

携帯電話不感地域におけるUAVを活用した 砂防設備点検の一手法について

田中 音羽¹

¹福井河川国道事務所 工務第一課 (〒918-8015福井県福井市花堂南2-14-7)

砂防施設の点検については、これまで目視により実施してきたが、近年は現場までのアクセシビリティや点検時の安全性などから、UAVを活用した点検が実施されるようになってきた。当事務所が進めている真名川砂防事業のエリアは山間部のため携帯電話不感地域であることから、UAVの活用による一定の制限があったが、今回現場において高高度飛行やズームカメラ使用などの検証実験を行ったところ、点検への適用性が確認されたため一手法として報告する。

キーワード インフラDX, UAV, 効率化, 点検, 維持管理

1. はじめに

近年、砂防設備点検におけるUAVの活用が進んでおり、福井河川国道事務所が実施する真名川砂防事業においてもUAVを用いて点検を実施してきた。しかし、管内（以下、真名川上流域）ではほぼ全域が携帯電話不感地域であることから、携帯通信を介した長距離のUAV飛行を行うことができず、近距離からのUAV点検に留まっていた。大規模出水後などに実施する臨時点検では設備までのアクセス路が寸断や、二次災害のリスクが高くなることも想定され、平常時の定期点検においても施設までアクセスすることが難しいことから、遠方より安全に設備点検を行う手法を確立することが課題であった。

携帯電話不感地域においても実施可能な手法として、UAVを上空150m以上の高高度まで飛行させることで地形等による通信障害の影響を軽減し、より遠方まで飛行させる手法を検討し、検証実験を実施した。また、高高度飛行と相性の良い機器・機能としてズームカメラの検証実験を併せて実施した。検証実験を通して、点検への適用性が確認された。

2. 検証項目の設定経緯

(1) 高高度飛行

表-1 UAV・プロボ間の通信手法

携帯通信の活用	
概要	携帯通信を利用しUAV・プロボ間の通信を行う
有効距離	携帯通信圏内であれば無制限
真名川上流域での適用性	×：携帯電話不感地域であり、使用できない
衛星通信の活用	
概要	携帯通信を利用しUAV・プロボ間の通信を行う
有効距離	衛星通信が受信可能な範囲であれば無制限
真名川上流域での適用性	×：検証実施時点で使用可能な衛星通信サービスや機器が確認できなかった
高出力通信の活用	
概要	プロボと高出力アンテナを接続し、アンテナを介してUAVと通信を行う
有効距離	6km程度
真名川上流域での適用性	△：対応機器が乏しく、汎用的なUAVで使用できない
中継用UAVによる通信の中継	
概要	調査用のUAVとは別に通信中継用のUAVを飛行させ、調査用UAV・プロボ間の通信を中継用UAVにて中継し通信を行う
有効距離	6km程度（先行事例より）
真名川上流域での適用性	△：先行実績に限られ、汎用的なUAVで使用できない
UAV・プロボ間の直接通信	
概要	点検業者が容易に導入可能で、資格も不用
有効距離	1km程度
真名川上流域での適用性	○：検証実験で使用

UAVをより遠方まで飛行させる場合、UAV本体と操縦装置（以下、プロポ）との通信をいかに確保するかが課題となる。UAV・プロポ間の通信について、砂防分野で実績のある手法や将来的に使用可能と思われる手法を収集し、真名上流域での適用性を表-1に整理した。

収集した5手法のうち、携帯通信・衛星通信を活用する2手法は真名川上流域において使用できないことを検証実験にて確認した。残りの2手法は砂防設備点検での使用実績が最も多いDJI製のUAV等の汎用的なUAVで使用できない手法であり、点検業者にとって導入ハードルが高いと推測される。そこで、検証実験では、点検業者が容易に導入可能な汎用的な機器・手法に限定して、より遠方の施設まで点検可能な手法を検討し、高高度飛行で実験を行った。

(2) ズームカメラ

高高度飛行では、地形によるUAV・プロポ間の通信への影響を軽減するだけでなく、UAV・対象施設間の見通しが向上するため、UAVからより遠方の施設まで撮影可能になると考えられる。通常のカメラでは遠方の撮影時に解像度が不足するため、高倍率のズーム機能を有したカメラ（以下、ズームカメラ）による撮影を実施し、点検に適するUAV・対象施設間の距離についても検証実験を行うこととした。

3. 使用機器

(1) UAV

砂防設備点検で最も使用実績の多いDJI製のUAVのうち多様なカメラを搭載可能な機種としてMatrice 300 RTK（図-1）を使用した。

(2) ズームカメラ

Matrice 300 RTKに搭載可能なカメラのうち高倍率のズーム機能を有するものとして、DJI製のZENMUSE H20T（図-1）を使用した。最大23倍までの光学ズームが可能なカメラである。

4. 高高度飛行の検証実験

(1) 検証方法

従来の砂防設備点検は対地高度30-50m程度の低い高度で実施されており、通信や見晴らしを考慮して高度を上



図-1 Matrice 300 RTK及びZENMUSE H20T

げる場合も航空法上の特定飛行に該当する対地高度150mを限度としていた。本検証実験では、対地高度250mまでの飛行を行う手続きを実施し、高高度飛行を実施した。

対象地は真名川上流域の中でも3基の砂防設備を有する大雲谷（図-2）で行った。国道157号上に位置する本川との合流部から300m程度上流側の地点を離発着地点とし、上流に向かってUAVを飛行させることとした。

(2) 手続き及び安全管理

本検証実験では150m以上の上空までUAVを飛行させるにあたって必要な事前手続き及び安全管理を実施した。

特定飛行を実施する場合は原則として航空法上の許可申請が必要となるが、特定飛行の中でも150m以上の上空の飛行を行う場合は許可申請に加えて事前に空域管理者との調整を行う必要がある。真名川上流域では東京航空管制部が空域管理者となるため、事前調整を行ったうえで航空法上の許可申請を行った。

(3) 検証結果

離発着地点から水平距離で600m程度の地点で通信が微弱となり、安全なUAV飛行が不可能となった（図-3）。

離発着地点とUAVの到達点を結んだ見通し線に沿って縦断図（図-4）を作成すると、見通し線が植生に接触する地点でUAVとの通信が微弱になることが分かった。離発着地点からの視認性（図-5）を確認しても到達点周辺を飛行時のUAVは右岸側斜面の境界部を飛行している状況であった。直接通信の最大通信距離である1kmより大幅に手前の地点で通信が微弱となったことも踏まえて、本検証実験では距離ではなく植生に遮られたことで通信が微弱となったと考えられる。

(4) 結果の考察

本検証実験では、下記の知見が得られた。

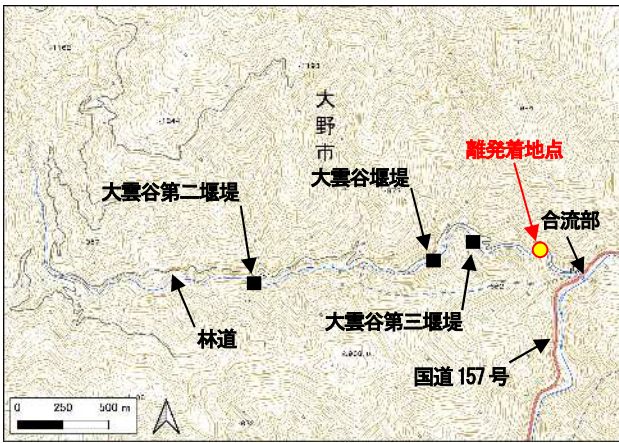


図-2 検証実験 実施位置図

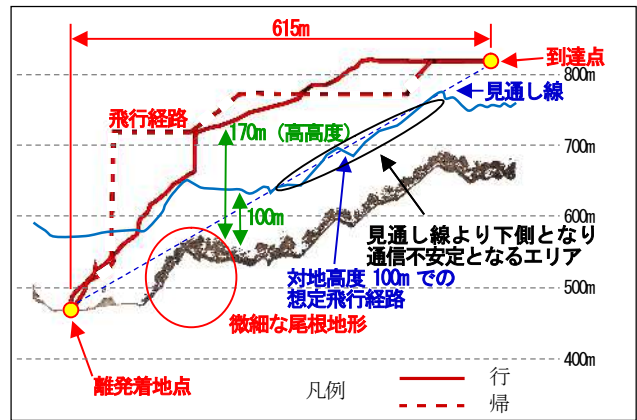


図-4 飛行経路 縦断面図

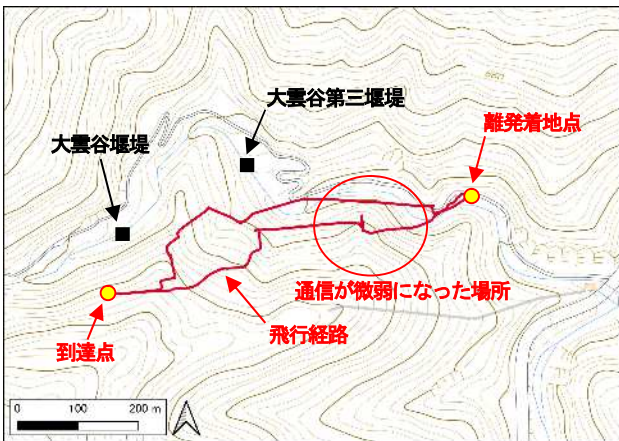


図-3 飛行経路 平面図



図-5 離発着地点からの視認性

a) 飛行高度について

本検証実験は対地高度250mまでの飛行許可を得たうえで実施したが、検証実験後に確認した到達点周辺での対地高度は170m程度であった。これは、プロポに表示される高度は離発着地点からの相対高度のみであり、飛行中の対地高度を確認することができないため、安全に飛行できる高度で行ったためである。

臨時点検では手動操縦により概括的な点検を実施することが想定され、余裕を持った対地高度で飛行許可を得ることが重要と考えられる。定期点検では予め地形の起伏等を考慮して飛行高度を設定した自律飛行にて実施することで、飛行許可を得た対地高度内で安全かつ確実な点検が実施可能であると考えられる。

b) 高高度飛行の評価について

本検証実験と同様に安全を考慮して対地高度100mで飛行することを想定すると、離発着地点から水平距離300m程度の位置で植生に遮られてしまい視認・通信ができなくなると推測される(図4)。よって、本検証実験では高高度飛行により植生によって視認・通信が遮られることなく飛行できる範囲が拡大し、対地高度100mでの飛行と比較して水平距離で2倍程度の地点まで飛行することができたと評価できる。

c) 飛行ルートの事前検討について

本検証実験では離発着地点から100-200m程度に位置する微細な尾根地形により見通し線が遮られることとなった。見通し線は地形だけでなく植生によっても遮られ、地形・植生の影響を等高線から把握できないため、事前に植生等を考慮した点群データを活用することが望ましいと考えられる。

5. ズームカメラの検証実験

(1) 検証方法

対象施設から水平距離で200m程度離れた地点にUAVを飛行させ、光学1倍での基準写真及び光学2倍、5倍、10倍及び20倍でのズーム写真の撮影を行った。対象施設の右岸袖部にはスケール比較のためリボンロッドを設置した。

(2) 検証結果

撮影写真は次頁の図-6に整理した。基準写真では対象写真を含めた広域の写真が撮影されたのに対して、5倍ズーム写真では対象堰堤の全景が収まる程度の写真が撮影され、20倍ズームでは対象施設の右岸側袖部が大きく写る写真が撮影された。



図-6 基準写真及びズーム写真 (上：撮影写真，中：20倍相当に拡大，下：200倍相当に拡大)

それぞれの写真をPC上で20倍相当及び200倍相当に拡大を行った。20倍相当に拡大した結果、基準写真は解像度に不足が見られたが、2-20倍ズームした写真には大きな差異はなく、2倍ズームでも十分に鮮明な画像が得られた。200倍相当に拡大した結果、5倍ズーム写真ではリボンロッドの着色、10倍ズーム写真では数値、20倍ズーム写真ではcm単位の日盛りまで判読できた。20倍ズーム写真における1ピクセルのサイズは0.5cm四方程度であり、対象物が写真上にて複数ピクセルで構成されていれば判読可能と考えられる。

(3) 結果の考察

本検証実験では、以下の知見が得られた。

a) 撮影可能な距離について

本検証実験では対象施設の200m遠方から撮影を実施し、20倍ズームでは1ピクセルおよそ0.5cm四方程度の写真が撮影された。ピクセルのサイズは撮影距離及び倍率と比例関係にあることを考慮すると、20倍ズームを使用した場合、臨時点検において早急に把握が必要な変状（10cm以上の規模を想定）であれば2km程度遠方からの撮影でも写真上では複数ピクセルで構成され、把握可能と推測される。

b) 撮影可能なアングルについて

本検証実験では対象施設の下流側から撮影を行ったため、対象施設の水通し天端や下流法面は撮影可能であったが上流法面は撮影できなかった。また、植生の陰となり側壁護岸についても撮影できなかった。遠方から撮影を行う場合、撮影可能なアングルが強く制限されることに注意が必要である。定期点検においては設備の各部位を網羅的に撮影する必要がため、遠方からズームカメラによる撮影では代用が難しいと考えられる。臨時点検であっても、事前に植生まで考慮した3Dモデルを用いて、撮影写真のイメージや周辺の支障物の影響を検討することが望ましい。

6. おわりに

本稿における高高度飛行の検証では、UAV・プロボ間の通信に2.4GHz帯の直接通信を使用した。2.4GHzの直接通信における最大通信距離は1km程度であるが、特に山岳地帯においては地形等の影響により実際の通信距離が短くなる。その対策として高高度飛行により地形等の影響を軽減し、より遠方までの飛行が可能となった。また、ズームカメラの検証では2km程度遠方からでも実施可能と推定した。臨時点検において道路が寸断された場合でも高高度飛行とズームカメラを併用することでより遠方からの点検が可能となり、移動時の効率性や安全性が向上すると期待される。また、検証で用いた機器は汎用的な機器で実施可能であるため、多くの点検業者等に

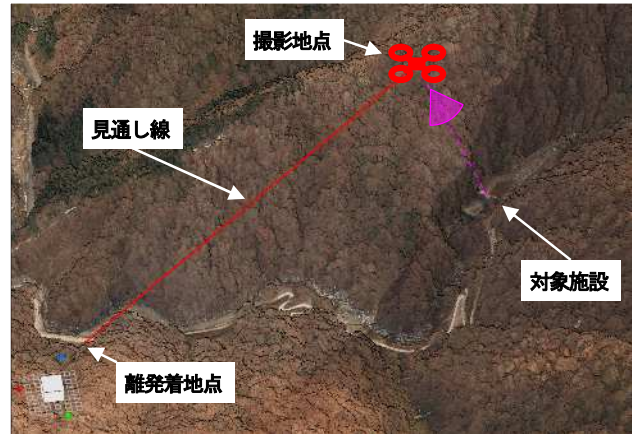


図-7 3Dモデルでの飛行経路の確認例



図-8 3Dモデルでの撮影イメージの確認例

とって実施可能なものであると考えられる。

一方で、高高度飛行やズームカメラによる遠方からの撮影では撮影アングルが制約されることが確認され、設備の各部位を網羅的に撮影することは困難と考えられることから、定期点検には不向きであると考えられる。

また、施設に近接したUAV点検と比較して高高度・遠方からのUAV点検では地形や植生等を事前確認する必要性が大きいことが示唆された。平面図や縦断図だけでなく3Dモデルを用いた事前確認が重要となる。例として、三次元点群データ上でUAV飛行時の見通し線（図-7）及び撮影される写真（図-8）のアングルを検討した例を示す。使用した三次元点群データは測量データに含まれるオリジナルの点群データをオルソ画像で着色したものであり、植生まで含めたモデルであるためより実際の現地条件に近い検討が可能である。

謝辞：本稿をまとめるにあたりご指導・ご協力を頂きました皆様へ心から感謝致します。

参考文献

- 1) 第72回砂防学会研究発表会概要集 2023.5：常願寺川流域におけるVTOL型ドローンを用いた流域調査手法の検証
- 2) 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター 2023.5：UAVの自律飛行による砂防関係施設の自動巡視・点

検に関する手引き

2) 国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所 2024.2 : 砂防
設備点検マニュアル(案)