

初生地すべりの変動計測システムと危険度評価技術の開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：土砂管理研究グループ（地すべり）

研究担当者：石井靖雄、西井稜子

【要旨】

本研究では、過去の地すべり災害 195 事例を用いて、地すべり危険箇所や地すべり防止区域となっていない地すべりの発生状況とその地質・地形的特徴について調査した。その結果、災害事例のうち約 3 割が地すべり危険箇所等となっていない地すべりであったこと、地すべり危険箇所等となっていない箇所で発生した地すべりの 7 割は 10,000 m² 以下の小規模なものであることが明らかになった。また、そのような小規模地すべりを把握するには LP 地形量図の活用が有効で、等高線図と斜面勾配図を重ね合わせた図が適当と考えられた。また、範囲が不明瞭な地すべりの変動計測システムとして、複数の IT 地表傾斜計の設置が有効である可能性が示された。

キーワード：初生地すべり、数値標高モデル、変動計測、IT 地表傾斜計

1. はじめに

地すべりの空間的分布の把握は、従来、空中写真判読によっておこなわれてきており、地すべり危険箇所調査や地すべり防止計画の予備調査においても空中写真判読が活用されている。とくに、現地踏査では把握しにくい大規模な地すべりや複数ブロックから構成される地すべりの範囲を把握する上で、空中写真判読は非常に有用な調査手法である。しかし、日本の地すべりは大部分が森林限界以下に位置しているため、地すべりによる斜面の変状が微小な場合、空中写真判読による地すべり地形の把握が、植生の被覆によって困難になる場合がある。また、地形図で不明瞭な微地形を判読することも困難な事例が多い。近年、そのような空中写真判読では地すべりとして認識することが困難な斜面において、地すべりが発生する事例が報告されている^{1)、2)}。報告事例のように、事前に地すべり斜面と認識していない斜面で地すべりが滑動した場合、適切な対策の実施が困難なため被害が拡大する可能性、あるいは、地すべり活動が住民の生活やライフラインに対して多大な影響を及ぼす可能性が考えられる。したがって、このような地すべり災害を軽減するためには、従来の空中写真判読に加えて、新たな手法を用いて地すべり地形を抽出する手法の構築が必要と考えられる。

近年、全国において航空レーザ（LP）測量が実施されており、高解像度の数値標高モデル（DEM）が取得されつつある。LP 測量から取得される DEM は、樹木間を通過し地表面で反射したレーザ光のデータをもとに算出されるため、森林斜面に分布する地すべり形状の把握に適した地形データといえる。また、LP 測量データから作成された高解像度地形図によって地すべりの詳細な微地形の把握も可能となる。

そこで、本研究課題では、従来の空中写真判読では抽出が難しい初生地すべりの地質・地形的特徴を明らかにするとともに、初生地すべりの可能性のある斜面を判読するための LP 地形量図を提案した。ま

た、初生地すべりの可能性のある斜面を対象に、安価かつ高精度の地盤変動計測による監視システムを開発した。

2. 初生地すべりの発生実態

2.1 初生地すべりの定義と発生実態の調査方法

本研究では、従来の空中写真判読調査では抽出が困難な地すべりを初生地すべりと定義する。解析対象は、地震が誘因のものを除いた 2001～2013 年度における 13 年間の災害関連緊急地すべり対策事業実施箇所（以下：災関箇所）268 事例のうち、災害資料等を収集できた 195 事例（250 ブロック）とした。災関箇所それぞれの地すべり活動の状態について初生かどうかを収集資料から判別することは難しいことから、発災時点において地すべり危険箇所（以下：危険箇所）、地すべり防止区域（以下：防止区域）では無い箇所を初生地すべり（未抽出地すべり）とした。危険箇所の抽出は 1/10,000 程度の空中写真を用いて判読を行い 1/25,000 地形図に図示することによりまとめられていることから、通常の予備調査段階での地すべり地形判読とほぼ同レベルで抽出されていると考えられる。

調査では、まず、初生地すべりの発生状況を把握するため、災害資料等を基に 195 災関箇所の危険箇所・防止区域の該当状況を調査・整理した。次に、災関箇所の地すべりブロック形状を、災害資料に掲載されている平面図を基に GIS 上でポリゴンとして作成し、面積、傾斜等の地形要素を計測した。地質については、独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センターが作成した 20 万分の 1 日本シームレス地質図³⁾を用いて、災関箇所の地質を堆積岩類、付加コンプレックス、火山岩類、変成岩類、深成岩類の 5 種に分類・整理した。

2.2 初生地すべりの発生実態

図-1 に、過去 13 年間における各地域の初生地すべりの発生状況を示す。調査対象とした 195 災関箇

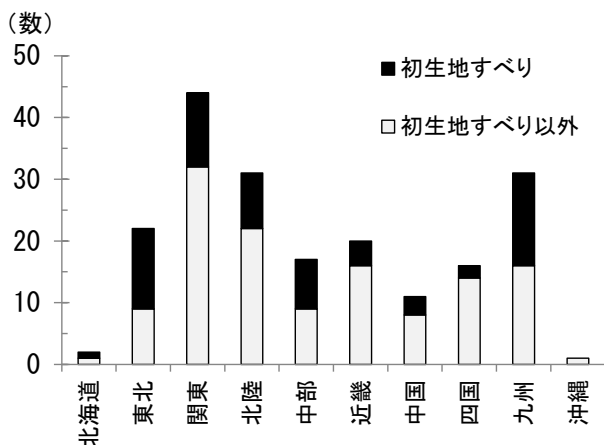


図-1 地域ごとの初生地すべりの発生数

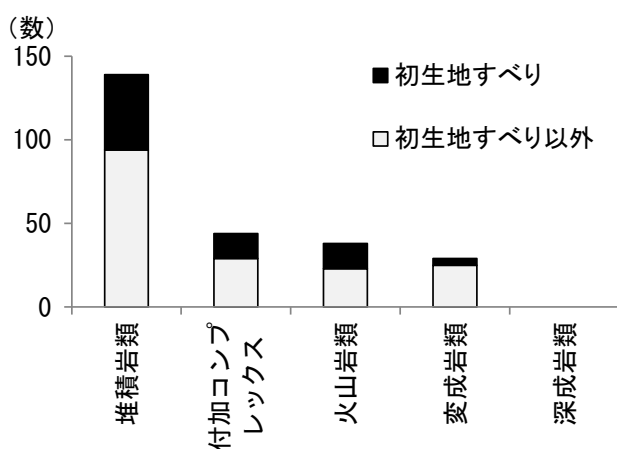


図-2 地質ごとの初生地すべりの発生数

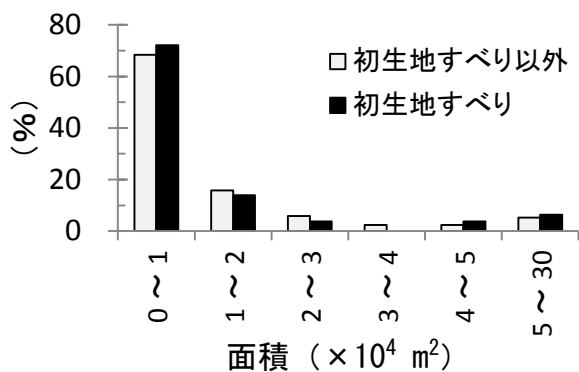


図-3 初生地すべりの面積頻度分布

所のうち、初生地すべり（未抽出）は、沖縄を除く全地域で認められる。全災関箇所数に対する初生地すべり発生数の割合は、約3割を示す。また、地質毎における初生地すべりは、深成岩を除く全地質で発生している（図-2）。初生地すべりに着目すると、初生地すべりの6割は堆積岩類で発生する傾向が認められる。次に、地すべりの規模（面積）についてみると（図-3）、初生地すべり全体のうち約7割が、10,000m²以下の小規模地すべりである。ただし、規

模の大きい初生地すべりも数は少ないが存在する。

以上の結果より、初生地すべりを事前にできる限り把握していくためには、小規模地すべりを抽出できるようにする必要がある。

3. 地すべり判読に適したLP地形量図の検討

従来の空中写真に比べ、高分解能であるLPデータを活用することで、2.2.1で示された小規模なものも含めた不明瞭な地すべり地形を抽出できる可能性がある。そこで、地すべり地形判読に適したLP地形量図を明らかにするため、以下の検討を行った。なお、ここで述べているLP地形量図とは、航空レーザ測量成果のDEMデータを基に、GISソフトウェア等を用いて作成した地形量を把握できる図を指す。

まず、地すべり地形判読に必要と考えられる微地形として、表-1に示した4要素を選定した。そして、

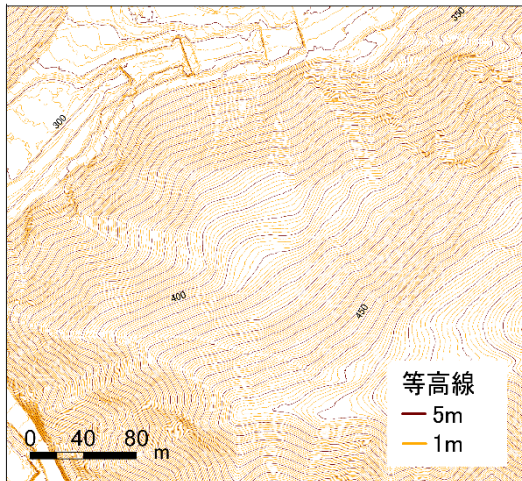
表-1 LP地形量図を基に抽出する地形要素

地形要素	説明	地すべり地形 ^{b)}
遷急線	斜面下方に向かって、緩勾配から急勾配に変化する地点を結んだ線。	頭部滑落崖、末端隆起部、分離小丘、引張亀裂、圧縮亀裂
遷緩線	斜面下方に向かって、急勾配から緩勾配に変化する地点を結んだ線。	-
ガリー	地表に掘り込まれた急な側壁をもつ小規模な溝状地形。降水時のみ流水をみる ^{a)} 。	-
凹地	くぼ地。	湖沼、湿地帯

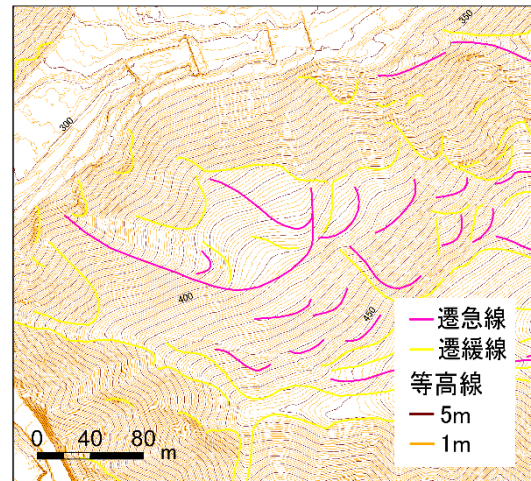
a) 地形学辞典の「雨裂」から引用。

b) 藤原(1979)の図2.1の凡例に対応

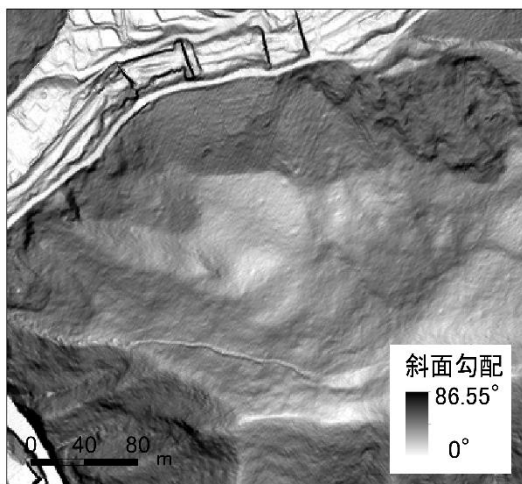
それらの微地形抽出に適したLP地形量図の候補として、計6種の地形量図（等高線図、斜面勾配図、斜面傾斜方向図、開度図、固有値比図、ウェーブレット解析図）を取り上げた。その上で、付加コンプレックスと新第三紀層の2つの地質地域（計37km²）を対象に、6種のLP地形量図を用いて、微地形の抽出に適したLP地形量図を検討した。各LP地形量図で微地形がどのように見えるのか、その一例を図-4に示す。図-4の遷急線や遷緩線は、等高線の線密度や斜面勾配の濃淡色調の変化として認識できる。一方、斜面傾斜の方向が変化する位置と遷急線・遷緩線が必ずしも一致しないため、斜面傾斜方向図を基に遷急線・遷緩線を認識することは困難である。表-2に、LP地形量図を用いた微地形（地形要素）判読の難易の検討結果を示す。判読の難易を3段階に区分し評価した結果、単一のLP地形量図を用いて、多くの地形要素を判読できるのは、等高線図、斜面勾配図と考えられた。ただし、等高線図はベクタ形式のため、等高線間隔以下の微地形を表現することはできない。一方、斜面勾配図は、ラスタ形式のため、グリット単位で地形量を表現できる特徴がある。残りのLP地形量図（斜面傾斜方向図、開度図、固有値比図、ウェーブレット解析図）は、限られた地形要素の判読に適している傾向がある。これらの結果を



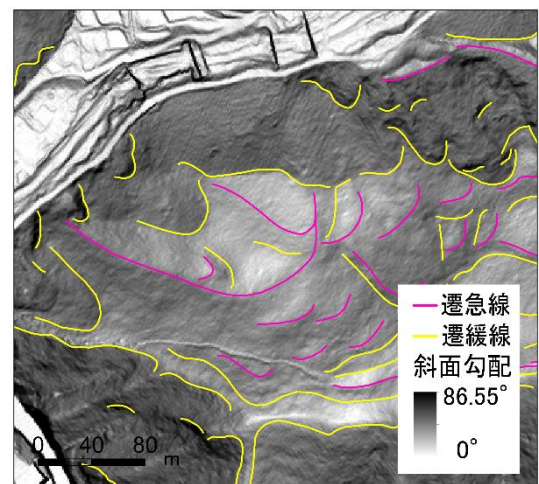
等高線図（微地形未記入）



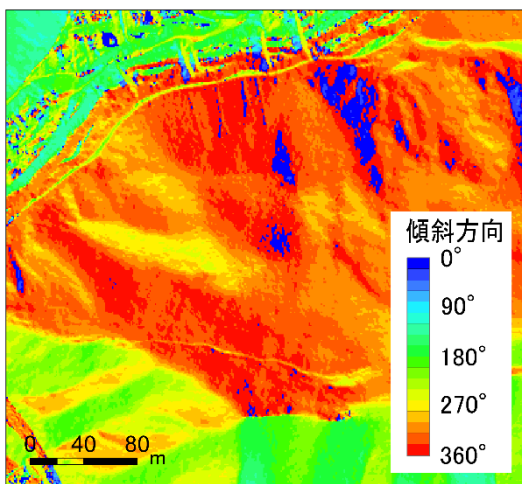
等高線図（微地形記入）



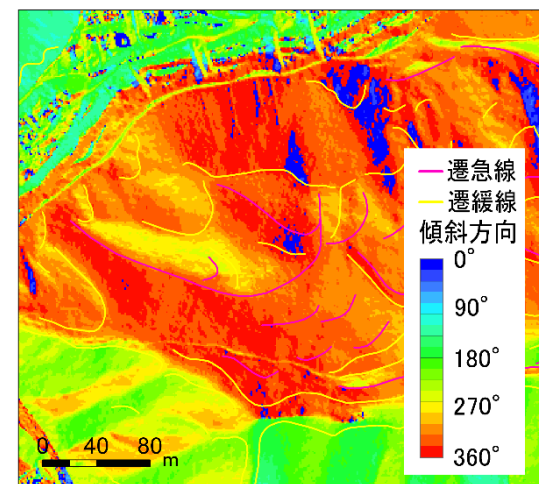
斜面勾配図（微地形未記入）



斜面勾配図（微地形記入）



斜面傾斜方向図（微地形未記入）



斜面傾斜方向図（微地形記入）

図-4 LP 地形量図における遷急線・遷緩線の見え方（1 mDEM 使用）

表-2 各LP地形量図を用いた地形要素判読の難易

地形要素	等高線図 (ベクタ)	斜面勾配図 ^{a)} (ラスタ)	斜面傾斜方向図 ^{a)} (ラスタ)	開度図 ^{b)} (ラスタ)	固有値比図 ^{a)} (ラスタ)	ウェーブレット 解析図 ^{a)} (ラスタ)
起伏(標高)	○	△	×	×	×	×
遷急線	○	○	×	×	×	△
遷緩線	○	○	×	×	×	△
ガリー	○	○	△	○	△	○
凹地	○	△	△	×	×	×

○:判読可能.

△:単一のLP地形量図のみでは判読困難.しかし、他のLP地形量図と重ね合わせることで、判読がより容易になる.

×:判読困難.

灰色のハッチング:推奨される地すべり地形判読用地図の組み合わせ.

^{a)} ウィンドウサイズ 1 mの計算条件.

^{b)} 見通し距離50 mの計算条件.

踏まえると、ベクタ形式の等高線図とラスタ形式の斜面勾配図の重ね合わせ図が、微地形判読により適した図と考えられる。

重ね合わせ図を用いた地すべり地形の判読手順(例)を図-5~8に示す。まず、LPデータから等高線と斜面勾配の重ね合わせ図を作成した(図-5)。そして、重ね合わせ図を用いて遷急線・遷緩線等の微地形判読を行い微地形分布図を作成した(図-6)。次に、微地形分布図を基に地すべりブロックを判読し(図-7)、最終的に地すべり地形判読図を作成した(図-8)。このような地形分解能の高いLP地形量図を用いて微地形分布図を作成し、地すべり地形判読を行うことで、地すべり地形の判読漏れ(見逃し)を低減することができると思われる。

4. 初生地すべりの変動計測システムの検討

4.1 目的

多くの初生地すべり(従来の空中写真判読調査では抽出が困難な地すべり)は、明瞭な滑落崖を有しておらず、移動体の輪郭も不明瞭であることが予想される。そのような初生地すべりの変動範囲を特定するのに適した機器の条件として、明瞭な亀裂や段差がない場合でも機器が設置でき、微小な変動を計測できることが挙げられる。本研究では、そのような条件を満たす地盤傾斜計(IT地表傾斜計)を斜面に複数設置することで、変動斜面の範囲を特定できるかを検討した。また、地盤傾斜計だけでは、地盤の移動量や深さ方向の変動を把握することができな

いため、地盤伸縮計と孔内傾斜計も同時に設置し、斜面の変動状況を解析した。

4.2 対象地と観測方法

明瞭な滑落崖が認められない斜面において崩壊が発生した履歴を有する奈良県吉野郡上北山村西原を調査対象地とした。調査地一帯の地質は、四万十帯頁岩優勢砂岩・頁岩互層からなり、低角度の流れ盤構造を示す。対象斜面の平均勾配は45°前後であり、斜面中腹には小規模な段差地形が存在するが、滑落崖などの明瞭な地すべり地形は認められない。調査地に隣接する上下流の斜面には、複数の崩壊跡地が認められる。

観測測器は、図-9~10に示すように、IT地表傾斜計14基、地盤伸縮計5基、挿入式孔内傾斜計1孔を対象地に設置した。

4.3 観測結果

観測結果は2009年6月から2014年1月までの期間のデータについて、図-9、11にまとめた。IT地表傾斜計については、観測期間中の年平均変動量が100秒を超える機器(対応する機器の番号を列挙)は、概ね最大傾斜方向への変動を示す(図-9)。段差地形を境界に、上方斜面に設置した機器(K-2、3、11、12、13)は小さい年平均変動量(25~193秒)を示すのに対し、下方斜面の機器(K-4、5、8、9)は年平均変動量が300秒を超える。そのため、段差地形より下方斜面(図-9に実線で示す約1100m²の範囲)が最大傾斜方向に向かって変動していると推

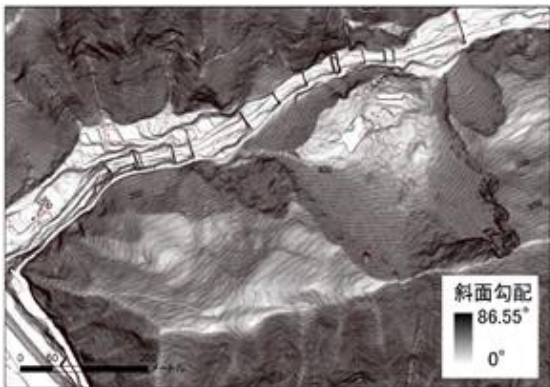


図-5 等高線と斜面勾配の重ね合わせ図

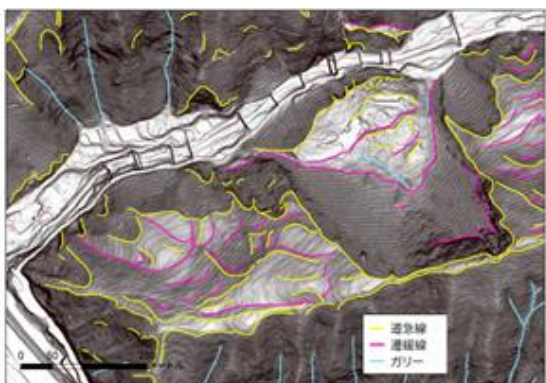


図-6 微地形判読図

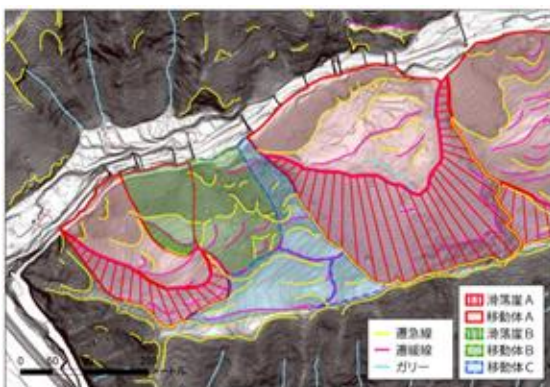


図-7 微地形と地すべりの判読図

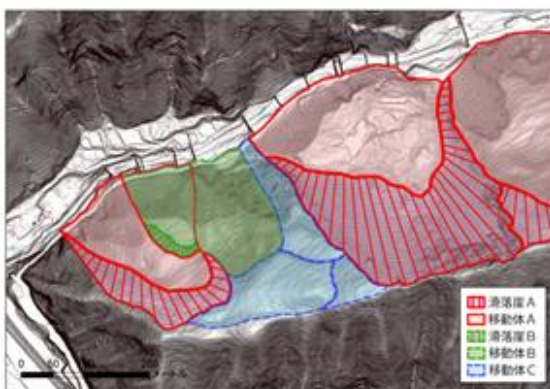


図-8 地すべり地形判読図

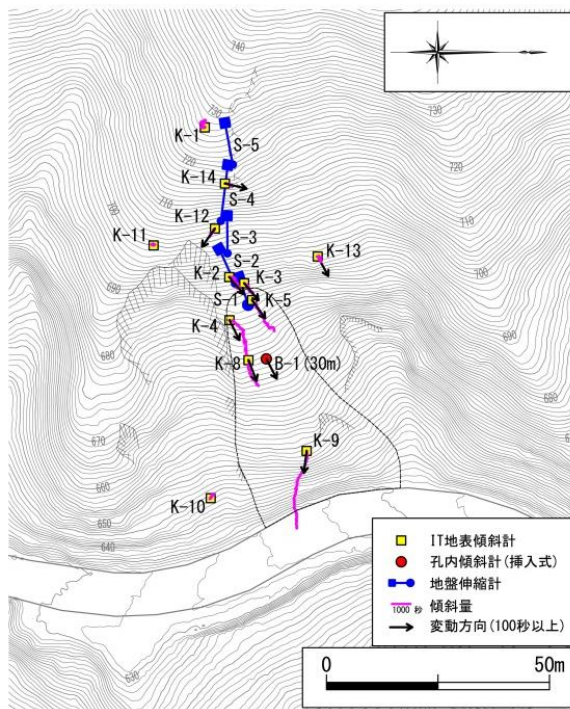


図-9 観測機器の配置と IT 地表傾斜計変動方向

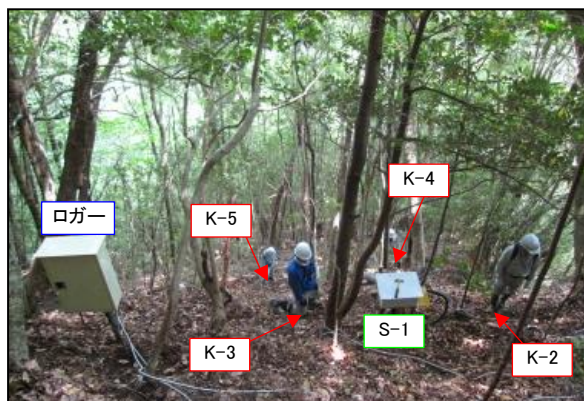


図-10 観測機器の設置状況

定された。とくに、末端に位置する K-9 の年平均変動量は 958 秒を示し、最も傾動が大きい。降雨との関係では、2011 年 8～9 月の豪雨時に、IT 地表傾斜計 K-9 で変動量が大きくなる傾向 (図-11 上段) が認められたことから、尾根地形末端の村道法肩付近が豪雨の影響を受け傾動が大きくなった可能性がある。一方、他の IT 地表傾斜計の観測結果は降雨に伴い傾動が大きくなった傾向は認められなかった。

地盤伸縮計に関しては、段差地形をまたいで設置された S-1 では、月平均約+0.12mm の引張変位の累積を記録した (図-11)。S-1 の変位は、段差地形を境界に上方・下方斜面に設置された IT 地表傾斜計の傾動傾向と調和的である。S-2～4 の月平均変位は、S-1 よりも低い値を示す。

挿入式孔内傾斜計の累積変位は、剪断を示すような明瞭な変動は認められなかった (図-7)。2.0m 以浅の変形は、2010 年 12 月 3 日～2014 年 1 月 27 日

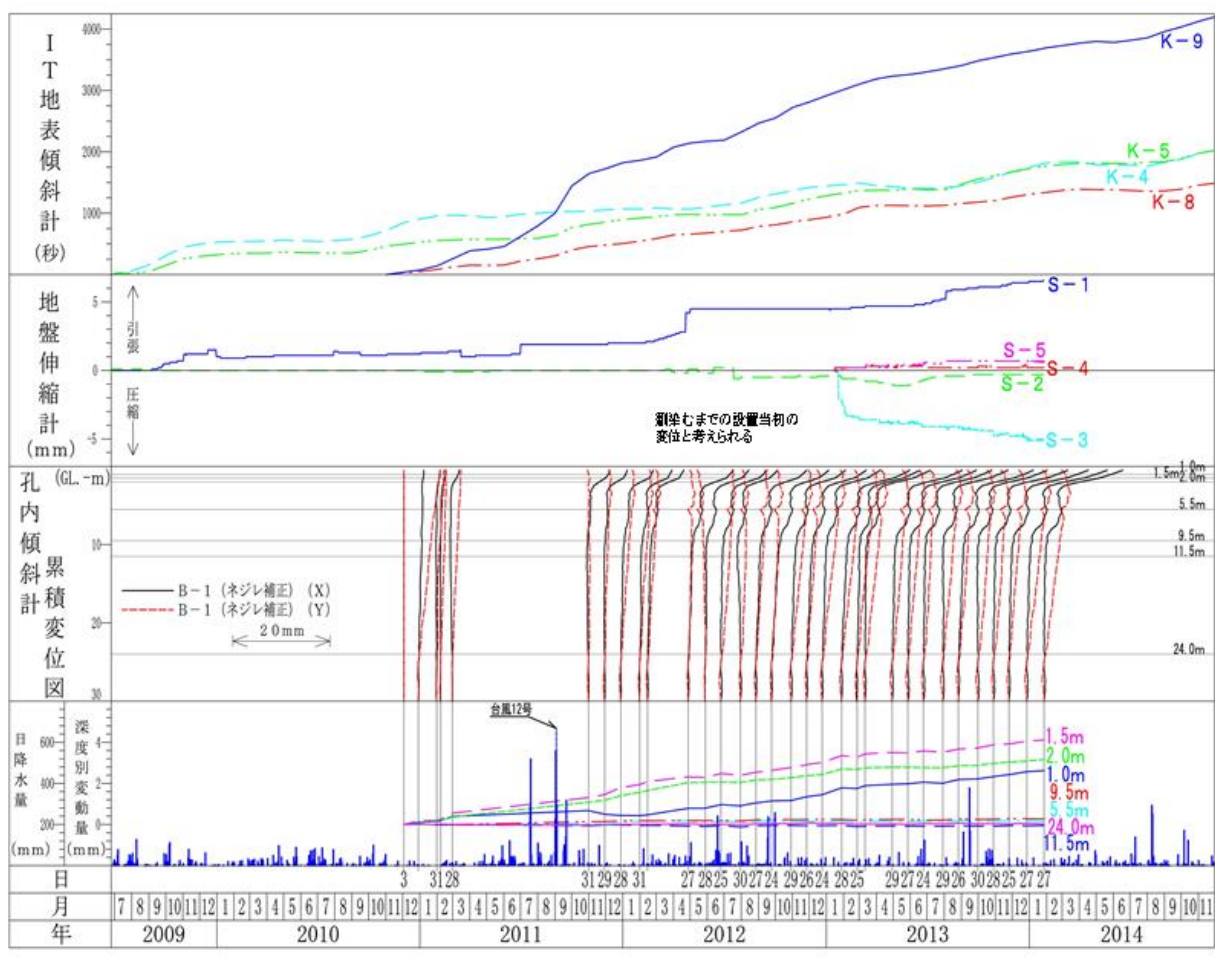


図-1 1 IT 地表傾斜計、地盤伸縮計、孔内傾斜計の変動図

にかけて 4mm の累積的な変動を示す。このような動きは、表層部が下方へ移動する表層クリープを反映している可能性が考えられる。9.5m 以浅においては谷側へ傾斜する変位が認められる。また 24.0m 以浅についても北側へ傾倒する微小な変位が認められる。

4.4 対象斜面の変動状況

IT 地表傾斜計、地盤伸縮計、孔内傾斜計の観測結果を総合的に評価すると、対象地の段差地形より下方斜面が主に最大傾斜方向に変動していると推定される。そして、微小な変動を示す斜面の範囲は、図-9 の実線に囲まれた斜面と推定される。また、孔内傾斜計の観測結果などを基に考察すると、明瞭な地すべり性の変動には至っていないと考えられる。

5. まとめ

2001～2013 年度の地すべり災害 195 事例（災害関連緊急地すべり対策事業実施箇所）を用いて、地すべり危険箇所や地すべり防止区域に指定されていない地すべりの発生状況を調査した。その結果、195 事例のうち約 3 割が地すべり危険箇所等となっていない箇所が発生していることが明らかになった。また、地すべり危険箇所等となっていない箇所が発生した地すべりの 7 割は、10,000 m² 以下の小規模な

ものであることが明らかになった。そのような小規模な地すべりを判読可能とする基図として、LP データを用いて作成した等高線図と斜面勾配図の重ね合わせ図である LP 地形量図の活用が有効と考えられた。

変動計測システムに関しては、複数の IT 地表傾斜計を設置することで、微小な変動を示す斜面の範囲を推定することができた。ただし、地盤の変位量や深さ方向の変動を把握するには地盤伸縮計や孔内傾斜計などの他の測器と組み合わせる必要がある。また、今回の観測結果を踏まえると、微小な動きを示す斜面の変動範囲を特定するためには、機器の配置計画が重要であるとともに、変動・不動を見極めるための十分な観測期間が必要であると考えられた。

参考文献

- 1) 藤澤ほか(2004)「奈良県大塔村で発生した地すべり災害(災害速報)」土木技術資料, vol. 46, No. 9, pp4-5
- 2) 藤澤ほか(2006)「岐阜県揖斐川町東横山地区で発生した地すべり」土木技術資料, Vol. 48, No. 7, pp4-5.
- 3) 独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター「20 万分の 1 日本シームレス地質図」
<https://gbank.gsj.jp/seamless/>.

- 4) 藤原明敏 (1979) : 地すべりの解析と防止対策, 理工
図書.
- 5) 町田 貞・井口正男・貝塚爽平・佐藤 正・榎根 勇・
小野有五 編 (1981) : 地形学辞典, 二宮書店.

DEVELOPMENT OF VARIATION MEASUREMENT SYSTEM AND RISK ASSESSMENT OF JUVENILE PRIMARY LANDSLIDES

Budget : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Erosion and Sediment
Control Research Group
(Landslide Research Team)

Author : ISHII Yasuo
NISHII Ryoko

Abstract : Past 195 landslide disasters in Japan were analyzed to reveal geological and topographical features of primary landslides. The primary landslides accounted for about 30 percent of the whole landslide disasters, whose geology mainly consisted of sedimentary rocks. In addition, 70 percent of the primary landslides had the area less than 10,000 m². Such small landslides (<10,000 m²) can be detected more easily by interpretation using the LP map combined contour map with slope inclination map. With regard to the system of deformation monitoring, monitoring data of slope deformation using multiple IT ground tiltmeters can provide valuable information to estimate the area of deformation slope.

Key words : juvenile primary landslide, digital elevation model, deformation monitoring, IT ground tiltmeter