

◆特集：大規模土砂災害対策◆

レーザープロファイラデータ起源のDEM解析による地すべりの
発達度調査手法

笠井美青* 池田 学** 藤澤和範***

1. はじめに

近年、地すべり発生地域においてレーザープロファイラを用いた精密な測量が行われるようになった。レーザープロファイラは航空機またはヘリコプターからレーザーを照射し、地表からの反射時間を計測することにより、地表の標高を測定する技術である。レーザー光は植生が密生していない限り地表面に到達できるため、落葉した広葉樹林や密生していない針葉樹林での微地形を計ることができる。レーザープロファイラの測量データから作成された等高線図は、地すべりの詳細な判読に活用されている。またデータはDEM（デジタル標高モデル）へと加工され、このDEMを視覚化した陰影図や開度図等を作成することにより、空中写真判読の熟練した技術を必要とせず視覚的に地すべりの判読を行うことが可能になっている。

このように、地すべりに関するレーザープロファイラデータの活用は、地すべりの輪郭をとらえるものが現在主である。しかし地すべりの存在箇所

を把握することに加え、地すべりの発達度を知りそれらの今後の活動について予測することが、土砂災害対策のためには重要である。地すべりの発達度は地すべり地表面の微地形に現れることから^{1)~3)}（図-1）、レーザープロファイラ起源のDEMを用いて地形解析を行うことで、発達度の異なる地すべりの地形的な特徴を定量的に明らかにすることができるはずである。筆者らの知る限り、そのような試みは現時点では地すべり地内の小面積を対象にしか行われておらず^{2), 3)}、広い範囲を対象にして、その地域の地すべりの発達度について調べる試みについては国内外にわたり行われていない。

そこで本論では30.4km²の地域を対象に、レーザープロファイラデータ起源のDEMを解析して発達度の異なる地すべりの地形的特徴を明らかにし、地すべりの発達度調査手法について検討した結果を報告する。

2. 調査地

調査地は阿武隈川支流の摺上川にある福島県摺上川ダム周辺で、平均斜面勾配は32度である。地

質は主に緑色凝灰岩からなる中新世の凝灰岩であり、固結度や変質度は弱い。調査地内の南西部には緑色凝灰岩を含む砂岩・泥岩互層及び花崗閃緑岩も分布する。レーザープロファイラによる計測は、平成14年度に行われ（表-1）、この計測から2mグリッド間隔のDEMが作成された。DEMからは、地上開度図、地下開度図、斜面勾配図を組み合わせた赤色立体図が作成され、その図上で地すべり判読が行われた。この

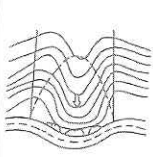
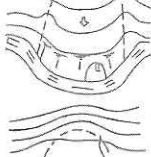
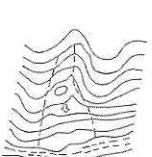
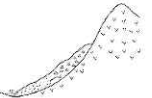
発達度区分	1岩盤すべり	2風化岩すべり	3崩積土すべり	4粘質土すべり
平面形状				
断面形状				

図-1 渡（1992）による地すべり発達度区分

表-1 レーザー計測緒元

対地高度	約2,000m
パルスレート	24kHz
取得幅	630m
計測回数	1回/1コース
対地飛行速度	203.7km/h
ビーム	0.3rad
コース間隔	250m
コース間重複率	約60%

際に、グリッドサイズを4m以上にしてそれらの図を作成すると地すべり判読に必要な微地形が不明瞭になってくることから、2mグリッドサイズによるDEM解析が本研究では妥当であると考えた。判読された地すべりの発達度については、渡の分類(図-1)に沿って、等高線図及び赤色立体図上で分類した。判読された地すべりの面積は0.1ha(発達段階1)から38ha(発達段階4)までにわたり、それぞれの分類数は、11(発達度数1)、43(発達度数2)、39(発達度数3)、18(発達度数4)、であった。

3. DEM解析要素

地すべりの発達度を示すためのDEM解析要素として、固有値比、斜面勾配、地上開度と地下開度を用いた。

3.1 固有値比

地すべりの発達度及び活動状況は、地すべり土塊の地表面の粗さに現れると考えられる^{2),3)}。本研究ではWoodcock⁴⁾の手法に従い地表面の粗さの指標である固有値比を求め、地すべりの発達度との関係について調べた。固有値比は隣接する3×3グリッドセルにおける、各グリッドセル平面の法線ベクトル方向のばらつきを表す。値が高くなるほど地形が滑らかになる。

3.2 斜面勾配

地すべり地形は急傾斜である滑落崖と緩斜面である地すべり土塊からなり、地すべりの発達が進むほど地すべり土塊の斜面勾配も変化することが考えられる。本研究においては、あるグリッドセルにおける斜面勾配を、グリッドセル近傍8点における近似平面の法線ベクトルと水平面ベクトルとのなす角として求めた。

3.3 地上開度・地下開度

地上開度及び地下開度は、光源の不必要なDEMの視覚化手法として横山ら⁵⁾により提案された要素である。地上開度 ϕ_L と地下開度(ψ_L はある地点からの地上若しくは地下における見通しを表しており、それぞれ

$$\phi_L = (0\phi_L + 45\phi_L + 90\phi_L + 135\phi_L + 180\phi_L + 225\phi_L + 270\phi_L + 315\phi_L)/8 \quad (1)$$

$$\psi_L = (0\psi_L + 45\psi_L + 90\psi_L + 135\psi_L + 180\psi_L + 225\psi_L + 270\psi_L + 315\psi_L)/8 \quad (2)$$

の式で求められる。ここで $D\phi_L$ はある地点における方位 D 、距離 L 以内の最小地上角、 $D\psi_L$ は最小地下角をしめす(図-2)。本研究では L を200mと設定した。地すべり地形が発達するとともに、両開度も変化すると考えられる。

4. DEM解析結果と地すべりの発達度

図-3から図-6に、各DEM解析要素の結果を示す。各発達度の地すべり区分において、地すべり土塊から3000点が任意に抽出されてヒストグラムが作成された。ここでは頻度の分布を見やすくするために、各階級値の中間値をつなげて示した。図中の全調査地域とは、地すべり地を含む30.4km²の調査地全域における解析値である。この分布はヒストグラムで表されている。

図-3は固有値比の分布を示した図である。双峰の分布であるが、発達段階が進んでも右側のピークの固有値比に大きな変化がないことから、このピークは侵食の少ない滑らかな地山を示し、左側のピークが侵食

の主におこっている斜面であると考えられた。地すべりの発達度が1の時点では全調査地域の地形との間に分布の差は見られないが、発達度が上がると地すべり土塊表面は

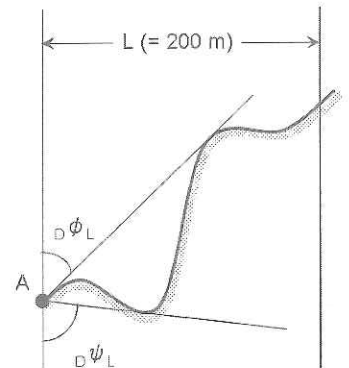


図-2 地点Aの方位Dにおける断面図

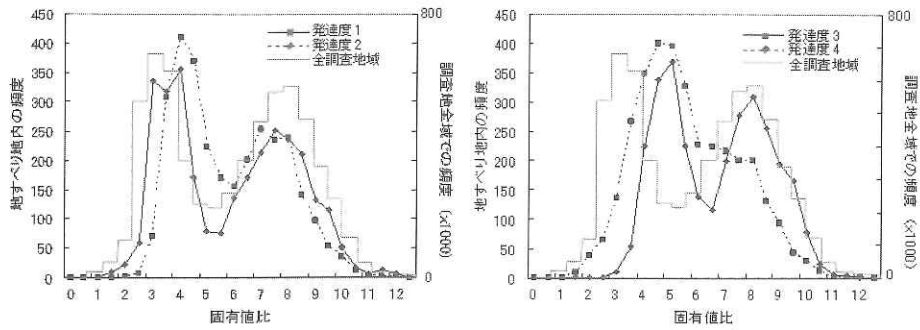


図-3 発達度の異なる地すべり土塊の固有値分布

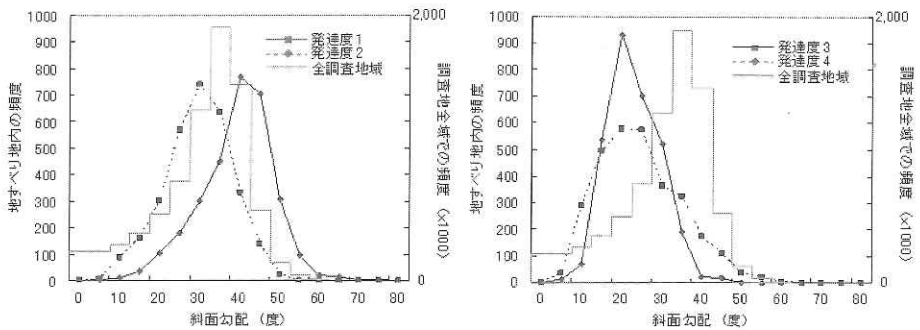


図-4 発達度の異なる地すべり土塊の斜面勾配分布

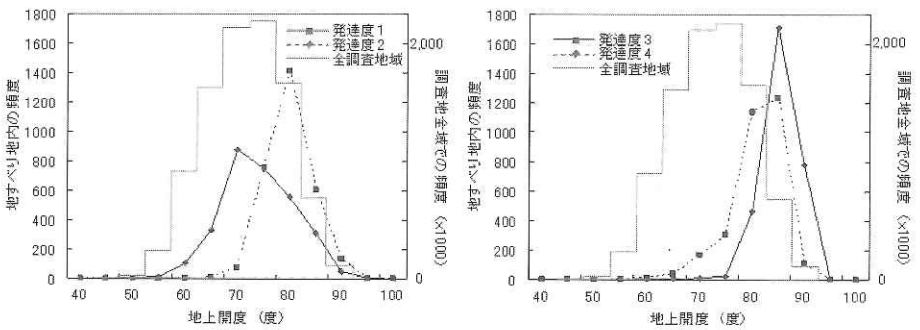


図-5 発達度の異なる地すべり土塊の地上開度分布

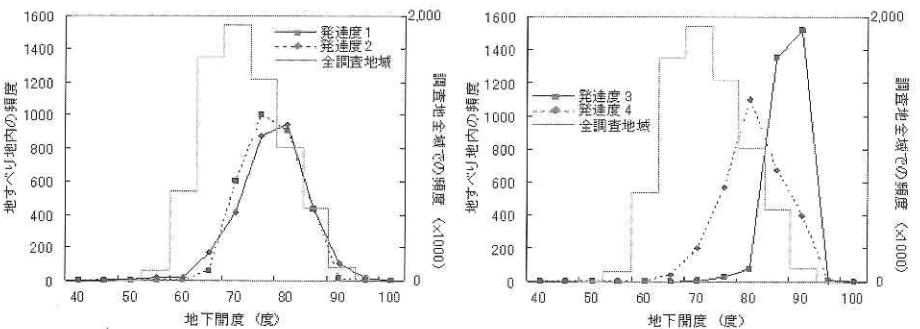


図-6 発達度の異なる地すべり土塊の地下開度分布

全調査地域に比べて滑らかになる。発達度4の時点においては右側のピークの出現頻度が低くなり地山部分の侵食も進んでいることが示唆される。

一方図-4においては、発達度1の時点では全調査地域における地形と比較して地すべり土塊の勾配はやや急であるが、発達度が上がると全調査地域の地形から乖離して緩やかになることが示された。発達度3と4の地すべり土塊についてはピークがほぼ同じ斜面勾配に位置しており、地すべり土塊がある程度緩やかになると、斜面勾配はそれ以上大きく変化しないことがわかった。発達度4の地すべりの頻度分布は発達度3と比較してより分散しており、斜面勾配が落ち着いた後は表面の侵食のみが進んでいくことが、この図からも読み取れた。

図-5及び図-6では、地上開度は発達度1の時点において全調査地域の地形と同様の頻度分布をしている一方で、発達度1と2の地すべり土塊の地下開度は全調査地よりもやや高めの分布を示した。発達度3の地すべり土塊では両開度ともにピークが90度に近づき、またその出現頻度も増えることから、地すべり地形が平らになることが示唆された。発達度4の土塊では侵食が進むことで、発達度1及び2の頻度分布に再び近づいたと考えられた。

5. DEM解析を用いた地すべりの発達度調査手法

地すべり地形と調査地全域の地形との違いは、DEM解析要素の値を用いて地すべり発達度別に表すことができた(図-3から図-6)。この結果より、斜面のDEM解析値から地すべりの存在及び発達度を明らかにできる可能性が示唆された。その手法を開発するにあたっては、今後本論で取り上げなかった解析要素についても調べるとともに、

解析値を現す斜面のブロック範囲のとり方について研究を重ねていく必要がある。

また発達が未熟な「初生」地すべりについては、斜面が周囲に比べて急で地下開度が大きい斜面に存在する可能性も、発達度1の地すべりの地形的特徴から示唆された。そのような斜面において亀裂や段差の見られる場合には、土砂災害を避ける為に定期的にモニタリングを行うことが推奨される。

なお地すべり発達のプロセスは各地域により異なることから、本論におけるDEM解析結果を他地域に直接あてはめることはできない。各地域についてはまずDEM解析を行い、その地域に特有な地すべりの地形的特徴及び地すべり発達プロセスを明らかにした上で、DEM解析結果を活用すべきである。

本研究の実施にあたり、データの提供をしていただいた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) 渡正 亮：岩盤地すべりに関する考察、地すべり、29巻、1号、pp. 1-7, 1992
- 2) McKean, J., Roering, J.: Objective landslide detection and surface morphology mapping using high-resolution airborne laser altimetry, *Geomorphology*, Vol. 57, pp331-351, 2004
- 3) Glenn, N.F., Streutker, D.R., Chadwich, D.J., Thackray, G.D., Dorsch, S.J.: Analysis of LiDAR-derived topographic information for characterizing and differentiating landslide morphology and activity, *Geomorphology*, Vol.73, pp131-148, 2006
- 4) Woodcock, N.H.: Specification of fabric shapes using an eigenvalue method, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, Vol. 88, pp1231-1236, 1977
- 5) 横山隆三、白沢道生、菊池 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巻、4号、pp.26-34, 1999

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
Dr. Mio KASAI

池田 学**



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