

# レーザープロファイラデータを用いた初生地すべりの計測評価

笠井美青\* 池田 学\*\* 藤澤和範\*\*\*

## 1. はじめに

地すべり災害を防止・軽減する為には、まず地すべりを抽出してその活動状態を調べ、各々の斜面に適切なモニタリングや対策を施す必要がある。しかし「過去に移動したことの無い斜面で初めて発生し、かつ発生してからの年月が短い」地すべり（ここで「初生地すべり」と定義）は、地すべり地形に特徴的な緩斜面はまだ発達しておらず、地すべりの輪郭も不明瞭である。その為、空中写真から作成した従来の等高線図を用いて、それらを判別する事は困難であった。一方で「初生地すべり」では、最近の活動による亀裂や段差等の微地形は地表に現れることから、近年発達の目覚ましいレーザープロファイラデータを活用することが、判別を進める上で期待されている。レーザープロファイラを用いることにより、針葉樹林や疎林、冬枯れした森林であれば、森林下であっても高密度且つ高精度な地表測量ができる。測量データから作成された詳細な等高線図や地形のイメージ図は、地すべり判読の場に取り入れられてきているところである。しかし地形情報が詳細であっても、地すべりの判読には判読者の主観が反映される事は避けられない。そこでレーザープロファイラデータを解析して、初生地すべりが発生している斜面の地形特性を数値で表す事が出来れば、初生地すべりの判読に貢献出来ると考えた。

本報ではレーザープロファイラデータ起源のDEMを用いて地形解析を行い、初生地すべりを計測評価した結果を報告する。

## 2. 解析対象地

地形解析は、2地区を対象に行われた。それぞれの地区にて、初生地すべりの他にも、主に崩土が堆積している斜面（以下、崖錐斜面）、発達した古い地すべり、地山斜面にて解析が行われた。これらの斜面ブロックの解析結果を同時に比較す

ることで、レーザープロファイラデータを解析することによって得られる初生地すべりの地形的特徴を明らかにしようとした。

### 2.1 天ノ川地区

天ノ川地区では、新宮川水系天ノ川に沿って急峻な斜面が連続し（図-1）、地すべりはこの斜面で発生している。地質は白亜紀に形成された砂岩と頁岩が主であり、チャートや緑色岩類を伴う。全般に風化の程度は弱い。この地区では2005年3月にレーザープ

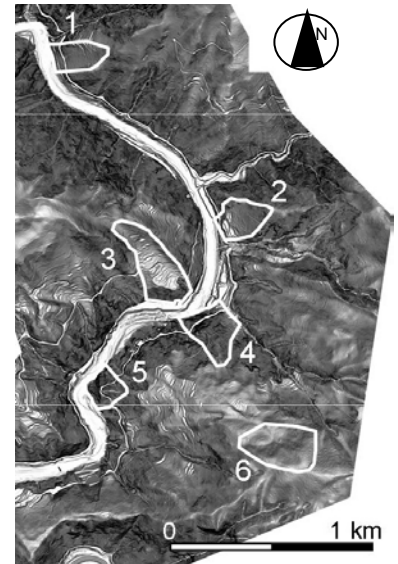


図-1 天ノ川地区

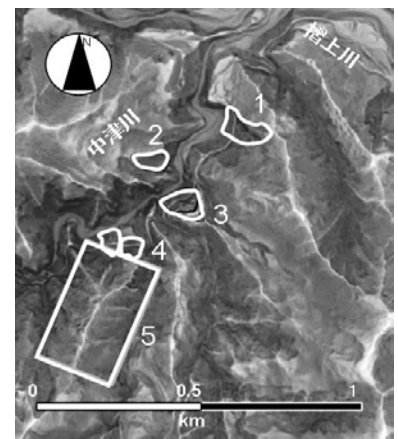


図-2 中津川地区

表-1 天ノ川地区解析対象斜面ブロック概要

斜面番号	面積 (ha)	備考
1	3.5	崖錐斜面
2	4	崖錐斜面
3	7.5	地すべり地形
4	5.3	初生地すべりの可能性が高い
5	2.8	初生地すべりの可能性が高い
6	7.1	地山斜面

表-2 中津川地区解析対象斜面ブロック概要

斜面番号	面積 (ha)	備考
1	1.9	崖錐斜面
2	0.5	地すべり地形
3	0.9	初生地すべり
4	1	崖錐斜面
5	10	地山斜面

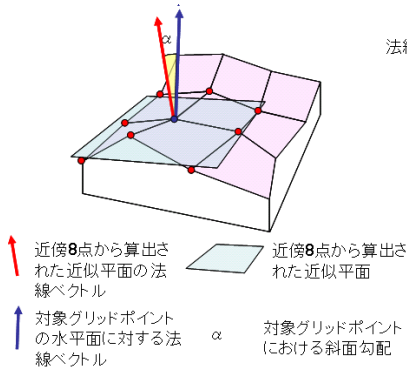


図-3 各グリッドポイントにおける斜面勾配

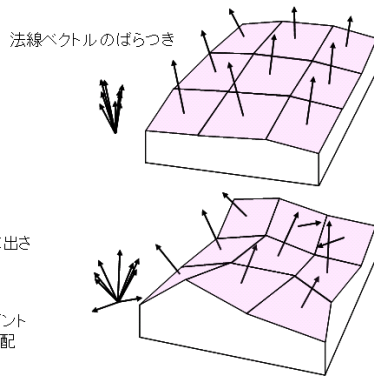


図-4 各グリッドセルにおける法線ベクトルのばらつき概念図

レーザープロファイラによる測量が行われ、1mグリッドのDEMが作成された。このDEMを用いて6斜面ブロックを対象に地形解析を行った(図-1、表-1)。このうちの2斜面ブロック(斜面番号: 4,5)は現地踏査によって、岩盤の緩みや陥没帯の存在から初生地すべりの可能性が高いとされた。その他の解析対象は、広い範囲で崩土が堆積していることが現地にて確認された2つの崖錐斜面(斜面番号: 1,2)、1つの発達した地すべり(斜面番号: 3)、1つの地山斜面(斜面番号: 6)である。地山斜面は侵食前線より上方の緩斜面に位置する。それぞれの斜面ブロックについては、現地調査及びレーザープロファイラデータから作成されたDEMを視覚化した図(図-1)を基に輪郭が描かれた。

## 2.2 中津川地区<sup>1)</sup>

阿武隈川水系の摺上川ダムに流入する中津川沿いで、5斜面ブロックを対象に地形解析を行った(図-2、表-2)。斜面番号3は、2004年に緩み岩盤が確認され、その後のボーリング調査ですべり面が確認された初生地すべりである。他の解析対象は、崖錐斜面(斜面番号: 1,4)、地すべりとしての活動を休止して久しいと見られる古い地すべり(斜面番号: 2)、尾根と小沢を含む地山斜面(斜面番号: 5)である。崖錐斜面は現地にて、崩土が広く堆積した斜面ブロックであることが確

認された。斜面番号1, 2, 3, 4の斜面ブロックは、現地調査結果を基に輪郭が描かれた。地質は中新世の凝灰岩、安山岩と玄武岩からなる溶岩及び火山碎屑物が分布し、局所的には白亜紀の花崗岩類も見られる<sup>2)</sup>。2003年の融雪期(5月)にレーザープロファイラによる測量が行われ、2mグリッドのDEMが作成された。

## 3. 解析手法

レーザープロファイラによる測量データを解析するにあたり、本研究では斜面の特徴を表す解析要素として、斜面勾配と固有値比を用いた。斜面勾配は、地すべりの活動による地形の変化を表現出来る。また固有値比は地表面の粗さの指標であることから、微地形の発達による地表の凹凸の変化を表すことが出来ると考えた。

### 3.1 斜面勾配

DEM上のある点における斜面勾配は、その点における水平面の法線ベクトルと、近傍8点からなる近似平面の法線ベクトルとがなす角として求めた(図-3)。

### 3.2 固有値比

固有値比はDEMの各グリッドセル平面の法線ベクトルの方向について、隣接するセル間のばらつきを表す値である<sup>3)</sup>(図-4)。活発な地表活動が起こっている場では地表面が粗くなり、固有値比が小さくなる事が報告されている<sup>4)</sup>。固有値比の求め方を以下に示す。グリッドセル*i*における法線ベクトルを( $x_i, y_i, z_i$ )とすると、法線ベクトルの方位行列、 $T$ は

$$T = \begin{bmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i y_i & \sum x_i z_i \\ \sum y_i x_i & \sum y_i^2 & \sum y_i z_i \\ \sum z_i x_i & \sum z_i y_i & \sum z_i^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

表-3 固有値比と地表の様相(天ノ川地区)

固有値比	亀裂の入った 又は緩んだ岩盤	崖錐堆積物	緩やかに 起伏した地表
1-2.25	○		
2.25-2.5	○	○	
2.5-2.75	○	○	
2.75-3		○	
3-4		○	○
4-5			○
5-6			○

注)「緩やかに起伏した地表」の起伏はおおよそ1.5m以下

表-4 固有値比と地表の様相(中津川地区)

固有値比	崖などの 露岩地	崖錐 堆積物	緩やかに 起伏した地表
1-2	○		
2-3	○		
3-4	○		
4-5	○	○	○
5-6		○	○
6-7		○	○
7-8		○	○

この行列から3個の固有値が得られるので、値の大きいものから順に、 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ とする。各固有値を法線

ベクトル数 $n$ で除算し、 $S_1, S_2, S_3$ を求める。

$$S_k = \lambda_k / n \quad (2)$$

本研究では3行3列のグリッドセル間のばらつきを求めているので、 $n = 9$ を用いた。ここではMcKean and Roerling<sup>4)</sup>が用いた方法と同様に、 $S_1$ と $S_2$ から、固有値比 $\gamma$ を以下の式から求めた。

$$\gamma = \ln(S_1/S_2) \quad (3)$$

#### 4. 現地調査

解析対象斜面ブロック（図-1と図-2）は踏査を行い、地表の様相を調べた。それぞれの場において、観察された地表の様相と、地形解析によって得られた固有値比の値を照合し、関連を調べた。

#### 5. 結果

##### 5.1 天ノ川地区

天ノ川地区の初生地すべりの可能性が高い斜面ブロック（斜面番号：4,5）では、斜面ブロック内の6割以上が40度以上の急な斜面単位からなった（図-5）。また斜面ブロック内の約1割が固有値比2.5以下であり、他の斜面ブロックと比較して2倍ほど高かった（図-6）。初生地すべりの可能性が高い斜面ブロックでは、亀裂が入ったり緩んだりしている岩盤が、他斜面ブロックと比較して現地で多く見られた。天ノ川地区の解析対象斜面全体について、現地で観察された地表の様相とその場における固有値比の関係を整理したところ（表-3）、固有値比が2.75以下の場合ではそのような岩盤が分布しており、初生地すべりの可能性が高い斜面ブロックにおける現地観察結果と一致した。一方、発達した地すべり（斜面番号：3）では、勾配35度以下の斜面単位の割合が半分以上を占めた（図-5）。また斜面ブロック内において固有値比4-6（表-3）である斜面単位の割合が約3割と、他斜面ブロックに比べて多かった（図-6）。現地調査結果との比較では、この範囲の固有値比の場合では、0.5m深の陥没等、緩やかな地形の変形が見られた。

##### 5.2 中津川地区

中津川地区の初生地すべり（斜面番号：3）では、地すべり内にて勾配45度以上の斜面単位が4

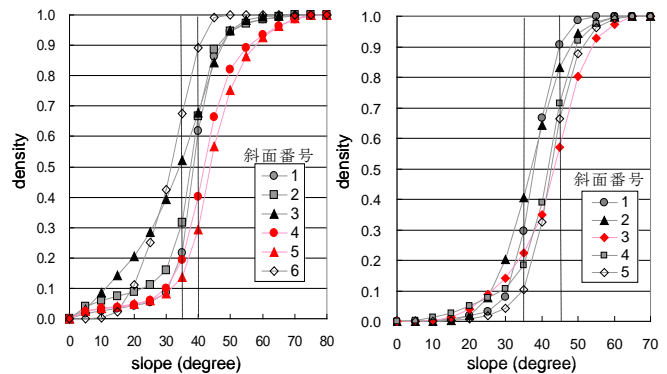


図-5 斜面勾配の累積密度 (天ノ川地区)

図-7 斜面勾配の累積密度 (中津川地区)

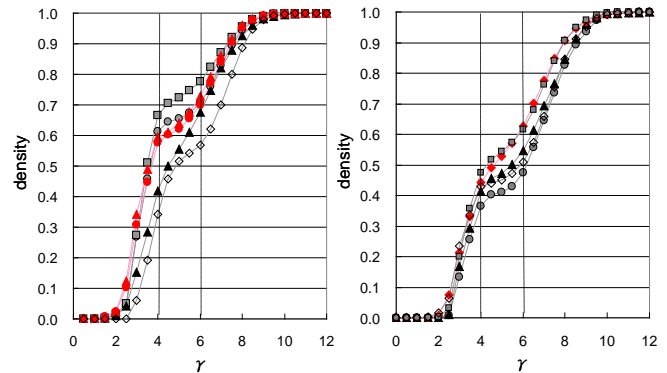


図-6 固有値比の累積密度 (天ノ川地区)

図-8 固有値比の累積密度 (中津川地区)

割以上、35度以下の斜面単位が2割以上分布し（図-7）、他斜面ブロックよりも勾配の分布にばらつきが見られた。これは地表に様々な様相が混在している為であり、斜面ブロック内ではそれらの様相を含む固有値比4-5（表-4）の割合が高かった。固有値比5-6の割合も高く、固有値比4-6である斜面単位の割合は、初生地すべりブロック内の約2割を占めた（図-8）。また初生地すべりでは、現地にて急崖が各所に確認されており、この様相が存在する固有値比2.5以下の斜面は、ブロック全体のほぼ1割を占めた。この範囲の固有値比の斜面単位は、崖錐斜面内（斜面番号：1,4）ではその割合の半分以下であった。一方、地山斜面（斜面番号：5）では、尾根や小沢などの急な傾斜の変換点を多く含んでいる為に、この範囲の固有値比の斜面単位が占める割合が、初生地すべりより若干少ない程度であった。

古い地すべり（斜面番号：2）では、勾配が35度以下の斜面単位の割合が約4割を占めて、全体的に緩勾配であった（図-7）。おそらく活動を停止してからの時間の経過が長かった為に、地表面は侵食されて滑らかであり、固有値比2.5以下の斜面単位は非常に少なかった（図-8）。また初生



地すべりと比較して、固有値比が4-6である斜面単位の割合は若干少なかったが、固有値比が6以上の割合は1割多かった。

## 6. まとめ

両地区の初生地すべりについては、他斜面ブロックと比べて急勾配の斜面単位数が多かったこと、また固有値比が2.5以下である斜面の割合がブロック内の約1割を占めたことが共通していた。これは両地区の初生地すべりが、緩んだり亀裂が入ったりした岩盤や、急崖を多く含むためであった。また中津川地区では、初生地すべり内に様々な様相の地表が存在することで、固有値比が4-6である斜面単位の割合も多かった。

一方、天ノ川地区は中津川地区と異なり、固有値比4-6が分布する場では、穏やかな地表の起伏が主に見られた。この地区では発達した地すべりに、この範囲の固有値比をとる斜面単位の割合が多かった。これらの結果から、固有値比4-6の場における地表の様相は異なるにしても、それぞれの地区においてこの範囲の固有値比の斜面単位数がブロック内に占める割合を、地すべりの発達や活動の度合いの指標と出来る可能性があることも分かった。

本研究では、地すべりの地形的特徴が現地調査によって地表の様相とともに明らかに出来れば、その様相を表す固有値比や斜面勾配の空間分布を地すべり判読の際の指標として活用できる可能性を示すことができた。これらの解析値の空間分布は、レーザープロファイラデータから作成された等高線図やDEMを視覚化した図などと組み合わせることにより、初生地すべりの輪郭を想定する際に役立つと考えられた。

なお地質的な条件が異なる地域では、初生地すべりの地形的特徴や、解析要素と地表の様相との関係が、本研究の結果とは異なる可能性が大きいと考える。また解析要素と地表の様相との関係については、地質・地形的要因の他にも、DEMのサイズが関係すると思われる。例えば中津川地区では天ノ川地区と比較して、同様の地表の様相を表す固有値比の範囲が、やや高い値で幅広く現れた。これは前者のDEMのグリッドサイズは後者よりも大きく、地形が若干ならされて表現されることが原因の1つであると考えられる。

今後は、他地域についても同様の研究を続け、汎用性のある初生地すべりの計測評価方法を検討していきたい。

## 謝 辞

本研究の実施にあたり、データの提供をしていただいた奈良県及び国土交通省東北地方整備局摺上川ダム管理所に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 笠井美青、池田学、藤澤和範、松田昌之、鈴木雄介：航空レーザー測量データから作成されたDEMの解析に基づく地すべり地形発達プロセスの推定、地すべり学会誌, pp26-32, 2008
- 2) (社)東北建設協会:建設技術者のための東北地方の地質、東北建設協会、408p、2006
- 3) Woodcock, N.H.: Specification of fabric shapes using an eigenvalue method, Geol. Soc. Amer. Bull., Vol. 88, pp1231-1236, 1977
- 4) McKean, J., Roering, J.: Objective landslide detection and surface morphology mapping using high-resolution airborne laser altimetry, Geomorphology, Vol. 57, pp331-351, 2004

笠井美青\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム研究員, PhD (環境科学)  
Dr. Mio KASAI

池田 学\*\*



エイトコンサルタント(株)技術本部プロジェクト部防災・解析チーム (前 独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム交流研究員)  
Manabu IKEDA

藤澤和範\*\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム上席研究員  
Kazunori FUJISAWA