

6．地上型レーザを用いた地形計測に関する調査・検討

6．1 調査の目的

近年、新しい地形計測技術としてレーザを用いた方法が試用されるケースが増えつつある。これは、従来の航空写真測量と比較して、地表に照射したレーザから直接的に地形データが得られるとすることや時間・コストの面でも有利とする見解があること、また、データを加工することで3次元的な見せ方ができるなど熟練者でなくても地形判読が可能とされること、などによると思われる。

一方、この技術が高度な専門的技術であり、取得されるデータは、いわばブラックボックスからのデータといえる。また、得られた地形データについても仕様に記載された精度と異なるなどの指摘もある。

こうした背景のもと、本委員会に対し道路管理者から「レーザによる地形計測の実務性や得失を整理してほしい」との要請があった。平成15年度では、まず、空中からのレーザ（小型航空機からの計測）による地形計測に関する調査を行い、計測結果の有効性や精度について検討する一方、使用に際しての留意点などについて整理した。（本委員会報告書その2、平成16年8月）

平成16年度では、さらに、道路管理者から地上型レーザについても検討の要請があり、特に急崖斜面における積雪量が把握できるか

急崖斜面における変状（崩壊などの発生）の位置、規模などが把握できるかを目的として現地計測調査を実施した。

本章では、上記2点の目的に沿って実施した調査の結果について述べる。

なお、レーザの計測については、平成15年度、16年度の2年間で空中および地上レーザについて一通り留意点や課題を含め整理したことから、本委員会での検討は平成16年度をもって終了していることを付記する。

今回用いた地上型レーザ計測器を図6-1に示す。



図6-1 今回の調査で用いた地上型レーザ計測器の外観

6.2 調査手法

6.2.1 調査の流れ

今回実施した計測からデータ処理、さらに各種解析に至る流れを図6-2に示す。

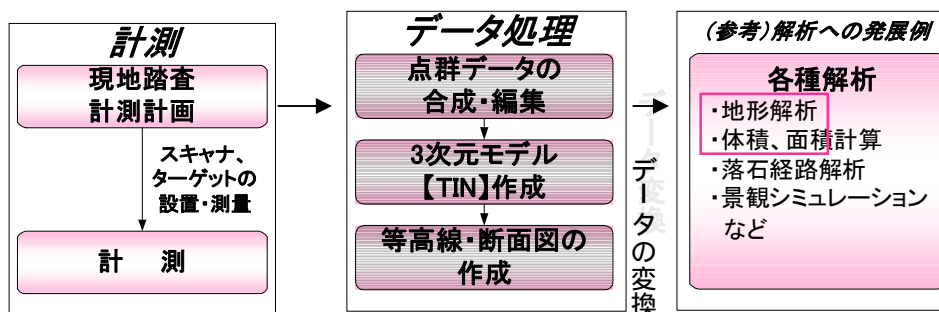


図6-2 調査の流れ

6.2.2 計測対象箇所と調査時期

(1) 計測対象箇所

計測を試行したのは、国道の脇の斜面2カ所である。

図6-3に示した計測箇所は、前述した目的の対象斜面で、国道230号 KP37.0 付近の定山溪トンネル起点坑口脇の斜面である。冬期の積雪量が多く雪崩なども頻発する斜面である。但し、現道とは十分な距離があり、雪崩などが発生しても道路管理には関係しない。現道との比高は150m程度、勾配45°の斜面で沢部の植生はまばらである。

また、図6-4の計測箇所は、目的の対象斜面で、国道453号 KP40.5 付近の支笏湖ポロピナイ付近の駐車帯脇の斜面である。国道昇格時から見られる裸地斜面で小規模な土砂移動がみられるが防護柵が設けられており駐車帯へ及ぶことはほとんどない。比高20m、勾配60°程度の斜面である。



図6-3 計測箇所 (国道230号 KP37.0 定山溪トンネル起点坑口付近)



図 6 - 4 計測箇所 (国道 4 5 3 KP40.5 付近の支笏湖ポロピナイ付近)

(2) 計測時期

計測は、目的、 を検討するため以下の 3 つの時期に実施した。

- 落葉期 (2 0 0 4 / 1 1 月): 計測箇所 R 2 3 0 、計測箇所 R 4 5 3
- 積雪期 (2 0 0 4 / 2 月): 計測箇所 R 2 3 0
- 融雪後 (2 0 0 4 / 5 月): 計測箇所 R 4 5 3

6 . 2 . 3 計測密度

今回用いたレーザ計測器では、対象斜面に対してスキャニングする際、その密度を選択することができた。密度が高ければそれだけ細かなデータが得られる一方、計測や解析に時間がかかる。

そこで、今後の実務性の判断の一環として以下の 2 つの密度のケースで計測を実施した。

- 高密度計測 (縦横 4cm 間隔で計測) . . . 計測時間 約 9 0 ~ 1 2 0 分
- 低密度計測 (縦横 10cm 間隔で計測) . . . 計測時間 約 2 0 ~ 3 0 分

6.3 調査結果

6.3.1 計測箇所 における調査結果

(1) 密度別のデータ取得状況

図6-5は、計測箇所 に対して得られた点群データの状況である。暗い部分は、植生繁茂や地形的に陰となりレーザ波の反射がほとんど得られていないと理解できる。当然ながら高密度のほうが反射データ量が多いことがわかる。

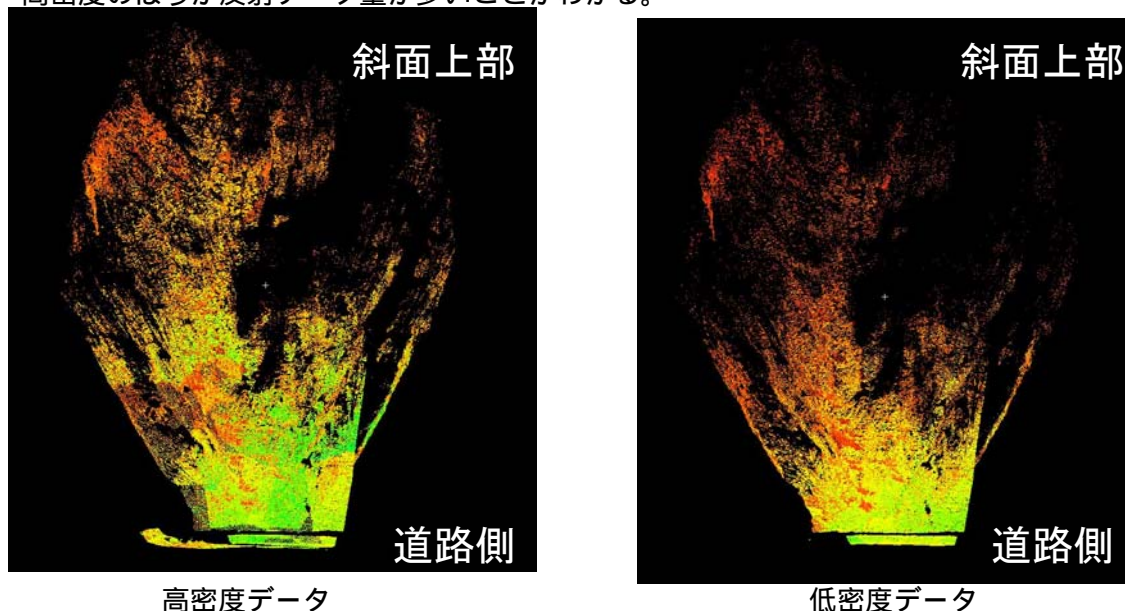


図6-5 国道230号計測箇所 における密度別データの取得状況

(2) 3次元モデルでの密度別比較

可視化した3次元モデルでの見え方について図6-6に密度別に示す。楕円で囲った部分の地形突起は、高密度のほうが微地形を反映しているが実務上の認識という点ではそれほど極端な差は感じられない。一方、円で囲った部分については、植生の影響が低密度ではほとんど認識できないのに対し、高密度では無視出来ない突起と認識される。但し、道路から数十mの範囲内ではどちらもそれほど変わらない。

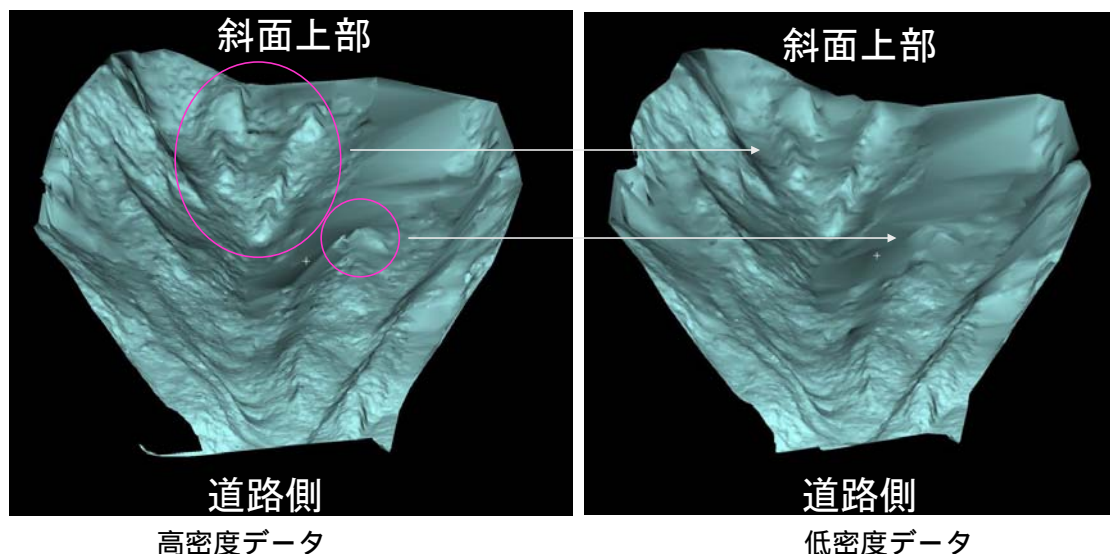


図6-6 可視化3次元モデルでの密度別比較

(3) 立面図の密度別比較

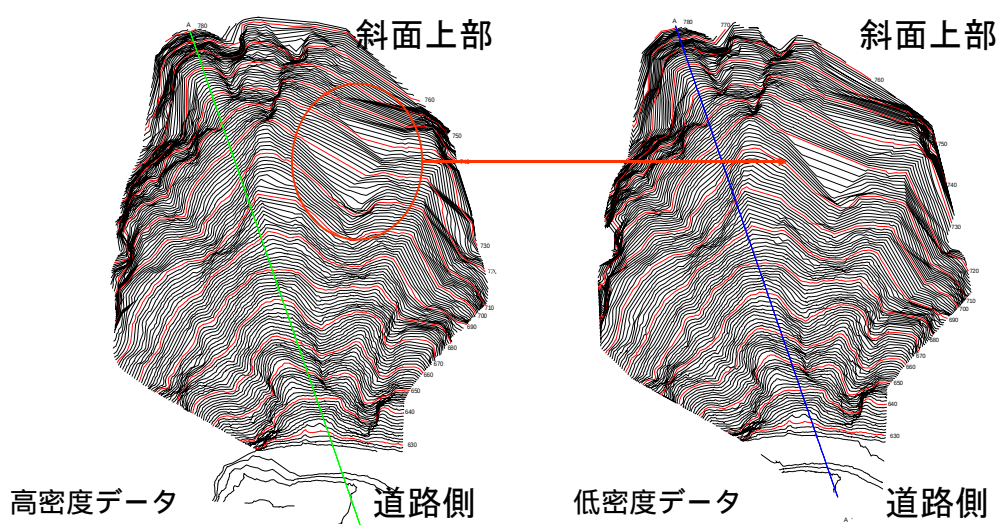


図 6 - 7 立面図での密度別比較

図 6 - 7 は、立面図での密度による比較を示したものである。赤の楕円で示した部分では、3次元モデルと同様に高密度のほうが突起の部分をよく等高線として表していることがわかる。他の部分ではそれほど差異はない。

(4) 斜面全体の積雪深計測の試行

図 6 - 8 は、計測箇所 斜面における落葉期と積雪期の状況写真である。斜面正面の緩やかな沢部の積雪斜面に注目して両者の地表データの差分から積雪深がどのように計測できるかを試みる。



落葉期 (2 0 0 4 / 1 1 月)



積雪期 (2 0 0 5 / 2 月)

図 6 - 8 計測箇所 における積雪前後の写真

図6 - 9は、積雪前後の立面コンターである。共に高密度による計測であるが、積雪期のほうが斜面奥部の尾根状地形などが落葉期よりも実際に近い形で得られていることが、同時に行った斜面踏査でわかっている。これは、レーザ波が表面が白色ほどよく反射することによるためとも考えられる。

これらの立面コンターの差分をとり断面Aで求めた積雪深を図6 - 10に示す。この結果によれば、斜面中間部から上部にかけて2m 前後程度、斜面下部では3.5～6m 程度の積雪があることがわかる。斜面下部の積雪は、上位からのデブリのほか除雪による堆雪もあることが現地で確認できている。因みに斜面下部での実測値（図中の写真）との差は数cm以内程度（今回は3 cm）あり、計測対象との距離が短ければ（断定はできないが数10m 程度以内）ある程度精度が得られることが示唆される。

また、コンタが得られた範囲全体の積雪量も解析上求めることができ、積雪量合計42,000m³となる。また、積雪深コンタも表示が可能であり、これが求まれば斜面内の雪崩危険度などが評価できる可能性もある。しかし、その信頼性については、斜面内の複数点で実測し比較しながら注意深く検証してゆく必要がある。

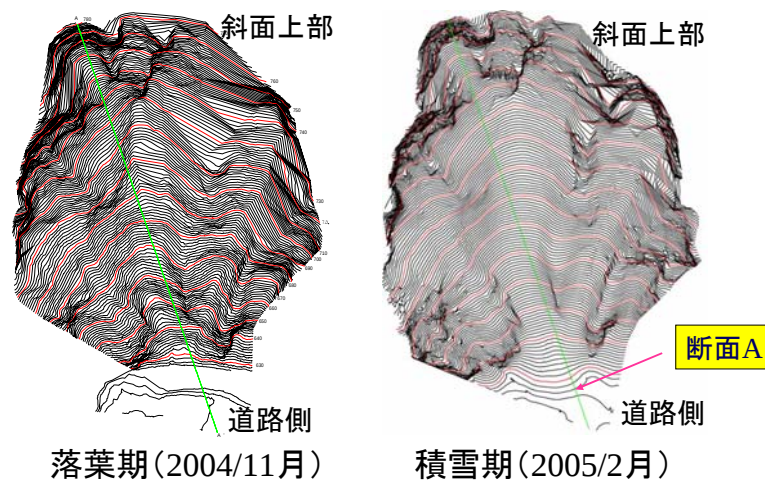


図6 - 9 積雪前後の立面コンタ（高密度計測による）

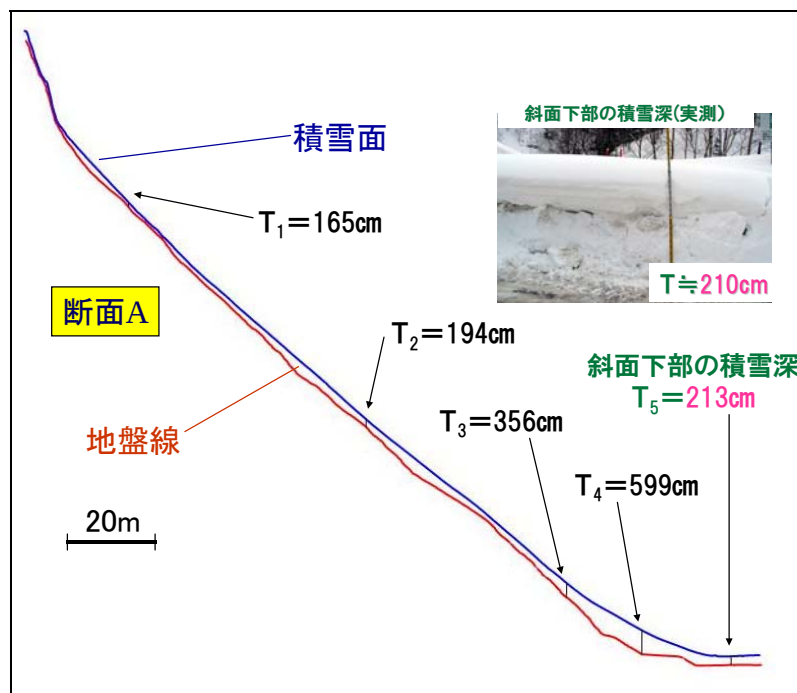
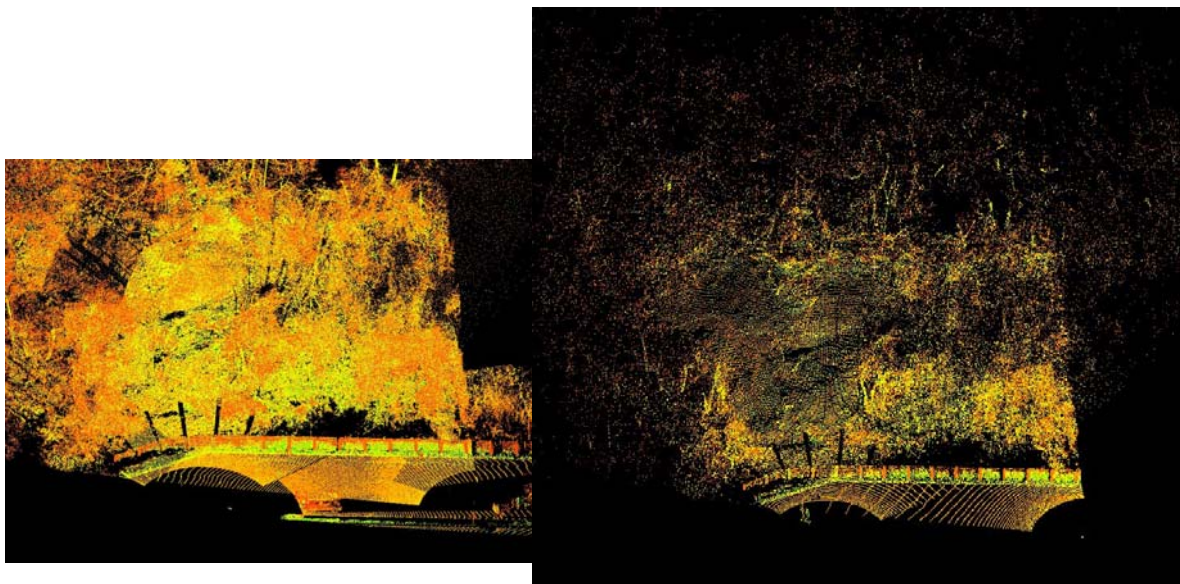


図6 - 10 積雪前後のコンターの差分から求めた断面Aにおける積雪深

6.3.2 計測箇所 における調査結果

(1) 密度別のデータ取得状況

図6-11は、計測箇所 に対して得られた点群データの状況である。対象斜面の距離はともに約30mである。高密度は、低密度と比較して当然データ量が多いが、低密度も斜面全体から満遍なくデータが得られていることが見て取れる。



高密度データ

低密度データ

図6-11 国道453号 計測箇所 における密度別データ取得状況

(2) 3次元モデルでの密度別比較

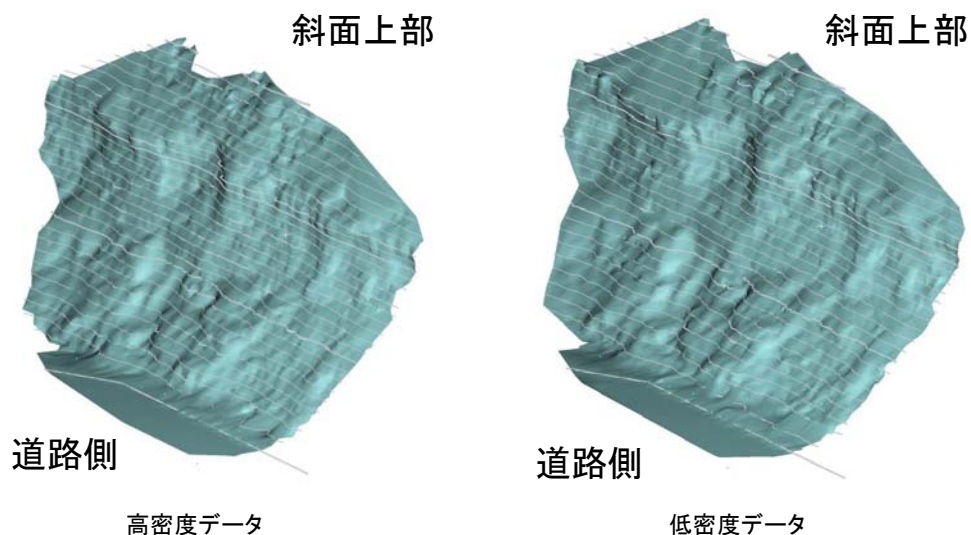


図6-12 3次元可視化モデルでの密度別比較（計測箇所 ）

図6-12に対象斜面の3次元モデルを密度別に示したものである。それほど差異があるようには認識されない。

(3) 立面図の密度別比較

密度の異なるデータから得られた立面図の比較を図 6 - 1 3 に示す。コンター間隔や微地形など両者に大きな違いは見られない。

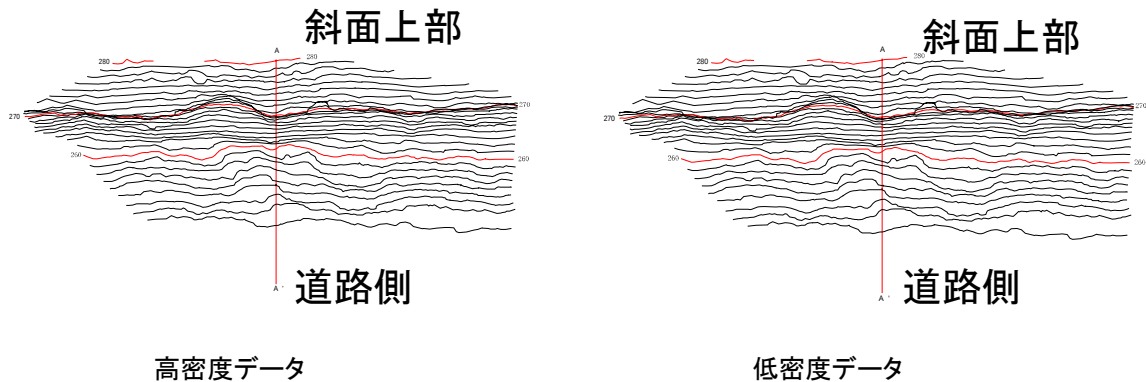


図 6 - 1 3 立面図の密度別比較 (計測箇所)

(4) 融雪後の土砂移動に関する検討

図 6 - 1 4 は、対象斜面の落葉期と融雪後の写真である。現地調査では明確な土砂の移動は確認されていない。(融雪後の写真で斜面下半部の色が異なっているのは、斜面の乾燥状態が異なるためであって表層の変動ではない)



落葉期(2004/11月)



融雪後(2005/5月)

図 6 - 1 4 計測箇所 における落葉期と融雪後の写真
(目視では土砂移動の有無の判断はつかない)

そこで、地上型レーザで得られた時期の異なる地形データの差分を用いることで目視では容易に判断がつかない表面の土砂変動の有無を検討することにする。

図 6 - 1 5 は、地形データの差分を対象斜面裸地部における土砂移動量として捉えたものを表示したものである。表層土砂が赤でマークされた箇所で 20 ~ 30cm、深緑の箇所で数cmオーダーなどの土砂移動があったことの結果となった。

数十cm程度の変動はレーザの測定精度から捉えられるとされるものの、数cmオーダーの結果は、あくまでも積雪前後の差分によるものあり、その変動量は判然としない。対象物の数cm以内の移動量を正確に捕捉出来るか否かについては、今後、現地などでキャリブレーションを実施し検証してゆく必要がある。

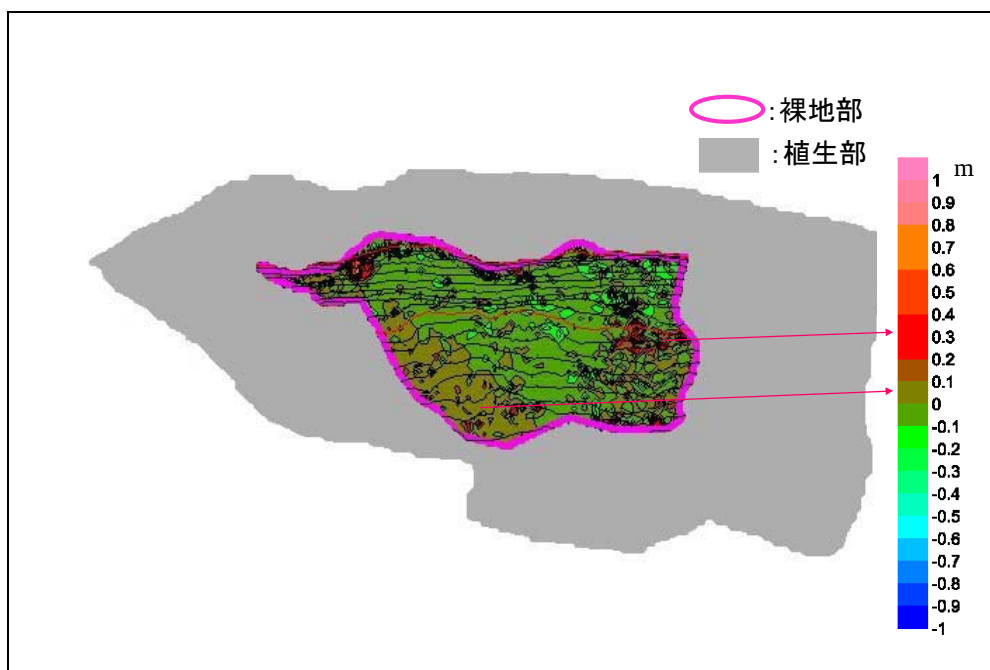


図 6 - 1 5 対象斜面裸地部における土砂移動の表示（差分による結果）

6.4 まとめ

以上、地上型レーザの現地地形計測、解析による積雪深や土砂の変動量に関して検討した結果を述べた。

今後の課題を含め得られた主要な結果を以下に列記する。

- 1) 地上型レーザ計測機器は比較的軽量で持ち運びが用意であり、その点からも比較的簡便に3次元実体図や平面図、断面図の作成が可能である。
- 2) 対象までの距離が数十 m 以内の場合には、低密度測定（測定時間 2.5 分程度）で実務的には有効な地形データが得られるものと判断される。但し、植生繁茂領域は現地での検証に基づき補正が必要である。
- 3) 絶対データを用いるよりは、誤差が相殺されるという意味において差分データを利用するのが望ましい。
- 4) 積雪深については、対象までの距離が数十 m 以内の場合、今回の検討で実測との差が 3cm であったことから数cm程度の実用的精度を持つと判断される。但し、100m 程度以上の離れの場合や植生の繁茂度などによる精度への影響については斜面内で実測を繰り返し、比較しながら検証してゆくことが望まれる。
- 5) 面的な積雪量の把握は、これまで航空測量によってのみ可能であったが、今回検討した地上型レーザによって降雪直後の面的な計測が可能になれば、上記 4) の課題はあるものの、将来、斜面上の雪崩危険度判定の可能性もあり、対策工検討にも有効と考えられる。
- 6) 対象斜面までの離隔距離が数十 m 以内の場合、肉眼では捉えにくい数cm～数 10m オーダーの表面土砂変動も推定の可能性が示唆された。但し、数cmオーダーの変動の認識には今後キャリブレーションなどによって検証が必要である。
- 7) 空中型レーザと同様、高度な専門的技術であり利用者にとってはいわばブラックボックスからのデータである。現地検証点をいくつか設置するなど運用上の注意、工夫が必要である。