

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

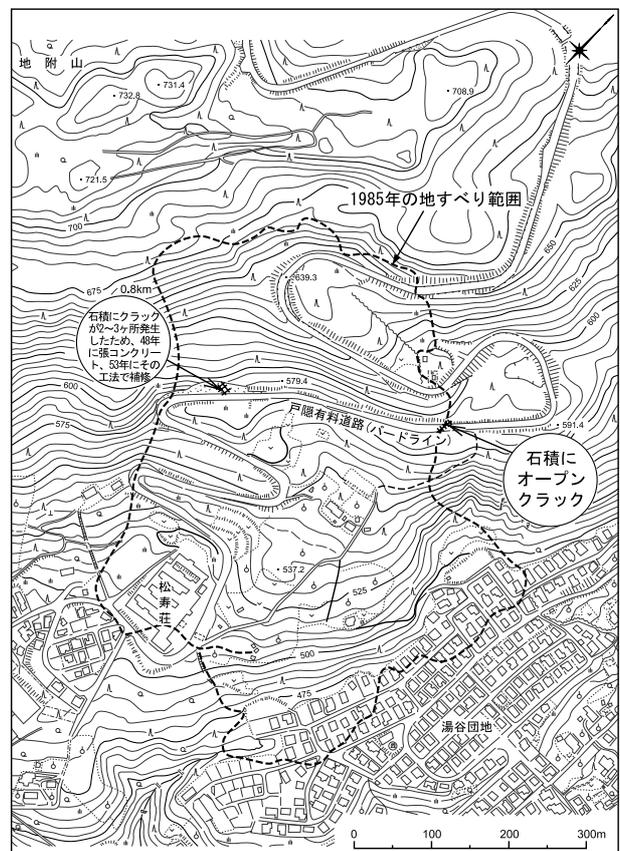


図-1 地附山地すべりで1973年に確認された地表面変状(地附山地すべり機構解析検討委員会:1989に一部加筆)

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、⑦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

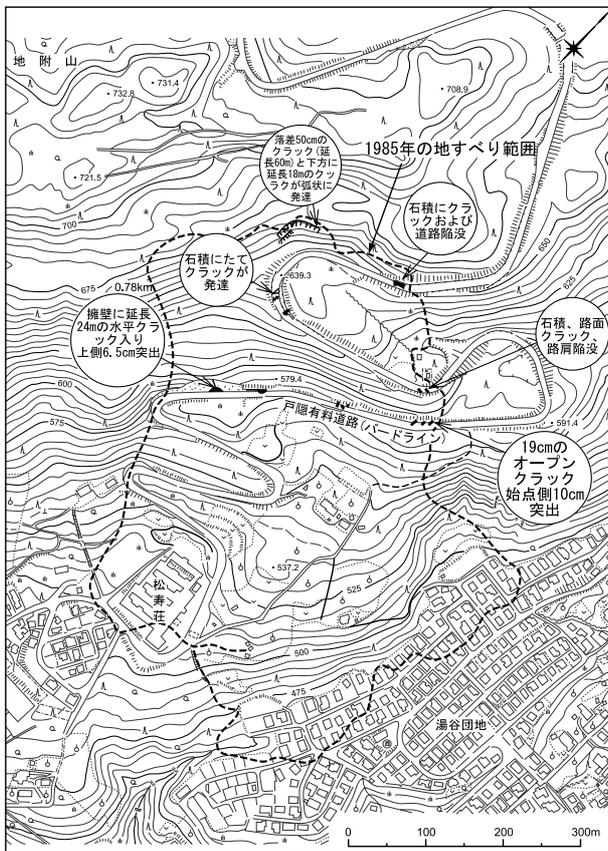


図-2 地附山地すべり1981年8月時点の地表面変状(地附山地すべり機構解析検討委員会:1989に一部加筆)

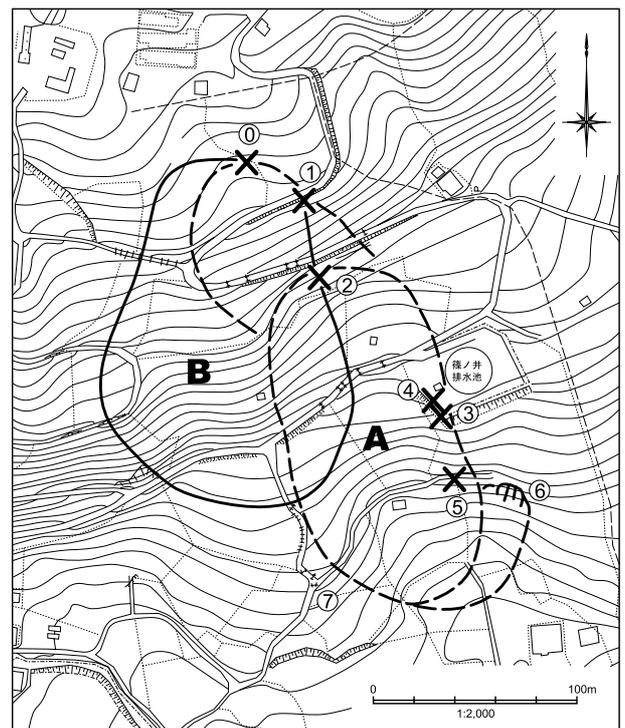


図-3 下石川地すべりにおける地表面の変状と地すべり範囲

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)