

トンネル切羽直近作業を代替するモバイルロボットの開発 —アタリ確認を代替する自律飛行ドローンと掘削不足箇所明示システムの開発—

株式会社大林組	正会員	○元村	亜紀
株式会社大林組	正会員	谷口	信博
株式会社トップライズ	非会員	中村	寿輝
株式会社トップライズ	非会員	渡邊	卓己

1. はじめに

トンネル掘削現場では、掘削時に設計断面内に残った掘り残し（アタリ）の有無を確認するために、切羽監視責任者監視のもと切羽作業員（坑夫）による目視確認が行われている（写真-1 参照）。この確認作業は、発破により緩んだ切羽付近で行われるため、切羽の崩壊や岩塊の崩落等による労働災害発生リスクがある。そこで、そのリスクを回避するために、アタリ確認作業を代替する自律飛行モバイルロボットを開発した。本開発は、株式会社大林組と株式会社トップライズとの共同研究であり、モバイルロボットの開発は米国カーネギーメロン大学に委託して実施した。本稿では、開発した技術の内容と、掘削中のトンネルで実証試験した結果について報告する。



写真-1 アタリ確認の様子

2. 技術の概要

(1) 機器の構成

自律飛行ドローンを写真-2 に示す。ドローンには、RGB とデプスカメラが内蔵された Intel Realsense D435i が搭載されており、センサー情報をオンボードコンピュータで処理しながら自律飛行を行い、計測用の画像を撮影する。

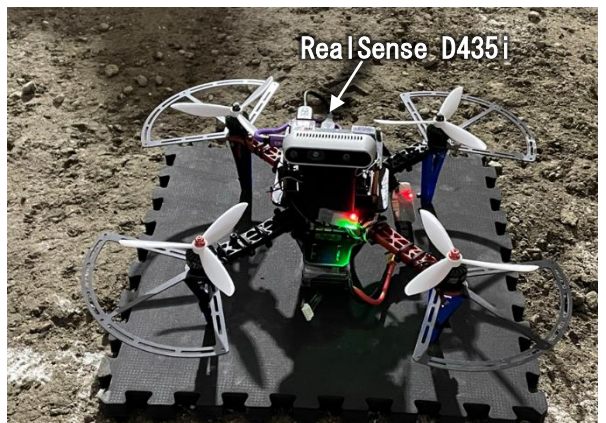


写真-2 自律飛行ドローン

(2) 計測手順

計測手順を図-1 に示す。ドローンは、切羽後方から離陸し、障害物を回避しながら切羽まで自律飛行する。図-1 左下の図が、センサーが認識しているドローン周辺の空間情報である。静的障害物は、マップ情報として取得され、動的障害物は、フレーム表示で移動体として認識される。

ドローンは、センサーで取得したマップ情報と移動体の状態を把握し、自動的に飛行経路を生成して飛行する。

切羽到着後、掘削形状を把握するために、切羽に対してジグザグ飛行しながら画像を撮影する。着陸後、切羽の画像を SfM 解析することで、3D の切羽形状を生成し、切羽形状と設計値との過不足をヒートマップで画面に表示し、アタリ箇所を重機オペレータに指示する。

3. 実証試験結果

(1) 計測精度

計測精度は、従来の目視確認と同等の 5cm 以内を目標とした。精度の確認は、別途 TLS（地上型レーザースキャナ Leica ScanStation P40）で計測した形状を真値として、ドローンで計測した結果と比較した。比較結

キーワード ドローン、自律飛行、SLAM、動的障害物回避、計測

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株) 大林組先端技術企画室技術開発部 TEL 050-3828-7894



図-1 計測手順

果を図-2 に示す。図-2 では、トンネルクラウン部のデータが取得できていないが、ドローンに搭載するカメラの方向を上向きにすることで対応可能である。また、支保工の裏側等、TLS 計測結果との差が大きい部分（赤色）があるが、これは TLS では計測できなかった部分がドローンでは切羽に近接できるため、切羽後方からは影になり計測しにくい部分まで計測できるというドローンの優位点といえる。

(2) 表示

設計値との比較例を図-3 に示す。設計値との比較は、既設の支保工位置を設計値に最も近い正值として相対位置として表示する。表示は、重機のオペレータ席の前に設置したタブレットに表示し、重機オペレータにアタリ箇所を指示する予定である。

4. 今後の予定

今後は、動的障害物回避の対象として、人だけではなく重機を回避した飛行ができるよう開発を進める予定である。計測は、離陸から表示まで約 6 分（飛行 3 分＋解析 3 分）を見込んでいるが、重機による掘削とドローンでの計測範囲を左右分離することにより、計測による待ち時間を削減する。

さらに、UGV 等地上から取得したセンサー情報と連携することにより、飛行時間の削減することも検討する、現場試行を重ね、実用化を目指す予定である。

参考文献

・Zhefan Xu*, Xiaoyang Zhan*, Baihan Chen, Yumeng Xiu, Chenhao Yang (*: Co-first authors), and Kenji Shimada, “A real-time Dynamic Obstacle Tracking and Mapping System for UAV Navigation and Collision Avoidance with an RGB-D Camera,” The IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2023.

・Zhefan Xu, Yumeng Xiu, Xiaoyang Zhan, Baihan Chen, and Kenji Shimada, “Vision-aided UAV Navigation and Dynamic Obstacle Avoidance using Gradient-based B-spline Trajectory Optimization,” The IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2023.

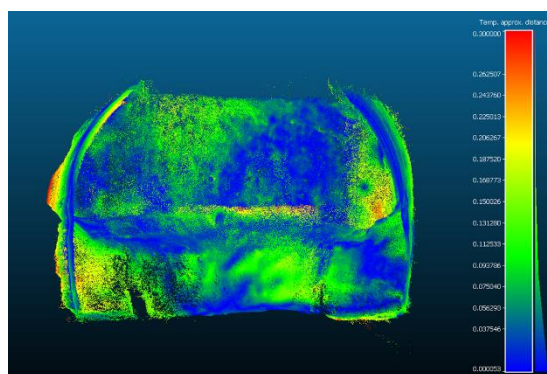


図-2 計測精度確認

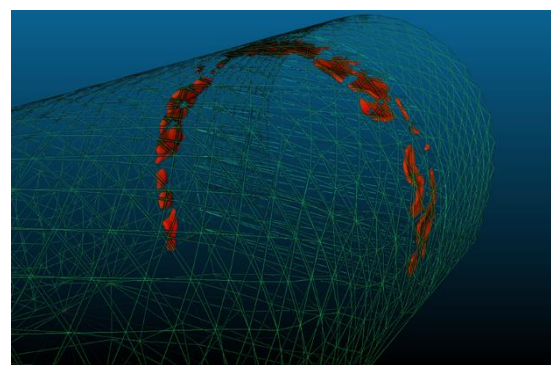


図-3 設計値との比較表示例