

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：武士俊也，三輪賢志，阿部大志

【要旨】

明確な地すべり地形を呈していなくとも地すべり変動を起こす可能性のある初生地すべりについて、航空レーザープロファイラデータから作成したDEMデータにより、地形解析を行い、初生地すべりを抽出することについて検討を行った。その際に、平成 23 年の台風 12 号で被災した奈良県十津川村周辺のDEMデータを用いた。結果として、傾斜度および凹凸度により、初生地すべり段階と思われる地形を抽出することはある程度可能であることがわかった。初生地すべりにおける変動計測では、初生地すべりと考えられる斜面において、IT地盤傾斜計および地盤伸縮計をそれぞれ新たに4基設置した。また、あわせて、どのような計測機器が初生地すべりの動きを捉えるのに適切なのかを検討した。初生地すべりと考えられる斜面の変動計測においては、既設のIT地盤傾斜計に変動傾向がみられるものの、地盤伸縮計、孔内傾斜計ではあまり大きな変動はみられなかった。

キーワード：初生地すべり，DEMデータ，変動計測，IT地盤傾斜計

1. はじめに

近年、地すべり地形を呈していない斜面、もしくは地すべり地形と認識されていない斜面において、突如として地すべりが発生する事例が多く報告されている。ここでは便宜的にこのような地すべりを初生地すべりと称することとする。地すべり危険箇所や地すべり防止区域、或いは土砂災害防止法による警戒区域等に指定されている斜面であれば、あらかじめその危険性について認識がなされ、豪雨時や融雪時などに地すべりに対する警戒がなされたり、対策がなされることにより、少なくとも人的な被害を防ぐことが可能となる。しかし、いまだ明確な地すべり地形を呈していない斜面において突如として発生する初生地すべりの場合には、対応の困難性に起因して被害が大きくなる、あるいは地すべりによる社会的影響が大きなものとなるなどのことが考えられる。

本研究では、既往の地すべり地形判読からは抽出されにくい初生地すべり特有の微地形や、地質、破砕度などの素因の特徴から、初生地すべりの可能性のある斜面を抽出する技術、さらには抽出された斜面を安価かつ高精度の地盤変動計測により監視を行うことができるシステムの開発を行うことを目的としている。これらにより、地すべりが大きく滑動する前の適切な対策による初生地すべり災害の未然防

止に資するものと考えている。

上記の目的を達成するため、大きく分けて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。2年目となる平成 24 年度は、初生地すべりの地形的特徴を把握し、その抽出が可能となるように、航空レーザープロファイラデータから作成したDEMデータにより地形解析を行った。次に、初生地すべりと考えられる斜面において、その範囲・規模を推定するために、IT地盤傾斜計および地盤伸縮計の増設を行った。あわせて、どのような計測機器が初生地すべりの動きを捉えるのに適切なのかを検討した。また、過年度よりIT地盤傾斜計等の計測を行っている初生地すべりと考えられる斜面における変動計測を継続し、その動きの解析を行った。

2. 初生地すべりの抽出手法について

2.1 DEMデータを用いた地すべり発達段階判定手法の検討

地すべり発達段階（以下「発達段階」とする。）を判定するための指標を検討することを目的として、DEMデータを用いた地すべり地形解析と地形判別

を行った。その対象斜面は、奈良県吉野郡十津川村などに存在する斜面で、平成 23 年の台風 12 号で地すべり滑動を生じた斜面 7 箇所(北股、宇宮原、惣谷、宇井、坪内(芦野瀬)、坪内(冷水)、赤谷)と、台風 12 号後に、地すべり滑動を起こしていることが判明した土河屋、初生地すべりと考えられている西原の計 9 斜面(以下、「サンプル斜面」とする。)である。また、それぞれの斜面周辺の DEM データの範囲を示す(図-1)。

2.1.1 DEM データ地形解析

地形解析は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)¹⁾に基づいて行い、解析グリッドサイズは 1m,2m,5m とした。

傾斜度図は、地すべり地形の抽出、および地すべりが発生しやすい傾斜を明らかにするために用い、3×3 のグリッドセルのウインドウを用い傾斜を算出するものとする(図-2 参照)。

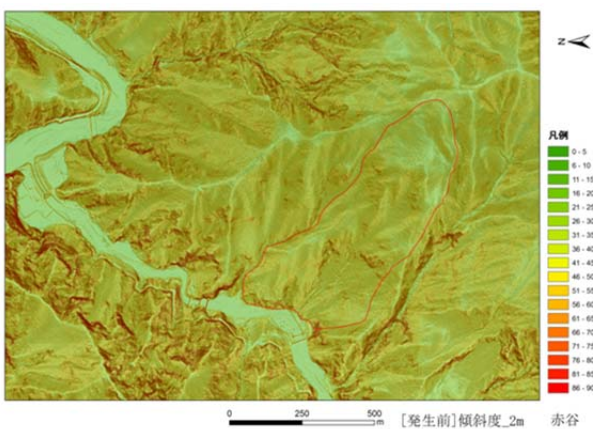


図-2 赤谷の滑動前のグリッドサイズ 2m の傾斜度図

凹凸度図は尾根線の抽出のほか、尾根をとりまく水系や、水系の分断などの地すべり地形の特徴を抽出するために用い、地上開度²⁾の式に従うが、地すべり地の微地形を明確にあらわすために、見通し距離 L をグリッドサイズと同じにするため、方位 0,90,180,270 度方向の対象点に隣接する 4 点を用いて算出した。見通し距離 L は、グリッドセルサイズに応じ 1m,2m,5m とする。また、凹凸図の作成に当たっては、開度 90 度以上を 90 度とし、淡色として表現し、地形をより立体的にあらわすものとした(図-3 参照)。

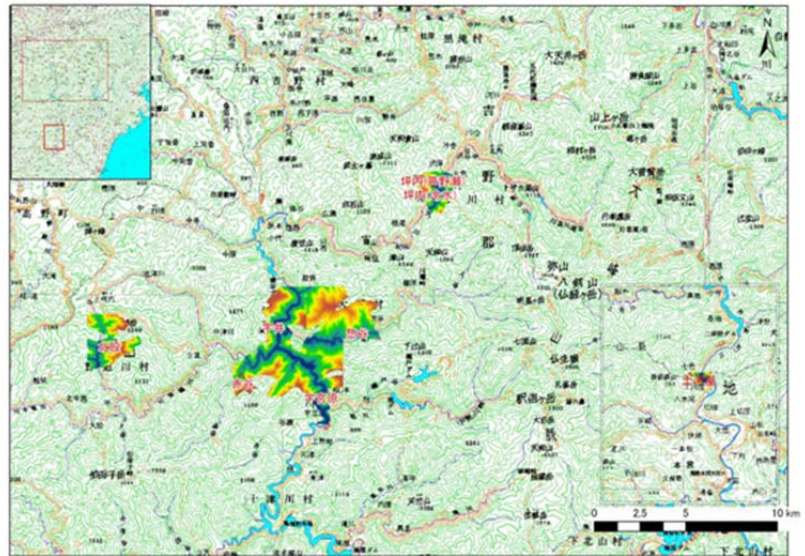


図-1 対象斜面の概略位置図とその周辺の DEM データの範囲

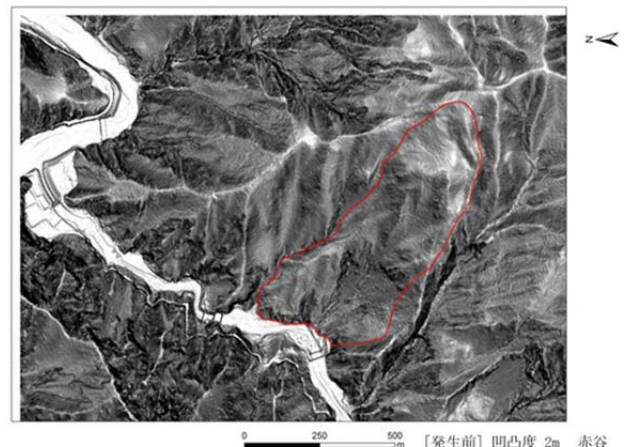


図-3 赤谷の滑動前のグリッドサイズ 2m の凹凸度図

ウェーブレット解析図は、段差、亀裂、凹地、小丘等の微地形の分布を把握するために微地形を強調するために作成し、ウェーブレット変換式により算出するものとする。凸型の地形では、ウェーブレット関数形に似ているため値が大きくなり、谷形状などの凹型の地形においては逆方向に相似しているためマイナス側に大きな値を示す。このことから、谷や尾根が強調され、その他の微少な地形を平坦化するような作用を起こすため地形の起伏を強調するような図面となる(図-4 参照)。

固有値比図は、地表面の法線ベクトルのばらつき指標であることから、地すべり地表面の乱れ具合から各地すべりの発達段階をあらわすために用いる。なめらかな地表面であれば法線ベクトルが 1 方向を向き、ある方向を代表する固有値が突出して大



図-4 赤谷の滑動前のグリッドサイズ2mのウエブレット図



図-5 赤谷の滑動前のグリッドサイズ2mの固有値比図

きくなる。つまり固有値比が大きくなるということである。逆に、あれた地表面であれば突出した値の固有値が存在せず、固有値比が小さくなるということである（図-5 参照）。

表-1 グリッドサイズの違いによる地形解析要素の特徴

地形解析要素	累積密度グラフ	平均値	最大値-最小値	標準偏差
傾斜度	傾きに変化なし	変化なし	グリッドサイズが大きくなると狭まる	グリッドサイズが大きくなると小さくなる
凹凸度	傾きに変化なし	変化なし	グリッドサイズが大きくなると狭まる	グリッドサイズが大きくなると小さくなる
固有値比	グリッドサイズにより傾きが変化する。	グリッドサイズごとでばらつきが見られる	グリッドサイズが大きくなると狭まる	グリッドサイズとの対応は見られない

グリッドサイズの違いによる地形解析要素の特徴の違いは、表-1 のようになる。

地すべり滑動前後における地形解析要素の特徴の違いは、表-2 のようになる。

このうち、地すべり滑動が大だったのは、北股、宇井、坪内（芦野瀬）、坪内（冷水）、赤谷である。

表-2 地すべり滑動前後の違い

項目	滑動	相対度数グラフ	平均値	最大値-最小値	標準偏差
傾斜度	大	分布域が広がる。傾斜が緩い範囲に値が卓越	値が小さくなる傾向	大きくなる	大きくなる
	小	概ね一致	概ね一致	箇所によるが概ね一致	箇所によるが概ね一致
凹凸度	大	凹凸度 80 度以上に分布する度数が増加する。	値が大きくなる傾向	大きくなる	大きくなる
	小	概ね一致	概ね一致	箇所によるが概ね一致	箇所によるが概ね一致
固有値比	大	中央値が小さくなる傾向 グリッドサイズが大きくなると発生前後の差が小さくなる。	値が小さくなる傾向	箇所による	大きくなる
	小	箇所によるが、グリッドサイズが大きくなると発生前後の差が小さくなる。	箇所による	小さくなる	箇所による

地すべり滑動が小だったのは宇宮原、惣谷、土河屋である。

2.1.2 地すべり地形判別による地すべり発達段階の判定

地すべりの発達段階について、これまでの研究成果をまとめたものとしては、図-6、表-3、図-7、図-8 がある。

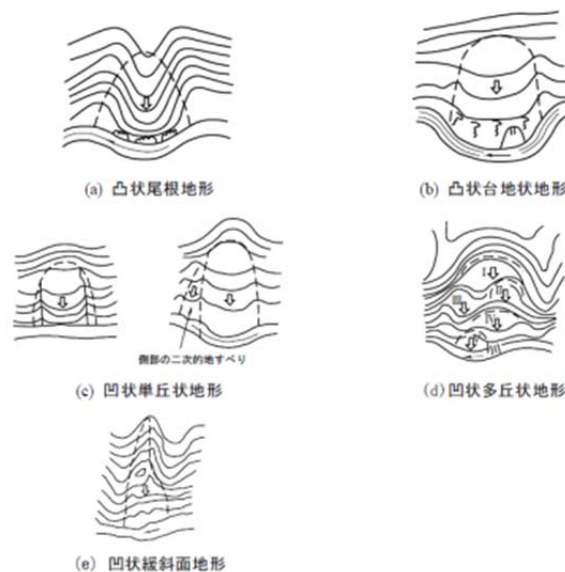


図-6 地すべり地形によって分類される地すべりの変遷過程³⁾

表-3 地すべりの時系列変化と型分類⁴⁾

地すべり地形	地すべり地形による分類	運動体の材料による分類	時系列による分類
(1) 凸状尾根型	幼年期 青年期 壮年期 老年期	岩盤地すべり	初生期 再発期 終末期
(2) 凸状台地型		風化岩地すべり	
(3) 凹状台地型(単丘)		崩壊土すべり	
(4) 凹状台地型(多丘)		粘留土すべり	
(5) 凹状緩斜面型(沢型)		粘留土すべり	

図-6 および表-3 によれば、地すべりは発達が進むと、その地形形状は、凸状尾根地形→凸状台地地形→凹状単丘状地形→凹状多丘状地形→凹状緩斜面

地形と変遷することが示されている。

図-7は発達段階に応じた地すべり地形の変遷を模式的に示している。

発達段階の判定にあたっては、地形形状や地すべり変状程度をもとに図-7、図-8を参考に漸移期(2-1・2-2)、滑動期(3-1・3-2・3-3)に区分した。ただし図-7、図-8の研究対象は、新潟県魚沼丘陵の第3紀層泥岩類からなる傾斜20°~25°の地すべりである。今回のサンプル斜面はDEM解析の結果によれば、傾斜は地すべり滑動前が38°地すべり滑動後が

は1時期のみを対象とした。地すべり地形判別は、DEMデータ(1mメッシュ)から作成した等高線図を基図にして、ウェーブレット解析・凹凸度重ね図、オルソ画像を参考に微地形判読して地すべり斜面を抽出し、表-4を参考に発達段階の判定を行った。その結果をとりまとめ、発達段階ごとに判定の指標となる地形形状と地すべり変状を表-5に示した。特に段階2と段階3を区分するにあたって凸状台地状地形の地すべり変状に着目すると、段階3-1は段階2-2

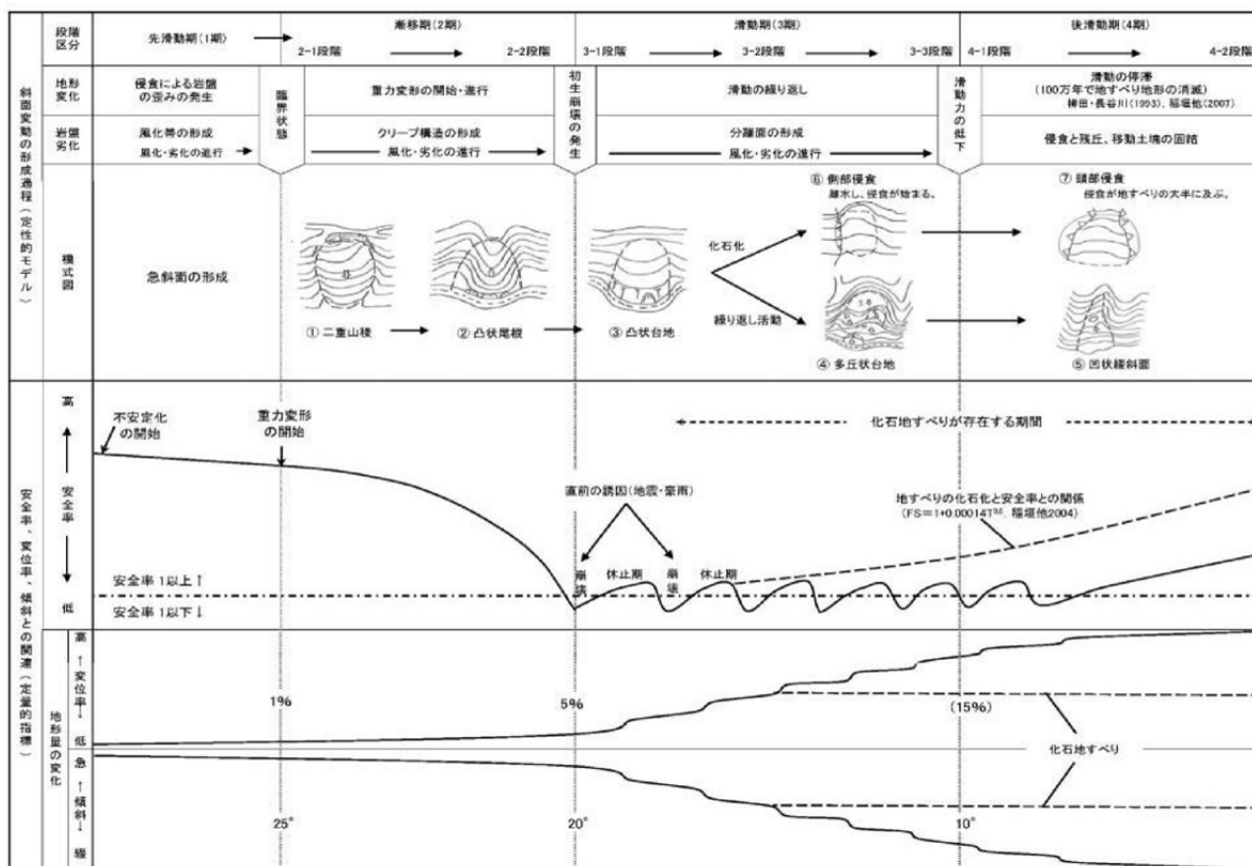


図-7 地すべりの地形発達史⁵⁾

(注) 稲垣他⁶⁾に一部加筆

35°と急になっており、砂岩・泥岩等からなる白亜紀後期の四万十帯地すべりの特徴を示している。このことは、地質の形成年代や岩質の違い等による浸食抵抗力の差異が地形に反映されているものと考えられる。よって、本調査区域では、同じ降雨量でも図-7、図-8が対象にしている第3紀層の泥岩地すべりよりも滑動しにくい傾向があることを考慮して、地すべり発達段階の過程については、表-4のように設定し、サンプル斜面の発達段階の判定を行った。

発達段階の判定のための地すべり地形判別は、サンプル斜面のうち、地すべり滑動のあった土河屋を含む8箇所については滑動前後を対象とした。西原

表-4 奈良県十津川地区等の地すべり発達段階の過程

段階	地すべり発達段階の過程	
	漸移期	2-1
	2-2	山地斜面の重力変形や岩壁の劣化がさらに進行し、初生地すべりがさらに進行する。
滑動期	3-1	崩壊性の初生地すべりが発生し、滑落崖や押し出し地形等が形成される。
	3-2	地すべりが繰り返し発生し地すべり地形の細分化がやや進み、滑落崖や凹凸地形が多く形成されるが、地すべり地形もやや安定化する。
	3-3	地すべり地形の細分化が進み、小ブロックが多数形成される。また、古い滑落崖が存在し、地すべり地形も安定化する。

に比べ地すべり土塊が堆積して形成された緩斜面や押し出し地形が存在するのが特徴であり、これにより区分することが可能である。

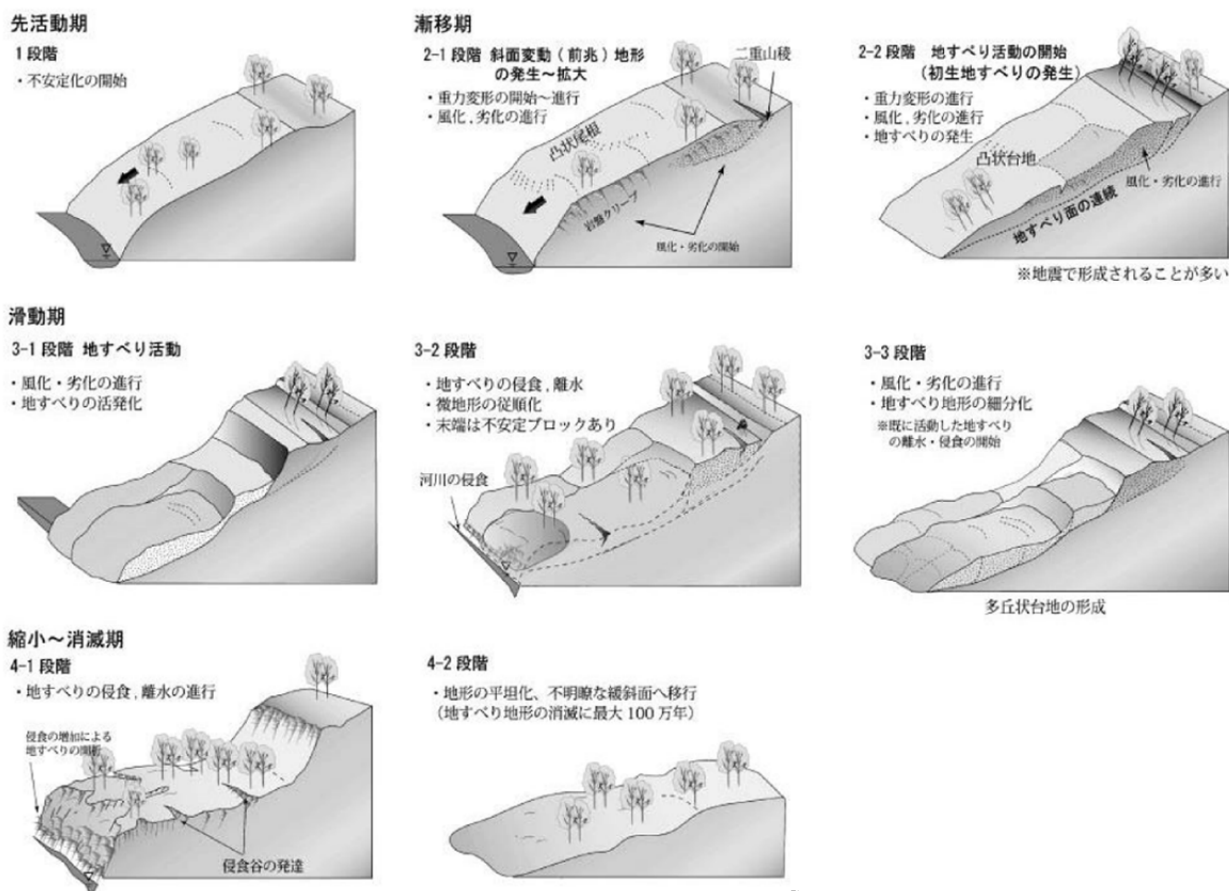


図-8 地すべりの地形変遷の模式図⁵⁾

表-5 地すべり地形判別による地すべり発達段階の判定指標

(前) が地すべり滑動前、(後) が地すべり滑動後

段階	サンプル斜面	地形形状	変状	備考
漸移期	2-1 宇宮原(前):凸状尾根 宇宮原(後):凸状尾根	凸状尾根形地形	地すべり(深層崩壊)跡なし。線状凹地(二重山稜)有り。山頂緩斜面有り。岩盤クリープ斜面有り。不規則な凹凸地形有り	
	2-2 北股(前):凸状尾根 惣谷(前):凸状尾根 惣谷(後):凸状尾根 西原(前):凸状台地 土河屋(前):凸状尾根 土河屋(後):凸状尾根	凸状尾根形地形 凸状台地状地形	地すべり(深層崩壊)跡なし。線状凹地(二重山稜)有り。山頂緩斜面有り。岩盤クリープ斜面有り。崩壊地形有り。侵食地形有り。不規則な凹凸地形有り	凸状台地状地形で2(2-2)と3(3-1)に区分する上での重要な変状(青字)
滑動期	3-1 北股(後):凹状単丘 宇井(前):凸状台地	凸状台地状地形 凹状単丘状地形	地すべり(深層崩壊)跡有り。滑落崖有り。緩傾斜有り。地すべり凹凸地形有り。押し出し有り。崩壊・侵食有り	
	3-2 宇井(後):凹状単丘 坪内(芦野瀬)(前):凹状多丘 坪内(冷水)(前):凹状多丘 赤谷(前):凹状多丘	凹状単丘状地形 凹状多丘状地形	地すべり(深層崩壊)跡やや顕著。滑落崖やや多い。緩傾斜やや顕著。地すべり凹凸地形やや顕著。押し出しやや顕著。崩壊・侵食やや顕著。ブロックの細分化やや発達	
	3-3 坪内(芦野瀬)(後):凹状多丘 坪内(冷水)(後):凹状多丘 赤谷(後):凹状多丘	凹状多丘状地形	地すべり(深層崩壊)跡顕著。滑落崖多い。緩傾斜顕著。地すべり凹凸地形顕著。押し出し顕著。崩壊侵食・顕著。ブロックの細分化発達	

2.1.3 DEM データ地形解析による地すべり発達段階の判定

2.1.2において判定された発達段階に基づき、発達段階における地形解析結果の検討を行った。地すべ

り発達段階(2-1,2-2,3-1,3-2,3-3)で分類される傾斜度、凹凸度、固有値比の累積密度グラフを作成し、その特徴を検討した。

傾斜度の傾向としては発達段階が進むと傾斜度が

緩くなることが確認された。しかし、発達段階内のばらつきが大きいことも確認された（図-9 参照）。

凹凸度については、発達段階が進むと凹凸度が高い値をとることが確認された。しかし、発達段階内のばらつきが大きいことも確認された（図-10

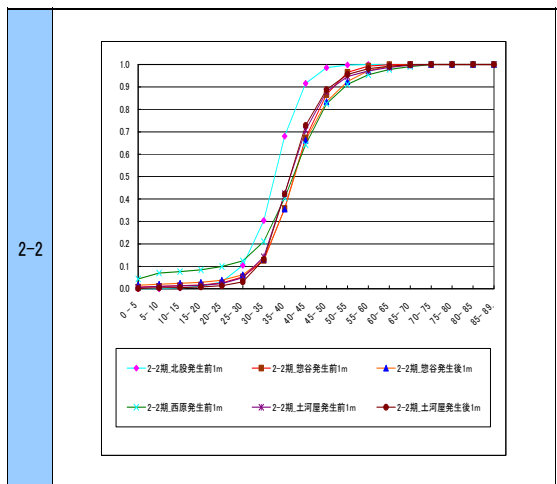


図-9 発達段階 2-2 における傾斜度の累積密度グラフ

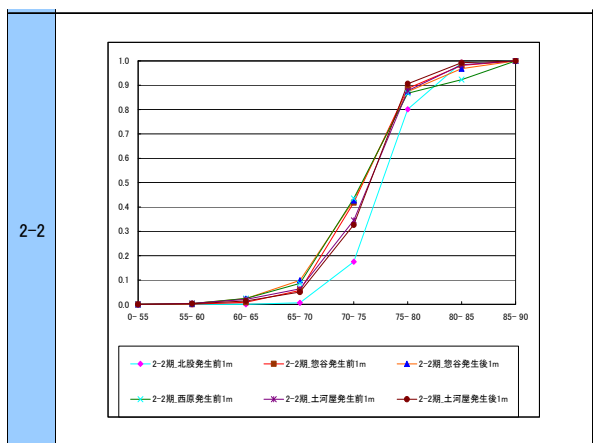


図-10 発達段階 2-2 における凹凸度の累積密度グラフ

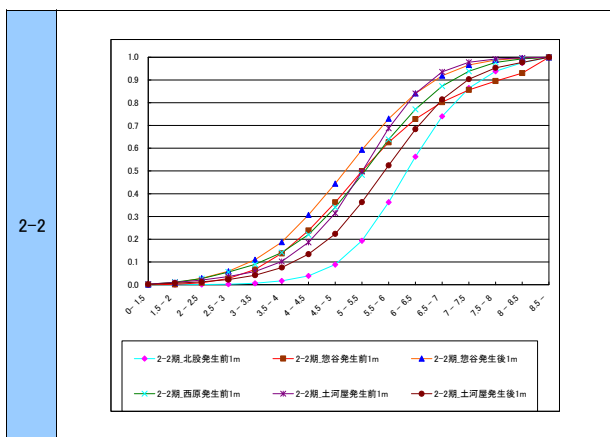


図-11 発達段階 2-2 における固有値比の累積密度グラフ

参照)。

固有値比については、発達段階による傾向の違いは見られず、発達段階内のばらつきが大きいことも確認された。（図-11 参照）。

よって、傾斜度および凹凸度では、発達段階との相関があることが考えられるが、各発達段階内でのばらつきが大きく、また各発達段階に該当する斜面数が少ないことから、各発達段階を代表しているかどうかの判断材料に乏しい。このため、漸移期と滑動期（発達段階 2 と発達段階 3）の二時期に分類することを考えた。図-12 に全てのサンプル斜面の地すべり滑動前後の各地形解析要素の累積密度グラフを示した。

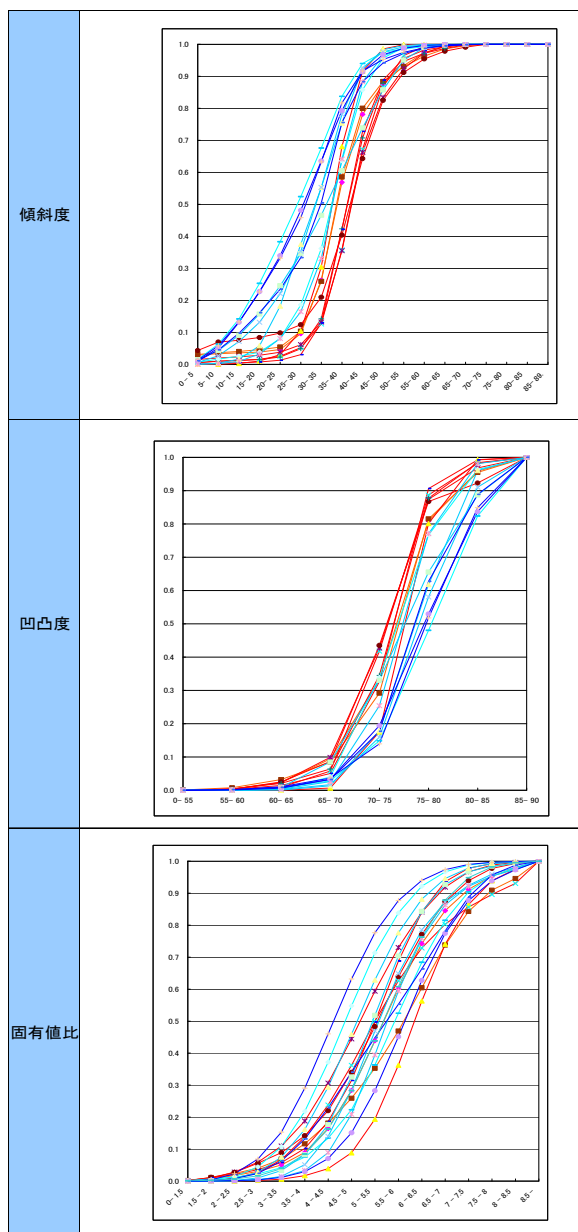


図-12 各地形解析要素の累積密度グラフ

（青系色は、発達段階 3、赤系色は、発達段階 2）

漸移期と滑動期(発達段階 2 と発達段階 3)とで、以下のような傾向が見られた。

傾斜度においては、発達段階 2 のサンプル斜面は傾斜がきつく、発達段階 3 のサンプル斜面は傾斜が緩い傾向がみられた。

凹凸度においては、発達段階 2 のサンプル斜面は凹凸度が小さく、発達段階 3 のサンプル斜面は凹凸度が大きい傾向がみられた。

固有値比においては、発達段階による傾向の違いはみられなかった。

ここから、傾斜度と凹凸度においては発達段階 2 と 3 の間でそれぞれの度数の分布比率の違いによる区分が可能と考えられる。傾斜度の発達段階 2 と 3 の平均値の度数と分布比率を図-13 と表-6 に示す。

図-13 をみると発達段階 2 と発達段階 3 のグラフが傾斜度 35° 付近で交差しており、これを指標とすることが考えられる。傾斜度 35° を境とした分布比率をみると、発達段階 2 においてはグリッドサイズ 1m の北股の 30.4%を除き、いずれのグリッドサイズにおいても傾斜度 35°未満が 7.0~28.7%を示した。発達段階 3 においてはいずれのグリッドサイズにおいても傾斜度 35°未満が 31.0~74.9%を示した。よって、発達段階 2 においては傾斜度 35°未満が分布比率 30%未満、発達段階 3 においては傾斜度 35°未満が分布比率 30%以上として、区分することができる。

凹凸度の発達段階 2 と 3 の平均値の度数と分布比率を図-14 と表-7 に示す。

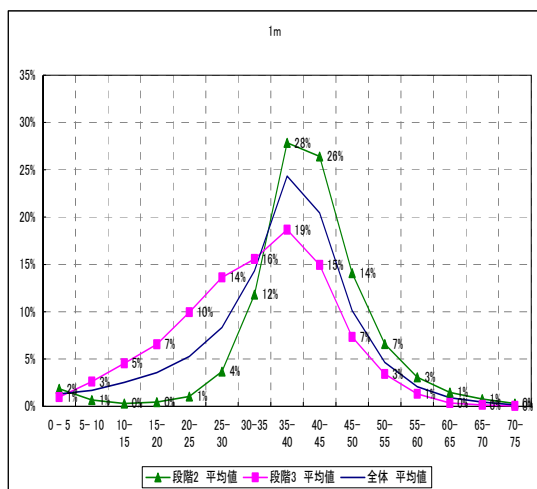


図-13 発達段階 2 と 3 の傾斜度の分布

表-6 発達段階 2 と 3 の傾斜度 35 度までの割合

傾斜			
グリッドサイズ1m			
箇所名	滑動前後	段階	35度までの割合
宇宮原	前	2	26.3%
宇宮原	後	2	25.9%
西原	前	2	21.0%
惣谷	前	2	12.6%
惣谷	後	2	13.2%
土河屋	前	2	14.2%
土河屋	後	2	13.0%
北股	前	2	30.4%
以上段階2			
北股	後	3	67.6%
宇井	後	3	46.6%
宇井	前	3	36.2%
赤谷	後	3	50.5%
赤谷	前	3	33.1%
坪内(芦屋瀬)	後	3	63.5%
坪内(芦屋瀬)	前	3	55.3%
坪内(冷水)	後	3	63.2%
坪内(冷水)	前	3	55.3%
以上段階3			

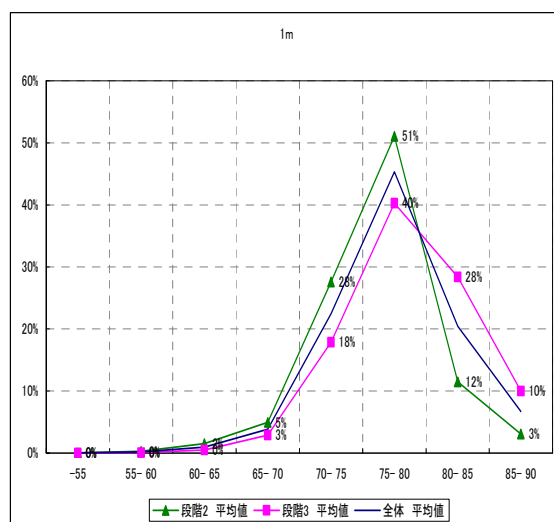


図-14 発達段階 2 と 3 の凹凸度の分布

表-7 発達段階 2 と 3 の凹凸度 80 度までの割合

凹凸度			
グリッドサイズ1m			
箇所名	滑動前後	段階	凹凸度80度以上の割合
宇宮原	前	2	19.1%
宇宮原	後	2	18.5%
西原	前	2	13.3%
惣谷	前	2	11.3%
惣谷	後	2	12.6%
土河屋	前	2	12.3%
土河屋	後	2	9.4%
北股	前	2	19.9%
以上段階2			
北股	後	3	52.0%
宇井	後	3	34.5%
宇井	前	3	23.3%
赤谷	後	3	37.2%
赤谷	前	3	22.9%
坪内(芦屋瀬)	後	3	47.1%
坪内(芦屋瀬)	前	3	38.2%
坪内(冷水)	後	3	48.2%
坪内(冷水)	前	3	41.9%
以上段階3			

図-14 をみると発達段階 2 と発達段階 3 のグラフが凹凸度 80° 付近で交差しており、これを指標とすることが考えられる。凹凸度 80° を境とした分布比率をみると、発達段階 2 においてはいずれのグリッドサイズにおいても凹凸度 80° 以上が 9.3~19.9%を示した。発達段階 3 においてはいずれのグリッドサイズにおいても凹凸度 80° 以上が 20.3~56.8%を示した。よって、発達段階 2 においては凹凸度 80° 以上が分布比率 20%未満、発達段階 3 においては凹凸度 80° 以上が分布比率 20%以上として、区分することができる。

以上の結果を基に DEM データ地形解析による地すべり発達段階の判定の指標は表-8 のようになる。

表-8 DEM データ地形解析による発達段階判定指標

段階	指標	指標値	
漸移期	2	傾斜度	傾斜度35° 未満が30%未満
	2	凹凸度	凹凸度80° 以上が20%未満
滑動期	3	傾斜度	傾斜度35° 未満が30%以上
	3	凹凸度	凹凸度80° 以上が20%以上

2.2 DEM データを用いた地すべり発達段階判定手法の検証

平成 23 年の台風 12 号での地すべり滑動後のサンプル斜面以外の斜面（以下、「サンプル以外斜面」とする。）について、地すべり地形判別を行った。DEM データ（1m メッシュ）から作成した等高線図を基図にして、ウェーブレット解析・凹凸度重ね図、オルソ画像を参考に微地形判読して地すべり斜面（以下、「判読地すべり斜面」とする。）を抽出し、表-5 に基づき発達段階の判定を行った。なお、西原地区においては、地すべり滑動前の DEM データで行った。

表-9 地すべり滑動後のサンプル以外斜面で判読地すべり斜面を抽出した DEM データ面積

No	箇所名	地すべり発生前DEM面積 (k m ²)	地すべり発生後DEM面積 (k m ²)
1	北股	12	5.2
2	宇宮原	6	3.3
3	惣谷	31	12.2
4	西原	6.5	-
5	宇井	12	7.2
6	坪内 (芦野瀬)	18	2.3
7	坪内 (冷水)		
8	赤谷	12	6.9
9	土河屋	0.8	0.3
計	9箇所	98.3	37.4

判読地すべり斜面について、表-8 の DEM データ指標により発達段階を判定した。そして、地すべり地形判別から行った発達段階の判定と、DEM データ

指標から行った発達段階の判定を照合し、その一致率を算定し、表-10 に示した。

表-10 地形判別による発達段階の判定と DEM データ指標による発達段階の判定の一致率

		地すべり判別による発達段階との一致					
		グリッドサイズ1m		グリッドサイズ2m		グリッドサイズ5m	
		凹凸度	傾斜度	凹凸度	傾斜度	凹凸度	傾斜度
サンプル以外斜面の数	(全体の一致数)	99	100	103	101	101	104
138	(全体の一致率)	72%	72%	75%	73%	73%	75%
サンプル以外斜面の段階	(段階2の一致数)	38	41	38	42	35	42
2の数 50	(段階2の一致率)	76%	82%	76%	84%	70%	84%
サンプル以外斜面の段階	(段階3の一致数)	61	59	65	59	66	62
3の数 88	(段階3の一致率)	69%	67%	74%	67%	75%	70%

判読地すべり斜面全 138 箇所について、グリッドサイズ (1m,2m,5m) ごと、指標 (傾斜度、凹凸度) ごとに算出した結果、一致率は 72~75%となった。また、発達段階 2 (50 箇所) および発達段階 3 (88 箇所) ごとに一致率を整理すると、それぞれ 70~84%、67~75%となり、発達段階 2 の方が一致率でやや高い傾向になった。不一致になった場合の発達段階の判定については、今後の検討が必要である。また、傾斜度と凹凸度で判定が異なる場合も 19 箇所あり、このような場合の判定手法についても今後検討が必要となる。

2.3 現地調査

2.3.1 現地調査箇所

現地調査箇所は、サンプル斜面と判読地すべり斜面のうち、道路に近くアクセスしやすい斜面を対象に下記の 5 つのパターンを対象とした。なお、判読地すべり斜面は 1 から 138 までナンバリングした。

- ①サンプル斜面で地すべり地形判別で発達段階 2、DEM データ指標で発達段階 2 と判定された斜面箇所：土河屋
- ②判読地すべり斜面で地すべり地形判別で発達段階 2、DEM データ指標で発達段階 2 と判定された斜面箇所：18,132
- ③判読地すべり斜面で地すべり地形判別で発達段階 2、DEM データ指標で発達段階 3 と判定された斜面箇所：4,14
- ④判読地すべり斜面で地すべり地形判別で発達段階 3、DEM データ指標で発達段階 2 と判定された斜面箇所：3,127
- ⑤判読地すべり斜面で地すべり地形判別で発達段階 3、DEM データ指標で発達段階 3 と判定された斜面箇所：110,113

2.3.2 現地調査結果

地すべり地形判別と DEM データ指標で地すべり発達段階が同じである箇所においては、現地調査の

結果でも判定に変更はなかった。

地すべり地形判別で発達段階 2、DEM データ指標で発達段階 3 と判定された NO.4 では、現地にて林道切り割り部に礫混じり土からなる崩積土が数 m の厚さで確認され（写真-1 参照）、また地形判別での凸状尾根型地形は墓地造成により人工的に造成された（写真-2 参照）ことが判明したことにより、発達段階 3 とした。

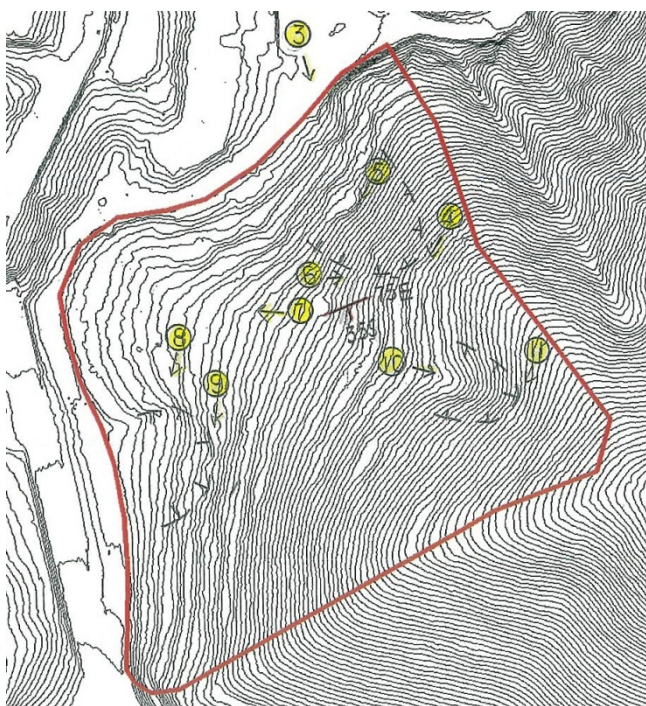


図-15 NO.4 地形図



写真-1 NO.4 地形図の番号⑧



写真-2 NO.4 地形図の番号⑦

地すべり地形判別で発達段階 3、DEM データ指標で発達段階 2 と判別された NO.3 は現地調査の結果、北側斜面では頂部に遷急線を有する程度の（写真-3 参照）比較的安定した斜面、一方南側斜面は頭部に明瞭な崩壊性地すべり（写真-4 参照）さらにその下方には明瞭な崩壊地形が存在し、安定度が異なるため、北側斜面では発達段階 2、南側斜面で発達段階 3 と判定した。

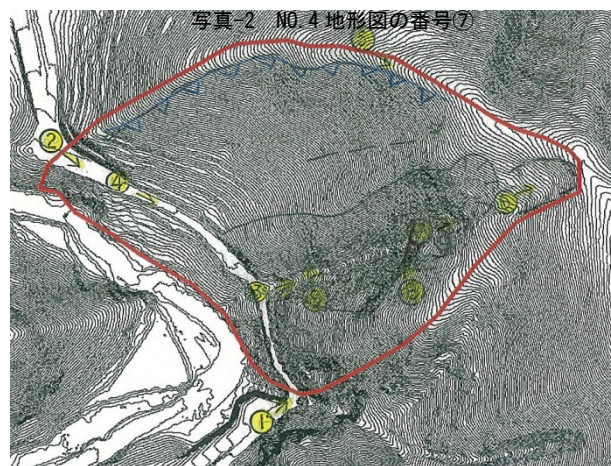


図-16 NO.3 地形図



写真-3 NO.3 地形図の番号⑤



写真-4 NO.3 地形図の番号⑥

現地調査の結果、発達段階 2 と判定された斜面は、斜面上部から中部にかけて小起伏地形（不規則な凹凸地形）や小規模な段差地形が見られる程度で斜面は比較的安定している状況にある。一方発達段階 3

と判定された斜面は、滑落崖・段差地形・押し出し地形・崩積土・湧水・湿地等がみられた。

地すべり地形判別と DEM データ指標とで異なる判定がなされた斜面では、現地調査を行い地すべり変状の有無や程度、地形の人工改変の有無、斜面の細区分の必要性等の確認をし、これらを基にそれぞれの判定結果を検証し、必要に応じて見直しをする必要があるものと考えられる。

2.4 DEM データを用いた初生地すべり抽出手法の提案

ここまでで行ったことをとりまとめ、紀伊山地で適用可能と考えられる初生地すべり（発達段階 2）の抽出手法を提案する。

2.4.1 微地形判読

地すべりの微地形判読は、1m グリッドサイズの DEM データから作成された等高線図を基図にして、ウェーブレット解析・凹凸度重ね図とオルソ画像を参考に実施する。ウェーブレット解析・凹凸度重ね図に表現されている尾根の淡色・沢の暗色等の色調の違い、等高線図に表現されている等高線の疎密度や乱れ、そしてオルソ画像に表現されている地すべり跡や崩壊跡、土地利用、植生分布等を基に微地形を判読し、これらを基図に正確に移写する。

2.4.2 地すべり斜面の抽出

微地形判読で判読された地すべりに伴う変状を含み、ウェーブレット解析・凹凸度重ね図や等高線図に表現されている尾根や沢の連続性、オルソ画像に表現されている地すべり跡の存在等を基に、地すべり斜面を抽出する。

2.4.3 地すべり地形判別による地すべり発達段階の判定

今回は平成 23 年台風 12 号で地すべり滑動した箇所を中心に、奈良県十津川村とその周辺で 9 箇所を選定し、それらをサンプル斜面として地すべり発達段階の判定を行った。その結果から導いた地すべり地形判別による地すべり発達段階の判定の指標は表-5 で示したとおりであり、紀伊山地ではこの指標を使って地すべり発達段階の判定を行うことができると考えている。

2.4.4 DEM データ解析による地すべり発達段階の判定

1m,2m,5m の各グリッドサイズの DEM データにて、傾斜度、凹凸度、固有値比の地形解析要素の算出を行う。その結果をサンプル斜面について発達段

階 2 と 3 で整理したところ、表-8 に示す指標が得られた。

2.4.5 判定結果の照合

地すべり地形判別による地すべり発達段階の指標（表-5）と、DEM データ解析による地すべり発達段階の指標（表-8）により、判読地すべり斜面で発達段階をそれぞれ判定した。その結果を照合し、不一致箇所については、現地調査を行い、地すべり変状の有無や程度、地形の人工改変の有無、斜面の細区分の必要性等の確認をして、判定結果の検証を行う。

3. 初生地すべりが想定される斜面における変動計測

3.1 既設観測機器による変動計測

奈良県上北山村西原地区の初生地すべりが想定される斜面（以下「西原斜面」とする。）において、IT 地盤傾斜計 10 基、地盤伸縮計 1 基、孔内傾斜計観測 1 孔の観測を行ってきた。

IT 地盤傾斜計の変動状況について述べる。K-1～K-5 では、本期間中累積変動値がほぼ横ばいであるものの、K-4 の 10 月度には 247.3 秒/月の大きな値を示した。これは、9 月 17 日の 135 mm/日、18 日の 237.5 mm/日、30 日の 257 mm/日、10 月 23 日の 61.5 mm/日などの降雨が影響したと思われる。

一昨年 11 月に新設した K-6～10 については、K-10 では基本的に大きな動きは認められない。ただし、K-6～K-9 では比較的大きな値が観測され、特に K-9 の 10 月度において 163.7 秒/月、11 月度 141.9 秒/月の大きな値が観測された。これも降雨および、設置位置が地すべりブロックの末端部であることが影響したと思われる。

孔内傾斜計の観測は斜面の中央付近で行っており、変位は深度 2m 以浅にしか認められず、その範囲は風化が進行し土砂化している。

地盤伸縮計は斜面頭部に 1 箇所設置しているが、H21 年 6 月から H25 年 2 月までの間に 5.2mm の変動しか示しておらず、ほとんど動きはないものと考え

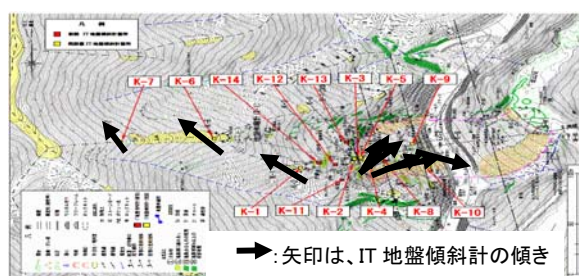


図-17 IT 地盤傾斜計の傾き方向

えられる。

3.2 新設観測機器

西原斜面においてブロック頭部の範囲を明確にするためにブロック頭部外に IT 地盤傾斜計を4基設置した(図-18参照)。H24年11月から観測を開始したが、H25年4月までにはごく小さな変動しか観測されていない。今後継続的に観測していく必要があると考えている。

新設した IT 地盤傾斜計の変動状況との対比をとるため、IT 地盤傾斜計の近傍に地盤伸縮計を連続的に4基設置した(図-18参照)。これらについては、H25年1月に設置したところであり、これからデータを回収し解析していくこととしている。

4. 初生地すべりを観測するのに適切な計測機器の検討

初生地すべりについて、明確な定義はないものの、23年度に実施した文献調査からその特徴を示すものを記述すると、以下のようになる。

- ・重力変形が始まったものの、斜面域全体をくくる輪郭構造はまだ形成されていない。
- ・クリープのような斜面変動は起こっているが、すべり面はまだ連結していない。

・初生地すべり発生前の前兆現象は主に地表に表れるもの(線状凹地、二重山稜、斜面のはらみだし、頭部の陥没帯)、内部構造に表れるもの(岩盤クリープ、ゆるみ)に分類できる。

- ・堆積岩類(古第三系より古いもの)で発生した初生地すべり箇所では、前兆現象として線状凹地、小崖地形、凸型斜面などが確認されている箇所が多い。
- ・連続したすべり面が形成されていないクリープ段階。

また、初生地すべり調査のアウトラインは以下のようになる。

- ①微地形に着目し、初生地すべりの危険性のある斜面を抽出。
- ②抽出された斜面について、地形活性度評価等により危険度を評価。
- ③危険度の高い斜面から、変動計測を実施。
- ④変動があったものについて、さらに詳細な変動計測を実施し、範囲・規模を予測する。

以上のことから、変動計測の対象となる斜面は多数抽出されると考えられる。そこで、要求される変動計測機器は、多数を手間をかけずに安い経費で設置できるものになると考えられる。また、1つの斜面に1つ設置するだけでも変動を捉えられる必要が

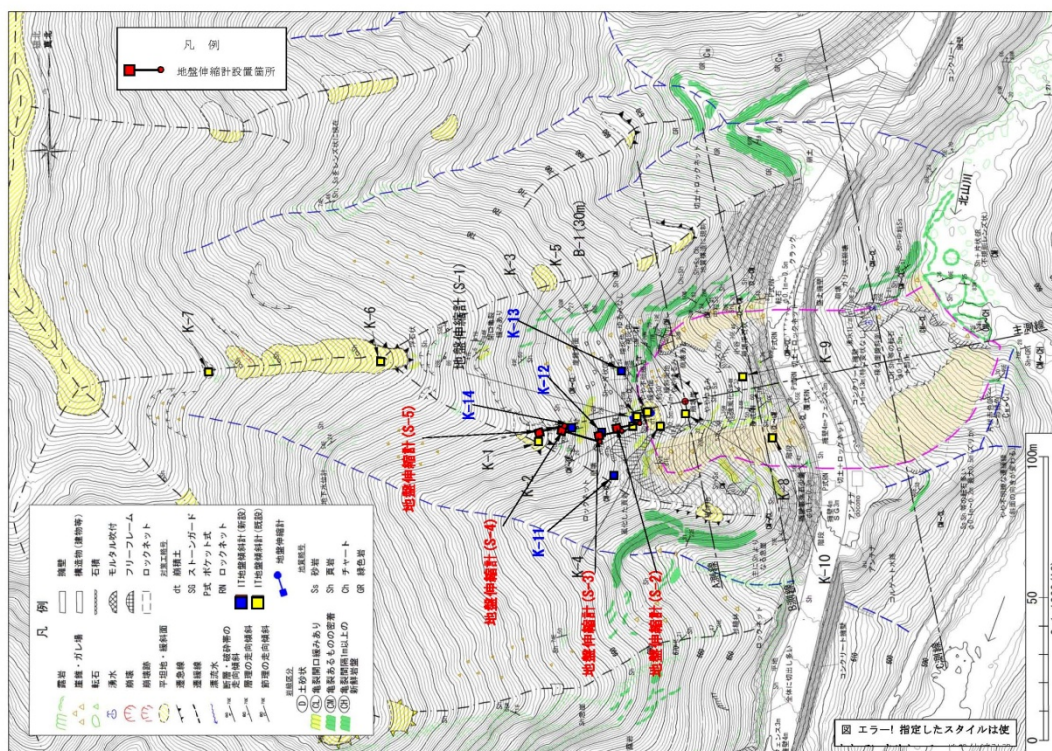
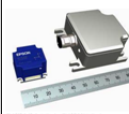




図-18 新設した IT 地盤傾斜計と地盤伸縮計

ある。また、あまり動きがないものを捉えられる計測機器であることも必要である。

表-11 傾斜センサの分解能と費用

センサー	傾斜/振動計		傾斜センサ	
	メーカー		オンセット社	
分解能	0.001°		0.01	0.004
方式	磁気センサー方式	バブルセンサー	バブルセンサー	バブルセンサー
費用	147,000		80,000	300,000
写真				

今回、各種センサの情報を収集し分析をした結果、分解能とコストは比例の関係にあり、分解能が高くなると費用は著しく増大することがわかった(表-11参照)。目的は初生地すべり(発達段階2)の現場で精度が高く安いセンサーを供給できるかである。表11に示した高性能のセンサーが過酷な現場に適応できるかは疑問である。また、斜面は気温変化で膨張や収縮をし、地表面は局所的な変動を示すこともしばしばあることから、精度が高すぎると必要以上の変位を捉える可能性もある。既往の地すべり観測に用いられている傾斜計は0.01°~0.005°の精度があり、IT地盤傾斜計も0.01°の精度がある。センサーの精度を高くできる技術がありながら、斜面計測で精度の向上がないことは、地盤条件や設置条件を考えたときに、現行の精度で十分であるからとも考えられる。

現在、様々な小型のセンサーが開発されているが、なかでもMEMS(Micro Electro Mechanical System)の技術は、現場計測の小型化に大きく貢献し、今後も開発が進む可能性が高い。IT地盤傾斜計もMEMS技術を用いており、今後の改良に期待できる。

コスト的にも1基30万円とリーズナブルなので、現状ではIT地盤傾斜計が適切な計測機器と考えられる。

5. まとめ

初生地すべりを発達段階2にある地すべりと考え、地すべり地形判別で抽出した地すべり斜面について、地すべり地形判別で判定した発達段階とDEMデータ解析により判定した発達段階との一致率を算出した。傾斜度と凹凸度という2つの指標において、発達段階2の一致率はグリッドサイズ毎に異なるが、傾斜度では82%~84%、凹凸度で70%~76%となった。このことにより、DEMデータ解析によって、初生地すべ

り(発達段階2)を抽出することはある程度可能と考えられる。ただ、地すべり地形判別の判定とDEMデータ解析による判定が異なる場合については、現地調査を行うことなどで、考察を深めることが必要と考えている。

初生地すべりと考えられる斜面での変動計測結果からは、面的な規模の大きい変動は生じていないと考えられる。計測機器を増設したので、引き続き観測を行っていくことが必要と考えている。また、計測機器については現在主力となっているIT地盤傾斜計が、現状で適切な計測機器と考えられる。

参考文献

- 1) 藤澤和範・笠井美青：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), 土木研究所資料第4150号, 2009
- 2) 横山隆三、白沢道生、菊地祐：開度による地形特徴の表示, 写真測量とリモートセンシング, 38, pp26-34, 1999
- 3) 渡正亮・小橋澄治：地すべり・斜面崩壊予知と対策, 山海堂, 1987
- 4) 渡正亮：岩盤地すべりに関する考察, 地すべり, Vol.29, No. 1, pp. 1-7
- 5) 下河敏彦・稲垣秀輝：2004年新潟県中越地震に起因する地すべりと土砂移動, 日本地すべり学会誌, Vol. 45, No. 6, pp. 23-28

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 : TAKESHI Toshiya, KENJI Miwa
ABE Taishi

Abstract : Even if it was not presenting clear landslide geographical feature, it examined conducting geomorphic analysis and extracting a juvenile primary landslide with the DEM data created from aviation laser profiler data, about the juvenile primary landslide which may cause landslide change. On that occasion, the DEM data around Nara Totsukawa-mura by which it was hit by the typhoon No. 12 in Heisei 23 was used. It turned out that it is to some extent possible to extract as a result the geographical feature considered to be a first cloth slide stage with a gradient and the degree of unevenness. In the investigation of deformation in a juvenile primary landslide, four IT ground tilt meter and four extensometers were newly installed on the slope considered to be a juvenile primary landslide, respectively. Moreover, it was examined whether it would be suitable for what kind of measurement instrumentation catch a deformation of a juvenile primary landslide. In deformation measurement of the slope considered to be a juvenile primary landslide, although the variable trend was seen by established IT ground tilt meter, a much big change was not seen with a extensometer and a borehole inclinometer.

Key words : juvenile primary landslides ,DEM,deformation measurement ,IT ground tilt meter