

六甲山系におけるレベル3飛行による砂防施設点検方法の検討

国土交通省 近畿地方整備局 六甲砂防事務所 小竹利明, 玄海彰則^{※1}, 田中幸司^{※2}
中電技術コンサルタント(株) ○徳山まどか, 河井恵美, 荒木義則, 大盛泰我^{※3}, 久家政治

1. はじめに

六甲山地は、兵庫県南東部に位置する急峻な地形を有する山地で、六甲山地南側では著しく市街化が進んでおり、砂防堰堤の直下流に人家が立ち並ぶ。六甲山地北側では、市街地化は進んでいないものの、砂防堰堤の直下流に観光地が存在し、高速道路が横断する流域もある。また、登山や観光で訪れる人が多い流域も存在するため、六甲山地全域において、流域内に登山道やロープウェーが整備されている。

六甲山系の事業管内では、23 流域で 715 基の砂防堰堤が整備されており、一部の施設では UAV 点検が進められているが、調査施設数は少ない状況にあり、点検作業効率化や安全性に課題がある。さらに、飛行禁止空域（DID、空港等の周辺空域）や飛行障害物（ロープウェー、高圧線、鉄道、高速道路等）などの UAV 飛行における支障物が複数存在するため、適切な流域の選定や飛行計画を立案する必要がある。

本稿では、上記課題を踏まえ UAV の無人地帯での目視外補助者無し飛行（以下、「レベル3飛行」という。）による砂防施設点検の点検方針や点検方法の検討、実証試験を行った。また、その結果を踏まえ、UAV の活用方法を取りまとめた成果について報告する。

2. 砂防施設点検の基本方針

UAV のレベル3飛行を前提とした定期点検や臨時点検¹⁾の基本方針を策定した。定期点検では、定点撮影による変状の確認、堆砂状況の確認を実施する。また、臨時点検では、状況把握フライトと詳細確認フライトに分けて実施することとした。UAV のレベル3飛行による定期点検、臨時点検は、前回点検時からの変化を把握することを目的として実施する方針とした。

3. 砂防施設点検の点検方法

定期点検の定点撮影では、施設の上下流側（60°）・真俯瞰（90°）からの3アングルを基本とし、俯瞰的に施設状況を撮影する（図-1）。

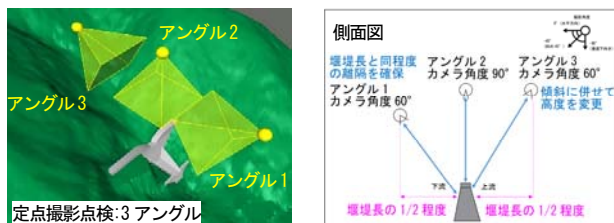


図-1 飛行計画概念図

定点撮影を行う際に、山の尾根に遮られ、安定した通信を確保できない場合は、山の尾根に沿って対地高度を高くすることで、対地高度 150m 未満で安定した通信を確保することができる。その場合、撮影対象と機体の距離が遠くなることが想定されるため、ズーム機能を活用し、撮影データを補完するなどして、撮影方法を工夫した（図-2）。

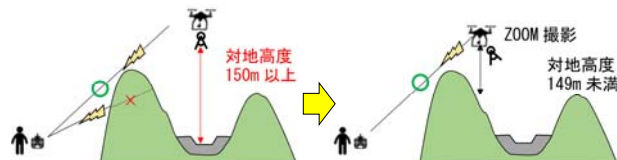


図-2 斜面乗り上げによる撮影方法の工夫

定期点検の堆砂状況の確認では、LP 計測を実施する。LP 計測により取得した 3 次元点群データから堰堤水通し付近の縦断面を確認し、未満砂高及び堆砂勾配の計測を行い、堆砂率の概略値（図-4）を算定する。

臨時点検の状況把握フライトでは、動画撮影を実施し、施設や周辺状況に変化が見られた場合は、迅速に報告する。必要に応じて、臨時点検の詳細確認フライト（ズーム撮影等）を実施し、詳細状況を確認する。

4. 実証試験結果

UAV のレベル3飛行による砂防施設点検の実証対象流域は、支障物の有無による自律飛行の難易度と流域内の調査施設数による UAV 活用効果を総合的に判断し、住吉川、船坂川の2流域（計 21 施設）を選定した。また、実証試験は航空局にレベル3飛行の許可・承認申請を行い、承認を得て実施した。レベル3飛行による施設点検で使用する機体は、レベル3飛行実績、飛行時間、搭載可能な機器の種類等を踏まえて、産業機「MATRICE 300 RTK」を選定した。

(1) 定期点検（定点撮影）

現地にて設定したルートを2時期に分けて撮影した結果、撮影成果の画角は概ね同様で、植生の影響で撮影できない部分を除き、撮影データから施設や周辺状況の変化の有無の判断が可能であることを確認した。また、施設や周辺状況を俯瞰的に撮影することにより、広範囲を一度に比較することが可能であった。

さらに、住吉川では22分で10基（図-3）、船坂川では32分で11基の定点撮影が可能であり、点検時間の短縮に繋がった。離着陸地点を下流側の安全な場所に設定することで、点検の安全性向上にも繋がった。

※1 退職，※2 現所属：国土交通省 近畿地方整備局 兵庫国道事務所，※3 現所属：国土交通省 国土技術政策総合研究所

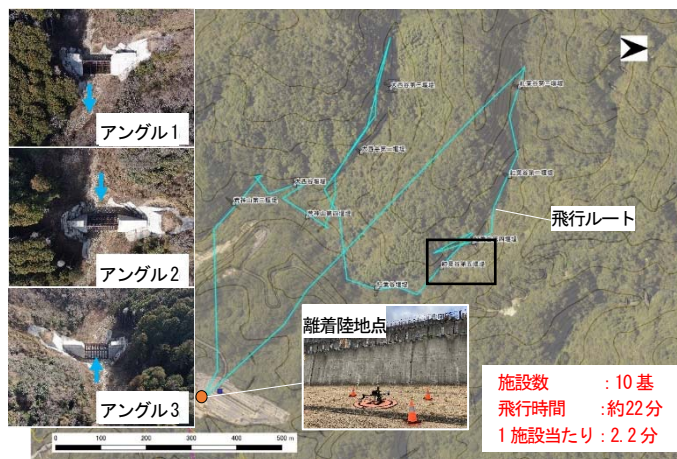
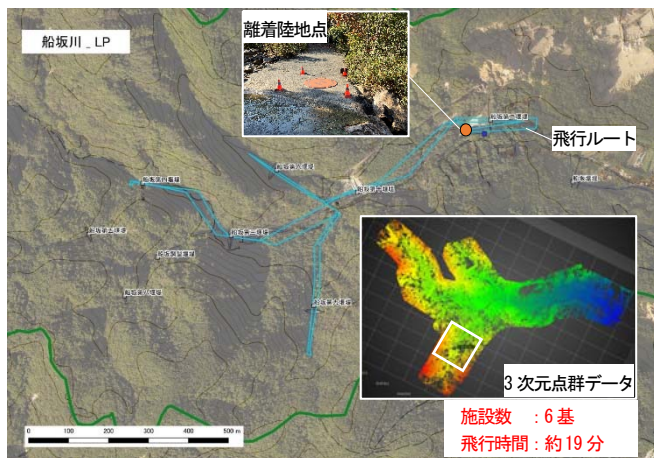


図-3 定点撮影の実証試験結果（住吉川）

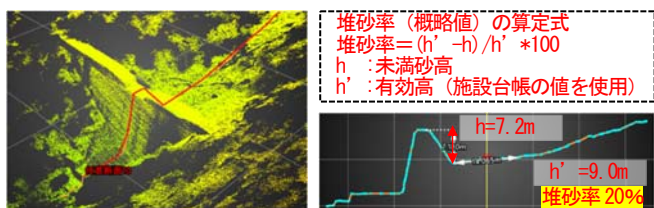
(2) 定期点検（堆砂状況の確認）

定期点検において、堆砂状況の確認を目的としてLP計測を行った。堰堤上流側で湛水が生じている場合を除き、LP計測により取得した3次元点群データから、堆砂率及び堆砂勾配を算定し、堆砂の進行状況を定量的に確認することができた。ただし、六甲山系の事業管内は、堰堤周辺で植生が繁茂している場合が多く、レーザが地表面に非常に届きづらく、計測時期や計測機器を工夫する必要がある。実証試験では、落葉時期（2月中旬頃）にレーザ照射距離の長い機器（推奨対地高度30～120m）で計測することにより、堆砂状況の確認が可能なデータを取得することができた。

なお、図-4に示す船坂川におけるLP計測の飛行ルートは、機体の飛行可能時間等を踏まえ、1フライトで点検可能な範囲（飛行ルート）を設定した。



(a) LP計測の飛行ルート及び3次元点群データ取得状況



(b) 施設周辺の点群データ取得状況 (c) 縦断面図

図-4 堆砂状況確認の実証試験結果（船坂川）

(3) 臨時点検（状況把握フライト）

出水や地震発生時を想定した臨時点検の状況把握フライトとして、動画撮影を行った。動画撮影は、往路（60°）、復路（90°）で撮影角度を変更して撮影を行い、溪流内の施設変状や不安定土塊をリアルタイムで把握可能であることを確認した。

(4) 臨時点検（詳細確認フライト）

臨時点検で状況把握フライトを完了し、変状等の詳細状況を確認する必要がある場合を想定し、ズーム撮影を実施した。ズーム撮影により、動画からは確認困難な変状を詳細に確認することができ、既知寸法がわかる場合は相対的に変状規模を把握可能であることを確認した。

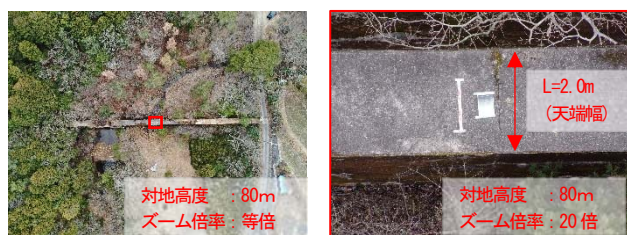


図-5 ズーム撮影の実証試験結果（堰堤天端のクラック）

(5) 実証試験結果のとりまとめ

実証試験結果を踏まえ、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六甲砂防事務所管内における砂防施設の点検要領（案）を作成した。点検要領（案）には、UAVのレベル3飛行による施設点検の点検方針、安全管理、UAVの関連法令等や実証試験により得られた課題及び改善方法について記載している。また、地上点検で着目すべき部位が明示できるよう、撮影可能部位や前回点検時からの変化の有無を判定する内容の点検個票を作成した。

5. おわりに

本稿では、レベル3飛行により定期点検、臨時点検それぞれの点検目的に応じてUAV飛行を行うことで、1フライトで複数施設の状況を把握できるようになり、施設点検における効率や安全性の向上の課題が解決できることを確認した。

実証試験を実施した2流域（21基）の飛行計画を基本として、レベル3飛行が適用可能な流域において実証展開していくことで、六甲山系の事業管内における砂防施設点検の効率化が図られる。

UAVを取り巻く技術や制度は日進月歩であるため、常に最新技術の動向を把握し、砂防施設点検の効率化・高度化について検討していきたい。

参考文献 1) 砂防関係施設点検要領(案) 国土交通省砂防部保全課 R4.3