すべりの踏査では次のような事象に着目する。地表の変状（滑落崖，陥没，段差，亀裂，隆起などの位置・方向・変位量・頻度），地表水・地下水（湿地，沼，沢，湧水，家庭用の井戸などの位置・量・水質・温度），地質・地質構造（地質，地層の走向傾斜，断層，褶曲，風化・破碎状況など），既存の地すべり調査・対策工施設の変状，構造物の変状（家屋など建築物，道路・水路・堰堤などの土木構造物など），植生異常（樹木の曲がりなど）など。

2) 踏査範囲とルート

踏査範囲は次のような条件を満足するように決定する。

- ・現在地すべりが変動している範囲，拡大する可能性がある範囲，および地すべりによる被害が及ぶ可能性のある範囲。すなわち，地すべり変動や地すべり変動の影響を被ることが明らかに無いという根拠が得られるまでの範囲。
- ・地すべり地の斜面は必ず斜面最上部の尾根まで，場合によっては尾根背面まで踏査する。
- ・地下水の供給源となるような貯水地や池，沼，湧水，湿地などがある部分。
- ・対策工によって影響を被る可能性のある範囲，すなわち切土や盛土，河川や道路の迂回，堰堤などの施工に伴って影響を受ける可能性のある範囲。
- ・基本的な地質，地質構造が把握できる範囲。すなわち，地すべり地の基本的な地層や走向傾斜などが確認（想定）できる範囲。

踏査ルートは次のような点に留意して設定する。

- ・重要な兆候を見逃さないために，ジグザグの踏査ルートをイメージする。
- ・複数人で踏査を分担する場合でも，最終的に主担当者は必ず全ルートを確認する。
- ・水路や道路およびその付帯構造物，また家屋，施設などの構造物全般の確認。
- ・可能な限り地すべり地に向かいあう反対斜面から全景を望む。踏査前での全体像の確認や踏査ルートの

設定、踏査後のブロック再確認など非常に有効である。

(3) その他の留意点

地すべり発生時の踏査では、将来その地域の住民生活と深く関わることになる地すべり調査や対策工を考慮した観察が必要である。

そのため、次のような点にも留意すべきである。

- ・家屋の土台や建物の変状に関しては、将来補償などの検討が必要となる場合がある。地すべり調査と併せて記録を残すためにピンなどを設置し変化を計測しておくことが望ましい。
- ・家庭や工場などで使用されている井戸の水位や流量、掘削時の地質などは地すべり地の地下水や地質の情報を与えてくれる。
- ・家庭や工場で使用されている井戸水や湧水、沢水などは流量や水質を確認しておくことも必要である。
- ・対策工や仮設設備を計画する上で土地使用状況や樹木（特に植林）の状況、下流域での魚の養殖池などの有無、さらには生活用水への影響を確認しておく必要がある。

また、踏査時の安全面で注意が必要なものとしては

- ・既存集水井や排水トンネル内の調査は、酸欠やガス中毒の危険性があるため、検知機や送風施設の設置、命綱の携帯など万全な対応を準備してから行う必要がある。
- ・落石や崩壊の危険性がある急崖下、水垢や苔が付着してすべりやすい既存水路での踏査では過去にも重大な事故が発生している。また地すべり地には蜂や蛇、山ひる、熊、さらに漆の木など我々にとって危険な生物や植物が多く生存している。ヘルメットを着用することは当然として、半袖や半ズボンなど皮膚を出すことは極力避け、周辺に細心の注意を払いながら行動しなければならない。

なお踏査と平行して、過去の地すべりに関する古文書、書籍、論文、言い伝え、新聞記事を収集しておくことも地すべり解析には有効である。当然、図面や航空写真は不可欠である。

3.1.2 地形の変状

地すべりに伴って地表面は、すべり面の凹凸や強度、移動土塊を構成する物質とその強度、地すべりの移動方向や移動速度および移動土塊へ作用する応力の方向と強さ、移動土塊と不動土塊もしくは他の移動土塊との接触状況などによってさまざまな形状を見せる。地すべり地でよく見られる地表面の変状としては、亀裂、段差、隆起、沈下などで、これらが組合わされて滑落崖、陥没帯、末端隆起、さらには圧縮もしくは引張りや横ずれ亀裂などの形状として確認される。また地表面の変形に伴って二次的に形成された沼や湿地、湧水、沢なども地すべりによる地形変状といえる。これらの変状は地すべりの内部構造を推察する上で重要な指標となる。

地すべりに伴うこれらの地形変状の詳細は既に刊行されている多くの研究書（山田ほか1982；地すべりに関する地形地質用語委員会, 2004など）を、また地形変状と地すべりの内部構造との関連性に関しては当講座の3.3節を参照していただきたい。

ここでは地すべり踏査の主目的である「すべり面」および「変動範囲・危険範囲」の把握と「調査・対策計画」を念頭に置いた地形の変状を対象とした実務的な踏査に関して述べることにする。

(1) すべり面の確認と推定

すべり面は地形変状から直接的に確認できる場合と、間接的に推定される場合とがある。踏査時にはそれらを総合的に検討して、その深度や形状を推定する。

1) 地表での直接的な確認事例

- ・河川沿いの斜面に出た末端部のすべり面（写真-1）。
- ・地すべり地側面の露頭に見られるすべり面（写真-2）。
- ・地すべり頭部や側崖に見られるすべり痕跡（擦痕）。この場合の側崖は急傾斜である（写真-3）。

2) 間接的なすべり面の推定事例



写真-1 河岸斜面の途中に出たすべり面
すべり面から湧水しているのが見られる（山形県大蔵村）

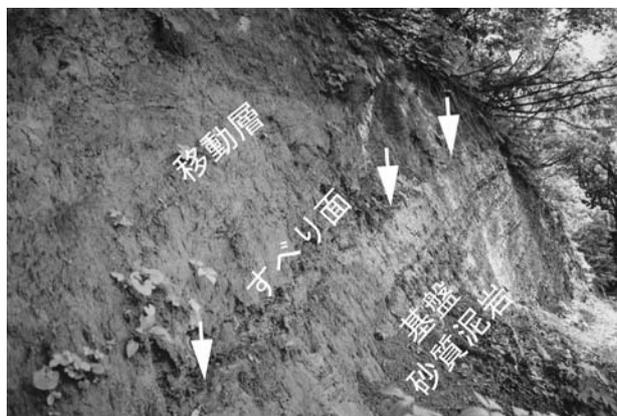


写真-2 地すべり地の側面に見られるすべり面
（山形県大蔵村）



写真-3 地すべり側崖に見られるすべり痕跡（擦痕）
壁面に見られる擦痕の傾斜はすべり面の傾斜とほぼ同じもの
と思われる（福島県いわき市）



写真-4 地すべり末端部の隆起（秋田県島海町）

- ・末端部の隆起（写真-4）や斜面のはらみだし、押し出し粘土（写真-5）。
- ・斜面途中や河岸などで、湧水地点が連続するような地点（写真-1、写真-6）。
- ・末端のすべり面が河床下を通して対岸に現れる際の変状（写真-7）。

すべり面に関しては前述した地表の変状の他に、すべり面が形成されやすい地域的な特定の地層を確認しておくことや、地すべり地の対岸斜面の地層状況から推察できる場合があること（図-1）、地層の傾斜とすべり方



写真-5 地すべり末端部の押し出し粘土
地すべり末端部ですべり面から押し出されて河川に出てきた粘土（矢印）（山形県大蔵村）

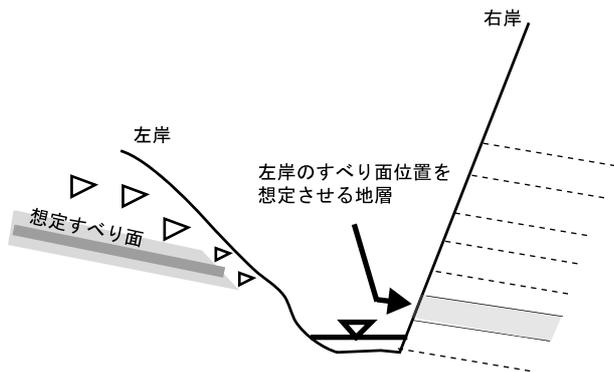


写真-6 斜面途中に見られる湧水を伴ったすべり面。
ここでは横方向に連続して確認される（秋田県五城目町）



写真-7 川底を通して対岸に隆起したすべり面。
地すべり地の主体は川の左岸側（写真では右側）
（秋田県島海町）

向の関連性など地質・地質構造をも考慮してすべり面の深度、傾斜、形状を推察することが重要である。また、隆起などの地表変状から推察された末端部のすべり面の確認にはバックフォーや、オーガーでの掘削なども有効な手段となる（写真-8）。



図一 地すべり地対岸の地層から想定されるすべり面



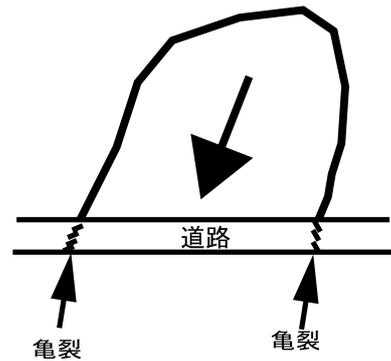
写真一 地すべり末端部のバックホー掘削で確認されたすべり面。すべり面は白色の凝灰岩質な粘土（秋田県島海町）

(2) 地すべり変動範囲の確認

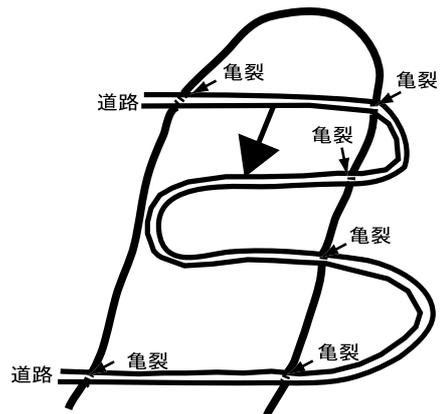
変動範囲を確認する作業としては地表面に現れた変状を追跡することが一般的である。しかし、地すべり踏査では、このような現時点での変動範囲の他に地すべり土塊の流動域や堆積域、さらには拡大域などの地すべり危険範囲をも想定し、そしてその危険度を検討することも不可欠である。

ここでは現在の変動範囲を追跡するための踏査に限定してその留意点を示す。なお、構造物の変状に関しては次回3.2節を参照願いたい。

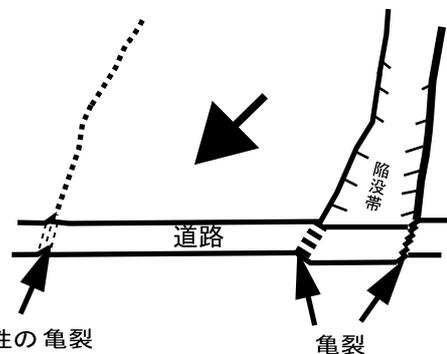
- ・地表で確認された亀裂は地すべり全体の移動方向、範囲、ブロックなどの決定に最も重要な指標となる。そのため、亀裂の方向や長さなどは必ず図面に記し、測量時には細かい亀裂も含めて正確に図示するよう指示する。
- ・閉じた亀裂、開いた亀裂、段差状況、横ずれ、雁行状や階段状などの形状の確認とその成因に関する考察（仮説）をその場で検討し記録する。
- ・道路が直線で限りなく長いと仮定した場合、道路に直交する地すべりによる亀裂は対になって道路へ発生しているはずである。大規模な地すべりの場合、この亀裂の間隔が1 km以上離れている場合もある。また大規模地すべりでは側面の陥没帯を小ブロック



a) 道路上に對に見られる亀裂



b) カーブの多い道路上に見られる亀裂



c) 地すべり陥没帯と道路上の亀裂

図二 道路上に見られる亀裂と地すべり変動域

として認識してしまう可能性がある（図-2）。

- ・大規模な地すべりの中央部では平坦で変状が少ない地域がある。このような場合でもクラックなどわずかな変状が道路上に認められ（写真-9）、その後には大規模な滑落崖が存在している場合がある。
 - ・過去の記録や、住民からの聞き込みは重要な資料となる。しかし地すべりの知識を有してない者の判断した地すべりの範囲や亀裂の連続性などには思いこみや記憶があいまいである場合が多く、注意が必要である。
- (3) 調査計画・対策工計画を考慮した踏査
- ・すべり面に沿って湧水していることがあることは前述した。このような場所はすべり面位置の確認の他

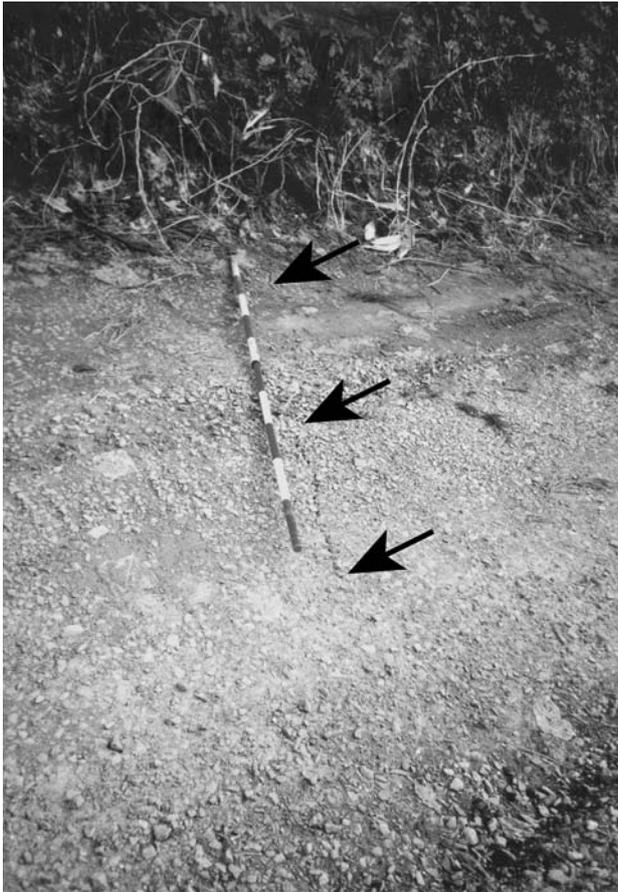


写真-9 地すべり地中間部に見られる道路上のクラック。この地点でのすべり面深度は100mを越える（山形県大蔵村）

に、すべり面と地層および地下水の関連性を知ることができる重要な地点でもある。また湧水量や流量などは常に測定できる準備しておくべきである。たとえばヘルメットなども使用できる。

- ・地すべり地で見られる沼には水の流入部や排出部の不明なものも多い。これらは必ずしも現在の地すべりと関連するとは限らないので十分な検討が必要である。
- ・湿地や沼は地すべり頭部の陥没凹地（写真-10）か、もしくは末端隆起の背面（写真-11）に形成されていることが多い。特に地下水が貯留しやすい頭部陥没帯は地下水排除工の対象として重要である。
- ・鋼管杭やアンカー、切土、盛土などの対策工施工位置は地すべり地内の例えば圧縮域や引張域などの位置との関連性が検討された上で計画される。そのため、亀裂や段差の形状から地すべり地内の応力状況



写真-10 地すべり地頭部の陥没帯に形成された湿地（秋田県鳥海町）



写真-11 地すべり末端隆起の背面に形成された沼（山形県大蔵村）

や小ブロックの存在有無などを判断し、その結果を踏まえて対策工位置を決定することとなる。施工位置の決定には複数回にわたる慎重な現地踏査の裏付けが重要となる

参考文献

- 山田剛二・渡正亮・小橋澄治（1982）：地すべり・斜面崩壊の実態と対策，山海堂，572p.
 地すべりに関する地形地質用語委員会（編）（2004）：地すべり－地形地質的認識と用語－，社団法人日本地すべり学会，318p.
 （原稿受付2005年9月22日，原稿受理2005年10月22日）

Lecture

現場で役に立つ地すべり工学 第4回 Key points in field work for landslide engineers No.4

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.

上野将司／応用地質(株)

Syouji UENO／OYO Co.

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.

3.2 地表踏査 その2

3.2.1 構造物の変状

地すべりによって、道路構造物、河川構造物、家屋、地すべり防止施設などに現れる亀裂、沈下、隆起等の現象は、最も明瞭に地すべり運動の特徴を示している。これらは、地山に発生する現象よりも風化しにくく長期間保存されるので、これらを詳細に観察し、その変状の程度を相互に比較すれば、地すべりの運動機構の推定も可能である。さらに、運動ブロックの区分やブロック頭部・末端部・側部といった形状も把握できる。これにより、効率的な調査計画を立案するとともに、活発な運動が継続している地すべりに対しては効果的な応急対策を指示できる。

(1) 地すべり頭部の変状の特徴

一般に引張変動による段差を伴った開口亀裂を特徴とする(図-1, 写真-1)。

亀裂の状態により、すべり面勾配の推定も可能となる。例えば、段差を伴う場合と段差がなく単に開口している場合がある。一般的に前者の場合、地すべり頭部直下のすべり面形状が円弧で回転運動しているか、すべり面全体が比較的急勾配であると類推できる。後者の場合、地すべり頭部直下のすべり面形状は直線状で、すべり面全

体は比較的緩勾配であると類推できる。

①道路

道路が地すべり頭部に位置する場合、地すべり運動方向と直行した道路の変状は、道路縦断方向に延びる亀裂や沈下を特徴とする(写真-2)。

②擁壁や石積み

地すべりの引張亀裂付近では、基礎部の沈下によって生じた水平亀裂に富むことが多い(写真-3)。

③家屋

沈下によって扉・窓と柱の間に下開きの隙間ができる(写真-4)。

(2) 地すべり末端部の変状の特徴

一般に圧縮変動による縦亀裂を特徴とする(図-1, 写真-5)。

地すべり末端部を観察する上で、次の点に留意しなければならない。1つは、末端部は地すべり運動の抵抗体となる部分であるため、頭部の変状より規模が小さいことであり、もう一つは、道路に隆起部が確認された場合、

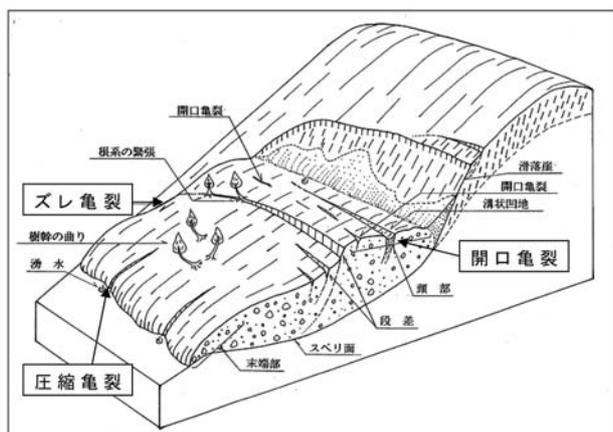


図-1 地すべりブロック模式図



写真-1 段差を伴う開口亀裂(地すべり頭部)



写真-2 道路縦断方向に伸びる開口亀裂（地すべり頭部）



写真-5 土塊のせり出しと圧縮亀裂（地すべり末端部）



写真-3 擁壁の水平亀裂（地すべり頭部）



写真-6 擁壁の起き上がり（地すべり末端部）



写真-4 傾斜した家屋（地すべり頭部）

ここにすべり面の末端を撥ね上げて設定することの危険性である。特に後者については、末端部は地すべりの大きな力を受け、圧縮ゾーンとして全体が膨らむ傾向にあるため、実際にすべり面が隆起部よりやや斜面下方まで延びていても、切土によって建設された道路付近に隆起現象が現れる場合が多い。すべり面の設定時には注意しなければならない。

①道路

地すべり運動方向と直行した道路では地すべりによる変状は、道路横断方向に延びる圧縮亀裂や隆起、側溝の山側への回転や圧縮を特徴とする（写真-5）。

道路を横断する圧縮亀裂付近に道路縦断方向に延びる水平亀裂が混在する場合は、上部斜面からの押し出しによって下方斜面が抜け落ちる兆候の可能性もある。

②護岸・擁壁・石積み

押し出しによる起き上がりが生じる（写真-6）。また縦亀裂のみでなく、座屈やすべり面での剪断により水平亀裂が生じることも多い。

③法枠、モルタル（コンクリート）吹き付け押し出しによる隆起が認められる（写真-7）。

(3) 地すべり側部の変状の特徴

地すべり側部では、どのような構造物においてもせん断によるズレ亀裂を特徴とする（図-1、写真-8,9）。

この亀裂は単なるズレだけなのか、もしくは開口を伴うズレなのかを詳細に観察する必要がある。すなわち、一方の側部はズレだけであるのに対し、他方の側部は開口を伴うのであれば、地すべりブロックの横断形は非対称であり、すべり面深度はズレだけが認められる側へ偏って深くなっている可能性が高い。したがって、調査ボーリング測線はブロック中央部ではなく、ズレだけが



写真-7 モルタル吹付け部のせり出しと法尻の隆起（地すべり末端部）

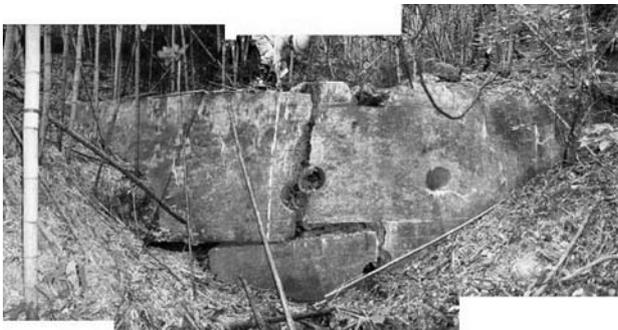


写真-8 堰堤のズレ亀裂（地すべり側部）



写真-9 擁壁のズレ亀裂（地すべり側部）

認められる側に設定する必要がある（図-2）。

(4) 地すべり防止施設の変状の特徴

鋼管杭、アンカー、集水井などは、地すべり対策として地中に埋設された構造物であり、これらの変状によってすべり面深度を推定できる。

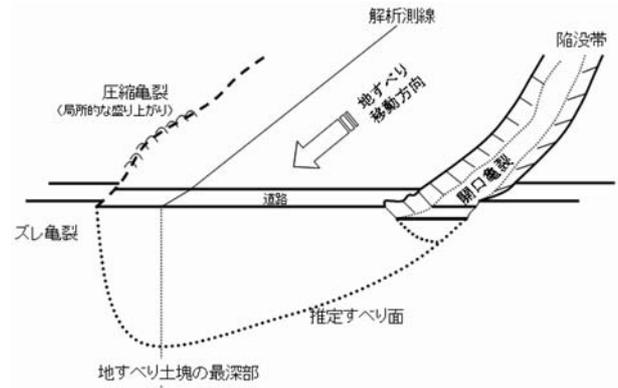


図-2 非対称な地すべり横断形



写真-10 斜面下方に傾動した鋼管杭

①鋼管杭工

杭頭が斜面下方へ傾動したり、あるいは杭山側に亀裂や陥没が現れたりした場合には、杭に設計荷重以上の力が作用し、杭が変形したと考えられる（写真-10）。この原因としては

- a. 地すべり頭部の位置の過少評価
- b. 想定以上の急激な地下水位の上昇による荷重の増加
- c. すべり面の誤認による根入れ長不足

などが想定される。なお、杭に変形は認められないが、地すべり運動が継続している場合、すべり面は杭根入れ部よりもさらに深部にあり、杭は地すべり土塊とともに平行移動していると考えられる。

②アンカー工

アンカー体注入に問題がないにもかかわらず、テンドンが抜け落ち垂れ下がっている場合は、すべり面の誤認による定着長不足、あるいは地下水の影響による定着部の地盤の劣化に伴う付着力の低下が考えられる（写真-11）。また、テンドンが明らかにせん断されている場合は

- a. 地すべり頭部の位置の過小評価
- b. 想定以上の急激な地下水位の上昇による荷重の増加などが考えられる。なお、アンカー荷重が増加していないにもかかわらず、法枠に多くの亀裂が発生している場合には、すべり面はアンカー定着部よりもさらに深部にあり、アンカーは地すべり土塊とともに平行移動している



写真-11 破砕された頭部調整コンクリートと抜け出た tendon



写真-13 地すべり滑動で変形した排水トンネル工とボーリング室に溢れ出た地すべり土塊の一部

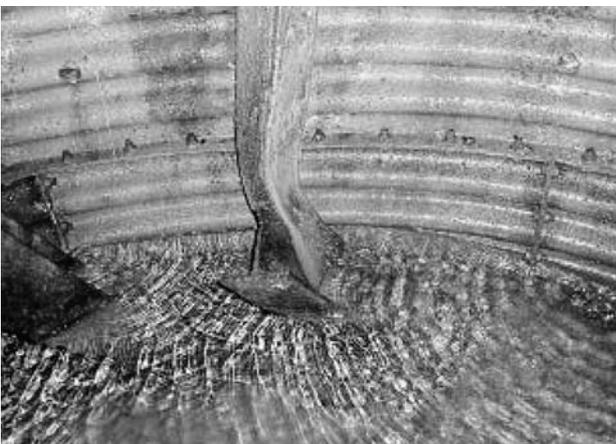


写真-12 すべり面で変形したパーティカルスティフナー



写真-14 地すべり滑動で傾斜した電柱

と考えられる。

③集水井

集水井の変形や集水横ボーリングの剪断状況によってすべり面の位置を探ることも出来る (写真-12)。

④排水トンネル

地すべり土塊ならびに不動岩盤の地質性状を観察するのに有効であると同時に、その変状の有無により、すべり面の位置を推定し得る場合もある (写真-13)。

(5) その他の構造物の変状

①電柱

電柱の傾動方向により、地すべりブロック内での位置関係を推測できる。電線の緊張や弛緩の状態によって、その場所は頭部に位置するのか、あるいは末端部か、また主クラックを跨ぐか、側面亀裂を跨ぐかといった情報も得られる (写真-14)。

②切土面、崩壊面

地すべり土塊の性状を知ると同時に、地質の判定も可能である (写真-15)。

③耕地

畑や水田の植生の列の乱れから地盤の変状の様子を識別できる。耕地が荒地化している場合は、過去の地すべ

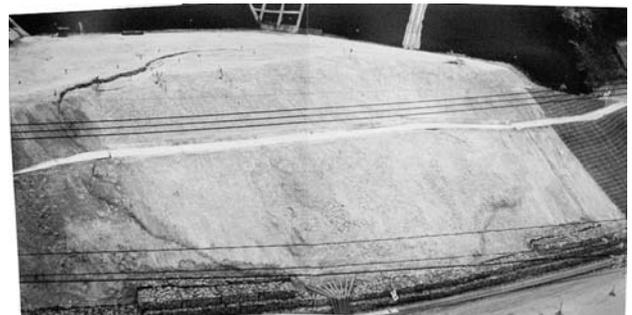


写真-15 地すべり滑動で変形した切土のり面

り運動の激しさを示唆していることもある。耕地が細分化されている場合も同様である (写真-16)。

3.2.2 植生の異常

地すべり変動は生育する植生にも影響を与える。緩慢な動きの地すべりと急激な動きの地すべりとは植生への影響に違いが認められる。緩慢な動きの地すべり変動では、短期的には顕著な植生の乱れを生じないが、長期的に変動が継続すると樹木の屈曲などを生じる。急激な動きの地すべり変動では、樹木の傾倒や根系の切断など



写真-16 地すべり滑動履歴を残した耕地

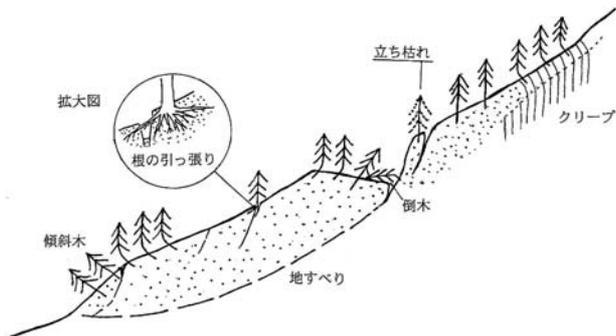


図-3 地すべりやクリープ変動斜面における樹木の屈曲・傾倒・立ち枯れ等の発生状況

植生に大きな影響を与える。しかし、地すべり変動が小康状態になり、時間が経過すると植生への影響は目立たなくなる。つまり地すべりの変動状況と時間の経過とが相まって、いくつかの着目すべき植生異常があらわれる。

地すべり地で見られる植生異常として、図-3に示す樹木の屈曲、樹木の傾倒、樹木の立ち枯れ、樹木の根の異常な伸び、を挙げることができる。これらに注意して踏査すると、地すべりの規模、運動形態、活動履歴等に関して参考になる情報が得られる。

(1) 樹木の屈曲

地すべり変動によって傾斜した樹木は、正常な直立位に戻ろうとして屈曲(写真-17)する。この際、屈曲部外側の年輪が幅広く成長する年輪異常を生じる。この部分は硬質で用材として加工しにくく、たとえ加工しても寸法が狂いやすいので「アテ」と呼ばれて嫌われている。

地すべりブロックでは広い範囲に樹木の屈曲が認められることが多い。特に地すべりの頭部や末端部に顕著であり、地すべり土塊の移動状況を反映して頭部では山側に、末端部では斜面下方に屈曲するものが多く認められる(図-3)。

屈曲した樹木の切り株にみられる年輪異常(アテ)から、樹木の傾斜時期や直立位に戻った時期を見積もれば、地すべり変動の活動的な時期を推定する手がかりになる¹⁾²⁾。

樹木の屈曲は、急斜面における表層のクリープや、積雪斜面における雪荷重によっても生じる(写真-18, 19)。



写真-17 地すべり地内での樹木の屈曲状況



写真-18 急斜面でのクリープによる樹木の屈曲状況



写真-19 積雪地における雪荷重による樹木の屈曲状況

これらの場合、斜面下方への屈曲は比較的広範囲に認められるので、地形条件等をあわせて考慮すれば、地すべりブロックと誤認することはない。



写真-20 急激な地すべり変動により傾斜した樹木



写真-22 滑落崖の長期的な変位に対応して成長した樹木の根



写真-21 地すべり頭部クラックの発生により傾斜して立ち枯れた樹木



写真-23 地すべりブロック内のクラックと根の切断や引っ張り状況

(2) 樹木の傾倒

急激な地すべり運動では多数のクラックが生じ、樹木は乱雑に傾斜し、根こそぎ倒れる場合も多い(写真-20)。樹木の傾斜の程度や方向を測定することによって、局所的ではあるが、土塊の変位状況を推定できる。

(3) 樹木の立ち枯れ

滑落崖付近ではクラックの変位は比較的大きいため、樹木の傾斜や倒壊が発生しやすく、根系の切断などによって樹木は立ち枯れる場合もある(写真-21)。立ち枯れないまでも、周辺植生に比して樹冠は明らかに不揃いになる。このような場合、対岸斜面などの遠方からでも滑落崖の位置を確認できることがある。

(4) 樹木の根の異常な延び

樹木の根は滑落崖やクラックにまたがって延びている場合もある(写真-22, 23)。地すべり移動と根の成長

が同程度であると、ピンと引っ張られた多数の根を観察できる。

地すべりの急激な運動によって、これらの根は切断される。このような場合でも過去の動きの有無をチェックする上では役立つ。また、引っ張られた根の方向を測定しておく、地すべり移動方向を検討する際の参考になる。

参考文献

- 1) 上中博之・岡正範・佐藤進・小貫義男(1979): 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, 第16巻, 第1号, pp. 21~28
- 2) 菊池俊一・新谷融・清水収・中村太士(1992): 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, 第29巻, 第3号, pp. 1~9
(原稿受付2005年11月22日, 原稿受理2005年12月28日)

しており、航空写真判読（清水ほか，2000など）や地形図（渡，1992；建設省河川局開発課，1995など）から読みとることが可能である。地表面上の平面的なブロック範囲はこのような特徴を基に図面上に描くことが出来る。

過去に地すべりが発生した履歴を持つ地形は土塊移動の痕跡によって馬蹄形の凹状緩傾斜地形をなしている場合が多い。逆にこれまで地すべり発生履歴のない初生的な岩盤地すべりの場合は凸状の尾根地形に発生している場合が多いとされる（渡，1992）。特に大規模地震時に尾根地形に初生的な地すべりが発生した事例がいくつか報告されている（高橋ほか，2005）（写真-1）。このような尾根地形での地すべり発生は、尾根地形のために側面抵抗が少ないこと、また、地震時の地震加速度が尾根部で増幅しやすいことに起因するものとされている。

一般的には滑落崖や亀裂がシャープで鮮明なものほど近年の活動を示し、近い将来においても活動しやすい危険な地域とされている。逆に地すべり変動が休止もしくは緩慢になると地すべり地特有の地形が開析され、地すべり地内で沢も発達するようになる。このように地すべり地形の解析度合いからある程度の地すべり履歴を読みとることができる。しかし、数千年以上も変動しなかった地すべり地域が突然再活動する場合もあり、地すべり地形からの危険度予測は残された研究課題でもある。

地すべり地形内には細分化された複数の小ブロックが認められる場合が多い。このような小ブロックが全体的な地すべりブロックの側面部分に存在している場合は、地すべり側面の破碎された部分を多量の地下水が流下している可能性を示している。また、末端部に存在している場合は圧縮部の地塊の破壊によるものか、浸食による末端部の応力解放が進行している可能性を示唆している。

このような複合ブロックでの対策工は、小ブロックと全体的なブロックのすべり面の関連性や互いの変動方向や力の作用状況などを見極めた上で実施しなければならない。独自の變動と捉えた小ブロックへの対策工が全体



写真-1 2004新潟中越地震時に尾根部が移動した一ツ峰沢の岩盤地すべり（高橋ほか，2005）を一部改変，撮影：原口強（2004年）

的なブロック變動によって破壊された事例は多い。

地表面に見られる亀裂や段差は踏査の確認と追跡の重要な目標である。相対的に薄い移動層は厚い移動層に比較して地表に亀裂が多い傾向にある。これは図-3に示されるように移動層の垂直方向におけるすべり面周辺とそれより上部の移動層では速度分布に差異があることに起因するものと考えられる。すなわち、厚い移動層では移動に対して剛体部分が厚く、薄い移動層の場合はすべり面付近の破碎の影響がやすいためである。

また、地すべり頭部の引張り亀裂や段差、末端部の圧縮亀裂などの他にすべり面自体の階段形状を反映した亀裂や段差も報告されている（森屋ほか，2005）。

地すべりブロックの幅や長さおよび深さなどの関連性では、これまでの地すべり事例から統計的な相関性がいくつか報告されている（上野，2001；藤田・板垣，1976，1977；渡ほか，1975など）。地すべりの運動方向は斜面や地層そしてすべり面勾配の影響を受けている。また、断層や貫入岩などに規制されている場合もある。

2) 地質・地質構造とブロック形状

地すべりブロックの形状や物性の変化は地質、特に地質構造に支配されている場合が多い。

たとえば、地すべりブロックの規模は地層の傾斜方向に一致した流れ盤の地すべりで大きく、受け盤の地すべりで小さい傾向があることは良く知られている。前者はすべり面をなす層理面や片理面が連続性に富むことに起因する。また、運動方向に対して対象な地すべりブロック形状を示す場合のすべり面横断形状は左右対称である場合が多い。しかし、層理の発達するケスタ地形上に見られる地すべりの場合（阿部ほか，2002）（図-4）や、図-5に示すような地質状況の場合（上野，2001）にはすべり面の横断形状が左右非対称になっている場合がある。

直線上の層面すべり頭部では、円弧状の地すべりブロック頭部に見られる段差を伴う滑落崖は無く、陥没帯（図-2，写真-2）のみになっている場合が多い。また、

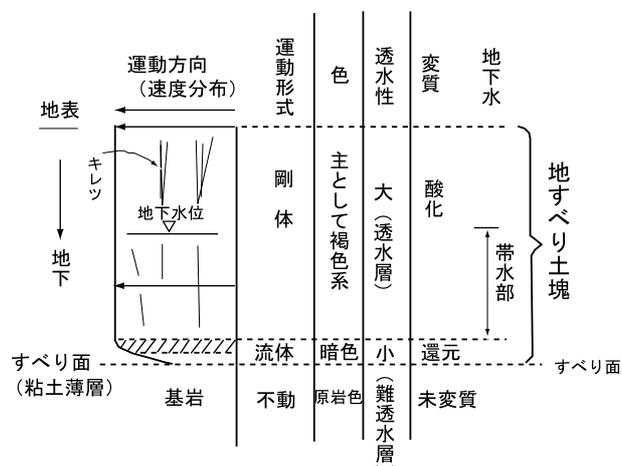


図-3 移動土塊の垂直方向速度分布（渡，1985）より引用

複数の並列状に並ぶブロックの場合(図-4), 各ブロックのすべり面は異なる地層に形成されている場合がある。

地すべりブロックの範囲はその頭部および側面が断層や火山岩, および花崗岩類に規制されていることも多い。その事例として, 秋田県鳥目断層沿いに多発する地すべりは, いずれの地すべりも断層と断層に平行する火山岩帯(主に安山岩)の間で, 火山岩帯からの多量な地下水供給に起因して変動している(阿部ほか, 2004)(図-

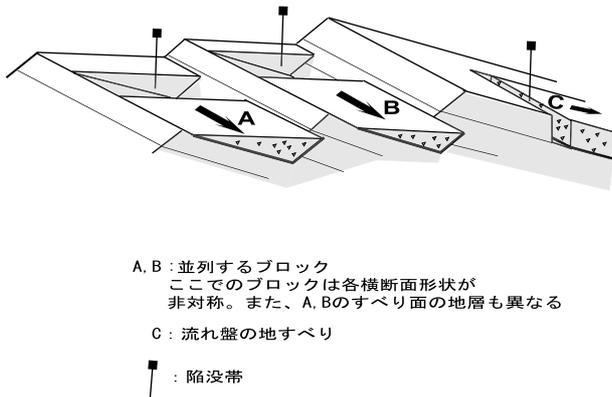


図-4 ケスタおよび同斜構造上に発生する地すべりの模式図

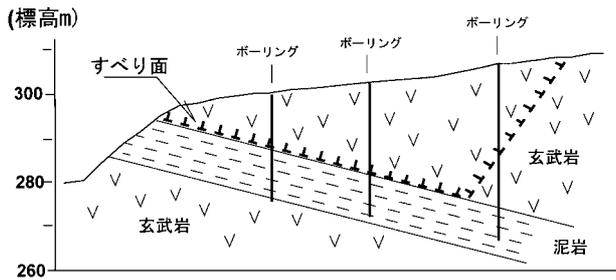


図-5 横断形状が非対称のすべり面の事例(上野, 2001)より引用



写真-2 ケスタ上に発生した岩盤状地塊の地すべりと陥没帯

6)。このような場合の地すべりブロックの判定には踏査による地質変化の確認が非常に重要となる。

ブロック頭部を玄武岩などの火山岩や火山噴出物が厚く覆うキャップロック状の地すべりの場合(北九州の北松型地すべりや秋田県低沢地すべり, 山形県肘折地域の地すべりなど)は, 同斜構造をなす地層と, 河川洗掘や浸蝕による末端部の欠除を主な要因として大規模に変動している場合が多い。また, これらのすべり面のほとんどはキャップロックとしての地質内ではなく, 基盤の層理面に形成されている。

3) 移動層の破碎や風化と地すべりブロック

地すべりブロックの形状や物性はブロックの破碎に伴って変化している(渡, 1992など)。写真-3~写真-6はいずれも新第三系中新統硬質泥岩層に発生した地すべり事例である。写真-3の場合は硬質泥岩層がほと

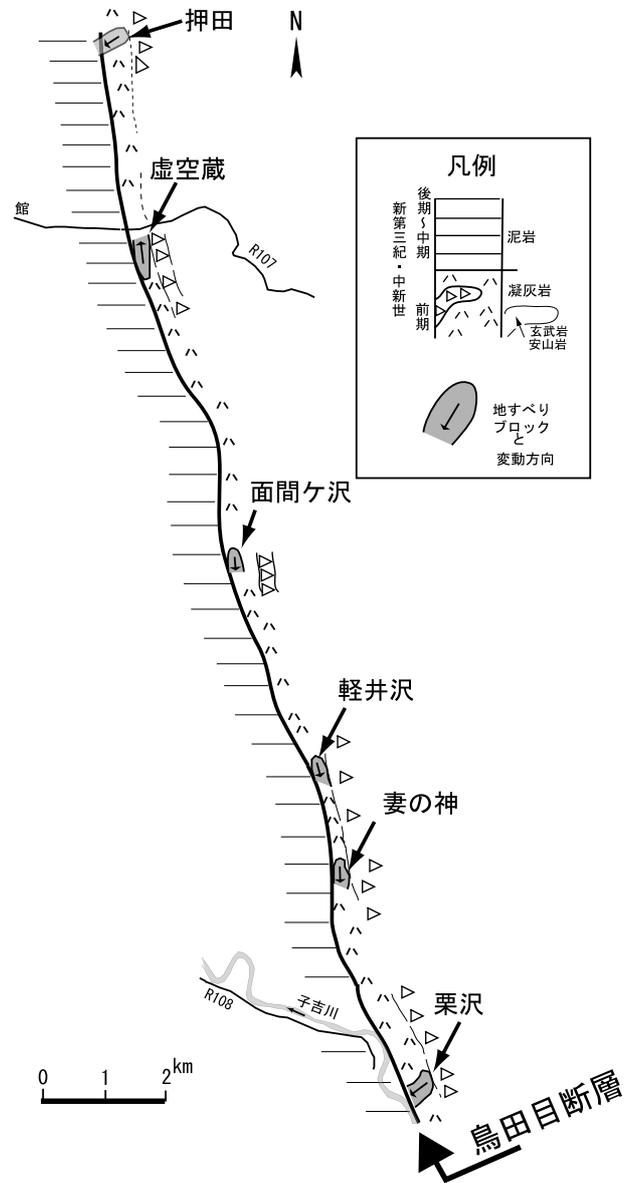


図-6 鳥目断層沿いの地質と地すべりの分布(阿部ほか(2004)を一部改変)

んど破碎しない状態で4m程度変動した初生的な岩盤状地塊の地すべりである。地すべりブロックの平面形状は丸みがなく、直線的で角張っている。写真-4は地すべり末端部から移動地塊を撮影した風化岩状地塊の地すべり事例である。移動地塊の一部には泥岩の堆積構造が保たれている。地すべりブロックの平面形状は全体的にやや丸みを帯びた馬蹄形となっている。写真-5は移動地塊が礫混じり土状になっている地すべり事例である。ここでの地すべりブロックの平面形状は丸みを帯び、一部細長くなっている。写真-6は泥岩層の堆積構造がほとんど見られないほど粘土化した地すべり事例で、全体的に狭長なブロック平面形状を見せている。

このように多くの移動地塊は地すべり変動の繰返しによる亀裂の発達と亀裂周辺の風化の進行によって徐々に礫混じり土状から粘土状に細片化される。それに伴って地すべりブロックの平面形状は角張った形状から馬蹄形へ、そして細長いブロック形状へ変化する(図-7)。

これらの移動層内では地すべり変動によって二次的に形成された断層や褶曲構造も見ることができる(阿部, 1996)(写真-7)。図-8は粘土化が進行している写真-6の地点に施工された集水井の地すべり変動に伴う深度毎の水平変位量の観測結果である。地表から深度7~8までは図-3に示される剛体的な挙動を示す部分に、深度7~8m以深からすべり面まではすべり面近傍のせん断部分に相当している。

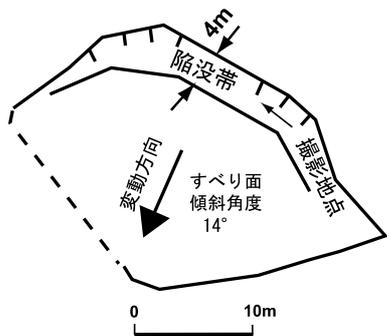


写真-3 中新統硬質泥岩層に発生した初生的な岩盤状地塊の地すべりとブロックの平面形状

3.3.3 地すべりブロック判別時の留意事項

地すべりブロックの判別は踏査後の調査や対策工計画を立案する上で重要であることは周知のとおりである。また、我々が地すべりブロックを設定するということはその地に地すべり発生の危険性があることを特定することになることを強く認識しておく必要がある。そのため、踏査時におけるブロック判別結果の根拠は明確にしておくことが重要である。

以下、3.3.2で記述した内容をもとに踏査時の地すべりブロック判別時の留意点を示す。

- ・踏査時に確認した滑落崖・亀裂・段差・陥没帯等の地形変状の程度および規模や湧水、構造物の変状、植生異常について、地形図上に正確に整理して、箇所ごとに作用している応力(引っ張り・圧縮・せん断)を考慮しながらブロックの範囲を設定する。
- ・地すべりブロックはその両側面部の小ブロックが先



すべり面は写真下部よりさらに1~2m深部の凝灰岩薄層に形成されている。

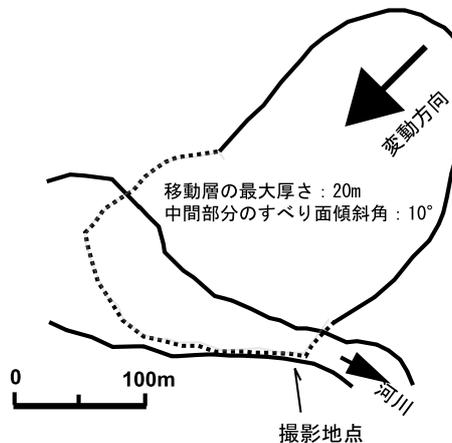


写真-4 中新統硬質泥岩層に発生した風化岩状地塊の地すべりとブロックの平面形状

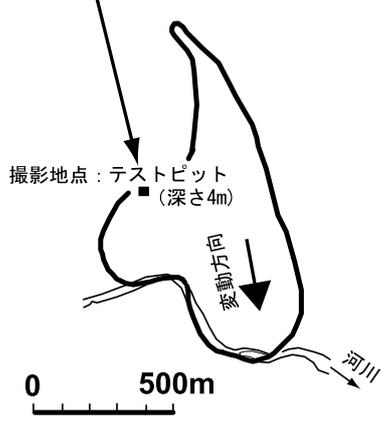


写真-5 中新統硬質泥岩層に発生した礫混り土状地塊の地すべりとブロックの平面形状

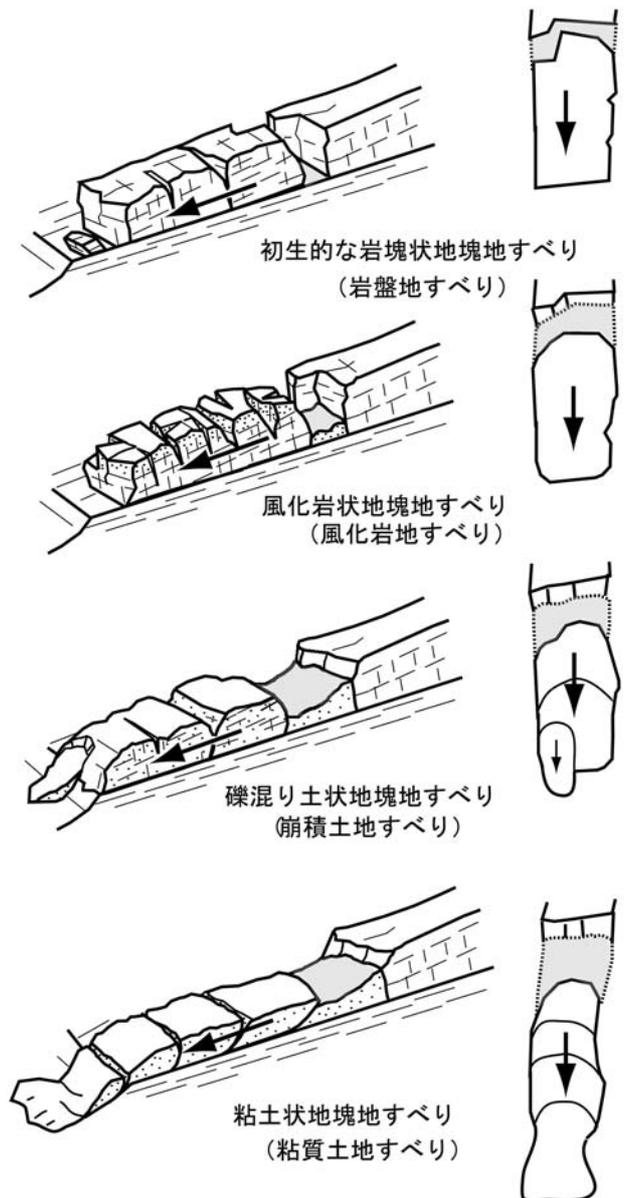
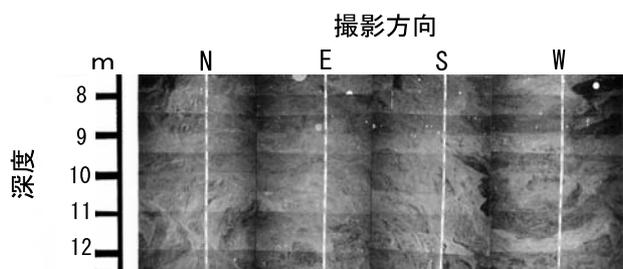


図-7 ブロックの破碎と平面形状の変化 (模式図) () は渡 (1992) の運動体の材料による分類



集水井 (深度12.5m) 掘削時の展開写真 (深度8~12.5m部分) 泥岩礫も少なく、全体が粘土化している (ここでのすべり面深度は約20m)

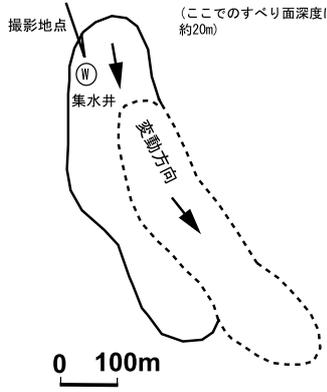


写真-6 中新統硬質泥岩層に発生した粘土状地塊の地すべりとブロックの平面形状



写真-7 中新統硬質泥岩層に発生した地すべりによる二次的な褶曲構造 (1958年発生)

に変動することがある。小ブロックの変動を認めた場合、その背後の大規模なブロックの存在に注意を要する（図-9）。逆に、複数の小ブロックが判別されるにもかかわらずこれらを包含する大規模なブロック全体で変動する場合がある。このような大規模ブロック内での小ブロックの設定には十分な注意が必要である。

- ・大ブロック内に複数の小ブロックを設定する場合にはその位置関係を基に各ブロックのすべり面の関連性や形状に注意する必要がある（図-10）。
- ・尾根地形や縦断方向の沢を含めたブロックを描く場合には前述したようにそのブロックの微地形の開析度合いなどを基に変動履歴や発生機構を考慮して行う必要がある。

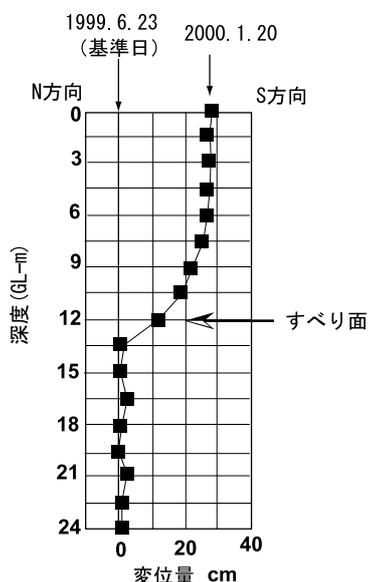


図-8 地すべり変動による集水井の深度毎水平変位量
(写真6のブロック内に施工した集水井)

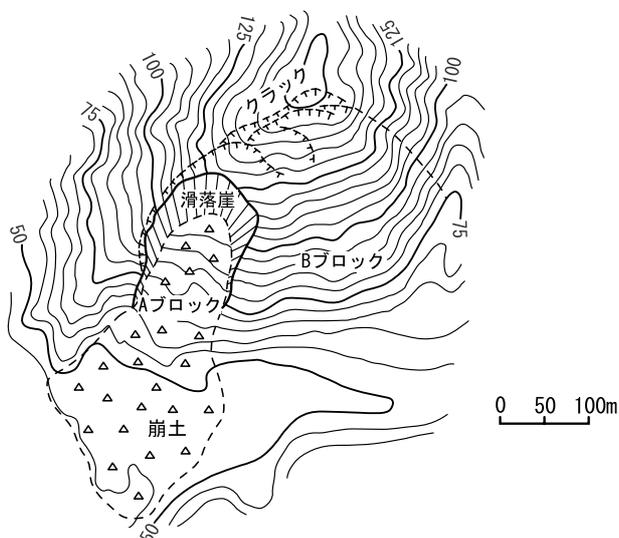


図-9 地すべり背後に顕在化した大規模な不安定斜面

- ・ブロックの設定は常にすべり面位置（深度）を想定しながら行う。この場合、ブロックの幅や長さ、深度の相関性に関する報告が参考となる（図-11）。
- ・相対的に地表面に亀裂が多数形成される場合はすべり面が浅く、亀裂の発生が少ない場合は深い傾向が見られる。また、側方部の亀裂が引張り性のものか圧縮性かによって地すべりの横断形状の非対称性がある程度推察できる。
- ・地すべりブロック中間部から末端部にかけて見られる地表の段差には階段状のすべり面を反映している可能性があり、地質構造との対比が重要である。
- ・キャップロック型の地すべりの場合、すべり面は基盤内に存在する場合が多い。また、このような地すべりは大規模なブロックが全体的に変動していることが多く、そのため小ブロックに分割するには十分な注意を必要とする。
- ・層理の発達したケスタ地形上の並進型地すべりの場合、すべり面横断形状が地質・地質構造に規制されて左右非対称で、かつ変動方向も地層の最大傾斜に斜交している場合が多い。また、並列の各ブロックのすべり面が形成されている地層が異なっていることが多い。

参考文献

阿部真郎（1996）：東北地方の新第三紀泥岩層における褶曲及び断層構造の成因と地すべりの関連性，地すべり，Vol.33，No.1，pp.20-28。
 阿部真郎・檜垣大助・大村泰（2002）：ケスタ地形と地すべり，第41回日本地すべり学会研究発表会講演集，pp.39-42。
 阿部真郎・小松順一・森屋洋（2004）：秋田県・鳥田目断層と地すべり，日本地すべり学会誌，Vol.41，No.4，pp.77-84。
 Davis J. varnes（1978）：Slope Movement Types and Processes, Landslides Analysis and Controlm, Special Report 176,

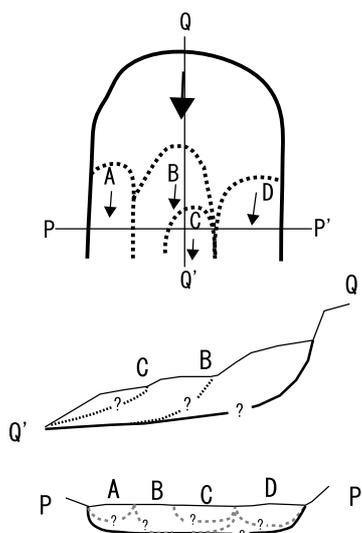


図-10 大ブロック中に認識される小ブロックの検討
以上のようなA~Dの小ブロックが認識される場合、縦横断面のすべり面をいくつか想定し、地すべり変動状況との矛盾がないかを検討する。

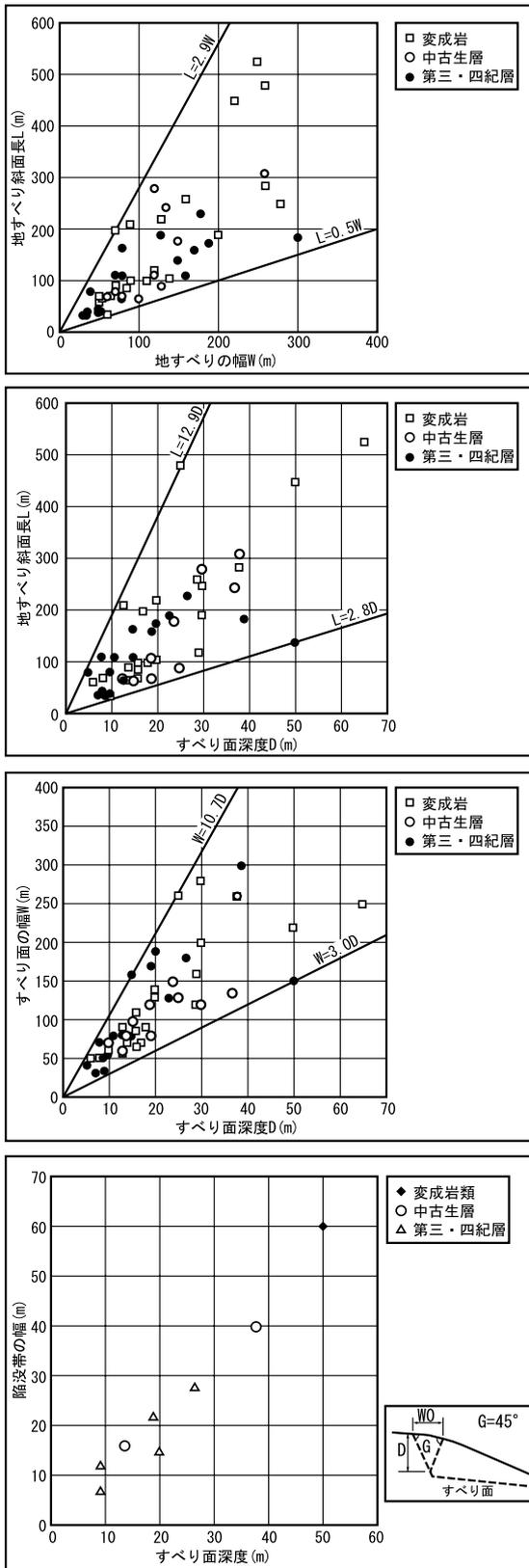


図-11 地すべりブロックの規模に関する相関性 (上野, 2001) より引用

Transportation Research Board National Academy of Sciences, pp. 11-33.

原口九万 (1953): 最近の大和川筋地じりの調査, 地質調査所月報, 第5巻, 第13号, 地質調査所, pp. 12-18.

藤田寿雄・板垣治: 地すべり実態統計 (その2), 土木研究所資料, pp. 8-42, 1976.

藤田寿雄・板垣治: 地すべり実態統計 (その3), 土木研究所資料, pp. 10-21, 1977.

建設省河川局開発課 (1995): 国土開発技術研究センター編集, 貯水池周辺の地すべり調査と対策, 山海堂, 174p.

森屋洋・羽沢大樹・阿部真郎・佐藤康彦 (2005): 秋田県東瀬地域における大規模地すべり地形形成の地質的素因, 日本地すべり学会誌, Vol. 42, No. 1, pp. 40-50.

小出博 (1948): 新潟県西頸城郡棚口地じり調査報告, 地質調査報告, 地質調査所, pp. 1-24.

高橋明久・荻田茂・山田孝雄・森屋洋・阿部真郎・原口強 (2005): 2004年新潟県中越地震により一ツ峰沢に発生した岩盤地すべり, 日本地すべり学会誌, pp. 19-26.

社地すべり対策技術協会 (1985): 地すべり: その解析と防止工 (上巻), 165p.

清水文健・大八木則夫・井口隆 (2000): 地すべり地形分布図, 解説と読図の手引き, 防災科学技術研究所研究資料第109号, 科学技術庁防災科学技術研究所, 12p.

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.

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.

渡正亮 (1985): 斜面災害の機構と対策, 博士論文, 東京大学, 391p.

渡正亮 (1992): 岩盤地すべりに関する考察, 地すべり, Vol. 29, No. 1, pp. 1-7.

(原稿受付2006年1月5日, 原稿受理2006年2月20日)

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)。

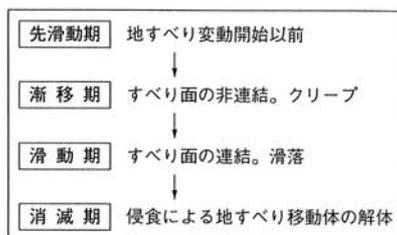


図3.4.1 地すべりの一生(大八木, 1992)

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侵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侵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)。

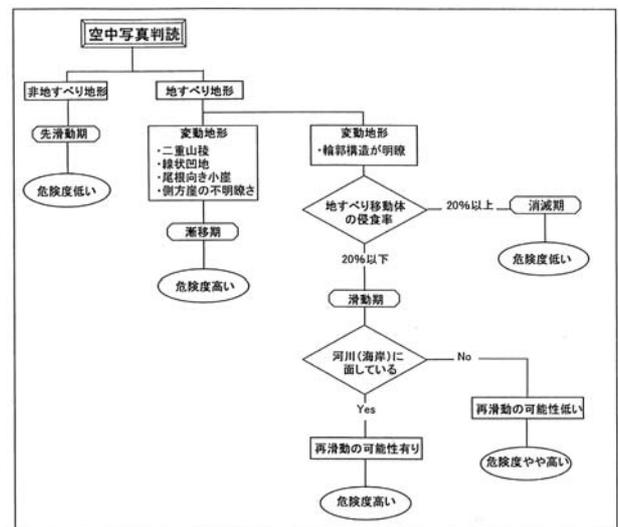


図3.4.2 空中写真判読による地すべり危険度評価の流れ(横山ほか, 2000に加筆)

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	
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
				保全対象による	

また、既往調査観測資料のある箇所が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）。

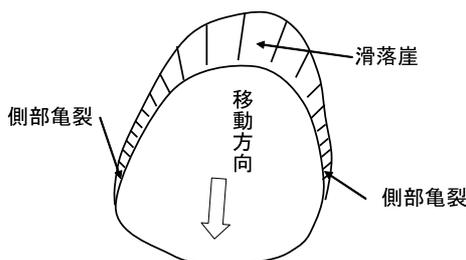


図3.4.3 対称断面形での側部亀裂

- 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）。

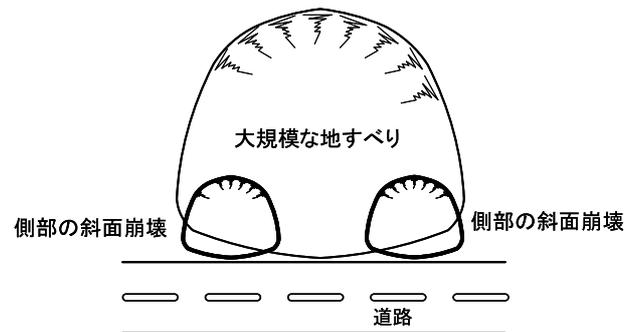


図3.4.4 地すべり末端部の崩壊

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

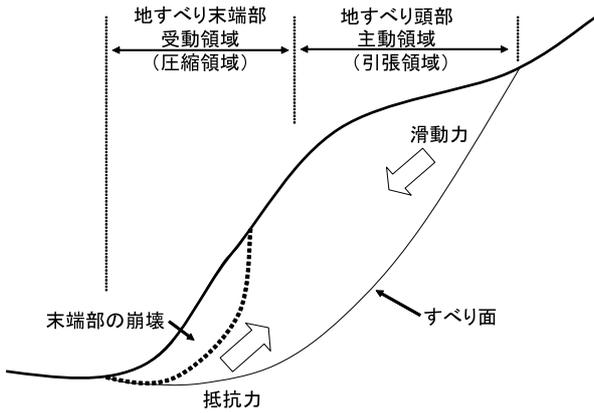


図3.4.5 地すべりの滑動力と末端部の抵抗力

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考えられている。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)。

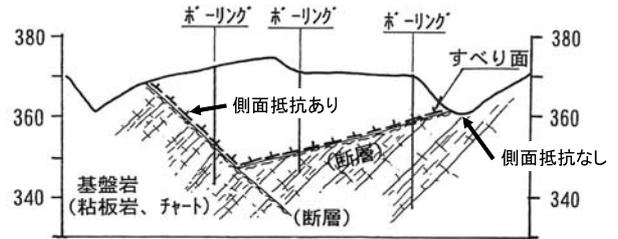


図3.4.6 非対称断面面形での側面抵抗 (上野, 2001に加筆)

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。

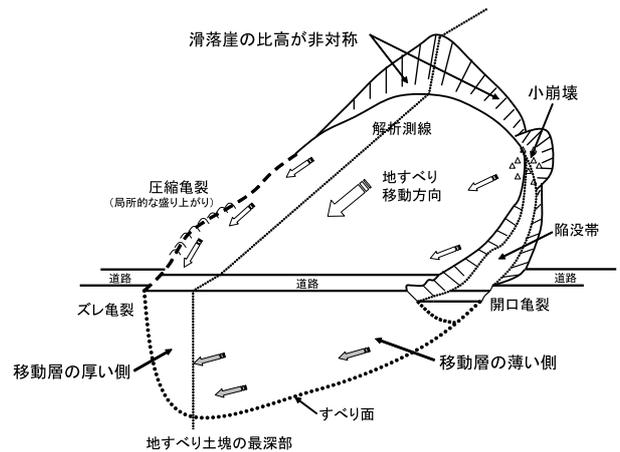


図3.4.7 非対称断面面形の地表面現象

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

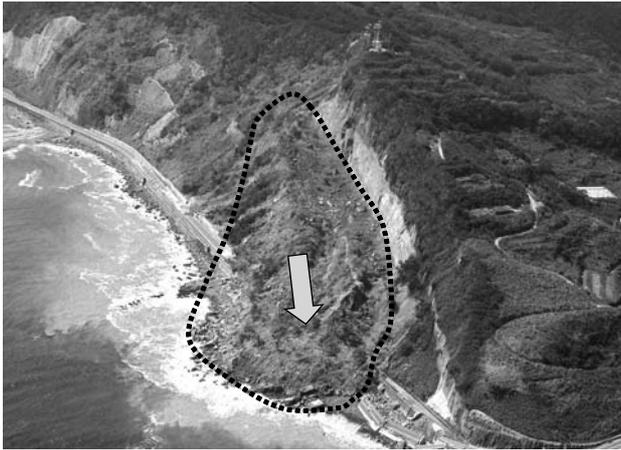


写真3.4.2 非対称断面形の地すべりの例

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
				矩形

(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

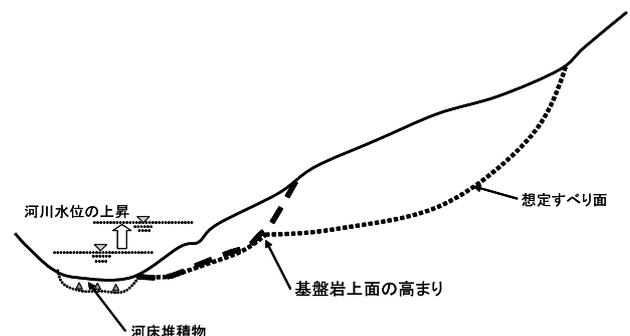


図3.4.8 事例1の断面図

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

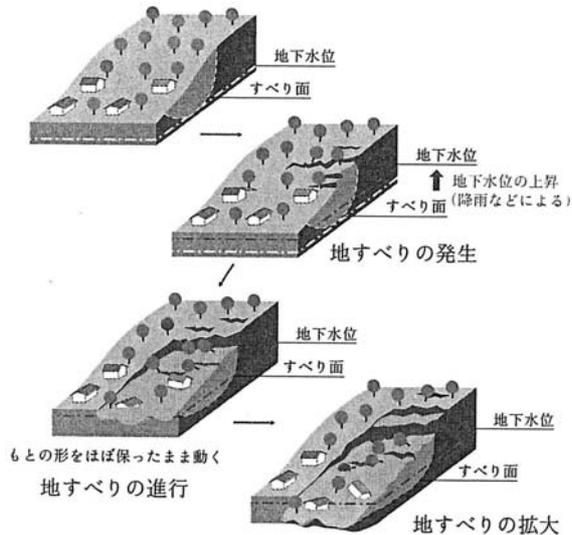


図3.4.9 地すべりの平面的拡大
(千葉県土木部河川海岸課, 2001)

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

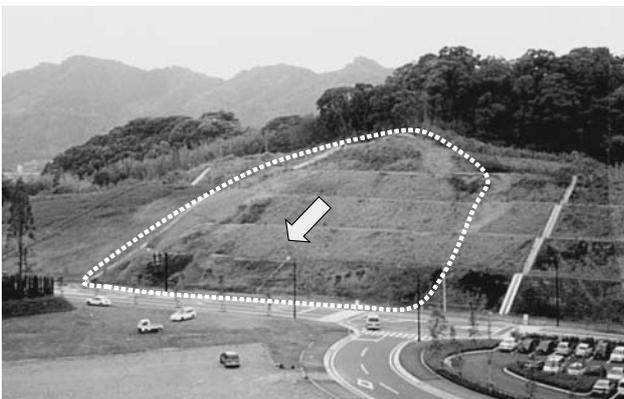


写真3.4.3 すべり面が転移していった事例

て整体的に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)

4. 監視と予測

Monitoring of landslide movement and forecasting of slope failure occurrence

土佐信一／国土防災技術株式会社

Shinichi TOSA／Japan Conservation Engineers & Co., Ltd.

キーワード：動態観測，地表伸縮計，GPS

Key words：field observation, extensometer, GPS

4.1 初期動態観測

4.1.1 動態観測の種類

地すべりの動態観測には、時と場所、目的に応じた様々な手法が用いられる。

以下、実務的に用いられている手法を主体に、地すべり発生直後に、とくに移動量を把握するための観測手法を挙げ、その概要と現場適用時の注意点について述べる。

4.1.2 地表伸縮計

クラックを挟む地表の2点間の伸縮量を計測するもので、単に伸縮計、あるいは地盤伸縮計とも呼ばれ、地すべり移動量観測の最も代表的な手法である。

クラックを挟んで観測対象地点の両端に杭を設置し、熱膨張性の低いインバー線を張って一端に計器を設置する。計器はインバー線の繰り出し機構を有し、繰り出し量を地すべりの移動量として記録する。

計器は、7日巻や30日巻のアナログチャート式が従来の主流で記録紙の読取分解能は0.2mmである。移動速度が2～4 mm/h以上になるとカム機構で電氣的に接点信号を出力する警報接点機能付きの計器もよく使われている。

近年はデジタル式計器の発達・普及がめざましく、記録期間の拡大（6ヶ月以上）、分解能の向上（0.1mm）、警報接点機能の高度化（任意の移動速度や複数段階化）、オンライン自動計測化への対応などが図られている。

(1) 設置上の注意点

- ① インバー線の設置方向と地すべり移動方向を一致さ

せることが重要である（図4.1.2(a)）。

- ② 主滑落崖より上部にも後退性の引張亀裂が認められる場合、見逃しのないように伸縮計を設置する。
- ③ 地すべり地内のクラックをはさむと、地すべりブロック間の相対移動量が計測できる（同図(b)）。伸縮計だけで地すべり全体の絶対移動量を把握するには、頭部から連続配置とする必要がある（同図(c)）。
- ④ 移動方向が不明の場合、同図(d)のようにするとよい。
- (2) インバー線の保護

インバー線は、雨風、動植物、人為ノイズを避けるため塩ビ管等で保護する。とくに回転灯やサイレンなど警報器と連動させる場合は誤動作防止のために重要である。

移動量が増大すると、塩ビ管のソケットが外れて突発ノイズや誤警報の原因となることも多い。添え木を当てるなど工夫の余地もあるが、活動が活発な地すべりでは補修を頻繁に行うのが肝要である。

また災害発生直後などは、落差の大きい滑落崖でインバー線が無保護の状態を設置せざるを得ない場合もあるが、強風であおられ誤動作することが多い。その他、イ

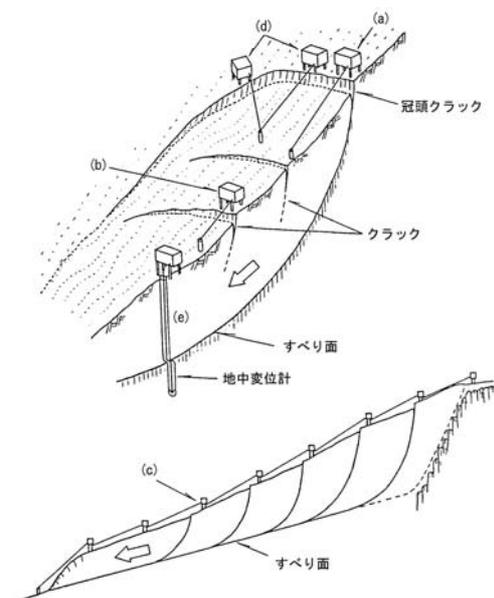
図4.1.1 地表伸縮計の設置方法¹⁾

表4.1.1 主な地すべり観測方法

対象	観測方法	孔内観測
移動量・変状	地表伸縮計，丁張，亀裂変位計，標柱観測，GPS，地盤傾斜計，監視カメラ	—
	孔内傾斜計，パイプ歪計，地中変位計，多層移動量計	○
水文・気象	地下水水位計，間隙水圧計	○
	流量計	—
構造物	雨量計，積雪深計，温度計，日射量計，風向風速計	—
	土圧計，ひずみ計，鉄筋計，ロードセル（アンカー荷重計）	—

ンバー線が長くなると精度は低下するし、インバー線の方向変換に滑車を用いても感度が落ちる。計器の精度や分解能とのバランスから、インバー線は20m以内の直線とし、可能な限り全長を保護するのが望ましい。

積雪地域では雪対策も悩みの種である。伸縮計本体と保護管の両方に、雪の沈降力と、傾斜地では雪のクリープとグライドをあわせた斜面雪圧が作用する。豪雪地域では防水・排水を確保しつつ地中ないし半地中の埋設構造とするか、十分な強度で地上部を保護する必要がある。

(3) データの整理と活用

データは時系列図に整理し（図4.1.2参照）、雨量や地下水位と併記して、降雨、水位と移動状況との関係を調べ、滑動・停止の条件など地すべり運動の機構を検討する。

4.1.3 地中変位計

地表伸縮計が2点間の相対移動量を測るのに対し、地中変位計は地すべり移動土塊の絶対移動量を測ることができる（図4.1.1(e)）。

新規の地すべり発生直後に、初期動態観測として地中変位計を利用するケースは稀であろうが、活動が活発で小ブロック化の進行が著しいとき、地表伸縮計では亀裂の見逃しリスク（挟み逃しリスク）があるのに対し、地中変位計はブロック内に配置するだけで見逃しなく絶対移動量を測ることができる。また長期的な視野からは、機構調査における各種調査孔のボーリング掘削・孔仕上げの段階で、地中ワイヤーを保孔管の外周に予め建て込んでおけば、孔内傾斜計やパイプ歪計がスケールオーバーになった後でも移動量が観測可能なメリットもある²⁾。

なお地中変位計の弱点として、地中ワイヤーの抜け上がりが生じると十分な精度が得られないことと、観測初期の感度が鈍いことが挙げられる³⁾。このため、地中ワイヤーの端部固定にはグラウチングや加圧アンカーなど確実な方法をとるとともに、保孔管はせん断破壊されやすい材質・構造とするなどの注意が必要である。またす

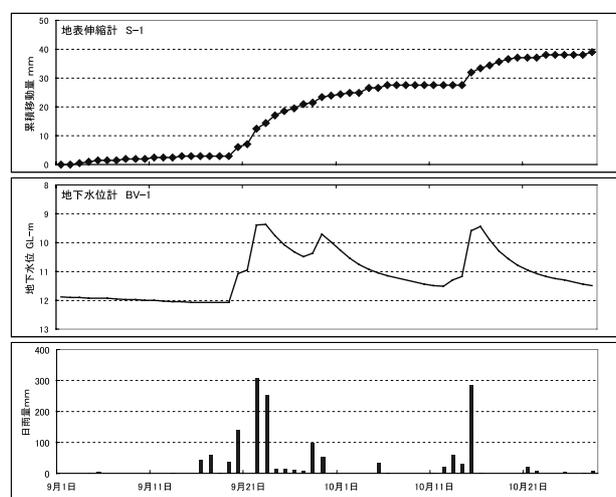


図4.1.2 結晶片岩地すべりの地表伸縮計解析図の例

べり面が2層ある場合にも検出できるように、測定孔は確実に不動岩盤まで掘りぬいてあることが重要である。

4.1.4 丁張（ちょうはり）

これもクラックをはさむ2点間の伸縮量を測る方法で、ぬき板ともいう。木杭や板材と大工道具だけで設置でき、特殊な測定器が要らない手軽さが最大の特徴である。

(1) 設置要領

- ① クラックを挟んで観測対象地点の両端に杭を設置する。横木固定の安定性を確実にするため、各々2本以上を用いる（図4.1.3(a)）。
- ② 横木を渡し、両端を釘などで固定する。
- ③ 横木の中央部を鋸で切断する。
- ④ 切断後、破断面の間隔を計測して初期値とする。

(2) 留意事項

- ・センサー等による自動計測はできないが、水平移動量と沈下量を測ることができる。
- ・段差が大きいときは、一方の横木に縦木を組み合わせるとよい（同図(b)右参照）。この場合、目盛り付きのスケールテープを縦横に貼っておくと、移動量が直読できる。

4.1.5 亀裂変位計

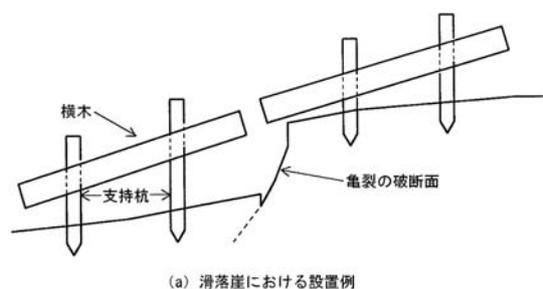
コンクリート構造物などに生じた亀裂の伸縮量を測る方法である。継目計、クラックゲージともいう。据付固定する測定ツールとして、縦横スケール付きの透明アクリル板を貼って直読できるようにしたもの（写真4.1.1）、バーニヤ目盛り付きのロッドタイプ測定器、電気信号に変換できるセンサー型（歪変換器で±5 mm程度）なども活用されている。

(1) 設置要領

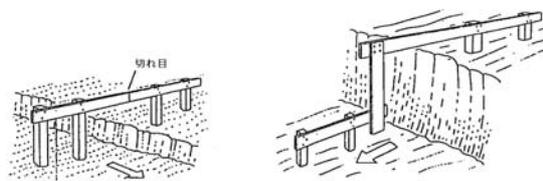
- ① 亀裂を挟んで構造物の両側に測量ピンを打ち込む。
- ② 定期的にピンの間隔をノギス等で計測する。

(2) データの整理

丁張や亀裂変位計のデータは、地表伸縮計と同様、時



(a) 滑落崖における設置例



(b) 側壁部における設置例

図4.1.3 丁張

間～移動量関係図に整理して利用する。

4.1.6 標柱測量

地すべり地内に設置した移動計測点（標柱）の移動量と方向を測量によって求めるもので、移動杭観測とも呼ばれる。

(1) 見通し測量

地すべり地外の不動地に設けた基準点から、格子状に配置した標柱を直線的に視準し、交点付近の標柱の移動方向と移動量を算出する方法である（図4.1.4）。

(2) 基準点測量

不動地の基準点をもとに標柱の座標を測量で求め、三角測量の原理で経時の移動量と移動方向を求めるものである。測量には高精度の光波測距測角儀（トータルステーション）を用いる。

(3) 精度

観測精度は測距儀の器械精度と距離に依存する。現在の1級トータルステーションの性能は、測角精度が0.5～1秒、測定可能距離Dと精度eが、反射プリズムで $D \leq 4000\text{m}$, $e = \pm(2 + 2 \text{ ppm} \cdot D)\text{mm}$, 反射シートで $D \leq 500\text{m}$, $e = \pm(3 + 2 \text{ ppm} \cdot D)\text{mm}$, ノンプリズムで $D \leq 200\text{m}$, $e = \pm(5 + 10 \text{ ppm} \cdot D)\text{mm}$ 程度となっている。

したがって反射プリズム使用時の距離500mの測距精度はカタログ上は $\pm 3\text{mm}$ となるが、実際には測距儀～ターゲット間の温湿度差などの誤差要因が混入し、測角誤差も含めて実用精度はもう少し劣る。大気熱による誤差を除くため観測時間帯を日の出・日の入り前後の時間帯に限定するなどの制約もある。



写真4.1.1 亀裂変位の計測

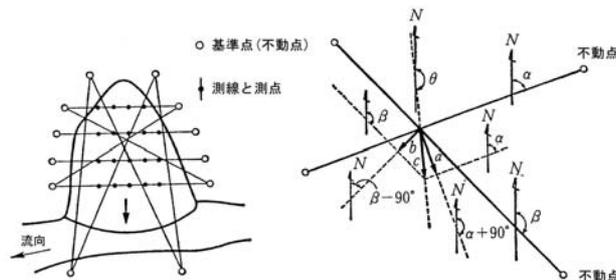


図4.1.4 見通し測量の概念¹⁾

(4) データの整理

移動量と方向をベクトルで平面図に記入し、ブロック区分の判断に活用する（図4.1.5）。観測が複数回にわたる場合、期間毎のベクトル連結で表すと、各観測期間ごとの移動状況の違いが明瞭になる。

(5) 災害時の応急監視への活用例

ノンプリズム型測距儀には、測定可能距離200mで精度 $\pm(3 + 2 \text{ ppm} \cdot D)\text{mm}$ 程度の性能を持つものがある。ノンプリズム時の精度はターゲットの反射率や平滑さによって大きく異なるが、コンクリート表面が視準できるなど条件が揃えば、災害直後で移動土塊内に立ち入りできないなど他に観測手段がないケースでも、移動量の監視に役立てられることがある。

4.1.7 GPS

移動量観測のためのGPS（Global Positioning System）が地すべり地に実用的に導入されて10年以上が経過し、現在、GPSはすでに中～大規模地すべりにおける移動量観測の一手法として定着しつつある。

基礎的な解説は入門書⁵⁾に譲り、ここでは地すべりフィールドすなわち山間地におけるGPSの観測精度向上のための注意点について述べる。

(1) GPSの精度

地すべり移動量観測に用いられるのは干渉測位で、不動地の基準点と地すべりブロック内の観測点とで同時受信した衛星電波データを用いて、観測点の三次元座標を計算で求める。公称精度は一般に

水平： $\pm(5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm} \times \text{基線長})\text{mm}$

垂直： $\pm(10\text{mm} + 2 \text{ ppm} \times \text{基線長})\text{mm}$

と表される。単純計算すると基線長1000mの公称精度は水平方向 $\pm 6 \text{ mm}$ 、垂直方向 $\pm 12\text{mm}$ となるが、山間部では精度に不利な条件が多く注意が必要である。

(2) 精度確保のための留意事項

GPS受信機には経済的な1周波型と長大基線長向きの2周波型があるが、地すべりで多用される1周波型を前提に述べる。

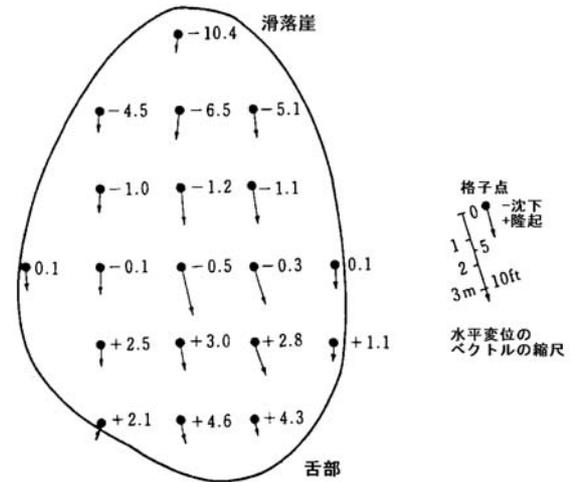


図4.1.5 変位ベクトル表示例¹⁾

- ① 上空視界・開空度の確保：衛星電波を同時多数に受信する必要があるため、衛星電波を遮蔽する樹木や建物が少ないほどよい。
- ② 基線長：精度の式どおり短いほどよい。2 km以内、できれば1 km程度が望ましい。
- ③ 基線長と観測点との標高差：対流圏遅延、とくに大気中の水蒸気量の影響を避けるためできるだけ小さく、100~200m以内に抑えるべきとの意見が多い。
- ④ マルチパスの回避：衛星電波がトタン屋根や人工構造物などに反射して受信機に入るものをマルチパスと呼び、精度劣化の一因である。
- ⑤ 時間帯の選定：衛星配置の偏りは精度を低下させる。RTK-GPS (Real-Time Kinematic GPS) 等による隔測型の人為観測の場合、衛星配置による精度低下率DOPが良好な時間帯に実施するよう、観測時間帯の計画が重要である。

上記のうち、①~④はすべて基準点や観測点の選定に関わる問題である。換言すれば、基準点・観測点の適地選定がGPS計測の精度を左右するとも言え、決定的に重要である。この必要条件が確保できない地すべり現場にはGPSを適用してはならないし、適用できない。

(3) データ整理

据置き型のGPS連続観測では、時間的に密な観測データが多く得られるが、地すべりが停止していても観測値に一定のバラツキがあるため判定に悩むことがある(図4.1.6)。なお同図ではセッション長(基線解析にかけるGPSデータの受信時間長さ)を大きくするとバラツキが



写真4.1.2 連続観測用GPSの設置例

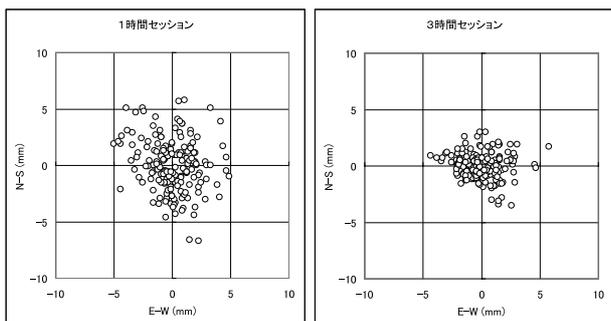


図4.1.6 GPS観測データの平面プロット例

小さくなる傾向もわかる。

ただし本来のGPS観測の目的は、地すべり移動の量と方向を求めることにある。図4.1.7は、地すべり移動量がバラツキの幅を十分に超え、活動状況が見事に水平移動ベクトル図に現れた例である。

(4) 統計処理

精度上の注意点を十分に考慮してもなお、水平 ± 5 mm、垂直 ± 10 mmのバラツキを大幅に改善するのは難しい。このように根源的なバラツキを持つGPS観測データに対して、統計処理で誤差を低減するアプローチがある。

図4.1.8は、ノイズを含んだGPS時系列データから統計モデルのパラメータ推定をする方法として、トレンドモデルと呼ばれる確率構造を持った状態空間モデルを用いて、ノイズを含む計測データから真の変位挙動を推定する手法を用いた例である⁷⁾。トレンドモデルの予測値は、概ね2 mmの精度を実現している。

地すべりの管理基準値は、1 mm以下の精度を有する地表伸縮計を前提とする場合が多く、GPSとは同列に扱えない問題があったが、トレンドモデルのように予測精度を向上させれば、既往調査種の管理基準値の運用に近づくことができる。

4.1.8 監視カメラ

現地の状況を遠隔地から画像イメージで把握するために、監視カメラが用いられる。mm単位の移動量センサー類に比べ、画像監視は解像度の限界があるため、微

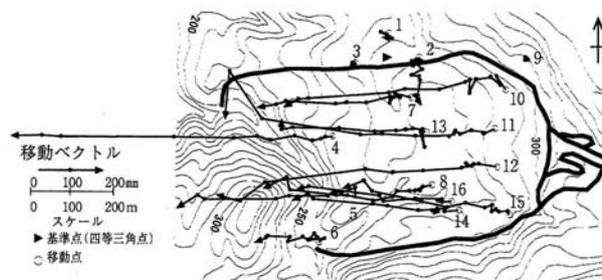


図4.1.7 椎泊地すべりのGPS水平移動ベクトル⁸⁾

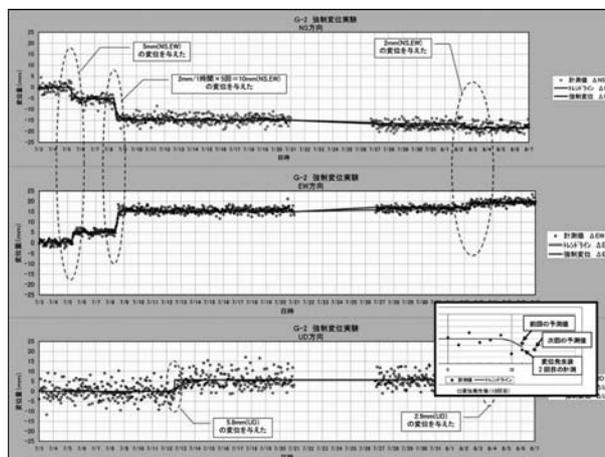


図4.1.8 統計処理(トレンドモデル)の例⁷⁾



写真4.1.3 Webカメラ設置例

小変動よりも大域把握に適し、地すべりではとくに末端崩壊や河道埋塞、湛水監視などに有効である。

画像は情報量が多いため、伝送には従来は同軸ケーブルが用いられたが、光ファイバケーブルの普及に伴い光アナログ伝送、コーデックなどを経て、近年はMPEGなど動画圧縮技術を活用したIP化が主流となりつつある。

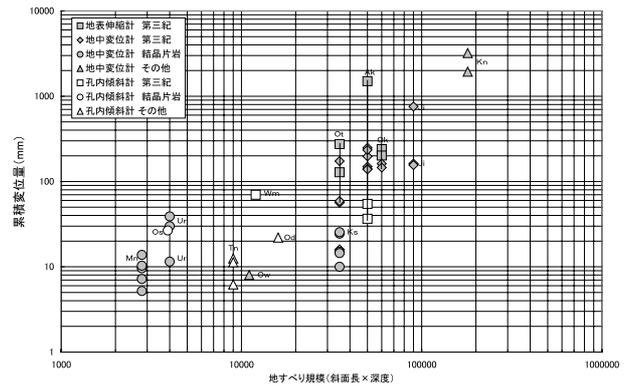
一方、既設光ファイバ伝送路が未整備の場合でも、インターネット回線を用いて画像伝送を行う方法がある。例えばNTTのISDN回線の人口カバー率は極めて高く、全国ほぼ全域で64kBPSのデジタル回線が利用できる。都市域で普及している超高速回線と比べればかなり低速だが、現地サイトに商用電源・ISDN回線・固定IPとWebカメラを組み合わせれば、容易に画像監視システムを構築できる。遠隔地サイトではWWWブラウザさえあれば監視でき、専用の受像設備が不要といったコスト低減のメリットもある。

4.1.9 観測方法による移動量の違い

同じ地すべりブロックの移動量が、頭部の引張領域にある地表伸縮計で大きく、中央部の地中変位計や圧縮領域の末端部で小さいことは通常よく目にする。また管理基準値の設定や崩壊予測式の運用例は、地表伸縮計に対するものこそ多いが、地中変位計・孔内傾斜計等での運用や、地表伸縮計データとの相関について報告されたものはほとんどない。

このため土佐ら⁸⁾は、地質別・地すべり規模別に、同じ地すべりで異なる観測方法による移動量が得られたデータを収集して比較検討を試みた。その結果、便宜的な指標として、地すべり斜面長とすべり面深度の積（概ね、地すべり断面積に相当）を「地すべり規模」と定義した場合、地すべり規模と累積変位量には正の相関が認められた（図4.1.9）。

また地表伸縮計に対する地中変位計の累積変動量の比は、Ot地すべりで $1/5 \sim 1/2$ （平均的には $1/3$ ）、Ok地すべりでは $1/2$ 程度となっている。また地中伸縮計に対する孔内傾斜計の、すべり面付近における累積変動

図4.1.9 地すべり規模と移動量の関係⁸⁾

量はAk地すべりでは $1/3 \sim 1/10$ 程度（平均的には $1/5$ ）となっており、相互の関係は

$$\text{地表伸縮計} \approx \text{地中伸縮計} \times (2 \sim 5)$$

$$\text{地中伸縮計} \approx \text{孔内傾斜計} \times (3 \sim 10)$$

と表され、地表伸縮計>地中伸縮計>孔内傾斜計、の大小関係があることがわかった。

このように同じ地すべりでも観測方法や、さらには場所の違いにより移動量が異なるため、管理基準や警戒避難体制の運用には注意が必要である。

4.1.10 動態観測結果の利用方法

最後に、上述した初期動態観測結果の利用方法を列挙して次号へ送る。

- ① 移動速度とクリーブ破壊式を利用した崩壊予測（次号、第8回）
- ② 移動量や移動速度による警戒避難基準の策定（第9回）
- ③ 自動観測によるモニタリングとソフト対策（第10回）

参考文献

- 1) 地すべり観測便覧編集委員会（1996）：地すべり観測便覧，(社)地すべり対策技術協会，pp.77-291
- 2) 松浦純生（1998）：地すべり対策工施工跡地における維持・管理のための自動監視システム，地すべり学会関西支部機関誌らんどすらいどNo.14，pp.12-25
- 3) 川崎幸一郎（1998）：地中変位計によるすべり面検出不能の原因と対策，(社)地すべり対策技術協会，地すべり対策技術フォーラム'98講演集，pp.1-4
- 4) 建設省河川局（1997）：改訂新版建設省河川砂防技術基準（案）同解説 調査編，pp.213-214
- 5) 例えば土屋淳・辻宏道（2000）：新訂版やさしいGPS測量，日本測量協会
- 6) 中里裕臣（2002）：農業土木におけるGPS利用技術（その4）-GPSを用いた地すべり調査-，農業土木学会誌70(1)，pp.47-53
- 7) shamen-net研究会ホームページ（2006）：<http://www.shamen-net.org/>
- 8) 土佐信一・山見ゆかり・榎田充哉・三輪照光（2001）：地すべり管理基準値の設定手法について，第四十一回治山研究発表会論文集，pp.191-195
（原稿受付2006年6月15日，原稿受理2006年6月23日）

Lecture

現場で役に立つ地すべり工学 第8回 Key points in field work for landslide engineers No.8

4. 監視と予測

Monitoring of landslide movement and forecasting of slope failure occurrence

木村隆俊／株式会社 アイエステー

Takatoshi KIMURA／Institute of Slope Technology Co., Ltd.

横山 昇／株式会社 アイエステー

Noboru YOKOYAMA／Institute of Slope Technology Co., Ltd.

4.2 崩壊時期の予測と適用例

4.2.1 崩壊時期の予測手法

地すべり崩壊時期の予測は、降雨（降雨強度）を用いるもの、変位量の変化を用いるもの、変位によって引き起こされる他の現象を用いるものなどがある。降雨による方法は、過去における降雨と地すべりの関係で、あるしきい値を超える降雨があった場合に警報を出すもので、具体的な場所や崩壊時期の予測はしない。変位量の変化を用いるものは、ヒズミや、ヒズミ速度の変化に注目して地すべりが崩壊するまでの時間を予測するもので、現在まで様々な予測式が提案されている。地すべりによって引き起こされる他の現象を用いる手法は、主に地すべり滑動によって発生する音や、物が破壊するときが発生するアコースティックエミッション（AE）を計測してその発生頻度の変化により崩壊の可能性を判断するものであるが、崩壊予測時間を推定する手法は確立されていない。

地すべり崩壊時期の予測に用いられている一般的な方法は、地すべりの変位量の変化に注目する方法である。この方法は、最初、斎藤（1959）によって提案された方法で、クリープ破壊理論に基づいている。クリープ破壊とは、材料が降伏値以上の一定の応力下に長時間置かれた場合、ひずみ（クリープひずみ）が時間の経過とともに進行する現象で、一般的には、瞬間的な弾性変形とこ

れに続くひずみ速度が減少する粘弾性変形の時期の1次クリープ（遷移クリープ）、ひずみ速度一定の粘性流動の時期の二次クリープ（定常クリープ）、ひずみ速度が増大して破壊に至る三次クリープ（加速クリープ）の時期に分けられる（図-1）。

斎藤・上沢（1960）は、土のクリープ破壊に注目して、ひずみ速度とクリープ破壊時間の間に一定の関係を見だして、崩壊までの時間の予測が可能であることを示した。この考え方は、その後、斎藤（1968）、斎藤ら（1968）

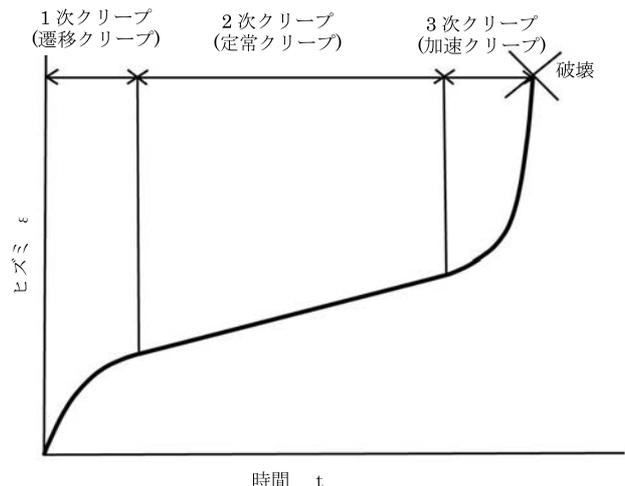


図-1 クリープ破壊時のクリープ曲線の例

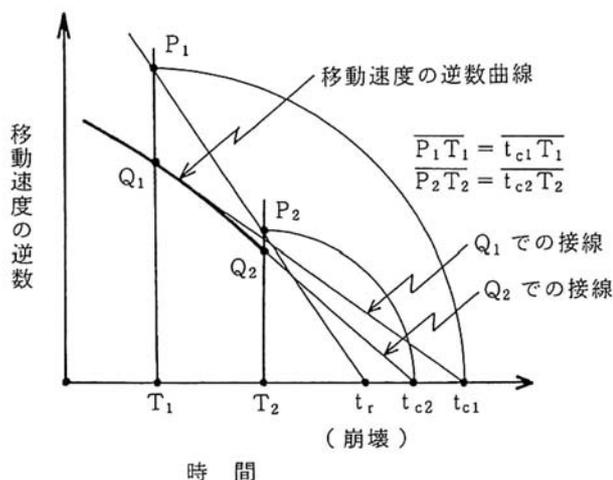


図-2 接線法による崩壊時刻の予測法（福園，1990a）

Q_1 （時間 T_1 ）における速度の逆数曲線の接線と時間軸との交点を T_{c1} とする。 T_1Q_1 の延長上に $T_1t_{c1}=T_1P_1$ なる点 P_1 を求める。同様に、 Q_2 （時間 T_2 ）における接線から点 P_2 を求める。 P_1P_2 の延長線と時間軸との交点が崩壊時刻 t_r である。

$$\frac{P_1T_1}{P_2T_2} = \frac{t_{c1}T_1}{t_{c2}T_2}$$

によって集大成された。山田ら(1970)は、この考え方を飯山線高場山トンネルの地すべりに適用して、良好な結果を得ている。渡ら(1977)は、真名川ダムの原石山切取り法面の崩壊に適用した。福園(1985)は、移動速度の逆数と崩壊までの時間の関係について検討し、斎藤の考え方に合わない事例についても崩壊時期の予測方法を示した。また、福園(1990a, b)は、平均速度の逆数による斜面崩壊発生時刻の予測の図で、接線法による崩壊時刻の予測法について解説している(図-2)。

駒村・林(1983)は、地すべりのレオロジーモデルについて考察し、地すべりのタイプを減速クリープ型、定常クリープ型、崩壊クリープ型に分類し、それぞれのタイプについて検討した。林ら(1988)、土屋・大村(1989)は、様々な崩壊時期の予測式について検討し、大村らの予測式も含めて、それぞれの予測式を線形化して、線形式の最小自乗法を用いて崩壊予測時間の特性について検討した。これらはいずれも、移動量-時間の関係を基に崩壊までの時間を予測するものである。

4.2.2 地すべり現場での崩壊時期の予測方法

地すべりが発生している現場では、地すべりの移動の状況に即応して判断する必要がある。ここでは、主として一般に用いられている斎藤の三次クリープ段階での予測法について述べる。

(1) 斎藤の崩壊時期予測式

土のクリープ破壊理論を根拠にして地すべりの崩壊時期予測が可能であることを示したのは、斎藤(1960)が最初である。土のクリープ破壊試験結果では、時間とひずみの関係は、前述(図-1)のように、三つの時期に分けられる。

斎藤は、二次クリープ段階での予測と、三次クリープ段階での予測手法を提案した。様々な土質試料についてのクリープ破壊試験から二次クリープ段階の定常ひずみ速度と、クリープ破壊時間との間には、図-3に示すように両対数のグラフで直線関係があることを見だし、

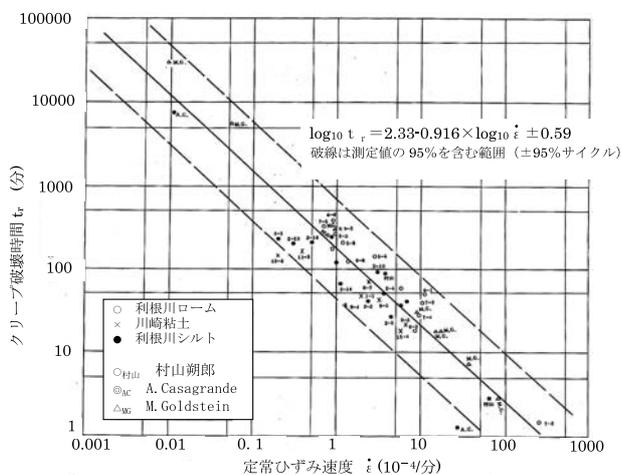


図-3 定常ひずみ速度と崩壊までの残り時間の関係図(両対数表示)(斎藤・上沢1960)

次式のように定式化した。さらに、この関係を用いて、地すべり崩壊時期(斜面崩壊時期)の予測が可能であることを示した。

$$\log_{10} tr = 2.33 - 0.916 \times \log_{10} \dot{\epsilon} \pm 0.59 \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに tr :クリープ破壊時間(分)
 $\dot{\epsilon}$:定常ひずみ速度($\times 10^{-4}$ /分)
 ± 0.59 :試験結果の95%を含む幅

この式は、崩壊までのクリープ破壊時間を、定常ひずみ速度の指数の一次関数として表現され、一般には両対数のグラフで描かれている。両対数のグラフでは、実際の時間とひずみ速度との関係がイメージとして捉えにくいので、対数でない通常グラフで表現すると図-4のようになる。

また、上式において $\log_{10} \dot{\epsilon}$ の係数(0.916)を1とみなすとともに上式のクリープ破壊時間(tr)は一次クリープ開始から三次クリープ最終の破壊までの時間を示しているが、通常地すべりでは一次クリープの開始時期は明らかでないことから、上式の tr を観測時点(t_0)から破壊までの残り時間($tr-t$:この場合の tr は崩壊時刻を意味し、(4)式の破壊時間とは異なる)とし、また、定常クリープひずみ速度($\dot{\epsilon}$)を観測時点におけるひずみ速度とみなすことにより、上式を拡張応用し、斎藤は三次クリープの段階においては、 $tr-t$ と $\dot{\epsilon}$ とが逆比例の関係にある式として、 $\dot{\epsilon} = A/(tr-t)$ を提案した。この式が三次クリープ段階における斎藤の予測式であり、 $t = t_0$ におけるひずみ量 $\epsilon_0 = 0$ として $\dot{\epsilon}$ を積分すると

$$\epsilon = A \cdot \ln \frac{tr-t_0}{tr-t} \quad \dots\dots\dots(5)$$

また、 Δl :移動量、 l_0 :基準長とおき、 $\epsilon = \Delta l/l_0$ とみなすと

$$\Delta l = l_0 \cdot A \cdot \ln \frac{tr-t_0}{tr-t} \quad \dots\dots\dots(6)$$

となる。

この式で、崩壊時刻を予測することは、 tr を求めることであるが、時刻 t の時の移動量 Δl は計測でもとめた既

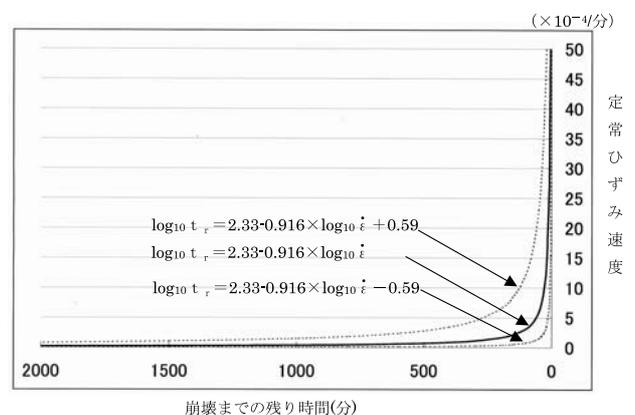


図-4 定常ひずみ速度と崩壊までの残り時間の関係図(通常グラフ表示)

知数であり、未知数は t_r 以外に $l_0 \cdot A$ と t_0 との3個であるので、クリープ曲線上の3点が得られれば、崩壊時刻 t_r を求めることが出来る。

クリープ曲線上の3点を $(\Delta l_1, t_1)$, $(\Delta l_2, t_2)$, $(\Delta l_3, t_3)$ とし、 $l_0 \cdot A$, $t_r - t_0$ を消去すると

$$\frac{\Delta l_1 - \Delta l_2}{\ln \frac{t_r - t_1}{t_r - t_2}} = \frac{\Delta l_3 - \Delta l_2}{\ln \frac{t_r - t_2}{t_r - t_3}} \dots\dots\dots(7)$$

いま $\Delta l_2 - \Delta l_1 = \Delta l_3 - \Delta l_2$ にとれば、

$$\frac{t_r - t_1}{t_r - t_2} = \frac{t_r - t_2}{t_r - t_3} \dots\dots\dots(8)$$

これから、

$$t_r = \frac{t_2^2 - t_1 \cdot t_3}{2t_2 - (t_1 + t_3)} \dots\dots\dots(9)$$

あるいは整理して、

$$t_r - t_1 = \frac{\frac{1}{2}(t_2 - t_1)^2}{(t_2 - t_1) - \frac{1}{2}(t_3 - t_1)} \dots\dots\dots(10)$$

となり、これが斎藤の図解法の基礎式である。

実際の地すべりでは、図-5のように地下水位の変化、応急対策工の施工、その他様々な要因の変化によって、1次クリープの後地すべりが一時停止したり、二次クリープが長期間継続して三次クリープに移行せずに停止したりするので、時間-変位曲線の変化を常に監視し、斎藤の三次クリープの予測が適用できるか否かを判断する必要がある。

(2) 斎藤の図解法の基礎式を用いて表計算ソフトで崩壊時刻を予測する方法

斎藤の図解法の基礎式の t_1 は、計算を実施する基準の時刻で、その時の変位量を Δl_1 とする。最新の時刻を t_3 として、その時の変位量を Δl_3 とする。斎藤の図解法の基礎式は、

$\Delta l_2 - \Delta l_1 = \Delta l_3 - \Delta l_2$ としているので、時間変位グラフ上で $\Delta l_2 = (\Delta l_3 - \Delta l_1) / 2$ となる点を求めてその時の時刻が t_2 となる。この t_1 , t_2 , t_3 を(10)式に代入すると、崩壊時間 t_r が求まる。

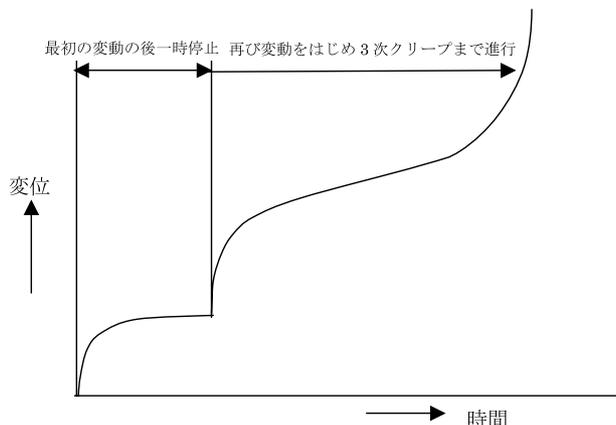


図-5 地すべりのクリープ破壊曲線の例

実際には、表計算ソフトに観測の累積時間とその時の累積変位量を第1列と第2列に入力し最新の Δl_3 で第3列に Δl_2 を求めるようにする。その Δl_2 の値が、累積変位量の列でどのセルとのどのセルの間にあるかを自動検索させ、その間の行に Δl_2 の値を挿入し上下のセルの変位量の割合から累積時間 t_2 を自動計算で求め、第4列に入力する。この t_2 と基準点の t_1 , 最新の時間 t_3 で崩壊予測時間 t_r を求め第5列に入力して図化すると図-6の観測グラフと崩壊予測時間の図が出来上がる。

4.2.3 実測データに基づく崩壊時期の予測

(1) 奈良県大塔村

奈良県大塔村の地すべりは、白亜紀の四万十累層群日高川帯で発生した地すべりで、図-7に示すように断面形は、ほぼ直線状のすべり面をしており、末端部は急斜面となっている。地すべりは平成16年1月下旬に亀裂が発見され、8月10日に崩壊した。

大塔村の観測データでは、地すべり頭部の中央部に設置された伸縮計S-6の観測データに(4)式の定常ひずみ速度と崩壊までの残り時間の関係図を重ねると図-8のようになる。この図では、実際の観測データは、崩壊発生の25日前頃から斎藤のクリープ曲線にほぼ一致するようになってきた。

この観測データを基に崩壊時期の予測を実施すると、図-9~11のようになる。これらのデータでは、比較のために観測の最初の時点(崩壊前103日)を基準にした

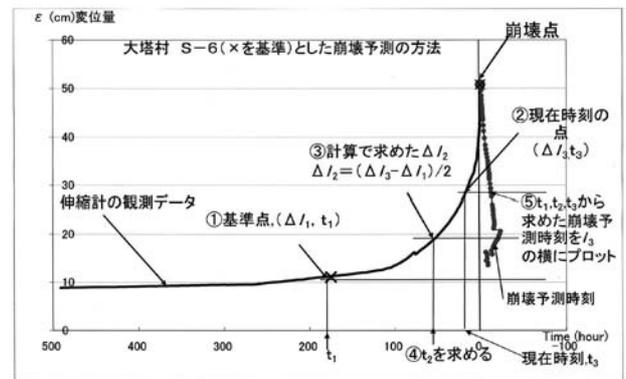


図-6 崩壊予測手順のグラフの説明

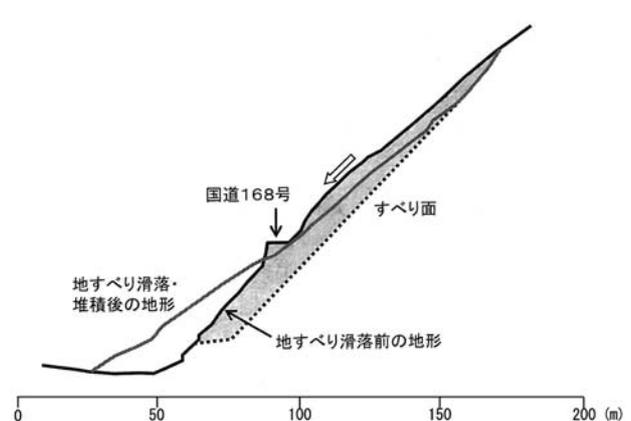


図-7 大塔村地すべりの断面図(野村・藤澤, 2006)

もの、斎藤のクリープ式に一致した時点（崩壊前23日）を基準にしたもの、変位量が立ち上がり始めて三次クリープに移行したと考えられる時点（崩壊前10日）を基準にしたものの、3時点の基準で斎藤の三次クリープ式により崩壊時期の予測を実施した。

観測開始時点を基準にしたものでは、図-9の予測のようになり、ある程度変位量が大きくなるまでは崩壊時期の予測の誤差は大きい。斎藤のクリープ式に一致するようになる時点を基準とする（図-10）と、最初は実際の崩壊時間より未来の崩壊を予測するようになっているが、崩壊時期に近づくと実際の崩壊時間を予測するようになる。さらに、変動速度が増して三次クリープに移行したと考えられる、0.2mm/時程度になった時点を基準点とすると（図-11）、崩壊予測時間が実際の崩壊時間に重なるようになって、全体を通してほぼ正確な崩壊時期の予測をするようになる。

これらのことから斎藤のクリープ式に載るようになった時点を基準とした場合でも、ある程度の崩壊時期の予測は可能で、さらに三次クリープに移行した時点では基準点をその時点に移動して予測すれば、さらに正確な予測が出来るようになる。

(2) 地附山

長野市、地附山地すべりは、昭和48年頃より道路構造物に地すべり性の変状が認められるようになり、その後

の伸縮計の観測では昭和60年7月18日より変位が大きくなりはじめ、7月26日17時に約550万 m^3 の土塊が流出した。地質は、第三紀の裾花凝灰岩類が分布する地域で、主測線の断面を、図-12に示す。

崩壊の8日前からの伸縮計の観測記録を基に崩壊時期の予測を実施してみると図-13のようになる。崩壊発生の60時間前頃に変位速度が一旦遅くなる箇所があり、崩壊8日前を基準とすると、この変位速度が遅くなった影響を受けて崩壊時期の予測時間は実際の崩壊時間と異なったものとなる。基準点を、変動速度が遅くなった崩壊2日前に取り直すと図-14のようにほぼ正確な崩壊時期を予測するようになる。

(3) 高場山

高場山地すべりは、旧国鉄飯山線の高場山トンネルに隣接した斜面で、昭和45年1月22日午前1時24分に崩壊した。地質は、新第三紀の粘土質頁岩・砂岩の互層が分布する地域である。地すべり断面図を図-15に示す。この地すべりは、昭和44年4月の雪解けでトンネルの坑門口に変状が発生していた。地すべりの頭部亀裂は12月4日に発生し、伸縮計を設置して観測が開始された。

昭和45年1月14日からの観測データで、崩壊時期を予測すると図-16~17のようになる。図-16は崩壊発生8日前の1月14日を基準として崩壊時期を予測したものであるが、変位速度が一定の時間が長く、崩壊予測時期は実際の崩壊時間と大幅にずれる。図-17のように、基準

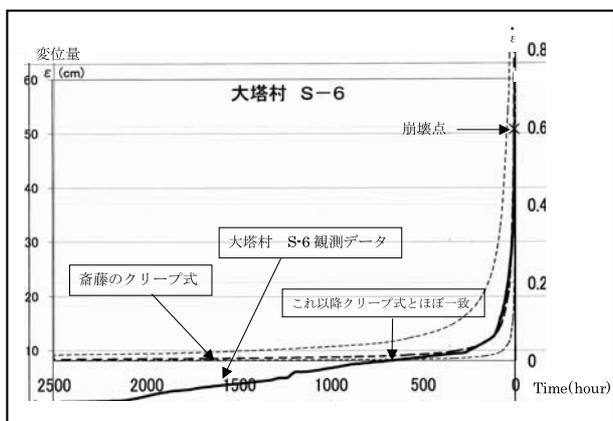


図-8 斎藤のクリープ式と大塔村S-6の重ね合わせ

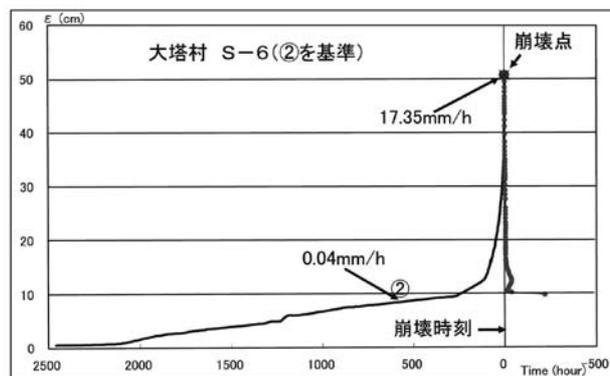


図-10 大塔村崩壊23日前を基準点にした予測図

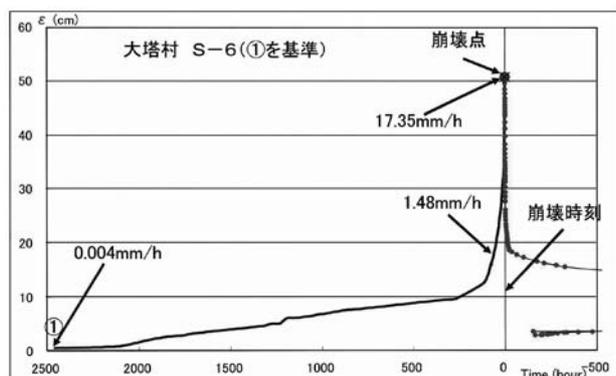


図-9 大塔村崩壊103日前を基準点にした予測図

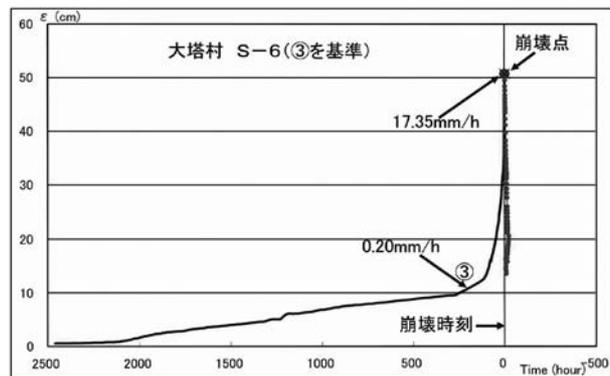


図-11 大塔村崩壊10日前を基準点にした予測図

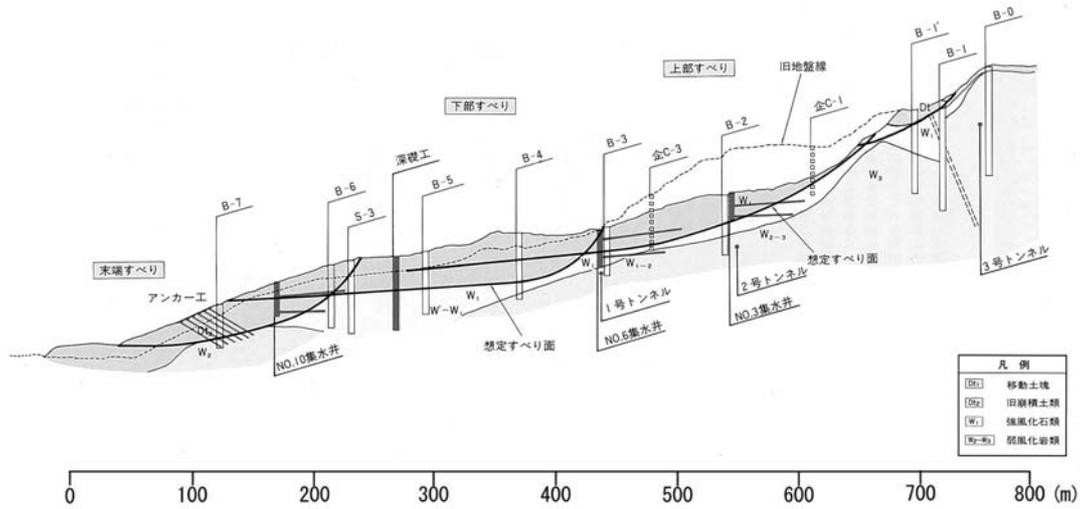


図-12 地附山地すべりの断面図 (長野県土木部, 1989)

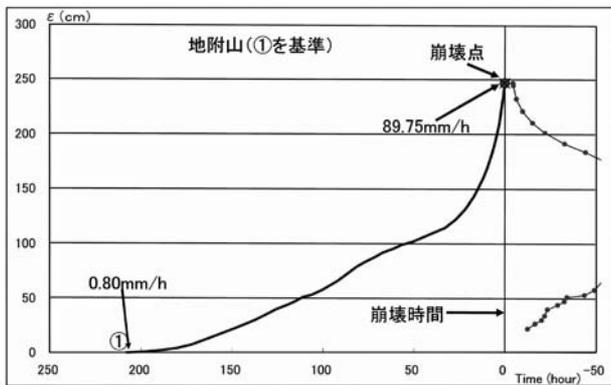


図-13 地附山崩壊8日前を基準点にした予測図

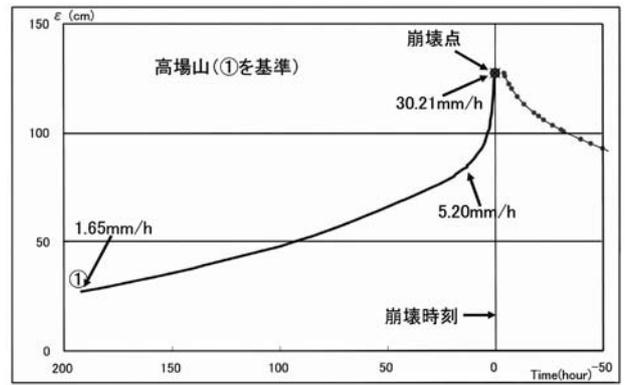


図-16 高場山崩壊8日前を基準点にした予測図

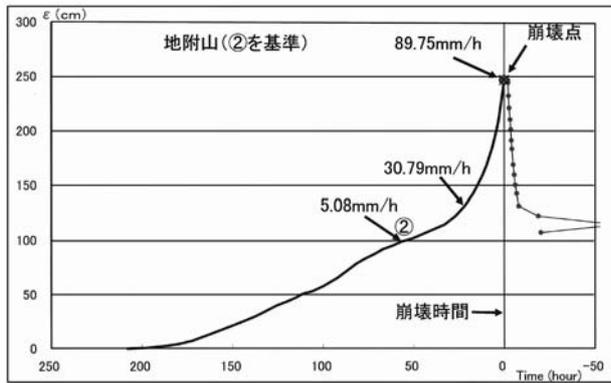


図-14 地附山崩壊2日前を基準点にした予測図

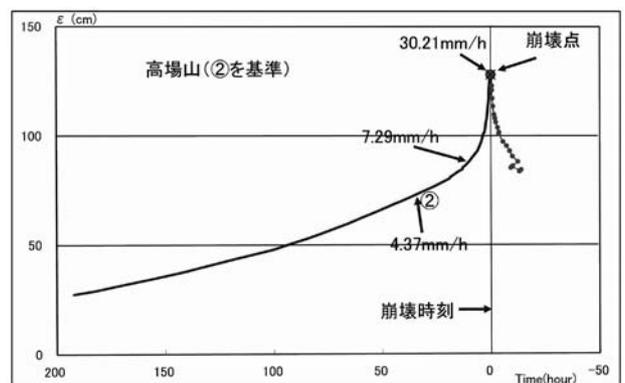


図-17 高場山崩壊1日前を基準点にした予測図

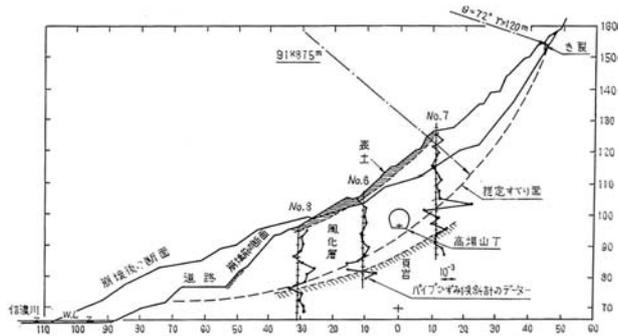


図-15 高場山地すべりの断面図 (山田ら, 1970)

点を変位速度が立ち上がり始めた三次クリープの始まる崩壊発生1日前とすると崩壊時期の予測は、ほぼ実際の崩壊時間に一致する。

(4) 柳谷

柳谷地すべりは、愛媛県上浮穴郡柳谷村の仁淀川に面した国道33号が河川に平行して走る。この地すべりの地質は、古生代の秩父帯に位置し、砂岩、粘板岩が分布している。斜面は図-18に示すように、急峻で平均勾配は40~60度である。昭和54年に国道の改良工事が着手され

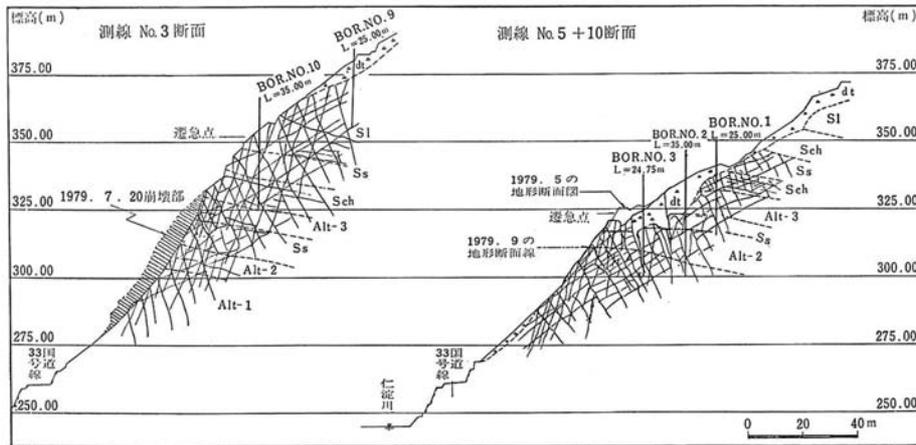


図-18 柳谷地すべりの断面図 (関ら, 1980)

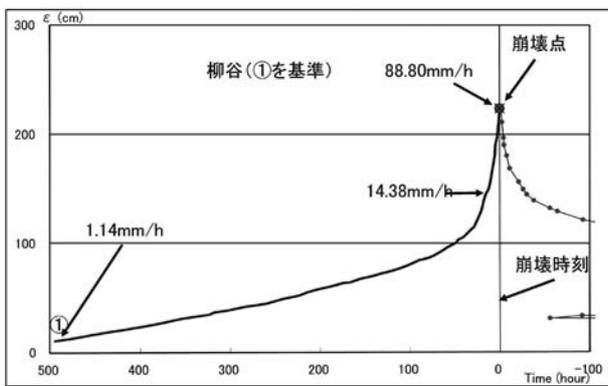


図-19 柳谷地区崩壊21日前を基準にした予測図

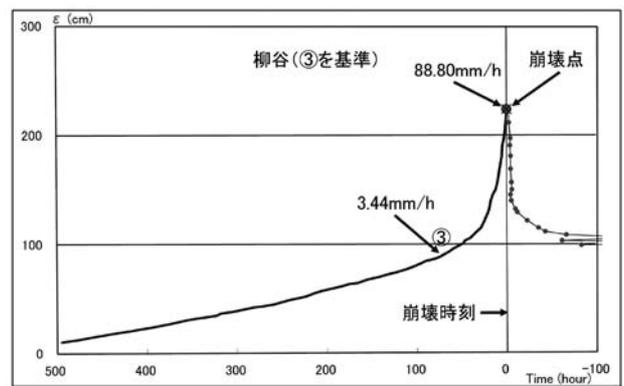


図-21 柳谷地区崩壊3日前を基準にした予測図

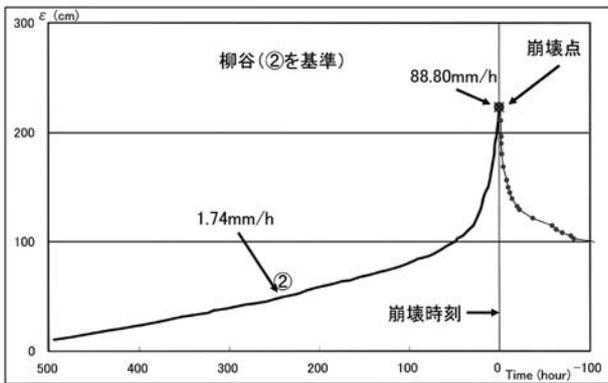


図-20 柳谷地区崩壊10日前を基準にした予測図

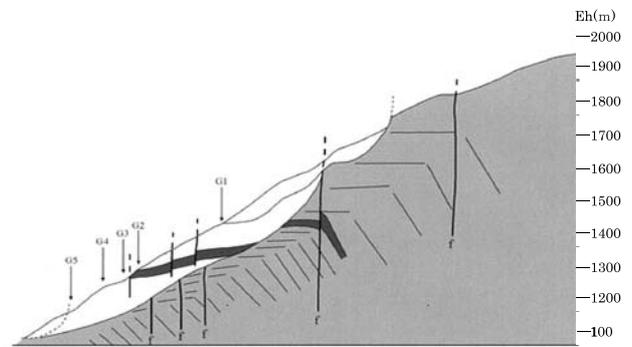


図-22 La Clapière地すべりの断面図

た段階で、上部斜面に亀裂が発生し、6月29日から伸縮計を設置して観測が実施された。柳谷では、当初等速変位をしていたが崩壊の10日前頃から変位速度が増加し始め、変位速度が127mm/時になったところで崩壊した。柳谷地区での崩壊時期の予測は、基準点を観測開始時点、等速運動の中間点、変位速度が増加し始めた時点にとってそれぞれ崩壊時間を予測したのが、図-19~21である。この3つのケースの内、比較的崩壊時間を正確に予測しているのは、図-21の変位曲線が立ち上がり始める崩壊発生3日前を基準とした場合である。このことから、二次クリープが長時間継続している場合は変位が多少加速

し始める時を基準として、変位予測するのが望ましい。

(5) La Clapière

La Clapière地すべりは南フランスの南アルプス山中に位置している。この地すべりは、古生代のミグマタイト化した片麻岩の分布する地域に発生した地すべりで、1982年に発生し、変動量は光波測距儀を用いて計測されている。地すべり滑動は、1988年に一度大きく変動し、その後も変動が継続している。地すべりの規模は、幅1300m、奥行1000mで、断面図を図-22に示す。1988年の変動では、落差80mの主滑落崖が形成されているが、その後も平均1cm/日の割合で変動している。1988年8月の大変動の時は、8.8cm/日の変動であったが、その

時の観測データを用いて崩壊時期を予測したのが、図-23~25である。この地すべりの変動は、崩壊の6,000時間(250日)前頃に変動速度の増加が減少して、一息つくような変位を示している。このため、これより前に基準点を設けた場合は、この変位曲線のふくらみの影響を受け、図-23, 24に示すように崩壊時期の予測はふらつくこととなる。基準値を、変位曲線のふくらみの後の220日前を基準値とした図-25では、崩壊時期の予測時間は、実際の崩壊時間とほぼ一致するようになる。

一度大きく変位した後、変位速度が減少した部分も含んで崩壊時期を予測すると、図-26に示すように予測時間は未来の方に延びてゆき、崩壊しない予測となる。

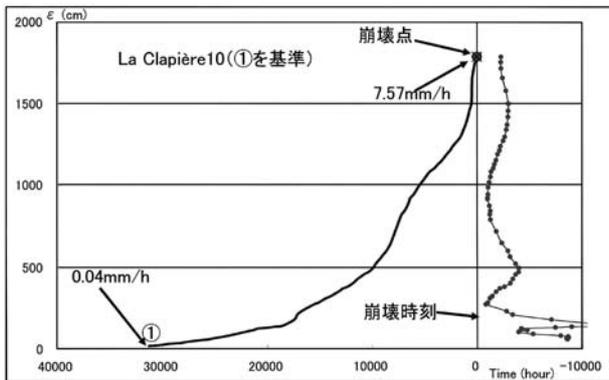


図-23 La Clapère崩壊1034日前を基準にした予測図

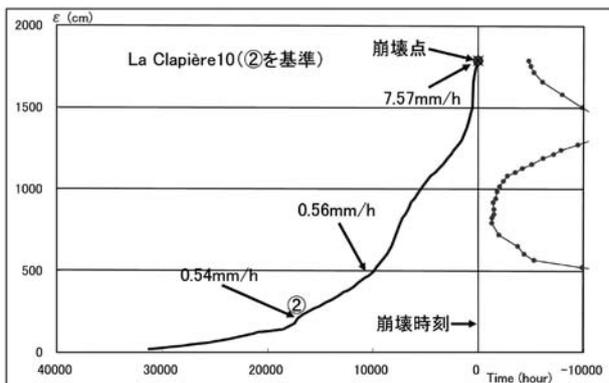


図-24 La Clapère崩壊715日前を基準にした予測図

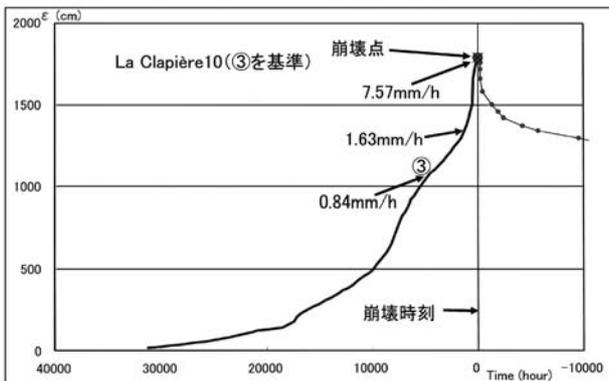


図-25 La Clapère崩壊220日前を基準にした予測図

(8) Chuquicamata鉱山

Chuquicamata鉱山は、南米チリのアンデス山脈の中にある露天掘りの銅鉱山で、ベンチカットされていた切り取り岩盤法面が崩壊した。崩壊した法高は、248mあり、法面の平均勾配はおよそ43度であった。地すべり(岩盤崩壊)の発生原因は、1967年12月の地震と、鉱石を採掘するための発破とされている。その後計測機器が設置され観測が行われたが、1969年2月18日に大崩壊が発生した。地質は、結晶斑岩と銅鉱石の混在物で構成されている、崩壊前の断面を図-27に示す。

この鉱山の変位の特徴は、岩盤の地すべりのため変位速度は直線的で、ある時期変位速度が増加してもその後再び直線的な変位速度を示していることである。このような変位を示す地すべりの崩壊時期を予測すると図-28に示すようになり、変位速度が増加した付近では、あるところで崩壊時期の予測時間に近づくが、その後は、実際に崩壊した時間よりも後のほぼ同じ崩壊予測時間を示し、あたかも崩壊がその時刻で発生するような予測となるが、実際の崩壊は予測時期よりも早く発生した。この場合は、露天掘り鉱山という特殊な場所で、あったため

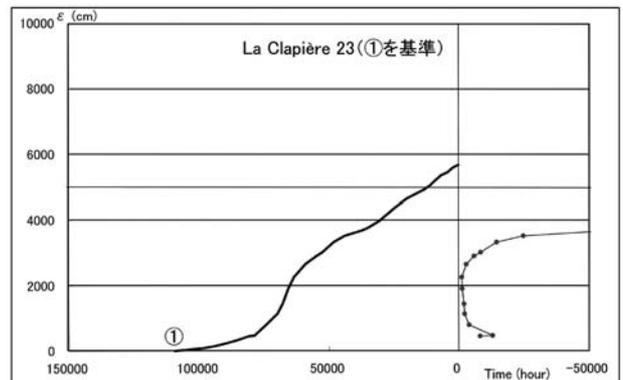


図-26 La Clapère崩壊後さらに地すべり変動をした場合の予測図

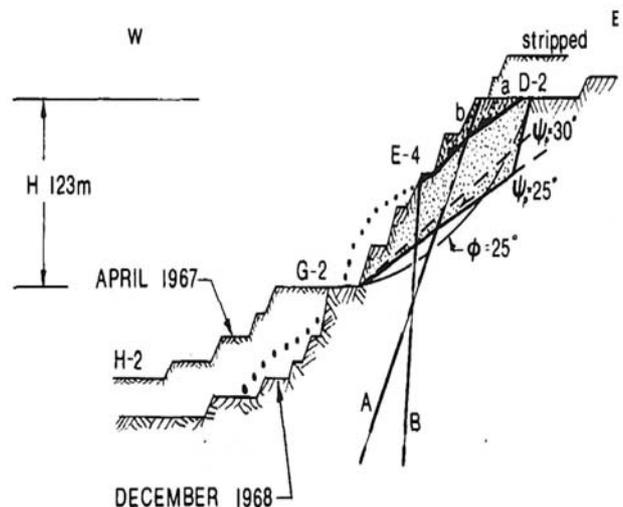


図-27 Chuquicamata鉱山地すべりの断面図 (Voight・Kenneedy, 1984)

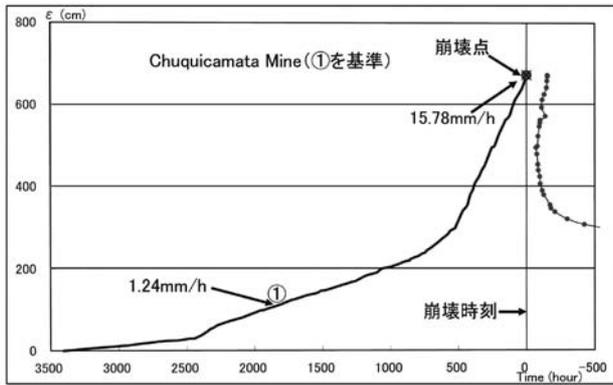


図-28 Chuquicamata鉱山崩壊45日前を基準点にした予測

に、岩盤の風化は進んでおらず、亀裂に沿ったすべり面に末端部の抵抗が全くない場合には、崩壊予測時期よりも早く崩壊することを示しているようである。

4.2.4 まとめ

地すべりが発生した場合、通常は地下水排除工、緊急押え盛土、頭部排土工が実施されたり、降雨が少なくなったりして地すべりの安定性のバランスが変化して、二次クリープの段階で停止したり、さらに地すべりが三次クリープに至ったとしても、崩落するまでの間に変位速度を低下させたり、再び変位速度を増加させたりする場合がよくある。また、三次クリープになったと判断した後で、変位速度が低下して崩落せずに小康状態を保つ場合もある。その一因として岩盤崩壊の場合とは異なり、地すべりは主に間隙水圧が一定以上作用することにより、地すべり移動を開始するという特性もある。また、地すべりは、すべり面、地質特性から、渡ら(1987)の地すべりの分類にもあるように、すべり面の形状が異なり、それにより崩壊するか否かも大きく左右されるものと思われる。したがって、崩壊時期の予測を実施する場合には、これらの諸条件も加味して総合的に判断することが大切である。

次回では、地すべりの警戒、避難基準値とその体制についての考え方や、今回掲載した崩壊時期の予測と警戒

基準の関係について、事例を踏まえて紹介する。

参考文献

- Barry Voight, B. A. Kennedy (1984) : Rockslides and Avalanches, 2, Chapter 17, Slope failure of 1967-1969, Chuquicamata Mine, Chile, pp. 595-632.
- B. Casson, C. Delacourt, P. Allemand (2005) : Contribution of multi-temporal remote sensing images to characterize landslide slip surface-Application to the La Clapière landslide (France), *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, pp. 425-437.
- 福園輝旗 (1985) : 表面移動速度の逆数を用いた降雨による斜面崩壊発生時刻の予測法, *地すべり*, Vol. 22, No. 2, pp. 8-13.
- 福園輝旗 (1990a) : 平均速度の逆数による斜面崩壊発生時刻の予測, *防災科学研究所研究報告*, 第46号, pp. 45-81.
- 福園輝旗 (1990b) : クリープ変形式を基にした斜面崩壊時刻の予測について, *地すべり*, Vol. 27, No. 2, pp. 38-40.
- 林拙郎・駒村富士弥・朴甫源 (1988) : 斜面崩壊発生時期の予測について, *地すべり*, Vol. 24, No. 4, pp. 11-18.
- 地附山地すべり記録誌編集委員会 (1989) : 復旧への足跡-地附山地すべり対策事業の記録-, 長野県長野建設事務所, 113p.
- 駒村富士弥・林拙郎 (1983) : 地すべり性崩壊発生時期の予測に関する研究 (地すべり挙動のレオロジー), pp. 1-64.
- 野村康裕・藤澤和範 (2006) : 地すべりの運動特性を考慮したリスクマネジメントに関する一考察-奈良県大塔村で発生した地すべり道路災害を例として, *地すべり*, Vol. 42, No. 6, 14p.
- 斎藤迪孝 (1959) : 斜面崩壊と歪測定, *土と基礎*, 特別号, No. 1, pp. 29-33.
- 斎藤迪孝・上沢弘 (1960) : 土のクリープ破壊に関する実験研究, *鉄道技術研究報告*, No. 128, pp. 1-9.
- 斎藤迪孝 (1968) : 斜面崩壊発生時期の予知に関する研究, *鉄道技術研究報告*, No. 626 (施設編第267号), pp. 1-53.
- 斎藤迪孝・上沢弘・今井重利・毛受貞久・安田祐作 (1968) : 鉄道技術研究報告, No. 630 (施設編第271号), pp. 1-61.
- 関信雄・堀伸三郎・成田賢 (1980) : 柳谷地区岩盤斜面の崩壊予測, *応用地質調査事務所年報*, No. 2, 28p.
- 土屋智・大村寛 (1989) : 斜面崩壊時刻の予測法と適用結果について, *地すべり*, Vol. 26, No. 1, pp. 1-8.
- 渡正亮・竹林征三・松田六男 (1977) : 真名川ダムの原石山切取法面崩壊の特性, *地すべり*, Vol. 13, No. 4, pp. 1-10.
- 渡正亮・小橋澄治 (1987) : 地すべり・斜面崩壊の予知と対策, *山海堂*, pp. 41-46.
- 山田剛二・小橋澄治・草野国重・久保村圭助 (1970) : 飯山線高場山トンネルの地すべりによる崩壊, *鉄道技術研究報告*, No. 706 (施設編第304号), pp. 1-51.

(原稿受付2006年6月8日, 原稿受理2006年8月25日)

4. 監視と予測

Monitoring of landslide movement and forecasting of slope failure occurrence

木村隆俊／(株)アイエステー

Takatoshi KIMURA／Institute of Slope Technology Co., Ltd.

横山 昇／(株)アイエステー

Noboru YOKOYAMA／Institute of Slope Technology Co., Ltd.

4.3 警戒避難基準

4.3.1 警戒避難基準値の設定方法

土砂災害全般についてのリスクマネジメントについては、亀田ら（2002）が現状と今後の課題について検討を加えており、斜面崩壊のリスク評価に関しては降雨強度と斜面崩壊の発生確率について検討し、リスクマネジメントが行われている。一方、地すべりについては、降雨に連動するものとそうでないものがあり、一概に降雨強度でリスク評価を行うことはできない。また、地すべりの運動特性は、緩慢な動きの中で運動速度の増減を繰り返しながら進行していくことが多く、崩壊等の他の土砂災害に比べて保全対象への影響が長期に及ぶ代わりに、計器による監視が十分に行えて、地すべり崩壊が発生する場合の予知・予測が行える場合がある。

地すべりの警戒避難については、地すべりがおおきく変動し最後に地すべり崩壊が発生する兆候を把握し、崩壊が発生する前に避難を実施することを目的とする。このためには、次の3段階の手順を踏むことが必要である。

- ①地すべりが発生した後、適切な位置に設置した計器でモニタリングを実施すること。
- ②モニタリングで地すべりの通常時の状況を分析把握すること。
- ③地すべりが定常状況から逸脱した場合に、迅速にその状況を把握・分析し、地すべりが今後どのような挙動をとるか的確に予測すること。

また、これらの手順を踏んで警戒避難体制を確立するためには、管理基準に段階を設けて、その基準値をあらかじめ設定しておき、モニタリングによって得られたデータに基づいて各管理段階に応じた体制をとる必要がある。したがって、警戒避難基準と警戒避難体制は、一組のものとして確立しておく必要がある。

警戒避難体制については、今回の講座で詳細に述べるので、今回の講座では管理基準値とその設定事例について述べる。

道路土工 のり面工・斜面安定工指針（1999）によると

「かなり活発な地すべり運動が発生していると判断するための変動量の目安として、

- (a) 伸縮計で1 mm/日以上が10日間連続

- (b) 伸縮計で1 cm/日以上が2日以上連続

- (c) 地盤傾斜計で1週間の累積傾斜量（継続累積）100秒以上

- (d) 地盤傾斜計で1週間の平均傾斜変動量が30秒/日」が記載されている。

「また地すべり地内への立ち入り制限を行う目安として

- (e) 伸縮計で2 mm/時以上が2時間以上継続

- (f) 地盤傾斜計で傾斜量の累積が認められ、かつ1日の最大傾斜量が100秒以上」

としている。

以上のように、伸縮計と地盤傾斜計を地すべり変動監視の計器として用いているが、最近発生した地すべりでは、伸縮計、GPS（global positioning system）、光波測距儀（total station system, etc）などの移動量を直接測定する計器での監視が多くなってきている。これは、計器の測定精度と信頼性が向上したためであり、地盤傾斜計は、地面の傾斜変化を計測する計器では、直射日光や降雨の影響により局部的に地面が傾斜変化を生ずる場合があり、誤報を生じることがあって、信頼性が低いと考えられる。

過去に発生した地すべり崩壊事例や、前講座の4.2で記述した地すべりの崩壊予測の方法も参考にすることが肝要である。

地すべりに対する管理基準は、多くは次の3段階に区分されている。

- ①注意体制：注意体制は、地すべりが変動し始めたり定常状態から逸脱しそうになったときにとる体制で、通常よりもモニタリングの頻度を上げたり計器の数を増やして地すべりの挙動監視を強化する。

- ②警戒体制（避難準備体制）：地すべりの移動速度が増加し、崩壊が発生する可能性が高くなった段階で、専門家によるモニタリングデータの吟味を厳密に実施し、危険度の判定を行う。

- ③避難体制：地すべりの移動速度が大きくなり、地すべり崩壊が予測されるようになって、住民の避難や、地すべり地内への立ち入りも禁止、道路の通行止め、並びに2次被害についても対応をとる。

これらの管理基準値を設定するために、過去の事例で、

崩壊した地すべりの移動量から求めた移動速度等を一覧表にして表-4.3.1に示す。この表によると、変動が認識されてから計測が行われた地すべりでは以下の通りである。

- ①定常移動速度（変位が一定速度で推移している状態）：0.04mm/hから1.65mm/h程度。これより大きな値を示している地附山地すべりは、計測は最終段階で行われているため、またくろしお鉄道はいきなり3次クリープに入ったためと思われる。
- ②3次クリープの始まり（速度が増加し始めた時のひずみ速度）：1.5mm/hから7mm/h程度。
- ③3次クリープから崩壊発生までの残り時間（避難基準の2mm/hを超えたところから地すべり崩壊が発生するまでの残り時間）：20時間から1000時間

一般的にいわれている、警戒避難基準の2mm/hまたは、4mm/hと3次クリープの始まりとほぼ一致しておりこの基準は、妥当な基準として考えることができる。

また、一般的な傾向として、大規模な地すべりでは崩壊までの残り時間が長く、小規模な地すべりほど残り時間は短い傾向がある。

しかしながら、地すべりは表-4.3.1に示すように崩壊までには様々な変動速度を示し、地すべり崩壊が発生するまでの時間は、地すべりの斜面勾配、地すべりの規模、すべり面の形状、地質状況や、地下水状況の影響を受け、長くなったり、短くなったりすることがあるので、管理基準値は地すべりの特性をよく検討し、有識者による現地踏査結果を踏まえた意見を取り入れて決定する必要がある。

4.3.2 警戒避難基準値の設定事例

地すべり災害警戒避難の対象は、住民、道路通行、鉄道運行、ダム試験湛水、地すべり対策工事施工中（調査観測含む）の安全管理などがある。また、地すべり変動の監視についても地盤伸縮計、地盤傾斜計、地中伸縮計、孔内傾斜計などの様々な変位測定や地下水位、降雨量が用いられている。ダムの試験湛水時の監視の場合を除くと、これらの計器の内、地盤伸縮計、GPS、光波測距儀等の変位量（変位速度）を測定する計器と降雨量で地すべりを監視している場合が多く、さらに移動量は時間あたりの移動量（移動速度）として監視されており、降雨量は、時間あたりの降雨量（降雨強度）と連続降雨量で監視されている。

警戒避難基準は、住民、道路通行を対象とした場合には、①注意体制、②警戒体制（避難準備）、③避難の3段階に区分して設定されている場合が多い。公表されている資料から、それぞれの地すべりについて、警戒避難基準値を一覧表にして、表-4.3.2に示す。この一覧表では、ダムの試験湛水の場合を除くと、管理基準値は伸縮計と雨量計（大雨注意報・警報を含む）で設定されており、伸縮計の場合、2mm/hで注意体制、2～4mm/hで警戒体制（避難準備）、2～10mm/hで避難となっている。仙山峠では、道路の通行止めの措置のみであるので、40mm/hとなっている。

また、計器による観測では、計器異常や測定異常により大きく変動したように見える場合があるが、これらの異常があるか否か現地の確認を必ず行い、斜面の変状であることを確認した後それぞれの体制をとる必要がある

表-4.3.1 崩壊した地すべりの挙動一覧

地区名	定常移動速度 (mm/h)	2mm/hを超えてから崩壊するまでの残り時間(時間)	4mm/hを超えてから崩壊するまでの残り時間(時間)	移動速度が加速を始めたときの速度 (mm/h)	崩壊した時に計測されていた移動速度 (mm/h)	文献
大塔村宇井	0.04	45.36	19.20	1.48	17.35	藤澤ら (2004)
地附山	5.08	187.37	180.17	18.03	89.75	川上 (1986)
くろしお鉄道	2.71	36.70	23.36	4.60	54.1	高柳・細川 (2004)
バイオントダム	0.04	168.72	31.44	2.01	6.28	D.Sornette et.al (2003)
柳谷地すべり	1.74	166.32	73.68	3.44	88.80	関ら (1980)
La Clapière	0.54	1094.40	537.60	1.76	7.57	D.Sornette et.al (2003)
Chuquicamata 鉦山	1.02	794.64	571.68	7.10	15.78	B.Voight, B.A.Kennedy (1984)
高場山	1.65	182.15	65.71	7.29	30.21	山田ら (1971)
大井川擁壁	0.58	21.85	17.31	5.88	13.76	土屋・大村 (1989)

表-4.3.2 地すべりの警戒避難基準の例

発生年	地区名	場所(発生当時)	崩壊発生	管理基準値			文献
				注意体制	警戒体制(避難準備)	避難	
2004	大塔村宇井	奈良県吉野郡大塔村宇井	有り		S: 2mm/h, 2時間		藤澤(2004)
2004	市瀬	鳥取県八頭郡智頭町	有り	S:2mm/h S:50mm/day R:10mm/h R:35mm/day 大雨洪水注意報 WL:2m(河川水位)	S:2mm/h S:75mm/day WL:3m(河川水位)	S:10mm/h S:100mm/day WL:4m(河川水位)	西土井ら(2005)
2004	大呂	鳥取県八頭郡智頭町	無し		S:5mm/day S:1mm/h 大雨洪水警報	S:10mm/day S:2mm/h R:20mm/h	丸毛・井筒(2006)
2004	上松	長野県長野市	無し	R:10~15mm/h R:累計50mm 大雨注意報・警報	S:4mm/h R:16~25mm/h R:累計70mm	S:4mm/h 2回 R:16~25mm/h R:累計70mm	原・藤井(2005)
2003	錦ヶ浦	静岡県熱海市熱海	無し	S:2mm/h	S:2mm/h 2回 R:15mm/h R:60mm		藤澤ら(2004)
2003	くろしお鉄道中村線	高知県窪川郡佐賀町	有り	S:2mm/h以下3時間	S:2mm/h		高柳・細川(2004)
2003	仙山峠	島根県太田市・多伎町仙山峠	無し	S:2mm/h R:30mm/day R:連続100mm	S:10mm/h	S:40mm/h (通行止めの基準)	山根(2004)
2002	横平	富山県上新川郡大沢町寺津	無し		S:10mm/day	S:4mm/h IC:10mm/h	石橋(2004)
1999	下石川	長野県長野市	無し	S:1~4mm/h R:10~20mm/h	S:4mm/h R:20mm/h R:連続80mm	S:10mm/h R:30mm/h R:連続130mm	土屋・白石(2004)
1993	落シ	富山県東砺波郡庄川町	無し	S:変動発生 R:20mm/h R:30mm/3h R:50mm/day R:連続80mm	S:4mm/h S:2mm/h, 3時間 R:30mm/h R:60mm/3h R:100mm/day R:連続200mm		富山県(1997)
1990	松尾	福岡県八女郡立花町	無し	S:1cm/day	S:2mm/h	S:4mm/h R:連続100mm	福岡県(1992)
1987	山際	大分県日田郡大山町	無し		S:4mm/h S:20mm/day R:20mm/h R:50mm/3h R:連続80mm		大分県(1990)
1979	柳谷	愛媛県上浮穴郡柳谷村	有り		S:20mm/day S:2mm/h R:連続50mm	S:4mm/h R:連続100mm	堀ら(1986)
2003	大滝ダム白屋	奈良県吉野郡川上村白屋	無し		S:10mm/day 気象警報	S:2mm/h, 2時間	大滝ダム(2003)
2000(※)	宇奈月ダム	富山県下新川郡宇奈月町	無し	K:10秒/day以上 or 5秒/day 3日連続同一方向 IC:0.5mm/day or 0.2mm/day 3日連続同一方向 LC:明瞭な荷重増加 SS:明瞭なひずみ増加 and 累積変動 VS:K計, IC計とともに明瞭な引張り変動が生じる			長谷川ら(2003)
1989(※)	寒河江ダム	山形県寒河江市・西村山郡西川町	無し	K:3日連続5秒/day 一定方向へ累積 K:1日だけでも10秒/day(累積が必要) VS:3日連続 1mm/day(引張り累積)			中村(1989)

S:地盤伸縮計,R:雨量計,WL:河川水位,K:地盤傾斜計,IC:孔内傾斜計,LC:アンカー荷重計,SS:鋼管杭歪み計,VS:垂直伸縮計
(※) 試験湛水の年

(図-4.3.1)。

通常地すべりが発生した後、変動状況に応じ、かつ各々の現場状態を踏まえて、警戒避難基準は設定されている場合は多いがそれぞれの体制の解除について設定されている場合は少ない。地すべりの場合、変動機構により何らかの要因で変動速度の増加に、息をつくような場合も時々見られることがあるので、それぞれの体制の解除は慎重に行う必要がある。出来れば、有識者による現地確認調査結果を踏まえ、応急対策の進捗状況も考慮し

て解除措置を執ることが望ましい。

現在の技術では、計測は自動で実施できるようになっており、データをリアルタイムで把握できるようになっているので、地域住民に対して地すべりの状況をインターネットで開示することも可能である。また、情報公開の観点から出来るだけデータを開示して、管理者と住民がともに同一データで地すべりに対して適切な対応がとれるようにすることが望ましいと考えられる。

以下、表-4.3.2に記載した各地区の特徴や、管理基

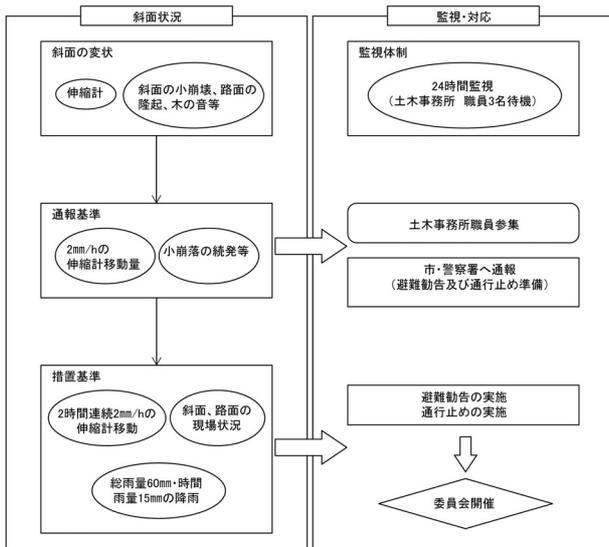


図-4.3.1 地すべり監視体制の例

準値の特性について述べる。

1) 奈良県大塔村宇井地区

大塔村宇井地区の地すべりは、国道168号と山林の斜面で発生した地すべりで、近くに人家が無く、地すべりが発生しても直接人家に影響がなかった。このため、地すべりが大きく変動しそうになった場合、国道を通行止めにすれば、人的被害が発生しないと判断し管理基準値を、通行止めにする基準として設定したため、警戒態勢のみの設定となっている。

2) 市瀬地区

市瀬地区は、地すべりの末端部に千代川が流れており尚かつ狭窄部になっている。最初に発生した地すべりでは、崩壊土砂が千代川の狭窄部に達して、天然ダムを形成し、上流部の地区（人家、道路、鉄道等）が浸水する被害を生じた。このため、管理基準値として、地すべりの移動量を計測する、地盤伸縮計とGPS以外に、河川水位についても設定している。この地区では、地すべり地内に人家は存在しないが、地すべりの崩落により再び天然ダムが形成される可能性があったため、これらのことから、管理基準値には、伸縮計の変動量（変位速度）だけでなく、降雨による基準も取り込まれている。また、計測データはリアルタイムで処理し、インターネット上で誰でも、どこからでもアクセスできるシステムが導入されて、地域住民の安心が得られるようになっている。

3) 大呂地区

大呂地区では、斜面最下部に北股川と、これと平行して主要県道津山智頭八東線が通っている。地すべりは、河床から約360m上方の尾根筋に位置し、尾根を跨いで高さ2～3mの滑落崖が発生している。また、地すべりが滑落した場合には、北股川天然ダムが形成され、その決壊により下流域に氾濫被害が発生することも考えられた。これらのことから、管理基準値には、伸縮計の変動量（変位速度）だけでなく、降雨による基準も取り込ま

れている。これらの状況から、地すべりの自動監視・観測システムが導入され、主要箇所には携帯電話による音声通報と、計測データのインターネット配信を実施して、データは何処でも、誰でも閲覧できるようにしている。

4) 上松地区

上松地すべりは、地すべり末端部に一級河川浅川が流れており、地すべり頭部には民家が存在している。地すべりが崩壊した場合には、浅川の河道閉塞が発生し、その越流決壊により下流域に土石流被害が生ずることも想定された。このため、管理基準値には、伸縮計の変位量（変位速度）以外に、降雨量も取り込んでいる。

5) 錦ヶ浦地区

錦ヶ浦地区は、熱海海岸沿いの熱海市内に位置し、伊豆半島に向かう唯一の国道135号（交通量：昼間12時間で15,000台）が通り観光旅館やリゾートマンションが林立している。

この地区での管理基準値は、表-4.3.2に示すとおりであるが、避難・通行止めの基準に達すると専門家による委員会を実施して、地すべりの状況を判定することになっていた。幸いにもこの地すべりは、応急対策として地下水排除工と押し盛土が実施され、当初20～30mm/日の変動量であったものが、3～5mm/日の変動速度に押さえられ、その後グラウンドアンカー工による恒久対策で地すべりは安定化した。

6) くろしお鉄道中村線土佐佐賀地区

トンネル坑口付近で発生したこの地すべりは、斜面勾配は約45°で、極めて急峻であるため、亀裂発見からわずか7日間で崩壊してしまった。この地区は、幸いにも鉄道路線であったため、8日朝から通行止めの措置が執られており、人的被害はなかった。

この地すべりのすべり面深度は8mで崩壊土量は約5,000m³であり、地すべりとしては規模が小さかった。このような小規模の地すべりで、すべり面勾配が急なものは、崩壊までの時間が短く、警戒・避難に対して注意が必要である。

7) 仙山峠地区

仙山峠地区は、鳥根県太田市と多伎町の境界に位置し、国道9号の切り土斜面に発生した地すべりである。この地すべりにより、国道9号は片側交互通行規制の規制を実施し、隣接民家の住民が避難する事態となった。地すべりの規模は、幅約50m、奥行き約50m、移動層の層厚は5～6mですべり面の勾配は約10°と緩やかであった。この地区では、2mm/hのほぼ一定の変位速度であったこと、主要な国道で常時監視が出来ることから、注意体制を2mm/hとし、警戒体制を10mm/h、通行止めを40mm/hと比較的大きな値としている。またここでは、通行止めを解除する基準も設定しており、4mm/h以下になると注意体制に移行するように監視基準を設定している。

8) 横平地区

富山県の横平地区は、神通川に面した急峻な斜面とその上部に緩やかあるいは、平坦な稜線部から形成されており、尾根末端部の幅170m、長さ180mの規模の地すべりである。地質は、中生代の手取層群の砂岩、泥岩、礫岩の互層が分布している。この地すべりでは、地すべり対策工施工中の安全管理のために表-4.3.2に示すような管理基準値を設定している。この地区では、工事の安全管理を主眼としているので、注意体制の基準値は設定されていない。ただ、工事中の異常把握のために対岸に超高感度カメラを設置して既設の光ケーブルを介して関係する機関にリアルタイムの映像を配信して監視することを併用していた。

9) 下石川地区

長野市の下石川地区は、傾斜15°程度のリング畑に発生した地すべりで、その規模は、幅100m、長さ180mであった。この地すべりでは、地すべり地内に通学路があり、地すべりの上部斜面には特別養護老人ホームがあることから、注意体制は1~4mmに設定されており、1日3回の定時パトロールを実施することとなっていた。警戒体制では、2時間おきのパトロールを実施し、同時に避難準備をすることとした。

この地区では、通学路を通り生徒や、老人ホームの住人など災害弱者が近くにいるため、細かな体制が設定され、安全管理が実施された。

10) その他の地区

表-4.3.2に記載しているその他の地区は、主に地すべり対策工を実施するための基準として警戒避難基準が設定されていて、移動速度や降雨量について基準を設けている。

11) ダム関連の地すべり

ダム関連の地すべりは、試験湛水時や、初期の運用時の管理基準として設定している。特に水上昇時や、下降時に地すべりの兆候があるか否かを早く把握する必要がある。このため、地すべりの監視に対しては様々な計器を配置し、地すべりの兆候が認められた場合には、ダム水位を一定に保持するようにしている。したがって、管理基準値は注意もしくは警戒体制のみ設定されている。

4.3.3 まとめ

前回と今回の講座で、地すべりに対する監視と予測について述べてきたが、モニタリングについて、適切な場所で計測が実施されている場合には、地すべりの崩壊予測はかなりの精度で行うことが出来、また管理値を適切に設定すれば、崩壊前に警戒・避難を行えることを示した。

また、最近になって技術の進歩とともに、インターネットによるデータの配信が可能となり、情報公開により管理者と地域住民がデータを共有することにより、共同し

て地すべりに対して取り組むことがふさわしい。また、現実に数例の情報公開を行っているところもある。

今後ともこのような例が増えることを祈りつつ、今回の講座を終える。

参考文献

- Barry Voight, B. A. Kennedy (1984) : Rockslides and Avalanches, 2, Chapter 17, Slope failure of 1967-1969, Chuquimata Mine, Chile.
- D. Sornette, A. Helmstetter, J. V. Andersen, S. Gluzman, J. R. Grasso, V. Pisarenko (2003) : Towards Landslide Predictions : Two Case Studies, arXiv : physics/0305067 Vol. 16, pp. 1-30.
- 藤澤和範・武田晴夫・原田敏雄 (2004) : 地すべりの監視と応急対策, 基礎工, Vol. 32-9, pp. 19-23.
- 藤澤和範 (2004) : 近年の地すべり災害の特徴とその対応, 土木研究所資料, 第3947号, 2004. 10
- 福岡県 (1992) : 松尾地すべり, 福岡県八女土木事務所, pp. 502-510.
- 原義文・藤井隆男 (2005) : 長野県における平成16年災害と警戒避難, 2005年地すべり学会シンポジウム
- 長谷川隆・小野慎吾・松本敏・細谷健介 (2003) : 宇奈月ダム貯水池周辺斜面における計測管理の問題点と今後の展望, ダム技術, No. 202, pp. 34-43
- 堀伸三郎・成田賢・関信雄 (1986) : 一般国道33号柳谷地区斜面崩壊の予測, 地質学論集, Vol. 28, pp. 259-272.
- 石橋克彦 (2004) : 横平地区地すべり対策事業-大規模岩盤地すべりの対策と監視体制-, 土木技術, Vol. 59, No. 9, pp. 49-55.
- 亀田雄二・低引洋隆・小橋澄治・水山高久 (2002) : 土砂災害におけるリスクマネジメント, 平成14年度砂防学会研究発表会概要集, pp. 164-165.
- 川上浩 (1986) : 1985年長野市地附山地すべりの災害調査研究, 信州大学工学部土木科, pp. 1-158.
- 丸毛裕治・井筒宏明 (2006) : 大呂地すべりに関する検討, 第45回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 13-16
- 中村昌 (1989) : 寒河江ダム地すべりモニタリング計画, ダム技術, No. 31, pp. 39-48.
- 日本道路協会 (1999) : 道路土工 のり面工・斜面安定工指針, pp. 417-418.
- 西土井一宏・渡邊哲二・牧野裕至 (2005) : 千代川水系市瀬地区地すべり (発生機構・警戒避難・その対策), 砂防と治水, Vol. 164.
- 大分県 (1990) : 山際地すべり, 大分県日田土木事務所, pp. 84-85.
- 大滝ダム (2003) : 白屋地区亀裂現象対策検討委員会第1回委員会資料
- 高柳朝一・細川光 (2004) : 鉄道沿い斜面での崩壊予測と危機管理, 第43回地すべり学会研究発表会講演集, pp. 267-270.
- 富山県 (1997) : 落シ地すべり, 富山県福野土木事務所, pp. 26-27.
- 土屋智・大村寛 (1989) : 斜面崩壊時刻の予測法と適用結果について, 地すべり, Vol. 26, No. 1, pp. 1-8.
- 土屋好幸・白石秀一 (2004) : 長野市下石川地区で発生した地すべりの監視と広報, 地すべり学会誌, Vol. 40, No. 5, pp. 59-63.
- 山田剛二・小橋澄治・草野国重・久保村圭助 (1970) : 飯山線高場山トンネルの地すべりによる崩壊, 鉄道技術研究報告, No. 706 (施設編第304号), pp. 1-51.
- 山根裕市 (2004) : 仙山峠地すべり災害における監視体制について, 平成16年度国土交通省技術研究会報告 (原稿受付2006年9月22日, 原稿受理2006年9月27日)

4. 監視と予測

Monitoring of landslide movement and forecasting of slope failure occurrence

山田正雄／国土防災技術株式会社

Masao YAMADA／Japan Conservation Engineers & Co., Ltd.

キーワード：モニタリング，管理基準レベル，警戒避難

Key words：monitoring, control standard level, warning and evacuation

4.4 モニタリングと警戒避難体制

4.4.1 はじめに

地すべり発生直後に地すべりの移動状況を監視する目的で実施される初期動態観測の観測センサーの種類と観測方法については、この講座の4.1節の「初期動態観測」で詳しく述べられている。ここでは、地すべりの移動状況を監視し予測するための長期的なモニタリング方法と警戒避難体制について述べる。当然のことながら、初期動態観測時に導入された観測センサーによる動態観測はそのまま継続して実施される。

長期動態観測のもつ意味は、以下のとおりである。

- ①地すべり移動に対する各種観測機器において設定された管理基準レベルに対して、災害発生の可能性を判断し、適切な警戒避難対策をとれるようにすること。
 - ②情報通信インフラを利用するなど適切な方法で、関係機関および地域住民に災害に関する情報を迅速かつ正確に伝達すること。
 - ③地すべり対策工事等が実施された後の地すべりの移動状況を監視し、対策工の効果判定や地すべりの安定度を評価すること。
- にある。

4.4.2 モニタリングのための観測センサー

観測センサーには、地表伸縮計，地中変位計，パイプ歪計，地盤傾斜計，孔内傾斜計，雨量計，地下水位計等種々のものがあるが、警戒避難対策に関連する管理基準値の設定に用いられる観測センサーは、地表伸縮計を必須として、その他のセンサーとの組合せで用いられることが多い。

地表伸縮計が必須のセンサーとして用いられるのは、既往の地すべり災害で地表伸縮計が使われ、クリープ理論による崩壊予測に対する技術的信頼性が高いからである。地すべりの場合、間隙水圧の上昇により地すべり移動が発生するため、一般に山腹崩壊よりも崩壊に至るまでの時間が長く、クリープ理論による崩壊予測が可能な場合が多い。そのため、地表伸縮計において、定常ひずみ速度と崩壊までの余裕時間を考慮して、注意、警戒、避難の定常ひずみ速度が設定されている。

管理基準値の設定手法については、この講座の4.3節の「管理基準値」で詳しく述べられているので、そちらを参照されたい。

なお、地中伸縮計や孔内傾斜計は地表伸縮計に比べて地すべり移動量が小さく得られるため、管理基準値設定および警戒避難体制の運用の際注意が必要である（土佐2006）。

4.4.3 地すべり災害における管理基準レベル

表4.4.1は、注意、警戒、避難に対応する地すべり災害における各管理基準レベルに到達したときの地すべり現象の把握、観測データによる判定、情報収集および警戒避難体制の面からの対応例を示したものである。

地すべり土塊が移動することにより、地すべり発生後一時的に地すべりが安定することがよくある。その一方で、その後豪雨、融雪、地震等により、地すべりが再滑動することも十分想定される。このような場合、観測機器による移動量の監視のみならず、クラックや段差の発生、地すべり末端の崩壊、湧水の状況変化等の地すべり発生の前兆現象にも留意が必要である。あらたに亀裂が発生したり、亀裂が拡大したりすることがあり、警戒レベル以前に新たな地表伸縮計の設置が必要となるケースもあろう。また、移動量が大きい場合や二次災害のおそれがある場合には地すべり地外から測距器やCCDカメラにより地すべり全体を常時監視する方法がとられることが多い。

表4.4.1において、管理基準レベルに対応する警戒避難体制の基本的な考え方は以下のとおりである。

レベルⅠは、地すべり地区の現地調査、主要施設の点検を行い、今後の気象状況に、また災害の前兆現象に注視しつつ、監視を継続する。

レベルⅡは、有意な地すべり移動観測に対応する。現地調査、施設点検の対象地区を拡大し、監視員の常駐、定期巡回など、現場状況の把握を継続的に行い、また災害の前兆現象に注視しつつ、監視を継続する。有意な地すべり移動が観測された場合は、地表伸縮計を設置し、移動量データにクリープの方法を適用して崩壊予測を行い、3次クリープ状態と判定されたら第3次体制（現地

表4.4.1 地すべり災害における管理基準レベルの警戒避難時の対応例

項目	管理基準レベルⅠ (注意)	管理基準レベルⅡ (警戒)	管理基準レベルⅢ (避難・立入禁止)
状況	災害発生可能性がある状態	災害発生の可能性がより大きい状態	災害発生が予測される状況
地すべり現象等の留意事項	地すべり発生の前兆現象の把握 ・クラック、段差の発生 ・地すべり末端の崩壊 ・構造物の変形破損 ・地表水の濁り、減少 ・湧水の発生、湧水の枯渇 ・川の濁り	地すべり現象拡大の把握 ・クラック、段差の拡大 ・滑り崖、陥没帯の形成 ・地すべり末端の押出し等 ・地鳴り	地すべり現象拡大の把握 ・地すべり土塊のクリープ移動
レベル判定の確認事項	・計器観測データの吟味、判定	・計器観測データの吟味、判定 ・地表伸縮計の設置	・計器観測データの吟味、判定 ・3次クリーブによる地すべり移動量の予測 ・専門委員会招集 ・避難勧告判定
情報収集および体制	調査・点検行動 ・異常が発生した地区の現地調査 ・主要施設の点検 ・監視継続 ・住民からの通報	調査・点検行動 ・全地区の現地調査 ・全施設の点検 ・監視常駐 ・定期巡回 ・情報収集 ・住民への情報伝達 ・住民への情報伝達 ・避難準備	・災害発生想定箇所のチェック ・情報収集 ・CCDカメラによる監視 ・住民への情報伝達 ・避難誘導の準備 ・避難勧告

対策本部設置)に移行する。また気象状況や川の増水状況、地震の発生状況から判断して今後災害発生の可能性が想定される場合には情報収集しつつ避難の準備も行う。

レベルⅢは、確実な地すべり移動の観測に対応する。この段階では、地すべり専門家による委員会を招請し判定を行うのが望ましい。地すべりが3次クリーブ段階に入っていると判定された場合は、算出された崩壊余裕時間から避難のための余裕時間を考慮して避難命令を発令する。また気象状況、溪流の増水状況、氾濫状況、道路損壊状況、地震の発生状況から判断して今後大きな災害発生の可能性が想定される場合には情報収集しながら、レベルⅢ時点ではいつでも避難できるような状態になっていなければならない。

注意点として、自動観測システムのセンサー選定、設置作業にあたっては最善の努力を払っているが、センサー類はあくまで機械であり、動植物や人為による誤ったデータを判定してしまう可能性は否定できない。このため、管理基準値を超過してレベルⅠ～Ⅲが判定された場合には、誤ったデータかどうかを、必ず人間が確認を行うべきである(藤本他2004)。したがって地すべり発生までの自動観測システムによるレベル判定時の確認が必要である。点検の方法は次のとおりである。

①データの確認：データ表示・監視装置のグラフを参照、突発的な異常値か否かを判断

②点検調査：レベル判定されたセンサー点検等がある。

4.4.4 情報収集および警戒避難体制

地すべり管理基準値については、地すべり移動量の増大にともなってレベルⅠ、Ⅱ、Ⅲの順に低次から高次へと推移することが予想され、対応する側も順を追って各体制を確立していくことになる。

地すべりの場合、一般に移動速度が大きくなるまでの時間的余裕がある場合が多く、地すべり現象が確認され

た時点で地表伸縮計を設置し、地すべり専門家を参集して地すべり移動量から崩壊時間・崩壊余裕時間を算出し、避難開始時刻の検討がおこなわれる。

また、地すべりは降雨が誘因となって発生することが多く、早めの体制確立には今後の雨量等の傾向をリアルタイムで把握することが不可欠であり(牛山2004)、「気象情報」の収集が重点的な項目となる。このとき各レベル管理基準値に達するであろう予想時刻に加えて、一連の降雨の総量がどの程度になるか、いつまで続くのか、という見通しのもとで行動することが求められる。各管理基準レベルに対応する情報収集と警戒避難における留意点は以下のとおりである。

1) レベルⅠの場合

- ・地すべり管理センターに代表者を派遣する。
- ・管理センターを拠点として、第1次体制(現地点検・情報収集)をとる。
- ・地すべりの現地点検は、異常が検知されたブロックに特定して地表踏査と施設点検を行う。
- ・危険度判定を行い、次の体制を決定する。

2) レベルⅡの場合

- ・管理センターに要員を増強し、第2次体制(点検・情報収集強化)をとる。
- この段階では地すべり専門家を参集する。
- ・異常発生ブロックに伸縮計を設置し監視するとともに、点検対象を拡大し、上下・隣接するブロックについても地表踏査・施設点検を行う。
 - ・地表伸縮計を設置し、移動量の監視を行う。
 - ・関係各機関相互および各組織内外の連絡体制を強化する。
 - ・専門家による危険度判定を行い、次の体制を決定する。この段階においては、気象情報を参考に、避難準備時間を含めて対策本部設置の必要性を検討する。

3) レベルⅢの場合

- ・管理センターに現地対策本部を設置する。
- ・関係各機関相互および各組織内外の連絡体制を強化し、市町村を通じて迅速に避難指示が伝達されるよう情報伝達手段の確認を行う。
- ・専門家による危険度判定を行う。この段階では、3次クリーブによる移動量予測を行い、気象情報を参考に、避難開始時刻について検討を行う。

地すべりの警戒避難体制のフローチャートの例を図4.4.1に示す。

4.4.5 モニタリングシステムに求められる性能

地すべり移動状況をモニタリングするシステムに求められる性能には以下のような機能を有している必要がある。

①観測センサーから定時的または任意の時刻に移動量や水圧等のデータを収集するデータ収集機能

②観測される移動量や水圧等のデータを一次加工し、各管理基準レベルを超えているかどうかを判定するための演算・判定機能

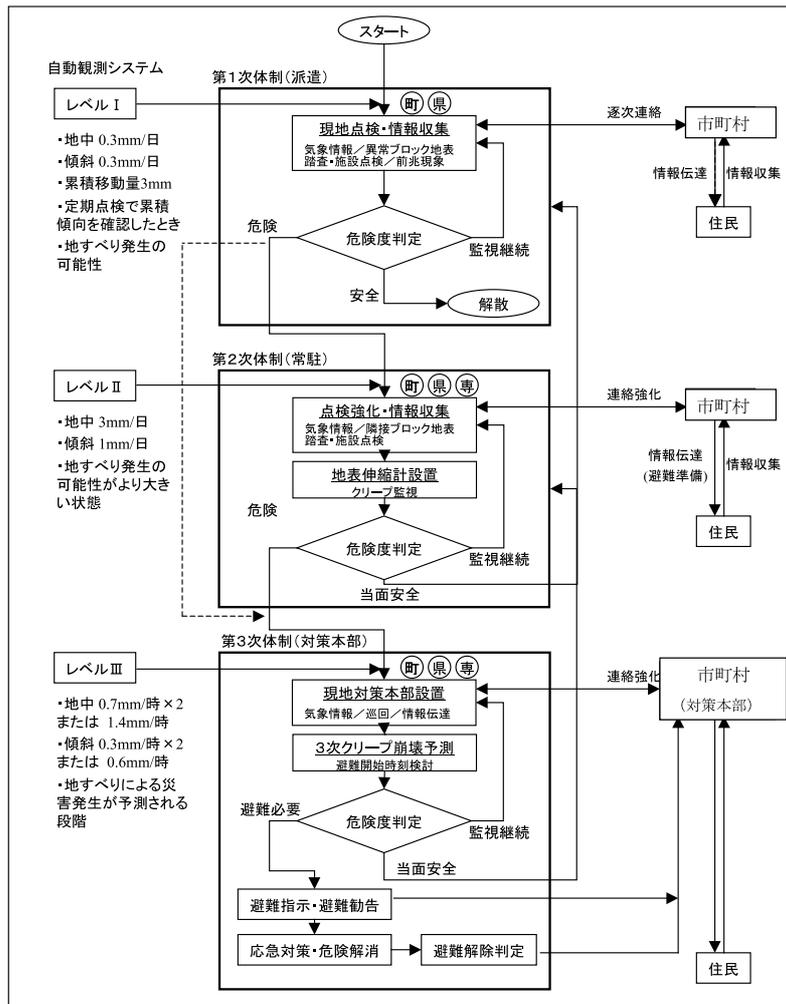


図4.4.1 地すべりの警戒避難体制フロー

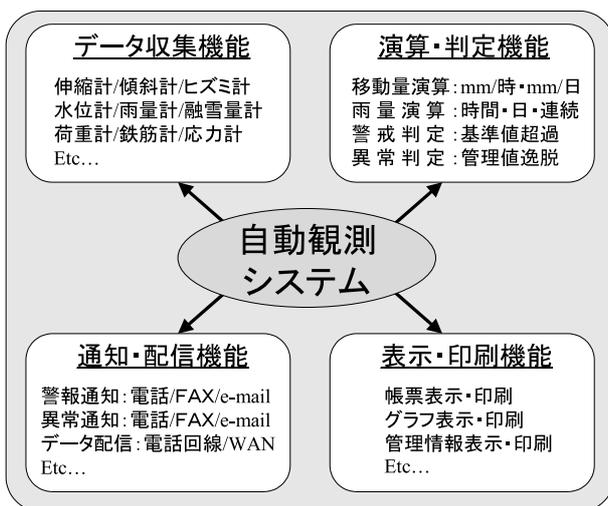


図4.4.2 モニタリングシステムの基本機能



図4.4.3 観測機器の位置表示

機能

③一般公衆回線（アナログ），ISDN回線（デジタル），専用回線を用いて，移動量や水圧等のデータや判定結果を配信したり，音声やFAXで警報や異常を通知する機能

④観測データをリアルタイムで画面にグラフ表示したり，日報・月報・年報等の帳票を印刷する等の印刷表示

図4.4.3に示すように，地すべりブロックや観測機器・ボーリング孔の位置を平面図に地理的情報（GIS）として表示することにより，観測機器の位置を把握することが容易であり，異常データやそのときの気象データの履歴等を属性データとして登録，表示することが望ましい。また，観測データをグラフ表示する場合，図4.4.4に

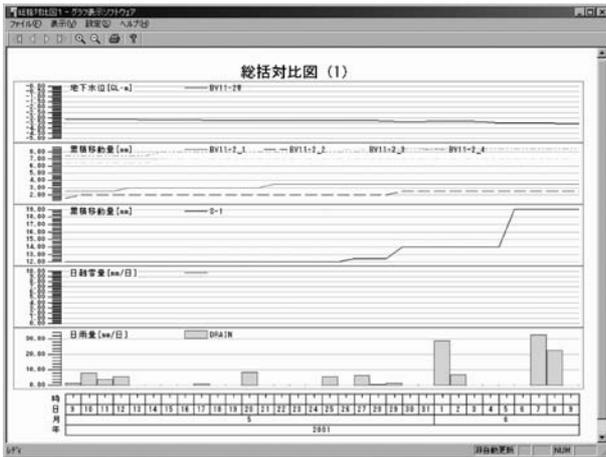


図4.4.4 観測データのグラフ表示

示すように、現場の状況に応じて、観測センサーの最適な組合せ・表示期間で表示する等の工夫も必要である。

4.4.6 情報の収集・伝達およびデータ共有の事例

図4.4.5は静岡県由比地すべり自動観測システムの構成を示したものである。

この地すべり自動観測システムを例にとり、緊急時のデータ情報の伝達と情報公開について説明する。

(1)自動観測システムからの緊急通知

雨量計・地中伸縮計・孔内傾斜計・間隙水圧計データは「静的データ収録・転送装置」から、地震計の加速度データは「動的データ収録・転送装置」から、それぞれISDN回線を通して静岡県中部農林事務所へ転送され、

データベース装置に蓄積される。

異常判定は、同じくデータベース装置にて蓄積と同時に管理基準値と観測データとの比較を行い、異常と判定されれば「データ表示・監視装置」に接続されたアナログ回線 (NTT一般公衆回線) を通じて、音声またはFAXによる緊急通知を行う。またインターネット経由の電子メールによる異常通知も可能になる。

電話・FAX通報は、一般公衆回線網を利用するため同報通知ではなく順次通報となるが、通報先箇所数に制限はなく複数の機関に自動伝達することが可能である。システムからの自動通知は、携帯電話でも着信することができる。

なお自動観測システムは常に稼働しており、緊急通知は24時間体制となっている。

(2)夜間・休日の連絡方法

システムから緊急通知を受けた場合、関係する各機関 (必要に応じて専門家) は原則として「地すべり管理センター」に集合し、①～④の課題に対して、各レベルに応じた第1次～第3次体制をとる必要がある。

- ①自動観測システムからの緊急通知
- ②夜間・休日の参集
- ③夜間の現地調査・情報収集
- ④雨量・地すべりへの夜間対応について

4.4.7 避難命令および避難解除の考え方

(1)避難命令発令基準

避難命令は、既に第3次体制に入り現地対策本部が設置されたときを前提とし、対策本部員および必要に応じ

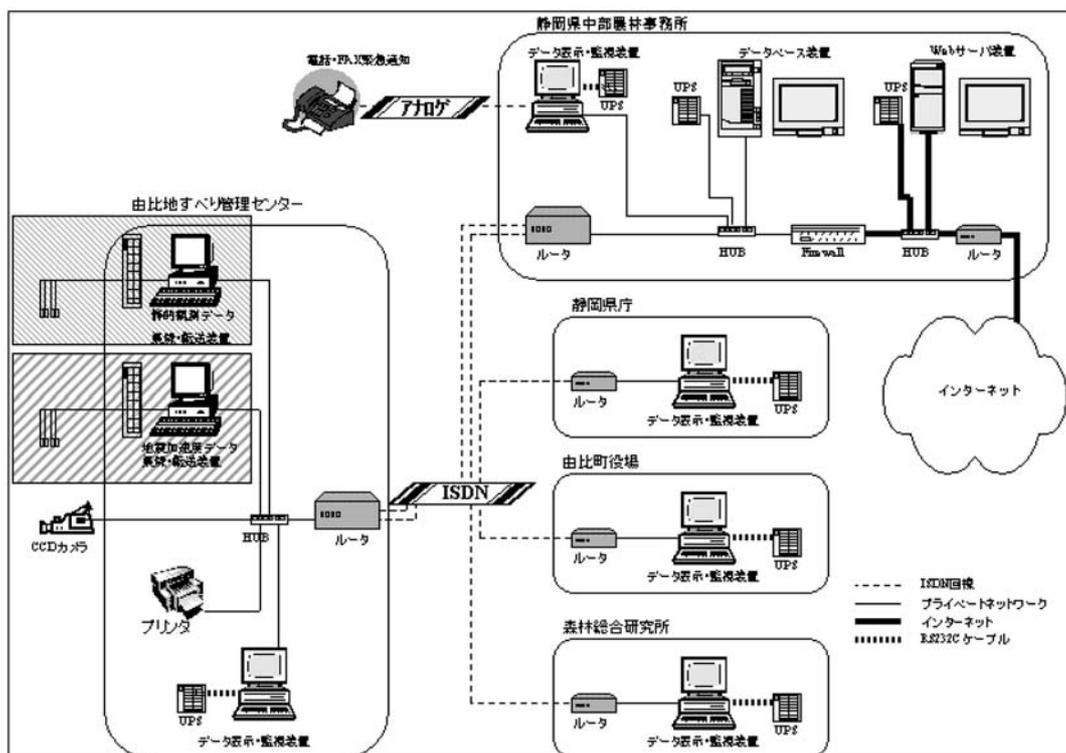


図4.4.5 由比地すべり自動観測システム全体構成図

て専門家の判断によって決定する。避難命令の発令基準について以下に示す。

地すべりは規模（面積・移動土塊）が大きく、一度発生すると広範囲に被害がおよぶ危険性があるが、一般に崩壊・土石流等の土砂災害と比較して土塊移動速度が小さく、前兆現象もしくは地すべり現象が確認されてから崩落・流動化するまでの時間的余裕が確保しやすい。

地すべりに対しては、次の手順により地すべり挙動を監視して避難命令の適否を判断する。

- ①（第2次体制において）新たに設置した地表伸縮計の移動量データを監視する。
- ②地すべり滑動が3次クリープ段階に入ったと判定された場合、崩壊余裕時間を算出し、避難のための余裕時間を考慮して避難命令を発令する。
- ③夕方・夜間にかけて災害発生やレベルⅢ超過が予想されるとき日中に避難できるようにする。

(2) 避難解除発令基準

1) 実際に地すべりが発生した場合は、以下の条件で避難解除を行う。

- ①地すべりが停止し、再滑動の危険性がなくなったことを確認する。
- ②被災地のライフライン（交通、電気、ガス、水道等）が復旧したことを確認する。

2) 地すべりが発生しなかった場合、以下の条件で避難解除を行う。

- ①専門家による調査・検討で、地すべり発生の危険性がなくなったことを確認する。

なお降雨、地震による地すべり再滑動や発生の危険性を専門家によって検討し、必要な場合は第1次～第2次体制を継続する。

4.4.8 平常時の合意形成と準備活動

過去の教訓からも明らかのように、緊急時に警戒避難体制が有効に機能するためには、平常時における関係各機関および地域住民の合意形成や啓蒙活動がなされることが重要である。

(1) 関係機関組織内の合意形成

各検討項目をもとに、各機関においては担当者・担当窓口を決定しておき、異常発生時の対応について事前に体制を整えておく必要がある。

担当者においては、地すべり災害に関する管理基準値レベルと考え方を理解し、管理基準値に到達したとき行政サイドと住民がどのような対応をしたらよいかを理解しておくべきである。

(2) 各機関相互の合意形成

各機関の体制を決定した上で、相互の連絡網を事前に確認する。また人事異動や組織変更が発生する年度替わりには、相互連絡体制を再構築する必要がある。

また定期的に、模擬的に異常発生を想定して「防災訓練」を実施するのも有効であると考えられる。

(3) 行政と地域住民との合意形成

1) 住民への啓蒙活動

平常時から、土砂災害の特性、前兆現象、誘因など土砂災害現象に対する正しい知識をもつことができるように、地域住民に対して土砂災害に関する講習会の開催やパンフレット配布等を行い、災害に対する危険性の認識、緊急時の避難場所や避難経路に関する認識を高めることが望ましいと考えられる。

とくに土砂災害に関して、危険区域や避難場所を具体的に地域住民が認識するためには、土砂災害被害想定区域図（ハザードマップ）の作成・公表が重要な役割を果たすものと考えられる。

2) 情報の相互伝達

緊急時における情報収集と情報伝達は、正しい警戒避難判断のために不可欠である。

「行政→住民」の警戒・避難に関する情報提供、避難指示の情報伝達方法の確立はもとより、「行政←住民」の災害通報など、双方向の情報伝達が有効に機能するのが望ましい。これも平常時における啓蒙活動や防災訓練を通じて、行政と住民との間で醸成していく必要がある。

4.4.9 おわりに

地すべり災害による人的被害の軽減を図るためには、雨量等のリアルタイム情報を利用するとともに、情報の公開が重要である。公開する情報は住民にわかりやすく加工されていることが要求される。そのことが住民を安心させ、ひいては住民の協力を引き出すことができる（藤本他2003）。

情報を住民にわかりやすく伝達する方法として、Webを介して、GIS上に刻々と変化する雨量情報表示と地すべりの危険度および到達範囲等を表示することにより（山田他2005、瀬尾他2000）、情報管理の一元化が図られ、視覚的に警戒避難の判断が行いやすくなる。これらの警戒避難情報は行政担当者だけでなく、住民に迅速かつ正確に伝達される必要があり、情報の共有化が課題となる。

参考文献

- 1) 土佐信一（2006）：現場で役に立つ地すべり工学第7回 4.1 初期動態観測，日本地すべり学会誌，Vol.43，No.2，pp52-56
- 2) 関東森林管理局東京分局（2000）：由比地区地すべり管理基準値検討委員会報告
- 3) 藤本済，小熊友和，土屋好幸，白石秀一（2004）：長野市石川地区で発生した地すべりの監視と広報，日本地すべり学会誌，Vol.40，No.5，pp59-63
- 4) 瀬尾克美，高橋透，荒木義則，古川浩平，水山高久（2000）：GISを用いた土石流警戒避難支援システムの構築，砂防学会誌，Vol.53，No.4，pp30-37
- 5) 山田正雄，井上真悟（2005）：地すべりGISのシステム構築，日本地すべり学会誌，Vol.42，No.4，pp51-62
- 6) 牛山素行（2004）：2003年九州豪雨時のリアルタイム雨量情報の利用，水工学論文集Vol.48，pp439-444
（原稿受付2006年10月2日，原稿受理2006年10月6日）

5. 応急調査・応急対策工の計画

Plan of emergency landslide investigations and mitigation measures

山崎 勉／国土防災技術株式会社

Tsumoto YAMAZAKI／Japan Conservation Engineers & Co., Ltd.

キーワード：調査測線，すべり面調査，地下水調査

Key words：survey control line, evaluation of slip surface, groundwater level measurement

5.1 調査ボーリングと配置計画

ここでは、3章および4章に述べられた地表踏査や初期動態観測結果をもとに、応急対策（工事）を立案するために実施される調査ボーリングと動態観測の配置計画について解説する。

5.1.1 災害基準面の推定

すべり面は、多くの場合、層理面や片理面・基岩上面などの地質的不連続面に沿って形成されている（3.1.2 写真-1）。地すべり地周辺を踏査すると、すべり面と関連する地質や地質構造がみえてくる（3.1.2 図-1）。このような、特にすべり面を規制する面を災害基準面と呼ぶ（写真1）。災害基準面は、それ以深にはすべり面が存在しない面であり、その特性を明らかにすることが、特に調査初期におけるボーリング配置や掘り止め判定に必要不可欠である。

災害基準面が把握できれば、その性状を把握しつつ、横方向に追跡し、その構造を明らかにする。災害基準面を平面図に展開すれば、地すべりの可能性を示す範囲となる。単純な単斜構造の地層からなる平板すべりでは、災害基準面がそのまますべり面となる場合もある（図-1）。

5.1.2 すべり面形の推定

すべり面は、平面と円弧の組み合わせで構成されてい

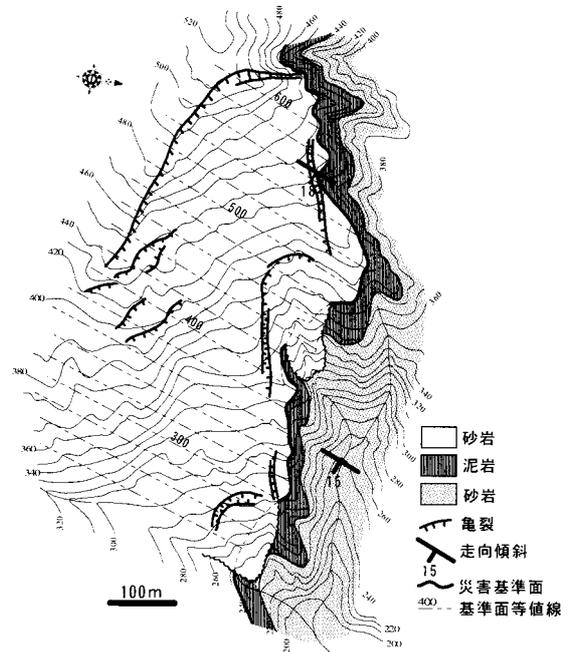


図-1 災害基準面の調査事例

る。すべりの形態により、3.3.1に示すような様々な土塊の変形（回転や並進，引張り・圧縮等）が生じ、地表の立木や構造物には土塊の変形に対応した変化が生じる。これらの地表面現象を丹念に調査し、まずその位置におけるすべり面の形状が円弧か直線かを推定する。

円弧頭部では地盤の傾動・立木の傾倒が生じ、その傾斜角から土塊の回転角が得られる。移動量が把握できれば円弧の半径も推定可能である（図-2）。頭部亀裂の平面分布は馬蹄形状になる。

直線すべり部分では陥没や開口亀裂が発達し、立木や構造物は傾倒しない。またすべり面傾斜と地表面傾斜の関係から地表に生じる側部形状に違いが現れること（図-3）や構造物等の移動角度，側方崖の擦痕の傾斜（3.1.2 写-3），地質構造などからすべり面傾斜に関する情報が得られる。

すべり面の傾斜が変化する部分では地表部に、圧縮亀裂群（すべり面は下に凸）や引張り亀裂群（すべり面は



写真-1 災害基準面の例

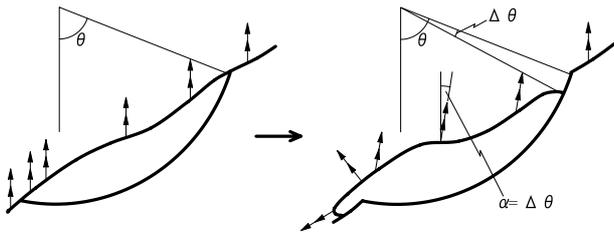


図-2 円弧すべりの回転運動による変形

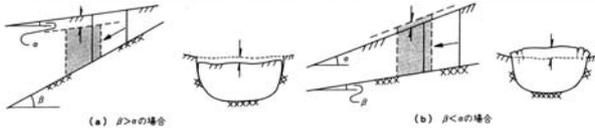


図-3 すべり面傾斜と地表傾斜による変形の違い



写真-2 水田表面の圧縮変形(上)と開口亀裂群(下)

上に凸)が形成され、ときに転倒亀裂などの現象が現れる(写真-2)。

また岩盤すべりの場合では、滑落崖や側方崖は断層や節理などの不連続面の構造を反映していることもある(写真-3)。亀裂面が平面的な構造と考えられる場合には、地表に現れる亀裂分布は図-4に示すように地表面と亀裂面の構造により決まるので、亀裂分布からすべり面の構造を検討することも可能である。

末端や頭部が露出していれば、その位置・構造を必ず計測する。末端や頭部を基準とし、地質構造等を参考に



写真-3 滑落崖を規制する節理系の例

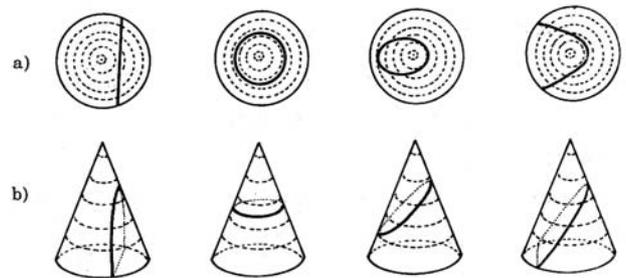


図-4 亀裂面が作る平面と地形との関係

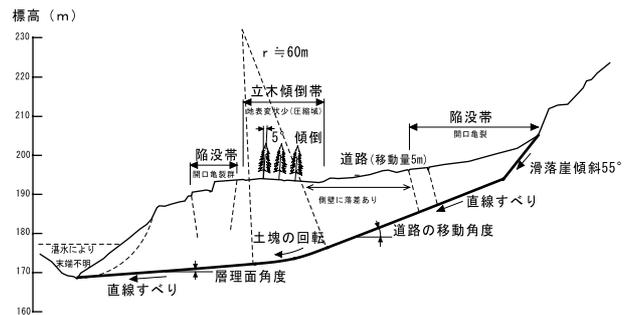


図-5 地表面象によるすべり面の推定事例

し、地表面象をもとに想定したすべり面の形態を想定される傾斜で繋ぐことで想定すべり面が得られる。

5.1.3 測線の設定

(1) 方向の設定

縦断測線の方向は、地すべり移動方向に平行に設定する。移動方向を決定するには、3.1や3.2に示された移動方向の指標となる現象を総合的に判断して決定する。すなわち、すべり面の擦痕・樹木の幹割れ(写真-4)・構造物のずれ・側方亀裂の開口性などで、様々な情報を

収集して移動方向を確定することが重要である。

側方亀裂の開口性では、一方の亀裂が開口で他方が密着している場合には、移動方向は密着した側方亀裂とほぼ平行となり、ともに開口亀裂の場合は両側方亀裂の伸張方向の間で、すべり面の最大傾斜方向となる（3.2.1 図-2）。

災害発生時には、できるだけ初期段階で丁張りなどの簡易な観測機器（4.1 参照）を設置しておくことで、移動方向を推定できる場合が多い。移動量が多い場合は空中写真の比較でも推定が可能となる場合がある（写真-5）。

移動方向はブロックごとに大きく異なる場合があるので、測線の設定にあたって注意しなければならない（図-6）。

(2) 測線配置

調査測線は、地すべりブロックの中央をとる縦断測線・横断測線と、これらの上下左右に副測線を設けた格子状測線を基本とし（図-7）、物理探査や交点での調査ボーリングを実施して解析断面とする。標準的な測線間隔に関する明確な基準はないが、小規模地すべりでは30m前後、中規模地すべりで50m前後、大規模地すべりで50~100m程度を目安にし、後述するボーリング配置（5.1.4）を検討して決定する。

(3) 測線設定の留意点



写真-5 空中写真による指標物の移動判読例

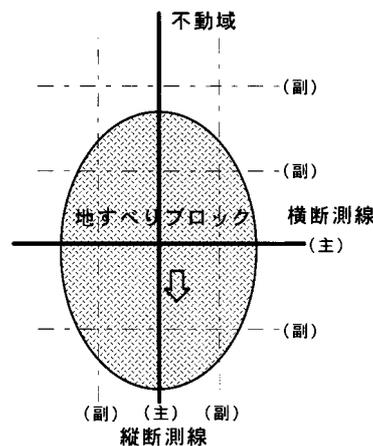


図-7 調査測線の設定



写真-4 亀裂により生じた樹木の幹割れ

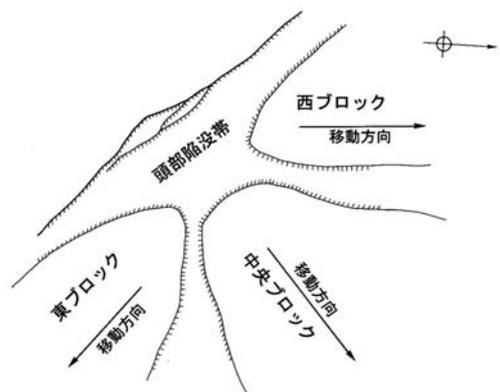


図-6 長崎県平山地すべりの移動方向（申，2000）

応急対策を検討するための調査では、解析に用いる断面は1測線であることが多く、通常は中央の縦断測線を用いるが、次のような場合は注意が必要である。

幅の狭い小規模な地すべりで、二次元解析で検討する場合には、主測線は地すべり土塊の断面積が最も大きくなる位置（最大推力を与える位置）に設定する。例えば一方の側方亀裂にのみ圧縮性の現象が認められる地すべりの場合はその側部寄りに設定する（3.2.1 図-2）。

測線位置により末端の形状や斜面長が大きく異なる地すべりでは、平均的な断面が得られる位置に解析測線を設定する。

冠頂や側部へ地すべりが拡大する恐れがある場合は、地すべりブロック外にも測線を配置する（図-8）。特に災害基準面が冠頭部下などに地すべり地と同様な構造で広がる場合には、その確認と背後斜面の監視を行うため、必ずボーリングを計画する。

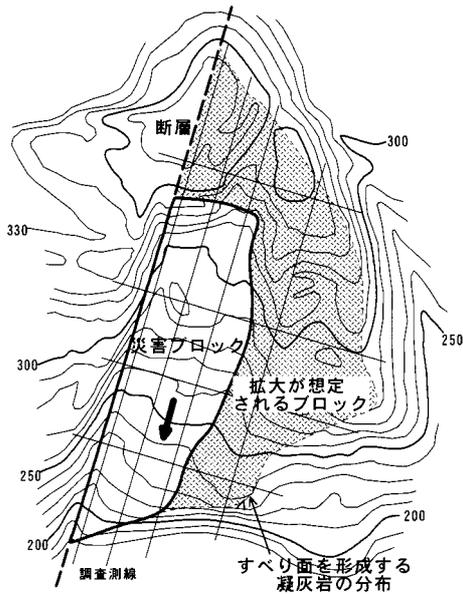


図-8 周辺地域の不安定化が想定される事例

5.1.4 調査ボーリング

(1) 調査位置と優先順位

直線区間や円弧区間のすべり面を決定するためには、少なくとも3点でのすべり面の確認が必要である(図-9)。

そのため、地表面現象から想定されるすべり面形が、標準測線配置により確定できるかどうかの観点から、調査の過不足を検証する。

調査点数が不足しすべり面を確定するに至らない状況が予想される場合は、調査測線を追加する必要がある。特に末端や頭部ではすべり面が大きく変化することが多く、安定解析や対策工の選定に大きな影響を与えるので、十分な検討が必要である。横断測線についても同様に検討を行い、測線の配置間隔を決定する。

頭部亀裂や地すべり末端が明瞭な場合には、調査本数はそれに依りて減じることができる。また直線性を有していることが想定される区間では、地表面現象等からすべり面に折れ点がないとか、傾斜が推定できるといった情報により、調査点数を3点→2点→1点と減らすことが可能である。そこで、地表踏査による情報の確度を考慮して優先度を設定する(図-10)。

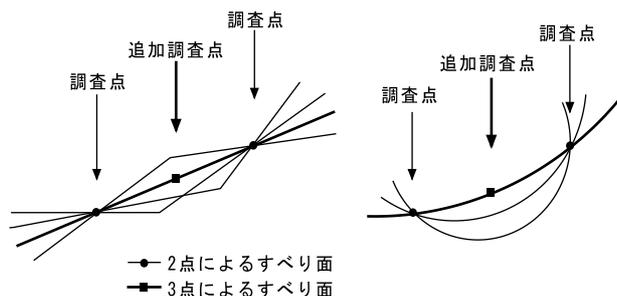


図-9 すべり面の決定に必要な調査点数

応急対策のため実施される調査は、主測線を主体に2~3本実施されることが多い。想定すべり面に対応した的確な本数のボーリングが実施されない場合や、本数が制限された場合に適切な位置にボーリングが実施されないと、誤ったすべり面が想定されることがあるので、調査位置と数量は慎重に検討したうえで決定する。

またすべり面の立体形を把握するため、横断位置での調査についても必ず実施しておく必要がある。

(2) 深度

すべり面確認のためのコアボーリングは、踏査から想定されるすべり面深度に5~10mを加えた長さを計画深度とする。想定すべり面の確度が低い場合には、地すべりの規模に関する統計データを参考にして調査ボーリングを計画する(3.3.3 図-11)。

(3) 基準調査孔

最初の調査孔は、その地すべりの代表的な地質構成が把握できる位置で掘削し、災害基準面の確認を行い、想定した地すべり層序が妥当かどうかの判断、さらにはより深い位置でのすべり面の有無の検証を行う。破碎帯や岩盤クリープなどにより基準面以深の岩盤が深部まで劣化している場合は、すべり面傾斜角と残留強度には関連があるので、対象とする地質の残留強度などを参考に下限線を設定し、掘削深度を決定することもある。

(4) ボーリングの掘止め

単に「CM級コアが5m連続」を掘止め基準とすると、特に大規模な岩盤地すべりのような場合にすべり面を見誤る可能性が高くなる。図-12は、大規模な岩盤地すべりの深度約100m付近のボーリングコアである。CH級の棒状コアが連続するが、すべり面はこれより下(深度165m)にあり、単純な岩級による基準ではすべり面を見誤る可能性がある。

踏査と基準調査孔に基づく、層序・岩相・岩級からなる掘止め基準を作成する。例えば、「泥質粘性土下位のCL級の〇〇礫岩の確認」のようなものである。予定深度まで掘削して基準を満たさない場合、その原因を明らかにし、掘削深度を慎重に検討する。

(5) 削孔径

ボーリング孔は、普通、地すべり動態観測に用いられ

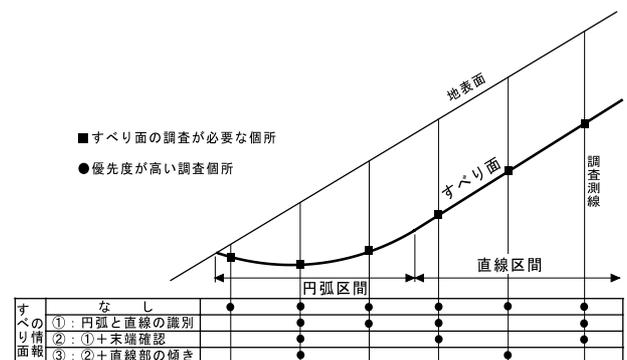


図-10 すべり面情報に基づく優先度の設定

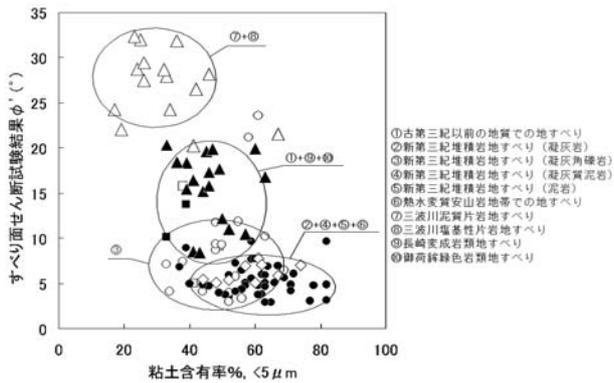


図-11 すべり面の残留強度 (眞弓ほか, 2003)

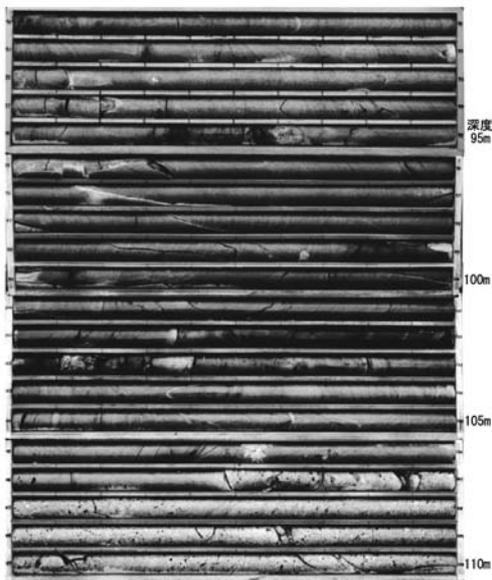


図-12 大規模岩盤地すべりの移動土塊の良質コア

るほか、各種の原位置試験・サンプリングも行われる。動態観測の種類・仕様・深度や試験の種類等によって、削孔径が異なるので、あらかじめこれらについて十分検討したうえで削孔径を決定しなければならない。

5.2 ボーリングに付随する調査および動態観測

5.2.1 調査ボーリングに伴う調査

(1) 試錐日報

試錐日報は、ボーリング掘進において、掘削終了後の水位と掘削開始前の水位を比較することにより、裸孔区間の透水性と水頭を推測する。コア判定および地下水検層とあわせ、①ボーリング地点の水文構造を把握し、②水位観測孔の仕様の検討を行う。

掘進中のコアと水位変化からすべり面付近の地下水帯の水頭と他の流入・漏水層との関係を考察する。すべり面の上か下に著しい漏水箇所がある場合や、浅層部に優勢な透水層などがある場合、全孔ストレーナの地下水位観測孔ではすべり面付近の地下水帯の水頭と孔内水位は一致しないこともあるので、掘削中の水位データを十分に検討して、地下水位観測孔の漏水・流入防止対策を計

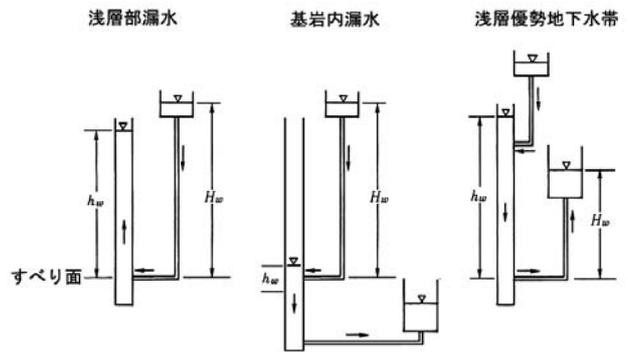


図-13 すべり面の水頭と全深度ストレーナ孔水位

画する (図-13)。

すべり面に関連する水頭を知るためには、ケーシングにより漏水・流入層の遮水を確認に行いながら、想定すべり面までを慎重に掘削する。すべり面深度が浅い場合には留意する必要がある。

(2) 地下水検層

地下水検層は、電解質を孔内に投入し、それが希釈される状況からボーリング孔付近の水文状況を把握し、集水ボーリング計画や観測孔計画に用いる。

観測孔設置後は、観測孔の仕上げ状況によって、必要な区間の検層が実施できない場合がある。例えば、基岩内漏水によって孔内水位がすべり面以下への落ち込み水位が回復しない場合や、浅層部の流入・漏水層の遮水を施した場合などである。

そのため、地下水排除工の計画に必要な地下水流入層の情報を得るため、試錐日報データをもとに、裸孔時において検層を実施することも検討しなければならない。

(3) 標準貫入試験

すべり面判定においては、崩積土層の地すべりや盛土の地すべりなど、移動層が軟質な場合には、すべり面を挟んだ上下でN値に差が認められることが多く、有効なことが多く認められる。

しかし、衝撃で試料は著しく乱された状態になるため、すべり面判定には有効ではなく、試験区間にすべり面があった場合には、地すべりボーリングコアとして最も重要なすべり面の情報を得られない。このため、標準貫入試験は、コアボーリングとは別に実施することが重要である。

5.2.2 動態観測種の選定と留意点

(1) 動態観測種の選定

地すべりの動態観測は、地表変動観測・地中変動観測・水文観測が主体である (図-14)。動態観測は、観測の目的を明確化し、適切な観測方法を導入する。その主な目的は、①すべり面計測、②移動量計測、③移動方向計測、④地下水位計測であり、これらの変動観測と水文観測結果から、⑤地すべりの発生・停止条件を把握することが挙げられる。

設置する機器は、その目的を達成するため、地すべり

の活動性・規模・形態と機器特性（感度・測定範囲・耐久性・自動化）を考慮し、最終的に「経済性」も考慮して決定される。ここでは、代表的な観測種について特徴を示す。

①地表伸縮計

地すべりの移動量を計測することを目的として設置する。機器による計測誤差は1mm以下と比較的高感度であり、測定範囲も比較的大きいため、活動的な地すべりから緩慢な地すべりまで幅広く用いることができる。また容易に自動化できることから、地すべりの滑動開始や停止の判定に有用であり、監視や予測が必要な地すべりに使用することができる（4.1.2 参照）。

地表伸縮計は、インバー線の伸び方向に直角方向（例えば沈下）の移動に対してはほとんど感度がないため、実際の変位量と計測値は、設置位置のすべり面の傾斜や土塊の厚さによって異なってくる。したがって設置にあたっては移動方向・移動形態を確認し、適切な移動量を反映できるような設置が必要となる。平板すべりの場合では、予想されるすべり面傾斜に平行に設置する必要があるし、円弧すべりにおけるすべり面に沿う土塊の移動量は設置位置のすべり面傾斜を考慮する必要があり、また設置位置の土塊の厚さによっても異なる（写真-6）。



写真-6 実移動量と差が生じる地表伸縮計設置例

伸縮計では停止と判断されても、より感度の高いパイプひずみ計では変動が続いていることがあるので、正確な移動量計測のためには適切な設置が欠かせない。

②パイプひずみ計

パイプひずみ計は、保孔管に対するひずみゲージを貼付し、管に発生した曲げひずみによる微小な電気抵抗の変化を計測してひずみ量に換算して、すべり面を検知する。感度が非常に高いためすべり面の検出に適しており、極めて緩慢な地すべりのすべり面検出に向いている。また容易に自動化できるため、地すべりの滑動開始や停止の判定に有用である。

反面、測定範囲が狭いので、変動が大きい地すべりでは、すべり面検出後、早期に計測が不能となることがあるので、地表伸縮計や地中伸縮計のデータで代替できる手段を整えておく。耐久性がやや低いことから、潜在性地すべりなどの長期観測には向かない。

すべり面がゲージの中間であった場合には変動を捉えられないこともあり、設置間隔に留意する。その際、掘削径66mmの場合で、設置可能な点数は約30点ほどであるので、掘削径・設置間隔・設置点数をあらかじめ十分に検討しておく必要がある。

地下水観測孔と併用される場合には、孔壁との間は透水性を確保するため砂充填されるが、砂詰めが不完全であると、データに変調が現れるほか、計測値がばらつくなどの状態が現れる。このため砂詰めはできる限り念入りに行う必要があるが、緩慢な地すべりや潜在性の地すべりではグラウトによって固定し、より良いデータが得られるようにする必要がある。

③孔内傾斜計（挿入型）

専用ガイドパイプのたわみを、傾斜センサーを内蔵したプローブを挿入して計測する。測定による誤差は3mm/10m（測定区間）程度と高精度であり、耐用年数もひずみ計より長く、移動量も推定することができる。このため、緩慢な地すべりのすべり面検知や、潜在性の地すべりの長期観測、杭などの施工後の効果確認に有効である。



図-14 地すべりの動態観測（地すべり観測便覧編集委員会, 1996）

表-1 主要な観測機器一覧表（地すべり観測便覧編集委員会, 1996）

計測項目	計測機器名	感度	測定範囲	耐用年数	計器の保守点検	一般に用いられている機器	採用程度
地表の傾斜変動	地盤傾斜計	1秒	(±1度)	10	1回/年	地盤傾斜計	○
地表やすべり面の変位変動	地表伸縮計	0.2mm	(±10cm)	数年	1~2回/年	地表伸縮計	○
すべり面位置	パイプひずみ計	10×10 ⁻⁶	10,000×10 ⁻⁶ 以上	1~3	1~3回/年	ひずみ指示計	○
	地中伸縮計	5~10秒	±5~30度	約5	2~4回/年	挿入型傾斜計、設置型傾斜計	○
構造物の傾動	構造物傾斜計	1~10秒	±1~30度	+5	1~2回/年	水管式傾斜計、傾斜計	△
構造物の変位	構造物変位計	0.01mm	±5mm~50cm	+5	1~2回/年	変位計、ダイヤルゲージ	○
構造物の応力	土圧計	0.05%FS	各種	+5	1~3回/年	ひずみ指示計他	△
地下水位	地下水位計	1cm 0.05%FS	10~(20m) 2~30m各種	数年 約5	1~2回/年	リシャル式水位計、水圧式水位計	○
間隙水圧	間隙水圧計	0.05%FS	1~20kg/cm ² 各種	+5	1~3回/年	ひずみ指示計他	△
降雨量	雨量計	0.5mm		+10	1~2回/年	観測自記雨量計	○
地盤の変位	移動杭					光波測距儀、トランシット、セオドライト、レベル	○

注 1) 保守点検は、上表のほか測定時または1回/月程度の程度の日常点検を行う
 2) 耐用年数は、正常の状態での標準年数
 3) 採用程度 ○非常に多い ○多い △少ない
 4) 傾斜計器（パイプひずみ計、挿入型傾斜計、土圧計、間隙水圧計）本体は、保守点検不可能であるが、ケーブルの絶縁抵抗等の日常点検を要する。

一方で、自動化が容易ではないこと（特にすべり面検出を目的とした場合）から、滑動開始や停止の判定が困難であるのが最大の課題である。また測定範囲が狭いことから、パイプひずみ計と同様に移動量の大きな地すべりでの測定に問題が生じるほか、地すべり推力以外で孔口等が変形しないよう配慮が必要である。

活発な地すべりでは、グラウト硬化までに時間を要するため、観測開始前に挿入不能となることもある。

④多層移動量計

多層移動量計は、地中の各深度に固定したワイヤーを地上に誘導し、ワイヤーの伸び量を測定する。比較的高感度であること（実用上1mm程度）、測定範囲が大きいことから、移動量の大きな活発な地すべりの移動量を長期に観測することができるほか、すべり面判定も行うことができる。また自動化が容易にできる利点がある。

しかしパイプ内に設置した場合や砂詰め部に設置した場合などには、計測ワイヤーと保孔管ないし孔壁との間のクリアランスにより初期無感帯が生じるため、緩慢な地すべりや潜在性の地すべりの計測には向かない。また保孔管の抜け上がりが生じることが多く、一般的に地すべりの移動量よりもかなり小さい変位量しか計測されないことが多い。

設置点数が少なければ、被覆されたワイヤーの先端にアンカーを着けて、ボーリング孔内に直接グラウトで固定し、無感帯や抜け上がりを防止することも行われる（写真7）。移動量の大きな地すべりで、パイプひずみ計や孔内傾斜計に併設し、これらが計測不能となった後の移動量の計測を行うことが可能である（4.1.3）。

⑤地下水位観測

地すべりの安定解析における水圧は、すべり面での間隙水圧でなければならず、地下水位を用いるのはあくまで簡便的な手法であるが、応急対策に関わる調査では経費や維持管理面からボーリング孔内水位を用いることが多い。

地下水位観測は、自動化が容易であることから、動態



写真7 測定不能後の孔内傾斜計内に設置した多層移動量計の事例

観測結果と対比して、地すべり滑動開始や停止の条件を把握することができる。孔内水位であっても、観測すべき地下水帯を確認し、漏水箇所等はその対策を講じる必要がある。

地下水位観測専用孔の場合、試錐日報や地下水検層で観測区間を決定し、上下からの地下水の流入を遮断するため、グラウト（パッカー方式や吸水固化式）やベントナイトなどによる遮水を行う。遮水方法の一例として、パッカー方式を写真8に示す。

水位計は、予想される水位変動幅に対応できる測定範囲を有するものを使用する。また定期的に手測りによるデータチェックを行う。

5.2.3 応急対策工との関連

地すべり災害が発生した場合、ボーリング調査に先立って盛土工・排土工や集水ボーリング工などの応急対策が実施されることも多い。この際に必要なことは、滑動停止時の地形・地下水条件を得るために、土工の進展と移動量の関係について観測しておくこと、集水ボーリング工実施による地下水位の低下を観測しておくことが重要である。応急対策によって滑動が停止すると、これ以後、発生・停止条件を把握することができる機会はほとんどなくなる。

応急集水ボーリング工実施時には地下水位観測孔がないことが多いが、極力、施工実施前に観測孔を設けることが望ましい。

このような場合に、ロータリー式に較べて掘進速度の速いロータリーパーカッションボーリングを用いて、動態観測孔を設置することも行われている。

参考文献

- 1) 地すべり観測便覧編集委員会（1996）：地すべり観測便覧，（社）地すべり対策技術協会，pp. 39-291
- 2) 申潤植（1989）：地すべり工学－理論と実践－，山海堂，1002p
- 3) 網木亮介（2000）：地すべり防止技術研修テキスト－調査技術全般－，（社）地すべり対策技術協会，60p
- 4) 眞弓孝之・柴崎達也・山崎孝成（2003）：すべり面せん断試験によるすべり面のせん断強度評価，日本地すべり学会誌，Vol. 40，No. 4，pp. 15-24
（原稿受付2006年12月25日，原稿受理2007年2月14日）



写真8 パッカー式地下水位観測専用孔

Lecture

現場で役に立つ地すべり工学 第12回 Key points in field work for landslide engineers No.12

5. 応急調査・応急対策工の計画

Plan of emergency landslide investigations and mitigation measures

山崎孝成 Takanari YAMASAKI / 国土防災技術(株) Japan Conservation Engineers Co. Ltd.

キーワード：すべり面の判定，コア観察，BHTV (ABI)，気泡ボーリング

Key words : detection of slip surface, observation of boring core, BoreHole TeleViewer (Acoustic Borehole Imager), air bubble boring

5.3 すべり面の判定

申 (1989) は、調査と工事の接点領域にかかわる 4 大要件として次の項目を掲げその重要性を指摘している。

- ①地すべりブロック区分
- ②すべり面の決定
- ③間隙水圧Uの分布
- ④土の強度（粘着力，内部摩擦角，単位体積重量）

すべり面の決定を誤れば，その後行われる安定解析や対策工の設計は砂上の楼閣になることは明らかであり，地すべり調査に携わる技術者として，肝に銘じておくべき要件である。

本節では，調査ボーリングコアから実際にすべり面を判定する方法について解説し，更にコア写真の撮影方法，すべり面を採取する掘削技術，物理検層によるすべり面判定，各種調査結果を総合的に評価した点数表示によるすべり面判定手法について解説する。

5.3.1 ボーリングコア観察の勘所

(1) すべり面の特徴

筆者は福島県の抜戸地すべりですべり面を本格的に研究する機会があり（岩淵・山崎ほか（1988）），粘土鉱物，土の物理的性質，リングせん断試験によるせん断強度の計測などを行った（山崎・岩淵ほか（2003））。

この抜戸地すべりのすべり面を観察しながら，大規模な平板型地すべりのすべり面は，断層面と同じという印

象を持った。低角度の断層面と考えれば，断層破碎帯に相当する部分が地すべりによるせん断帯，鏡肌を持ち条線のある断層面はまさにすべり面そのものといえる。

すべり面を観察したことがない読者のために，新第三系のペントナイト化した凝灰岩をすべり面とした抜戸地すべりのすべり面を写真-1に示し，集水井から見いだされたすべり面のサンプルを写真-2，3に示す。

新第三系のすべり面は比較的に見つけやすいが，変成岩特に結晶片岩を原岩とする地すべりのすべり面は見つけるのが困難である。写真-4，5に結晶片岩を母岩とするすべり面を示す。

写真-5に示すように，結晶片岩分布域のすべり面は接近してみればシャープではなく，すべり面は凹凸に富み，鏡肌も形成されないことが多い。特徴としてはすべり面を含むせん断帯には円磨された細礫が多く，これらの礫には鏡肌様の輝きが見られることである。

写真-6は愛媛県の御荷鉾帯変成岩（緑色岩類）のすべり面を含むせん断帯のコアとそこからすべり面せん断試験用に切り出された供試体の試験後せん断面である。御荷鉾帯変成岩にはクロライトのほかに，スメクタイト

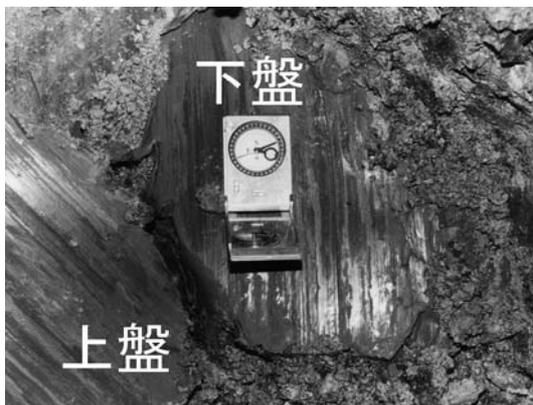


写真-1 新第三系の凝灰岩に形成されたすべり面

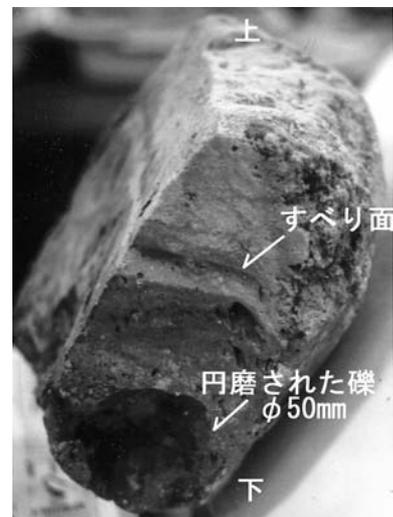


写真-2 すべり面を含む試料（集水井からのブロックサンプル）

が含まれることも多く、新第三系の再滑動型地すべりのすべり面と同じく鏡肌を有し、地すべり擦痕（条線）も見られることが多い。とはいえ、せん断作用を受けて破碎岩状になっているため、スリーブ内蔵の二重管サンプラーで丁寧に掘削するか、後述する気泡ボーリングで掘削しなければ採取は難しい。

(2) すべり面判定上の問題点

ボーリングコアですべり面を判定するにあたっての主な問題点を列挙すれば以下のとおりである。

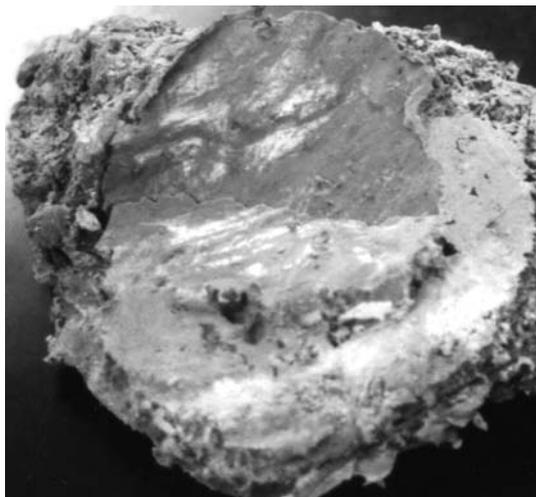


写真-3 すべり面の下部従属せん断面（偽すべり面）



写真-4 集水井壁面に現れたすべり面（徳島県水のなる地すべり）

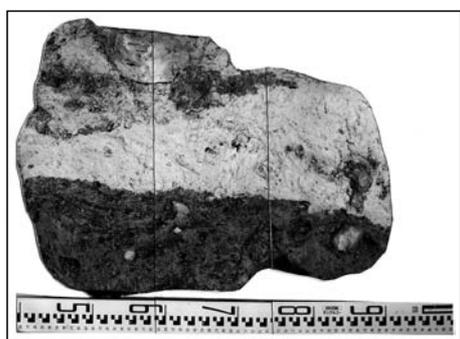


写真-5 写真-4の集水井で採取したすべり面を含むブロック

①新第三系のすべり面を含むせん断帯は粘土化しているため、コア採取時にすべり面が乱されることが多い

②新第三系のすべり面は薄いのでコアチェックで見過ごすことがある。

③結晶片岩分布域のすべり面は集水井などの露頭では容易に判定されるが、コアでは礫混じり粘土状になるためわかりづらい。

④御荷鉢帯の変成岩（緑色岩類）は新第三系のすべり面と似ており、薄いすべり面と鏡肌を持ち、上下に粘土化したせん断帯を伴うので、送水掘削ではすべて流してしまうか、無水掘削で無理やり採取すればすべり面は乱されてしまう。

このような問題点があるため、すべり面を判定するためには、細かいコア観察が必要である。

(3) ボーリングコア観察の留意点

筆者の経験からいくつか留意点を述べる。

①すべり面深度の事前予想

観察を効率よく行うためには、地すべりの幅（すべり面深度は地すべり幅の1/7～1/13、特に1/10が一応の目安、筆者の経験則）や前後のボーリング孔から現場で簡単な断面図（地すべりの幅がわかる横断面図が有効）を作成し、すべり面の位置を推定しておくことが必要である。

②掘削中の状況把握とコア観察

掘削深度が推定すべり面の5m以上手前になったら、現場で掘削中の状況をオペレータに聞き、すべり面付近のコアを見ておくことも重要である。常時掘削に張り付くことができれば理想的であるが、現場の業務は多々あり、ボーリング掘削作業のみ管理するのは難しい。しかしながら最低限すべり面付近を掘削している時には、ボーリング掘削管理に張り付くことが重要であり、最終的な判定作業が楽になる。

例えば、結晶片岩分布域では、すべり面を掘り抜いた直後に孔内水が急激に漏水し、岩質も固くなることが多

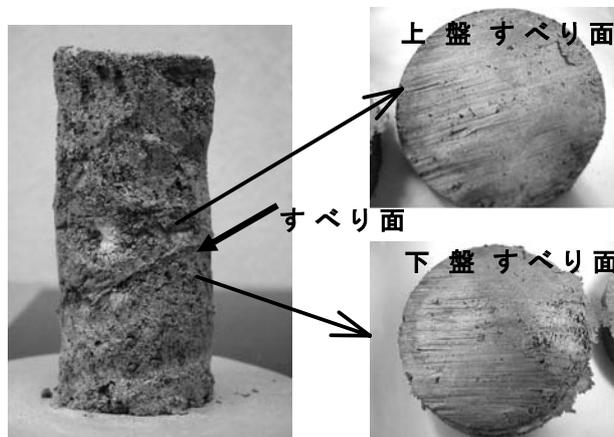


写真-6 気泡ボーリングによるコアとすべり面せん断試験後せん断面

く、すべり面を含むせん断帯の位置として重要な情報になる。したがって、結晶片岩地帯の地すべり調査では、毎日のステップ式地下水検層もすべり面判定に有効である。

③コア写真撮影後、全体を概観する

いきなりコア観察を開始するのではなく、コアの全体を概観することがコア判定の第一歩である。この段階で、地すべり移動層、すべり面を含むせん断帯、風化岩、基岩といった大まかな区分を行い、野帳にメモする。

⑤コア判定時に使用する小道具

筆者はコア判定時に写真7、8に示す小道具を使用してきたので紹介する。

写真-7は金物屋、ホームセンターで入手可能である。刃先が硬いものと柔らかいものがあり、コアの状況に応じて使い分けている。コア箱の幅より刃先が大きいと使いづらいので、幅は5cm以下のものが良い。無水掘削のマッドケーキを剥がすとき、コアをそっと切断するとき、半割して岩芯を観察するとき使用している。

写真-8はすべり面や葉理面（層理面を反映していることが多い）、節理面などの面角を計測するために使用している。これも金物屋で入手可能である。面角測定用の専用器もあるが、どこでも入手可能な点が便利である。

図-1は18年前に筆者がコア観察結果を記載した野帳である。野帳の外側はビニール製で中は紙ではなく、雨に濡れてもエンピツで記載できる材質でできているので、雨天時や降雪時のコアチェックにも便利である。昭和50年代は専用のコアチェック用野帳（自社製）を使用していたが、ポケットサイズに入る野帳が便利のため、この製品が発売されて以来使い続けている。罫線2つが1.2cmなので、この単位を1mとして使うことが多い。岩



写真-7 スクレーパー

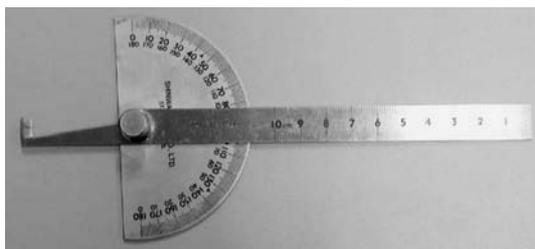


写真-8 コアの面角測定器

盤ボーリングなどで深尺のボーリングコアを判定するときは罫線1つを1mとして記載することもある。また、すべり面付近などは罫線4つを使い、詳細に記載することも多い。

野帳の縦線は元々印刷されているので、深度・柱状記号・地質名・色調・硬さ・記載事項などの区切りに利用している。このままでも簡易柱状図になっているので、現場で概略断面図を作成するときに便利である。

記載例を少し解説する。野帳の中央よりやや上部の「固結粘土」は記載事項に「ヘヤークラック・鏡肌発達」とあるので、地すべりによるせん断帯と判断される。すべり面は、その下部の「強風化シルト岩（炭質）」の記載事項に「59.4mすべり面？」としていることで判断できる。すべり面を含むせん断帯は圧密が進んでいるので、べとべとの粘土化状態であることは少ない。この点はよく勘違いされることなので、覚えておいていただきたい。

このほかにはスケール（コンベックス、三角定規等）、霧吹き（岩石の色を見るため）、粒度表も常時使用。イメージを印刷した市販品もあるが、試験室で篩による砂の粒度分析を行い、その試料を接着剤で硬質厚紙に貼り付けて自作することもできる。手で触って粒度の感触を身につけておけば、粒度表がなくても判読できるようになる。

地すべり調査ではすべり面の記載は重要であるが、各深度の地質（特に凝灰岩などの鍵層になるもの）、粒度や硬さ、葉理面や節理面およびすべり面等の傾斜角も測定しておけば、ボーリング孔間の対比、すべり面が層理面に規制された流れ盤型のすべりなのか、地層を切って形成されたすべり面なのか判断できるデータとなる。

なお、地すべりは必ずしも最大傾斜角方向にすべることではなく、地すべり側壁の規制条件によっては斜交することもある。

図-1 コア観察野帳に使用しているレベルブック（雨に濡れても記入可）

もう一つコア判定で忘れてはならないのは、移動層を構成している原岩が何であるかを記載しておくことである。一般的には礫混じり土ですませている場合が多いと思われるが、地すべりの発達史や地すべり機構を考える場合、移動層の原岩を記載しておけば役立つことが多い。先ほどの野帳にはせん断帯上部の移動層は「ハンレイ岩大礫混じり土」と記載している。すべり面の直上にハンレイ岩の大きな礫があり、すべり面の下部は古第三系の堆積岩で構成されているという事実から、以下のような地すべり移動層の形成過程が推定される。つまり、古第三系の炭質シルト岩をすべり面とする旧期地すべりによって形成された陥没凹地に、滑落崖(この事例では断層面)背後に分布するハンレイ岩が滑落堆積した。詳細は省くが地すべり機構を考える上で重要な記載となる。

(4)ボーリングコアによるすべり面判定の勘所

すべり面の特徴でもいくつか述べたが、ここではすべり面判定の勘所をまとめて示す。

- ①山崎(2007)によれば、「すべり面は、多くの場合、層理面や片理面・基岩上面などの地質的不連続面に沿って形成されている」ので、まず最初にこの点に注目してコアを観察することが重要である。
- ②すべり面はせん断帯に含まれることが多いため、コアにヘアークラックが発達している区間、礫やマトリックスに部分的に鏡肌を観察される区間、自然状態で粘土化している区間、岩と判定されるコアとの境界などに注目する。
- ③新第三系の泥岩・凝灰岩、御荷鉢帯の変成岩(緑色岩類)では、すべり面は1mm程度と極めて薄いため、時間をかけて丁寧にコアを観察し、25度以下の緩傾斜をなす分離面が見つかれば、そっと剥がしてみる。分離面に鏡肌と擦痕が見つかれば、すべり面である可能性が高い。
- ④新第三系のすべり面の上下は剪断され鏡肌様の不連続面もあるが、すべり面との違いは擦痕がないこと、面が湾曲していることなどから区別できる。すべり面は最終的にすべり面が形成された主変位せん断面であるが、その上下は従属せん断面に相当する。
- ⑤結晶片岩分布域のすべり面は、メートルサイズで見れば連続した不連続面であるが、コアサイズの大きさで見ると、明瞭な一枚のすべり面を形成することはなく、鏡肌を有する礫や粘土化していることからすべり面を含むゾーンとして認識できる。
- ⑥中生界の堆積岩類は結晶片岩地帯のすべり面と同様に、すべり面付近は礫混じりのせん断帯を構成しているので、せん断帯に含まれる礫の円磨度や部分的な鏡肌の存在に着目する。田中ほか(2006)は中生界成羽層群の破碎炭質層に注目してすべり面を詳しく論じているので参考にされたい。
- ⑦断層面もすべり面と同じ構造を示すが、一般的にはすべり面の傾斜角よりは急角度をなすことが多い。

平板型の層すべりと予測される場合、すべり面は層理面にほぼ平行であることが多く、この点で断層面との区別が可能である。

5.3.2 コア写真の撮影

地すべり調査は数年以上にわたって行われることが多いため、正確なコア写真は後続の調査担当者にとって、重要なデータとなる。写真撮影上の注意事項について次に述べる。

(1)天候および照明

- ①光源は、コア全体(両側面にも)に均質な照明が当たるような条件で撮影する。
- ②できるだけ、照明施設を設けた室内での撮影が望ましい。(天候に左右されないため)
- ③撮影は、曇りの日が望ましい。日射の強い日は、コア側面に影ができやすくなり、反射でコアの状況がわかりにくい場合がある。(霧吹きによって表面が濡れた状態の岩盤コア、敷設ビニール、黒板、色調板などは特に光が反射しやすい)

(2)写真撮影

- ①コア箱の中心の法線(鉛直)方向から撮影する。コア箱の上辺と下辺の長さが同じになるように撮影する。
- ②コンパクトデジタルカメラは、一般的に焦点距離が短いため、画像周辺が歪みやすい。画質や露出設定などの撮影条件を考慮し、一眼レフカメラ(一眼レフデジタルカメラ)による撮影が望ましい。
- ③ブレを防止するため、写真撮影には三脚を使用する。
- ④箱を立てかけて(傾斜させて)撮影する場合、破碎された試料は崩れやすい。コア箱を寝かせて(水平に近い条件で)撮影したほうが、コアの乱れを抑制できる場合がある。
- ⑤破碎されたコアは、コアのビニールスリーブ(コアパック)を破った途端に崩壊しやすい。塩ビの半割れ管をコアの受け皿としておくことで、コアの崩壊が防止できる。

(3)接写撮影

- ①すべり面などを接写撮影する場合は、特に手ブレによるピントのズレに注意する。被写界深度を深くするため、絞り優先モードで絞って(F値高め)で撮影する。その際、シャッタースピードが遅くなり、手ブレの影響がでやすくなるので、三脚固定が望ましい。コンパクトカメラでは、撮影モード設定の選択肢が少ないが、マクロモード、接写モードの機能があれば利用するとよい。
- ②一眼レフカメラでの接写写真の場合、マクロ撮影に特化したマクロレンズを使用する場合がある。しかしながら単焦点のものが多いため、被写体の大きさを調節するときには、カメラ(三脚)の位置調整が難しいので現場向きではない。他に、接写に適したクローズアップレンズを利用する方法があり、レン

ズ前面のフィルター用ネジにはめ込んで取り付けて撮影する。ズームレンズに取り付ければ、接写の際にもズームが可能となり、非常に便利である。

写真-9, 10に接写撮影した事例を示す。写真-10はカメラあるいは被写体を少しずらして撮影することにより立体視可能なように撮影した事例であり、すべり面の凹凸も読み取れる（見かけ上拡大されている）。

(4)色調版

調査件名・場所を記入する黒板に付けられた色調板をそのまま使用するケースが多く、色調板の色の種類やサイズなども各社オリジナルとなっている。しかし、コア写真の色調は、撮影場所や撮影時期（撮影時の天候・照明条件）、印画紙へのプリント条件にも影響を受け、実際のコアの色調を反映しない場合もある。現場や採取時期の異なるコアの色調を比較する場合なども考えると、できるだけ同じ標準色調板を用いた方が望ましい。よく使用されている色調板には、Kodak製カラーセパレーションガイド&グレースケールがある。

5.3.3 コアの保存

木製のコア箱に保存している以上、ビニールシートなどで包んでもカビの繁殖や、いずれは乾燥が進んでしまい泥質岩であればスレーキングを起こしボロボロになる。乾燥が進まないように、水に湿らせた新聞紙を被せておくと、かえってカビの増殖を促進させてしまう場合があ



写真-9 すべり面の接写撮影例



写真-10 すべり面の接写撮影例

(鏡肌及び擦痕の起伏状況が確認できる、外径60mm、すべり面せん断試験後のせん断面)



写真-11 Kodakカラーセパレーションガイド&グレースケール

るので、コアの保存には苦勞する。特に冬期に掘削されたコアは凍結融解により物理的風化を受けることが多い。

したがって、数年間コアを保存するためには、野積みシート囲いではなく、最低限凍結融解や雨水の浸透を防ぐために、保管用の施設が必要である。

掘削状況をそのまま残してコアを保存するためには、空気に触れない状態で地中常温状態を保つ必要がある。すべてのコアをこのような状態で保つのは不可能であるため、コアの重要な部分を真空パック保存する方法が考えられる。真空パックによる長期保存の物性値変化については畠山ほか（2003）の研究があり、10年間保存した試料では、酸化変色やカビの発生は見られず、含水比、圧密特性などの物理・力学的性質にもほとんど変化がなかったと報告されている。今後有力な保存方法と思われる。

地すべり調査では移動層、基岩などを代表する箇所、せん断帯、すべり面を含むコアが重要であるため、これらを部分的に採取し、真空パック保存することが望まれる。

5.3.4 すべり面判定の新兵器

(1)気泡ボーリング（硬膜泡ボーリング）

気泡ボーリング（硬膜泡ボーリング）については鈴木ほか（2001）に詳しく書かれているので参照願いたい。簡単にその特徴を述べると

①界面活性剤を高速で発泡させ（1次発泡）、更にサンプラー先端で射出されるときには瞬時にして約100～1000倍に体積膨張し、フォームラバー状の硬膜泡が発生する。

②この時に発生する断熱変化によりビットを冷却し、掘削時のスライムや地下水を界面活性剤に付着させ、エアリフトにより坑口まで運搬させる。

送水掘削とは異なり、硬膜泡で掘削するため、軟質なコアの流出や掘削時の乱れが少ないコアが採取されることが特徴である。このため、活断層の破碎帯調査（Kawabata *et al.*, 2005）や地すべり調査（橋本ほか, 2003）で採用される事例も増えている。

気泡ボーリングで掘削し、すべり面を含むせん断帯を採取した事例は写真-6を参照。

(2)超音波反射検層（BHTVまたはABI）

超音波反射検層については山崎ほか（2001）に詳しく述べられているが、ボーリング孔壁画像を超音波の反射強度で得ることに特徴がある。すべり面などの不連続面があれば、物性値にコントラストがある場合には明瞭に捉えることが可能である。

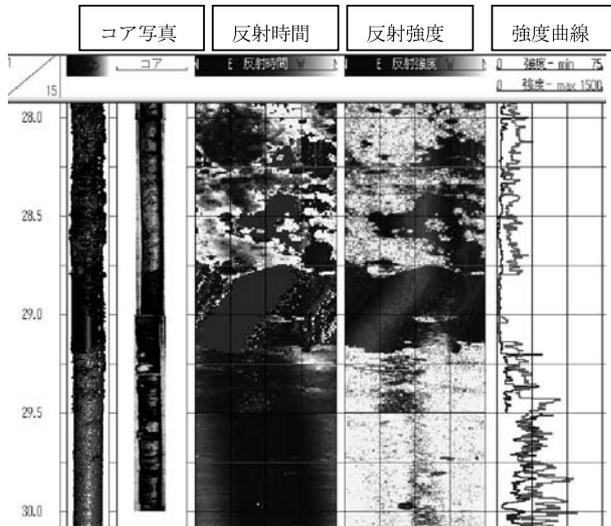


図-2 超音波反射検層による孔壁画像とボーリングコアとの対比（山崎ほか，1999）

原位置の孔壁画像が得られるため、すべり面や葉理面および節理面などの走向傾斜も計測できる。ボーリングコアですべり面が採取できれば、地すべり擦痕がすべり面の最大傾斜方向となす角度を計測することによって、地すべりの移動方向も算出できる。

光学式のボアホールカメラでも孔壁画像を取得することは可能であるが、地すべり調査における孔内水は一般的に透明度が良くないため、光学式のカメラでは不鮮明になることも多い。超音波では泥水等の透明度の悪い孔内水でも孔壁画像が得られるため、地すべり調査に使われることも多くなった（山崎ほか，1999，橋本ほか，2003）。

図-2に超音波反射検層の事例を示す。

図-2の例では、ボーリングコアから、すべり面はGL-28.8mと推定されている。すべり面の上部は塩基性片岩起源の棒状粘土，下部は強風化泥質片岩で構成され，着岩は29.2mの風化泥質片岩である。

BHTVの反射強度曲線を見ると，29.2mから次第に強くなり，着岩していることを裏付けている。反射強度の疑似画像では強度が強いことを示す黄色を呈しており，この画像からもすべり面以深40cmで岩盤が硬くなっているのがわかる。

すべり面は反射強度の弱い（疑似画像で茶色を呈する）

表-1 調査孔別すべり面判定基準表

調査孔別すべり面判定基準（JCE技術基準（2000））

すべり面変動観測値			すべり面の具備条件		
観測種	観測結果	評点	調査種	調査結果	評点
ひずみ計 or 孔内傾斜計 or 多層移動量計	累積顕著（大ひずみ）	4	地下水検層	有圧地下水検出	3
	累積傾向明瞭（小ひずみ）	3		逸水面として確認	1
	累積傾向あり（断続変動）	2	コア判定	粘土区間で擦痕あり*2	5
	累積傾向あり（一時変動）	1		層界でかつ粘土区間	3
すべり面測桿*1	自在測桿で上下方向確認	6	注 *1：調査孔新設時に全長通過を確認していない場合は2点減点する。 *2：推定すべり面に近い傾斜であること。	層界または粘土区間	1
	上下二方向で確認	5			
	一方向確認	4			
評点累計値 Σ：最高18点，最低0点					
採択判定（確実度）区分基準					
<ul style="list-style-type: none"> 記号◎：確定すべり面（8 ≤ Σ） 記号○：準確定すべり面（4 ≤ Σ < 8） 記号△：すべり面疑いあり要継続観測（Σ < 4） 					
<p><参考> 試錐日報解析と地下水検層による地すべりタイプの区分</p> <ul style="list-style-type: none"> ★ 地下水位面まで=全漏水 & 水位面下~すべり面=層流状検出 → 自由地下水帯すべり ★ すべり面から上=不透水層 & すべり面=有圧水検出 → 有圧地下水帯すべり 					
<p>[コメント1] パイプひずみ計はひずみゲージの劣化に伴う見掛け上のひずみ累積が観測され，地すべり活動と混同されるケースがあるので，すべり面測桿ないし地下水検層との照合が必要である。大ひずみでも長大測桿が抵抗なく通過する場合は評点を削除する。</p> <p>[コメント2] 間欠的な地すべりであって，観測期間がたまたま地すべり活動の休止期に当たるような場合には，ひずみ計やすべり面測桿による判定が不可能になる。このような場合であっても，表の右半分条件が具備されれば，一応，すべり面と判断する。</p>					

注-1) すべり面判定根拠事項の各欄は上段に評点，下段に対応深度（m）を記載する。
 注-2) ひずみ計欄はひずみ計，孔内傾斜計，多層移動量計の内，評点が高いものを記入する。
 注-3) 判定値は各判定根拠の評点の合計を記載する。
 注-4) 採択判定欄は上段に判定の確実度記号（◎確定，○準確定，△要継続観測）を，下段に対応深度（m）を記載する。

層の直上または直下と推定され、ボーリングコアとほぼ一致している。ちなみにこの反射強度の弱い層上面の傾斜方位は 50° 、傾斜角は 35° を示し、集水井のすべり面で確認された地すべり擦痕の傾斜方位 74° 、傾斜角 $28\sim 40^\circ$ と調和的である。また下面の傾斜方位は 98° 、傾斜角は 39° を示し、上面下面とも基盤の片理面の一般的な傾斜方位 126° と傾斜角 28° と調和的である。したがって、地すべりは片理面に規制された流れ盤地すべりであることがわかる。

なお、検層は孔壁崩壊によるジャミングを防ぐためにVU50mmの塩ビ管を挿入して実施している。

5.3.5 すべり面の総合判定手法

すべり面の判定に個人差があってはならないので、同じ尺度で判定する必要がある。コア判定のみですべり面を決めることが難しい現場も多々あると思われる。表-1は筆者が所属する会社において使用している点数法によるすべり面判定基準である。

コア判定のほかに、ボーリング掘削時の試錐日報解析、地下水検層、各種計測結果などを総合的に判断できるようにしている。

表-1で最も点数が高い(5~6点)のは、フレキシブルな自在測桿またはすべり面測桿(ステンレスパイプ製で、長さが50cmを単位として200cmまでネジでつなぐことができる)を用いてボーリング孔の孔曲り位置をすべり面深度の上下で検出できた場合である。ボーリング孔の上部からはパイプがつかえる位置で判断されるが、下から孔曲りを検出するには、自在測桿を使う必要がある(図-3参照)。

ほぼ同程度に点数が高い(5点)のはコア判定で粘土化と擦痕が確認された場合(すべり面の検出)である。次に点数が高いのはパイプ歪計や孔内傾斜計で大きなひずみが観測された場合(4点)である。自在測桿計測とコア判定のすべり面検出よりは点数が低い理由は、計測器の誤作動や長い間の劣化を反映したひずみもあり得るからである。やはり実際に孔曲りまたはコア判定ですべり面を検出する方が信頼性は高いという考えに基づいている。

確定すべり面と判断されるのは、表-1においては8点以上としているので、すべり面を総合的に判定するためには、複数の計測結果やコア判定が必要である。

点数については、多くの事例を統計解析し、最も適切な点数に改善していくことが必要である。今後この表には超音波反射検層(BHTV)などの物理検層や、掘削方法が通常ボーリングなのか、気泡ボーリングなのかなども追加する必要があるだろう。

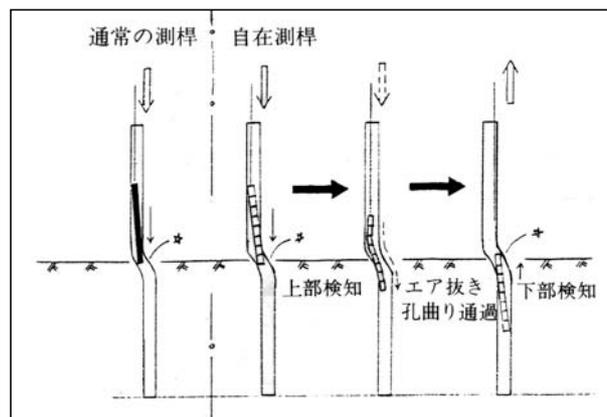


図-3 自在測桿の原理

個人差のないすべり面判定に向けて、日々改善する努力が技術者には求められているといえる。

参考文献

- 1) 申潤植 (1989)：地すべり工学－理論と実践－，山海堂，1002 p.
- 2) 岩淵清任・山崎孝成・小林 充 (1988)：福島県「抜戸」地すべり地すべり面について，第27回地すべり学会研究発表講演集，pp.254-255.
- 3) 山崎孝成・岩淵清任・須藤 充 (2003)：膨潤性凝灰岩に形成されたすべり面，地すべり，Vol. 39, No. 4, pp.48-49.
- 4) http://www.ginichi.com/shop/digital_acc/detail/acc_011.html
- 5) 島山正則・持田文弘・渡部有 (2003)：真空パックによる長期保存試料の物性変化について(その2)，第38回地盤工学研究発表会講演集，pp.195-196.
- 6) Kuniyo Kawabata・Motoharu Tsukada・Hidemi Tanaka (2005)：Occurrence of fault zone materials obtained from Nojima fault by Jet Form Boring (JFB), Jour. Geological Society, Vol. 111, No. 5, X III - X IV
- 7) 橋本純・金子秀人・山崎孝成・橋本英俊・宮本真二 (2003)：物理検層を用いた地すべり三次元構造の解明，第43回地すべり学会研究発表会講演集，pp.283-286.
- 8) 鈴木幸彦・塚田基治 (2001)：硬膜泡による高品質サンプリング，地すべり，Vol. 38, No.1, pp.20-23.
- 9) 山崎勉・山崎孝成・橋本純 (2001)：地すべりにおけるBHTVの活用，地すべり，Vol. 38, No.1, pp.14-19.
- 10) 山崎勉 (2007)：現場で役にたつ地すべり工学，第5章応急調査・応急対策工の計画，5.1節，地すべり，Vol.43, No.6
- 11) 田中元・山田琢哉・鈴木茂之 (2006)：成羽層群地すべりの特徴－破碎炭質層とすべり面の形成・発達との関係，応用地質，第47巻，第5号，pp.259-268.
- 12) 山崎孝成・岡部高志・山崎勉 (1999)：超音波孔内検層(BHTV)によるすべり面探査の適用性，第38回地すべり学会研究発表会講演集，pp.71-74.
- 13) 埼玉県寄居林業事務所 (1997)：「地すべりを止める」一事例の紹介，治山，Vol. 42, No.6, pp.24-26.

(原稿受付2007年2月28日，原稿受理2007年3月12日)

5. 応急調査・応急対策工の計画

Design of immediate investigations and measures

鈴木 信 Makoto Suzuki / 株式会社日さく Nissaku Co.,Ltd.

伊藤俊方 Toshikata ITO / 株式会社日さく Nissaku Co.,Ltd.

キーワード：地下水排除工，排土工，押え盛土工，無人化施工

Key words : groundwater drainagework, soil removal work, loading embankment work, unmanned construction system

5.4 応急対策工

5.4.1 はじめに

地すべりが発生した場合に、被害の拡大防止や早期復旧を図るために応急対策工が実施される。応急対策工の主な目的は、滑動を開始した地すべりを沈静化させ、被災対象物の一時的保全を図ることにある¹⁾。応急対策工はその他にも、地すべりを沈静化させることにより詳細な現地調査に基づく恒久対策の着手を可能としたり、社会不安を解消させるためできるだけ早期に避難や通行止めなどの規制を解除する等とも関連するので、それらの事項にも十分配慮する必要がある。

5.4.2 応急対策工の計画と考え方

(1) 応急対策工のための地すべり現象の理解

一般に山地・丘陵地・人工造成地等の不安定要因のある斜面に降雨や融雪水によって種々の変状が現れることが多いが、これらの変状がいったん拡大すると、地すべり土塊が一つのまとまった範囲（地すべりブロック）で滑動を開始する。その後徐々に移動速度を増し斜面を大きく変形させるが、やがてこの一連の運動が減速に転じ、移動体が一時的に安定化し停止する。その際現在の現地状況がこの地すべりによる変化過程のどの段階にあるのかによって選定する対策工計画が異なってくる。そのため地すべり現象および地すべり機構を的確に把握し、応急対策工計画を立てる必要がある²⁾。これは応急対策工計画を立てる際の安全かつ経済的で的確な工法の採用、施工の手順・管理などの判断材料ともなる。

過去の応急対策事例をみると、2通りの対応が考えられる。1つは地すべりが発生して現に動いているものに対する対応であり、いま1つは小康状態または一時的に停止した地すべりに対する対応である。多くの場合、我々が応急対策工として扱っているもののほとんどが後者の方であり、前者、とくに動きが激しい時には危険で対応できない場合も多い。

そのため工事は、亀裂や小規模な滑落崖、わずかな地表面の隆起等の発生段階に限られ、安全性を確保しながらの工事となる。この場合の応急対策工法としては、雨水等地下水排除のための防水シート張り工、地すべり地

外からの流入水排除のための水路工、土砂流出範囲を最小限に食い止めるための簡易土留工、地下水位が高いときに地下水を排除して水位を低下させる横ボーリング工等に限られる。

後者の地すべりの状況変化が緩慢な場合には、横ボーリング工、頭部排土工、末端盛土工等が実施される。後者の場合であっても、地すべり地内の排土や盛土は、二次災害など危険を伴うことから、近年では無人化施工が多く実施されている。

いずれにしても、地すべり滑動が拡大し、移動速度が速くなるような地すべりの状況変化があるときには、直ちに避難するか通行止め等の対策をとる必要がある。

(2) 応急対策工の種類

地すべり対策で取り上げられる防止工法には抑止工と抑制工があるが、応急対策工ではこれらの工種のうち抑制工を用いる場合が多い。杭工やアンカー工などの抑止工は応急対策ではほとんど用いられない。応急対策工で採用されている工種は以下に示した工法が一般的である³⁾。

- (i) 雨水浸透防止工
- (ii) 水路工
- (iii) 横ボーリング工
- (iv) 排土工
- (v) 押え盛土工
- (vi) 簡易土留工
- (vii) その他（川回し・迂回道路など）

これらの工種は概査によって把握した地すべり現象の状況に応じて採用し、施工する。なお、これらの計画については後述する。

図-1は、応急対策工の事例である。防水シートや水路工の他、地すべりの頭部から中部にかけて、頭部排土工、横ボーリング工が、末端部では、押え盛土工が応急的に実施されている。これらの応急対策工は、地すべりの移動を沈静化させるための工事であるが、二次災害などの危険を伴うことから、地すべりの挙動を警報機付き伸縮計等によって監視しながら施工することが求められる。

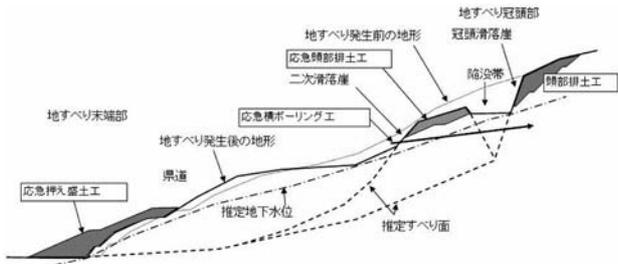


図-1 応急対策工の種類と適用事例

(3) 応急対策工の適用の留意点

これらの応急対策工によって沈静化したと判断された場合には本格的な調査活動が開始される。ただし、応急対策工は調査後に決定される本格的な対策工事と整合性を図る必要がある。

地すべり規模にもよるが、地下水が地すべり発生の主要因になっている場合には、上部からの地下水を地すべり地外に急的に排除するために横ボーリング工を施工されるが、地すべり地内が不安定な場合は、地すべり地外から施工することもある。横ボーリング工は、地下水位が高いからといって、末端部の中央から施工すると、その後の本工事で杭工やアンカー工等の抑止工を実施する場合の位置の選定に差し支えることがあるので、全体工事を考慮した上で適切に配置する必要がある。

応急対策工で多用されている押え盛土工は、広い安定した空き地があれば有効である。スペースがあっても斜面の途中で盛土を行うと、下部斜面の新たなすべりを誘発する可能性があり危険である。同様に、頭部の排土・切土工は、その上方の斜面を不安定化させる要因となり注意を要する。近年土捨場を確保することが難しいため、押え盛土工と排土工の土量を同じにして、現地処理する等の方策を採ることも多い。

(4) 応急対策における安全率の考え方

応急対策ではいくつかの工種を用い、初期安全率から5%上昇させること、または $F_s=1.00$ 以上が目安とされる(図-2)。

応急対策における安定計算では、すべり面の形状や地下水水位が不明なことが多いので、それぞれ現地の状況か

計画工法	安全率	
地すべり発生	$F_s=0.98$	初期安全率
↓	↓	
応急押え盛土	$F_s=1.01$	↑ 応急対策工
↓	↓	
横ボーリング工	$F_s=1.05$	
↓	↓	
頭部排土工	$F_s=1.01$	
↓	↓	
アンカー工	$F_s=1.18$	↑ 恒久対策工
↓	↓	
押え盛土撤去	$F_s=1.15$	
↓	↓	
対策竣工	$F_s=1.15$	目標安全率

図-2 応急対策・恒久対策による安全率事例

ら水位を想定せざるをえない。

安全率の上昇に最も寄与するのは、末端部盛土工と、頭部排土工である。横ボーリング工による地下水排除工は、安定計算では考慮しないことも多い。

(5) リスク低減のためのソフト対策

応急対策工はあくまでも応急処置であり、斜面の安定度をわずかに上げたに過ぎない。すなわち、降雨や斜面変動の影響を受けた地下水流動状態の変化などによって再び滑動が始まり、応急対策施設のみならず施工対象となった斜面全体にも波及するおそれがある。応急対策工は結果として、それまでに費やした工事が無駄になるというリスクも伴っていることを認識する必要がある⁵⁾。

地すべり運動が沈静化している場合、応急対策工は地すべり斜面内で施工することも可能であるが、施工中に地すべり運動が活発化する危険性も考えられる。そのような場合、警報器付地表伸縮計で代表される斜面の変動を監視できるセンサーなどを設置し、かつ、速やかに避難できるように避難路を確保した上で施工することが重要である。

5.4.3 応急対策工の設計・施工上の留意点

応急対策工の設計・施工時の留意事項について、工種ごとに以下に示す。

(1) 雨水浸透防止工

雨水浸透防止工は、地すべり発生直後から始まる一連の対策工事の、最も早い時期に施工されるものの一つである。地表面や地すべり活動で発生した亀裂を通して、雨水や表流水が直接、地下に浸透するのを防止するものである。雨水浸透防止工により地すべりの移動速度を抑制して他の工種を追加する時間的余裕を確保し、地すべりの規模や被害の拡大を抑制できる。

したがって、雨水浸透防止工は地すべりを初期の段階で沈静化させることにより全体の工事費を圧縮することができるなど、安全面のみでなく経済的側面からも、初動対策として有用な工種であるといえる。

雨水浸透を防止するには、亀裂の閉塞や防水シートによる被覆が一般的に行われており、これらは作業が比較的容易な上、安価に施工することが可能である(写真-1)。特殊なものでは、斜面を広範囲にアスファルトで被覆するなど、恒久対策を兼ねて大掛かりに実施する場合もある。亀裂は雨水や表流水が最も地下に浸透しやすい経路となる。このため、亀裂は規模の小さなうちに、防水シートにより被覆、あるいは人力や重機などで現地の発生土や粘土などを充填し閉塞する。亀裂の閉塞は地すべりを拡大させないための簡便で確実な抑制工である。

また、地すべり冠頭部の後背、ブロック内のため池や沼、地すべりで形成された凹地の底に、防水シートやアスファルトを敷設し地すべりブロック内への水の浸入を防止する。池や凹地に溜まる水は人力や重機などで溝を掘り、防水シートを敷設して仮排水路を作る。仮排水路はブロック外の側溝などに接続し、適正に処理すること



写真一 冠頭部の亀裂を覆うブルーシート群
(長野県下石川地すべり)

が必要である。

(2) 水路工

地すべり地内に分布する沢や湧水等に対しては、応急的にコルゲート水路等で集水して地すべり地外に速やかに排水する。また、地すべり周辺部から地すべり地内へ雨水等が流入している場合は、周縁部に排水路等を設置する。水路工では、地すべり地外からの地表水の流入を防ぐ目的とした周辺水路、地すべり地内へ流入する沢の付替えを目的とした水路、地すべり地内の湧水や降水を速やかに地すべり地外へ排水するための水路などの設置がある。

滑動中の地すべり地内の水路工は、ある程度の変形に対しても機能を維持できるフレキシブルなコルゲート水路等を活用する。しかし、地すべり発生直後に施工される応急的な水路工では、地すべり運動による水路破損の可能性が非常に大きいことが指摘される。このため、巡回点検と異常発生箇所に対する随時の補修が必要となる。また、容易に補修可能な防水シート等の材料で施工することも考慮に入れておくことが望ましい。

地表水に近い地下水（浅層地下水）を排除する場合には暗渠併用の構造も有効であるが、応急水路工としてはあまり採用されていない。

(3) 横ボーリング工

横ボーリング工は地すべりブロック内に流入してくる地下水を排除するとともに、地すべり土塊中の地下水位を低下させ、地すべり滑動を沈静化させる目的で実施される。

横ボーリング工の施工位置は、事前に地質調査を行って斜面内の地下水状況を把握していることが望ましいが、地すべり運動が激しい場合、地すべり斜面内で調査を実施することが困難であることが多い。その場合、地表踏査結果などからすべり面位置を検討し、施工位置を決定する。横ボーリング工は地下水供給源と考えられる斜面上方に施工することにより、施工効果（水位低下）が得られることが多い。

ロータリーパーカッション方式は機械が大きく重量も大きいいため、施工位置に搬入するのに大掛かりな架設などが必要となることがある。そのため小型で軽量な小口径ボーリングマシンが用いられることが多い(写真-2)。

横ボーリング工からの排水は地すべり斜面内に再浸透しないように、ホースなどを用い、地すべり地外へ確実に排水することも重要である。

(4) 排土工

排土工は、地すべり移動土塊の重量バランスを変えることで安定を確保する工法で、地すべり主働域である頭部付近の土塊を排除するのが最も効果が大きい。その際、切土勾配は移動土塊の性質を十分に考慮したものとすることが必要である。また、恒久対策工とのすりあわせが必要で、排土工計画にあたっては、現地の概査を十分に行って地すべりの主働域と層厚を推定し、恒久対策工計画も念頭に置いた上で適切な計画を立てる必要がある。

排土部分の斜面上方に不安定土塊が存在する場合は排土工を適用できない。排土工は可能な限り地すべりブロックの範囲内で計画する必要がある。また、切土線が地下水面に達した時に湧水が出現する場合があります、そのため切土面が崩壊する事例がしばしば認められる。この場合は法面に溝を設け、湧水の流路を固定するとともに、



写真二 応急横ボーリング工の施工状況



写真三 新潟県旧山古志村東竹沢地区の排土工⁶⁾

湧水の再浸透防止の措置を取るなど、他の工法と組み合わせる必要がある。

排土後の法面には速やかに雨水浸透防止と排水のための防水シートの敷設や、仮排水路工の設置などを実施し、排土工の十分な効果を持続させる必要がある。

(5) 盛土工

盛土工は地すべり末端部の押さえとして計画するのが一般的である。このため現地を十分に踏査し、明確な地すべり末端を確認するとともに、周辺に及ぼす影響を考慮して計画・施工する必要がある。

応急対策工といえども、盛土工は規模が大きく、盛土自体の破壊による周辺への影響も大きい。このため盛土材料や盛土高、盛土勾配を十分に検討して行うことが望まれる。

盛土材は、頭部排土や河川の移設など現地で発生した土砂を用いることにより、環境対策やコストの縮減が計られる。現地発生土を盛土材に利用する場合には、練り返された含水比の高い礫混じり粘性土が主体となることが多く、盛土法面勾配は1:2.0程度と緩くする必要がある。

応急対策工として実施される盛土工は、恒久対策完了または施工中に撤去する場合には材料や盛土方法を検討することが重要である。また、恒久対策の一部として活用するため、応急盛土の上に恒久対策としての追加盛土が施工されることもある。

(6) 簡易土留工

簡易土留工は、崩壊土砂の流出防止や盛土工の法尻保護を主目的として施工する。また地すべり末端が溪流に面したところでは、溪流の崩壊や侵食が地すべり滑動を促進している場合、護岸工の機能を持たせることがある(写真-4)。いずれの場合も、応急仮工事として緊急性が求められることが多く、施工性に優れている工法を選択する必要がある。

簡易土留工は従来、ふとんかご工・かご枠工等を施工したり、異形ブロックを並べたりすることが多かったが、近年は低コストで施工性が有利な大型土のうが多用されている。

大型土のうの大きさは幅・高さともに約1mであることから、延長と段数から必要な数が現場で求まり、迅速



写真-4 地すべり末端部の河川護岸として大型土のうを用いた例

に並べることができ、施工管理も容易であるという利点がある。しかし、設置基準・品質基準が明確でないこと、紫外線による劣化や流水の影響で破損しやすいこと、数ヶ月を経過した場合の移動・転用が難しいこと等の問題点もある。

近年、これらの問題点を解消する耐候性大型土のうが登場した。設置期間が2ヶ月を超える場合、転用を複数回行うことにより経済的となる場合や流水の影響を受ける場合等に用いられ、設置ガイドラインが定められている。また、設置1年後の所定強度保持等、性能規定も明確になっている。

設計・施工にあたっては、これらの利点・欠点を理解して使い分ける必要がある。また、土留工の設置によって、その下部斜面に新たな地すべりを誘発しないよう注意が必要である。

(7) その他(川回し・迂回道路など)

地すべり地を横断および縦断する河川や道路が地すべりの活動によって被災した場合、河川や道路を応急的に復旧するため、地すべり地を避けて迂回する方法がとられることがある。

地すべり末端付近に河川が流下している場合、地すべりの発生によって、河川へ土砂が押し出し、地すべり地から上流側に河川が湛水して天然ダムが形成されることがしばしば見られる。天然ダムが決壊すると、下流域に甚大な被害を与えるほか、地すべり末端が浸食され、受働土圧の減少によって、地すべり活動が活発になることが予想され、地すべり地を避けて河川を迂回することがある(図-3)。

また、地すべりによって被災した道路のほかに近隣に別の迂回路がなく生活に必要な場合には、地すべり地を避ける迂回路を計画・施工する。

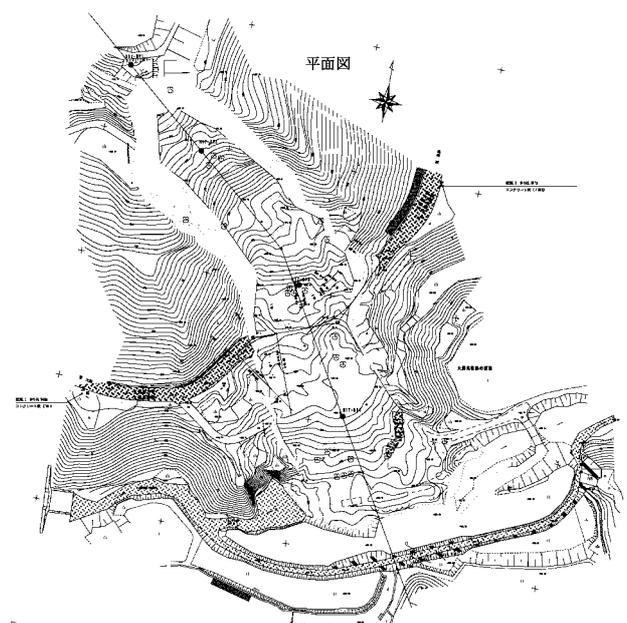


図-3 川回しの事例

道路を完全に地すべり地の外へ迂回できる道路法線が計画できる場合はとくに問題ないが、地すべりの末端部に押し盛土や簡易土留工を計画して施工する場合や、地すべり冠頭部の山側を拡幅して計画する場合には、道路通行者への安全確保のために、地すべり活動状況を知らせるための信号機の設置が有効である。

5.4.4 応急対策工施工事例

多くの地すべり災害のうち、長野市下石川地すべりの事例を紹介する⁷⁾。下石川地すべりは新第三紀層～第四紀層に発生し、滑動が長期にわたりかつ緩慢に移動した地すべりである。

平成11年9月27日、都市化の進む長野市南部の下石川地区において、背後の丘陵性斜面のりんご畑に亀裂が発見され、比較的規模の大きい地すべりの発生であることが確認された。その後亀裂は次第に拡大し、社会問題となった。このため、長野県と長野市は協力して緊急に警戒避難体制を構築し、地すべりの監視を行いながら関係

機関及び住民との情報伝達体制を整え、非常時に備えることとした。

地すべりの全体形状が明らかになってきたのは10月末で、地すべりの規模は長さ180m、幅100mであった。11月から12月にかけて全域に亀裂が発生し、最大日移動量は7cmにも達した。12月から頭部の緊急排土工（7,000m³）が施工され、一時的に移動量は減少したが、年末から排土部背後にも後退性の亀裂が発生し、翌年1月にかけて再び移動量が増加した。その後は年末から開始していた押し盛土の効果が出てくるようになり、沈静化していった。その後の本格的な対策工事は集水井工やアンカー工が施工されている（写真-4・5）。

地すべりの監視データや対策方針などの情報はすべて委員会や掲示板などで公表され、このような地元との密接な対応により住民の地すべりに対する意識は高まり、地元住民に配慮した警戒避難体制の確立に大きく役立ったとされる。

5.4.5 おわりに

応急対策の近年の傾向としては1990年代末から頭部排土工の事例が増加しており、とくにここ数年では無人化施工機械による排土事例が見受けられるようになった。無人化施工機械は、河川を閉塞した土砂の掘削排除にも用いられている。

応急対策は、地すべり発生初期の段階で地すべり移動を抑制し、被害の軽減と恒久工事費の削減につながる重要な位置づけにある。どの場所にもどのような応急対策を行うか、地すべりの運動機構を十分に見極めたうえで施工する必要がある。

ここでは応急対策工についての基本的考え方や、設計施工時の留意点を取りまとめた。参考になれば幸いです。

参考文献

- 1) 社団法人全日本建設技術協会(2006)：平成18年災害手帳，598p.
- 2) 古谷尊彦(2003)：地すべり災害を想定したハザードマップ，地理，Vol.48，No.9，pp.25-28.
- 3) 社団法人全国防災協会(2006)：災害復旧事業における地すべり対策の手引き，189p.
- 4) 綱木亮介(1999)：斜面変状時の対応と留意点，「地すべり防止工事士」登録更新特別研修テキスト，(社)地すべり対策技術協会，51p.
- 5) 上野雄一(2005)：斜面災害のリスクマネジメント(その2)，地すべり技術，Vol.32，No.1，pp30-40.
- 6) 国土交通省湯沢砂防事務所(2006)：新潟県中越地震による地すべり斜面の対策，地すべり技術，Vol.32，No.3，口絵写真.
- 7) 土屋好幸・白石秀一(2004)：長野県下石川地区で発生した地すべりの監視と広報，地すべり学会誌，Vol.40，No.5，pp59-63.
- 8) 長野県土木部土尻川砂防事務所(2000)：下石川地すべりとその対策，No.2.

(原稿受付2007年4月5日，原稿受理2007年6月2日)

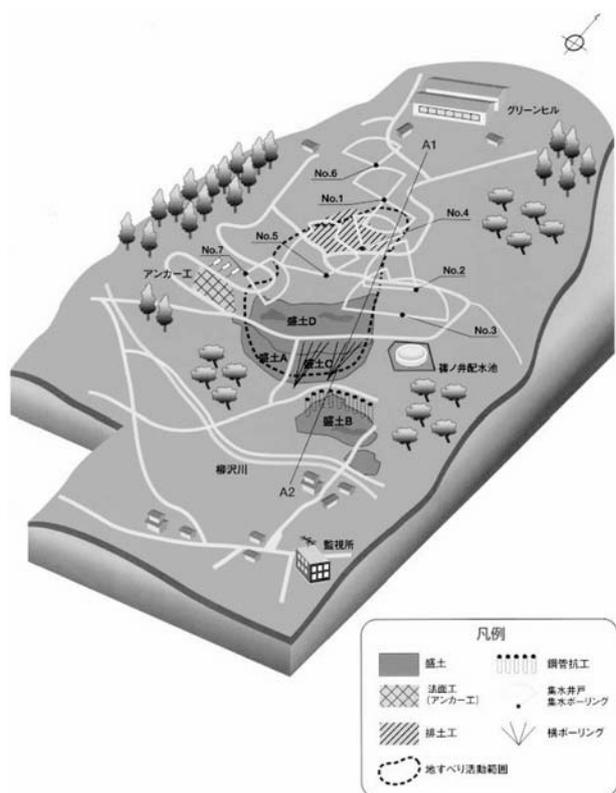


図-4 下石川地すべりの対策概要図⁸⁾

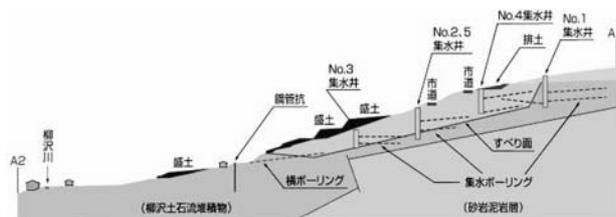


図-5 下石川地すべり模式断面図⁸⁾

6. 講座を終えるにあたって

山田正雄 Masao YAMADA / 国土防災技術(株) Japan Conservation Engineers Co.,Ltd.

本講座は、地すべり専門書でもこれまであまり書かれていなかった、地すべりが発生したときの地すべり現象の把握と判断・対応、また継続観測へ繋げるための地すべりの監視と予測方法の具体的事例、発生初期段階での応急対策等について、経験豊富な技術者たちが具体的事例に基づきこと細かく解説したものです。地すべりが発生して、現場に駆けつける経験の浅い若手技術者にとっ

て、この講座が地すべりに対する適切な判断と対策がとれるための一助になれば幸いです。この講座が始まってからちょうど2年になります。途中この講座を発案された(株)日さくの白石さんのご逝去もありました。白石さんの遺志をついで、何とか講座を最後まで終えることができました。関係各位の協力があったればこそで、ここにお世話になった皆様に深く感謝致します。

回数	章, タイトル	執筆者 (敬称略)	掲載号
1	1. 講座をはじめるとにあたって	阿部真郎 (奥山ボーリング), 白石秀一 (日さく)	42-3号
2	2. 地すべりの前兆現象	阿部真郎 (奥山ボーリング)	42-3号
3	3. 地すべり発生時の対応 3.1 地表踏査 その1	阿部真郎 (奥山ボーリング)	42-4号
4	3.2 地表踏査 その2	塚原俊一 (日本工営), 上野将司 (応用地質), 上野雄一 (日本工営), 新屋浩明 (日本工営)	42-5号
5	3.3 地すべり移動体の形状	上野将司 (応用地質), 阿部真郎 (奥山ボーリング)	42-6号
6	3.4 地すべりの危険度	塚原俊一 (日本工営), 上野雄一 (日本工営), 新屋浩明 (日本工営)	43-1号
7	4. 監視と予測 4.1 初期動態観測	土佐信一 (国土防災)	43-2号
8	4.2 崩壊予測と適用例	木村隆俊 (アイエスティ), 横山昇 (アイエスティ)	43-3号
9	4.3 警戒避難基準	木村隆俊 (アイエスティ), 横山昇 (アイエスティ)	43-4号
10	4.4 モニタリング	山田正雄 (国土防災)	43-5号
11	5. 応急調査・応急対策工の計画 5.1 調査ボーリングの配置計画 5.2 ボーリングに付随する調査および地中動態観測	山崎勉 (国土防災)	43-6号
12	5.3 すべり面の判定	山崎孝成 (国土防災)	44-1号
13	5.4 応急対策工	伊藤俊方 (日さく)	44-2号
14	6. 講座を終えるにあたって	山田正雄 (国土防災)	44-2号

(原稿受付2007年6月21日, 原稿受理2007年6月21日)