

自律走行式水路トンネル調査ロボットの開発

田中 勉* 小栗 利夫**
 Tsutomu Tanaka Toshio Oguri
 本山 昇** 手塚 裕紀***
 Sho Motoyama Yuki Tezuka

1. はじめに

水力発電所等の水路トンネルでは、国から3年に一度の調査点検が義務付けられており、その作業内容としてトンネル内部からの近接目視などによる覆工のひび割れなどの変状や漏水の発生状況の把握が求められている。しかし、延長が数キロメートルにもおよぶ水路トンネルに人が進入しての作業には、点検者の安全や身体的負荷といったリスクだけでなくコスト・手間を要している。また、取得した情報を処理する作業にも時間と手間が掛かっているため、省力化・効率化が求められている。そのような背景から、これまでもドローン型、浮体型、飛行船型など、人の代わりに調査点検するロボットの開発が進められているが、積載できる重量の制約から小容量のバッテリーしか搭載できないことで飛行時間が短かったり、坑内の水流や風況条件によっては機体の方向制御が困難であったりするなどの課題があった。

そこで、調査点検業務の省力化・効率化を図るため、水路トンネル内をトンネル線形に沿ってトンネル中央を維持しながら自律走行する水路調査ロボットを開発した。

本稿では、開発した調査ロボットの概要について報告する。

2. 自律走行式水路トンネル調査ロボットの概要

本ロボットは、自律走行可能な走行部と、各種カメラや照明、バッテリーなどからなる計測部によって構成されている(図-1、写真-1)。走行部は、LiDARにより壁面との位置関係を把握して、トンネル線形に沿ってトンネル中央部を維持しながら自律走行する(図-2)。走行部上部に搭載した計測部には、高解像度の計測カメラ5台をトンネル断面方向に対して半円形状に搭載しており、トンネル壁面の高精細な画像をくまなく取得できる。さらに同部の前後に、広角レンズを取り付けた映像カメラを1台ずつ搭載しており、坑内の漏水や異常箇所を映像として記録することができる。また、取得した画像から、ソフトウェアによる画像解析によって3次元モデルを構築し、その後オルソ画像抽出・展開図の作成を行い、



写真-1 調査ロボットの全景

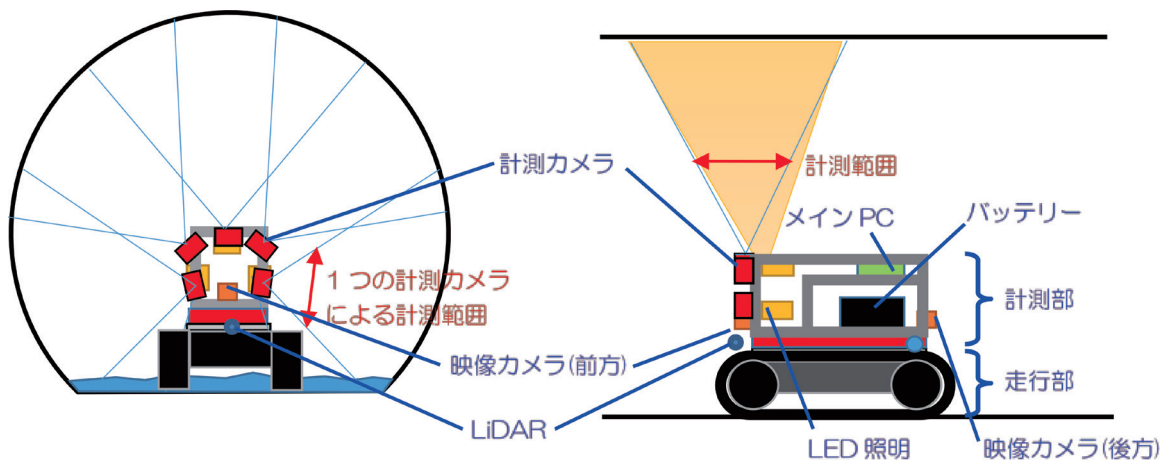


図-1 調査ロボットによる計測イメージ図

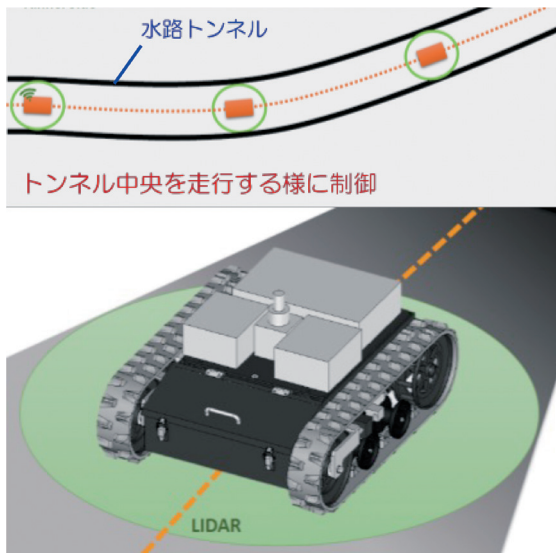
* 技術研究所先端技術グループ
 (現: DX 戦略室デジタル技術革新部技術革新課)

** 技術研究所先端技術グループ

*** 土木技術部リニューアル課

表一 主要諸元

項目	仕様
寸法	L870×W720×H1130
重量	208 kg
走行速度	1.8 km/h
走行性能	電動駆動クローラ式
登坂能力	15 度
撮影方法	PC 制御による連続撮影
シャッター速度	1/500~1/1000 sec
撮影解像度	6000×4000 画素 (jpg 形式)
距離測定	ロータリーエンコーダーによるパルス入力
電源	DC24V



図一 調査ロボットの走行イメージ図

AI を用いてひび割れを自動検出する。調査ロボットの主な仕様を表一に示す。

3. 調査ロボットの主な特徴

以下に水路トンネル調査ロボットの特徴を示す。

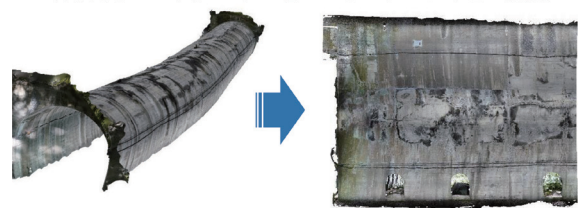
- ① 直径 6 m 程度、延長 2 km 程度のトンネル内を調査点検可能。
- ② 微細なひび割れ（幅 0.1 mm 以上）の検出が可能。
- ③ トンネル壁面の画像に加え、坑内状況（漏水など）を映像として記録するため、補修・改修計画の事前検討において基礎情報が収集可能。
- ④ SLAM 技術の活用により、自己位置推定と環境地図作成が可能。
- ⑤ AI によるひび割れ自動検出によって、検出結果の客観性の担保および点検者の変状抽出作業の負担を軽減。

4. 撮影データの処理概要

4.1 撮影画像の結合

撮影された画像はフォトグラメトリ（SfM）ソフトにより 3 次元モデルの合成を行う。その後モデルを 2 次元に展開する（図一 3）。

作成された 3 次元モデルをトンネルアーチ中心で展開



【3D 画像の作成】

【展開画像の作成】

図一 3 撮影画像の処理方法

4.2 損傷展開図の作成

展開された画像から損傷展開図を作成する手順を以下に示す。

① ひび割れの自動抽出

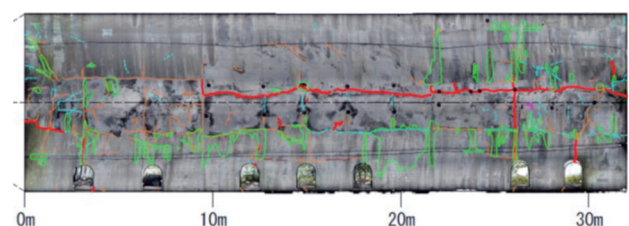
AI 検出ソフトによりひび割れの自動検出を行う。抽出されたひび割れを DXF 形式の CAD データとして出力する（図一 4）。



図一 4 AI ひび割れ検出ソフトによる結果例

② CAD による損傷図の作成

予め損傷図のベースとなる CAD データを用意し、2 次元に展開された画像を読み込み該当する箇所に尺度を合わせデータを張り付ける。CAD データ上に自動抽出されたひび割れの DXF データを読み込む（図一 5）。



図一 5 損傷展開図の結果例

5. おわりに

老朽化する導水トンネルの調査点検業務の省人化・効率化を図るため、自律走行型水路トンネル調査ロボットの開発を行った。今後は調査ロボットの適用事例を増やすとともに、更なる改良を行う事により、様々な水路トンネルに適応可能な柔軟性の高い調査ロボットの構築を目指していく所存である。