# UAVを活用した砂防施設及び渓流の点検手法の検討について

熊本　勝史[1]

[1]国土交通省　中国地方整備局　広島西部山系砂防事務所　調査課長

広島西部山系は，風化花崗岩の影響や山麓まで住宅地の開発が進んでおり，土石流により甚大な被害が発生する多くの渓流を抱えており，近年も豪雨により繰り返し土砂災害が発生している．そのため，地震時や一定規模の降雨後に，事業実施渓流の緊急点検を行い，現地状況を迅速に把握することとしている．従来の地上調査では，調査員の安全性確保や調査の迅速性が課題であった．この課題を解決すべく，UAVを活用した安全かつ迅速な緊急点検方法を計画し，モデル箇所において実施検証を行った．本稿はUAVを活用した点検方法の検討及び実施検証と検証結果を踏まえたUAVの高度利活用について報告するものである．

キーワード　UAV，渓流点検，緊急点検，　レベル3飛行（目視外補助者なし飛行）

## 1. はじめに

広島西部山系は，平成 11 年 6 月 29 日の土砂災害を契機に平成 13 年度から直轄砂防事業を開始し，砂防設備の整備を行ってきたが，直轄化された後も，豪雨により平成 26 年，平成 30 年，令和 3 年と繰返し土砂災害が発生している．

広島市周辺地域は、雨で崩れやすい風化花崗岩の影響や都市化に伴い山麓まで住宅地の開発が進み土石流により甚大な被害が発生する多くの渓流を抱えている．

そのため，地震時や一定規模の降雨後に，事業箇所の約 170 渓流の緊急点検を行い，現地状況を迅速に把握することとしている．

従来の地上調査では，緊急概略点検に要する時間，渓流間の移動に要する時間，豪雨後すぐに実施するため，調査時の調査員の安全性確保が課題であった．この課題を解決するため，UAV を活用した検討を行うこととした。

本稿では，緊急点検における手動飛行を基本としたUAV活用方針や点検方法の検討，モデル箇所による実施検証，また，その結果を踏まえた緊急点検におけるUAV活用の方法，実施検証の結果，UAV点検の高度化の試行結果について報告する．

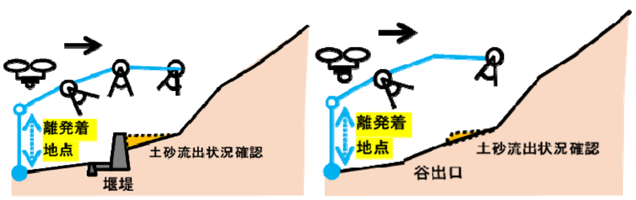


図- 1　緊急概略点検（フェーズ 1）の概念図

## 2. UAVを用いた緊急点検

### (1) UAV活用の基本方針

緊急点検における UAV 活用の基本方針は，点検内容・目的に応じて，緊急概略点検（フェーズ 1）（図-1），緊急詳細点検（フェーズ 2）（図-2）に分けて策定した．

緊急概略点検（フェーズ 1）は，一定規模以上の気象状況や災害発生時等に，土砂流出状況を把握し，土砂流出の有無について速やかに把握し，緊急詳細点検の必要性を判断する．緊急詳細点検（フェーズ 2）は，緊急概略点検で土砂流出が確認された場合，または事前に土砂流出の情報があった場合に行うものであり，崩壊地の特定及び渓流内の土砂堆積状況の把握を行うことを目的としている．

### (2) 点検方法

緊急概略点検（フェーズ1）では，UAVの離着陸地点は，出水時であっても安全な場所を選定することとした．緊急概略点検（フェーズ1）は，土砂流出状況等を迅速に把握し，緊急詳細点検の必要性を判断することが目的であるため，UAV点検では，定点での静止画撮影と

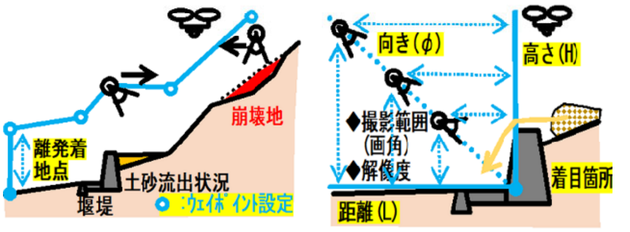


図- 2　緊急詳細点検（フェーズ 2）の概念図

UAV点検の利点を活かした全体を俯瞰した撮影を行うことを基本とした．点検箇所は，対象渓流の施設整備状況に応じて設定した．施設が無い渓流は，下流から谷出口付近，施設が整備されている渓流においては，下流から最上流施設までと調査範囲を限定することで，効率的な調査となることを目指した．特に，広島西部山系では，山裾に人家が密集し，渓流が連担している箇所が多く存在するため，調査の効率化を目指し，1回のフライトで複数の渓流を点検する方法とした．機体選定では，複数渓流を複数班で移動しながらの点検となるため，機動性が良く，汎用性の高い機体が条件となる．

緊急詳細点検（フェーズ2）では，二次流出を想定し，UAVの離発着点は，緊急概略点検（フェーズ1）同様，出水時であっても安全な場所を選定することとした．緊急詳細点検（フェーズ2）は，①崩壊地の特定，②渓流内の不安定土砂の堆積状況の把握，③崩壊地・施設変状確認，④流出土砂量等の目的に応じて実施するため，目的に応じたUAV点検方法を設定した．上記の①②については，崩壊地の特定および渓流内の土砂堆積状況を確認する遠望動画撮影を行う．③については，崩壊地・施設の変状を把握するための近接詳細撮影を行う．④については，流域全体の状況把握のためのオルソ画像作成用の撮影や流出土砂量や堰堤堆砂量の計測のためのLP計測を行う．機体選定では，①②では崩壊地の特定等，流域の上流域までの調査が想定されるため，飛行可能時間が長く，視認性の良い機体，③では施設への近接することが想定されるため，障害物（構造物・樹木）を感知するセンサーを搭載し，至近距離での撮影が可能な機体，④では，目的に応じて使用する機器の付替え等が可能な機体が条件となる．

また，点検対象となる渓流は，人家や電線等の支障物が近接する箇所も多数あるため，UAVを利用する調査の実施においては，離着陸地点の有無や支障物等を把握し、UAV利用の可否を確認した上で、飛行計画を立案や点検方法を検討する必要があった．そこで、飛行計画の効率的な計画，品質向上のため，LPデータと2次元図面から，地形モデルと構造物モデルを統合したCIM統合モデル[1]（図-3）を作成した．統合モデルは，UAVの離着陸地点，周辺の支障物情報，既往点検結果の情報を付与し，3次元的に支障物と機体の位置関係を確認できるモデルとした．

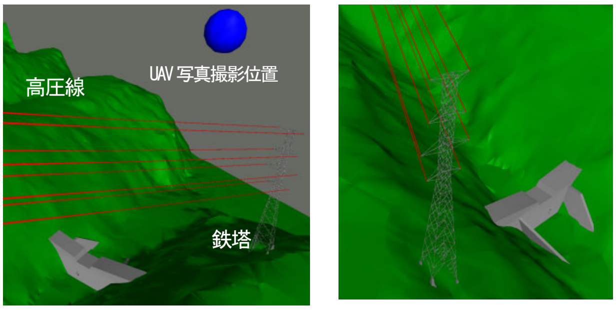


図- 3　3次元モデルを活用した飛行計画の確認

## 3. 実施検証結果

UAVを用いた緊急点検の実施検証は各地区で緊急概略点検及び緊急詳細点検のシナリオを策定し，着目点や評価項目を設定した上で実施検証を行った．

### (1) 緊急概略点検（フェーズ1）

緊急概略点検では，手動飛行で静止画撮影により土砂流出状況を確認する飛行を行い，地区の特性に応じた点検方法及び使用機体について検討した．

使用する機体は，機体の性能，品質，汎用性を考慮して，調達が容易で汎用性の高いMAVIC 2 PRO（DJI社）と飛行時間が長く，視認性に優れる MATRICE 300RTK（DJI社）の2機体を選定した．

実施検証の結果，安全な場所から1フライトで土砂流出状況を確認することが可能であった．本検討により調査した105渓流の地上点検の平均時間が1渓流あたり約20分であるのに対し，UAV点検の平均時間は約6分と調査時間の短縮となった．また，地上点検からUAV点検とすることにより約8割の渓流で点検時間が50%以上の短縮となることを確認した（図-4）．特に緑井・八木地区では，UAV点検時間が6渓流で12分であり，地上点検と比較すると約70分の大幅な時間短縮ができ，連担する渓流の緊急概略点検におけるUAV調査の有用性が確認できた（図-5）．

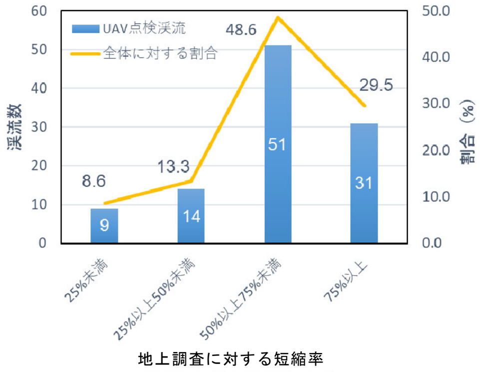


図- 4　地上点検に対する点検時間の短縮率

図- 5　緊急概略点検の実施検証結果（緑井・八木）

### (2) 緊急詳細点検（フェーズ2）

緊急詳細点検では，土砂流出が確認された場合の動画撮影による崩壊地の特定を行う．また，施設整備状況及び現地特性を踏まえ，実施検証で行う点検項目（オルソ作成用の撮影，LP 計測，近接撮影等）を選択し，土砂堆積量や施設変状等を確認した．緊急詳細点検に使用する機体は，飛行時間が長く，様々な計測機器を搭載可能な MATRICE 300RTK（DJI 社）と Visual SLAM 機能搭載で近接撮影が可能な skydio2（skydio 社）の 2 機体を選定した．

実施検証の結果，1 回のフライトで，動画撮影により崩壊地の特定及び渓流内の状況を確認（図-6）した．またオルソ画像，LP 計測により災害前後の状況の変化を全体的に把握できることを確認（図-7）した．さらに砂防堰堤の近接撮影（図-8）を行うことで堰堤天端のひび割れの規模 2)を確認することができ，施設変状の把握にも活用できることを確認した．

図- 6　緊急詳細点検結果（崩壊地の特定）

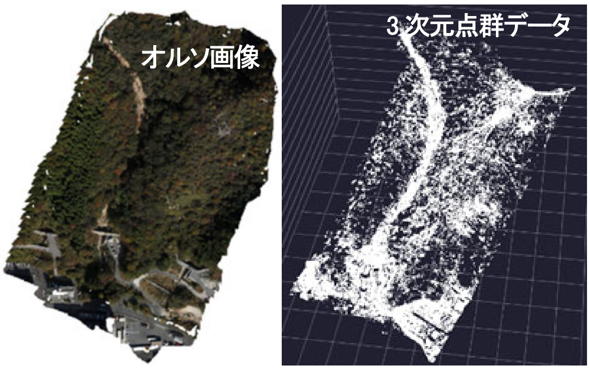


図-7　緊急詳細点検結果
（オルソ画像・3 次元点群データ（LP 計測））

図- 8　緊急詳細点検結果（砂防堰堤の近接撮影）

### (3) 実施検証結果のとりまとめ

各地区の緊急点検の実施検証結果を踏まえ，UAVを活用し，点検作業の効率化・迅速化，点検調査員の安全性向上，UAVの高度利活用を目的として「UAVを用いた緊急点検要領（案）」を作成した．点検要領（案）では，安全管理，撮影画角の設定，UAVの関連法令等について記載し，特に実施検証により得られた課題や改善点は留意点として整理した．

UAV点検結果のとりまとめについては，今後の点検結果の利活用の観点から分かりすくデータ利用していく観点でデータ格納フォルダ（図-9）を設定した．また，飛行計画立案等に用いたCIM統合モデル（図-10）を活用したとりまとめを試行した．これにより，点検結果を視覚的に検索することができた．

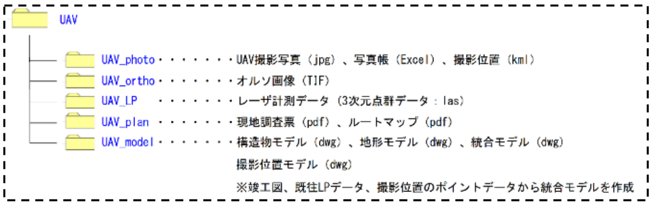


図- 9　UAV 点検データ格納フォルダ

図- 10　CIM 統合モデルを用いた UAV 点検データの利活用方法

## 4. UAV点検の高度化に向けた試行

今後の UAV 点検の高度化に向けて，調査結果の迅速な情報伝達や目視外飛行での点検について試行を行った．

### (1) 調査結果の迅速な情報伝達

調査結果について，WEB 会議システムを活用した調査映像のリアルタイム配信や SMART SABO との連携試行を行い，迅速な情報伝達（図-11）が行えるかを確認した．また，自律飛行を行いながら撮影写真を解析処理し，リアルタイムでオルソ画像を作成する機能やリアルタイムで3次元点群データが取得できる機能を活用することで，迅速な現地状況の把握（図-12）を行うことが確認できた．

図- 11　UAV を用いた調査の迅速な報告と状況共有

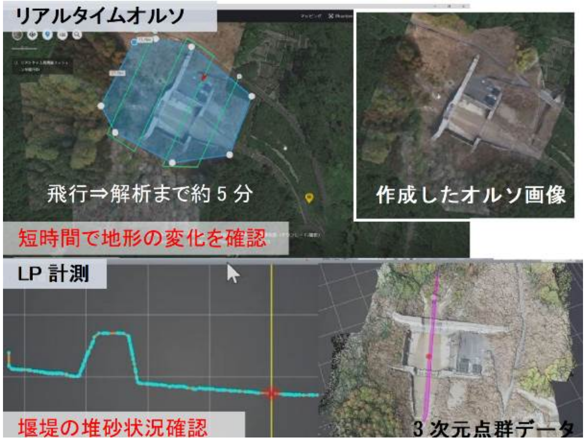


図- 12　新技術を活用した調査の高度化事例

### (2) 目視外飛行（レベル 3）における緊急点検の実施

山間部で調査範囲が比較的広い宮内・明石地区（廿日市市）（図-14）での調査は，上流域が広く目視外飛行となり，補助者を配置してのUAV点検が難しい．そこで，調査範囲拡大のため，航空局へ「目視外補助者無し飛行（レベル3飛行）」の許可・承認申請を行い，承認を得た上で飛行（図-13）を行った．レベル3飛行の実施には，技術的・法令的な高いハードルをクリアする必要があり，中国地方では防災事業初の試みであった．また、今後の都市部近郊での目視外飛行（レベル4飛行）実現に向けて，目視外飛行実施の際の許可・承認申請についての知見を得ることができた．

図- 13 UAV のレベル飛行形態

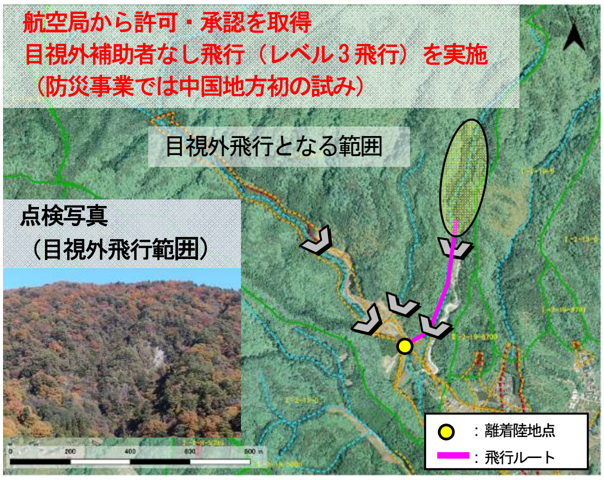


図- 14　レベル 3 飛行による現地実証

レベル3飛行の試行では，操縦者から機体を目視できない場所での飛行であっても，常にモニターで渓流内の状況を確認することができ，機体制御の電波通信も安定していた．これにより，渓流上流域の機体を目視で視認できない箇所であっても，渓流に立ち入ることなく安全に広範囲の調査が可能となることを確認した．

## 5.おわりに

本稿において検討した緊急点検時の UAV の高度利活用により，1 回のフライトで，安全な場所から迅速で効率的に土砂流出状況の把握ができることを確認できた．また，土砂流出が確認された場合の詳細な調査についても，UAV 調査の有用性を確認した．

広島西部山系では，都市部近郊で人家が近接する場所での飛行が想定されるため，繰り返しの定期点検での活用も含め，自律飛行での点検手法の検討が今後の課題である．

都市近郊部での自律飛行は，より詳細な飛行ルートの設定が必要となるため，3 次元データ等を活用し，自律飛行による安全な点検方法を確立させることが重要である．

また，撮影写真や計測データは，維持管理を行う上での重要な基礎資料となることから，データの蓄積方法やデータの活用方法を検討していくことが必要である．

今後もUAVの高度化利用に向け，渓流内に人が立ち入り不要となるレベル3飛行，さらにレベル4飛行も含めた渓流点検や施設点検への活用等、点検の高度化に取り組んで行く予定である．

### 参考文献

1) BIM/CIM活用ガイドライン（案）　第3編 砂防及び地すべり対策編 令和3年3月 国土交通省)
2) 砂防関係施設点検要領(案) 国土交通省砂防部保全課 R2.3