

No.8 タイトル

『小山町阿多野用水、狭小隧道区間の 3D レーザー計測』

会社名：株式会社フジヤマ静岡支店、国土基盤調査部

主執筆者 名前：眞田和磨

名前：神尾剛

名前：田邊真

共同執筆者 名前：神谷幸一郎

名前：杉谷翔三

名前：金澤剛志

要旨

江戸時代に構築され現在でも利用されている文化財的価値のある歴史的な農業用水路である「阿多野用水隧道（延長約 1.5km）」を、将来の保全・補修に向けて、現況を高精度三次元データとして記録・保存することは、将来的な世界かんがい施設遺産登録における重要な基礎資料となるものである。狭隘、屈曲かつ暗い現場条件を考慮し、計測機器を地上型レーザースキャナー（以降 TLS）からハンディ型レーザースキャナー（以降 HLS）へ変更した。SLAM 技術の活用により、狭隘な地下空間において短期間かつ高精度な三次元計測を実現した。本報告では、計測手法選定の根拠、現場適用時の技術的工夫、および解析結果の精度検証について述べる。



図-1 地理院地図

1. はじめに

1-1 業務概要

阿多野用水は寛文 8 年（1668 年）に着工され、寛文 12 年（1672 年）に完成した歴史的な農業用水路で、現在も水田や水菜の栽培に利用されている。しかしながら、「阿多野用水隧道」区間の詳細な測量図面や構造図等の技術資料は現存せず、その正確な線形や断面形状は不明である。

文化財保護法第 93 条に基づく埋蔵文化財包蔵地における調査として、文化財的価値を有する本隧道構造物の現況を高精度三次元データとして記録・保存することは、将来的な保全計画策定および修復工事実施における重要な基礎資料となる。江戸時代の土木技術により構築された本隧道は、現代の測量技術による詳細調査が初めて実施される貴重な事例である。隧道の構造的特徴として、手掘りによる不整形断面、局所的な湧水箇所、経年変化による変形等が確認されており、これらの現況を正確に記録することは文化財保護上極めて重要である。

本業務では、3D レーザースキャナーによる隧道内計測を実施し、歴史的かんがい施設の文化財保護に対する測量技術の適用可能性を検証した。

1-2 業務内容

- (1) 業務名：令和 6 年度 小山町阿多野用水
文化財調査業務委託
- (2) 発注者：小山町

様式 2

(3)場 所：駿東郡 小山町 棚頭、吉久保地先

(4)履行期間：[着手日]令和 6 年 8 月 20 日

[完了日]令和 7 年 2 月 28 日

(5)業務内容

- ・ 4 級基準点測量：178 点(隧道内 135 点)
- ・ 地上レーザー測量:0.0022 km²



図-2 航空写真

(出典先 VIRTUAL SHIZUOKA)

このように、物理的制約と作業期間制約の中で、従来の TLS に代わる効率的かつ高精度な計測手法の選定が重要な技術的課題となった。

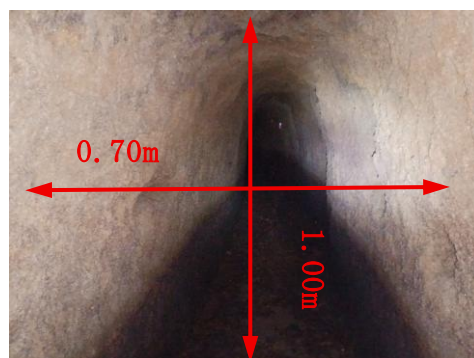


図-3 隧道内の状況写真(縦 1.00m 横 0.70m)



図-4 隧道入口



図-5 隧道出口

2. 課題と問題点

隧道内は狭隘で屈曲しており、かつ暗所であるため、TLS 計測には以下の制約要因が存在した。

2-1 物理的制約：TLS の設置が困難

- ・ 高さ 100cm・幅 70cm 未満の区間では機器設置が物理的に不可能
- ・ 常時湛水している箇所が存在するため計測不可能
- ・ 屈曲部や狭隘部があるため、機器操作が困難
- ・ 上記の箇所のため、基準点の量が膨大になる。(作業規程の準則では、通常 50m に 1 点設置する。本現場は 1.5km のため 30 点になるが 135 点必要になった)

2-2 作業期間の制約：短期間での作業完了

- ・ 現役の農業用水として利用中のため、通水停止期間に厳格な制限
- ・ 調査期間が 10 月 23 日～11 月 16 日の約 3 週間に限定
- ・ 短期間での作業完了が必須条件

3. 対応策・改善点と適用結果

3-1 機器選定と対応策

現地状況等から、TLS の設置が困難であるため、SLAM 技術を搭載した HLS を使用することとした。HLS は設置が不要かつ狭小部の計測が可能であることから、計測及び解析の作業が共に半日で完了することが可能となり、再計測の時間を確保できることから、HLS への機器変更を提案した。

表-1 性能

	RS10 (HLS)	RTC360 (TLS)
測定範囲	0.05m～120m	0.5m～130m
測定速度	最大 32 万点/秒	最大 200 万点/秒
精 度	1cm	0.3cm



図-6 ハンディレーザー
スキャナー RS-10

3-2 基準点測量の工夫

本業務では4級基準点を前述のとおり135点設置し観測した。作業規程の準則に基づく4級基準点測量の観測方法として、水平角観測は読定単位 20″、対



図-7 基準点測量

回数 2 回、倍角差 60″ 以内、観測差 40″ 以内の基準を適用した。暗所での作業にはライトやヘッドライトを使用し、観測可能な照度を確保した。また、通常の三脚で機械を設置できない閉所はミニ三脚を使用し観測する工夫を行った。(図-7)

3-3 LidarSLAM 技術を用いた測量

LidarSLAM 技術(移動する機械がレーザーを照射し、自己の位置を特定しながら、同時に周囲の環境を地図化する技術)を用いたレーザースキャナーを使用し点群データを取得解析した。

SLAM 技術を搭載した HLS による計測は、以下の理由により作業効率化に繋がった。

■ TLS(従来手法)

- 計測機器を固定し、設置する必要がある。
- 標定点は機器が固定できる所にしか出せない。
- 基準点にターゲット板を設置し、後方交会法で計測し、解析する。
- 計測時間と解析時間を合わせると 5 日程度掛かる。
- 狭隘部での機器設置に多大な時間を要する

■ HLS(今回手法)

- 計測機器を固定して設置する必要がなく、手持ちで歩行しながら計測可能
- 計測時間と解析時間を合わせ 1 日で完了する。
- 標定点を壁に設置する(図-8)ことができる。

上記の理由に加えて、光源に依存しない反射強度が高いもの(※1)を評定点として使用することで解析(図-9)が可能となり、作業効率の向上に繋がった。



図-8 反射強度の高い標定点

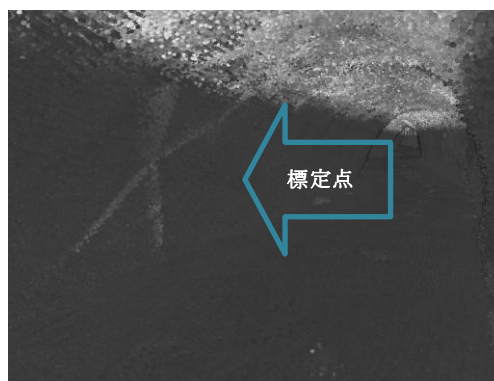


図-9 点群データの標定点

3-4 改善点の分析

本業務を通じて、HLS の精度向上と効率化のための改善点を以下に述べる。

- 標定点の間隔を広く設定したことで点群合成に時間を要したが、点数を増やすことで精度向上と時間短縮の可能性が示された。
- 計測時の光量を増加させることで、図-8 のように岩盤の色味まで判別可能となり、隧道内部の状況をより明確に把握できたと考えられる。

上記の改善点を有するものの、狭小・暗所・水部などの制約条件下でも、適切な機器選定と工夫により高精度な三次元計測が可能であることが実証された。特に SLAM 技術の活用は、従来手法では困難であった狭隘空間での効率的な計測が実現された。

本業務により得られた三次元点群データは、隧道内部の詳細な形状情報(図-10、11)を高精度で記録することができた。これにより、従来の図面で

は表現困難であった複雑な三次元形状や局所的な変形状況を正確に把握することが可能となった。
(図-12)

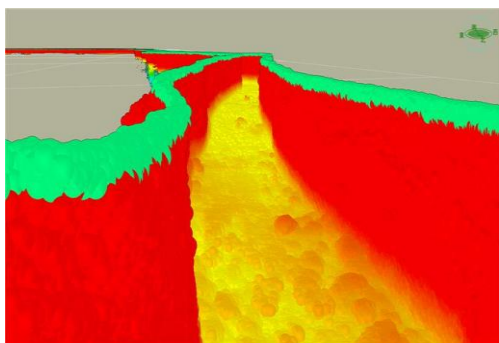


図-10 点群データ(段彩で色付け)

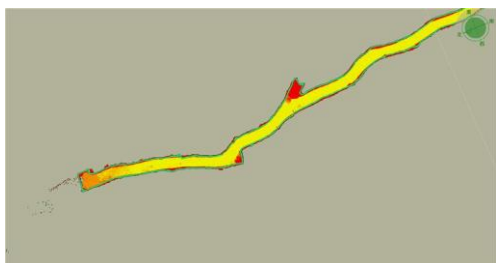


図-11 平面図作成に使用した点群データ

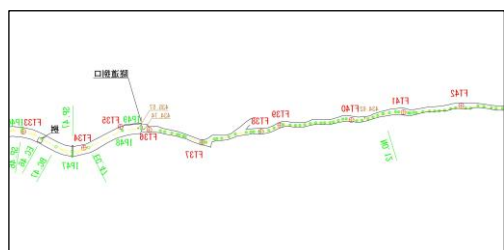


図-12 点群データから作成した平面図

4. おわりに

4-1 技術的成果

狭小隧道区間における 3D レーザー計測には、SLAM 技術を搭載した HLS の技術的有効性が実証され、文化財保護の観点から重要な成果が得られた。

現場制約条件下における適切な機器選定と技術的対応が計測精度確保に重要であることが確認された。

4-2 他の現場への適用条件

本手法の他現場への適用にあたっては、以下の

条件を満たすことが重要である。

- 狭隘空間（高さ 1m 未満、幅 1m 未満）での計測が必要な現場
- 従来手法での機器設置が困難な制約条件を有する現場
- 短期間での作業完了が求められる現場
- 文化財保護等で非破壊・非接触計測が必要な現場
- 1cm 程度の計測精度で実用上十分な現場

4-3 今後の留意点

今後の類似業務実施にあたっては、以下の点に留意することが重要である。

- 事前の現地踏査による制約条件の詳細把握
- 基準点配置計画の十分な検討（特に狭隘部での視通確保）
- SLAM 技術の特性を活かした計測ルートの最適化
- 従来手法との比較検証による精度確認の実施
- 関係者（農業用水利用者等）との十分な調整

4-4 今後の技術発展への展望

AI 技術との連携による自動解析や、クラウド環境でのデータ共有・管理の仕組みの整備により、より効率的かつ高度な文化財保護の実現が期待される。また、本業務で蓄積された技術的知見は、類似する歴史的土木構造物の調査・保全に広く応用可能であり、文化財保護分野における測量技術の標準的手法として発展することが期待される。

謝辞

本業務の遂行にあたり、小山町ならびに地域住民の皆様のご理解とご協力に深く感謝申し上げます。また、文化財保護の重要性をご理解いただき、調査期間中の通水停止にご協力いただいた関係者の皆様に心より御礼申し上げます。

※1 反射強度は道路舗装面のように硬く滑らかなものは高く、草地のように柔らかく不規則な表面では低い傾向になる。本業務ではビニールテープ使用