木津川水系における UAV 及び関連する最新技術を活用した砂防施設点検に関する取り組み

株式会社建設技術研究所　○伊藤巧、家田泰弘、笹山隆、片嶋啓介、戸舘光、中西宏彰、河野元
国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所　山本悟司、小杉恵
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　木下篤彦、北本楽

1. はじめに

砂防施設の点検作業を実施する際には目視による点検が一般的である。しかし、施設の周辺は急峻な地形を呈しており、施設へのアクセスルートが荒廃している等、作業者の安全確保の面で課題が残っている。また、施設規模が大きく地上調査において堰堤を撮影することが困難である等、点検作業の効率化は非常に重要である。

一方、砂防分野における DX を推進するためには、砂防施設点検に際し UAV や AI 等の様々な最新技術の活用が着目されている。

そこで、本研究では、樹木等に被覆され、かつアクセスが困難な砂防施設が多いという特徴を持つ木津川水系管内において、UAV の自律飛行を活用した砂防施設点検について、新技術を活用した詳細点検手法事例と試行した結果を報告する。

2. 飛行計画

本研究では、UAV を活用した定期点検について検討した。使用機体は ACSL 社の PF2（図1）を基本とし、空撮イメージを図2 に示す。ただし、以下の場合は他機種を用いた。

図 1　ACSL PF2

i. 高い飛行位置精度が必要な狭い場所
→Phantom4RTK（DJI 社）

ii. 高い飛行位置精度が必要であるが RTK に必要な電波が届かない場所
→ACSL PF2（遠望からの撮影）

また、新技術を活用した詳細点検を実施した。

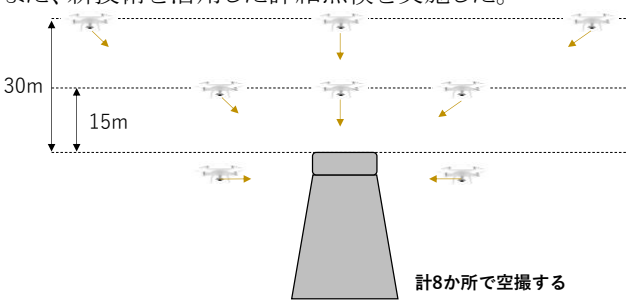


図 2　空撮イメージ

2.1 平常時の定期点検

本研究では平常時の定期点検を前提としており、使用する機体、カメラは一般性が高く、調達が容易であることが重要である。また、情報の機密性の観点より、使用する機体およびソフトウェアは国産であることが望ましい。そこで本研究では、測量・点検業者にヒアリングを行い、機体のハード面やソフト面の開発国を整理した結果、国産機である ACSL PF2 を基本使用機体として採用した。

基本点検では、砂防関係施設点検要領（案）や、「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 月近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター」を参考に実施した。

2.2 新技術を活用した詳細点検

本研究では、UAV による可視画像だけではなく、表-1 に示す技術を活用した詳細点検を実施した。

表-1　新技術を活用した詳細点検

詳細調査技術	目的
①赤外線カメラを利用した堤体内の変状把握手法	正面からの撮影により亀裂等からの漏水、常時流水の温度分布を確認する。
②レーザーにより植生で遮蔽された堤体状況把握	植生被覆下の対象施設の堤体や堆砂敷の表面形状を計測する。
③マルチスペクトルカメラを用いた樹木の NDVI 把握	通常時の植生活性度を把握することにより、今後の異常堆砂等の顕著な変状を間接的に把握する。
④SfM 解析による堤体 3D モデル作成（CIM 対応）	3D モデルにより変状を定量的に把握する（点検者による点検結果の誤差の解消）
⑤AI による変状個所の自動抽出	AI による教師あり学習を用いて近接撮影画像から変状個所を自動抽出する。
⑥SfM 解析による堆砂敷の変化把握	2時期の SfM 地形データを用いて差分解析を行う。
⑦2時期画像の背景差分による変状把握	2時期の画像を比較することで、変状の経年変化を把握する。
⑧VTOL 機による網羅的広域点検	施設直近へのアクセスが困難、またはアクセス困難な施設がまとまって分布する地域を広域空撮する。（高高度飛行に有用）
⑨長距離対応マルチコプターによる長距離詳細点検	施設直近へのアクセスが困難、またはアクセス困難な施設がまとまって分布する地域を広域空撮する。（低高度飛行に有用）
⑩ビジュアルスラム機による超接近撮影点検	UAV が接近できない施設の近接写真を撮影する。
⑪完全自律飛行システム（自動帰還・充電）	出水後に立入りが困難な場合でも自動的に定期巡回する。

3. 点検結果

3.1 基本点検

基本点検では施設に接近し、前面、背面、天端の 3 箇所を対象に数 mm 程度の亀裂を判別できるように撮影した。また、今後第三者による UAV 自律飛行点検撮影ができるように、今回の飛行ルートや撮影点を UAV 自律飛行のウェイポイントとしてとりまとめ、施設ごとに UAV を活用する課題を整理した。

3.2 狭い箇所や接近困難な箇所での点検

基本点検と同様に、数 mm 程度の亀裂を判別できるように狭い箇所では高精度な位置情報での RTK（リアルタイムキネマティック）方式による飛行を実施し、接近困難な箇所では高高度での撮影に高解像度カメラを使用することで詳細な変状の評価が可能であることを確認した。

また、離着陸まで含めた完全自律飛行による砂防施設の点検は、Phantom4RTK 等の飛行位置精度の高い機体を用いることにより、施設の条件によっては可能であることを確認した。ただし上空が樹木で被覆されていたり、RTK に必要な GNSS や携帯電話回線が受信できない場合は、後述するビジュアルスラム機の適用が必要であった。

3.3 新技術を活用した詳細点検

赤外線カメラを利用した堤体内の変状把握やマルチスペクトルカメラを用いた樹木の NDVI 把握、SfM 地形データによる差分解析は過年度に引き続き有効性を確認した。以下に、本年度における新しい試行や成果を報告する。

3.3.1 VTOL 機による広域的な施設点検

本研究では通常のマルチコプター機では困難な「広域一

括点検手法」の実証を目的とし、LTE 通信が可能な垂直離着陸機 VTOL 機であるエアロセンス社のエアロボウイング(図 3)を使用した。この、広域一括点検は個別の詳細点検の前段に実施する概況把握のためのスクリーニングと位置付けられる。 奈良県御杖村の砂防施設 19 基を対象に 2 ルートに分けて飛行した。飛行距離はそれぞれ約 15km であり、高度 100～150m 程度とした。その結果、片方のルートでは LTE の地上サービスエリアがルート末端までは含まず、もう一方のルートは、LTE の地上サービスエリアがルートの 20%程度までしか及ばない条件であった。前者については、地上サービスエリア外も含めて全ルート点検飛行できたが、後者については地上サービスエリアからを越えて上空電波を捕捉できたが、ルートの 50%程度で電波が不安定になったため帰還した。VTOL 機で撮影した画像(図 4)から変状を確認し地上点検による結果と比較した結果、詳細な部分までは確認できないが、大きな変状については十分確認可能なため、詳細に点検を行う施設の選定に使用することは十分可能であると考えられる。

図 3 エアロボウィング

図 4 撮影画像

3.3.2 ビジュアルスラム機による超接近撮影点検

樹林の生育する狭隘な谷底において、通常の GNSS による自律飛行で実施するためには飛行位置精度が十分確保できない場合がある。そこで、GNSS によらずに高精度で狭隘な箇所の撮影が期待できるビジュアルスラム機能を搭載した UAV による点検を試行した。

使用機体はカメラ画像によるビジュアルスラムに対応した ACSL-mini(図 5)と Skydio2(図 6)を用いた。どちらの機体も発着点は水平確保が必要であり、今後同様の飛行をするためには発着地点を同一位置に固定する必要がある。

図 5 ACSL-mini

図 6 Skydio2

ACSL-mini はビジュアルスラムカメラ(空間認識用)が前方に 2 つのみであるため、後方や上下を認識することはできないことから、常に堤体を視界にいれて堤体との相対的な位置関係により高精度飛行を行う必要がある。すなわち、ACSL-mini のビジュアルスラム機能を用いて堰堤の近接撮影は、堤体表面以外が視界に入らない程度に接近した箇所に発着点を水平に設置し、下部は草本や枝葉が画角に入らない範囲、上部は天端を越えない範囲が撮影可能範囲となる。

それに対して Skydio2 は上下面に合計 6 基の空間認識用のカメラを搭載しており、機体周辺に任意の範囲の空間に支障物がある場合、それ以上接近しない機能を有する。本試行では機体周辺に 1m の離隔を確保するように設定して林内の飛行を行った。すなわち、機体周辺に 1m の球体の空間が確保できない場合は、それ以上進行せずに停止、同じルートを引き返すことが可能である。

3.3.3 AI による自動変状抽出

Skydio2 による自律飛行撮影した砂防施設の近接撮影画像を用いて、富士フイルム株式会社が提供している「ひびみっけ」というサービスに適用した。その結果、概ねひび割れ等の変状を検出できた(図 7)。ただし、写真の合成ができない部分や、木陰を漏水と認識する等の誤認もあり砂防施設の AI 自動変状検出に適用可能な画像としての UAV 撮影方法を明確化する必要がある。

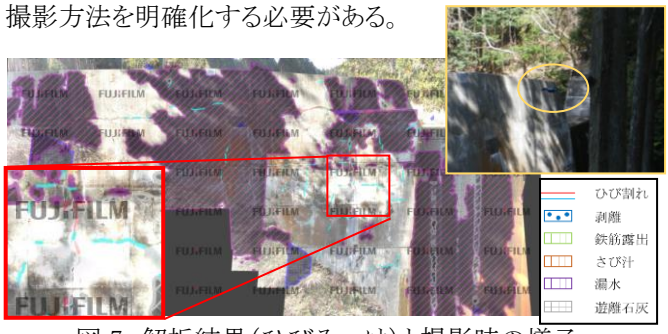


図 7 解析結果(ひびみっけ)と撮影時の様子

4. まとめと今後の展望

施設に接近して撮影可能な箇所や飛行において狭い箇所、樹木の被覆等により接近が困難な箇所についても詳細な変状の評価が可能であり、定期点検に活用できることを確認した。さらに新技術を活用した詳細点検手法として、UAV 搭載レーザーによる樹木被覆下の状況把握、マルチスペクトルカメラでの NDVI 計測による堆砂敷植生の活性度把握、熱赤外画像による漏水箇所の検出、AI による変状箇所の自動抽出、長距離飛行対応の VTOL 機や GNSS によらないビジュアルスラム機の適用性を確認した。

以上の検討より、砂防堰堤の現地条件等から撮影手法を選定するフローを図 8 に示す。また、先進技術を含めたより詳細な点検手法を選定するフローは図 9 に示す。

今後の展望としては、AI による砂防施設の変状自動検出にあたり、同一画角で撮影する方法をマニュアル化する必要がある。

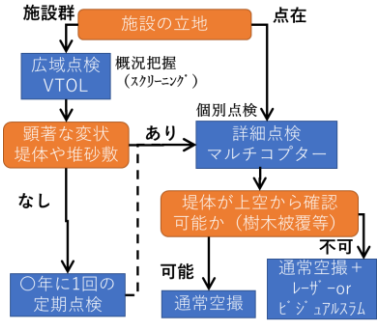
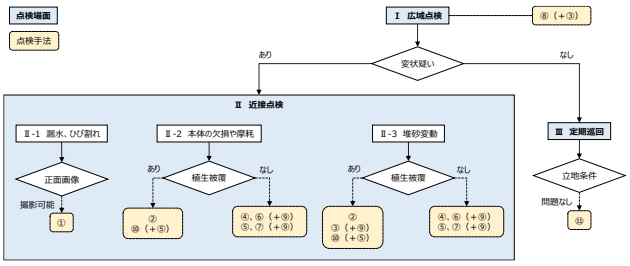


図 8 点検手法の分類



※図中の数字番号は表-1 に記載

図 9 堰堤条件ごとの点検手法適用フロー