

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 268 事例を用いて、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初生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 割が初生地すべりであり、それらの多くは堆積岩地域で発生していることが明らかになった。また、一部の災害事例を対象に、LP データを用いて初生地すべりの地形的特徴を解析した結果、初生地すべりの平均勾配は、再活動地すべりに比べ、急である傾向を示した。また、変動計測システムの開発については、複数の IT 地表傾斜計を設置することで、斜面の変動範囲の把握が可能であることが示された。

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、LP データを用いて、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の抽出手法の構築を目指している。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の開発を行うことを目的としている。

上記の目的を達成するため、①初生地すべりの危険性の高い斜面の抽出技術と地形活性度等による危険度評価技術の開発、②抽出された初生地すべりのうち、危険度の高い斜面の変動計測システムおよび地すべり範囲・規模の予測手法の開発の二つの側面から研究を進めている。平成 26 年度は、①に関しては、過去の地すべり災害事例をもとに、空中写真では判読が難しい地すべりの発生事例の実態を調査した。また、LP データを用いて、それらの地質・地形的特徴を分析した。②に関しては、明瞭な地すべり地形を呈していない斜面に設置した IT 地表傾斜計、地盤伸縮計、孔内傾斜計のデータを比較し、その地盤の変動状況を解析した。

2. 初生地すべりの発生実態調査

2.1 初生地すべりの定義と調査方法

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 事例とした（図-1）。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とみなした。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。

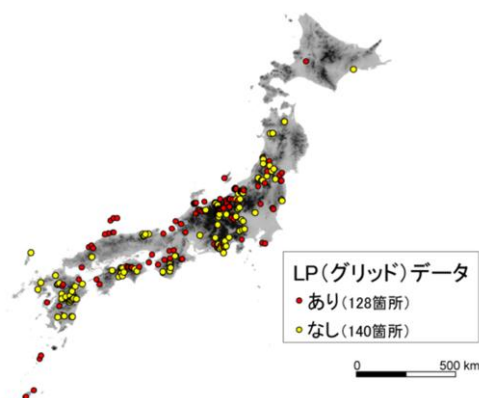


図-1 解析対象の災関箇所の位置

調査では、まず近年の初生地すべりの発生状況を把握するため、国土交通省国土技術政策総合研究所の土砂災害データベース（以下：土砂災害 DB）に掲載されている土砂災害発生報告書を基に、268 災関箇所の危険箇所・防止区域の該当状況を調査した。

次に、災関箇所の位置と地すべりブロックの形状を既往報告書や土砂災害 DB に掲載された平面図から読み取り、初生地すべりの地質・地形的特徴を調べた。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、火山岩、変成岩、深成岩、その他の 5 種に分類・整理した。地形的特徴は、地すべりブロック末端の平面形状に着目し、凸型、直線型、凹型に区分し、調査した。地すべりの規模は、災害 DB に記載されている面積の値を用いて整理した。

LP データを用いた地形解析は、宮崎県の災関箇所 11 箇所を対象とした。LP データから作成された DEM を用いて傾斜量図、等高線図、修正開度図⁴⁾などの解析図を作成し、長さ、幅、面積、高さ、傾斜、末端平面形状、末端地形、地質を調査した。傾斜量図などの作成に使用した DEM データのグリッドサイズは 1m である。GIS を用いた地すべりブロックの入力精度は 2,500～5,000 分の 1 スケールで作業を行った。調査の流れは、図-2 に示す通りである。

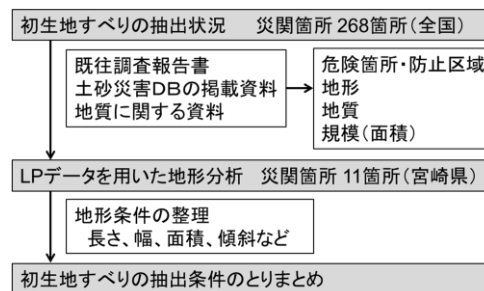


図-2 調査の流れ

2.2 解析結果

2.2.1 初生地すべりの発生状況

図-3 に、過去 13 年間の初生地すべりの発生状況を示す。調査対象とした 268 災関箇所のうち、発災時に危険箇所・防止区域に非該当の箇所（初生地すべり）は 74 箇所あることが明らかになった。資料が無い 48 箇所を除く全体 220 箇所に対する非該当箇所（初生地すべり）の割合は 34%を示す。

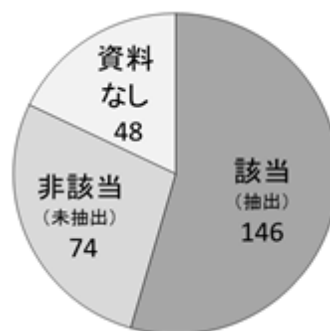


図-3 災関箇所の危険箇所・防止区域の該当・非該当箇所

2.2.2 初生地すべりの地質的特徴

危険箇所・防止区域に該当または非該当することが明らかになっている 220 災関箇所の地質の調査結果を図-4 に示す。災関箇所数は、堆積岩が 152 箇所と最も多い。次いで、火山岩 35 箇所、変成岩 27 箇所、深成岩 1 箇所を示す。また、非該当の全箇所数（74）に対する堆積岩の非該当箇所数（56）は 76%

に達する。各地質ごとの災関箇所数に対する地すべり危険箇所・防止区域の該当箇所数の割合を抽出率と定義すると、堆積岩地域の抽出率は、ほかの地質に比べて、低い傾向を示す。一方、変成岩地域の抽出率は82%と高い値を示す。

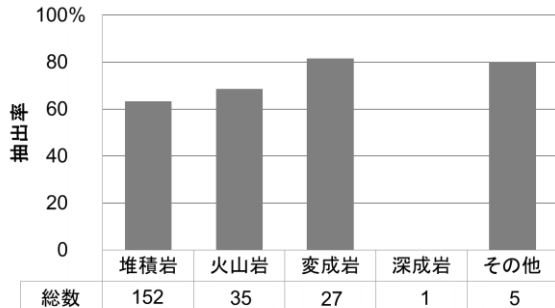


図-4 地質ごとの抽出率

2.2.2 初生地すべりの地形的特徴

ブロック末端の平面形状に着目し、解析対象地すべり(220箇所)を凸型、直線型、凹型に区分した結果を図-5に示す。抽出率は凸型が53%、凹型が53%となり、直線型の68%よりも低い。総数は直線型が最も多く101箇所であり、全体に占める割合は46%となっている。また、河川・海岸に接する箇所の抽出率は59%を示す(図-6)。さらに、地すべり末端が河川・海岸に接する事例56箇所について、

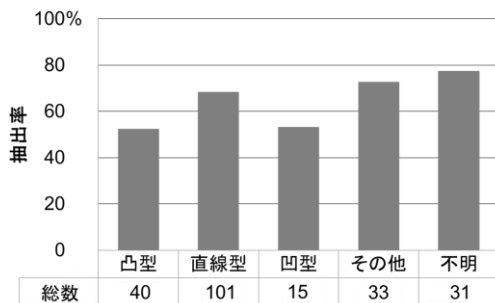


図-5 地すべり末端の平面形状と抽出率

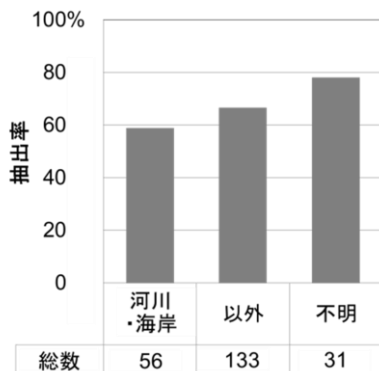


図-6 地すべり末端が河川・海岸に接する箇所の抽出率

末端の平面形状毎の抽出率を図-7に示す。末端の平面形状が凹型の箇所では抽出率が44%と低い傾向が認められた。

地すべりの規模(面積)についてみると、図-8に示す通り、50,000m²を超える地すべりの抽出率は86%以上となっている。一方、50,000m²未満の地すべり抽出率は57~77%となっている。とくに、5,000~20,000m²の抽出率は57%と最低値を示し、全体(集計不可を除く)の約4割を占める。

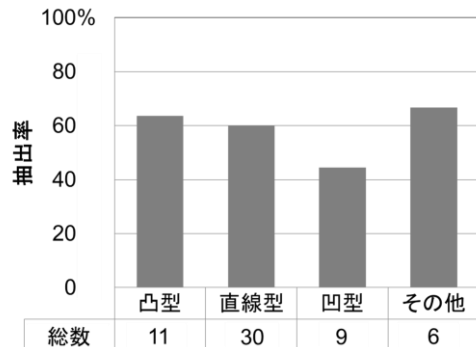


図-7 末端が河川・海岸に接する箇所の平面形状ごとの抽出率

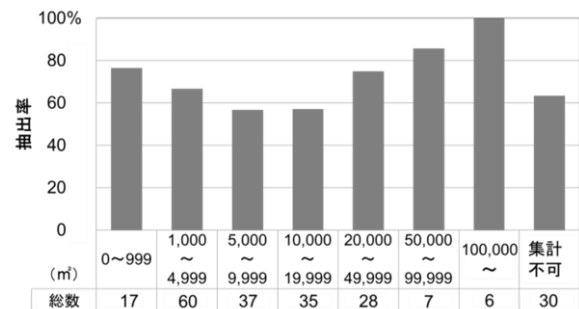


図-8 面積ごとの抽出率

2.2.3 LPデータを用いた地形解析

宮崎県内の災関箇所11箇所(18ブロック)のうち危険箇所・防止区域に該当しない箇所はA~D地区の4箇所(4ブロック)であった。LP図を用いた判読事例を図-9~10に示す。発災後のLP図では、地すべり頭部に比高4m程度の滑落崖が認められ、末端形状は凸型を示す(図-9)。また、図-10に示す通り、既往の報告書では地すべり末端は斜面中腹の道路付近に位置し、河川に接していない。

災関箇所(18ブロック)について地形解析した結果を表-1に示す。地形条件は1箇所を除きブロック末端が河川に接する事例であった。末端の平面形状には、2.2.2節で得られたような抽出状況の偏りはみ

られない。危険箇所・防止区域に該当しない地すべりブロックは4ブロックある。それらの非該当ブロックの平均斜面勾配は32°（28～39°）を示すのに対し、危険箇所・防止区域に該当する8ブロックの平均斜面勾配は17°と差が認められた。地質は全ての箇所堆積岩（四万十帯）に属する。対象とした

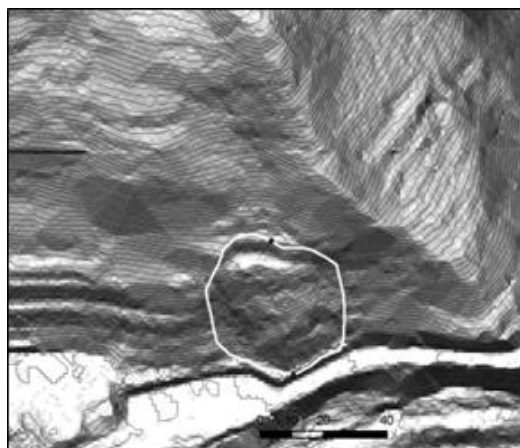


図-9 B地区の判読例

修正開度図と等高線図1mを重ね合わせた解析図。
色の濃淡は傾斜を表現しており、淡色は緩傾斜を示す。

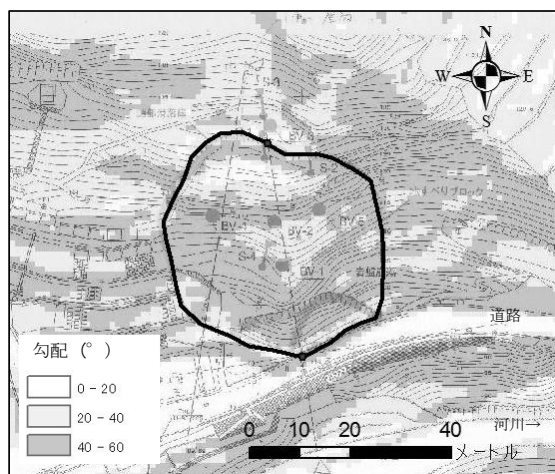


図-10 B地区における調査報告書平面図に傾斜量図を重ね合わせた事例

表-1 LPデータを用いた宮崎県災関箇所の解析結果

地区名	長さ(m)	幅(m)	面積(m ²)	高さ(m)	傾斜(°)	末端形状	地形条件	地質
A地区	122	95	10191	71	30	直線	河川	堆積岩
B地区	43	42	1492	35	39	凸	—	堆積岩
C地区	106	109	9478	63	31	直線	河川	堆積岩
D地区	180	340	58194	95	28	凹	河川	堆積岩
非該当4ブロック平均	113	146	19839	66	32			
該当8ブロック平均	184	128	27277	54	17			
全18ブロック平均	211	164	22689	88	23			

18ブロック：全てのブロック（危険箇所・防止区域の該当状況が資料から不明のブロックも含む）

地域では、とくに、地すべり末端に河川が存在し、斜面勾配が30°前後の地すべりブロックの抽出に注意を払う必要があると考えられる。

3. 地表傾斜計等による斜面変動計測調査

3.1 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。

3.2 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-11～12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。

3.3 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

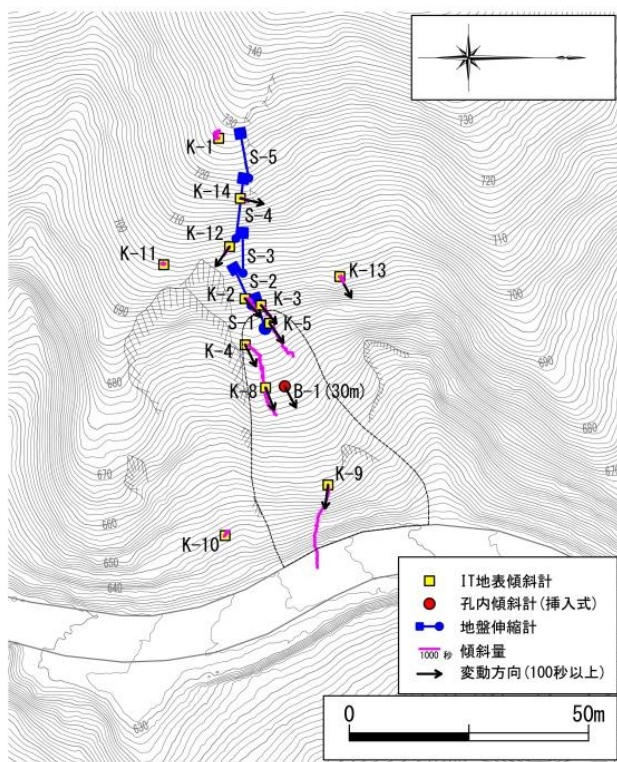


図-11 観測機器の配置と IT 地表傾斜計変動方向

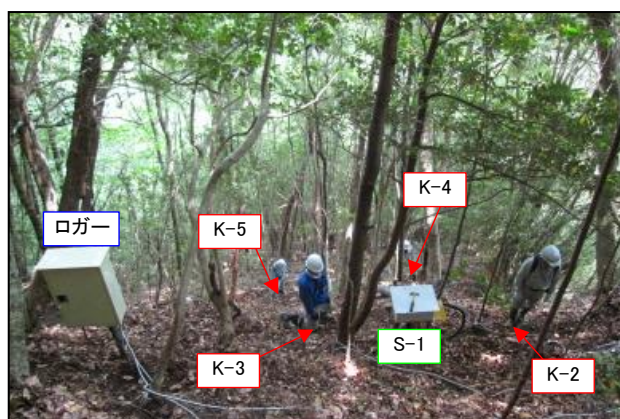


図-12 観測機器の設置状況

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-11）。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（図-11）。そのため、段差地形より下方斜面（図-11 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-13 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-13）。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-13）。2.0m 以浅の変形は、2010 年 12 月 3 日～2014 年 1 月 27 日にかけて 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。

降水量は、近傍の気象庁が設置した奈良県上北山アメダスの観測データを用いた。200mm/日以上 of 降水は、2011 年の台風 12 号による豪雨（1812mm；2011 年 8 月 31 日～9 月 4 日）を含め、13 回観測された（図-13）。

3.4 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動いていることが明らかになった。そして、微小な変動を示す斜面の範囲は、図-11 の実線に囲まれた斜面と推定された。また、孔内傾斜計の観測結果などを基に考察すると表層以深の変動量は小さく、明瞭な地すべり性の変動には至っていないものと考えられた。

4. まとめ

2001～2013 年度の地すべり災害 268 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初生地すべりの発生状況を調査した。その結果、268 事例のうち約 3 割が初生地すべりとして発生していることが明らかになった。初生地すべりの地質的特徴として、堆積岩地域において初生地すべりの発生が多い傾向が認められた。また、初生地すべりは、凸型・直線型・凹型いずれの斜面形状にお

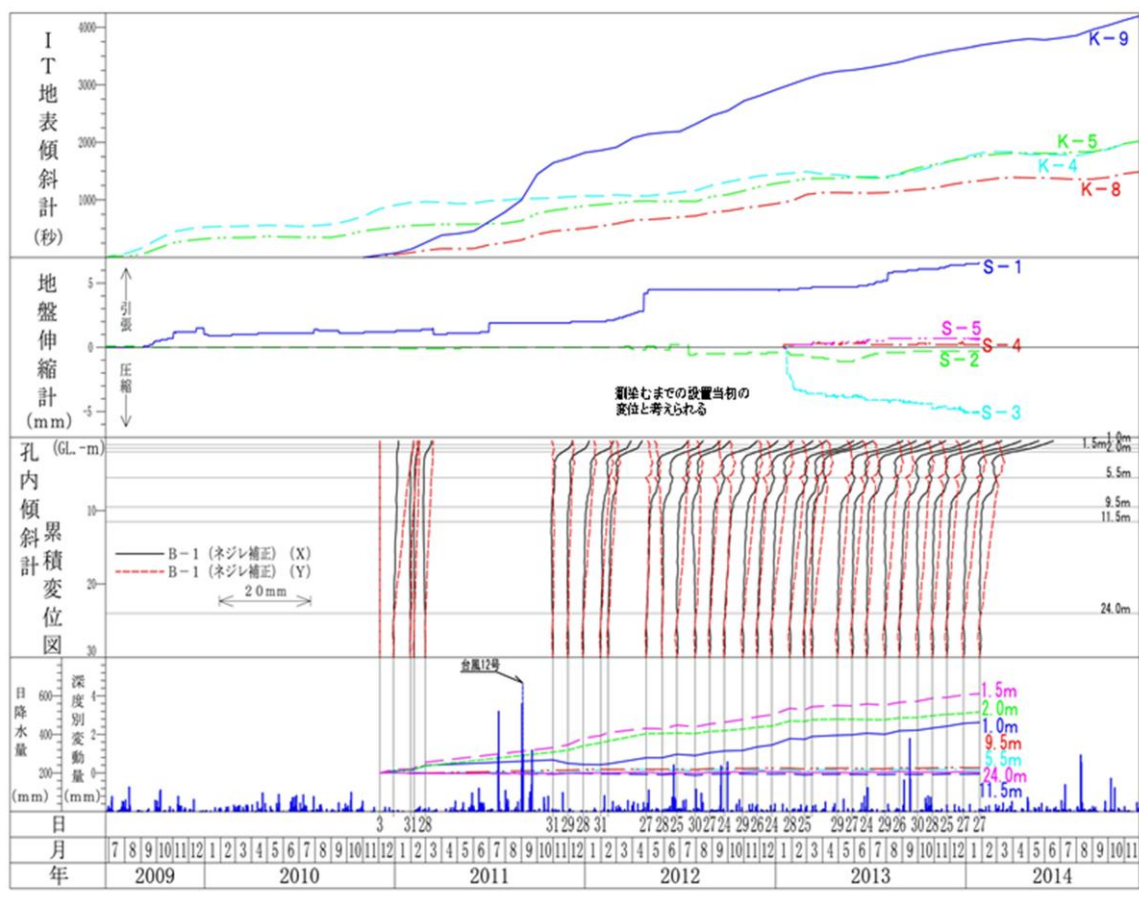


図-13 IT 地表傾斜計、地盤伸縮計、孔内傾斜計の変動図

いても発生する特徴を示した。宮崎県の災関箇所 11 箇所を対象に実施した LP データの地形解析では、初生地すべり斜面は、再活動地すべり斜面に比べ、平均勾配が急である傾向が認められた。したがって、今後、初生地すべりを抽出する手法を構築していく上で、傾斜量が指標の 1 つになる可能性がある。

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、地盤の移動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) 独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム「地すべり地における航空レーザー測量データ解析マニュアル(案)平成 21 年 6 月」土木研究所資料第 4150 号 2009. 6.

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 268 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 landslide disasters, whose geology mainly consisted of sedimentary rocks. Eleven landslide cases of Miyazaki Prefecture indicated that the mean slope inclination of the primary landslide was steeper than that of the reactive landslides. 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