

既設小断面導水路トンネルへのレーザースキャナー計測の適用

安藤ハザマ 正会員 ○中山大貴, 石濱裕幸

1. はじめに

既設水力発電所の導水路トンネルは無巻き区間が多く、発電効率改善を目的として覆工の打設や、FRPM 管敷設等の対策工事を行うことがある。特に FRPM 管等を敷設するには岩盤を整形する必要があり、整形が不十分な場合は大きな手戻りが生じる。整形が必要な箇所を定量的に把握するために移動体レーザースキャナーを改造して計測を行った。

2. 課題

対象トンネルの特徴として以下の事項が挙げられる。

- ・ FRPM 管を施工する延長が 1,844m と長い
- ・ 無巻き区間は岩盤の凹凸が大きい
- ・ 岩盤面が湿潤状態(所々に湧水あり)
- ・ トンネル内の照度が確保できない
- ・ 断面は幅 1.6～3.0m, 高さ 1.8～3.6m と小さい
- ・ 余堀量がコストと工期に大きく影響する

以上より計測方法の条件として、凹凸の影を含め小断面トンネル全周を計測でき、かつ湿潤面でも高精度に計測できることが求められる。これらの特徴を考慮し以下の一般的な計測方法の適用性を検討した。

① TLS (三脚設置型レーザースキャナー) 計測を利用する。

TLS 計測はレーザー光線を照射し、対象物に当たり反射して戻ってくるまでの時間や波長の変化を計測することで正確な距離と高さ、方位に関する 3 次元座標データを取得することができる。一方で、岩盤の凹凸の陰になる部分を無くすために据替が必要となるが、今回の既設導水路トンネルは凹凸が大きく計測距離も長いいため据替の回数が多くなる。

② 手持ち式移動体レーザースキャナー計測を利用する。

手持ち式移動体レーザースキャナー計測は三脚設置型よりも簡単に 3 次元座標データを取得できるが、三脚設置型に比べ精度が低く、湿潤状態での計測が難しい。

③ フォトグラメトリ計測を利用する。

フォトグラメトリ計測は条件を合わせたカメラで複数方向から撮影した写真から視差を利用して対象物の実体モデルを再現し、これを測定して空間データを取得できる。対象物の制約を受けにくい特長があり複雑な形状でも 3 次元データを取得できるが標定点なしでは精度が低く、精度を高めるには標定点の数が多くなってしまう。またトンネル内で照度が確保できないため写真が撮影できないという問題がある。

3. 対策

課題のうち断面が小さいこと以外に適合する方法として ProScan (地上移動体搭載型レーザースキャナー) による計測がある。ベースになっているスキャナー P40 がある程度の湿潤面にも対応でき、トータルステーションでスキャナーの位置を連続的に計測しながら移動計測するため高精度の計測が可能である。三脚設置型レーザースキャナーと比べ据替の手間がないため計測時間の大幅な削減ができるメリットも挙げられる。

ただし ProScan はスキャナー本体と対象物の距離が 60cm 以上離れないと計測できないという問題があり、小断面トンネルへの適用が難しい。本導水路トンネルは全幅 1.6m, 高さ 1.8m の小断面トンネルとなっており、メーカー仕様の台車は全高 1.5m のためスキャナー本体とトンネル壁面の距離が 60cm を確保できず計測ができなかった。

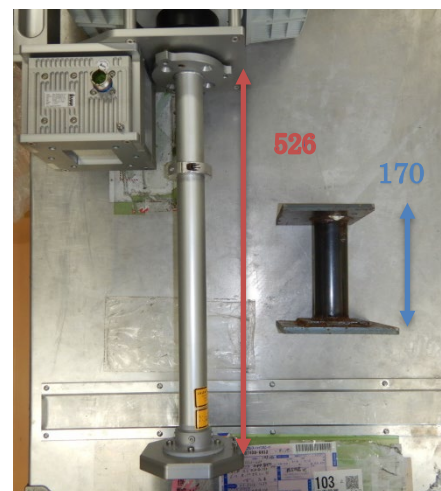


写真-1 改造した治具（右）と
メーカー仕様（左）

これをクリアするために台車とスキャナーを固定するための治具を改造し全高 1.15m にすることでスキャナー本体とトンネル壁面の距離を 60cm 以上確保し計測可能とした。(526mm→170mm とし、356mm の短縮)

4. 結果

今回 ProScan を使用して既設小断面導水路トンネルの 3 次元データを計測した結果、平面・断面ともに高精度な計測結果が得られた。

図-1 は取得した点群データで、図-2 は点群から生成した断面図に実際に敷設する FRPM 管を当てはめたものである。TD ごとに支障となり除去しなければならない箇所を特定することができた。スキャン毎のラップ箇所での誤差は 30mm と移動体計測としては高精度な計測結果が得られた。なお点群から断面図を作成する際は形状の最適マッチングを WingEarth 上の Ramer-Douglas-Peucker 法により行った。

5. 問題点と対策

計測実施中には問題が二つ発生した。一つ目はトンネル内が湿潤状態であるため全周プリズムが曇ってしまいトータルステーションの追尾機能が切断され計測エラーが生じる

場合があった。これは、こまめに全周プリ

ズムを拭いたり、曇り止めを使用する等をして対策ができた。二つ目は、レーザースキャナーの三軸の傾きと加速度を計測し相対的な位置情報と姿勢を補正する IMU の防水性が低い点である。本導水路内のトンネル天端・肩部からの湧水が存在する箇所では傘を差して計測したが傘の陰は欠測となる。そこで、湧水部では別途 TLS (三脚設置型レーザースキャナー) を使用して計測し対応した。

5. まとめ

小断面導水路トンネルの現況を計測する手段のひとつとして一部改造した ProScan を採用した。トンネル内の特徴をクリアしつつ高精度の計測と作業時間短縮が両立され有用性が確認できた。導水路トンネル改修のニーズは今後も高く、同条件での計測の必要性が高まると考えられる。曇りにくいプリズムや IMU の防水性確保などの改善がなされると、さらに適用性が高まり、生産性の向上が望めると考える。

6. 謝辞

本論文作成にご協力いただきました株式会社岩崎 奈良久氏・古口弘泰氏には心よりお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 国土交通省：地上移動体搭載型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（土工編），2019
- 2) コニカミノルタセンシング㈱：フォトグラメトリシステム解説書
https://www.konicaminolta.jp/instruments/support/3d/pdf/psc_1manual_j.pdf



写真-2 ProScan

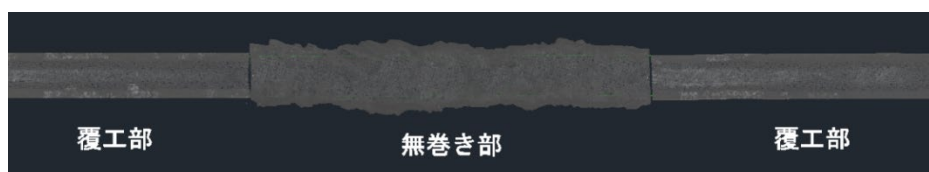


図-1 導水路トンネル平面図

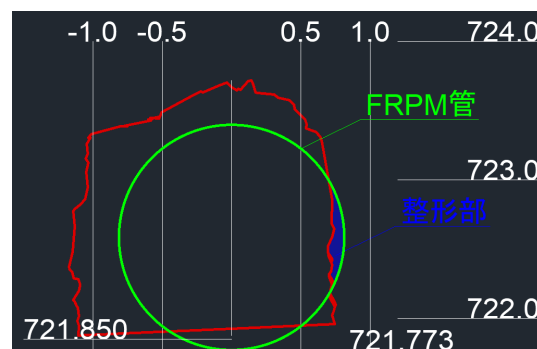


図-2 導水路トンネル断面図(無巻き部)

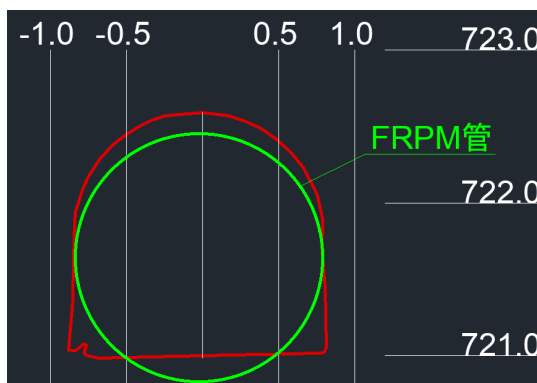


図-3 導水路トンネル断面図(覆工部)