

砂防施設点検に UAV の自律飛行を適用する際の安全性向上に向けた試み

国土交通省 関東地方整備局 富士川砂防事務所 藤平 大^{*}, 松若 昭雄, 長沢 政和
^{*}現: 国立研究開発法人土木研究所土砂管理研究グループ
 株式会社パスコ ○花田 大輝, 板野 友和, 笹栗 裕己, 本多 泰章, 坂本 良祐

1. はじめに

UAV の自律飛行時の機体位置は、水平位置は GNSS、垂直位置は気圧計で制御されており、稀に大きな誤差を生じ、計画したルートを大きく逸れて飛行することがある。このような位置ずれによる写真撮影画角のずれや、地物との接触等による事故を防止する手法として、RTK や SLAS/CLAS などの高精度位置補正技術の適用が有効となるが、砂防施設点検での適用には課題があり、導入可能な施設に限られる。

このような状況を踏まえ、富士川砂防事務所では、砂防事業での実績が多い比較的安価な汎用の UAV の使用を想定し、計画したルート通りに飛行しているかを効率的に確認する手法を考案したので、その試行結果を報告する。

2. 砂防施設点検での位置精度における課題

2-1. 水平方向の位置精度

一般的な機体に搭載される GNSS は、衛星の位置関係や機体上方の空の開き具合によって電波の受信状況が変化し、条件によっては極めて大きな誤差を生じることがある。衛星の配置は日時によって変化しているため、同一の場所であっても実施するタイミングによって誤差の程度も変化する。高精度位置補正技術として、表-1 に示す RTK や、準天頂衛星システム「みちびき」からの補正情報を活用した CLAS/ SLAS が開発されており、これらの機能を搭載した機体を用いることで誤差の軽減が可能と考えられるが、管内の砂防施設点検においては適用困難な場合が多く不向きである。

表-1 高精度位置補正技術の特徴

高精度位置補正技術	特徴	砂防施設点検におけるデメリット
RTK Real Time Kinematic	<ul style="list-style-type: none"> リアルタイムに衛星からの補正情報を受信し、高精度に機体の位置を解析する測量技術。 携帯電話キャリアサービスのエリア内に限定。 	<ul style="list-style-type: none"> 山間地(通信圏外)の現場が多く利用が限定される。
CLAS Centimeter Level Augmentation Service	<ul style="list-style-type: none"> 誤差を数センチ程度に補正する技術。 みちびきからの補正情報を活用するためオフラインでの利用が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 現時点で標準搭載されている機体は無い。
SLAS Sub-meter Level Augmentation Service	<ul style="list-style-type: none"> 誤差を 1m 程度に補正する技術。 CLAS 同様にオフラインでの利用が可能。 一部の国産機に搭載。 	<ul style="list-style-type: none"> 搭載機体は汎用機と比較して高額。

2-2. 垂直方向の位置精度

垂直方向の位置(高度)については、多くの機体で気圧センサーによる操縦地点からの対地高度を計測する手法が取られている。高度を上げるほど誤差が生じやすく、飛行中の気圧変化によっても誤差が大きくなる特性がある。

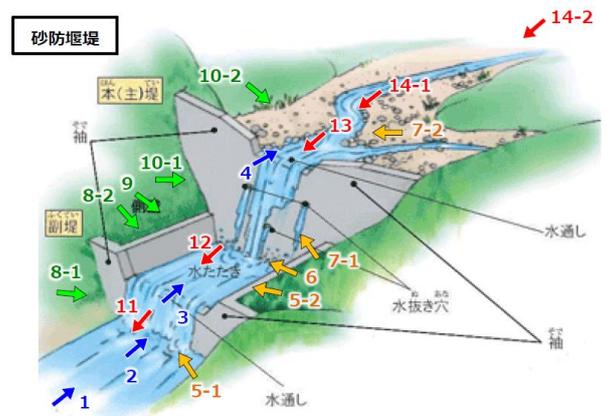
3. 自律飛行時の水平位置および飛行高度の確認手法

3-1. UAV 定期点検手法の概要と位置精度における課題

富士川砂防事務所では、作業の効率化・作業員の安全確保のため、砂防施設点検において UAV の自律飛行による定期点検を実施することとしている。自律飛行では、初回点検時ではマニュアル飛行による飛行ルートの設定が必要であるものの、2回目以降は飛行ルート作成が不要となるため、準備・撤収時間等を含めても数十分程度(従来の人力点検の4~7割程度の時間)で点検を実施することが可能である。

UAV での写真撮影順序は、図-1 に示す通り施設に対して下流側から上流向き(青色: No.1~4)、②左岸側から右岸向き(黄色: No.5~7)、③右岸側から左岸向き(緑色: No.8~10)、④上流側から下流向き(赤色: No.11~14)の順序で、下流の部位から順に自律飛行ルート(ウェイポイント)の設定を行う。経過観察対象の変状がある場合は、必要に応じて④の後にルートを追加する。

このとき、GNSS 等の誤差によりある程度の位置ずれが発生することを前提として、樹木や堰堤等の地物に接近しすぎないようにルート設定とすることや、写真



撮影方向	機体位置	写真番号(撮影順序)	撮影対象	撮影方法
① 上流向き	施設下流	1	施設全景	下流側から施設全体を撮影
		2-n	副堰堤下流面全景・護床工	下流側から副堰堤全体を撮影(必要に応じて分割)
	副堰堤上空	3-n	主堰堤下流面全景・水叩き	下流側から主堰堤全体を撮影(必要に応じて分割)
		4	主堰堤上流面全景・水通し	下流側から主堰堤の水通し・堆砂域全体を撮影
② 右岸向き	左岸	5-1	副堰堤右岸袖部	対岸下流側から撮影
		5-2	副堰堤右岸袖部	対岸上流側から撮影(必要に応じて)
	6	右岸側壁護岸	対岸から撮影	
	7-1-n	主堰堤右岸袖部	対岸下流側から撮影(必要に応じて分割)	
③ 左岸向き	右岸	7-2-n	主堰堤右岸袖部	対岸上流側から撮影(必要に応じて分割)
		8-1	副堰堤左岸袖部	対岸下流側から撮影
	9	左岸側壁護岸	対岸から撮影	
	10-1-n	主堰堤左岸袖部	対岸下流側から撮影(必要に応じて分割)	
④ 下流向き	主堰堤上空	10-2-n	主堰堤左岸袖部	対岸上流側から撮影(必要に応じて分割)
		11	施設下流河道全景	副堰堤よりも下流側の河道状況を施設上空から撮影
	堆砂域	12	副堰堤上流面全景・水通し	主堰堤上空から副堰堤上流面を撮影
		13	主堰堤下流面全景・水通し	主堰堤上流側から撮影
⑤ 個別	個別撮影	14-1	主堰堤上流面全景	主堰堤上流面の全体を撮影
		14-2	堆砂域全景	堆砂域上流部から堆砂域全体を撮影
		15~	変状等	変状に対して個別に撮影(必要に応じて)

図-1 UAV 定期点検の撮影順序イメージ(砂防堰堤)

撮影画角に 10%程度の余裕を持たせて撮影する等の対応を取ることにしている。ただし、稀にこの対策では許容できない 10m を超えるような大幅な位置ずれが生じる場合があり、自律飛行開始前に操縦者がこの事象に気付くことは困難であるため、ずれが想定内に収まっているのかを、どのように把握するかが課題となる。

3-2. 水平位置精度の確認および結果

前節での課題を踏まえ、自律飛行計画の最初のウェイポイントとして、GNSS の誤差による位置ずれを検証する点（以後、検証点とする）を設けることで、想定以上のずれが生じていないかを確認する手法を考案した。

検証点は、水通しの端部など位置が不動・明瞭で、かつ上空が開けた地点とし、当該地点が写真の画角の中央に収まるよう、対地高度 20m 程度の位置から垂直撮影する。なお、通常のウェイポイントではカメラのピント合わせやブレ防止のため、2 秒間程度その場で静止（ホバリング）してから撮影を実行するが、検証点では 5～10 秒間程度静止させる設定とし、位置ずれを確認する時間を設ける。

自律飛行実行時には、機体が検証点上空に移動した際、機体のコントローラのモニタ上において、検証点とした地点が画角の中央からどの程度ずれているかを確認することで位置ずれの程度を把握できる。ずれが数 m 程度（天端幅～5m 程度）であれば想定内の誤差によるものと判断して自律飛行を継続させる（図-2）。位置ずれは、短時間内であればいずれかの方向に一定の距離で生じることが多いため、事前にその程度を把握することで安全な点検の実施が可能となる。また、自律飛行を実施する際は、他者が設定した自律飛行ルートを用いる場合もあり、操縦者にとっては不安が大きくなりやすい。事前にずれの大きさを把握しておくことで不安の軽減にも繋がり、より点検作業に集中することも可能となる。

なお、位置ずれが想定以上の場合には、自律飛行を中止し、機体の再起動やマニュアル飛行による点検の対応、または、調査日時を改める等の対応をする必要がある。

3-3. 垂直位置精度の確認および結果

飛行高度は気圧センサーにより制御されており、誤差は離陸地点からの比高に応じて大きくなる。機体と地面や周辺地物との位置関係は、機体が離れる程目視

での確認が難しくなる。さらに、この誤差はモニタ上の高度計にも影響するため、操縦者から数百 m 先にある施設に対して、適切な高度で自律飛行ルートが設定されているかを現地で確認することは非常に難しい。

そこで、既存の DSM や点群データ等を用い、三次元モデル上で飛行計画ルートと重ね合わせることで、適切な飛行高度が設定されているかを事前に検証することとした（図-3）。これにより、現地での自律飛行をより安全に実施することが可能となった。

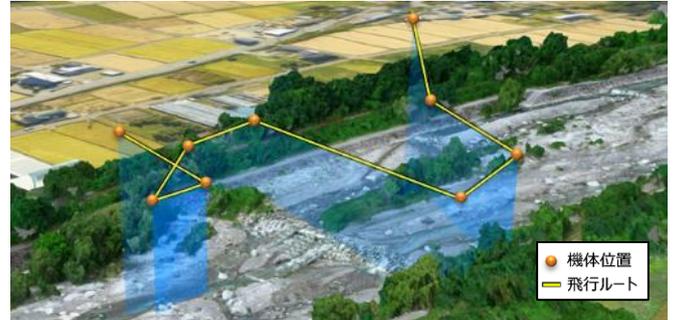


図-3 三次元モデルによる標高の確認イメージ

4. まとめ

本発表では、砂防施設の定期点検における自律飛行ルート設定において、GNSS の誤差による位置ずれを確認するための検証点の適用を考案した。試行結果から、本手法は自律飛行開始時に位置ずれの程度を効率的に把握することが可能であり、より安全に配慮した自律飛行撮影が実施可能となることを確認した。

また、機体の飛行高度は気圧計により制御されており、飛行高度が高くなるほど誤差が大きく特性がある。これに対しては、計画した飛行ルートと既存の三次元データを重ね合わせ、事前に地形や地物等との接触リスクを把握しておくことで、現地において安全な自律飛行撮影が実施可能となることを確認した。

両手法の適用により、高精度位置補正技術の適用が困難な現地条件（地形や携帯電話サービスエリア等）や、比較的安価な汎用 UAV 機を利用する場合であっても、自律飛行が可能で機体であれば、機種に依存せず安全な自律飛行点検が可能になると想定される。また、既に計画済みの飛行計画に対しても検証点を追加するだけで安全性を飛躍的に向上させることが可能であり、施設点検作業の更なる効率化が期待される。

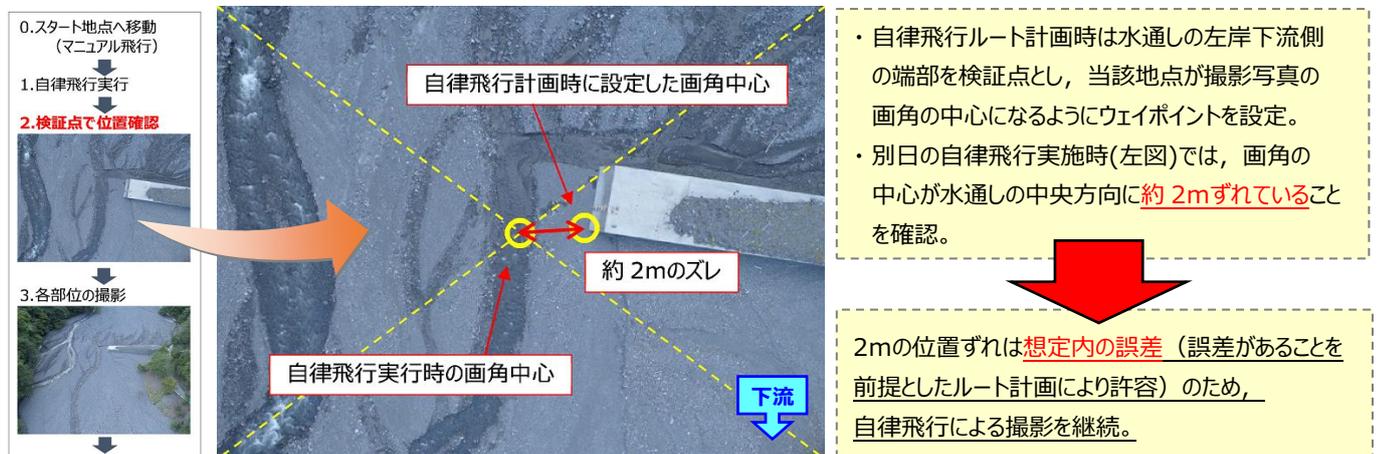


図-2 検証点による水平方向の位置ずれの確認イメージ（自律飛行計画時・実行時の画角中心のずれの把握）