

UAV基地を用いたUAV自律飛行による 流域調査・砂防施設点検について

北本 楽¹・小杉 恵¹

¹近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々 3027-6)

2011年紀伊半島大水害において、土石流や土砂・洪水氾濫が生じた和歌山県那智川流域では土砂災害対策として各溪流に砂防堰堤を整備している。出水時には施設の臨時点検を実施する必要があり、UAVによる施設点検が有効である。しかしながら、出水直後に操縦者やUAV等機材を確保が難しい場合も多い。本研究では、点検対象近傍にUAVを格納する基地をあらかじめ設置し、レベル3飛行（目視外補助者無し飛行）を併用して離陸～空撮～着陸および映像伝送を自動化することで、人員確保の課題を解決した。本稿はUAVを用いたレベル3飛行の実証実験および流域や砂防施設点検時の活用について報告するものである。

キーワード UAV, レベル3飛行（目視外補助者なし飛行）, 施設点検, 流域点検

1. はじめに

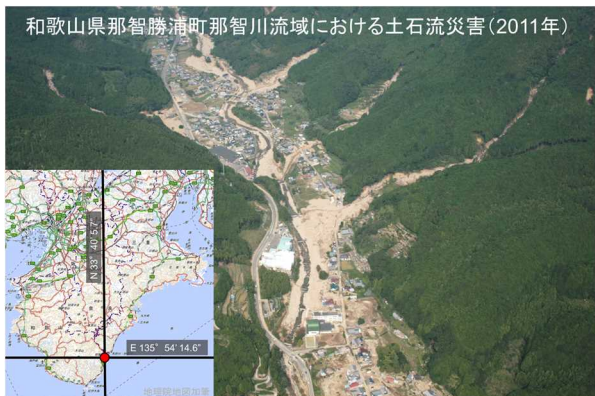


図-1 那智川流域の土石流災害

2011年の紀伊半島大水害は、紀伊半島全体に記録的な豪雨をもたらし、3,000箇所以上の斜面崩壊および17箇所の河道閉塞を引き起こした。和歌山県那智川流域では同時多発的な土石流および土砂・洪水氾濫が生じ、家屋やインフラに甚大な被害が生じた（図-1）。この災害を受けて紀伊山系砂防事務所では直轄砂防事業にて各溪流出口に砂防堰堤等の砂防施設の整備を実施しているところである。こうした施設は豪雨によって土砂移動が懸念される場合、降雨後に施設が土石流等の衝撃で破損していないか、堰堤上流に異常に土砂が堆積し流出の恐れがないかどうか臨時点検を実施する必要がある¹⁾。臨時点検における砂防堰堤の目視点検では土砂移動による二次被害が生じぬよう注意が必要であり、それゆえ点検員が施設に接近することが安全上難しい場合があり、UAVを用い

た施設点検が有効である。他方、出水直後にUAVを操縦可能な操縦者、補助者およびUAV等機材を迅速に確保して点検を実施することが困難であることも多い。本研究では那智川流域の砂防堰堤を対象として、施設近傍にUAVを格納できるUAV基地をあらかじめ設置するとともに、UAVに事前に飛行ルートを設定することでレベル3飛行（図-2）を併用した離陸～施設上空への移動～空撮～帰還～着陸までの一連の作業を完全に自動化して、作業員を不要とする流域や砂防施設の点検実証実験を行い、点検調査技術を検証した。UAV基地を用いた砂防施設点検は全国初の取り組みであった。本稿では実証実験の成果およびUAV基地を用いた点検技術の有用性と課題について報告する。

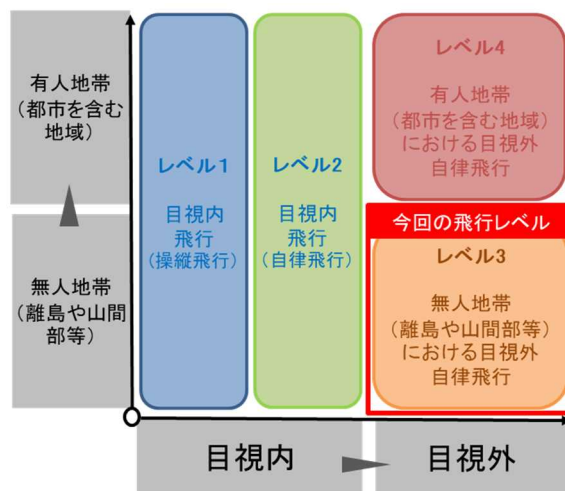


図-2 UAVのレベル飛行区分



図-3 内の川 (那智勝浦町 那智川流域支川)

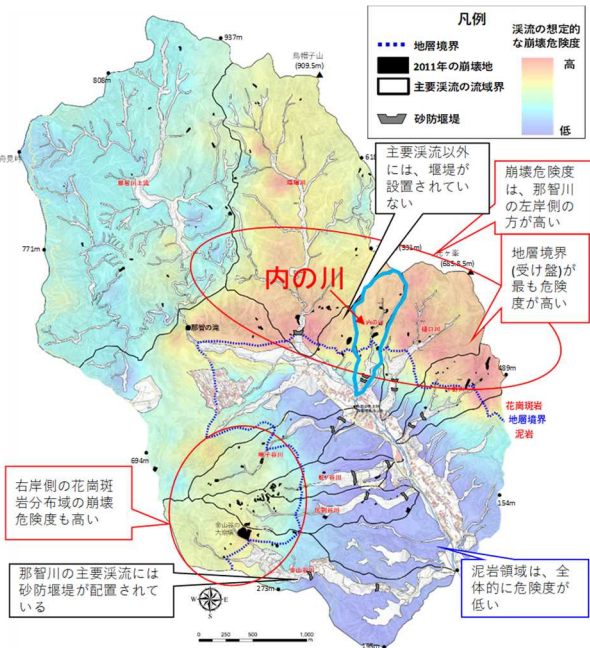


図4 那智川流域における表層崩壊発生危険度マップ

2. 対象地区

直轄砂防事業により砂防堰堤を整備した和歌山県那智川流域の8支川のうち、堰堤上空が植生等で覆われておらずUAVによる空撮が可能であり、今後の新規崩壊のリスクが高いと考えられる内の川を実証実験の対象地区とした(図-3)。崩壊リスクについては地質および斜面傾斜や土層厚等の地質条件を考慮した表層崩壊発生危険度マップ²⁾を用いて判別した(図-4)。また、離発着地点となるUAVを格納可能なUAV基地の設置箇所としては電源を確保するため、内の川周辺にある近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター(和歌山県那智勝浦町市野々、以下、センター)を選定した。なお、内の川砂防堰堤とUAV基地設置箇所は直線距離で約700m離れていた。

3. 実証実験の準備

(1) 機材の選定

本実証実験に用いるUAVの選定は以下条件を満たす機体とした。

- ・レベル3飛行が可能なこと。
- ・溪流および砂防施設の点検が可能な飛行時間(約15分以上)を有すること。
- ・UAVを格納可能なUAV基地に設置できること。
- ・UAVの点検映像をリアルタイムに遠隔地で確認できる仕様であること。

上記条件を満足する機体としてSENSYN Mark-2(株式会社センシンロボティクス、以下、実証実験機体)を選定した(図-5上)。また、UAVを格納する機材としてSENSYN DRONE HUB(株式会社センシンロボティクス、以下、UAV基地)を選定した(図-5下)。実証実験機体およびUAV基地はLTE環境下での運用を想定しているため、飛行範囲がLTE通信環境内であり、通信速度が推奨値(8Mbps)以上であることを事前に確認した。

(2) レベル3飛行における事前申請手続き

UAVによるレベル3飛行は航空局に申請を行い、飛行箇所、飛行日時、使用するUAV機体ごとに飛行承認を得る必要がある。本実証実験に先立ち、内の川におけるレベル3飛行の申請を行った。申請は過年度までの申請実績³⁾を参考に航空局への電話ヒアリング等を実施しながら申請日から約60日で承認を得た。また、LTEを機体に搭載する際には地上の携帯電話に影響を及ぼさないよう飛行台数を監視する実用化試験局制度があり、今回は当該制度を用いてLTEの利用申請をして承認を取得した。

(3) 実証実験の実施体制

遠隔地からUAV基地の操作および実証実験機体の自律飛行による調査自動化を行うために、クラウドサーバ



図-5 上: SENSYN Mark-2
下: SENSYN DRONE HUB

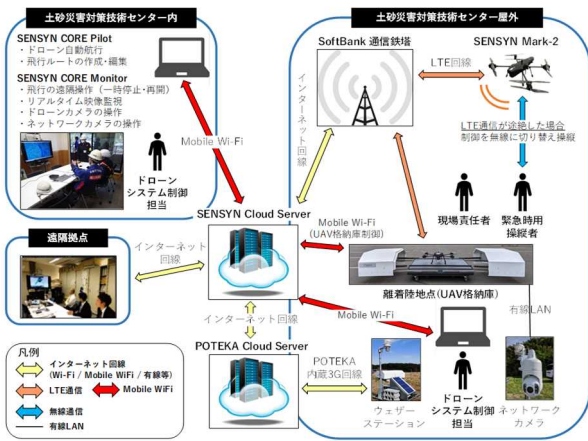


図-6 実証実験におけるネットワーク構成図

ー (SENSYN Cloud Server) を中心としてネットワークを構築した (図-6) . 指示拠点となるセンター内とクラウドサーバーおよびクラウドサーバーとUAV基地間はモバイルWiFiでネットワークを構築し, UAV基地と実証実験機体間はLTE回線でネットワークを構築した. センター内にはUAVが撮影する映像を職員がリアルタイムで確認して施設点検を実施したり, UAV基地の開閉操作, 実証実験機体への飛行ルートのアップロードをできるようにモニターとパソコンを設置した. 実証実験機体は空撮後にUAV基地に着陸すると, リアルタイムで伝送していた映像と同時に撮影した高画質の静止画・動画をクラウドサーバーにアップロードすることで, 職員はUAV基地に近づくことなく遠隔地から高解像度画像を取得して, 施設の破損等の変状確認やSfM解析によるオルソ写真・3次元モデルの作成が実施可能である. UAV基地は, 自動で実証実験機体を充電できるだけでなく, 近傍に設置したネットワークカメラや雨量計とリンクして遠隔地に離発着地点の気象状況を伝えることが可能である. 本来であれば, レベル3飛行自体には補助者の配置は不要であるが, 自律飛行ルートが公道(橋上)を跨ぐ場合は制度上, 第三者の安全に配慮するために, 監視者を別途配置する必要があるため, 実証実験中は適切に補助者を配置して実施している.

4. 実証実験結果と考察

(1) 実験結果

内の川の upstream 崩壊地および砂防堰堤の状況を確認できる映像を撮影するために適切な飛行ルートを作成し, センター内のパソコンからUAV基地内の実証実験機体にアップロードできた. 飛行ルートのアップロードは数十秒で完了した. さらに, 「飛行開始」ボタンを押すだけで, 屋外に設置したUAV基地が自動開閉し, 離陸～レベル3飛行による溪流の崩壊地および施設の空撮～着陸の一連の作業を約12分間で完了し, 点検後のバッテリー残量は約50%であった. また, 実証実験機体の飛行中においてもセンター内の指示拠点から遠隔操作によってカメラの方

向を変えたり, ズームをして施設変状を確認することができた.

(2) 取得データの分析

撮影データのクラウドサーバーへのアップロードは送信データ量1.76GB(動画:2ファイル, 静止画:532枚)であり, アップロード時間は約90分を要した. また, 取得した静止画のうち166枚の画像を用いてSfM解析(使用ソフト:Metashape, Agisoft社)を行い, 約23分で砂防堰堤を含む内の川溪流全体のオルソ写真・3次元モデルを作成した(図-7). 事前に現地で見視点検により発見した施設変状について人力で撮影した近接写真, 実証実験機体で空撮した静止画, SfM解析で作成した3次元モデルの3種類の



図-7 内の川の溪流全体オルソ写真および3次元モデル



図-8 目視点検による近接撮影, オルソ写真, 3次元モデルのそれぞれによる砂防施設変状の判別

画像を図-8に示す。各画像において砂防堰堤下流の流路工の護岸における張石工欠損等の変状は欠損が確認でき、オルソ写真や3次元モデルは人力での近接撮影に劣らず点検に活用できることが示された。

(3) レベル3飛行およびUAV基地を併用した調査技術の有効性および課題

本実証実験ではレベル3飛行とUAV基地を併用することで、約10分程度で迅速かつ安全に溪流の崩壊地および砂防施設の変状を確認することができた。この調査手法では熟練した操縦者やUAV目視飛行時に必要となる補助者を確保する必要がない点、職員が現場に立ち会う必要がない点、UAV機材をあらかじめ点検施設近傍に待機させておける点において、従来の人力点検もしくはレベル2以下のUAV飛行による点検よりも迅速かつ安全に点検可能であり、変状を確認するための十分な画質等の精度を有していることから、実用化した際に点検の迅速化・省人化・安全化が期待される。一方で、以下の課題も確認された。

・LTE回線の強度

本実証実験では、実証実験機体とUAV基地間の通信（LTE回線）や、UAV基地とクラウドサーバーと指示拠点間の通信（WiFi）を無線回線で実施していた。しかしながら、実証実験中もLTEやWiFi通信の回線が遅くなり映像伝送に遅延が生じるなど問題が生じた。人口密集地や日中の地上での携帯電波利用が増加する時間帯等では特に影響が大きいと考えられ、今後は有線接続を含むネットワーク環境の構築に工夫が必要だと考える。

・UAV基地・実証実験機体の性能限界

使用したUAV基地はメーカー独自の安全基準により人工衛星捕捉数が60機以上でないと開閉できない仕様であった。砂防施設は比較的人家の少ない箇所を整備されている場合が多く、安全基準点検は施設点検に適した基準に引き下げ可能だと考える。実証実験機体については最長飛行時間が20分程度であり、1溪流のみの点検であれば十分だが複数溪流の一括点検では飛行可能時間が不足するため、UAV基地に帰還して充電後に再度飛行が必要である。なお、UAV基地における実証実験機体への充電はバッテリー残量0%から100%までは約60分の時間を要する。また、複数溪流へより容易にアクセスできるようにUAV基地の設置配置にも留意が必要である。さらに、実証実験機体の自律飛行中はインターバル（3秒間）撮影が基本仕様であり、任意箇所での定点撮影が目的であっても撮影枚数が非常に多くなってしまいが確認された。UAV基地による人員削減と調査の迅速化が可能一方で、実際の運用ではまだ課題が多く機能の拡充とともに機体の軽量化による飛行時間の延長などさらなる技術革新が必要と考える。

5. おわりに

本現地検証では、UAVのレベル3飛行とUAV基地を併用することで、操縦者、補助者を必要とせず職員の遠隔地からの監視のみで流域および砂防施設の調査が実施可能であることを確認した。砂防施設点検においては、これまで作業員が徒歩で施設に近接し、目視で確認できる範囲の点検にとどまっていた。また、砂防施設上流域へのアクセスには困難な場合が多く、人力での目視点検には多くの時間と費用を要していた。特に、出水直後は土砂の二次移動による危険性も高く、こうした点検時にはレベル3飛行による点検が有効かつ安全性の高い手法である。また、UAV基地によって常時UAVを待機させ、任意のタイミングで点検できる技術は臨時点検の迅速性確保のほか、人の立ち入りが難しい土砂災害箇所の継続監視期における定期点検においても活躍が期待される。レベル3飛行による調査点検はいまだ実績が少なく、航空法の観点からもレベル3飛行中の道路横断時には監視者の配置が必要があるなど、いまだ実用化できる箇所が限られた技術であるが、今後、有人地帯における目視外補助者なし（レベル4）飛行の実現に向けた法整備が進むと、レベル3飛行による調査点検は実運用しやすくなると思われる。UAV基地を用いた点検技術は、あらかじめ設置箇所とUAVの飛行可能距離を考慮し、那智川流域全体をUAVのレベル3飛行による点検が可能となるか、そのために必要な機体やUAV基地の仕様変更や適切な配置、ネットワーク構成について検討を継続したい。今後はレベル3飛行の申請実績を増やし、砂防施設の自動点検に向けた3次元データの活用や点検結果の電子化といったDXを推進するための技術も開発し、現行マニュアル改訂などの体系化についても取り組んでいく。また、国産UAVを含むUAV市場の動向にも注目し、レベル3飛行やUAV基地を用いた点検・調査の実用化に向けて課題解決に取り組んでいく。

謝辞： 現地検証計画立案・検証は中電技術コンサルタント（株）に受託いただきご尽力いただいた。今後の利活用等の検討は国土技術政策総合研究所土砂災害研究部の木下篤彦主任研究官に有益なご意見をいただき検討を進めることができた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 砂防関係施設点検要領（案）、令和4年3月、国土交通省砂防部保全課
- 2) 田中健貴、木下篤彦：那智川流域の表層崩壊・土石流の発生メカニズムと危険度評価マップの作成、土木技術資料、Vol.63, No.8, pp32-35, 2021
- 3) 小杉恵、北本楽、柴田俊：UAVの自律飛行による河道閉塞や砂防堰堤の調査・点検、土木技術資料、Vol.63, No.8, pp36-41, 2021
- 4) 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、令和3年7月、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