

レーザープロファイラデータを用いた 地すべり地形計測評価

笠井 美青

独立法人土木研究所 土砂管理研究グループ 地すべりチーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

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。本研究では、高密度且つ高精度な標高データであるレーザープロファイラデータを解析し、活動度の異なる地すべりの地形特性を数値で明らかにすることで、地すべりを計測評価する手法の検討を行った。

キーワード 地すべり, 活動状態, レーザープロファイラ, 固有値比, 斜面勾配

1. はじめに

近年発達の目覚ましい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ようになった。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では地すべり地に特徴的な亀裂や段差等の微地形が表現され、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。しかし詳細な地形情報であっても、地すべり地形の判断には作業者の技量や経験、現場の精通度に依存する部分が依然大きく、判読に作業者の主観が入ることは避けられない。そこでレーザープロファイラデータを解析して、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、地すべりの判読の客観的な判断材料となると考えた。また地すべりに形成される微地形の様相は地すべりの活動の度合いによって変化していくことから、この地形解析値は、地すべりの活動度を示す指標にもなり得る^{1), 2)}。

本研究では、高密度且つ高精度な標高データであるレーザープロファイラデータを解析し、活動度の異なる地すべりの地形特性を数値で明らかにすることで、地すべりを計測評価する手法の検討を行った。

2. 調査解析地

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、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）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、活動度の異なる地すべりの地形的特徴を明らかにしようとした。

(1) 奈良県天ノ川沿い (A地区)

解析対象地の新宮川水系天ノ川沿いでは、斜面勾配 40 度以上の急峻な斜面が連続する。地質は中生代白亜紀に形成された砂岩、頁岩、及び砂岩と頁岩の互層が主であり、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 月にレーザープロファイラによる測量が行われ、1 m グリッドの DEM が作成された。

地形解析は 5 地すべりと 2 崖錐斜面について行われた。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 を視覚化した図を基に輪郭が描かれた。

(2) 福島県摺上川ダム周辺 (B地区)³⁾

解析対象地は阿武隈川水系の摺上川ダムに流入する中津川および烏川沿いである。地区には中新世の凝灰岩、安山岩と玄武岩からなる溶岩及び火山砕屑物が分布し、局所的には白亜紀の花崗岩類も見られる⁴⁾。平均斜面勾配は 32 度である。この地域では 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、2 m グリッドの DEM が作成された。この DEM を用い、4 地すべりと 4 崖錐斜面を対象に地形解析を行った。これらの斜面ブロックは、現地調査結果を基に輪郭が描かれた。

3. 解析手法

地すべり活動に伴って、地すべりには亀裂や段差等の微地形が形成され、表面が粗くなる。また地すべり活動に伴う地形の変化は、地すべり土塊の斜面勾配の変化としても現れるはずである。そこで、固有値比（3次元で斜面の粗さを表す指標）と斜面勾配の二つの解析要素を求めた。また固有値比については、現地踏査から得た地表の情報と照合した。

(1) 斜面勾配

A地区では、DEM上のある点における斜面勾配を、東西方向と南北方向の斜面勾配の平均値として求めた。勾配を求めるにあたっては、近傍の8点が計算に用いられた。またB地区では、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と、近傍8点からなる近似平面とがなす角として求められた。どちらの求め方を用いるにしても、与えられる斜面勾配の値に大きな差は生じない。

(2) 固有値比

固有値比は、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3行3列のグリッドセル間におけるばらつきを表す値であり、地表面の粗さを表す指標である⁵⁾。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、値が小さくなる事が報告されている²⁾。

固有値比は Woodcock⁶⁾の手法に従い求められた。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 Orientation Matrix, T は以下のとおりに示される。

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

この T 行列の固有値（値の大きいものから順に、 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ）を求め、それぞれを計算範囲の法線ベクトル数 n （ここでは9）で除算し、 S_1, S_2, S_3 を求める。

$$S_i = \lambda_i / n \quad (2)$$

S_1, S_2 より固有値比 γ は以下の式により求められる。

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

4. 結果

DEM解析と現地調査の結果、以下の事が明らかになった。

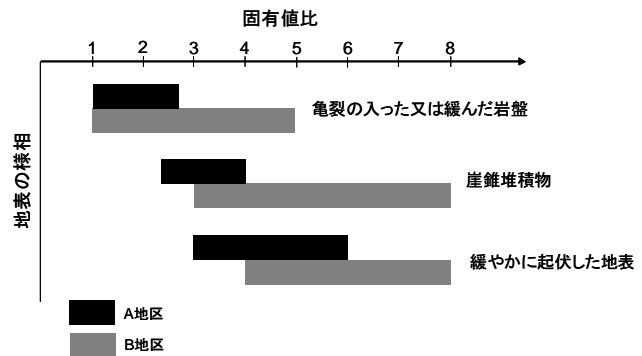


図-1 固有値比と地表の様相

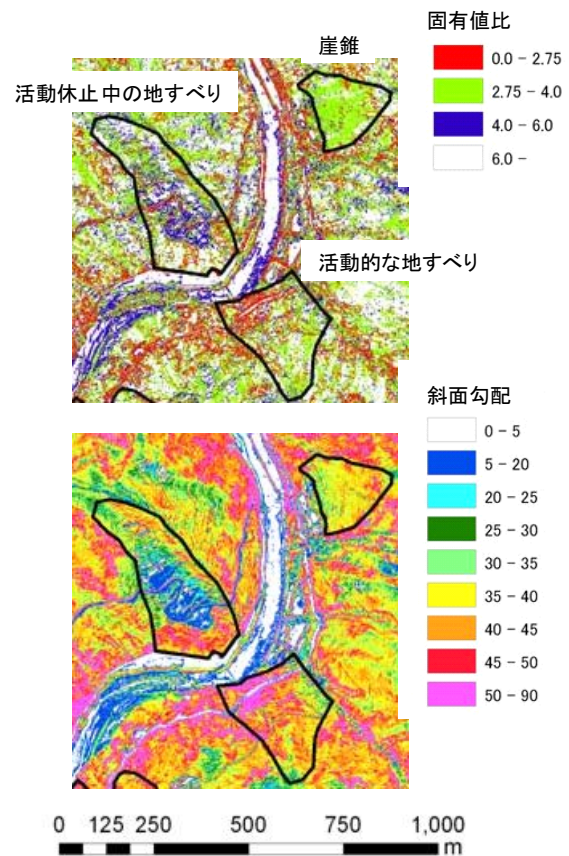


図-2 A地区における、固有値比と斜面勾配分布例

(1) 固有値比の値は、現地での斜面の状況をよく表している。

A, B 両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を比較したところ、図-1 に示す関係が得られた。B 地区では同様の様相を表す値が高めであった。これは B 地区の DEM サイズが A 地区よりも大きい為、DEM では起伏がより均されて表現されることに起因すると考えられた。

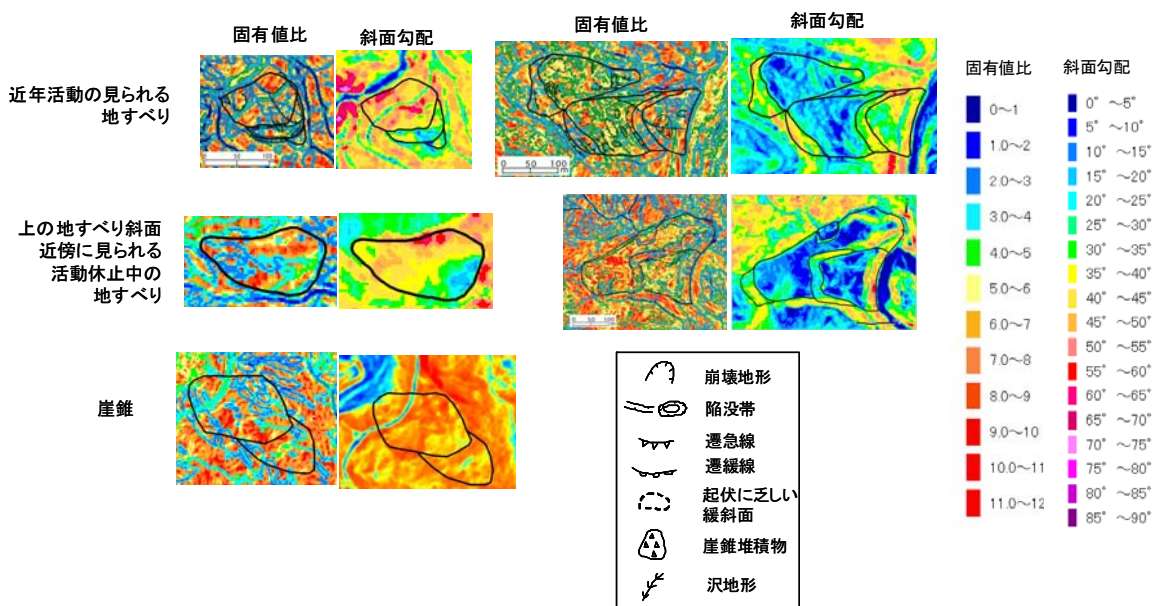


図-3 B地区における、固有値比と斜面勾配分布例

(2) 地すべり内の固有値比と斜面勾配の分布特性から、地すべりの活動度が推定出来る。

A 地区で活動度の高い地すべりは、斜面ブロック内に勾配が 40 度以上の斜面を多く含んでいた(例：図-2)。そのような斜面では、亀裂が入ったり緩んだりしている岩盤と崖錐堆積物が混在しており、固有値比 4 以下の斜面単位の割合が多かった(例：図-2)。一方、勾配 35 度以下の斜面単位の割合が半分以上を占める、活動度の低い地すべりでは、固有値比 4-6 である斜面単位の割合が、他斜面ブロックに比べて多かった(例：図-2)。

B 地区では、2 つの地すべりで活動度が高かった。どちらの地すべりも様々な様相が混在しており、それらを共通して含む固有値比 4-5 (図-1) の斜面単位の割合も周囲に比べて高めであった(図-3)。これらの地すべりのうち、1 つは地すべり内にて勾配 45 度以上の斜面単位の 4 割以上、35 度以下の斜面単位の 2 割以上分布し、周囲のブロックよりも勾配の分布にばらつきが見られた(図-3、左上)。また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。一方、この近傍の活動休止中の地すべりでは、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-3)。固有値比 2.5 以下の斜面単位の非常に少ないのは、活動を停止してからの時間の経過が長く、地表面が侵食されて滑らかになった為であると考えられた。

もう一つの活動度の高い地すべりの勾配は、周囲に比べて非常に緩やかであった(図-3、右上)。近傍には活動が休止中である勾配の緩やかな地すべりがあり、その地表は活動度の高い地すべりに比べ単純であった(図-3、

右中)。この地すべりには、固有値比が 5-6 である斜面単位の割合が多かった(図-3)。現地調査から、この地すべりの表土の大部分は崩積土からなっていることが分かっており、地すべりの活動が休息して過去に形成された微地形が均されてしまったことが考えられた。

これらの結果から、地すべり内の固有値比と斜面勾配の分布特性から、地すべりの活動度が推定出来ることが分かった。

(3) 解析要素の分布特性は、地すべり斜面と崖錐斜面を分別する際の判断材料と出来る。

両地区の崖錐斜面では、ある特定の範囲に勾配が集中していた(例：図-2, 3)。この角度は崩積土の安息角と関係している事も考えられる。また固有値比 2.5 以下の斜面が非常に少なかったことも共通していた(例：図-2, 3)。加えて、A 地区の崖錐斜面では、固有値比が 2.5-4 の斜面の割合が高かった。以上の特性は、崖錐斜面と地すべり斜面とを判読の際に区別する材料として将来活用出来ることも考えられた。

5. おわりに

本研究では、活動度の異なる地すべりの地形的特徴を明らかに出来れば、固有値比や斜面勾配の空間分布から地すべり活動度を推定できる可能性を示した。ま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を組

み合わせるにより、地すべりの輪郭を想定する際に役立つと考えられた。

両解析対象地区では、地すべりの地形的特徴と活動度の関係が異なった。これはB地区の地質はA地区よりも軟らかく、開析されやすいことも原因であると考えられた。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。

以上の結果から、本手法を適用するにあたっては、まず対象地域にて現地調査を行い、地すべりの地形的特徴と活動度、及び解析要素の値との関係を最初に明らかにする必要があると考えられる。なお現在は山形県の地すべり多発地域にて、同手法を検証中である。同地域にて、地すべり地形の判読や、地すべりの活動度の推定に、本手法の活用が期待出来る。

今後は検証中の結果を含めて研究成果をまとめることにより、レーザープロファイラを用いた地すべり地形計測評価についてのマニュアルを作成する予定である。

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) Glenn, N.F., Streutker, D.R., Chadwick, D.J., Thackray, G.D. and Dorsch, S.J. (2006): Analysis of LiDAR-derived topographic information for characterizing and differentiating landslide morphology and activity, *Geomorphology*, Vol. 73, 131-148.
- 2) McKean, J., Roering, J. (2004): Objective landslide detection and surface morphology mapping using high-resolution airborne laser altimetry, *Geomorphology*, Vol. 57, 331-351.
- 3) 笠井美青、池田学、藤澤和範、松田昌之、鈴木雄介 (2008) : 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 45, 26-32.
- 4) (社)東北建設協会 (2006):建設技術者のための東北地方の地質、東北建設協会、408p.
- 5) Woodcock, N.H. (1977): Specification of fabric shapes using an eigenvalue method, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, Vol. 88, 1231-123