

斜面災害リスクの低減に向けた航空レーザ測量成果の活用

(株)ウエスコ ○濱田 展寿 平川 武 宮下 征士
井上 真 藤原 身江子

1. はじめに

「○○で落石（崩壊）が起きたので、落石（崩壊）現場を至急確認してもらいたい。」との連絡があることは、地質調査に携わっている技術者であれば、一度は経験があるのではないかな。現場に急行し、応急対策、応急処置について技術的な判断を行い、中長期的な防災対策について迅速に計画を立てることが求められる。このような斜面災害現場では、地形判読と地表地質踏査が重要かつ基本の技術となる。

この技術は、一朝一夕に習得できるものではないと感じている。それは長年の「経験」であったり、地形図や現地を見る際のある種の「センス」であったり、先輩技術者からの伝承によって培われてきたことが大きいと考える。

その「経験」や「センス」を補う技術として、本稿では3次元測量技術を取り上げる。その技術を用いた平面図は、あたかも樹木に覆われた山地斜面を透視したようであり、過去の災害の痕跡や現在の斜面の安定状態をそのまま表現している。

近年、3次元測量技術の進歩はめざましく、小型軽量化をはじめとした測量機器の進歩、および電算解析能力の向上によって、精度と利便性が向上している。その一例として、国土地理院のホームページではレーザ測量によるDEMデータが公開されており、自由な利用が可能となっている。本稿では、航空レーザ測量による地形データを利用した地形判読について述べる。

2. 航空レーザ測量の概要

(1) 航空レーザ測量とは

一般的に地質調査技術者が用いる地形データは、航空写真測量で取得した等高線図と空中写真である。航空写真測量による山地部の等高線図は、撮影した樹木上面の形状から地形形状を再現したもので、地表面を直接計測したものではない。対し

て、航空レーザ測量では山地部の地表面を直接計測できる。航空レーザ測量では、図1に示す様に1回の発振につき複数の反射波が返ってくる。そこで、最も遅く帰ってきた反射波（＝ラストパルス）を地表面に当たったものとして、これを抽出して地形データを作成する。

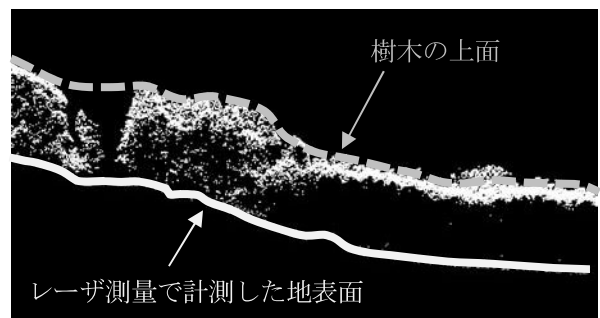


図1 ラストパルスの説明図

注)ラストパルス：橙色

(2) 航空写真測量成果との違い

図2のように樹木に覆われた山地斜面を例として、航空写真測量と航空レーザ測量の違いを示す。以下に示す図2～図5は同一斜面である。



図2 樹木に覆われた山地斜面の例

航空写真測量技術で作成した等高線図を図3に示す。この図では、斜面全体に崖が分布し、凹凸の著しい斜面となっている。

次に、図4に航空レーザ測量技術で取得した3次元地形データより作成した等高線図を示す。図3と異なり、崖の分布は一部に留まり、崖錐性堆積物が分布するような崩壊斜面となっている。

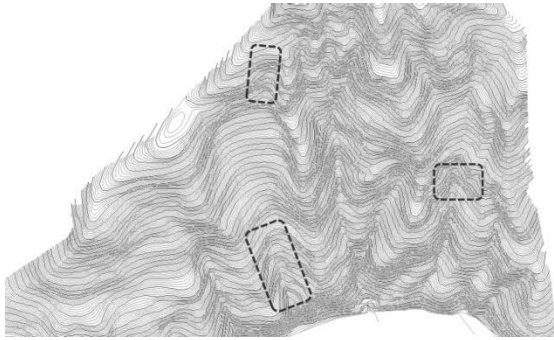


図3 航空写真測量による等高線図

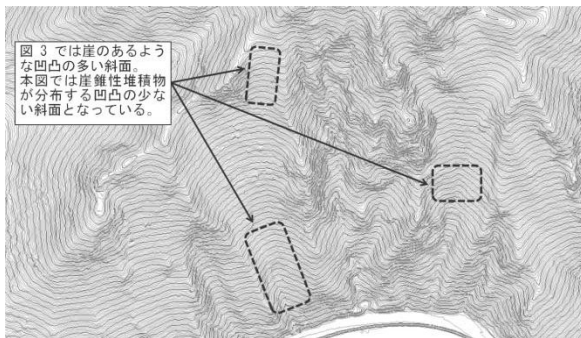


図4 航空レーザ測量による等高線図

(3) 傾斜量図による地形表現

3次元地形データより斜面の傾斜角度を色調で表現する手法も用いられる。図5は急角度の斜面を黒、緩い斜面を白で表現したものである。これは傾斜量図と称される表現手法である。

この表現の地形図は、あたかも樹木を伐採した後をモノクロ写真で撮影したような精細で立体的なものとなる。

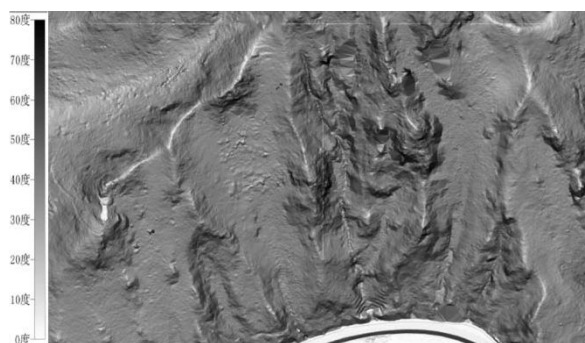


図5 傾斜量図

傾斜量図は、地形変化をイメージしやすい表現手法であり、かつ従来手法よりも精細に地形変化が表現されているので、地形判読に適している。

3. 傾斜量図に見られる斜面の特徴

傾斜量図を用いて地形判読を行う際に、参考となる斜面の特徴について例を挙げる。

(1) 表土層の状況

図6では表土の有無や荒廃の状況が現れた地形を読み取れる。表土層が覆う箇所では、下草が繁茂しているため、地表面だけでなく下草からの反射波もラストパルスとなり、ややざらざらした地形表現となる。一方、尾根筋などの表土層が薄い箇所では下草が少ないため、地表面のみの反射波となり、地表面の表現は滑らかとなる。

また、崩壊土砂が堆積する箇所は、その中間的な凹凸表現となっている。

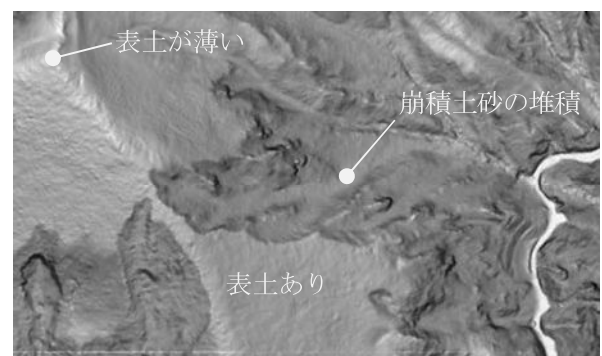


図6 表土の有無や荒廃の状況が現れた地形

(2) 表層崩壊

表層崩壊の地形は非常に明瞭に表現される。図7の斜面は、図中央の尾根筋の左右斜面において、繰り返し表層崩壊を生じている状況を判読できる。



図7 表層崩壊地形

(3) 落石斜面

崖は急角度を示す黒色に表現され、その形状や位置を容易に判読できる。さらに、崖の下方斜面には転石を含む堆積土砂の分布する斜面も判読できる。



図8 落石の多い急崖斜面地形

(4) 土石流

図9では急峻な斜面の表層崩壊地形と共に崩壊土砂の移動に伴って削剥された細長い凹地形と、末端の扇状の土砂堆積地形を読み取れる。このような地形は、土石流の発生箇所の特徴と言える。

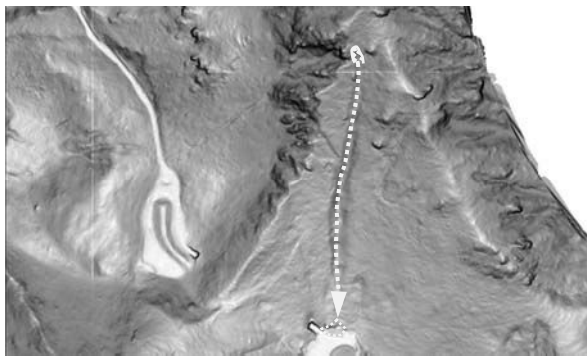


図9 土石流的な崩壊→移動→堆積地形

(5) 地すべり

表層崩壊と同じく地すべり地形の判読は容易である。特に図10に示すように滑落崖や地表面の亀裂が明瞭に表現されていることが多い。さらに、地すべり初期段階の引張亀裂のみの状況であっても、地すべりブロックを判読できる。

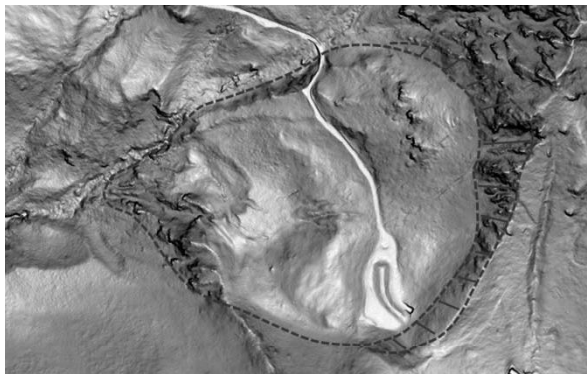


図10 地すべり地形

4. 傾斜量図による地形判読結果の現地確認

3次元地形データより作成した傾斜量図を用いて、特徴的な地形変化を判読し、その結果を現地確認した事例を以下に紹介する。

(1) 落石発生源となる急崖斜面の例：A地区

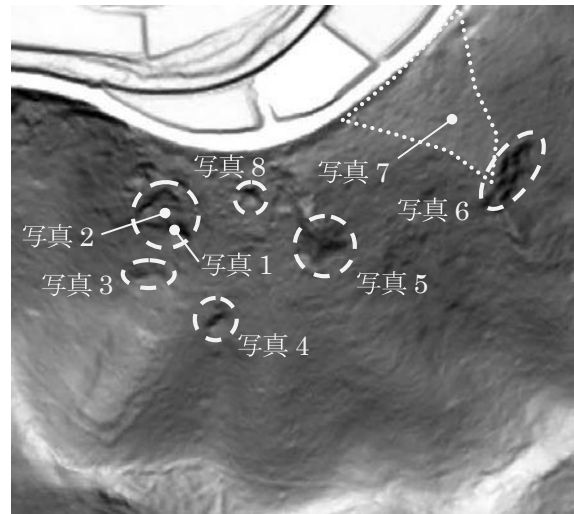


図11 傾斜量図(A地区)

A地区では、図11に示す傾斜量図から橙破線範囲に示す箇所で落石発生源と予想される急崖斜面を判読できた。そこで、現地において確認を行った。

図11の傾斜量図の写真1および写真2で示す範囲では、濃色で表される急崖斜面およびその下方の相対的に淡色で表される緩斜面を判読した。現地で確認した結果、落石源となる急崖斜面の存在を確認した。また、その下方斜面では転石が堆積した緩斜面が確認された。



写真1 落石源となる急崖斜面の状況



写真2 急崖斜面下方の緩斜面で確認した転石

図11の傾斜量図の写真3および写真4で示す範囲では、濃色で表される急崖斜面を判読した。相対的に、写真3で示す地点よりも写真4で示す地点の方が、濃色のために急斜面であると想定された。現地を確認した結果、写真3では高さ約1m程度、写真4では高さ約2m程度の急崖斜面が確認され、傾斜量図の判読結果と相違ないことが分かった。



写真3 高さ1m程度の急崖斜面



写真4 高さ2m程度の急崖斜面

図11の傾斜量図の写真5で示す範囲では、濃色で表される急崖斜面に囲まれた凹地形を判読した。現地を確認した結果、急崖斜面は岩盤露頭ではなく、崖錐性堆積物の露出する斜面であることを確認した。



写真5 崖錐性堆積物の荒廃斜面

図11の傾斜量図の写真6で示す範囲では、高さ約10m程度にわたって濃色で示される急崖斜面を判読した。また、写真7で示す範囲では、写真6で示す急崖斜面から下方へ扇状に広がる崖錐斜面を判読した。現地を確認した結果、判読結果と同様に写真6の様な高さ約10m程度の岩盤の露頭が確認された。また、その下方では写真7の様なφ30～40cm程度を主体とした転石を含む崩壊土砂の堆積を確認した。



写真6 高さ10m程度連続する岩盤露頭



写真7 崩壊土砂の堆積状況

図 11 の傾斜量図の写真 8 で示す範囲では、凸状の形状があり、巨大な転石と判読した。現地で確認した結果、凸部は倒木の根の部分が斜面より突き出したものであり、転石ではないことを確認した。



写真 8 倒木

(2) 表層崩壊の例：B 地区

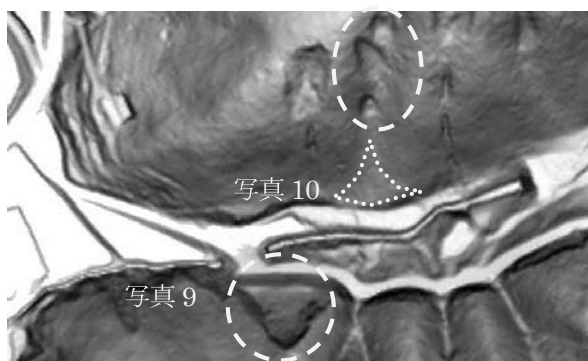


図 12 傾斜量図(B 地区)

B 地区では、図 12 に示す傾斜量図から橙破線範囲に示す箇所で、表層崩壊と予想される斜面を判読できた。

図 12 の傾斜量図の写真 9 で示す範囲では、人工的な直線状の斜面とその上部の表層崩壊を判読した。現地で確認した結果、判読結果と同様に 2 段の切土のり面が存在し、その上部斜面で薄い表層崩壊を確認した。



写真 9 切土斜面の表層崩壊

図 12 の傾斜量図の写真 10 で示す範囲では、上部の沢筋に沿って複数の表層崩壊跡が判読でき、その末端部には崩積土砂の堆積が判読された。現地で確認した結果、写真 10 で示すような末端部の崩積土砂の堆積を確認した。



写真 10 末端部の崩積土砂

5. レーザ測量の精度検証

レーザ測量をはじめとした 3 次元測量のメリットは、任意位置で断面作成が可能なことである。落石解析を行う斜面は、急峻で実測による測量作業は多くの労力を伴うので、レーザ測量に基づく横断面図を利用することは、労力の軽減に大きく寄与するものである。そこで、レーザ測量と実測横断面測量の結果を比較し、測量精度の検証を行った。

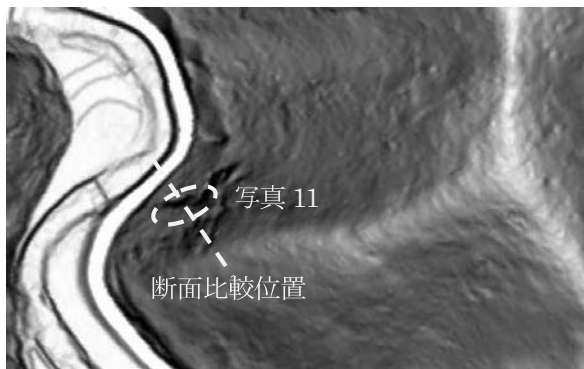


図 13 傾斜量図(C 地区)

C 地区では、図 13 に示す傾斜量図によって、写真 11 で示す様な連続する急崖斜面が判読できた。現地で確認した結果、傾斜量図に表現された形状の崖面が分布していることを確認した。



写真 11 落石源となりうる急崖斜面

C 地区では図 13 に示す断面比較位置において、レーザ測量と実測横断測量による横断形状の比較を行った。図 14 には、その形状比較結果を示す。

崖面や擁壁のような急激な地形変化を伴う箇所では、形状に差異が認められる。レーザ測量では、急激な地形形状の変化を正確に表現することができていない。一方斜面全体を比較すると、斜面勾配・斜面標高・地形変化点位置など、レーザ測量でも正確に表現できていることが確認できた。

したがって、斜面防災設計においては、現地確認を行って補正を加えることでレーザ測量による横断図を活用することが可能と考える。

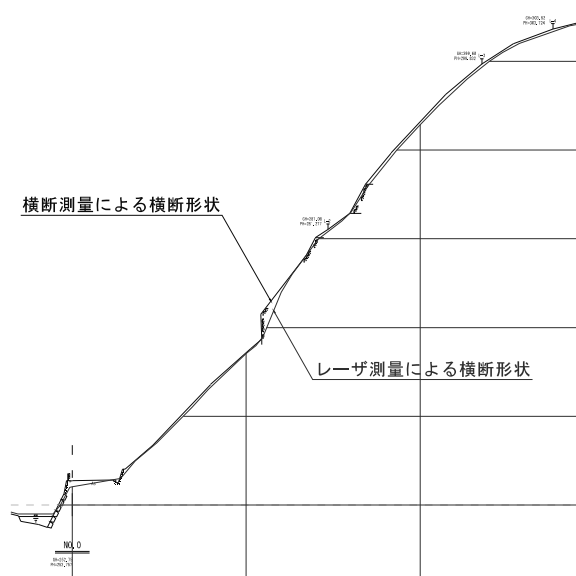


図 14 レーザ測量と横断測量による横断比較

6. おわりに

レーザ測量成果による地形図では、写真測量による地形図で表現できないような微地形まで判読できる。今回、レーザ測量成果を用いて地形判読し、その結果を現地で照合することで、レーザ測量成果の有効性を改めて確認することができた。現地確認の結果では、傾斜量図の濃色部の一部が倒木であったことから、机上調査だけではなく現地調査も必要であると考え。また、レーザ測量成果から作成した横断図は、崖や擁壁の形状を補正することにより、実測横断に近い制度の断面図として利用可能であると考え。

レーザ測量成果を用いて地形判読を行うことによって、地表地質踏査では予めターゲットを絞ることが可能であり、やみくもに現地を調査することもなくなるため、効率よく現地調査作業時間の短縮が可能となる。なおかつ、斜面防災において最も重要な「現地での見落とし」のリスクを低減できる。

今後、更なるレーザ測量成果と現地状況の照合結果を蓄積し、地形判読の精度を高めることができればと考える。また、今後の 3 次元測量成果の活用法として、高精度な落石シミュレーション、高解像度のデータによる道路施設の維持管理、広範囲の斜面災害リスク管理（危険度マップの作成等）への活用等について、地質調査技術者として役立てればと考える。