

Ⅱ-22 地上型レーザースキャナーによる土量計測システムの開発

村山盛行※1

清水哲也※2

大津慎一※3

佐田達典※3

Shigeyuki Murayama Tetsuya Shimizu Shun-ichi Ohtsu Tatsunori Sada

※1(株)フィールドテック ※2(株)タクモ ※3三井建設(株)技術研究所

【抄録】レーザースキャナーの特性を活かして土量計測を行うに当たって、計測作業を短時間で済ませ、かつ後のデータ処理を簡単に行えるように、設置位置の選定と観測方法の比較検討を行った。また、データの後処理を効率化するために、レーザースキャナーによる土量計測に特化した処理方法を検討した。計画に基づき計測を行った結果、サーチャージ盛土 10ha の現場作業を実施し、膨大なデータを短期間で処理し、成果品の作成を行うことができた。また成果品は、従来測量では得られない稠密な形状計測を元にした土量計算結果を出力することができた。

【キーワード】3次元計測、計測、CAD、データモデリング、レーザー

1. はじめに

3次元レーザーミラースキャナー（以下スキャナー）を用いたリアルタイム3次元測量は、地形計測作業の効率化を図るには大変有効な手段である。スキャナーの測定精度は±2.5cmと、光波測距儀やGPSより劣るものの、縦80度、横330度の範囲で、半径350m内の地物を連続測定することが可能(Riegl社製 LMS-Z210の場合)であり、非常に短時間で広範囲を計測することができるのが特徴である。またデータは、斜距離、水平・立体角度、受光強度、RGBそしてレーザー光源を原点とするXYZ座標値が得られる。スキャナーの設定解像度（ビームの射出間隔）を変化させることにより、1回の計測で最大約500万点近くの3次元データを取得することができる。しかし、計測範囲、計測点数が増えるにつれて、そのデータ量は膨大なものとなるため、現状のアプリケーションでは対応しきれないという問題も発生してしまう。

今回、スキャナーの特性を活かして、造成工事の

土量計測への適用を行った。実際に作業を行うにあたって、現地での計測とデータ処理を効率化するために、スキャナーの設置位置と計測方法を検討した。また、スキャナーによる土量計測に特化したデータ処理の検討も行った。

2. 計測準備と現地計測の方法

土量計測を行うにあたって、事前にしなければならないことは、現地踏査と現地図面から、スキャナーの設置位置を検討することである。スキャナーの設置位置を決定するポイントは主に6つある(表・1)。特に、計測範囲(敷地面積)がどれくらいの広さなのか、合成に用いるターゲットを設置するのに適した場所はあるか(杭を打つ場所があるか、ターゲットを貼り付けることができる障害物があるか)、データの後処理に、なるべく余計な手間と時間を掛けずに済むようにデータを取得する、以上の項目は作業効率に大きく影響する。これらの情報からスキャナー設置位置と計測点数を決定し、計測作業に取り掛かる。

連絡先：佐田達典 三井建設(株)技術研究所 〒270-0132 千葉県流山市駒木 518-1

TEL 0471-40-5207 FAX 0471-40-5218

表-1 レーザースキャナーの特性と検討項目

ポイント	検討項目	スキャナー特性
1	計測範囲	空間範囲80度×330度、距離範囲350mまで
2	取得データ量	1計測最大約500万点の3次元座標データ
3	現地形状	高低差のある地形が有利
4	視認性	障害物の陰になる部分は計測不可能
5	ターゲット位置	近距離・高解像度なほどターゲット座標値
6	移動手段	人もしくは車による持ち運び(重量16kg)

計測方法としては、まずおおよその計測地点に、三脚を利用してスキャナーを水平に設置する。次にスキャナーから半径 5m～10m 付近のスキャン範囲内に、反射率の高い反射シート(大きさ 5×5cm 程度)を用いたターゲットを 2 点もしくは 3 点設置する。これは座標変換とデータ合成を行うにあたって必要であり、ターゲットに当たったデータの識別は、レーザの反射強度を利用して行う。ターゲットの座標値は、各ターゲットに当たったレーザの全点の平均値を計算し、それをターゲット座標値とする¹⁾。

3. 造成工事への適用

今回、埼玉県鷲宮町の「東鷲宮土地区画整理事業造成工事」のサーチャージ盛土の土量計測に適用した。従来、土量を求める方法として、断面法、メッシュ法、等高線法などがある。今回は、メッシュ法と断面法により土量が求められるように、3次元データを取得することにした。

今回の適用に関して、計測方法を表-1のポイントに沿ってまとめてみると次のようになる。

1) 計測範囲は約 10ha(おおよそ 400m×250m)あるので、既存のメッシュ法(10m メッシュ)による土量



図-1 計測データ合成図

計測と同等の成果が得られるようにした。

2) 1回の取得データ数が約 10 万点程度になるようにスキャナーの解像度を設定した。

3,4) 重機は数台入っていたものの、大きな障害物はあまり無かったので、スキャナーの設置位置の間隔を約 60～80m にして、16 箇所の設置位置を決定した。設置間隔は、レーザ一点数予測式¹⁾から決定し、データ取得間隔の粗い部分を他の計測により補えるように配慮した。現地形状に合わせて設置位置を 7 箇所補完し、計 23 箇所(うち 2 箇所は同じ場所から方向を変えて計測)から計測を行うことにした。これによって 100m²当たり、データ密度が粗い場所でも 200～300 点程度の点数が取得できる。また、現地地形を再現するには、全範囲に万遍なくデータを必要とする。

5) ターゲットを貼った木杭を計測位置 10m 以内に打ち込んだ。計測した 23 箇所からのデータを合成し(図-1)、1m メッシュの点数(約 10 万点)にすることで全体を平均化し、形状を再現した。

6) 走行用の鉄板が限られた場所しかなく、表面の地盤も雨で緩んでいたため、人による持ち運びにより移動することにした。

これらの踏査と計画を立てるのに 1 日必要とするが、この作業を行うことが過不足無く効率的な計測を行うための最大のポイントとなる。この計画に沿って現場計測を行った。

4. データ処理の効率化について

スキャナーにより取得したデータは膨大なため、データの加工・抽出等の後処理作業は、既存の表計算ソフトなどでは殆ど処理不可能である。CAD においても同様に、全データを一度に取り扱うのは困難である。既存アプリケーションで、スキャナーのデータをまともに取り扱うことのできる製品は数少ない。そこで、データ処理の効率化を図る方法として、各計測(土量・地形・断面・変位量)に特化した処理手順の検討を行い、各事例に基づいて後処理方法を確立できるようにした。

5. 土量計測における適用

ここでは、土量計算を 10ha の範囲において 10m ピッチのメッシュ法によって実施している。既存の測量では、10m 格子の位置を誘導し、高さを観測し

ていくが、スキャナーでは、現地において格子点を誘導できないので、取得データから格子点の高さを自動生成させる方法を取る。

断面法は VB と CAD を組み合わせた処理プログラムを作成し、任意断面の抽出とその図面の作成を可能にした。

6. メッシュ法・断面法によるデータ処理の確立

まず、スキャナーの取得データの特徴である高密度で広範囲のデータを最大限に利用し、かつ、土量計測における精度向上を図る方法を考える。

スキャナーの観測におけるデータの公称精度は、2.5cm である。さらに、後述する座標変換や地形地物の形状の変化等で、最大 10cm 程度の誤差が生じることがある。この各格子点における誤差は、10m ピッチの格子点データのみでは、10m メッシュ上の土量に累積誤差として残る。そこで、1 m ピッチの格子点を発生させて 10m×10m をブロック化集計することで各 10m メッシュの誤差を減少させる方法をとる。

また、断面法では、各断面の面積をより正確に算出するため、1 m メッシュのデータから 5m ピッチで断面を生成する。

7. データ後処理の流れ

土量計算における後処理の流れを図-2 に示す。

(1) ターゲット抽出

まず、観測データより、座標変換に使用するターゲットの抽出を行う。抽出は物体の反射強度の違いを利用して、反射強度の高いターゲットデータを抽出し、平均することでターゲット最確値を求める¹⁾。

(2) 座標変換と精度検証

先に抽出したターゲットデータを利用し、座標変換と観測精度の検証を行う。変換方法は、スキャナーを鉛直方向(地表面に対して水平)に設置して行っているため、円柱座標系であり、鉛直方向 Z 軸の回転、XY 面の平行移動及び高さの移動による。

観測精度の検証は、座標変換に用いるターゲットの変換精度に依存する。スキャナーデータを平均して求めた座標値と、RTK-GPS で観測した変換後の座標値を比較する。結果の一部を表-2 に示す。

今回の土量計測に関しては、スキャナーの変換精度は、変換前後の水平距離の差で最大 11cm, 最小 9

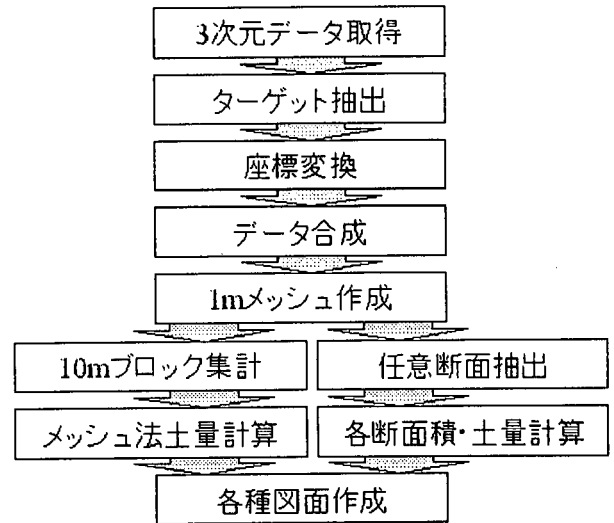


図-2 土量計算処理の流れ

表-2 座標変換結果の比較

		ターゲット1			ターゲット2			平面距離	高低差
器械位置		X	Y	Z	X	Y	Z	変換前-変換後	
P1	変換前	3.077	-4.339	-1.590	4.046	3.915	-1.876	8.311	0.286
	変換後	91.959	81.583	9.528	96.425	88.641	9.215	8.352	0.313
	差							-0.041	-0.027
P2	変換前	3.914	-6.827	-1.570	-6.234	-2.017	-1.564	11.230	-0.006
	変換後	50.597	137.515	9.434	50.521	148.781	9.444	11.266	-0.010
	差							-0.036	0.004
P3	変換前	3.521	-7.542	-1.497	1.927	8.322	-1.673	15.944	0.176
	変換後	75.068	217.915	9.417	90.137	212.523	9.172	16.005	0.245
	差							-0.061	-0.069
P4	変換前	-0.347	10.194	-1.769	-0.533	-4.009	-1.736	14.204	-0.033
	変換後	35.581	228.117	9.039	33.650	213.963	9.068	14.285	-0.029
	差							-0.081	-0.004
P5	変換前	5.505	-5.899	-1.510	-8.768	1.002	-2.947	15.854	1.437
	変換後	91.170	270.008	10.545	96.370	254.960	9.078	15.922	1.466
	差							-0.068	-0.029
P6	変換前	-3.597	-8.490	-1.125	-12.473	0.166	-1.607	12.398	0.482
	変換後	146.517	201.825	9.566	139.549	212.033	9.095	12.360	0.470
	差							0.038	0.012

単位:m(メートル)

mm で、平均 6cm となっている。また、高低差については、最大 7 cm, 最小 2 mm で平均 2 cm となった。これは、スキャナーを水平に設置しているため、地表面に対しレーザーの入射角が鋭角となる。その為、斜距離に依存する誤差は X、Y 成分に大きく、高さ方向 Z 成分へは小さくなったためと考えられる。

(3) 1 m メッシュ自動生成

合成されたデータより、障害物のデータの除去を行った後、1 m メッシュの自動生成を行う(図-3)。現地計測において、1 m²に 1 点以上のデータが取得されており、近接の 3 点より面を定義することで、格子点の高さを自動計算する。

(4) 土量計算

上記によって求めた 1 m メッシュのデータより土量計算を行う。

メッシュ法では、計画図面より、計画高を 10m

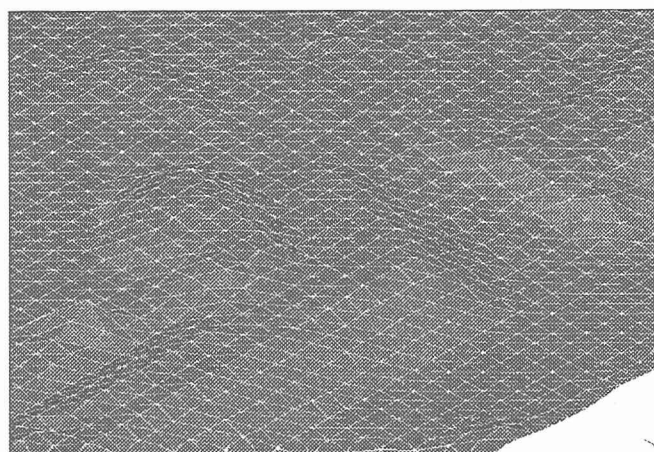


図-3 1m メッシュデータ(一部分拡大)

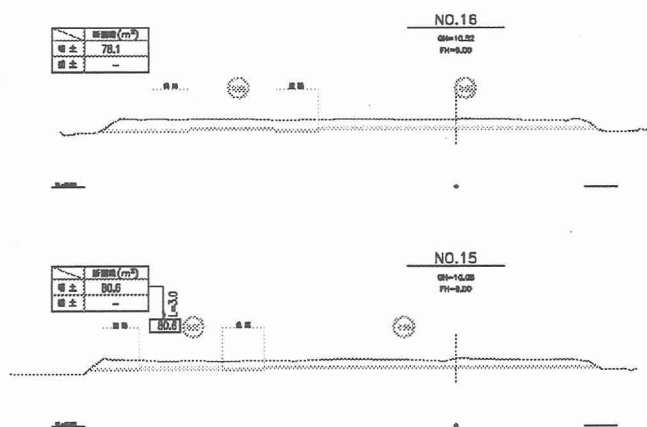


図-4 断面図の作成

断面法では、1m メッシュの 3 次元データから、5m ピッチに座標値を抽出する。抽出された各ラインは、2 次元の断面図へと変換された dxf ファイルとなるようにプログラムを作成した。断面図と矩面部分の拡大図を示す(図-4,5)。拡大図においては、スキャナーの点データ(結線), 1m メッシュデータ(▲印), GPS データ(◆印)の比較をしている。

スキャナーの点データには突出した部分があるが、これは法肩の柵(障害物)を検出したものである。これらの大きな障害物のデータを除去した点データを用いて作成したのが 1m メッシュデータである。点データと 1m メッシュのデータは、点データのばらつきを平均した辺りのラインを通っていることがわかる。1m メッシュのデータと GPS データを比較してみると、法面の肩と尻がメッシュデータのほうが少し滑らかな傾斜になっているのが確認できる。

8. まとめ

土量計測に関する計測方法からデータの処理方法まで、一貫したシステムを構築することができた。また、膨大なデータ処理を実施した結果、従来に比べ稠密な形状データから土量を算出することができた。

今後、成果品である図面作成や土量計算書作成について、更に自動化できるよう検討していくと同時に、変位量計測などの他の計測にも特化した処理方法を確立していく予定である。

参考文献

- 1) 村山盛行・大津慎一・佐田達典・清水哲也：3次元レーザミラースキャナーによる形状計測システムの精度検証, 第5回土木情報システムシンポジウム
- 2) 村山盛行・大津慎一・佐田達典・清水哲也：3次元レーザミラースキャナーを用いた土量計測方法の検討, 第56回土木学会年次学術講演会論文集第VI部門, 2001.10
- 3) 清水哲也・大津慎一・佐田達典・村山盛行：3次元レーザミラースキャナーを用いた土量計測システムの構築, 第56回土木学会年次学術講演会論文集第VI部門 2001.10

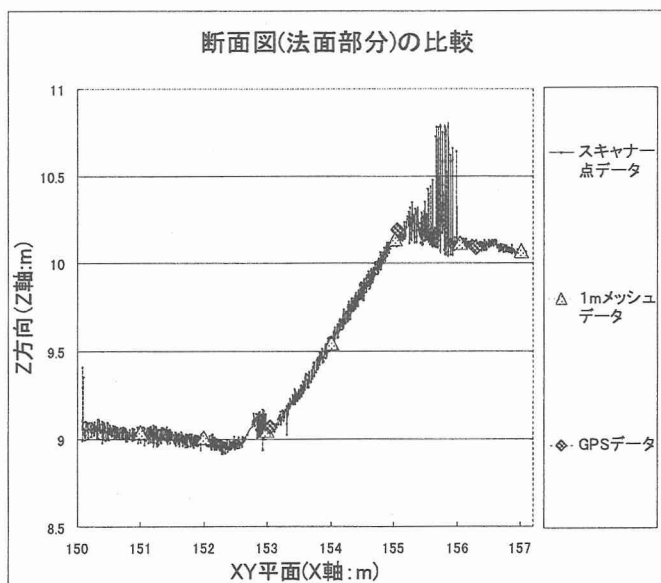


図-5 断面図(矩面部分)の比較

ピッチで取得し、1mメッシュの計画高は、比例計算によって内部計算させる。1mメッシュの現況高と計画高より各メッシュの切盛量を算出する。これを10m×10m(121の格子点)で集計することで、10mメッシュの土量を求める。これによりスキャナーによる地盤高の誤差は平均化される。