

自走式水平ボーリング孔内観察ロボットの開発

株式会社大林組 技術研究所 正会員 ○藤岡大輔, 中岡健一, 森拓雄

1. はじめに

山岳トンネル工事では、切羽前方の地質状況を把握し地山を評価するため、オールコアボーリングやノンコア削孔探査が実施される。前者ではコア採取時にコアの流出や割れが生じた区間は、亀裂等の不連続面の方向や頻度を求めることができない。後者は脆弱な層の予測は可能であるが、その原因(亀裂、風化変質など)を特定することは困難である。そのため、孔内の直接観察により、上述した項目を補うことが重要となる。

筆者らは、これまで 50m のノンコア削孔探査孔の可視化のため簡易な孔内カメラを開発し、実用化している。近年、その適用範囲を超える削孔長 100m 以上のボーリングが施工されることが多くなってきた。亀裂の方向を正確に取得するには孔壁展開図が有効であるが、展開図を作成するためにはカメラを定速で移動させる必要がある。しかし、従来の孔内カメラは手押しで挿入するため、定速移動が困難であった。そこで、観察長 150m を目標とした孔内観察と孔壁展開図の作成を行うため、水平ボーリング孔を定速走行可能な自走式孔内観察ロボット(以下、孔内観察ロボットと記す)の開発を行っている。本報告では、孔内観察ロボットの概要と、実際のボーリング孔への試行事例を述べる。

2. 自走式孔内観察ロボットの概要

図 1 に孔内観察ロボットの概観、図 2 に孔内観察ロボットの機器一式を示す。また、以下に孔内観察ロボットの特徴を列挙する。

- 孔内観察ロボットの車体は全長 1.2m、重量 11.4kg であり、LED 照明付きカメラと駆動輪、従動輪で構成される。
- 走行機構はタイヤ方式である。
- センサーとして、傾斜計と方位計を搭載している。
- 走行距離は、孔口に設置した測長器により計測する。
- 孔内観察ロボットは、坑内に置かれたコントローラーBOX にケーブルを通じて接続されており、コントローラーを操作して制御する。
- コントローラーBOX に接続されたノート PC には、図 3 に示したように孔内映像と走行距離、孔内観察

ロボットの姿勢(ピッチ角、ロール角、方位角)がリアルタイムに表示され、孔内状況を確認しながら孔内観察ロボットの制御が可能である。

- 孔内映像は、ロール角(ボーリング軸回りのカメラの回転角)の値に応じて回転補正されて表示される。
- 自重やケーブル牽引荷重、流水抵抗を考慮して牽引力を設計している。
- IPX5 相当の防水性能を有する。
- 対応するボーリング径は 85mm, 92mm, 100mm であり、それぞれの径に対応したタイヤを装着する。
- 移動速度は 5m/分である(100mm 径用タイヤ装着時)。

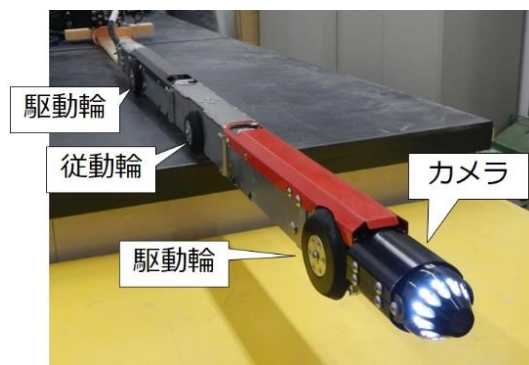


図 1 孔内観察ロボット



図 2 孔内観察ロボットの機器一式

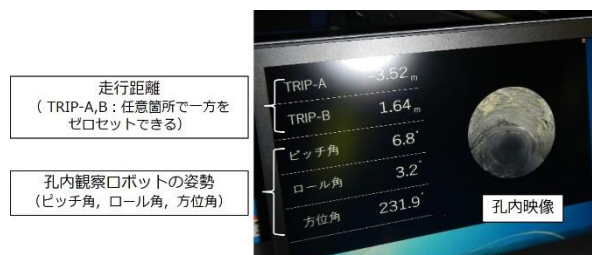


図 3 孔内映像と情報表示

キーワード：山岳トンネル、孔内観察、切羽前方探査、水平ボーリング、孔壁展開図

連絡先：〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 大林組技術研究所 Tel：042-495-1015

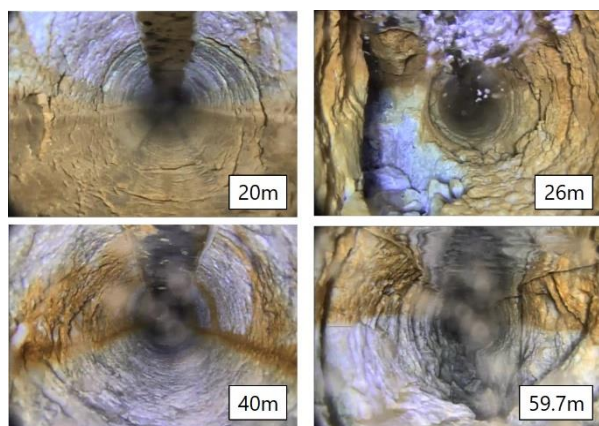


図4 撮影された孔内状況

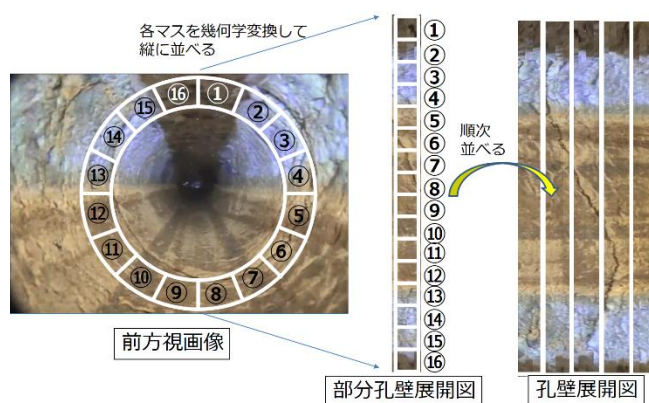


図5 孔壁展開図の作成方法の概要

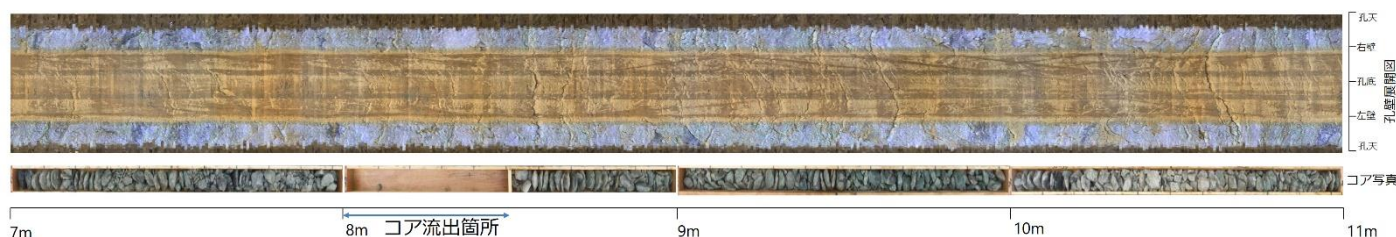


図6 深度7~11m区間のコア写真と孔壁展開図との比較

3. 実際のボーリング孔への試行事例

2車線道路トンネルの建設現場において、PS-WL工法で施工されたボーリング孔を用いて孔内観察ロボットの走行試験を行った。以下にボーリング孔の詳細を示す。

- ボーリング孔長：103m ■ ボーリング内径：101mm
- 地質：硬質なチャート ■ 支保パターン：CI
- 湧水状況：0.12m³/分 ■ コア径：45mm
- 削孔角度：上向き1度，トンネル軸に対し左に3度

(1) 孔内観察の状況

図4に撮影された孔内状況を示す。孔内は断面の9割以上湧水で満たされていたが、80mm/秒で定速走行できた。鉄分を含む湧水により、一部が茶色く酸化した壁面を確認した。孔口から20m地点では開口幅10mm程度の亀裂が連続的に確認された。26m地点に開口幅30~40mmの亀裂があり、気泡を伴う湧水の流入を確認した。この地点では、亀裂を乗り越えて通過することができた。40m地点では、開口幅10mm未満の亀裂が多く存在しており、凹凸の多い荒れた孔壁であった。59.7m地点には開口幅50mm以上と推定される亀裂があったため、走行を中止した。孔内観察の所要作業時間は、往路と復路を含めて合計26.5分であった。

(2) 孔壁展開図とボーリング調査結果との比較

図5に孔壁展開図の作成方法の概要を示す。撮影された前方視画像の一部をリング状に16マスに分割して切り出す。台形状の各マスを正方形に幾何学変換して

縦に並べることにより部分孔壁展開図が作成できる。部分孔壁展開図を孔内観察ロボットが一定距離進むごとに作成し、それらを並べることで孔壁展開図が作成される。カメラが回転した場合は、傾斜計の値より孔壁展開図を補正し、亀裂の走向傾斜や幅を算定できる。

図6にボーリング調査結果の例として深度7~11m区間のコア写真と孔壁展開図を比較した結果を示す。岩質はチャートであり、きわめて新鮮でハンマーでは容易に碎けないが、ディスク状コアは3~5mmほどの幅で連続的に採取された。8~8.5m区間ではコアが砕かれて細粒化したため、コアが流出していた。そこで、コア流出部を孔壁展開図によって確認したところ、その地点は周辺の孔壁との違いは見られず、その前後と同じ岩種であることが確認できた。

4. おわりに

自走式の孔内観察ロボットを実際のボーリング孔で走行試験を行った結果、59.7mまで到達することが出来た。また、孔内を定速走行させて孔壁展開図を作成することにより、ボーリング調査結果の信頼性を向上させることができた。今後は、ノンコア削孔探査孔の孔内観察にも適用し、ノンコア削孔探査孔からでもコア情報を得るための試験を行う。

参考文献

- 1) 藤岡大輔，畑浩二：簡易な孔内カメラを用いたノンコア削孔切羽前方探査の高精度化，土木学会第70回年次学術講演会講演概要集，VI-684，pp.1367-1368，2015