

ダムサイトにおける自動追尾式トータルステーションを利用した UAV の自律飛行実験

○石井 明* 菅原 宏明* 藤井 純一郎* 天方 匡純*

* 八千代エンジニアリング株式会社 技術開発研究所

Autonomous flight experiment of UAV using automatic tracking total station at dam site

○Akira Ishii*, Hiroaki Sugawara*, Junichiro Fujii * and Masazumi Amakata*

*Yachiyo Engineering Co., Ltd., Research Institute for Infrastructure Paradigm Shift

Abstract: This paper report the successful results of flight experiments in which UAVs were autonomously navigated using a total station in order to capture highly accurate and homogeneous images more efficiently at dam sites,

1. はじめに

近年、小型無人航空機(UAV:Unmanned Aerial Vehicle)は自律飛行と姿勢安定が自動化されたことで急速に普及し、多分野での活用が進んでいる。我が国では、高度経済成長期以降に大量に整備されたインフラの老朽化が急速に進むため、データ(日常点検、定期点検、総合点検、長寿命化計画等)に基づく診断結果から予防保全型の維持管理が強く求められている。一方、人口減少や高齢化で社会構造が変化していく状況下では点検技術者不足やインフラ点検にかかるコスト抑制が課題であり、確実かつ効率的なインフラ点検を行うためのひとつの技術要素として UAV の活用が期待されている。

ダム堤体のコンクリート表面の調査・点検では、従来、仮設足場、ゴンドラやロープで点検技術者がアクセスする方法で実施されていたが、高所作業の安全性、広範囲調査による長時間作業、点検技術者の力量により評価が異なるため、正確に劣化情報の位置、形状、数量等の経年変化を把握できない等の課題があった。これに対し、クラックスケール内蔵光波測量器を用いた調査¹⁾では、点検作業者の力量差はなくなり、経年変化も確認可能で効率的な計測が可能となったものの、機器を高所に設置する場合や、機器設置が不可能のため点検範囲が制限される場合もあり、課題解決には至っていない。

近年の AI 等の技術進展により、デジタルカメラを搭載した UAV で撮影した画像からダムの劣化情報の検知が可能^{2), 3)}となった。そのため、ダム全体の効率的な画像撮影に UAV の活用が期待されるが、山間部に建設されるコンクリートダムでは、サイトでの衛星補足数が少ないことによる GPS 測位の低精度や空間反射によるマルチパスの影響のため UAV の自律飛行は安定せず、UAV を手動操縦飛行させるためオペレータの負担増加、力量に依った撮影画像の品質格差や不規則な飛行ルートによる撮影画像の後処理の手間が課題であった。そこで本稿では、ダムサイトでもより効率的に高精度かつ均質な画像を UAV で撮影するため、自動追尾式トータルステーションを用いて非 GPS 環境下における UAV の自動航行(TS 航行)を実現させた成果を報告する。なお、飛行実験は、国土交通省東北地方整備局が管理する昭和 32 年 10 月に完成した一級河川北上川水系江合川の宮城県大崎市に位置する鳴子ダムで実施した。

2. 非 GPS 環境下での自律飛行の必要性

一般的に UAV は、①位置把握(GPSセンサーによる全地球測位システムGPSなどの衛星測位システムGNSSから水平面位置座標情報、気圧センサーによる高度(標高)位置座標情報、コンパスによる機体方向情報)と、②姿勢把握(ジャイロセンサー・加速度計

による機体姿勢の傾き調整)を支える多様なセンサーとフライトコントローラーにより操縦が自動化、簡略化され、安定的な飛行を実現している。これにより人の操縦なしで事前プログラミングした設定ルート(WP:ウェイポイント)を自律航行することも可能となった。しかし、ダムなどではマルチパス発生等により安定した自律航行が実現できていない。鳴子ダム堤体下流空間においても、Fig. 1 に示すとおり、水叩き内を離陸地点として UAV を単純に約 100m まで上昇し下降させた UAV における GPS 測位受信状況を XY 平面にプロットしたところ、UAV 自体の水平方向移動はないにもかかわらず、受信した GPS 測位が常に $(X, Y) = (0, 0)$ の状態にならず、この飛行では最大で 20m 程ずれることを確認した。これより GPS 測位情報に依らない自己位置推定技術で自律航行させることを目的とした。

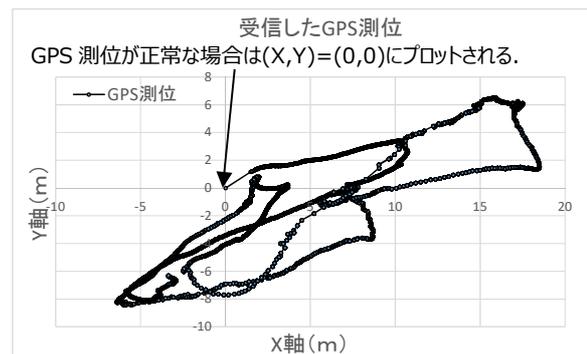


Fig. 1 The GPS trajectory near the concrete dam body

3. TS 航法システムの概要

非GPS環境でUAVを自律航行させる技術は様々研究・開発されているが、いずれもまだ完成の域には達していない。本稿では、ダムという大規模構造物、点検頻度、公共測量成果との親和性を考慮し、TS航法を選択した。TS航法は、UAVの飛行位置(緯度、経度、標高)を自動追尾式トータルステーションで計測し、その計測情報をUAVに送信することで、UAVがWPとの乖離を自己修正して所定ルートを自律飛行する仕組みである(Fig. 2 参照)。トータルステーションの設置位置は公共測量をもとに座標を計測しているため、UAVの飛行座標は搭載しているプリズムを追尾することで絶対座標として取得できる。使用した

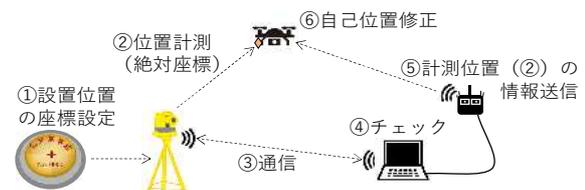


Fig.2 An image of TS navigation system

機体、機器およびカメラをTable 1 に示す. なお、カメラはUAV本体に直接設置せず、揺れを抑制する2軸ジンバルに設置した。

Table 1 The list of using products

項目	使用製品
UAV機体	エンルート製QC730
トータルステーション	TOPCON GT-1005
プリズム	LeicaGeosystems GRZ101
カメラ	Sony α6300
カメラレンズ	SEL35F28Z

4. 自律航行実験

4.1 実験概要

飛行実験は2019年8月29日(木)の9:30~11:30に実施した。当日の天候は曇り時々晴れ、気温は26°C、ダム特有の下からの吹き上げる風はなく無風であった。鳴子ダムのダム高は94.5m、堤頂長は215.0mであるが、TS航行は堤体中央部の約100.0m幅を対象に実施した。なお、水叩き上からはデフレクターで視界が遮られ、全体を見通せる地点がないことから、対象範囲を上部と下部の2区間に分け、それぞれトータルステーションの設置位置を変更させて飛行させた。更に、上部はバッテリー交換の関係で3回に分けて飛行を行った。

また、WPは撮影画像の解像度が2mm/pixel以下となるように、既存の三次元公共座標を基に堤体から約18.0m離隔で下から上まで水平方向→鉛直方向→水平方向→鉛直方向を繰り返して、228地点を設定した。飛行速度は、オーバーラップ率が60%以上となるように1m/sで設定した。なお、鳴子ダムの堤体はアーチ形で曲線を描くため、設定したWP間は直線による飛行、WPで機体が堤体に正対するように方向調整も設定した。

4.2 実験結果

Fig. 3 にUAVの設定飛行ルートとTS航行の飛行座標を比較した図を示す。また、WPの座標と飛行座標との乖離を整理した結果をFig. 4 に示す。乖離距離の最大は0.90m、最小は0.03m、中央値は0.29mであり、乖離距離0.50m以内は全体の90%をカバーし、安定した自律航行を実現できていると言える。また、飛行中に撮影した堤体画像の一例をFig. 5 に示す。撮影画像からは絶対的な幅・長さは把握できないが、ダム打設目間隔が2mであり、約1.75mm/pixelの解像度で鮮明な画像撮影ができた。

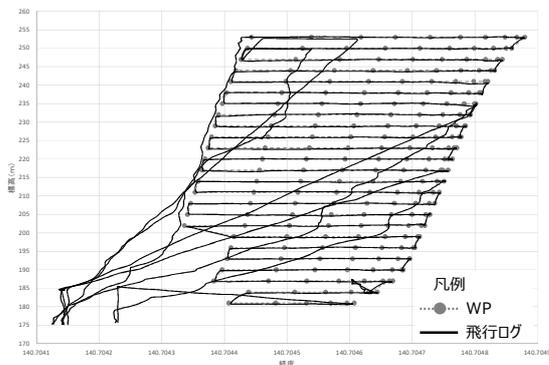


Fig.3 The comparison of waypoints and flight logs

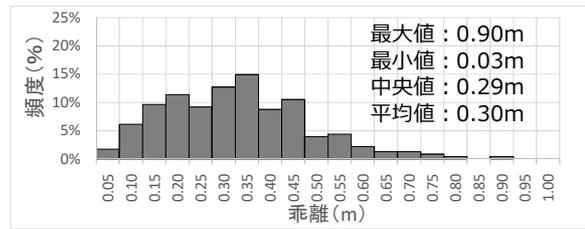


Fig.4 The frequency distribution of distance difference between waypoints and flight logs



Fig.5 The Accuracy verification of photography image

5. おわりに

本稿はダムサイトでTS航行を用いて、UAVを非GPS環境下で自律航行を実現させた成果を示した。これにより、UAVを規則的なルートを自律航行し、効率的かつ頻りに均質な画像データを撮影、蓄積することが可能となり、劣化情報の経年変化把握、適正な維持管理に繋げることができる。ダム全体の調査・点検画像撮影をUAVで効率的、かつ円滑に実施し、調査・点検の全体工程を最適化するための今後の課題を下記に整理する。

- (1) 複雑形状でのTS航行の実現
- (2) 三次元公共座標がない箇所での簡易的なWP設定方法
- (3) UAV側での撮影画像の判別・処理/自動転送による大量撮影画像の後処理効率化

6. 謝辞

東北地方整備局鳴子ダム管理所の皆様方には、貴重な情報やフィールド提供等の多大な協力を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 交久瀬磨衣子, 中庭和秀, 建山和由: クラックスケール内蔵光波測量器を用いたダム堤体のひび割れ調査について, 土木学会第65回年次学術講演会, pp.305-306 (2010)
- 2) 嶋本ゆり, 安野貴人, 栗飯原稔, 藤井純一郎, 大久保順一, 天方匡純: ディープラーニングによるダムポップアウトの自動検出手法の提案, 第33回人工知能学会全国大会, 4C3-J-13-05 (2019)
- 3) 栗飯原稔, 権神侑貴, 安野貴人: 深層学習によるアーチダム表面変状の検出とその分布特性, 土木学会第74回年次学術講演会, VI-777 (2019)