

地すべり排水トンネルの維持管理に係るハンドヘルドレーザ計測を用いた壁面性状把握と崩落リスク評

価手法の検討

中日本航空株式会社 ○高仲貴志 秦野輝儀 城下奨 大崎裕司 圓井悠平

1, はじめに

地すべり対策として施工される排水トンネル等は、小断面かつ長大な閉鎖空間であり、その維持管理においては多くの課題が存在する。特に、坑内は GNSS 信号が到達しないため異常箇所の詳細な位置特定が困難であり、また無巻き区間における局所的な岩盤崩落は、排水機能の低下や閉塞に直結する。従来行われてきた目視調査や打音検査では、高所へのアクセスや定量的かつ網羅的な評価に限界があった。本研究では、GNSS 受信不可環境下でも高精度な自己位置推定が可能な、最新のハイブリッド型ハンドヘルドレーザ計測機を導入した。絶対座標を付与した高密度・高精度な 3 次元カラー点群データを取得し、トンネル壁面の性状把握、微小な人工変位の検出限界、ならびに過年度データとの三次元差分解析による局所的な崩落（経年変化）の抽出について、技術的な検証を行った結果を報告する。

2, 計測手法およびデータ処理

2.1, 基準点測量と絶対座標の付与

供用中の地すべり排水トンネル（一部無巻き区間を含む）を対象に、トンネル坑内外に基準点を設置した。GNSS 測量およびトータルステーションを用いたトラバース測量を実施し、計測データに絶対座標を付与するための基準網を構築した。山間部の通信環境が乏しい現場においては、衛星通信サービスを活用し、ネットワーク RTK 法による高精度な測位環境を確保した。

2.2, ハイブリッド型ハンドヘルドレーザによる計測

計測には、3 方向のカメラと GNSS を搭載したハイブリッド型（RTK・レーザ SLAM・ビジュアル SLAM 統合）ハンドヘルドレーザスキャナを用いた。暗所での色情報取得のため、高輝度の LED 投光器を併用した。無巻き区間や特徴点が乏しい覆工コンクリート区間では自己位置推定を見失う「SLAM エラ

ー」が発生しやすいため、安価で設置が容易なプラスチック段ボール等を人工的な特徴点として壁面に配置し、計測軌跡の安定性向上を図った。

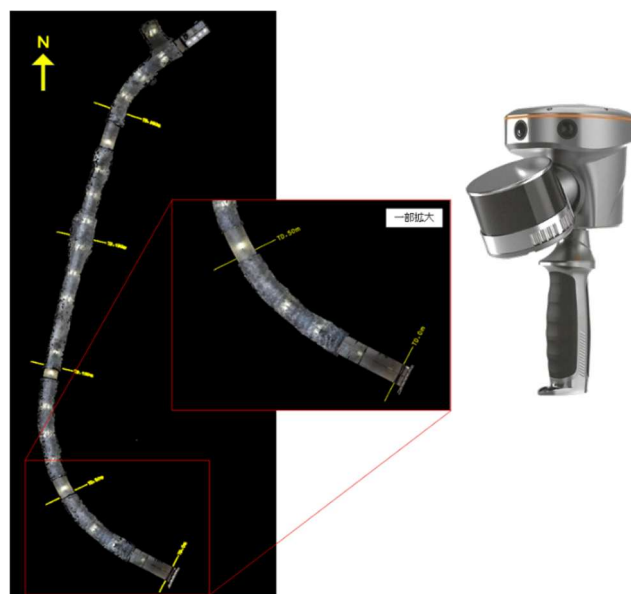


図1 計測システムと取得されたトンネル(240m)の3次元点群データ全体

2.3, データ処理と可視化

取得した点群データから、トンネル内空以外のノイズ（作業員や機器の影など）を除去し、坑口を起点としたトンネル長の距離指標（50m 間隔等）を付与した。これにより、後続の維持管理において、異常箇所の正確な位置特定が容易になる環境を構築した。

3, 技術的検証とその結果

3.1, 壁面性状の識別検証

取得した高密度点群が持つ「色情報 (RGB)」と「反射強度情報 (Intensity)」を利用し、壁面の変状識別性を検証した。色情報を用いたカラー点群では、十分な照明下において、覆工面のひび割れやエフロレッセンス、漏水の分布状況を明瞭に判読することが可能であった。一方、レーザの反射強度情報による岩相や漏水の判読を試みたが、トンネル内壁面の湿潤状態（濡れ具合）によって反射強度の値が大きく減衰・変化してしまうため、常に水が介在する地すべり

排水トンネルのような環境下においては、反射強度単体での明確な変状識別は困難であることが判明した。

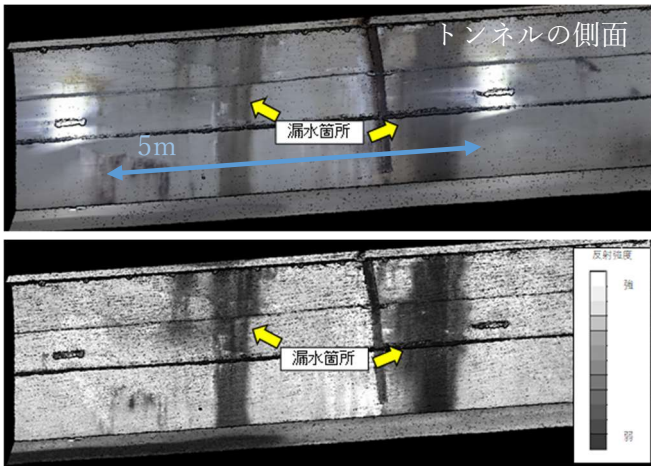


図2 カラー点群 (RGB) と反射強度点群の比較

3.2, 人工変位による差分検出精度の検証

計測機器の変位検出限界を定量的に把握するため、トンネル内に大きさや材質の異なる人工変位 (1~20cm の紙製・木製・アルミ・真鍮製キューブ、および厚さ 2~15mm のアクリル板) を設置し、設置前後での 3次元点群データの差分解析を行った。検証の結果、3cm 以上の変位 (物体) であれば、床面との区別が明確につき、確実な検出が可能であった。さらに 10cm 以上の変位であれば、物体の形状まで正しく把握することができた。一方で、数 mm 単位の変位 (アクリル板の厚み差など) については、レーザーのフットプリント等の影響により点群のばらつきに埋もれてしまい、視認および検出が困難であることが確認された。



図3 人工変位 (キューブ) の検出限界の検証結果

3.3, 過年度計測データとの三次元差分比較による経年変化抽出

数年前に従来型の SLAM 機器で計測された既往点群データと、本業務で取得した最新の点群データと

の比較検証を行った。二時期のデータにおいて不動とみなせる箇所 (トンネル壁面の特定形状など) を基準に相対的な位置合わせを行い、三次元差分解析を実施した。計測機器の特性違いによる SLAM 特有の歪み (床部が数 cm 程度浮く現象等) は一部で見られたものの、無巻き区間における局所的な岩盤の小規模な崩落 (抜け落ち) や、側溝部における土砂の堆積箇所を、数十 cm スケールでの明瞭な三次元的差分として可視化・検出することができた。これにより、目視では見落としがちな経年変化を定量的に抽出できることが確認された。

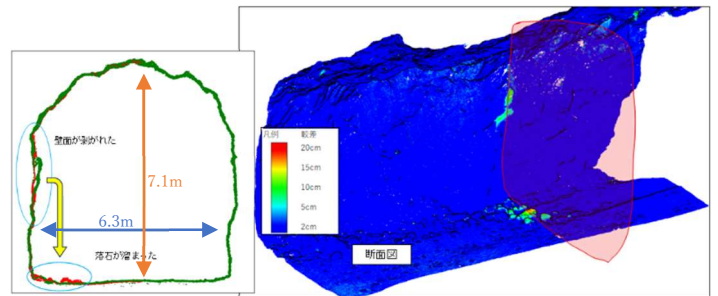
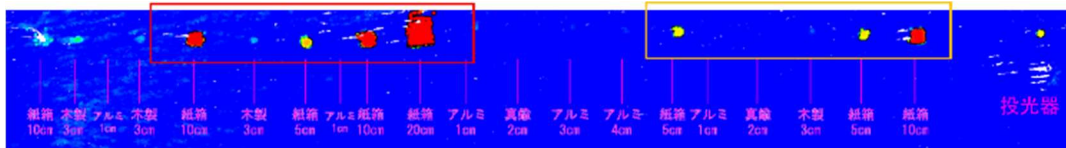


図4 過年度データとの3次元差分解析による局所崩落箇所の抽出

4, 考察と今後の展望

本研究により、ハイブリッド型ハンドヘルドレーザ計測を活用することで、閉鎖的かつ過酷な地すべり排水トンネル内においても、効率的かつ安全に絶対座標を持った高精度な 3次元空間モデルを構築できることが実証された。検証を通じて、数 mm オーダーの微小変位や湿潤環境下での反射強度解析には機器の物理的限界があることが明らかになったものの、3cm 以上の変位や過年度比較による局所的な岩盤崩落については、極めて有効に可視化・抽出できることが確認された。本計測手法および解析プロセスは、危険な無巻き区間での滞在時間を最小限に抑えつつ、定量的な安定性評価や維持管理を行うための

基盤技術として有用である。今後は、機器間の SLAM 軌跡の歪み補正技術のさらなる



高度化や、AI を用いた点群からの変状箇所・岩相判定の自動抽出技術を組み合わせることで、トンネル維持管理業務の飛躍的な省力化と高度化が期待される。