

## 令和7年度 研究成果の概要(1/2)

|  |
|--|
| 研究テーマ:「地下トンネル変形・変状計測システムの開発」   |
| <b>研究代表者</b><br>・氏名(ふりがな):全 邦釘(ちよん ばんじょ)<br>・所属、役職:東京大学大学院, 特任教授   |
| 研究期間:令和7年4月～令和10年3月  |
| <b>研究参加メンバー(所属団体名のみ)</b><br>横浜国立大学   |
| <b>研究の背景・目的</b><br>首都圏外郭放水路は治水の要だが、施設の高齢化に加え、大規模地震発生時の迅速かつ正確な安全確認が喫緊の課題である。本研究では、UAV による広域な状況把握、歩行型 LiDAR や光切断法を用いた 3 次元計測を実証する。これらにより、目視困難な変状検知や維持管理の効率化を図るとともに、平時および災害時双方に対応可能な、データに基づく予防保全への転換を目指す。   |
| <b>研究内容(研究の方法・項目等)</b><br>本研究では、首都圏外郭放水路における平時の維持管理および災害時の迅速な安全確認に向けた DX の実現可能性を探るため、複数の先端計測技術を適用した性能検証を行った。具体的には、広域的な 3 次元形状の把握、局所的な高精度変状計測、および暗所閉鎖空間における異常検知の 3 点に着目し、実適用に向けた基礎的な実証実験を実施した。<br>第一に、現地実証実験によるデータ取得である。実験は令和7年11月12日、第3～第4立坑間および第4～第5立坑間のトンネル部を対象に実施した。手法は以下の3点である。 <ol style="list-style-type: none"> <li>1. UAV による SfM 解析および安全確認: 非 GNSS・暗所環境下での長距離飛行性能を検証するとともに、取得画像からの 3 次元点群生成、および崩落等の大規模な異常有無を視覚的に判断する巡視手法を試行した。</li> <li>2. 歩行型 LiDAR (Map IV 社製) による計測: 移動体計測システムを用い、広範囲の 3 次元空間データを迅速かつ効率的にデジタル化する手法を検証した。</li> <li>3. 光切断法による計測: 対象物にラインレーザーを照射し、その反射光をカメラで撮影することで、三角測量の原理に基づき画像上のレーザー位置から高精度な断面形状を算出した。</li> </ol> 第二に、取得データの解析および評価アルゴリズムの構築である。ここでは点群データからトンネルの変形状況を把握するため、中心軸を推定して等間隔に断面を抽出し、ノイズを除去した上で最適近似円をフィッティングする手法を用いた。この際、設計形状からの乖離度や動径残差を算出することで、変状を定量化する。本研究では、これら一連のフローを統合し、実務への適用可能性を検証する。 |
|    |
| 左図:照明搭載 UAV によるトンネル撮影の様子<br>中図:歩行型 LiDAR による広範囲の3次元空間データの取得の様子<br>右図:光切断法のためにラインレーザーを照査している様子  |

## 令和7年度 研究成果の概要(2/2)

### 研究成果の概要

以下に本研究の主要な研究成果を要約する。まず、UAV を用いた SfM 解析による 3 次元空間の復元である(図 1)。非 GNSS 環境かつ低照度という過酷な条件下においても、UAV 撮影結果の解析によりトンネル内部の広範なテクスチャ付き 3 次元点群モデルの構築に成功した。今後は、現地での操作を必要としない無人計測の実現を目指す。

次いで、歩行型 LiDAR による高速かつ広域なデータ取得の検証である。Map IV 社製の移動体計測システム (SLAM 技術搭載) を用いることで、歩行速度に近い短時間で完了することができた。一方で、解析結果においては、トンネルの長手方向に対して整合性が十分に保たれない箇所が確認された(図 2)。これは、類似した断面形状が連続するトンネル特有の環境において、SLAM による自己位置推定が困難となる課題が浮き彫りとなったものである。この点については、特徴点の少ない長大地下空間において、新たな補正手法の必要性を示す重要な知見である。



図 1 SfM により復元されたトンネル内 3 次元点群モデル

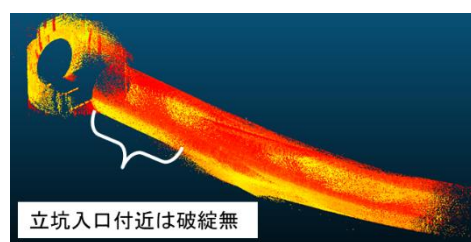


図 2 歩行型 LiDAR による広域点群データ取得結果

また、光切断法による高精度計測および取得データを用いたトンネル断面の定量的評価についても示す。本検討内容は実寸法が確実に分かるものを対象にするため、1/5 スケールのトンネル模型内で実施した。まず、光切断法を適用することにより、トンネル指定断面における輪郭のみの抽出が可能であることを確認した。これにより、後続の点群への変換や差分計算の計算負荷が低減でき、高速化が達成できる(図 3)。さらに、当該輪郭を SfM により点群データへ変換し、既知の距離との比較による精度検証を実施した。その結果、トンネル壁面形状をミリメートル単位の高精度で取得でき、所定断面の輪郭を正確に把握可能であることを確認した。本手法により得られる高精度な断面計測精度は、トンネル変状、すなわち断面寸法変化を推定する上での精度を保証するものである。さらに、これらの結果や SfM 等で取得した点群データに対し、独自に構築した解析アルゴリズムを適用し、どのくらい原型から変わっていないか解析を行う手法を構築した(図 4)。

さらに、災害時を想定した暗所環境下における UAV 点検の有用性確認である。照明が限られた環境下において、UAV に搭載された照明とカメラを用いて、床面の土砂堆積状況や壁面の異常有無をモニタリングした。鮮明な映像取得により、仮に異常が生じていた場合でも十分に状況を判断できる見込みがあることが示された(図 5)。これは、地震直後などの作業員が立ち入ることが危険な状況下において、UAV が「先行調査員」として安全かつ迅速に施設内の安全確認を行えることを実証するものである。

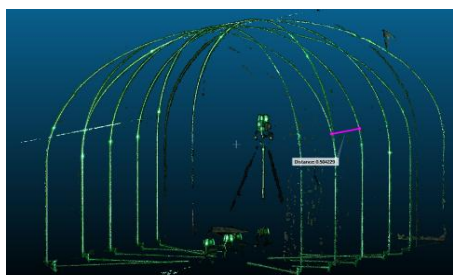


図 3 光切断法による高精度断面輪郭

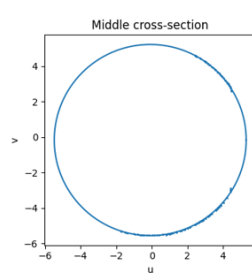


図 4 真円度評価解析



図 5 暗所環境下における UAV 撮影画像

以上の成果より、本研究で提案したマルチモーダルな計測・解析手法は、首都圏外郭放水路のような大規模地下インフラにおいて、平時の定量的な予防保全と、有事の迅速な安全確認の双方を実現する DX ソリューションとして極めて高い有用性を持つことが明らかとなった。今後は、遠隔・無人計測の実現と、データの蓄積による経年変化分析へと発展させることで、より高度なインフラ管理体制の構築が期待される。