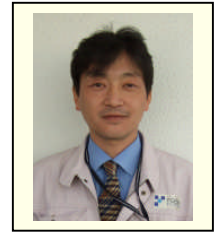


地上型レーザスキャナーによる3Dデータ計測

※岡本 良徳¹・横手 了²

^{1, 2} 復建調査設計株式会社 空間情報システム部 情報技術課
(〒732-0052 広島市東区光町2-10-11)



※発表者

近年、IT 国家の推進によりデジタル成果が浸透し、空間情報分野も3Dデータへと変化しつつある。また、建設施工も「情報化施工」の普及が進められ、労務災害防止も叫ばれるようになってきている。こうしたなか、空間情報分野において普及しつつあるレーザスキャナーによる3Dデータを、この「情報化施工及び労務災害防止」に対応するため、当社で行った地上型レーザの事例を紹介する。

キーワード 地上型レーザスキャナー

1. はじめに

近年、レーザ技術が発達し、測量分野にも使用されるようになってきた。このうち地上型レーザスキャナーは、地上に設置したレーザを使って対象物を高速でスキャンし、高精度で三次元的な計測をすることをいい、その計測機器は地上型レーザスキャナーまたはレーザプロファイラともいう。主に高斜面や構造物の詳細な三次元形状を測量するために用いられる。計測現場に近づけない所や危険な場所、触れる事のできないもの等の計測にも適している。

その原理は、装置から1秒間に数千発のレーザがパルスとなって周辺に照射され、そのパルスが地物に反射して装置まで戻ってくる時間を計測し、時間から距離を把握するものである。そして、各パルスがどの方向に照射されたのかを把握することで、レーザの反射パルスが有効な範囲（当社所有の機器では約100m）において、詳細な三次元形状が再現できる。なお計測は、一般的に利用されているトータルステーションの機器を取り替えるだけで大量な地形データを取得できるものである。

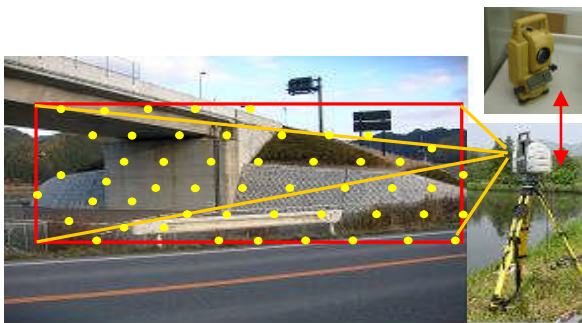


図-1 地上レーザによる計測のイメージ

作業方法は至って簡単であり、基準点の真上に設置する方法、後方交会法により自身の位置を特定し計測する方法である。他の計測方法として航空レーザがあり、セスナや小型ヘリコプターに、レーザスキャナーとGPS測量機及びIMU装置（航空機の姿勢と加速度を求めるための慣性計測装置）とカメラを搭載したものである。とくに、大規模な調査の時は、セスナを使用し、中規模で高精度を必要とする時は、地上でも使用できるレーザスキャナーを搭載した小型ヘリコプターが使用される。その他に、自動車にレーザスキャナーとGPS測量機及びIMU装置を搭載したものがある。

本論文は、今まで行ってきた地上型レーザスキャナーの活用事例を紹介する。

2. 計測の仕組み

機器の計測方法には、タイムオブフライト方式と位相差方式の2種類がある。

タイムオブフライト方式は、「レーザの飛行時間」と訳され、レーザを発射してから対象物に反射し、帰ってくるまでの時間を計測して距離を算出する方法である。

位相差方式は、出射光と反射光の時間的なズレ（位相差）を距離に換算する方法である。

特徴として、タイムオブフライト方式は、位相差方式に比べ、長距離を得意とし、精度も良いが、データ取得に時間がかかる。一方位相差方式は、大量なデータを短時間で取得できる特徴がある。目的に応じて両方式を使い分けることが重要になってくる。

3. 地上型レーザスキャナーの精度

地上型レーザスキャナーのスキャン作業に要求されるものは、以下の4種類である。

(1) 1スポットの精度・・・座標精度

当社の機器を例にすると、

$\Delta X=3\text{mm}$ 水平角の誤差 ($\text{Sin}(12\text{秒}) \times 50\text{m}=3\text{mm}$)

$\Delta Y=4\text{mm}$ 距離の誤差

$\Delta Z=4\text{mm}$ 鉛直角の誤差

$$\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2} = \sqrt{3^2 + 4^2 + 4^2} = \sqrt{34} < 6\text{mm}$$

以上から、50m地点での座標精度は、6mmである。

(2) ビームスポットサイズ・・・ビーム拡散度

細かい物を計測する場合は、ビームの径が小さい方がよい。当然、距離が長くなればなるほど、径は大きくなる。対象物と目的に応じて、地上型レーザスキャナーとの距離を考慮する必要がある。

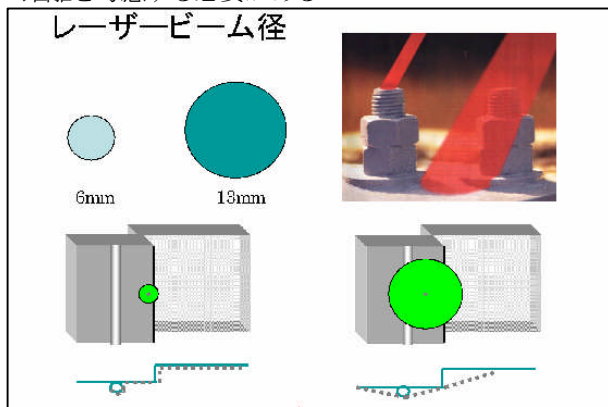
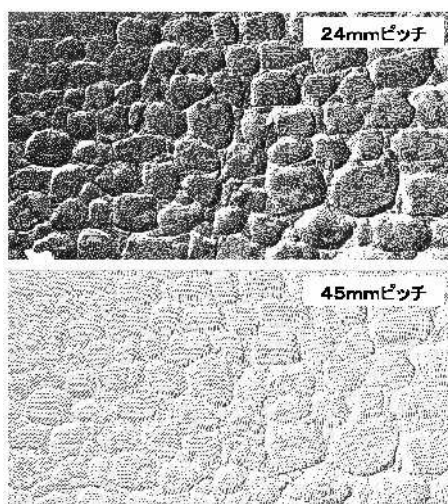


図2 レーザービーム系のイメージ

(3) スキャン密度・・・計測密度、分解能、解像度

図-3のように計測密度を細かくすることにより、石の形状が良くわかる。しかし、細かければ細かいほど、データ量が多くなり計測時間がかかる。目的に応じて、地上型レーザスキャナーの計測密度を考慮する必要がある。



(3) フィッティングアルゴリズム・・・モデリング精度

モデリングとは、スキャナーで計測した点群データから、最小二乗法によりベストフィットするCADモデルを生成することである。

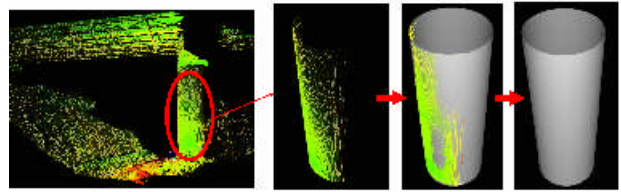


図4 点群からモデル化したのイメージ

次に生成したCADモデルとそれに使用した点群データを拡大してみると座標精度からそれぞれ6mmの誤差

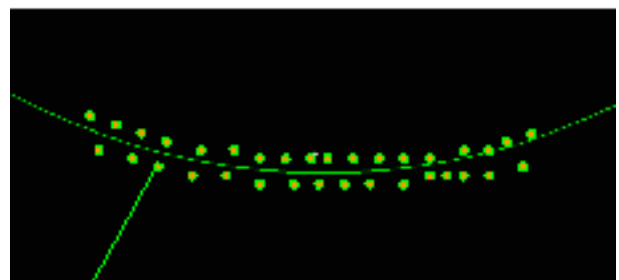


図5 点群とモデルの拡大図

を持っている。

この6mmのバラツキを持つ点群から生成されたモデルは、真値、この場合実際の円柱の直径に対し2mmの誤差で生成される。これがモデリング精度である。

4. 計測事例

ここで紹介する事例は、情報化施工及び労務災害防止に関係したものである。

(1) 容量算出のために活用

a) 調査箇所

産業廃棄物処分場

b) 調査目的

現在埋め立てられている産業廃棄物が、残りいくら入れることができるかを把握する。（残存容量）

c) 調査概要

現地は、次々と廃棄物が入っているため、通常の方法では、トラックとの接触による事故及び足場が悪く危険なため、地上型レーザスキャナーを使用し、遠距離から測定する方法とした。容量計算は、まず紙の設計図から計画3次元データを作成し、その後現地にて計測したレーザデータを重ね合わせて断面図を作成し、平均断面法により算出した。また、平均断面法の信頼性を確認するため、メッシュ法により点検計算を行った。

d) 計測方法

計測順序の流れの一部を、図-6に記す。○が基準点を記し、☆が地上型レーザスキャナーの位置を記している。この計測は、任意に設置した地上型レーザスキャナーの、周りにある基準点から位置を決定する、後方交会法で行っている。

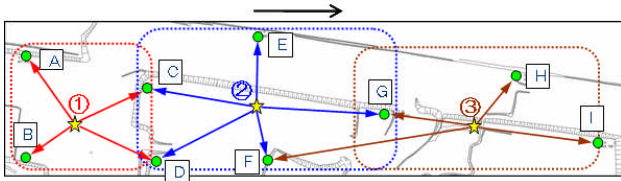


図-6 計測経路図

図-7は、計測した点群データ画像である。

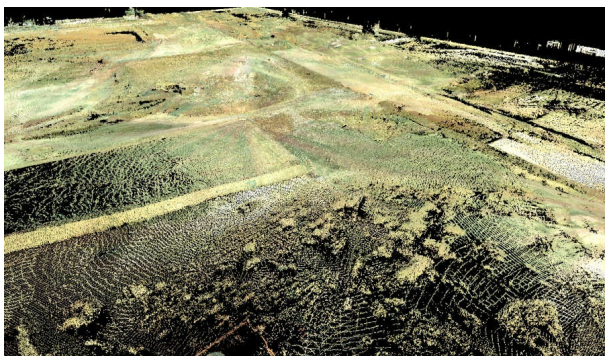


図-7 点群画像

e) 計測結果

計画3次元データと現況3次元データを合成し、残容量の算定に必要となる合成3次元データを作成した。

2種類のデータを合成することで、現状がどのような状態であるかを、把握することができる。

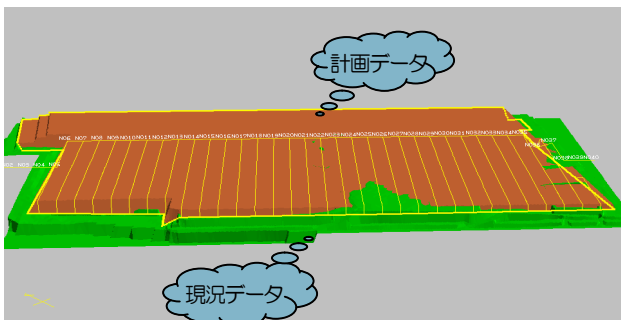


図-8 合成3次元データ

計画高10mに対し、オーバーした箇所を図-9に記す。3次元データにすることで、面的な把握が可能である。

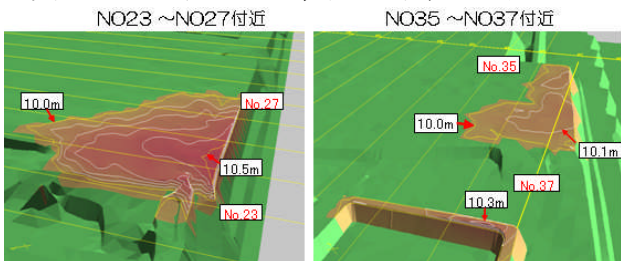


図-9 3次元比較図(図-8の拡大)

(2) 崖の調査に活用

a) 調査箇所

広島県府中市

b) 調査目的

崩壊発生箇所および周辺斜面の安定性を把握することを目的として実施した。また、崩壊地の修繕におけるコンクリート吹き付けの出来形の確認をするとともに、経年変化を確認するための初期値を計測した。

c) 調査概要

通常の測量方法では、急傾斜地の平面図又は断面図を作成する場合、危険が伴うため、専門業者に依頼しロープを使って計測を行うか、ノンプリズム光波測距儀を利用して計測を行い、図面を作成する。しかし、ノンプリズム光波測距儀は、樹木や草が多く茂っている場合には、どこの箇所が計測されているか確認出来ないため注意が必要である上、高密度な面的計測を行う必要があり、地上型レーザスキャナーを使用した。

d) 計測方法

☆が、地上型レーザスキャナーの位置を記している。この現場も、任意に設置した地上型レーザスキャナーの、周りにある基準点から位置を決定する、後方交会法で行っている。

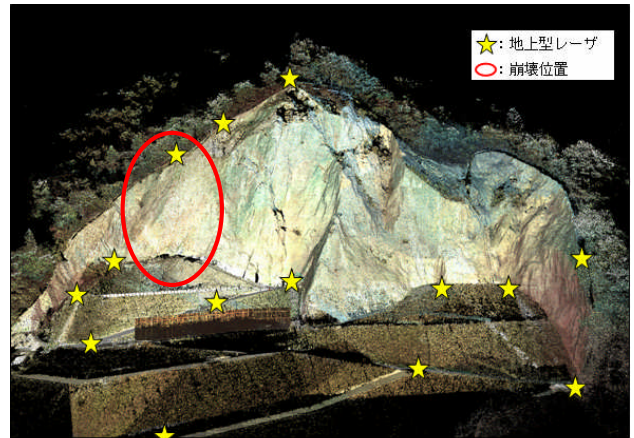


図-10 計測ポイント図(点群画像)

e) 計測結果

平面図は、地上型レーザスキャナーから得られた点群データからエッジ(角)を抽出し作成した。横断面図は、弾性波探査の資料として、崩壊部中心と崩壊部両端の横断面図を作成した。また、施工後に計測したデータを重ねて、施工前後の比較断面図の作成も行った。

3) 交通量の多い交差点に活用

a) 調査箇所

広島県広島市

b) 調査目的

平面図と縦横断面図を作成する過程において、一部の交差点において、広島電鉄の路線が交差点内に敷設されている箇所があったので、レール高・勾配及び架線の位置と高さの計測を実施した。

c) 調査概要

通常の測量方法では、交通量が多い場合、危険が伴うため、多数の作業員と交通誘導員を配置し、作業を行う。また、広島電鉄敷地内を測量する場合、夜間作業となる。

そのため、地上型レーザスキャナーを使用し、歩道からの計測を実施することで、安全、低コストを実現した。

d) 計測方法

平らな地形を計測する場合、ほぼ直立に立っているビルやダム・崖のような対象物とは違い、取得点密度を設定した目標物に対して距離が短くなればなるほどデータの間隔が狭く、逆に遠くなればなるほどデータの間隔が広がる。そのため全ての計測が終了した後に、各測点で計測したデータを合成し、その結果の取得点密度が設定した密度 (0.25m) に達するように計測を行った。

e) 計測結果

地上型レーザスキャナーから得られた点群データから、車・人・雑草等を取り除き、等高線及び白線の抽出を行い平面図を作成した。

今後、路線線形が変わることになった場合、3次元データがあれば再測量の必要性が無い上、地震などによる地形変動が起きた場合の事前事後比較も可能である。また、事故の検証にも利用可能である。

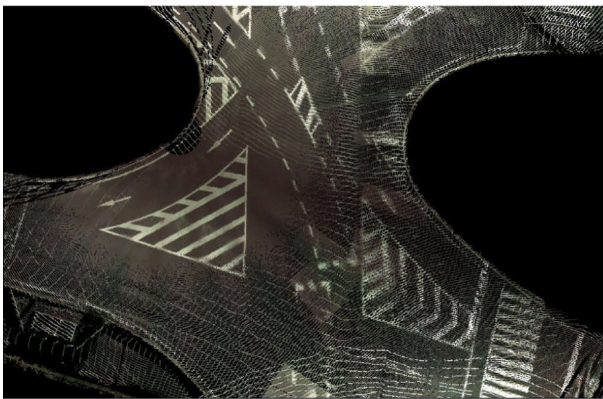


図-11 交差点の点群画像

図-12 は、当社が開発した自動エッジ処理プログラムにより白線を抽出し平面図を作成したものである。抽出が困難な場合は、手動により CAD 上でトレースを行った。

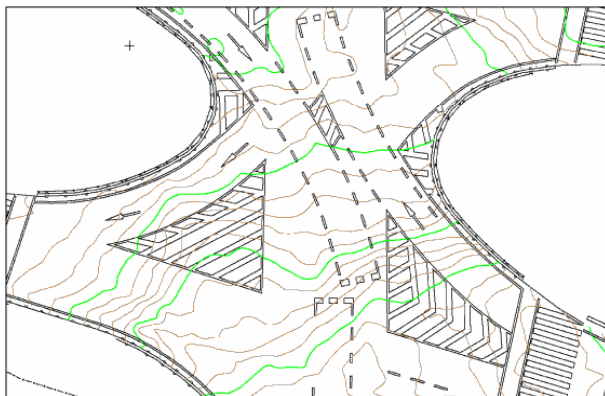


図-12 平面図

5. まとめ

地上型レーザスキャナーから得たデータは、面的に得たデータである。その最大の特徴として、

- ・データがあれば、路線線形が変わっても、後処理で断面図を作成することが出来る
 - ・面の変動 (経年変化) を把握することが出来る
 - ・レーザ光が届く範囲であれば、危険な場所に立ち入る必要がない
 - ・遺跡や文化財など、触ることが出来ない物に対し、形状を得ることが出来る
 - ・現状の地形・物体等を残すことができる。
- などがあげられる。

しかし、良い面もあれば悪い面、改善する面もある。

- ・見える箇所しかデータを取得出来ない。
- ・平滑な道路面を計測する場合、距離が長くなるほど点密度が大きくなる。
- ・現場状況により、通常の測量方法よりも時間がかかる場合がある。
- ・地表面データが必要な時に、草、瓦礫等、地表面が見えない場合は使えない。
- ・水面に地形地物が写っている場合、鏡のようにデータが取得される。
- ・機器が重い。
- ・データ量が多くなるとパソコンの動きが鈍くなるので、高スペックのパソコンが必要となる。
- ・オーバーハングした箇所のデータから、TIN (不整三角網) を発生させるのに手間がかかる。
- ・高価である。

などがあげられる。

また、地上型レーザスキャナーだけでなく、他のレーザを使用する計測も、目的に応じて点群データを処理するソフト技術が重要であり、ソフト購入または自社開発が必要である。しかし、それにはコストと時間がかかるため、通常の測量と他のレーザ計測及び空中写真測量等の各々に特徴ある技術を、組み合わせた方法が有効になってくる。

将来的には、3次元データから3次元設計へと続き、新たに設けたら良いと思う3次元モデリング照査という過程を得て、3次元施工へと繋がれば、データの共有化によるコスト削減、ミスの撲滅に繋がると考える。

参考文献

- 1) ライカジオシステムズ：技術資料