

地上型スキャン式レーザ測距儀による 斜面地形計測・解析技術の調査マニュアル

佐藤宗一郎* 杉浦 正美**
 (財) 日本測量調査技術協会
 第8技術部門作業部会メンバー***

1. はじめに

近年、地上型スキャン式レーザ測距儀(以下、「地上型レーザ」という)による計測技術が開発され、3次元の詳細な地形計測が可能となった。本技術の開発の目的は、地上型レーザを用いて、岩盤崩壊や地すべりなどによる災害に対して、発生あるいは発生の恐れのある斜面状況の面的かつ迅速な把握と監視を行うために必要な計測・解析技術を開発し、防災分野への応用を目指すものである。

この目的に資するために、実斜面を対象としてデータ取得方法、解析手法、解析結果の表示方法、斜面地形評価及び斜面災害への対応策などについて検討を行った。検討結果に基づき、地上型レーザを用いた斜面地形計測の実用化に向けて、測量技術者

が計測・解析業務などの基礎知識を得るために役立つ「調査マニュアル」をとりまとめたので、主な工程の概要、解説及び事例について紹介する。

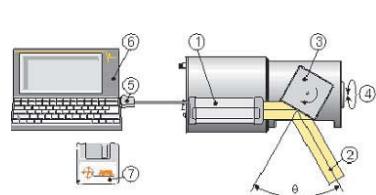
なお、現地における斜面地形の計測作業に使用した地上型レーザの機器は、RIEGL社製 LMS-Z210 である。

2. 計測原理・計測計画

2. 1 地上型レーザ計測手法

地上型レーザの計測原理は、任意のターゲットに向かって照射したレーザパルスが、反射して戻ってくるまでの時間から算出される距離(r)を計測するもので、トータルステーションの原理と類似している。

地上型レーザ(図1)では、任意1点の計測のみではなく、2軸のビームスキャニ



- ①距離測定電子回路
- ②レーザビーム
- ③回転ポリゴン
- ④フレームスキャナ
- ⑤プリンターポート
- ⑥制御PC
- ⑦スキャニング用ソフトウェア



図1 地上型レーザの外観と計測システム例

ング機構（機器内部に組み込まれたミラーの回転及び器械自体の回転などの方法）によって任意の計測領域における各計測ポイントまでの距離（ r ）と、器械軸を基準とした水平角（ ϕ ）と垂直角（ θ ）を計測し、極座標を得ている。

また、計測領域内に標定点を設置するなどの対応により、絶対座標に変換することも可能となる。

2. 2 計測調査作業のフロー

計測調査の作業工程は、図2のとおりである。また、現地への立ち入りやリフレクターシートの設置については、精度上実施することが望ましいが、落石などの危険性のある斜面については、作業を省略して計測することも可能である。

2. 3 計測計画の立て方と留意点

計測計画の立案時の留意点は、特に以下

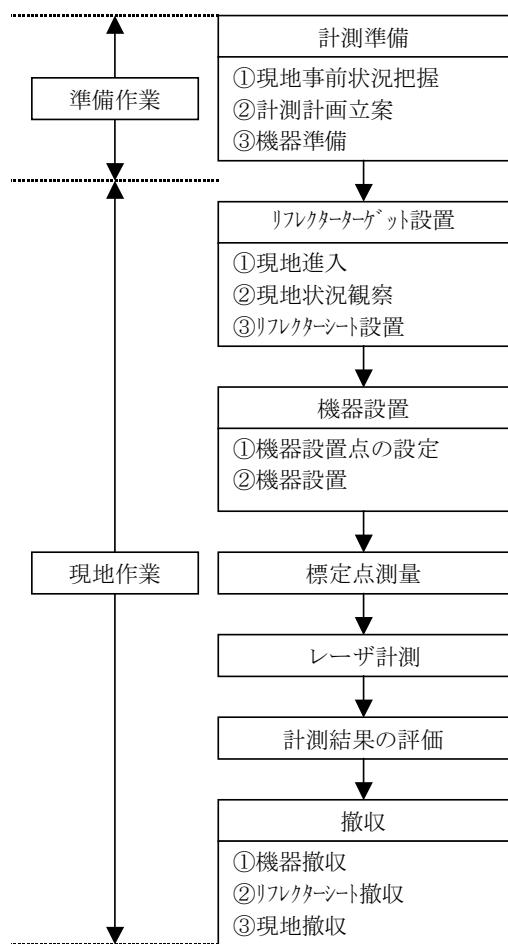


図2 地上型レーザを用いた計測調査フロー

の3点について考慮する必要がある。

(1) 現地概況の把握

作業工程については、基本的に常時観測を要するような特定斜面と、事前の状況把握が困難な非特定斜面により大きく異なる。事前の状況把握が可能な特定斜面では現地作業の効率化が図れるが、状況把握が困難な非特定斜面では図2に示した全工程が必要となる。

現地での事前調査は、計測対象周辺の既成の地形図などの資料を収集した上で行う。また、位置、計測対象の規模及び対象付近の植生状況を含む計測環境を主とした基礎的情報入手し、さらに以下に示す事項に配慮する必要がある。

- ・現地基準点からの座標取り付けにおける見通し確認（器械点・標定点）
- ・現地作業場の問題点（杭などの設置可否）
- ・対象斜面範囲の確認
- ・計測方法（器械点・標定点の基準）の方針決定

(2) 関係官署との調整及び許認可

現地計測作業では、以下に示す手続き・連絡などを計画段階で実施しておくことが望ましい。

- ・関係機関
調査工程、安全対策、緊急連絡網などの連絡。
- ・道路管理者
必要に応じて調査工程、安全対策、緊急連絡網などの連絡。
- ・所轄警察署
必要に応じて「道路使用許可申請書」手続き。
- ・河川管理者
必要に応じて「使用許可」手続き。
- ・地方公共団体及び地主・主要交通機関
必要に応じて調査工程、安全対策、緊急連絡網、交通網への支障状況などの連絡。

(3) 安全対策

現地計測作業を安全に遂行するためには、

環境の整備及び作業者の災害予防の確保を図ることが大切である。特に計測対象に接近した作業では、落石や転落防止のため見張り員の配置、安全帯の使用、ヘルメットの着用などの災害予防対策を講じる必要がある。

3. データ収集・データ解析

3. 1 3次元データ処理

(1) 取得データの座標変換

地上型レーザにより取得される計測データは、測距儀の中心を原点とする3次元局地座標系により取得されているため、そのままでは用途が限定される。

このため、一般的には、測量による標定点や器械点の座標成果に基づいて取得データの標定を行い、最適な座標変換パラメータを計算する。このパラメータにより測地座標系へ座標変換を行うことが可能となる。

なお、計測データの標定と座標変換パラメータの決定には、以下の方法がある。

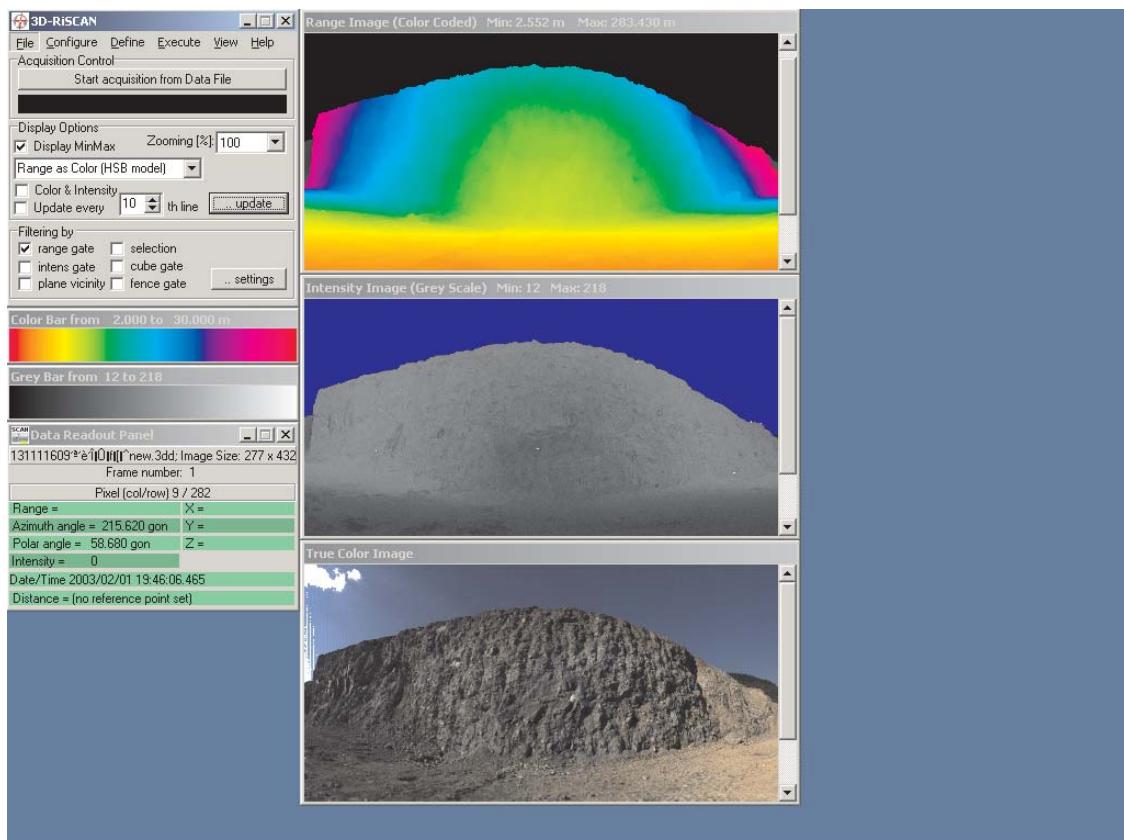
①計測対象物に空間配置された複数のリフレクタシートを反射強度画像から識別し標定する方法

②地上型レーザを中心とした局地座標系の原点座標と方向により標定する方法

(2) 距離画像処理について

計測データは、地上型レーザ専用処理ソフトウェアにより「距離画像」・「反射強度画像」・「RGB カラー画像」の3種類の画像により表示される(図3)。この画像では構成する1点1点の画素が測定結果を示している。

距離画像は、地上型レーザから計測対象物までの距離値について、1測定結果を1画素の情報として画像に表したものである。このため、距離画像は、距離値で色調を変えることによって、計測対象物の形状を視



(上から順に距離画像・反射強度画像・RGB カラー画像、RIEGL 社製 3DRiZSCAN)

図3 計測データの専用ソフトウェアによる画像表示例

覚的に把握することができる。

3. 2 反射強度画像処理

反射強度画像は、レーザ光による測距と同時に得られるレーザ光の反射強度値の結果を、グレースケールの画像により示したものである。反射強度値は、地上型レーザから発射されたレーザ光が計測対象物に反射したものをスキャナに内蔵されたセンサーにより受光し、その強度に応じて0～255の値に変換したものである。

反射強度画像を解析することにより、計測対象物表面上の反射強度の分布を読み取ることができる。さらに、レーザ光線に対して高い反射強度を示すような素材（プリズムミラー、リフレクターシートなど）を計測対象物に設置することにより、その位置を識別することも可能である。この特長を利用して、リフレクターシートを計測対象物上に空間設置し、トータルステーションやGPS測量などの基準となる座標系に基づく座標の取り付けを行うことにより、反射強度画像の解析による標定が可能となる。

3. 3 RGB カラー画像処理

RGB カラー画像は、レーザ光による測距と同時に地上型レーザに内蔵されたセンサーにより、自然光を受信したものをカラー画像化したものである。地上型レーザにおける各種計測において、RGB カラー画像は主にデータ取得範囲確認、構造物の3次元モデリングにおけるテクスチャーの取得などに利用することができる。

3. 4 フィルタ処理

災害が発生する自然斜面には植生が繁茂している場合が多く、斜面計測にあたっては、植生による精度低下の影響除去は重要な問題である。ここでは、地上型レーザにより得られた点群データに対して、「地表面」と「(植被面などの) 地表面以外」の分離処理を「フィルタ処理」と呼ぶ。

フィルタ処理は、これまで主に航空機搭載型レーザスキャナにより取得した点群データを処理するための技術としての開発が

進んでいる。この処理では、ランダム点の平滑化を行い、その平滑化面からの距離が遠い点を樹木と判断してデータの削除を行った。

この場合、処理結果に影響するパラメータ（ここでパラメータの設定は、本技術開発に関して計測を実施した事例に基づくものであり、様々な地形形状の斜面に適用して得られた結果ではない）とその設定については、これまでの計測・解析結果から次のように考える。

植生が繁茂している斜面地形を計測する場合には、「ラストパルスモード」で計測することにより、計測段階で植生の影響を軽減するためには効果的である。さらに、対象斜面に対して平行に器械点をずらして複数点から計測する事により、1地点のみの計測よりも多くの地表面計測データを取得できる可能性が高い。

(1) フィルタ処理のパラメータ設定

フィルタ処理では、以下（A）（B）のパラメータがあり、それぞれを最適な値に設定する必要がある。

(A) 平滑化を行う範囲（タイルサイズ）

タイルサイズについては、その大きさに応じてランダム点群を平滑化するため、タイルサイズが大きい場合は滑らかに平滑化され、小さい場合はあまり平滑化されない傾向にある（図4）。これは、平滑化面に対して「地表面」の判定を行うため、タイルサイズの相違により結果が異なるためである。その影響及び設定方針は表1のとおりである。なお、今回の処理では、タイルサイズが20mの場合は本来の地形より滑らかに平滑化され、5mの場合はあまり平滑化されない傾向にあった。

(B) 平滑化面からの高さ方向の許容範囲（Z方向の許容値）

サーチエリア内に存在するレーザ計測点群を残差が最小となるような曲面を表すn次の多項式に近似し（平滑化面の設定）、平滑化面からのしきい値（Z方向の許容値）

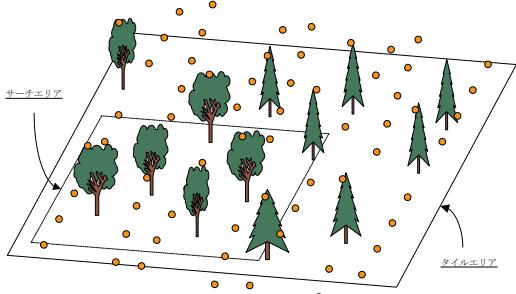


図4 タイルエリアとサーチエリア

表1 タイルサイズに基づく影響と設定

タイルサイズ	タイルサイズの相違による影響
大	平滑化の際に細かな形状が無視され、窪みにある「樹木」が「地表面」に誤判定される場合があった。計測密度を粗く設定した場合には、大きめの値を使用した方が良いと考える。
小	平滑化の際に細かな形状に依存し、「樹木」の点群の下側に誤判定が見られる場合があった。計測密度を細かく設定した場合には、小さい値を設定しても良いと考える。

を設定することによって、植生の影響と考えられる計測点データを削除する（図5）。また、Z方向の許容値に関しては、計測斜面の地形形状や植生高などを考慮して設定することが望ましい。

（2）計測斜面による事例とフィルタ処理結果

フィルタ処理を行うために現地計測を実施した斜面（図6）は、尾根部から谷部まで比高差約20m、ほぼ全域が植生に覆われており、一部に崩壊跡と思われる非植生地がある。夏季には斜面全体が植生に覆われるが、計測時には、多くの木々が落葉している状況であった。

各種のタイルサイズとZ方向の許容値を設定した場合のフィルタ処理結果（特定の斜面での処理結果）では、タイルサイズ

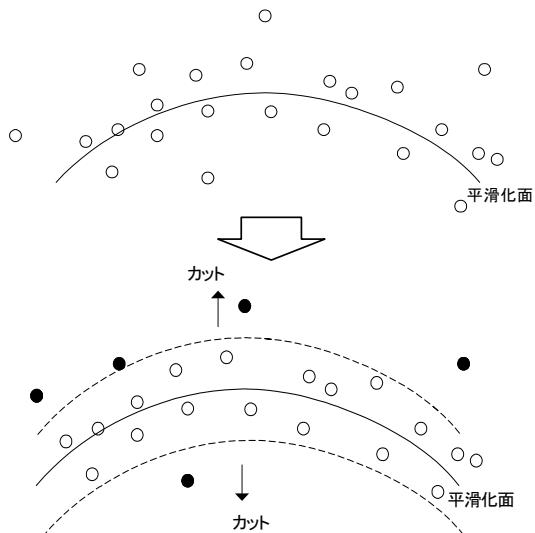


図5 高さ方向の許容範囲の考え方

=10m、Z許容値=0.5mが地表面の特徴を最もよく捉えている。しかし、この結果は全ての地形に対して適用可能なものではなく、地形の複雑度や植生繁茂状況に依存するものと考える。

得られたパラメータを使用して、計測対象斜面全域の計測データに基づきフィルタ処理を行った。図7にフィルタ処理前後の等高線図の部分拡大図、図8に陰影図を示す。なお、図8の赤枠は、図7における等高線図の作成範囲を示している。

これらの図から、フィルタ処理によって植生と考えられる部分（フィルタ処理前に等高線間隔が密な部分）が除去され、地盤高（地表面）の情報が取得されていると考えた。

4. 結果表示方法

地上型レーザにより得られる計測データは、3次元の座標を保持した計測点の集合により構成された空間情報である。この空間情報を基に数値地形モデルを作成することにより、様々な利用目的に応じた視覚的表現方法が可能となる。

4. 1 縦横断図、等高線、立体図

線的な表現方法は、縦横断図、等高線、



図 6 現地計測斜面

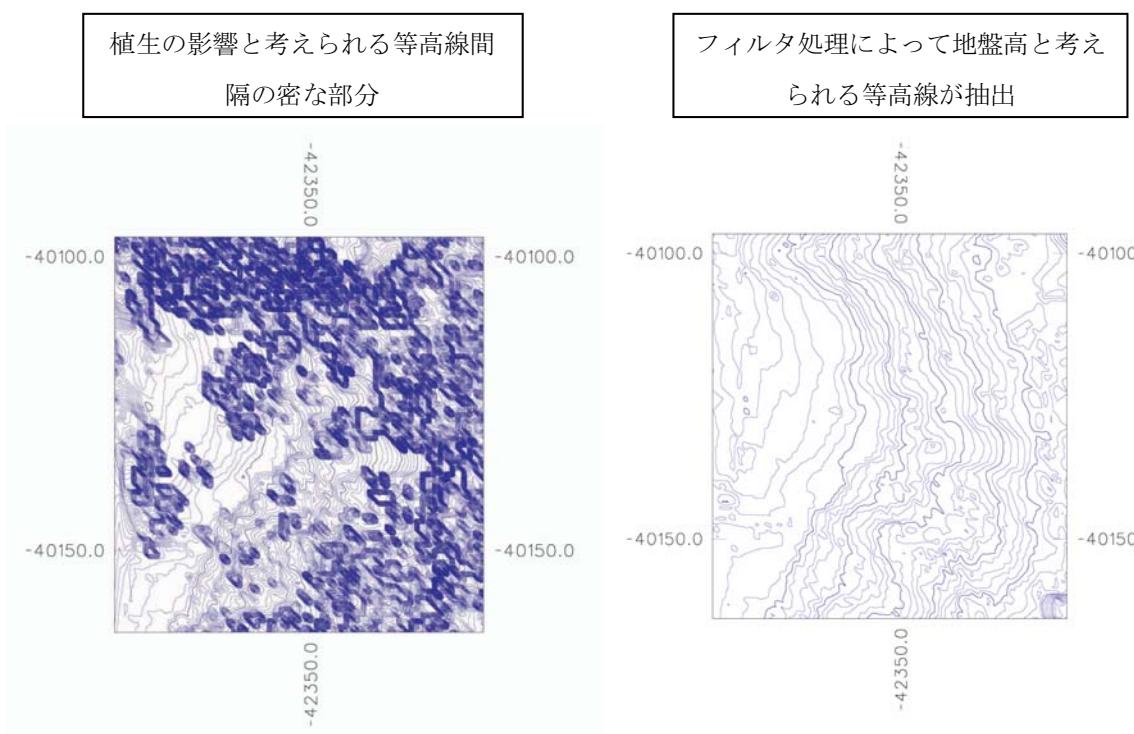


図 7 作成された等高線図拡大図（左：フィルタ処理前 右：フィルタ処理後）

立体図などがあり、その作成例は図 9 のとおりである。これらの図は、数値地形モデルから市販の土木設計 CAD や GIS を利用しての作成が可能である。

4. 2 傾斜区分図、段彩図

面的な表現方法は、傾斜区分図・段彩図（図 10）などがあり、これらも市販の土木設計 CAD や GIS により作成が可能である。

段彩図は、高さに応じて色を変化させる方法であり、標高や標高差を視覚的に判断できることから、斜面地形を表現する場合には有効である。

傾斜区分図は、区分データの細かさやメッシュサイズの違いにより、傾斜区分状況がデータのみならず視覚的にも大きく変化することがある。このため、作成にあたつ

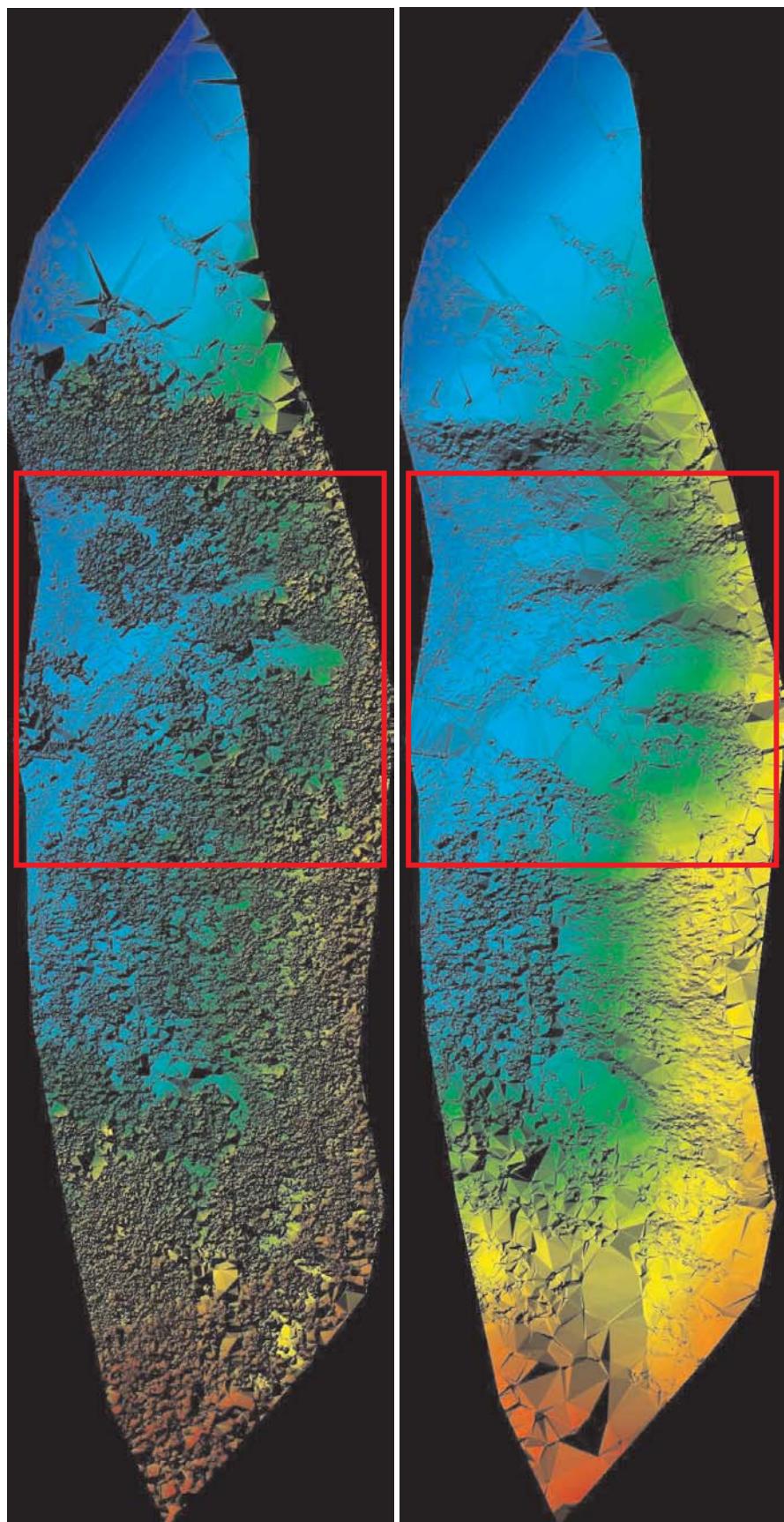
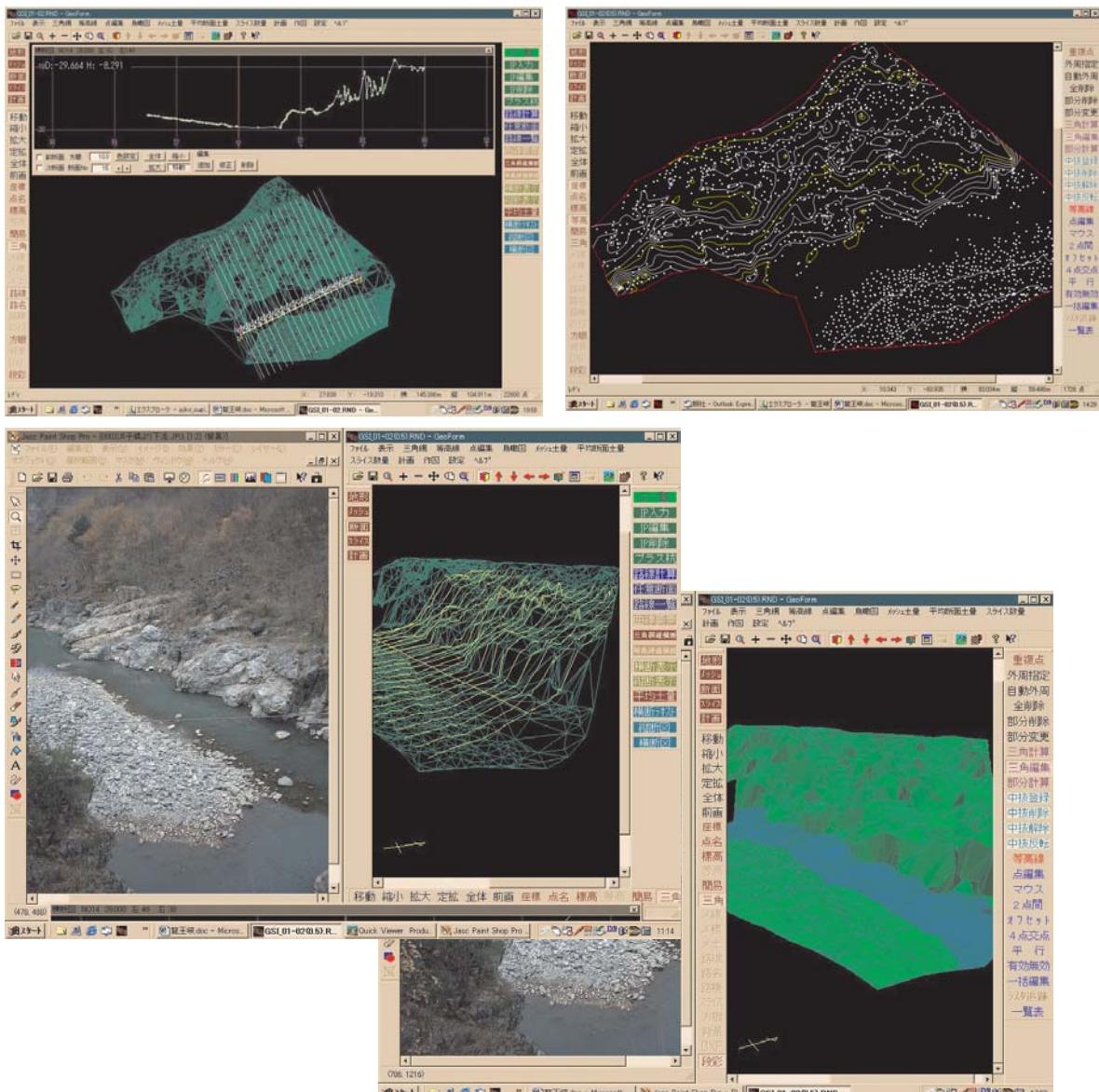


図8 陰影図（左：フィルタ処理前 右：フィルタ処理後）
(赤枠：図7における等高線図の作成範囲)



(上段左：縦横段図、上段右：等高線図、下段：立体図)

図9 縦横段図、等高線図、立体図の作成例

ては区分データの表示条件などについて留意する必要がある。

4. 3 オーバーレイ

前述の線的・面的な視覚的表現方法の特色を活かし、データをオーバーレイして表現することにより、さらに視覚的効果が増すことになる。図11のとおり等高線と段彩図をオーバーレイすることによって、斜面地形の変化や形状を容易に把握することが可能となる。

5. 斜面地形評価（精度検証と適用限界）

5. 1 計測距離の相違による影響

計測距離の変化は、照射される場所のビーム照射面積に直接影響を与える。このため、計測距離が大きく広範囲にビームが照射される場合には、計測対象物の形状によって距離の誤差が生じる。一方、計測距離が短い場合にはビームの広がりも小さく、計測対象物の形状の変化も小さい場合が多くなった。

複数の計測距離から同一箇所の実斜面を

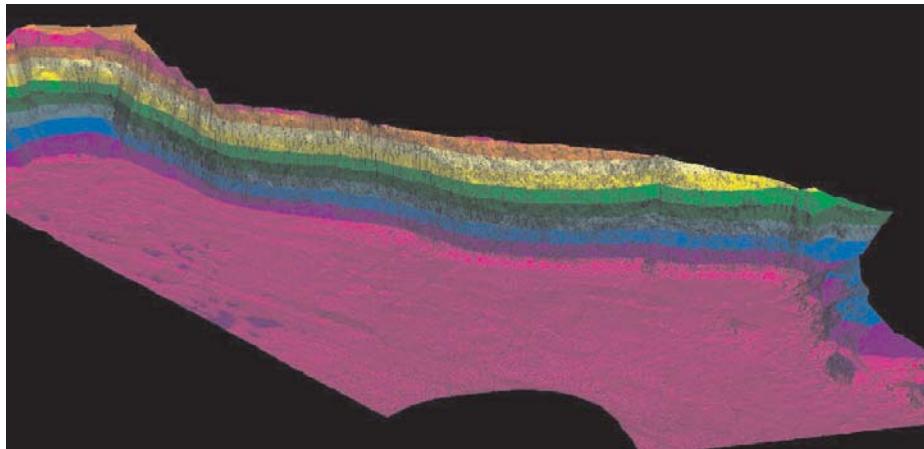


図 10 段彩図の作成例

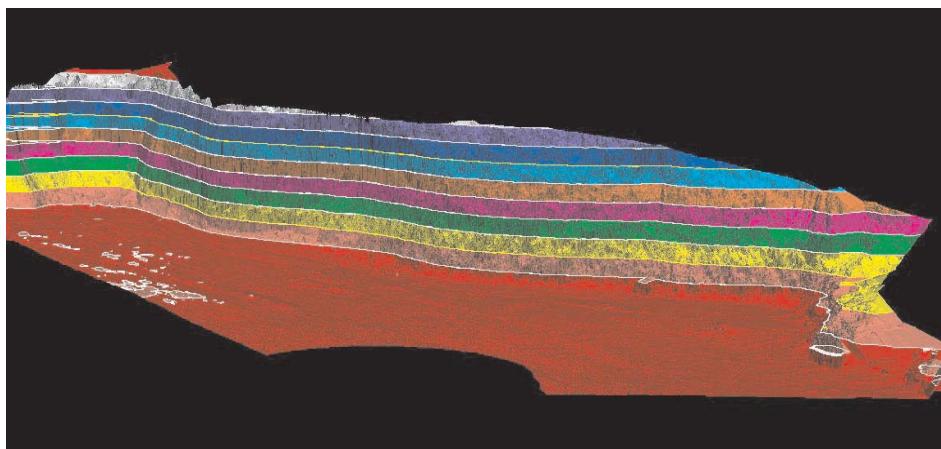


図 11 等高線と段彩図のオーバーレイの例

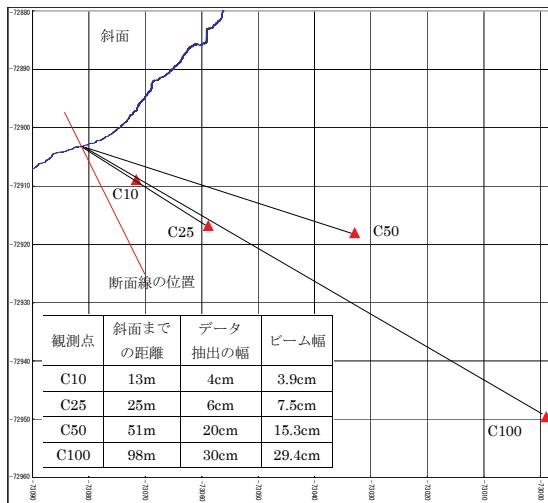
計測するため、斜面から観測点の位置関係を図 12 のように設定し、各観測点から得られた計測結果をもとに、図 13 に示す鉛直断面の重ね合わせを行った。図 13 では斜面形状に対して、どの地点からの断面もほぼ平均的な形状を取得できている。しかし、実斜面では水平方向にも凹凸があり、この影響は同一方向から測定できない観測点 C50 の計測データの標高 513.6m 付近に現れていると考える。

これらの結果から、地上型レーザによる計測では、計測距離の増加によって計測誤差が大きくなり、ビーム幅以下の細かな凹凸は取得できないが、極端な凹凸がない斜面の場合には平均的な斜面の形状を取得できることが分かった。

5. 2 計測方向の相違による影響

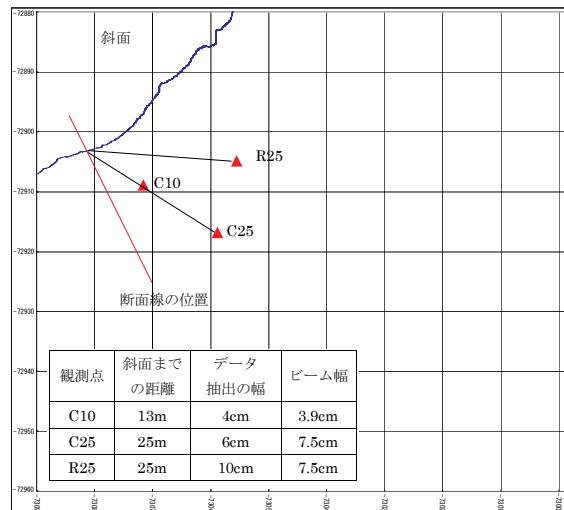
計測方向は、計測対象物に対して正面から計測することが理想であるが、現場の状況によっては斜め方向からの計測を余儀なくされる場合が多い。斜め方向からの計測を想定して、計測対象物に対して計測方向が異なる場合、計測精度にどのような影響を及ぼすかを検討した。

異なる方向から同一箇所の実斜面を計測するため、斜面から観測点の位置関係を図 14 のように設定し、各観測点から得られた計測結果をもとに、図 15 に示す鉛直断面の重ね合わせを行った。図 15 には計測方向の影響を確認するため、観測点 C10、C25、R25 からの計測データをすべて示した。影になりデータの取得が出来なかつたと推定



(図中の表は、観測及びデータ抽出の諸元)

図 12 斜面と観測点と対象断面の位置関係



(図中の表は、観測及びデータ抽出の諸元)

図 14 斜面と観測点と対象断面の位置関係

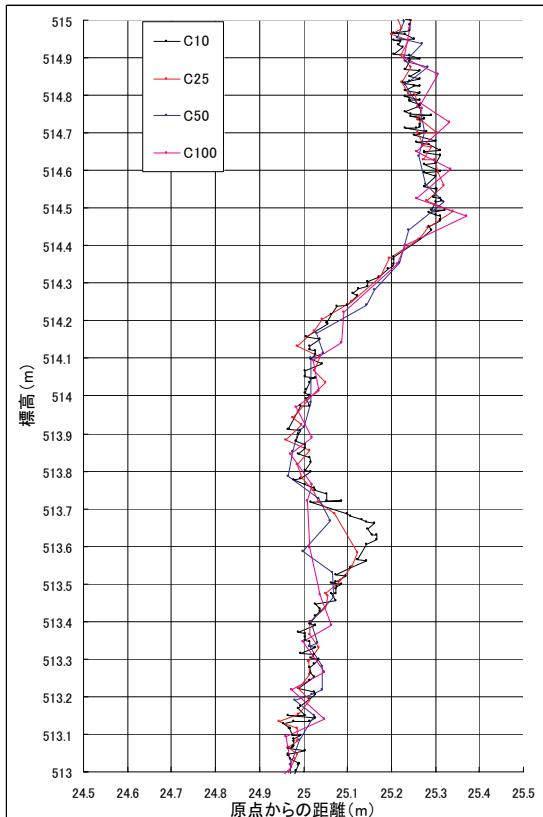


図 13 計測距離による精度評価（斜面断面）

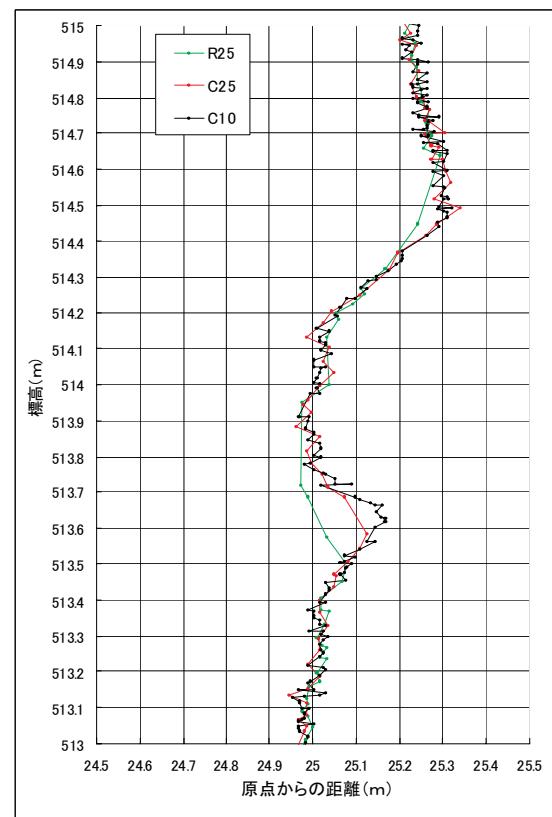


図 15 計測方向による精度評価（斜面断面）

される箇所以外では C10 による斜面の形状に対してほぼ平均的な形状を取得できる。

これらの結果から、地上型レーザによる計測では、計測対象物から反射ビームを取得することが可能である限り、どのような方向から計測しても機器の性能が保証する

精度は確保できていることが分かった。

5. 3 モニタリング計測

5. 3. 1 モニタリングの目的

斜面の地形変化をモニタリングする目的は、斜面崩壊の事前把握や地すべり発生時の災害対策などに有効な方法となり得る

からである。モニタリング計測では、災害発生前後の地形変化解析、二次災害防止のための観測、崩壊前兆現象の把握及び危険度評価などの調査への活用が期待される。

斜面災害の発生直後に必要な情報は、災害発生現況に加え、発生前の元地形情報も必要である。発生前後の等高線などの地形情報を重ねることによって、崩壊範囲や崩壊土砂量が正確に把握できるとともに崩壊土砂によって埋没した施設の位置なども推定でき、災害復旧対策の基礎資料として利活用できる。このためには、災害履歴などを参考にして、岩盤崩壊や地すべりが発生する恐れのある斜面においては、事前に地形計測を行うことが必要となる。

災害現場で時々刻々と変化する状況をリアルタイムで観測（モニタリング）することは、不安定化した土砂の抽出、二次的な崩壊の拡大、落石の発生及び湧水の変化などを把握でき、二次災害の防止対策からも有効である。また、斜面のはらみだしや小規模崩落などの変化状況・前兆現象を把握することにより危険度評価を行うための情報となり得る。

5. 3. 2 モニタリング計測方法

モニタリング計測を実施することを想定し、調査目的や必要な測定精度に応じて、以下の3項目について検討した。また、基本的に斜面のモニタリングは、同一斜面における2時期の地表面形状データを重ね合わせ、両者の差分を求めて変化部を抽出する方法である。

(1) 測定時間の間隔及び地上型レーザの設置方式

崩壊や地すべりなどの発生の前兆現象がある緊急時のモニタリング計測は、数時間～数分間（必要に応じて連続）に観測間隔を短く設定する必要がある。この場合は、一定の観測点に固定する常設方式となる。

一方、定期的な斜面安定診断などでは、計測ごとに地上型レーザの搬入・撤去を繰

り返す搬入出方式となる。この方式では、複数時期の観測データを器械座標系から統一座標系に変換して重ね合わせる必要がある。

(2) 斜面内における標定点の配置

地上型レーザの測定誤差に比べて座標変換時に発生する誤差の方が大きいため、標定点の配置は精度確保に非常に重要な事項である。配置する標定点数が多いほど高精度が保たれるが、作業効率や緊急性、作業員の安全確保との兼ね合いから適当な点数を配置する。

設置位置は、観測が必要な斜面範囲をとりまくように複数点配置するのが望ましい。配置に偏りがあると、標定点から遠い区域の誤差が大きくなることがある。対象斜面へ近づくことが危険である場合などは、斜面とは異なる方角へ設置しても計測は可能である。

(3) 地上型レーザの設置位置

モニタリング計測において、詳細な地形変化を把握できる高精度のデータ計測のためには、以下のような好条件の場所に設置することが望ましい。

- ・対象斜面の全容が計測できる位置
 - ・樹木や地形の凹凸による死角ができない位置
 - ・対象斜面にはできるだけ正対した位置
- なお、地上型レーザの性能上、設置位置を移動しても測定精度への影響は小さく、必ずしも定点観測とする必要はない。

5. 3. 3 モニタリング解析方法

モニタリング計測結果を用いて変化量を把握する解析には、取得データの種類及び調査目的に応じて以下の「直接比較法（機器常設方式により得られたデータを直接比較する方法）」と「座標変換法（座標変換を行ったデータを重ね合わせる方法）」がある。

(1) 直接比較法

直接比較法は、地上型レーザを常設し、機器条件（測定密度、スキャン範囲など）を一定にして計測したデータを、合成、座

標変換などの加工を行わずに、計測一次データを直接比較することによって変化量を把握するものである。

この方法は、座標変換といった誤差を拡大させる処理を伴わないため、測定精度が器械自身の距離測定誤差（実験機は±25mm）以内に保たれるという大きな利点がある。

（2）座標変換法

座標変換法は、2 時期の計測データについて標定点を利用して同一の座標系に座標変換し、重ね合わせることで差分を分析するものである。重ね合わせたデータは、断面比較、地表面モデル比較などによって定量的・定性的に変化が把握できる。

同一座標系に置換されたデータは、点群データの状態であることから等高線データ、地表面モデルデータ（TIN など）に加工して、以下の比較方法で定量的な変化解析や視覚的な変化図作成を行うことができる。

- ・平面図の重ね合わせ
- ・等高線の重ね合わせ
- ・断面図の重ね合わせ

- ・断面による差分量解析
- ・地表面モデルによる変化部表示
- ・地表面モデルによる変化量解析

なお、実際の採石場において、図 16 に示す斜面と観測地点の位置関係で掘削（採石）前後の 2 時期において計測を行った。各計測データについては、標定点を利用して同一の座標系に変換し、重ね合わせることで差分を算出した。

この差分結果に基づき、座標変換後に同一の解析システムに取り込み、点群データを平面図での重ね合わせた表示例（図 17）、地表面モデル（TIN）化した上で等高線を発生させて重ね合わせた表示例（図 18）及び断面図を重ね合わせた表示例（図 19）を作成した。

これらの表示例では、掘削された地形形状が明瞭に判別でき、視覚的に 2 時期の変化が把握できるとともに、変化距離、変化量についても判読が可能である。モニタリングの目的に応じて、各々表示例を出力して利活用ができる。

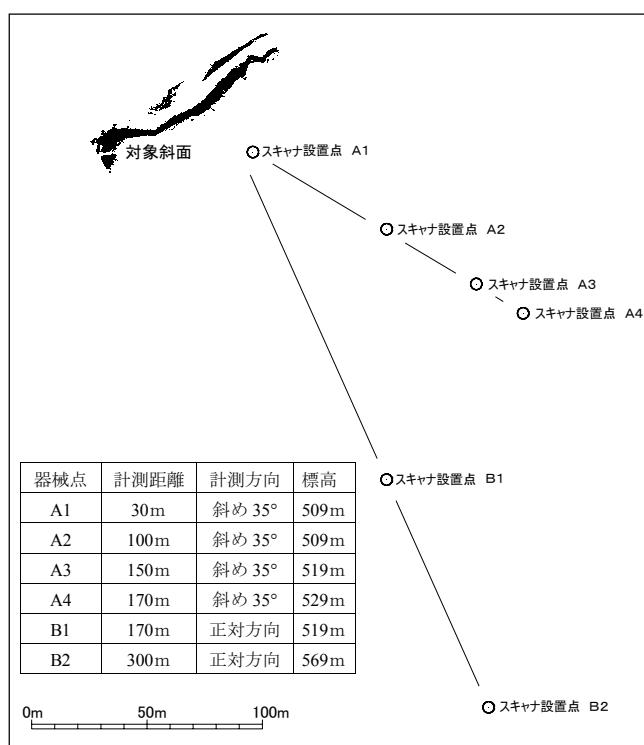


図 16 斜面と観測地点の位置関係（図中の表は、器械設置点の諸元）

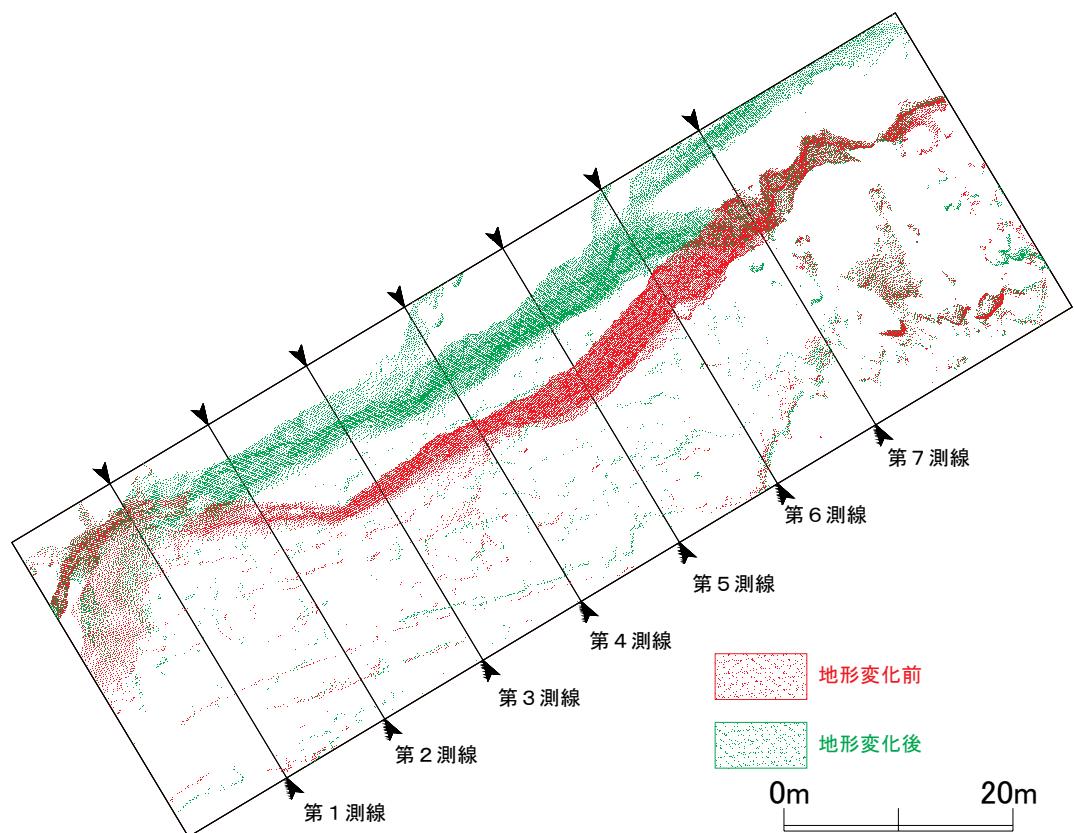


図 17 点群データの重ね合わせ

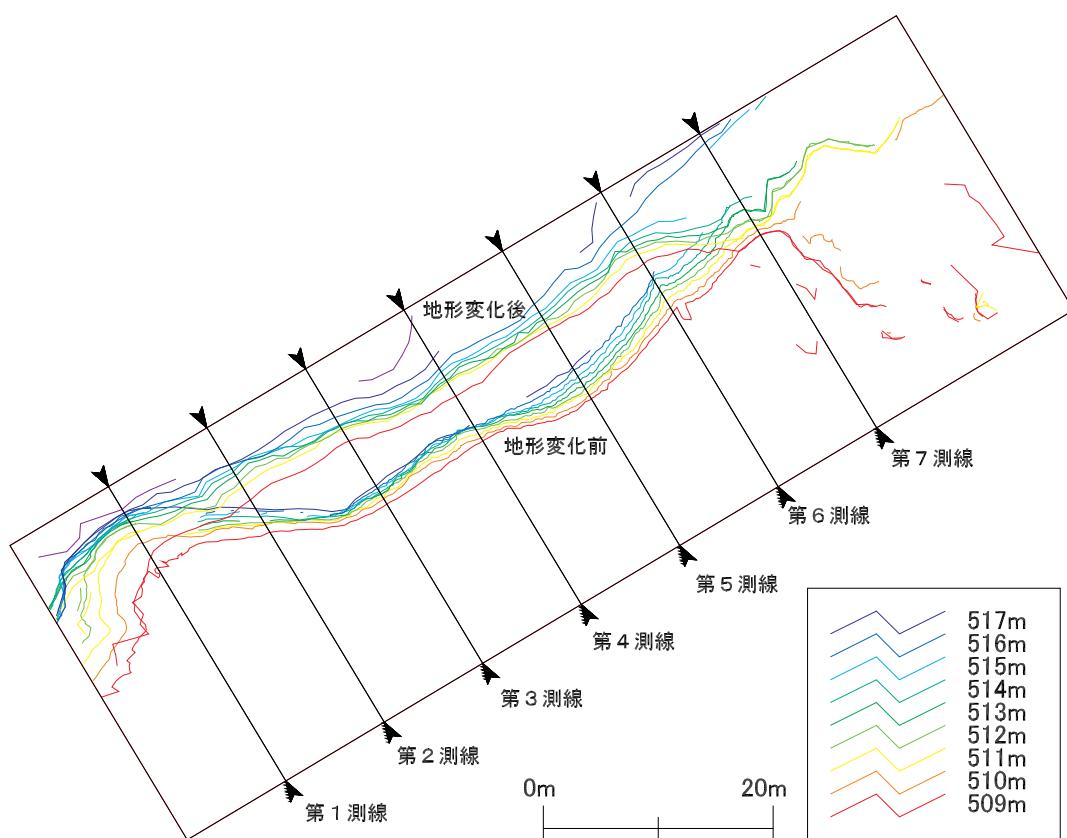


図 18 等高線の重ね合わせ

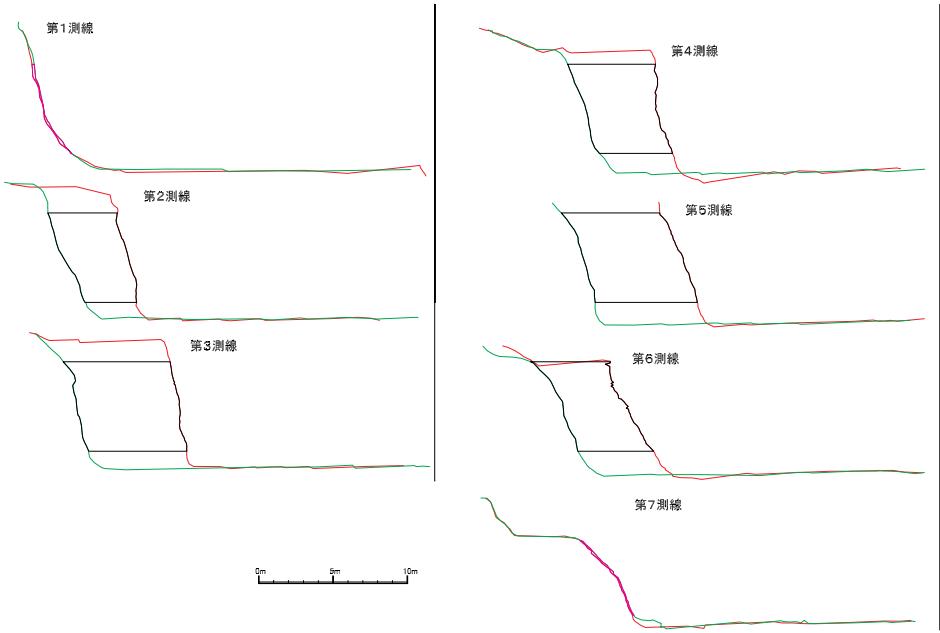


図 19 断面図の重ね合わせ

5. 3. 4 モニタリング計測の精度

2 時期の計測結果を比較して変化量を算出する際には、計測精度を考慮する必要がある。このため、前項で取得したデータを使用して、図 19 の変化のない場所（第 1、7 測線）と変化がある場所（第 2～6 測線）において、2 時期の比較による測定精度検証を行った。なお、B 1 地点が 2 回目計測時に位置がわからなくなっていたため、近傍に B 1' 点を設けた。

変化のない場所（第 1、7 測線）は、各測線の断面データを抽出し 2 時期の面積差分と奥行方向の平均差分を求めた結果、平均誤差は 69～88mm、最大～最小誤差は 143mm～36mm であった（表 2）。

変化がある場所（第 2～6 測線）は、対象斜面に最も近い A 1 地点の断面変化量を基準として、それぞれの計測点組み合わせでの断面変化量との差分を誤差値として評価すると、変化のある断面でも変化のない断面（第 1、7 測線）と同程度の誤差であった（表 3）。

精度検証の結果、断面比較によるモニタリング計測は 15cm 程度以上の変化は捉え

表 2 無変化地点での測定誤差

1回目_2回目	第1測線		第7測線	
	断面積 (m ²)	奥行方向 平均差分 (mm)	断面積 (m ²)	奥行方向 平均差分 (mm)
A1_A1	0.359	71.8	0.264	52.8
A2_A2	0.206	41.1	0.178	35.5
A3_A3	0.436	87.1	0.498	99.7
A4_A4	0.356	71.2	0.369	73.8
B1_B1'	0.305	61.0	0.357	71.3
B2_B2	0.517	103.4	0.560	111.9
A4_B1'	0.209	41.8	0.586	117.2
B1_A4	0.369	73.7	0.716	143.3
平均	0.345	68.9	0.441	88.2
標準偏差	0.106	21.1	0.180	36.0
最大	0.517	103.4	0.716	143.3
最小	0.206	41.1	0.178	35.5

表 3 変化地点での測定誤差

【断面積】						単位m ²
1回目	2回目	第2測線	第3測線	第4測線	第5測線	第6測線
A1_A1	25.581	41.403	31.104	40.298	27.204	
A2_A2	25.894	41.300	30.850	40.432	27.570	
A3_A3	25.246	40.819	30.763	39.923	26.806	
A4_A4	25.892	41.058	30.847	40.402	27.476	
B1_B1'	25.163	41.468	31.226	40.736	27.930	
B2_B2	25.634	40.983	31.253	39.981	26.844	
A4_B1'	26.217	41.376	31.283	40.857	27.718	
B1_A4	25.541	41.150	31.021	40.281	27.688	
平均	25.646	41.195	31.043	40.364	27.405	
標準偏差	0.350	0.229	0.205	0.325	0.414	
最大	26.217	41.468	31.283	40.857	27.930	
最小	25.163	40.819	30.763	39.923	26.806	

【A1-A1値からの差(絶対値)】						単位m ²
	第2測線	第3測線	第4測線	第5測線	第6測線	
A2_A2	0.313	0.103	0.254	0.134	0.366	
A3_A3	0.335	0.584	0.341	0.375	0.398	
A4_A4	0.311	0.345	0.257	0.104	0.273	
B1_B1	0.418	0.065	0.122	0.438	0.726	
B2_B2	0.053	0.420	0.149	0.317	0.360	
A4_B1	0.636	0.027	0.179	0.559	0.514	
B1_A4	0.040	0.253	0.083	0.017	0.485	

ることが可能である。この程度の精度が確保されれば、崩壊などの前兆である岩盤ブロックの抜け落ちなどの詳細な地形変化が把握できることになる。

6. 斜面災害への応用

地上型レーザを用いて各種の計測・解析や精度検証などの検討結果に基づき、地上型レーザを「斜面管理」、「対策工」、「緊急災害」などへ応用した場合の利点について、利用指針、データ取得及びデータ利用の視点から、以下のとおりとりまとめた。

6. 1 斜面管理への応用

(1) 利用指針

- ・従来の計測手法と比較して短時間かつ低成本でデータ取得ができる
- ・対象斜面の面的な管理や評価が可能となる

(2) データ取得

- ・測距範囲に制限はあるが、受信状況に左右されない
- ・機器設置からデータ取得まで短時間で計測ができる
- ・計測結果の基本処理が短時間で行えるため、データ取得後、現地でのデータ確認ができる
- ・斜面管理の対象地域に対して、高密度の点群データを低成本で作成できる

(3) データ利用

- ・得られた点群データから、トータルステーションや GPS と比較して高密度な測位点の平面分布図や変位ベクトル図を作成できる
- ・断面図、等高線図、主題図、段彩図などの出力図を得られるため、従来の計測手法と比較して短時間でより多くの情報を取得できる
- ・多時期での計測が可能であるため、各種出力図の重ね合わせが容易に行える
- ・出力図の重ね合わせにより、変化量の定量的な分析や視覚的な表現ができる

6. 2 対策工への応用

(1) 利用指針

- ・従来の計測手法と比較して、急勾配な斜面でも現地作業を行わずにデータ取得ができる
- ・斜面の変化距離や変化量の解析結果を蓄積することによって、対策工の妥当性評価や効果判定が期待できる

(2) データ取得

- ・現地計測作業において、時間と人員の効率化を図ることができる
- ・直接対象範囲を一定精度かつ低コストで計測できる
- ・取得データ（点座標値）の精度は、土木設計・工事に対して充分に高く、かつ面的データであるため、微妙な凹凸にも配慮した設計が可能となる
- ・植生が密のため写真測量での計測が困難な箇所でも複数地点からの計測やフィルタ処理によって植生の影響を軽減できる

(3) データ利用

- ・得られた点群データを TIN や等高線データに加工することによって、断面による差分量解析や地表面モデルによる変化量解析ができる
- ・平面図、等高線図、断面図の重ね合わせや地表面モデルによる変化部表示をすることによって、視覚的に変化距離や変化量を判読可能である
- ・平面図、等高線図、断面図などを蓄積することによって、対策工の妥当性評価や効果判定をするための有用な情報を得ることができる
- ・鳥瞰図は、計画機関などが現地状況や施工概況の概要を把握や理解を得るために利活用ができる

6. 3 緊急災害への応用

(1) 利用指針

- ・現地計測での制約条件が従来計測手法と比較して少ないことから、緊急時の災害対策に期待できる

- ・緊急性の求められる断面図や変動測定値などの作成が早急にできる

(2) データ取得

- ・通常の天候であれば、夜間を含めて計測が可能であり、緊急時に適応する
- ・自動計測が可能であることから、緊急時に適応する
- ・モニタリングの観測間隔を短く設定できるため、リアルタイム観測が実現できる
- ・斜面が見通せる場所に計測点を設けるだけでよいため、設置箇所選定に高度な技術的判断は必要ない
- ・斜面に近づく必要がないため、作業員の安全が確保される
- ・計測範囲を広範囲に設定しておけば、予測不可能な箇所での変動にも対応できる

(3) データ利用

- ・現地での計測データ確認や、簡単な処理で地形図などへの変換が可能であるため、災害現場で計測データの直接利用が可能となる
- ・災害対策に緊急性を求める、断面図や変動測定値を短時間で作成できる
- ・平面図のように緊急性が求められ、その要求に対応することができない成果もあるが、TINなどの代用により自動処理も可能である
- ・現地における通信設備が整備されることにより、データを容易に転送することができるため、短時間で対策本部などの意思決定にかかるような情報を引き出すことが期待できる

7. まとめと今後の課題

地上型レーザにより得られた計測データからは、計測距離が300mでも1m間隔での地形表現が可能であり、航空測量に比べ詳細な等高線図が作成できることが分かった。また、モニタリング計測の精度検証を行い、20~30cm程度以上の変化を捉えることは可能であることも明らかになった。

さらに、収集データのリアルタイム処理の検討を行った結果、衛星通信、光通信などの高速通信設備が整備されることにより、無人での継続監視も可能である。

地上型レーザによる斜面地形計測・解析技術は、「高密度の地形面の点群データを低成本・短時間で作成できる」、「現地での計測データ確認や簡単な処理で地形図などへの変換が容易にできる」、「通常の天候であれば夜間を含め計測が可能である」などの特長があることから、斜面防災調査や災害発生直後の初動段階での災害状況の把握や、二次災害の可能性の有無など、緊急災害対策に役立つものと期待される。本研究で得られた結果は、災害の発生予測や常時有効な情報を取得し監視するためのモニタリングを行う上で、有用な情報となる。

今後は、数cmの変化量を捉える高精度の等高線図の解析、さらに衛星通信などによりリアルタイムでのモニタリングの開発を行うことにより、図20に示すような緊急災害対策への応用が可能となる。

8. おわりに

本研究は国土交通省総合プロジェクトの「先端技術を活用した国土管理技術の開発(平成11~14年度)」の一課題として、国土地理院地理調査部地理第一課(平成11~13年度)、防災地理課(平成14年度)が計画・指導し、その委託を受けて(財)日本測量調査技術協会第8技術部門(防災・環境・リモートセンシング)の作業部会メンバーが主な作業を行ったものである。

現地計測・解析作業においては、リーグルジャパン株式会社、株式会社アイ・エス・ピーの協力を得た。現地での計測作業は、栃木県龍王峡上流の岩盤斜面と河床、神奈川県山北町の採石場及び東京都八王子長沼公園内の斜面において実施した。

本報告は、最終成果のひとつである地上型レーザによる斜面地形計測・解析技術の「調査マニュアル」の概要を紹介したもの

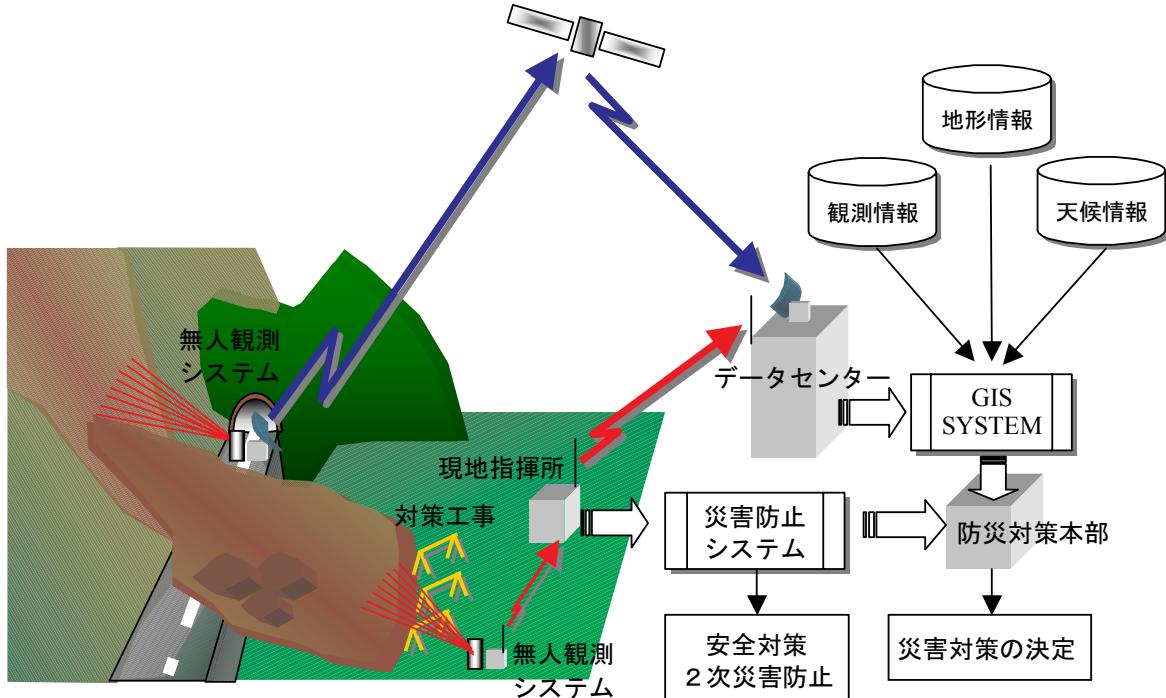


図20 地上型レーザを利用したリアルタイム災害情報の取得イメージ

である。斜面地形計測・解析技術に関して、多くの利用事例を引用し、基礎知識や評価のノウハウなどをとりまとめたものである。これまで地上型レーザの計測・解析に関わったことがない防災・測量技術者にも分かりやすい内容に努めたので、地上型レーザを用いた業務を行う場合に、利用して頂ければ幸いである。

なお、調査マニュアルの作成にあたっての基礎データ取得・解析などは、平成11～14年度の4ヵ年わたって多くの国土地理院地理調査部及び（財）日本測量調査技術協会第8技術部門の関係者が携わっている。

以下には、平成14年度の担当者のみ記す。

(*国土地理院地理調査部防災地理課)
 (**第8技術部門長 アジア航測株式会社)
 (***)第8技術部門作業部会メンバー
 清宮 大輔（アジア航測株式会社）
 久保 孝嘉（株式会社パスコ）
 児玉 信之（復建調査設計株式会社）

齊藤 和也（アジア航測株式会社）
 境野 庄司（朝日航洋株式会社）
 渋谷 研一（朝日航洋株式会社）
 清水 真人（国際航業株式会社）
 下村 博之（株式会社パスコ）
 鈴木 浩二（中日本航空株式会社）
 鷲見 昌泰（中日本航空株式会社）
 中島 保（朝日航洋株式会社）
 虫明 成生（国際航業株式会社）
 山下 美和（国際航業株式会社）

参考文献

- 建設省土木研究所（1996）熱赤外線映像法による吹付けのり面老朽化診断マニュアル、（財）土木研究センター。
- 国土地理院（2000）：地上型スキャン式レーザ測距儀による斜面地形計測・解析技術に関する研究作業報告書、（財）日本測量調査技術協会。
- 国土地理院（2001）：地上型スキャン式レーザ測距儀による斜面地形計測・解析

- 技術に関する研究作業報告書. (財) 日本測量調査技術協会.
- 4) 国土地理院 (2002) : 地上型スキャン式レーザ測距儀による斜面地形計測・解析技術に関する研究作業報告書. (財) 日本測量調査技術協会.
 - 5) 国土地理院 (2003) : 地上型スキャン式レーザ測距儀による斜面地形計測・解析技術に関する研究作業報告書. (財) 日本測量調査技術協会.
 - 6) 佐藤宗一郎・長谷川学・水越博子・長谷川裕之 (2003) : スキャン式レーザ測距儀による斜面地形計測・解析技術の開発. 国土地理院技術資料, A·4-No.1, p79-82.
 - 7) 山後公二 (2002) : 地上型スキャン式レーザ測距儀による斜面地形計測・解析技術の開発に関する研究作業について. 国土地理院時報, No.97, p75-82.
 - 8) 瀬戸島政博・浅井健一・(財) 日本測量調査技術協会 (2000) : 地上型スキャン式レーザ測距儀を用いた斜面計測のための基礎的検討. APA, No.77-8, p56-65.
 - 9) 動体計測研究会 (1997) : イメージセンシングデジタル画像-計測技術と応用-, (社) 日本測量協会.
 - 10) (財) 道路保全技術センター (1996) : 平成8年度道路防災総点検要領.
 - 11) (財) 日本測量調査技術協会 (1995) : 測量技術の進展-15周年記念事業図書-.
 - 12) (社) 日本道路協会 (1983) : 落石対策便覧.