

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

Study on Development of Morphometrical Measurement and Analysis of Slope Form using Ground-based Laser Scanning Measurement System

地理調査部 山後公二
Geographic Department Koji SANGO

要 旨

近年、地上型スキャン式レーザ測距儀（以下、「地上型レーザスキャナ」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。本調査は、地上型スキャン式レーザ計測技術の測定対象の違いや計測条件違いによる影響、他の計測機器との比較等の計測技術の検証を行うとともに、栃木県竜王峡上流の岩盤面と河床礫及び神奈川県山北町における採石場を対象に現地計測を行い、その結果を比較することにより、地上型レーザスキャナの現場への適用性を検討した。

1. はじめに

本研究は、大規模斜面崩壊（岩盤崩壊、地すべりなど）による災害に対し、発生地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技術として、先導研究「大規模斜面崩壊による災害の防止対策技術等の開発」（平成9～10年度）に引き続き、建設省総合技術開発プロジェクト（総プロ）「先端技術を活用した国土管理技術の開発」の一環として実施するものである。この課題は、効果的な国土管理を行うことを目的とし、GIS等を利用した情報基盤の下、リモートセンシング技術・統合情報システムなどの情報通信・宇宙技術などの先端技術を活用した国土管理システムの構築・利用技術の開発・研究を行うもので、国土技術政策総合研究所、土木研究所、建築研究所及び国土地理院が分担して実施している。

2. 研究概要

「先端技術を活用した国土管理技術の開発」は、国土管理のための情報利活用に関する研究と、国土管理の情報システム構築に関する2つに大別される。前者は、国土管理に必用な国土情報を迅速に収集し、それらを一元的に管理して事業計画・防災計画・危機管理対策等に活用していくためのケーススタディを実施するものであり、後者は、国土管理に必用な情報収集を行うためのセンサーや、総合的な情報管理を行うための情報システムに関する研究開発を実施するものである。

本研究は、国土管理のための情報利活用に関する研究の一つのテーマとして、地上型レーザスキャナを用いた斜面の地形変化状況の面的計測技術及び面的連続監視技

術の実用化を目指すものである。計測方法としては、地上点に設置して計測する方法とヘリコプターや飛行機等に搭載して空中から計測する方法と2つの方法がある。ここでは地上からの計測に関して報告を行う。

3. 地上型レーザスキャナの計測技術の検証

①対象物の色調差による影響、②対象物表面の湿潤差による影響、③他の計測機器との計測技術の比較について検討を行った。

3. 1 対象物の色調差による影響

色調差による計測結果の影響を検証することを目的として、ベニアに数種類のカラー画用紙を貼り（写真-1）、約23mの距離から計測を行った。カラーシート上には、図-1に示すとおり、2つの測線を設け、その測線上の信号受信強度、計測距離の比較を行った。

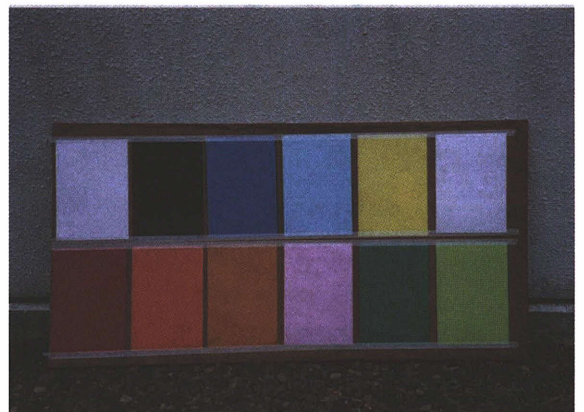


写真-1 計測対象としたカラーシート

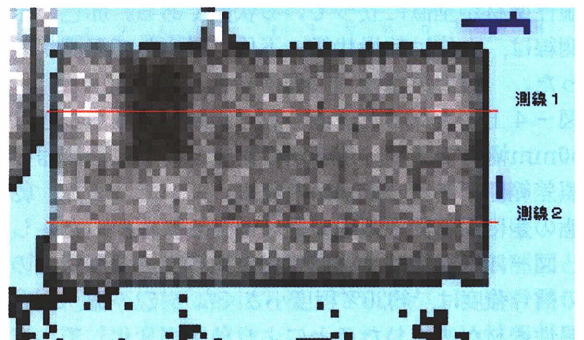


図-1 信号受信強度画像及び解析用測線

図-2の上図は横軸にカラーシートの横方向の座標値、縦軸に画面の奥行き方向の距離を表す。距離値のばらつきは、色調差に関係なく、概ね50mm以内に収まっており、計測機器のカタログ仕様である測定誤差±25mmの範囲の中にほぼ収まっている。

図-2の下図は横軸にカラーシートの横方向の座標値、縦軸に信号受光強度を表す。黒色以外の部分は、どの色においても信号受光強度に大きな差異は認められなかった。

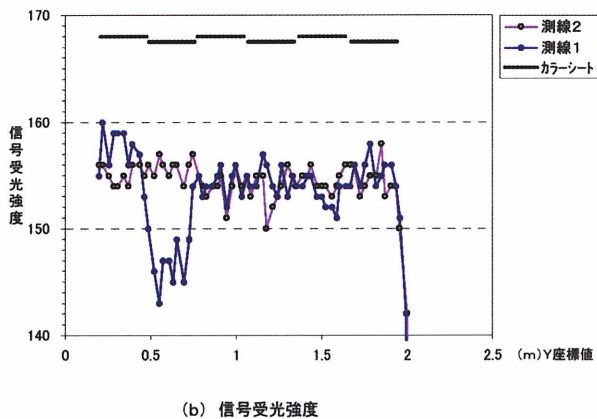
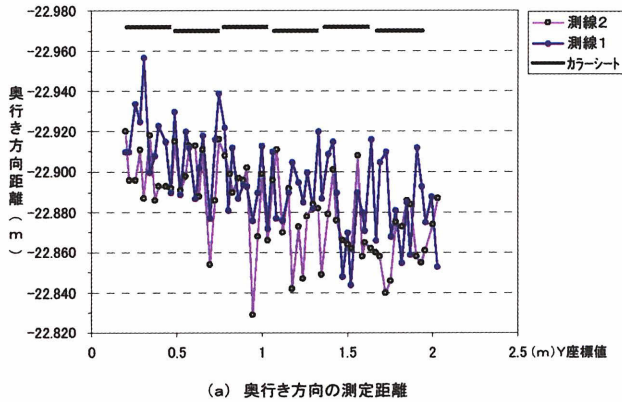


図-2 色調差による計測データ検討結果

3. 2 対象物表面の湿潤差による影響

乾湿差による計測結果の影響を検討するために、国土地理院地理調査実験棟の北東側壁面に散水し、湿潤状態を変化させながら計測を実施した(図-3)。対象面は、吸湿性壁材が垂直に立っている状態である。赤色で示した測線は、上位は乾燥状態、下位は吸水して湿潤状態であった。

図-4上図を見ると計測された距離値のばらつきは概ね50mm幅内であり、色調差の比較と同様に計測器の測定誤差範囲である±25mm内収まっていた。また、乾湿状態の差による測定距離の違いは見られなかった。しかし、図-4下図では、乾燥状態に比べて、湿潤状態の壁面の信号強度は、約20%程度小さくなっている。これは、吸湿性壁材が吸水したことにより色調が変化してしまったことが影響したと考えられる。

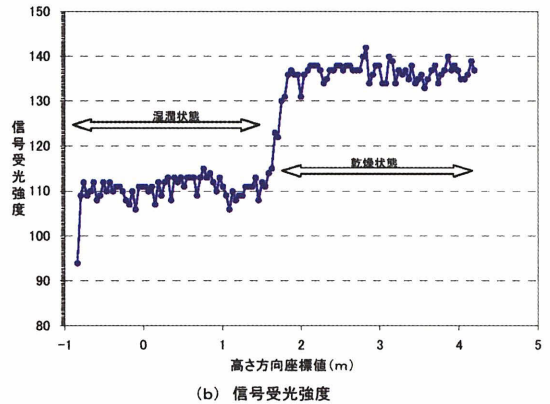
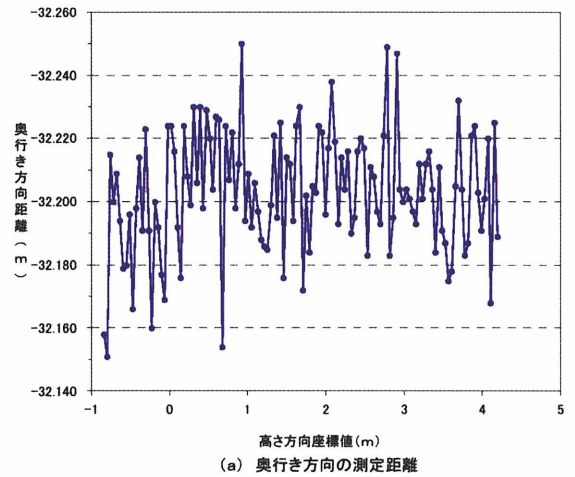


図-4 信号受信強度画像及び対象測線

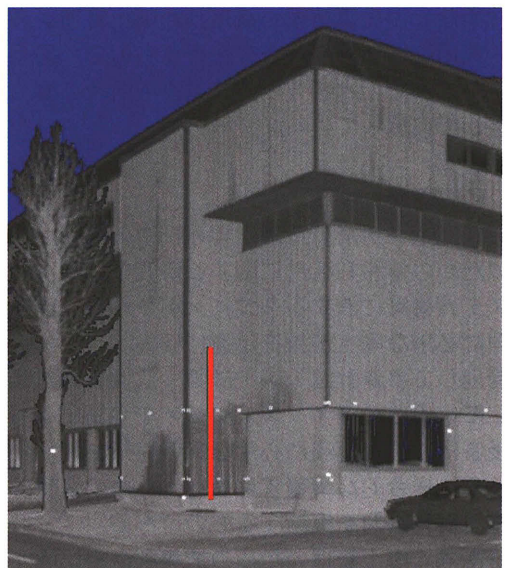


図-3 乾湿差による計測データ検討結果

3. 3 他の計測機器との計測技術の比較

トータルステーション、ノンミラー型自動トータルステーションを用いて、地上型レーザスキャナとの計測技術について比較を実施した。調査は、地理実験棟の北東側壁面上に水平に測線を設定し、それに沿って計測用ミ

ラーシールを貼った。各計測機器の比較は、設定したミラーシールにそって、表面形状を計測し、その横断面を作成した。

比較に使用した各計測機器の諸元と計測対象の状況をそれぞれ表-1、写真-2に示す。

表-1 各計測機器の諸元

計測機器	測定密度 ^{*1}		計測点数	計測時間	点密度 ^{*4} (点/m ²)
	水平間隔	垂直間隔			
地上型スキャン式 レーザ測距儀	0.072° 約3.8cm	0.072° 約3.8cm	約9万点 約6万点使用 ^{*2}	1~2分	600
ノンミラー 自動計測TS	1° 約52.4cm	0.5° 約26.2cm	約1000点	1時間20分	4
自動計測 レーザ測距儀	仰角方向間隔 ^{*3} 1° 約52.4cm	回転方向間隔 ^{*3} 0.9° 各仰角時換算値 仰角1°時 0.82cm 仰角10°時 8.23cm 仰角20°時 16.46cm 仰角30°時 24.69cm	約12000点	約20分	11

※1 30mの距離での換算値

※2 分析に使用するソフトの制約で、比較範囲を狭め検証を行った。

※3 この計測機器の測線は視準線方向を中心とした間隔1°の同心円（1測線上の測点は400点）を描くため一概に他との比較はできない。

※4 概算値

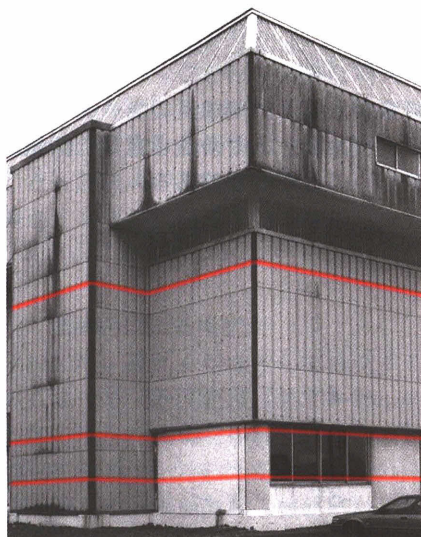


写真-2 観測対象とデータ取得測線
(一番下の赤線が測線1を表す)

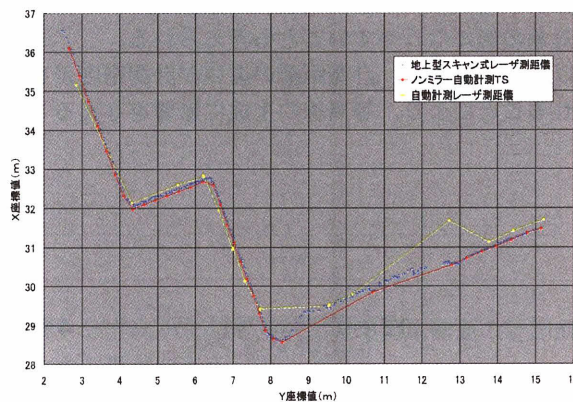


図-5 各計測器の計測結果比較

各計測機器により写真-2の測線1を計測した結果の比較を示したのが図-5である。地上型レーザスキャナとノンミラー自動計測トータルステーションの間には、若干のシフトが見られるものの、得られた実験棟の平面形状は、どの計測機器とも整合していることが確認でき

た。また、地上型レーザスキャナの方が計測密度の高い分だけ詳細な表面形状を捉えており、建物の隅部などの形状変化部や窓枠の形状も捉えているが、自動計測レーザ測距儀では、測定が均一に行われなため、表面形状が捉えられない箇所もあることが確認できた。

4. 河床礫及び岩盤面における計測技術の検証

土砂災害における岩盤崩壊等の斜面災害と土石流により発生した土石流堆積物を想定して、栃木県竜王峡上流（鬼怒川）の岩盤面と河床礫面を対象として、地上型レーザスキャナ（RIEGL社製：LMS-Z210）を使用して現地計測を行った。さらに、計測したデータより、①河床礫面における適用性、②計測距離に対する影響、③複数回計測による再現性、④器械点を変化させることによる計測結果への影響、について検討を行った。

4. 1 河床礫面における適用性

対象とする河床礫面（写真-3）について、計測結果の等高線図を作成し、形状の特性の差が現れるかどうかを検討した。その結果、図-6に見られるように測定精度の問題を考慮する必要があるが、礫の形状をある程度表現できることが確認できた。

4. 2 計測距離に対する影響

器械点からの距離により発生する等高線を比較するため、斜距離約32m、52m、68mの箇所それぞれ8m四方の特定エリア、areaA-1、areaA-2、areaA-3を設定して計測を行なった。また、同一器械点から、1回に計測したデータより、計測距離の違いに対して等高線表現がどのように変化するかを比較した（図-7）。同一の等高線間隔で作成したにもかかわらず、細部表現に明らかな違いが見られた。この理由は、計測距離が長くなることに伴い、データ間隔が広がりデータ密度が減少することが考えられる。また、計測対象の河床礫を俯瞰して計測していることから、計測距離が増加するとともに計測面に対するレーザの入射角が減少し、前面にある計測対象の影になりやすいことも考えられる。

以上のことから、計測距離の違いが計測密度差を生じさせることにより、等高線の生成に影響を与えることか



写真-3 計測地点から見た河床礫面の状況

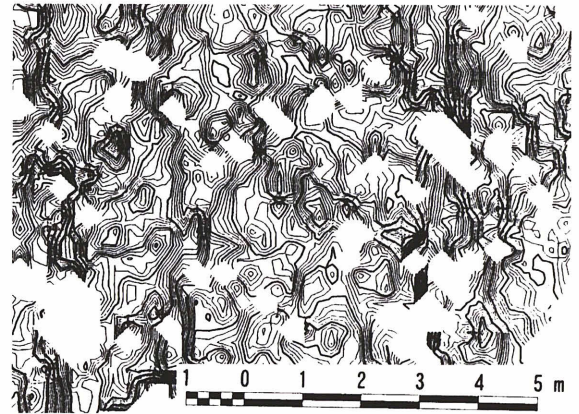


図-6 竜王峡上流の河床礫面計測結果の等高線図（等高線間隔：1cm）

ら、事前に必要とする計測成果のデータ密度をあらかじめ設定し、計測距離・入射角を考慮した器械点の設置位置の検討を行うことが必要である。

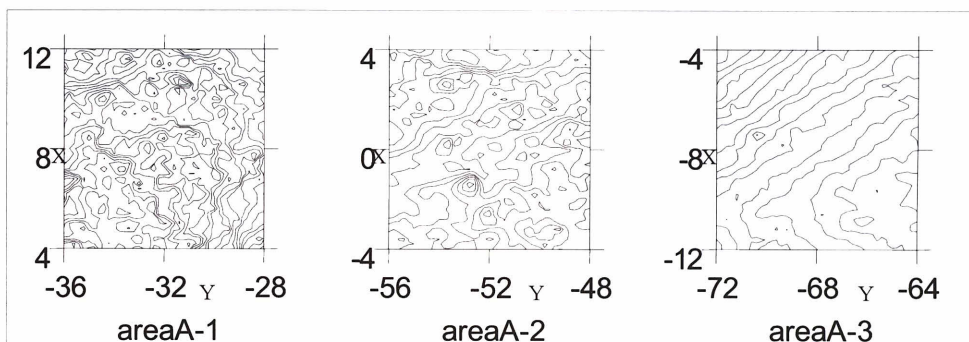


図-7 計測距離の違いによる等高線図（計測ステップ角0.08gon、等高線間隔0.1m）

4. 3 複数回計測による再現性

同一地点から岩盤面・植生被覆斜面・河床礫面を10回計測し、複数回計測による再現性を検討するため、このデータを用いて、計測データを直接比較する方法により検討を行った。10回の計測分の断面図と相互のデータ間

の標準偏差を表したのが、図-9である。植生部及び地形変化の大きい所で標準偏差が大きい部分が見られ、標準偏差で最大15m近くにまで達するものもあった。しかし、それ以外の岩盤面、及び河床礫のところでは、概ね標準偏差で10cm以内に収まっていた。

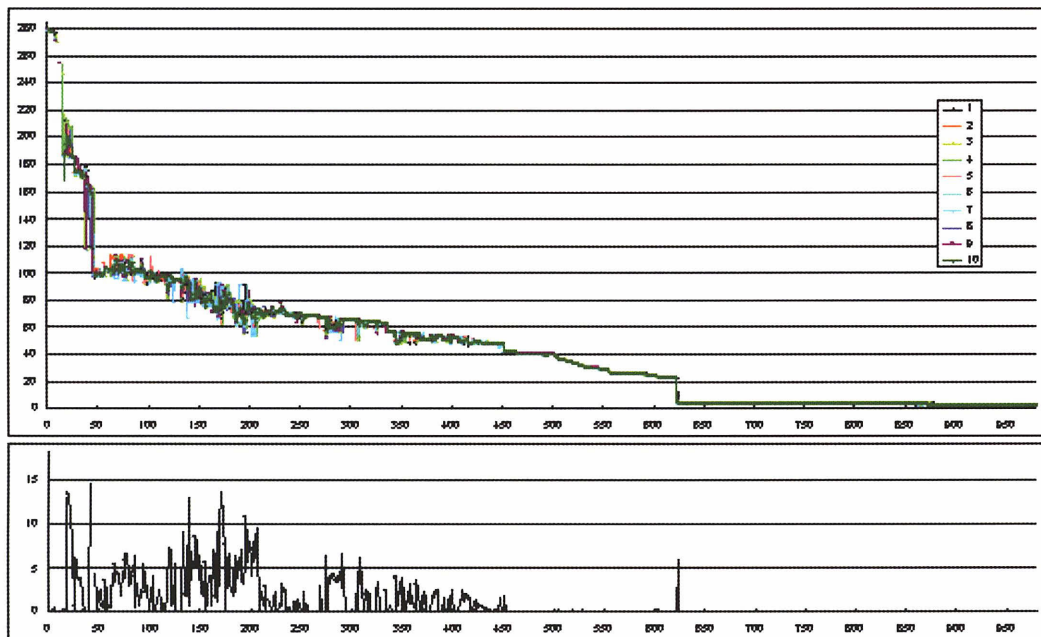


図-9 10回分の計測断面形状（上図）とその標準偏差（下図）

4. 4 器械点を変化させることによる計測結果への影響

経年的な斜面地形のモニタリングにおいて、全く同一な地点から計測していくことが不可能な場合も生じると考えられる。そのため、計測する器械点の位置を移動させて同一対象物を計測した場合の取得データの差について調査した。計測の再現性の検討においては、①断面図による検証、②等高線図による検証の2つ方法により行った。

4. 4. 1 断面図による検証

竜王峡上流の河床礫面を対象として直交する2方向から計測をおこなった（計測距離は約30～75mの範囲）。

この2方向の地形断面図を作成・比較した結果、10～30cm程度垂直方向の値がずれているものの、両者の断面形状はほぼ等しく、表面形状の概略は計測方向によらず把握することができた（図-10）。ただし、複数方向の計測の合成処理を行う際には、このズレに対する補正の方法を考慮する必要があると思われる。

4. 4. 2 等高線図による検証

異なる観測点を2点（K1地点とK2地点）から、ステップ角0.08gonで、同一対象物の計測を行い、等高線図を作成した。トータルステーションを使用した実測に

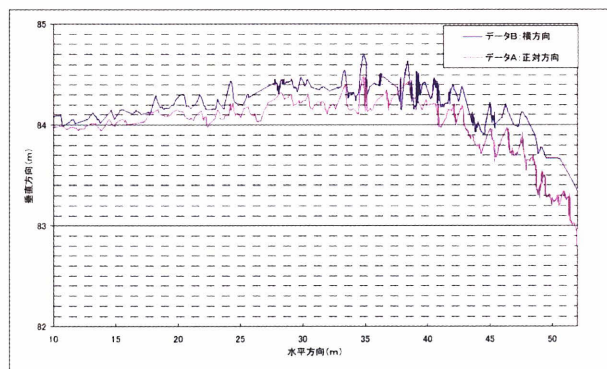


図-10 2方向からの竜王峡上流の河床礫面の計測断面形状とその標準偏差データ

よる検証座標値と地上型レーザスキャナによる計測座標値を比較した場合、地上型レーザスキャナによる計測精度は、標定による誤差および解析による位置合わせの誤差を含め標準偏差で5cm程度の誤差が見られたことから、等高線間隔を10cmとして、等高線の作成をおこなった（図-11）。等高線パターンを比較すると、場所によっては30～40cm程度の位置ズレが確認できるものの、概ね一致し、礫を表現していると思われる等高線の凹凸の形状もよく捉えられていた。

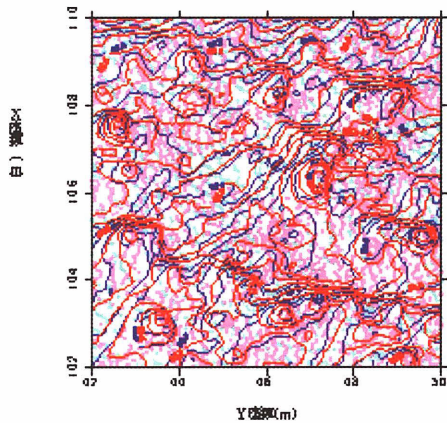


図-11 2地点(K1, K2地点)からの計測データより発生させた各々の等高線の重ね合わせ図(背景のピンクの点は、計測点の位置を表す)

5. 採石場における計測技術の検証

神奈川県山北町において、(株)二ノ倉開発の協力を得て、その採石場の斜面を対象として、現地計測を行った。さらに、計測したデータより、①防護ネットの有無による計測への影響、②植生繁茂地における障害地物の除去についての検討を行った。

5. 1 防護ネットの有無による計測への影響

岩盤面の手前に格子状の金網でできた防護ネットとそれを固定するための三脚を設置し、岩盤面から約25m離れた所から、ラストモードによる計測を行った(写真-4)。防護ネットは、岩盤面から約3m前の地点に設置した場合と約6m前の地点に設置した場合の2つの条件で計測を行った。



写真-4 岩盤面前面に防護ネットを設置した状況

各々の条件における計測点を端点とするTINを作成し、そのTINより等高線を発生させた(図-12、図-13)。緑色の線は計測点から発生させたTIN図を、黄色と白色の線が20cm間隔の等高線図を表している。

岩盤面から、3m離れた場合は、岩盤面から防護ネットの地点の間にレーザーが金網等の障害物にカットされ届かず、計測データの空白域があることがわかる。それに

伴い、岩盤面の下方の等高線が前面の計測点に引っ張られ、金網に向かって膨らんだ形で表現されている。

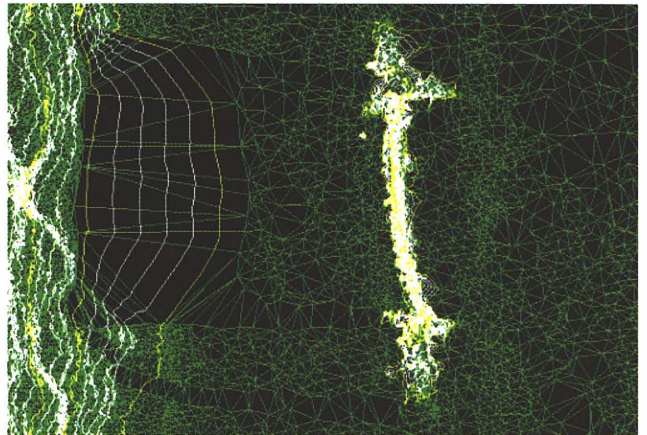


図-12 岩盤面から3m前面に防護ネットを設置して計測した場合

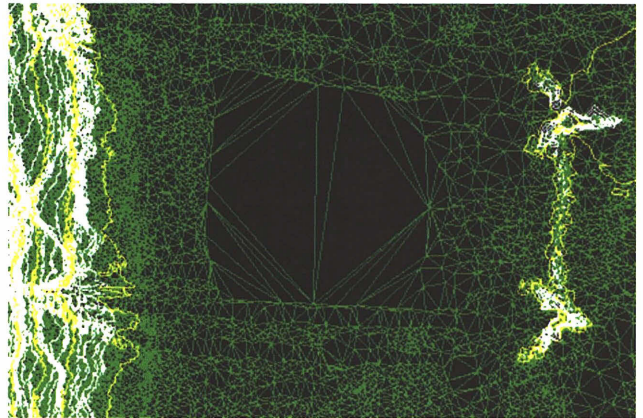


図-13 岩盤面から6m前面に防護ネットを設置して計測した場合

一方、防護ネットを岩盤面から6m離れた場合、防護ネットと岩盤面の間に計測点の空白域があるものの、レーザーが防護ネットを透過して岩盤面を計測している箇所もあり、発生させた等高線は、岩盤面と防護ネットの2つの部分に分かれて表現されている。しかし、防護ネットを設置するための三脚はレーザーを透過することができないことから、背後の岩盤面の等高線が凹状に表現されるという影響が表れている。

メーカーからの話によれば、計測点の空白域が見られる現象は、障害物の背後近傍のある範囲内の計測におけるファーストパルス、ラストパルスの区別の認識のアルゴリズムから発生するとのことである。実際の計測に際しては、このような現象を考慮して、例えば、複数方向からの計測等が有効であると思われる。

5. 2 植生繁茂地に障害地物の除去について

ここでは、地上型レーザースカナで計測したデータを

もとに、植生等の障害地物を除去するための手法について検討を行った。

調査対象を写真-5に示した。対象斜面は階段状の構造をしており、各断面上的の植生が繁茂し、視通が悪い状況である。特に斜面の下方段および上方段背後の斜面形状は把握しにくい状況である。



写真-5 植生繁茂地に関する計測対象状況

計測された点群データを一定単位のタイル状に分割し、その中で、平滑化処理を行って、植生の除去を行い「地表面」の形状の推定を行った。具体的には、最初にタイルサイズとフィルタを行う際の許容値を設定する。次に、その範囲のランダム点の平滑化を行い、その平滑化面からの距離が許容値よりも遠い点を植生と判断し、削除するというフィルタリングを行うものである。タイルサイズが大きい場合、滑らか平滑化がされる一方で、細かな地形形状が無視される恐れがある。また、タイルサイズが小さい場合、細かな形状を反映する一方で、あまり平滑化がなされない。フィルタリングを行いデータ数を削除することによって、扱うデータ数は、タイルサイズが小さくなるほど、また、許容値が大きくなるほど、多くなると考えられる。

今回は、タイルサイズを5m、10m、20mに設定し、許容値を0.1m、0.5m、1m、2mに変化させ、その範囲のランダム点の平滑化を行った。それらの条件により作成した図を目視で比較した結果、今回の場合は、タイル

サイズ10m、許容値0.5mの場合が最も地表面らしい特徴を捉えることがわかった(図-14)。ただし、この結果は、場所やその植生状況により異なることから、いくつかのタイルサイズ、許容値を設定し、最適と考えられるパラメータを求める必要があると考えられる。

6. まとめ

地上型レーザスキャナによる斜面地形計測・解析技術の検討として、レーザ測距儀を用いて実計測を行い、そのデータを解析した結果、対象地物の形状を詳細に捕らえることがわかった。しかし、計測条件の設定により、等高線の生成に影響を与えることから、計測に際しては必要とする結果を考慮し、予め計測条件を検討する必要がある。今後は、現場への実用化を目指したデータ加工・表現手法等の検討を進めていく予定である。

謝 辞

本調査を進めるにあたって、国土地理院の小白井亮一氏、市川清次氏、木佐貫順一氏、山本洋一氏には、ご助言、ご協力いただいた。また、データ取得・解析に際して(材)日本測量調査技術協会第8技術部門作業部会メンバー(朝日航洋株式会社 藤原輝芳氏、M. P. バンドラセーナカシリ氏、アジア航測株式会社 斉藤和也氏、杉浦正美氏、長谷部国彦氏、国際航業株式会社 瀬戸島政博氏、長谷川浩司氏、虫明成生氏、中日本株式会社 鈴木浩二氏、鷺見昌泰氏、株式会社パスコ 下村博之氏、久保 孝嘉氏、復建調査設計株式会社 児玉信之氏、田中博文氏)、リーグルジャパン株式会社 松田重雄氏、株式会社アイ・エス・ピー 西浦佳和氏にご協力いただいた。神奈川県山北町における採石場の計測にあたっては株式会社二ノ倉開発に協力して頂いた。以上の方々から感謝致します。

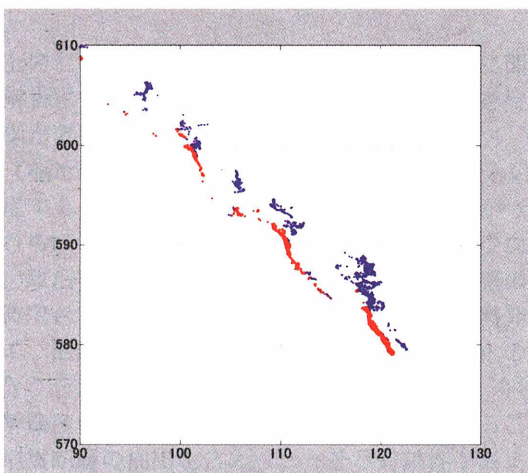


図-14 フィルタ処理結果

