我が社の技術PR

まかせられる人が、いる。
NISHIMATSU

水路トンネル目視点検の省力化を目指した点検技術の開発

西松建設株式会社　技術研究所
本山　昇
鈴木　健

1 はじめに

農業用水で使用される水路トンネルは、社会インフラの一つとして重要な役割を担っているものの、施設の老朽化への対応が課題となっている。水路トンネルを長期的に運用するためには、壁面を定期的に点検し、変状の発生や進行を把握して、必要に応じて補修・補強を実施しなければならない。トンネル壁面の点検は、点検者による目視点検および点検ハンマーを用いた打音検査によって実施する。目視点検では主にひび割れ調査を実施[1]し、点検結果はひび割れ展開図や調書を作成する。しかしながら、点検者による目視点検は、身体的負担、天端部等の目視困難な箇所でひび割れを見落とす懸念、および点検結果の評価が主観的になりやすいなどの課題がある。

これらの課題に対して筆者らは、トンネル壁面の画像を効率的に取得する自律走行式ロボットと、画像からひび割れを自動検出する、AIを活用した画像解析ソフトを組み合わせた点検技術を開発した。本技術による点検を目視点検の代替とすることで、身体的負担の低減、見落とし防止および結果の客観性確保に加え、点検作業の省力化・省人化が期待できる。

本稿では開発したひび割れ点検技術の概要と、実証試験の概要およびその結果について報告する[2)3)4)5)]。

2 開発技術の概要

2.1　自律走行式ロボット

開発した自律走行式ロボットは、全長910mm、全幅700mm、全高1,310mmとし、トンネルSL（Spring Line）幅2.5m ～ 6m程度に適用可能な仕様とした（写真１、表１）。ロボットはトンネル内を自律走行する「走行ユニット」と、壁面の画像取得を行う計測用カメラやLED照明等を搭載した「計測ユニット」で構成される。なお本ロボットを使用した水路トンネル調査は、トンネル幅1.8mでの適用実績があるとともに、自律走行のみであればトンネル幅1.0mでも走行できることを確認している。

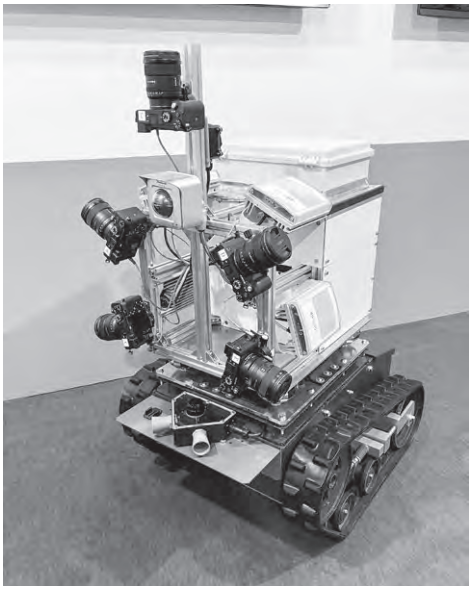

写真１　自律走行式ロボット

表１　自律走行式ロボットの主要諸元

項目	仕様・性能
寸法	全長：910mm × 全幅：700mm × 全高：1,310mm
質量	約210kg（走行ユニット150kg・計測ユニット60kg）
走行速度	最高速度 約2km/h
適用断面	SL幅2.5 ～ 6m以下を標準設定 ※現場条件により要相談
適用水深	水深200mm以下
電源・稼働時間	バッテリー駆動・最大約３時間（最長走行距離：片道3km）
計測用カメラ	2,400万画素（6,000×4,000）× 5台
ひびわれ検出性能	最小ひびわれ検出幅0.1mm
無線通信距離	専用コントローラによる遠隔操作：見通し200m（最長）

(1) 走行ユニットの概要

走行ユニットはバッテリーを動力とする電動型を採用し、最高走行速度2km/h、最大約３時間の稼働が可能である。１回あたりの最大調査延長は、片道であれば6km、往復であれば3kmとなる。

水路トンネルの底盤部は長期の運用に伴う洗堀で不陸となっている場合が多いことから、走行部はクローラ型を採用した。クローラ型は接地圧が小さいため、不陸箇所でも安定した走行が可能である。また、走行ユニットの質量は150kg、後述する計測ユニット（走行ユニット上部に搭載）の質量は60kgとし、機体の重心を低くすることで走行時の安定性を高めた。さらに、点検時のトンネル内は通水停止となるものの、底盤部は完全な抜水状態とはならないため、クローラ部の制御装置は防水仕様とし、水深200mm以下であれば走行可能とした。自律走行はLiDAR（Light Detection and Ranging）を使用し、トンネル側壁面との距離を常時計測することで、常にトンネル壁面間の中央を維持することとした。この機能により、トンネル壁面と計測用カメラとの距離を一定に保持でき、撮影距離の変化に伴う画角の変化や、ピンボケを抑制することが可能となった。自律走行は次の３つの走行パターンを備えている（図１）。

①設定距離到達による自律帰還

②障害物（行き止まり）による自律帰還

③障害物を回避しての走行継続

また、走行モードは自律走行モードとマニュアル走行モードの切り替えが可能であり、拡幅部等の自律走行が難しい特殊区間では、専用コントローラを用いた遠隔操作も可能である。

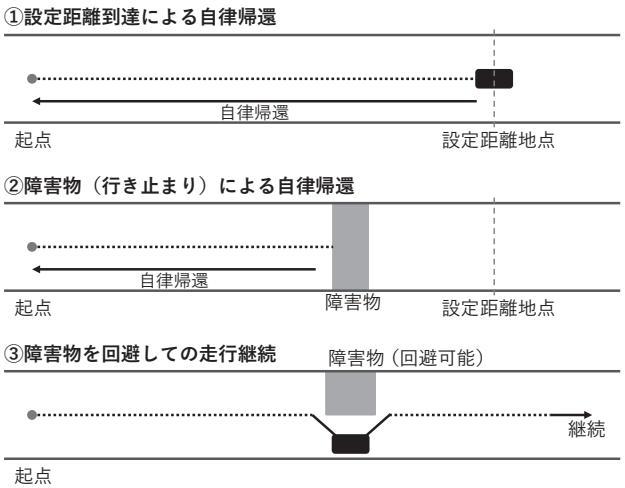

図１　３種類の自律走行イメージ

(2) 計測ユニットの概要

計測ユニットには、約2,400万画素の高解像度カメラ５台をトンネル断面の法線方向に均等配置した。これにLED照明４灯を組み合わせることで、照明設備のない水路トンネル内でも解析可能な画質を確保した。このカメラ配置により、馬蹄形断面であれば１回の自律走行でトンネル壁面全周（底盤部を除く）の画像が取得できる。また、前方・後方には広角カメラを搭載し、計測用カメラでは撮影が難しい底盤部や坑内全体の概況確認も可能とした。

2.2　AI画像解析ソフト

ひび割れ検出作業の効率化を図るため、ロボットによって取得した壁面画像から、AIを活用した画像解析ソフトを用いてひび割れを検出することとした。本ソフトは、連続した複数枚の画像から展開画像を生成し、画像上のひび割れを自動的に検出できる。これにより、ひび割れ検出作業が自動化され、点検者の主観に依存しない客観的な点検結果が得られる。また、目視点検では観察しにくいトンネル天端部等の箇所も、画像からひび割れを検出できるため、見落としの防止につながる。さらに、本ソフトは検出したひび割れの幅や長さ等の情報を、テキストデータや図面データとして出力でき、点検結果を電子データとして記録・蓄積することが可能である。この機能により、過去の点検結果との比較や経時変化が把握できる。

写真２　自律走行性能の試験状況

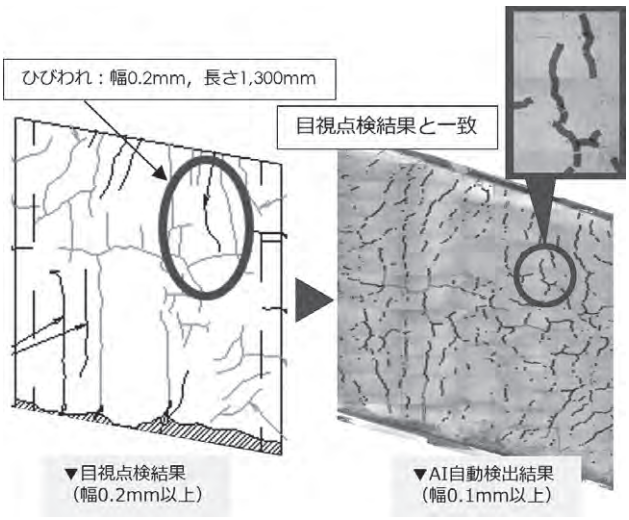

図２　ひび割れ点検結果の比較例

3 実証試験による性能検証

3.1　ロボットの自律走行性能試験

開発したロボットの自律走行性能を検証することを目的に、馬蹄形水路トンネルでの走行試験を実施した（写真２）。試験はインバート幅約2.8mの水路トンネルにおいて、坑口から500mの区間を自律走行できるかを検証した。その結果、トンネル中央部を維持しながら往復約1kmの自律走行を確認した。走行路には緩やかな曲線区間や不陸区間もあったものの、これらの区間においてもトンネル中央部を安定して走行できることを確認した。

3.2　ひび割れ検出性能試験

ボックスカルバート水路（内空寸法：長さ約6.4m、幅約5m、高さ約2.1m）を対象に、ひび割れ検出精度を検証した。試験ではロボットを使用して撮影した壁面画像からAI画像解析ソフトを用いて検出したひび割れと、点検者による目視点検結果を比較した（図２）。その結果、目視点検で対象とした、幅0.2mm以上のひび割れと、本ソフトで検出されたひび割れは概ね一致し、AI画像解析ソフトのひび割れ検出性能が点検者と同等であることが確認できた。

4 おわりに

筆者らは水路トンネルの目視点検の省力化を目的に、自律走行式ロボットとAI画像解析ソフトを組み合わせた、ひび割れ点検技術を開発した。開発した技術は実際の水路トンネルを対象とした実証試験により、目視点検の代替として実調査へ適用可能であることを確認し、実際の点検調査業務で活用しはじめている。一方で、実証試験や点検調査業務を通じて、解決すべき課題も確認されている。今後も本技術による点検調査業務の実績を積み重ねるとともに、明らかとなった課題の改善を進め、水路トンネル目視点検の更なる省力化・効率化を図る所存である。

参考文献

1）公益社団法人土木学会エネルギー委員会編：「水路トンネル維持管理の手引き」、公益社団法人土木学会、p.108、2021年7月
2）本山昇・田中勉・鈴木健・手塚裕紀、伊藤幸広：「自律走行式小断面トンネル調査ロボットの開発」、土木学会全国大会第79回年次学術講演会講演概要集、VI-579、2024年9月
3）本山昇・鈴木健・伊藤幸広：「水路トンネル調査ロボット（Tunnel-Rover®）による点検技術の開発」、電力土木、No.435、p.54、2025年1月
4）本山昇・鈴木健・伊藤幸広：「水路トンネルにおける目視点検作業を省力化・効率化 自律走行式ロボット（Tunnel-Rover®）とAI画像解析ソフトによるひび割れの自動検出技術」、建設機械施工、Vol.77、No.4、pp.54-58、2025年4月
5）鈴木健・本山昇・伊藤幸広：「水路トンネル目視点検の省力化ロボットの開発 自律走行式水路トンネル調査ロボットTunnel-Rover®」、画像ラボ、第37巻、pp.36-41、2026年2月