

全自動 UAV のトンネル地表面変位計測への適用性検証

飛島建設 正会員 ○勝部 峻太郎 正会員 松田 浩朗 非会員 藤本 克郎
 非会員 古宮 正勝 非会員 武田 光汰
 KDDI スマートドローン 非会員 貴島 康二 国際航業 正会員 及川 典生

1. はじめに

近年、建設工事において空撮や空撮により得られた写真データに基づく測量・計測を目的に UAV (Unmanned Aerial Vehicle, 無人航空機) が急速に普及している。しかしながら、UAV による空撮では操縦者および補助者の2名以上の配置が必要になるほか、空撮地点への移動・輸送やバッテリー充電、空撮データ取り出し等の労力を要することから、変状監視のような高頻度な計測には適用されていなかった。

本報では、「令和2年度北勢 BP 坂部トンネル工事（発注者：国土交通省中部地方整備局）」において、トンネル地表面変状・変位の監視および面的変位計測への全自動 UAV の適用を試行した結果について報告する。

2. 工事概要

令和2年度北勢 BP 坂部トンネル工事は、トンネル直上に営業中のゴルフ場があり、かつ脆弱な未固結地山を最小土被り約3mで掘削する、非常に厳しい条件下の工事である。本工事では、地表面沈下対策の一つとしてパイプルーフ工法を採用している。また、ゴルフ場の営業に支障がないよう、地表部に GNSS アンテナを埋設した GNSS 地表面自動変位計測を採用し、安全性を確保しながら施工を行っている。

3. 全自動 UAV による遠隔・無人運用方法

変状監視のような高頻度計測への適用において課題である労力を削減するために、図-1 に示す自動離発着・自動充電可能な全自動 UAV を採用し、運用性と適用性の検証を行った。本 UAV 機体は現場内に設置したドローンポート内に格納されており、事前に設定した3Dフライトルートに沿って自動で空撮を行い、空撮完了後に空撮データの自動アップロードおよび自動充電を行う。この空撮データを SfM (Structure from Motion) 解析し地表面の3Dモデルを生成することで、基準面との差分により面的な地表面変位計測が可能となる。

全自動 UAV の遠隔・無人運用においては、UAV 離着陸地点の気象を詳細かつリアルタイムに把握することが安全上重要である。本検証においては、ドローンポート背後に IoT 雨量計、IoT 風向風速計およびネットワークカメラ、防音ハウス屋根部（地上17m）に IoT 風向風速計および吹き流しを設置（図-2 参照）することで、遠隔でも UAV 離着陸地点の地上・上空の気象の把握を可能とした。また、大阪航空局より UAV のレベル



図-1 全自動 UAV の概要



図-2 UAV 離着陸地点の気象観測状況

キーワード UAV, SfM, GNSS, 全自動

連絡先 〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 飛島建設株式会社 技術研究所 TEL04-7198-1101

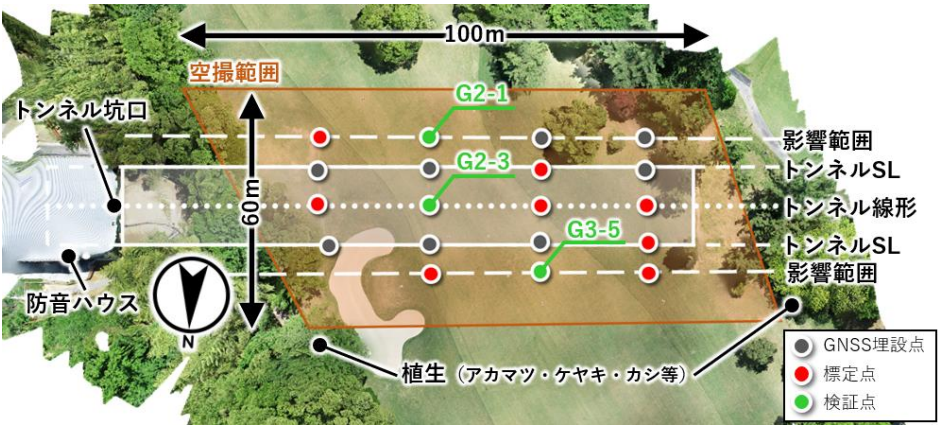


図-3 トンネル平面図，空撮範囲および対空標識設置状況



図-4 GNSS 樹ふた上部の塗色状況

3 飛行（無人地帯における補助者なし目視外飛行）の承認を受けている。
上記の方法により，現地に人員を配置することなく，遠隔かつ安全な UAV 運用を可能とした。

4. 全自動 UAV による面的計測の精度検証

トンネル直上のゴルフコース地表面（フェアウェイ・ラフ等の植生被覆地）を計測対象として，全自動 UAV による写真測量の精度検証を実施した。トンネル平面図，空撮範囲および対空標識設置状況を図-3 に示す。空撮範囲は，トンネル掘削の影響範囲（トンネル底面から 45° 立ち上がった範囲）を内包する 100m×60m の範囲とした。ゴルフコースの両側にはアカマツ・ケヤキ・カシ等の樹木があり，タイポイントの質および量の低下を防ぐため，これらの写る割合が多い写真を排除したうえで解析を実施した。

また，本検証においては，図-4 に示すように，GNSS 地表面自動変位計測に使用している埋設型 GNSS アンテナの樹ふた上部を塗色したうえで，対空標識としての活用を試行した。本計測システムでは，水平方向 ±1.0mm，鉛直方向 ±1.5mm の精度で三次元変位が計測可能であり，計測データはインターネットを通じて配信されるため，樹ふた上部の対空標識の測量値と GNSS 計測値との三次元方向のオフセットを予め把握しておくことで，対空標識の TS 測量を省略できる。

空撮パラメータを表-1 に示す。また，このパラメータ下での検証点精度を表-2 に示す。いずれの検証点においても，鉛直方向の精度は ±14mm 以下となる。本工事においては，パイプルーフ工・トンネル掘削工いずれにおいても地表面沈下の管理値を 25mm と設定しており，全自動 UAV による面的計測の精度はこの管理値内であることがわかる。

5. まとめ

- 本検証により，以下の結果が得られた。
- 全自動 UAV 離発着地点周辺の気象データをインターネット経由で取得し，かつ UAV のレベル 3 飛行の承認を受けることで，全自動 UAV の安全な遠隔・無人運用が可能であることを確認した。
 - 全自動 UAV の空撮データおよび埋設型 GNSS の計測データをインターネット経由で取得することで，遠隔・無人での UAV 面的計測の実施が可能であることを確認した。
 - フェアウェイ・ラフ等の植生被覆地であるゴルフコース地表面を対象として，鉛直方向 ±14mm 以内の精度で UAV 面的計測が可能であることを確認した。

今後，空撮データ処理の自動化等更なる省力化を進め，建設現場の生産性向上に努めていく所存である。

参考文献

1) 大寺正宏，吉田幸信，内田純二，大西邦晃，岩崎智治：GPS を用いた動態観測の実用化検討，平成 14 年地盤工学会四国支部技術研究発表会講演集，pp.47-48，2002。

表-1 空撮パラメータ

対地高度	25m
地上解像度	8mm/pix
ラップ率	OL80% × SL80%
写真枚数	92枚

表-2 精度検証結果

検証点	Δx (mm)	Δy (mm)	Δz (mm)
G2-1	-38	15	14
G2-3	1	-1	-1
G3-5	0	-5	12