

UAV（VTOL型）の長時間・長距離飛行による 溪流点検への活用方法の検討

・西條 裕道

中部地方整備局 多治見砂防国道事務所 砂防調査課 （〒507-0023 岐阜県多治見市小田町4-8-6）

本論文は、木曽川流域の滑川において緊急時を想定したUAV点検手法として実施した、垂直離着陸型固定翼ドローン（以下、VTOL型ドローンと呼ぶ）を活用した現地検証試験結果を取りまとめたものである。飛行のために必要な事前作業（航空局への許可承認申請等）や点検撮影手法、撮影データ解析結果等の現地検証試験結果を報告する

また、木曽川流域の中津川においては、レベル3.5飛行でのVTOL型ドローンによる現地検証試験を実施予定であり、航空局への許可承認申請等の事前準備状況についても併せて報告する。

キーワード UAV、VTOL型ドローン、緊急時点検、レベル3.5飛行

1. はじめに

日本の山地流域の多くは急峻な地形が広がっており、大規模な出水や地震が発生した場合は、山腹崩壊、土砂・流木の流出等の状況を安全且つ迅速に把握することが求められる。しかし、豪雨や地震後の緊急時は流域内の砂防施設や管理用道路等が被災していることが想定され、二次災害発生リスクが高いことから、人による現地確認作業は安全性や効率性の観点で課題がある。また、防災ヘリ等の有人航空機を活用した流域の状況把握やレーザ測量も想定されるが、航空機の手配調整やレーザ測量後の地形データ作成に至るまでに迅速な対応が困難なことが課題となっている。

一方で、近年ドローンの普及や技術の発展は著しく、砂防の現場においてもドローンの活用局面が増えている。特にVTOL型ドローンは、長距離の高速飛行能力と通信性能を有しており、有人航空機の代替ツールとしてより簡易かつ迅速な広範囲の流域調査への活用が期待される。

本論文では、多治見砂防国道事務所が砂防事業を実施し、土砂の発生・移動が顕著な木曽川水系の滑川上流域～北股沢源頭部（図-1）を対象に、豪雨や地震後の緊急時における流域調査および被災状況把握手法の確立を目的として、VTOL型ドローンを活用した一連の現地検証試験結果について報告する。なお、滑川上流域～北股沢源頭部は崩壊地が広く分布し、土砂生産・移動・堆積が活発であること、上流域へのアクセス手段は徒歩のみであり、アクセスに危険が伴うこと等を考慮し、現地検証試験の対象箇所に選定した。

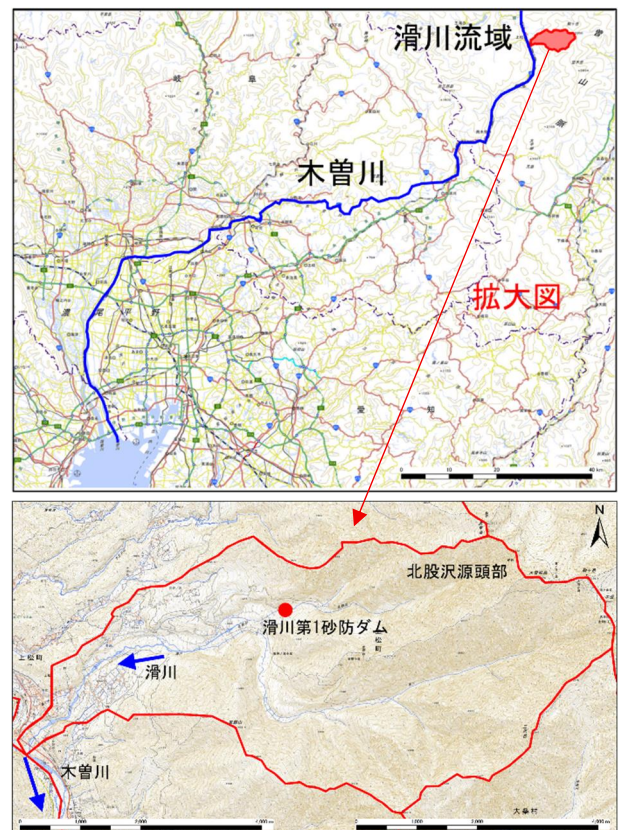


図-1 現地検証位置（滑川上流域～北股沢源頭部）

2. VTOL型ドローンの概要

VTOL型ドローンは長距離かつ高速飛行が可能であり、上昇・下降に要する滑走路が不要のため、当該箇所のような狭窄な谷地形を形成する地域での迅速な広範囲の点検実施において有用である。また、LTE通信を用いた遠隔での情報伝達が可能であること等を考慮し、エアロセンス社製のエアロボウイング（AS-VT01）を選定した。機体の外観、機体仕様を図-2、表-1に示す。

3. 現地検証内容

(1) フライト内容

滑川上流域～北股沢源頭部において、図-3に示す飛行ルートを設定し、①前方動画撮影、②下方静止画撮影の2フライトを実施した。①前方動画撮影では、緊急時を想定した撮影映像のリアルタイム配信を行い、渓流や砂防堰堤の状況把握の可否を検証した。②下方静止画撮影では、(2)以降のオルソ画像・三次元点群作成に必要な画像データを取得した。

飛行ルートについて、VTOL型ドローンの飛行高度を確保する際には機体の旋回が必要であり、旋回の際には機体が谷地形に接近するため、旋回時の安全離隔の確保を目的に対地高度150m以上でのルート設定を行った。なお、飛行時に対物距離が高くなり撮影画像解像度が低下するおそれがあるため、複数箇所での旋回し高度を上げる飛行ルートとした（図4）。また、現地検知検証は総飛行距離約21km（旋回も飛行距離に含む）の長距離飛行となることから、通信手法は高高度のLTE通信を活用した。

以上の飛行ルート設定を踏まえ、本現地検証を行うにあたり、航空局より目視外飛行及び対地高度150m以上の高高度飛行の許可承認を取得し、レベル3相当の飛行を行った。

(2) オルソ画像・三次元点群作成

通信速度を速めるため衛星通信（Starlink）を使用し、撮影した下方静止画データを既往のクラウドサービス（エアロボクラウド、エアロセンス社提供）上の解析プログラムにアップロードし、SfM解析によりオルソ画像・三次元点群を作成した。また、解析時にはPPK測位処理（GNSS測量で記録したデータを後から電子基準点のデータで補正する手法）を実施し、座標補正を行った。

(3) 三次元点群の標高差分析

既往の解析ソフト（TREND POINT、福井コンピュータ社提供）を活用して、実証試験で得られた三次元点群

と令和元年度に計測した既往のLPデータ（以下、RILPデータと呼ぶ）との標高差分析を実施し、侵食・堆積状況の視覚化と標高差分析の精度確認を行った。



図-2 エアロボウイング（AS-VT01）の外観

表-1 機体仕様

本体重量	9.45kg（バッテリー含む）
飛行可能時間	40分（ペイロードなし）
最大飛行速度	100km/h（本検証は65km/hで実施）
通信形式	LTE通信、2.4GHz通信
使用したカメラ	前方動画撮影： FLIR Duo Pro R（フリースシステムズ社製） 下方静止画撮影： Sony UMC-R10C（Sony社製）



図-3 飛行ルート

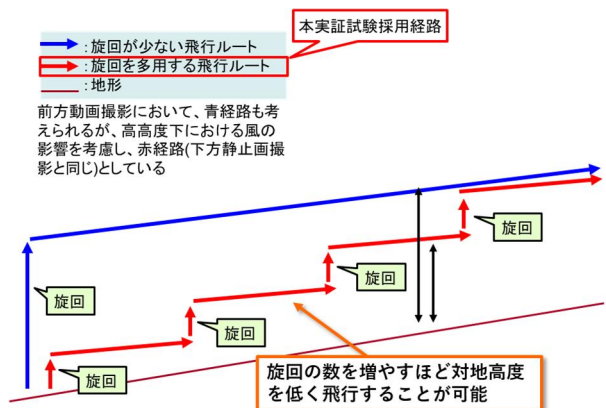


図-4 旋回箇所と対地高度関係性のイメージ図

4. 現地検証結果

(1) 前方動画撮影成果

1フライト目では、4Kカラー映像（録画）を撮影し、溪流や砂防堰堤の状況を鮮明に把握することができた（図-5）。また、撮影映像をリアルタイム配信で受信した映像においては、溪流状況や砂防堰堤の堆砂状況等を把握できるものの、撮影動画と比較して低画質な動画が伝送され、配信中にコマ落ちなどの問題が生じる結果となった（図-6）。

(2) オルソ画像・三次元点群成果

2フライト目で実施した下方静止画像撮影結果を基に、SfM解析によるオルソ画像・三次元点群データを作成した。SfM解析に使用した撮影画像枚数は826枚、撮影画像面積は5.02km²である（図-7）。

(3) 標高差解析成果

先述（2）で作成された三次元点群と、RILPデータとの標高差解析結果を図-8に示す。赤色が堆積傾向を、青色が侵食傾向を示しており、河床部分に関しては白色（最大変位±2m未満）が多くを占め、部分的に堆積や侵食の判定がみられた。これは約5年間の土砂変動や除石工事によるものと推定される。具体には、河床内の治山堰堤付近での堆積傾向やその上流では侵食傾向がみられた。なお、河床両岸斜面の赤色表示範囲は、植生の影響（樹木の高さがプラスの変位として表れている）によるものである。また、RILPデータを正とした場合に、RILPデータと（2）で作成された三次元点群を比較すると、水平方向の差異はほとんどなく、標高に関しては最大で0.5m程度の差異が確認された（図-9）。標高の差異については、LPデータと本解析により作成された点群データにおける、計測時の飛行高度や点群作成手法の違い等により生じたものと推察される。

以上の解析結果を踏まえ、有人航空機からの目視による状況確認の精度を考慮した場合、溪流状況や砂防堰堤の状況が平面的に把握可能であり、緊急時における新規崩壊の抽出や土砂流出等の地形変化を概括的に把握する目的において過年度LPデータとVTOL型ドローン点検により作成した三次元点群データとの標高差解析は有用であると推察される。



図-5 前方動画撮影成果（撮影動画）



図-6 前方動画撮影成果（配信映像）



図-7 オルソ画像作成成果

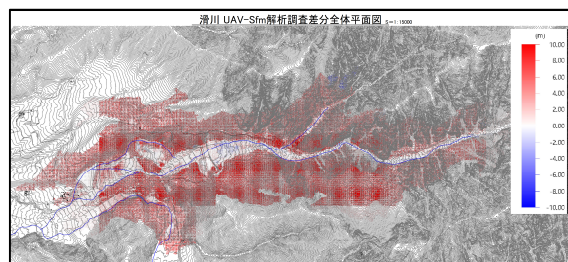


図-8 標高差解析結果（赤：堆積，青：侵食）

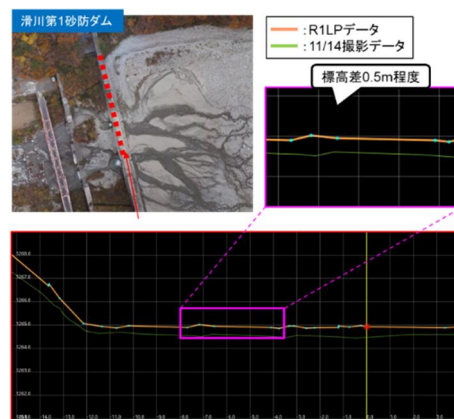


図-9 LPデータとの位置座標比較

(4) 作業所要時間の整理

本現地検証における各作業の所要時間を表2に示す。現地での飛行準備から飛行完了、標高差解析の実施、関係機関への報告を行うまでの一連の作業（図-10）に約8.5時間を要した。災害時を想定した場合には現地確認から報告まで求められるが、およそ1日で現地撮影画像の提出に加えて、標高差解析結果より現地状況の変化の有無の報告が可能であることを確認した。

5. まとめ・課題および展望

(1) まとめ・課題

滑川上流域～北股沢源頭部における実証試験では、豪雨や地震後の緊急時における流域調査および被災状況把握手法の確立を目的とて、VTOL型ドローンを用いた溪流状況調査（リアルタイム映像配信、下方静止画像撮影からオルソ画像・三次元点群作成、標高差解析）を実施した。標高差解析結果より、本実証試験で作成した三次元点群は、緊急時における地形変化を把握する目的において有用であると考えられる。

本実証試験では、VTOL型ドローン飛行時の安全確保のため、補助者を複数人配置し実証試験を行った。しかし、大規模な出水や地震が発生した緊急時には、交通インフラが被災し、補助者が現地に赴くことが困難となり、作業員の確保についても課題が想定され、より安全性向上や省力化を講じた緊急時の点検手法の確立が必要である。

(2) 展望

本実証試の次のステップとして、従来補助者を配置し対応していた無人地帯の安全確保を、ドローンの機上カメラにより代替するレベル3.5飛行¹⁾でのVTOL型ドローン飛行実証試験を木曽川水系中津川で実施する予定である。レベル3.5飛行の実施に向けた飛行申請手続きを行い、航空局よりレベル3.5飛行の飛行許可を得ている。飛行ルート上に位置する国道363号を横断する際、従来であれば補助者を配置していたところを機上カメラにより車両通行の有無を確認する計画としている（図-11、図-12）。

表-2 現地検証 各作業における所要時間

実施内容	所要時間
飛行準備→フライト完了（ケース③のみカウント）	約1.5時間
撮影写真をクラウドへアップロード	約1.5時間
SfM解析（クラウド内）	約3.0時間
クラウドからデータダウンロード→標高差解析→成果図面出力	約2.5時間
総作業時間	約8.5時間

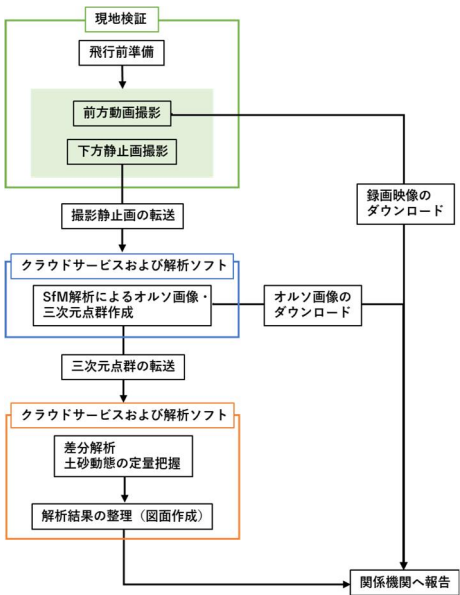


図-10 実証試験 作業フロー

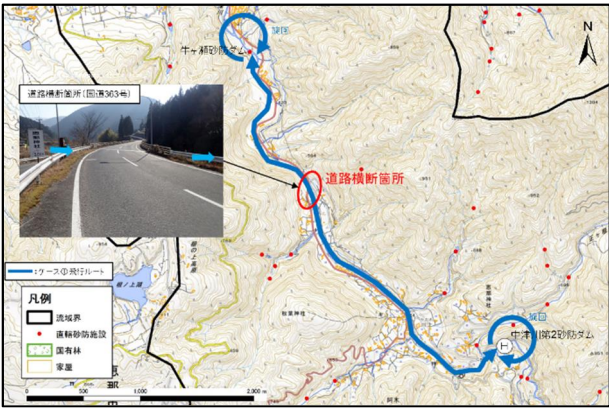


図-11 中津川でのレベル3.5飛行 飛行ルート



図-12 飛行経路中の道路横断箇所（国道363号）

参考文献

1) 国土交通省航空局無人航空機安全課：カテゴリーⅡ飛行（レベル3.5飛行）の許可・承認申請について，2024