

UAV自律飛行を活用した手取川流域における 砂防施設等の点検手法の構築

中野 光¹・杉崎 亮太¹・甚田 隆光¹

¹金沢河川国道事務所 流域対策課 (〒920-8648 石川県金沢市西念4丁目23番5号)。

砂防施設の点検について、これまでUAV点検は目視操縦を基本としていたが、手取川上流域においては、現場へのアクセスが困難で作業時の安全面でのリスクが高いという課題がある。これらの課題の解消および更なるDX化の推進を図るために実施した、ドローンポートを活用した自律飛行試験および高高度からの写真撮影での精度検証試験について実施概要を報告する。

また、今後実施予定の可搬式基地局による通信試験、VTOL機を用いた長距離飛行試験について報告し、最後にUAV自律飛行を活用した手取川流域の砂防施設における点検手法の課題や今後の展望について整理する。

キーワード UAV, 自律飛行, 砂防施設点検, 実証試験, LTE不感地帯, 長距離飛行, 高度化

1. はじめに

砂防施設点検には、計画的に定めた時期毎に実施する定期点検および豪雨や地震後に緊急的に実施する臨時点検がある。定期・臨時点検はこれまで、UAV点検が可能な場合は目視操縦を原則としていたが、点検にかかるコストや時間、危険を伴う作業が多いことが課題となっている。技能保有者による目視外飛行であれば危険は回避できるが、人員体制の制約による労力や、箇所ごとのセッティングに時間を要するという課題が残る。これらの課題解消には、事前に飛行ルートを設定し、操縦者による操縦を行うことなくUAVが自律的に飛行し点検を行うことが必要である。

手取川上流域(図-1)においてもUAVを活用した点検を実施してきており、最終的には白山砂防出張所から別当谷・甚之助谷源頭部までの砂防施設をUAV自律飛行により点検することを目標としている。

2025年4月に改訂された「砂防関係施設点検要領(案)ⁱ⁾」および「砂防現場におけるUAV自律飛行点検マニュアル(案)ⁱⁱ⁾」には最新のUAV技術を積極的に導入することと記されている。効果的なUAV技術の検証を重ねることが重要となる中で、本報告ではドローンポートを活用した自律飛行試験、高高度からの写真撮影での精度検証の結果ⁱⁱⁱ⁾、今後実施予定の携帯電話不感地帯における可搬式基地局による通信試験およびVTOL機による長距離飛行の実証試験の計画を報告する。上記を踏まえ、UAV自律飛行を活用した手取川流域の砂防施設における点検手法の課題や今後の展望について整理する。

2. 手取川上流域の課題

手取川上流域は、源頭部に大規模な崩壊地が存在し、流域内には多数の砂防施設が階段状に配置されており、損傷や土砂により埋没している施設が存在する。これらの特徴によって生じる課題およびUAV通信環境における課題を以下に示す。



図-1 位置図(手取川上流域)

(1) アクセス困難な山間部

定期点検の課題として、アクセスの困難さがある。砂防施設の多くは山間部に配置され、特に甚之助谷や別当谷は溪流自体が急勾配であり落石の危険性が高く、人の接近が困難な環境である。

(2) 交通途絶のリスク

臨時点検の課題として、交通途絶のリスクがある。源頭部までの道路が1本のみのため、大規模出水に伴う道路寸断より通行止めとなる。また、主要地方道白山公園線（風嵐～別当出合）は、連続雨量90mm、当日雨量90mm、3日先行雨量210mmで規制（通行止）される。

(3) 携帯電話不感地帯の存在

UAV点検の課題として、携帯電話不感地帯の存在がある。白山砂防出張所から市ノ瀬ビジターセンターまでの約10km区間は、携帯電話の電波が届かない不感地帯であり、UAV飛行の通信環境に制約が生じる。

3. 実証試験の実施

(1) 実証試験の目的と方法

手取川上流域におけるアクセス困難な箇所の点検を解消するために、近年のUAV技術（表-1）から、電池交換も含めた連続点検を自動で実現できる「ドローンポート」を用い、基地の設置、事前に飛行ルートを設定する「自律飛行」による空中写真の撮影および撮影画像から三次元形状を復元するSfmモデル化について検証する。また、高高度から撮影した写真の精度を検証する。

(2) 対象箇所

源頭部に近く、溪流沿いの工事用道路脇に基地の配置が可能な「別当谷堰堤群」を選定した。当区域は基地に必要な電源が存在しないため発電機を使用する。現地地形および基地の位置との関係より、試験対象区間をA～Cに分けた（図-2）。

(3) 実証試験の内容

試験の実施時期は、落葉後かつ降雪前の11月とした。

UAVの通信状態は、見通しが確保できないと通信が途絶する恐れがあり、基地より低い位置を飛行させると機体下部にアンテナがあることが多いことから通信が不安定になりやすいという特徴があるため、各区間で試験項目を設定した（表-2）。基地より高標高の区間Aではドローンポートを用いたUAV自律飛行試験、基地より低標高の区間B、CではUAVをマニュアル操作した飛行試験を実施した。特に、区間Cは湾曲しており見通しが悪いので、見通し可能範囲の確認、ズーム撮影試験を実施した。

(4) ドローンポートの概要

急峻な地形に連続配置された砂防施設が存在し、アクセスが困難で人力点検に危険が伴う箇所は、ドローンポートを活用したUAV点検の有用性が発揮され则认为る。

ドローンポートとは、電源とインターネット環境は必要になるが、基地内にUAVを格納し、遠隔地からボタン1つで「自動離着陸」「自動充電」「撮影データの自動転送」を実現できる完全自動運用型システムである。本試験では、これまでの実績や運用時における汎用性からDronNESTを選定した。

表-1 近年のUAV技術を活用した調査方法

調査方法	目的	手取川流域における適地
ドローンポートを用いた調査 〔DronNEST〕	電池交換も含めた連続自律飛行を実施し、連続配置された砂防施設や周辺の概況等を把握	別当谷砂防堰堤群 3(1) 実施済
可搬式基地局を用いた調査 〔Smart River Spot〕	携帯電話不感地帯を含む下流域から源頭部までを飛行	牛首川（風嵐～市ノ瀬） 4(1) 2025年実施予定
VTOL・長距離飛行機材を用いた調査 〔エアロボウイング〕	施設直近へのアクセスが困難な、地域を指定した長距離飛行	牛首川（市ノ瀬～甚之助谷源頭部） 4(2) 2025年実施予定
Visual SLAM（自己位置推定）を用いた調査	狭隘な谷地形や植生の被覆等により接近が危険な施設の近接写真を撮影	中ノ川 5(2) 実施時期未定



図-2 実証試験の対象箇所

表-2 各区間の試験項目

区間	試験項目	使用するUAV
A	ドローンポートを用いた自律飛行による点検・Sfmの検証	Mavic2Pro
B	マニュアル操作による基地より低い標高の範囲での飛行試験	Mavic3E
C	マニュアル操作による見通し可能範囲の確認、ズーム撮影試験	Mavic3E

(5) 実証試験結果（区間A：ドローンポートを用いた自律飛行）

区間A（別当谷上流域）での実証試験の検証結果について以下に示す。

a) 成果

- ・基地の準備～撤収まで4時間で、補助者を配置しない目視外自律飛行による点検写真の撮影に成功（図-3）
- ・約800m区間を2m/sで飛行し、3秒に1回のインターバルシャッターでの撮影に成功
- ・無電源状態での発電機を用いた運用
- ・撮影写真は過年度点検成果と同精度（図-4）
- ・Sfm処理による三次元点群の復元に成功（図-5）

b) 課題と対応策

UAVの自動帰還後の着陸時に基地内の着陸用マーカーが認識されず、自動帰還からマニュアル操作に切り替えて着陸させる必要が生じた（図-6）。

これは全球測位衛星システム「GNSS」の受信環境によりUAVと基地の位置情報に誤差が生じたことによるもので、状況・原因を踏まえた解決策は以下のとおりである。

- ・当時のGNSSシミュレーターでは、GNSS捕捉数は10～13機と自律飛行に必要な10機以上ではあったが、谷の中のため上空の仰角が取れず、時間によるGNSSの捕捉数のバラツキから位置精度の低下に繋がった可能性がある（図-6）。
- ・使用するUAV機について、固定局と移動局を用いてGNSSの誤差をリアルタイムで補正する「RTK機能」を付与できる機体を使用することで、機体位置の精度を上げられズレを抑制することが考えられる。

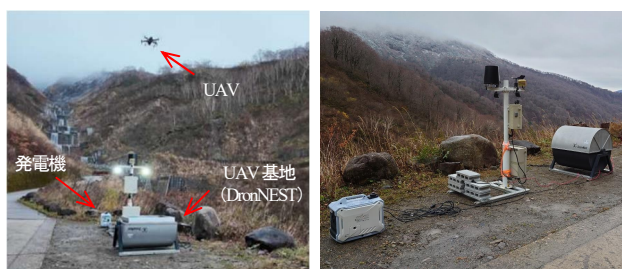


図-3 実証試験状況



図-4 実証試験成果（別当谷堰堤群）

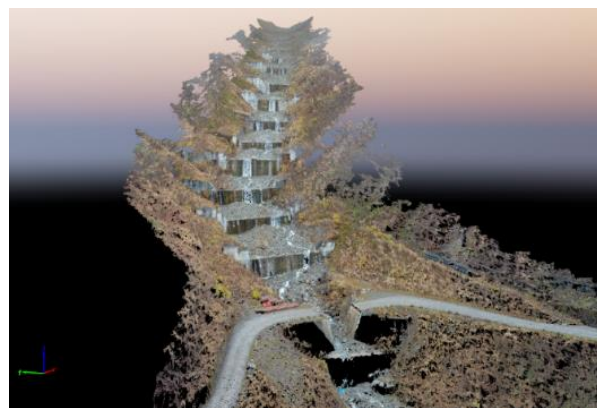


図-5 SfM処理による三次元点群（別当谷堰堤群）

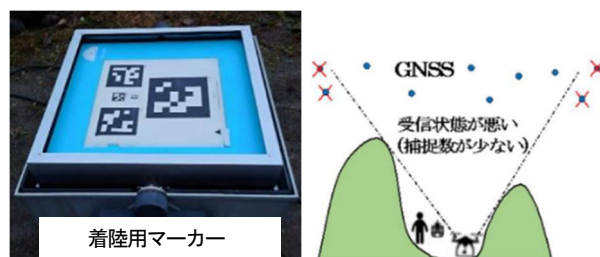


図-6 着陸用マーカーとGNSS捕捉数

(6) 実証試験結果（区間B, C：高高度から写真撮影での精度検証）

区間B, C（別当谷中・下流域）での実証試験の検証結果について以下に示す。

a) 成果

- ・基地を設置した標高1,460mから+35mの高度で水平飛行させ、標高1,350m（対地高度135m）の施設を撮影
- ・光学7倍ズーム撮影により、施設より135m上空からでも過年度の点検成果と同様の精度で写真撮影が可能であることを確認（図-7）

b) 課題と対応策

基地から400m下流の区間C途中まで通信可能であったが、更に下流の湾曲部では通信が途絶え、飛行の継続が不可能となった。今回配置した位置からの飛行限界の範囲が確認でき、下流からの飛行や中継機を活用する必要がある。

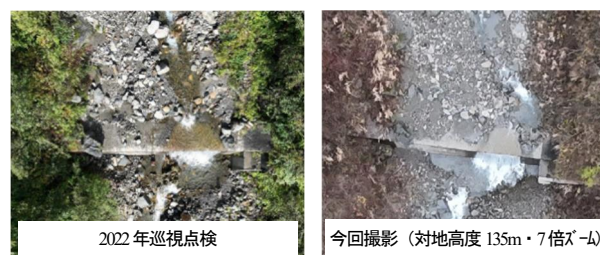


図-7 点検写真との比較

4. 2025年の実証試験の計画

2025年には、砂防施設点検の更なる高度化と災害時対応能力の向上を目指し、可搬式基地局による通信試験およびVTOL機を用いた長距離飛行を実施する。

(1) 可搬式基地局による通信試験

白山砂防出張所から市ノ瀬ビジターセンターまでの約10km区間は、携帯電話の電波が届かない不感地帯（図-8）であり、UAV飛行の通信環境に制約が生じる。試験では、不感地帯において可搬式基地局の1つであるSmart River Spot (SRS)（表-1）を活用し、通信試験を実施する。UAV（Matrice300RTK）を使用し、上空の電波感度および照射範囲を確認する。

本試験により期待される成果として、UAVの飛行に必要な携帯電話の不感地帯が解消されることにより、下流域から源頭部までUAVの飛行が可能になる。

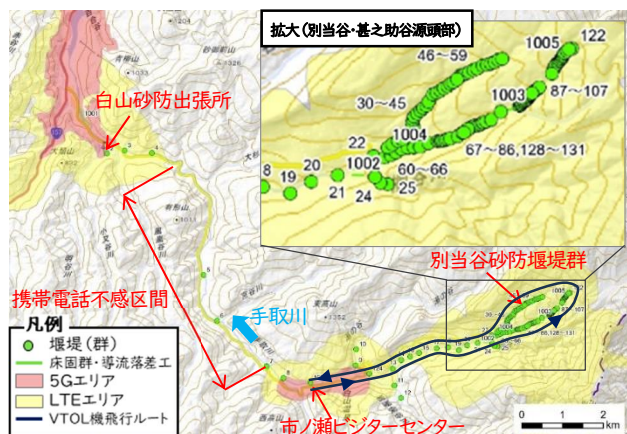


図-8 位置図（携帯電話不感地帯）

(2) VTOL機を用いた長距離飛行試験

LTE回線が整備されている市ノ瀬ビジターセンターから甚之助谷源頭部までの約13km（往復の飛行距離28km）（図-8）を対象に、VTOL機（エアロボウイング）（図-9、表-1）により、溪流および砂防施設の写真・動画撮影を行う。大規模災害後の状況把握におけるVTOL機の有用性を検討する。

期待される成果として、豪雨や地震後での臨時点検において、広範囲の被災状況等を迅速に把握することが可能になる。

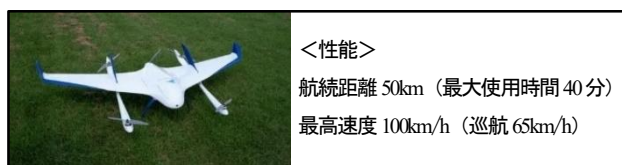


図-9 VTOL機（エアロボウイング）の性能

5. おわりに

(1) 考察

ドローンポートを活用した自律飛行試験により、山間部でありながら、ネットワーク環境が良好で着陸時を除き通信トラブルは発生しなかったことから、手取川上流域でのドローンポートの有用性が確認できた。また、2025年に実証試験を計画している可搬式基地局による通信試験では携帯電話の不感地帯が解消、VTOL機を用いた長距離飛行試験では広範囲の砂防施設点検や被災状況等を迅速に把握することが可能になると考える。

上記点検が確立することで、定期点検の課題である手取川上流域の一部の現場のアクセスの困難さや、臨時点検の課題である作業時の安全面のリスク、UAV点検の課題である携帯電話不感地帯の存在は解消につながる。

(2) 砂防施設点検の確立に向けて

今後は、効率的かつ安全に施設や周辺の状況を確認することに加え、点検結果の品質の均一化を図ることが求められる。品質の均一化のためには、空中写真およびLPデータを基にした地形条件や障害物等を踏まえた飛行ルート設定方法の標準化、地形条件の変化に合わせた飛行ルートのプログラミングの修正およびUAVの制御システムやAI統合等の技術革新が必要である。また、狭隘な谷地形や植生の被覆等により接近が危険な施設の点検には、カメラの位置と姿勢を同時に推定する技術「Visual SLAM」による植生・障害物の回避性能の検証が効果的であると考えられる。

砂防施設点検の効率化による労働時間の減少および安全性の確保は、社会問題である担い手不足の解消にも寄与されることが考えられる。

UAV関連の技術や制度は日進月歩のため、最新の動向を把握し、効果的な技術については積極的に検証し、確実性を高めていくことが望まれる。

謝辞：本論文を作成するにあたり、ご指導ご協力いただいた関係者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 国土交通省砂防部保全課：砂防関係施設点検要領（案），2025年4月
- 国土交通省砂防部保全課：砂防現場におけるUAV自律飛行点検マニュアル（案），2025年4月
- 株式会社建設技術研究所 笹山隆ら：UAV 基地と汎用機による砂防施設点検自動化の実証試験，令和6年度砂防学会研究発表会