

地上固定式レーザスキャニング

○ 株式会社 数理設計研究所 名倉 裕
有限会社 和泉測量 太田 学志

1. 地上固定式

近年、地形、構造物の形状測定は、航空レーザと地上固定式に加え、地上を移動しながら観測する車載移動式が一般化しつつある。このため地上に固定して観測する方式を地上固定式レーザスキャニングと呼ぶ。

地上固定式観測は安定した設置から高い精度が得られ、誤差補正が容易だ。車や人手で運搬、観測するためどこででも観測でき、昼夜、天候を選ばない。ここでは車載式に例が少なく、固定式観測の長所を發揮する長距離観測、特に変位観測精度について記す。

2. 長距離観測の精度と参照点

一般にレーザスキャナ測定データの精度は、基準点の測量値とレーザスキャナの測定データを比較して評価される。地上固定式レーザスキャナの測定精度は距離に反比例し、通常 $1\text{ cm}/100\text{m}$ 、条件が良ければ $1\text{ cm}/200\text{m}$ くらいと考えられる。

レーザスキャナで基準点、あるいは参照点を測る方法は、基準点に規定目標体か高反射体を設置して高密度測定を行い、点群の座標平均値から中心点を求める。データ点数を確保するため、距離に応じたサイズの反射体が必要である。

我々は距離 $200\sim300\text{m}$ では 20cm 、 $200\sim400\text{m}$ では 30cm のサイズの反射体を使う（図-1）。これ

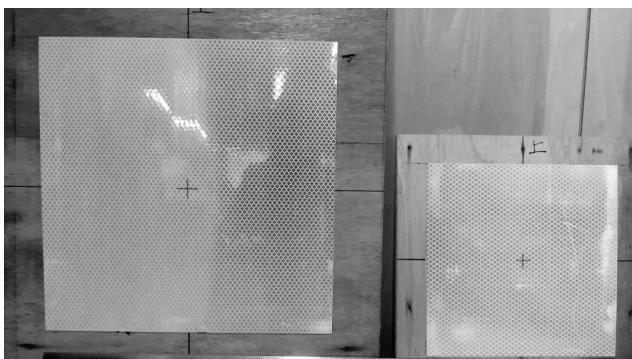


図-1 高反射体 辺長 30cm , 20cm 正方形
反射体中央には、測量のための+字を記してある

より遠距離では更に大きなサイズを使うか、数回測ってデータ数を確保する。データ数が少ないと点群に偏りが生じる可能性が高く、中心位置は大きな誤差を生じやすい。

多地点から観測する時、多方向から同じ見かけの面積を持たせるため、円筒形や球形の反射体を用いる事があるが、高精度に測定できるのは平面反射体である。

地上固定式観測では望む距離に参照点を設置できないことが多い。更に広い水平角度範囲に設置する必要があるため、観測地点の全周の随所に設置する。このため設置距離は色々であり、いくつかのサイズ、形状の反射体を用意する。

特定の地域を繰り返し観測する時、それぞれの参照点に最適なサイズの反射体を用意すると高い精度が得られる。専用の反射体を適切な位置に配置できる時、参照点の座標マッチング精度は $2\text{ cm}/500\text{m}$ 以下を期待できる。

反射体の形状は、丸、矩形を試すが、どれが最良かは明確になっていない。現在多用するのは円形である。

3. 面評価による座標マッチング

数点から数十の点数の参照点による座標マッチングはポリトープ法による。評価関数は、全参照点の対応する点間距離の二乗和を最小とする。参照点による座標マッチングでは、参照点の測定精度が最大 2 cm があるので、平均誤差約 1 cm 程度を残して収束する。

これに対して、評価関数を面のズレとするとより正確な座標マッチングが可能になると考えられる。面を表すデータ点群は、 $2\sim3\text{ mm}$ のズレを明確にする事が分かっている。

面のズレを評価するため、観測対象地域から比較的平らな面を抽出する。XY面、YZ面、XZ面それぞれに投影して、それぞれの投影面に対して一定の

広さを持ついくつかの面を選ぶ。それぞれの面について、法線方向のズレ量の和を最小とするよう最適化する。面を適切に選ぶと、誤差は 5 mm/500m 以下に収まる。半自動と手作業で確認済みだが、全自動化のためのプログラミングは途中である。

4. 長距離観測における条件

たとえば 200m の斜面を測るには、有効距離 400m くらいが必要だ。そして参照点は XY それぞれの軸方向に広く配置したい。地上固定式レーザスキャナ観測で必要な基本条件は次の通り。

- 良い観測地点の発見
- 良い参照点配置が可能な場所の発見
変位を観測する時、もう一つの条件が加わる。
- 設置位置の高い再現性

長期間に渡る変位を観測する時、地面に固定した観測台を設置すれば位置は定まる。しかし角度を 1/1000 度以下まで再現するのは困難なので、面評価により補正する。距離 500m を観測する時、1/1000 度の角度ズレは約 1 cm 以上のズレとして表れる。観測台は位置を決定するので、ズレの最適化補正是 3 軸周りの角度について行えば良い。

観測台の設置は観測条件を非常に狭めるので、使わないで済ませたい。この時、位置ズレ評価のため平坦な面を探す。通常は地表面（XY 面）と、何等かの垂直面、あるいは斜面だ。観測地点に正対する広い面があれば、角度のズレには鈍感なので、良い位置精度が得られる。



図-2 長距離型レーザスキャナ Riegl LMS-Z420
傾斜台は日射で容易に伸縮して傾きを生じる

5. 機器の変位

長距離観測では、機器の変位や気象条件がデータに影響を与える。

1回 10 分の観測でさえ、2回測って差分分布を作成すると、ミリ単位の時間軸に沿った差分の変化が現れる。直射日光下ではレーザスキャナの変位に起因するデータズレが 100mm/500m のオーダーで容易に生じる。晴天下でレーザ光の経路が地表に近ければ、屈折で誤差が生じる。

直射日光を遮光しても、長時間観測ではゆるやかな小さな変位は生じるので、補正する。現在のところ面評価は時間がかかるので、リアルタイムには使えない。

気象の変化によるデータへの影響は、レーザ光の経路が地表を離れている時は不明だ。現在、明確な検証例はないが、地形条件によっては大きな影響があるかもしれない。

6. 将来性

レーザスキャナの分解能の向上に伴い、参照点測定精度は上がったが、あらゆる目的で充分というわけではない。反射体のサイズと形状の工夫、設置法、測定法の工夫によって、精度を改善してきた結果、参照点法でも手間と時間をかければ相応の高い精度が得られる事がわかってきた。

更に高い精度を得るために、そして手間と時間を節約する方法として、面評価による座標マッチング法を進めている。他の方法で得た形状データと比較するため、基準点、参照点測定の高精度化は重要だ。しかしレーザスキャナで観測した地形を比較する時、面評価法は直接的で分かりやすい。

広い地域の遠距離観測から小さな変位分布を捉えるには、地上固定式の長距離観測が適する。特に連続観測は他の方法では難しい。

参考文献

- Abell,M.Jaboyedoff,T.Oppikofer,J.M.Vilaplana Detection of millimetric deformation using a terrestrial laser scanner: experiment and application to a rockfall event (2009)
- Lichun SUI, Xue WANG, Dan ZHAO, Jia QU Application of 3D laser scanner for monitoring of landslide hazards (2008)