

砂防関係施設点検におけるUAVの活用について

なかやまたかし かとうしんゆう はせがわけんじ なかいあきら
中山貴士¹・加藤真雄¹・長谷川謙二¹・中居 暁¹

¹玉野総合コンサルタント（株）（〒461-0005 愛知県名古屋市中区東桜2-17-14）

砂防関係施設の長寿命化に向け、施設の健全度を評価するため、施設点検が実施されている。これまで施設点検は、目視点検を基本に実施されているが、山間地内に整備された砂防設備では、作業時の安全性や長時間の作業、変状の見落とし等の課題が挙げられる。そこで、広範囲な調査が可能であるUAVを用いた点検を試行し、その有効性・課題の把握を行った。その結果、外観調査において施設全体の把握や作業時間の短縮に効果がある一方、変状の確認や定量的な評価に課題がみられた。以上の結果を踏まえ、UAV点検の特性を踏まえた点検手順を整理するとともに、さらなる活用の充実を図るための課題を整理した。

Key Words : 砂防関係施設点検, 長寿命化計画, UAV点検

1. はじめに

家屋等の保全対象を守る観点から砂防関係施設の長寿命化計画の策定が進められており、これに資するものとして、既存施設の健全度等を把握するための施設点検が実施されている。施設点検は、従来、目視点検を基本としていたが、「砂防関係施設点検要領(案)」(令和2年3月)¹⁾では、目視点検と同等の情報を得ることを前提にUAVの活用が示されている。本研究は、施設点検の効率化の一環として、目視点検に加えてUAV点検を試行し、両者の比較によって、その有効性・課題の把握を行う。

2. 砂防関係施設点検の概要

(1) 砂防関係施設の長寿命化計画について

砂防関係施設は、土砂災害防止の機能を有する重要な社会資本であり、そのストックは年々増加している。頻発する土砂災害に対する安全性を低下させることなく、所定の機能・性能を長期に渡って維持・確保するため、長寿命化計画²⁾の策定が進められている。計画策定にあたっては、施設の健全度や重要度、対策に係るコスト等を踏まえた対策の優先度を検討し、ライフサイクルコスト等を考慮した最適な対策時期、工法を検討する必要がある。その前提として、砂防関係施設点検を実施した上で、変状の有無やその進行の程度を調査し、機能および性能の状況を的確に把握する必要がある。

(2) 砂防関係施設点検について

砂防関係施設点検¹⁾は、施設の健全度を把握するために実施され、その概要は次のとおりである。

a) 点検の種類

砂防関係施設点検は、次の3種類に区分される。

- ・定期点検：点検計画に基づき、毎年または隔年で実施し、設備の倒壊や損傷の有無、異常堆砂等の施設の外観やその周辺の異常を把握する調査（以下、「外観調査」という）、および施設自体の摩耗やひび割れ、基礎洗堀等の変状の有無を把握するための調査（以下、「変状調査」という）がある。
- ・臨時点検：豪雨発生時や地震等が発生した流域等において、事象の発生直後のできる限り早い時期に実施するものであり、外観調査を主体に実施される。
- ・詳細点検：定期点検や臨時点検において、変状が確認され、その状況をより詳細に把握する必要がある場合に実施される。変状を定量的に把握するため、必要に応じて詳細な計測を行う。

b) 健全度評価の手順

砂防堰堤を例にした場合の施設の各部位および着目する主な変状を図-1に示す。

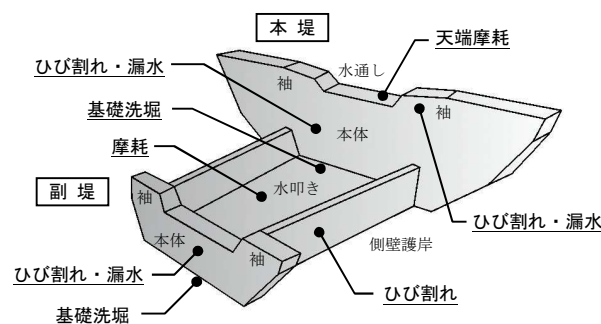


図-1 砂防堰堤の部位及び主な変状

施設の健全度評価は、上記の各点検結果に基づき、まず、施設の部位ごとの変状レベルを評価する。そ

れぞれの部位の変状レベルおよび施設周辺の状況等も踏まえ、施設全体の健全度（A：対策不要，B：経過観察，C：要対策）を総合的に判定する。

(3) 砂防関係施設点検の課題

従来、砂防関係施設点検は、徒歩による目視点検を基本に実施されてきた。砂防堰堤等の砂防設備は、山間地内に整備され、規模によっては高さ10mを超える施設である。点検時には利用可能な道路が無いことも多く、施設の上下流方向には、急峻な斜面上の移動を伴う場合がある。さらに、流量が多く、堰堤上流側が湛水していると溪流横断方向の移動が制限される場合もあり、目視点検においては、次のような課題が挙げられる。

- ・急峻な山腹斜面上の移動による滑落等の危険性
- ・本～副堰堤間や堆砂敷も含めた広範囲な踏査による作業時間の増加
- ・地形条件や流況等による移動制限に伴う変状の見落とし

したがって、施設点検において、さらなる効率化を図りつつ健全度を評価するため、本研究では、広範囲な調査が可能であり、点検時間短縮による作業の効率化が期待できるUAV点検を試行し、目視点検との比較により、その有効性・課題の把握を行った。

3. UAV点検の実施方法

(1) 実施方法

砂防設備に対するUAV点検の有効性を確認するため、図-2に示す手順に基づき、実際に点検作業を実施し、比較検討を行った。

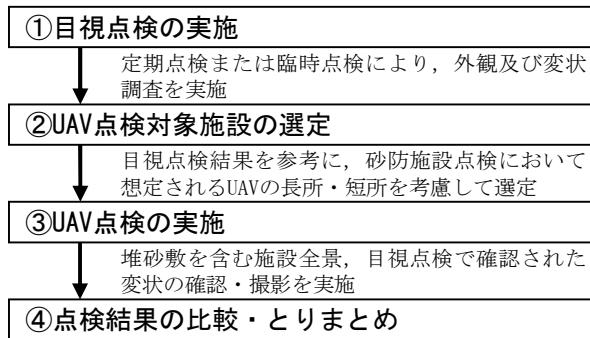


図-2 UAV点検の実施手順

点検結果の比較・とりまとめにあたっては、UAV点検の優位性および課題を把握するため、次の観点に基づくものとした。

- ・外観、変状の確認および写真撮影の可否
- ・施設点検に要する時間

UAV点検の実施にあたり、使用した機体はDJI社製のPHANTOM4である。点検は操縦者と機体監視員の2人でいき、機体が視認可能な位置で操作し、UAVから送信される画像をモニターで確認しながら、施設全景や各部位、変状等の撮影を行った。

(2) 点検対象施設

UAVを使用することで、上空からの確認・撮影により、広範囲な調査が可能であり、これに伴い、点検員の移動が抑えられることで、点検作業時間の短縮も期待される。しかし、施設の上部に樹木等の障害物がある場合や地山付近では、UAV自体の飛行が困難であるため、変状の撮影や詳細な状況確認といった点検作業に支障となることが想定される。

したがって、対象施設の選定にあたっては、目視点検結果を参考に、川幅が広く、UAVの飛行・撮影に支障となる樹木等の障害物が少なく、UAV点検による効果が高いものと想定される“比較的大規模な河川・溪流に配置された砂防堰堤”を選定した。選定した砂防堰堤を表-1に示す。なお、対象施設の内、緊急を要する臨時点検への適用性を把握するため、その対象施設である3箇所を選定した。

表-1 UAV点検対象施設

施設名	施設規模	変状等	支障物等
A堰堤	堤高22.0m 堤長300m	本体ひび割れ	施設規模大 広大な堆砂敷
B堰堤	堤高18.0m 堤長 61m	前庭部の土砂 や流木堆積	急斜面、前庭 部の樹林化
C堰堤	堤高14.5m 堤長100m	本体・側壁の ひび割れ	急斜面、前庭 部の樹林化
D堰堤	堤高10.0m 堤長146m	本体の漏水 前庭部の洗堀	樹林化、2基 の副堤あり
E堰堤	堤高14.0m 堤長140m	本体ひび割れ	堆砂面湛水、 樹林化
F堰堤	堤高14.0m 堤長175m	護床工の 移動・沈下	堆砂面湛水
G堰堤	堤高14.5m 堤長 85m	臨時点検対象	湛水、前庭部 の樹林化
H堰堤	堤高14.5m 堤長 72m	臨時点検対象	急斜面、前庭 部の樹林化
I堰堤	堤高14.5m 堤長 58m	臨時点検対象	急斜面、前庭 部の樹林化

4. UAV点検の実施結果

以上の手順・方法に基づき、目視点検とUAV点検の実施結果について、以下に外観調査と変状調査に分けて整理・比較する。

(1) 外観調査結果の比較

各点検で撮影した写真の一例を以下に示す。

今回対象とした堰堤は、築造後、年数が経過し、本堤の前面や堆砂敷上で樹林化しているものがある。そのため、目視点検では、施設全体の視認が難しく、状況確認のためには、堰堤地点まで移動する必要がある。さらに施設全体を望む写真の撮影も難しい。

一方で、UAV点検では上空からの撮影により、堆砂状況も含めた施設全体の把握が容易で、かつ点検に要する時間の短縮も可能である。今回対象とした堰堤において、目視点検に要した時間は概ね1.5～2時間である一方、UAV点検では20分程度である。



写真-1 D堰堤における外観写真

➤ 目視点検

本堤～第1・2副堤まであり、写真は第2副堤である。本堤までの高低差と樹林化により、施設全体が望めない。

➤ UAV点検

本堤～第1・2副堤までの撮影が可能であり、施設全体の状況の他、周辺地山の状況も確認できる。

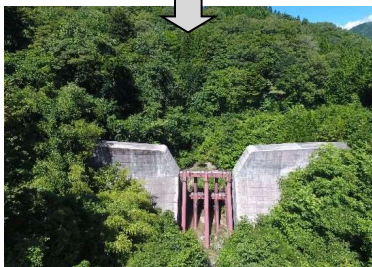
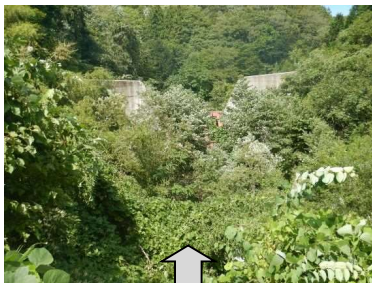


写真-2 I堰堤における外観写真

➤ 目視点検

樹林化により、施設状況が確認できない。確認するためには、急斜面上を移動し、堰堤地点まで移動する必要がある。

➤ UAV点検

堰堤から約100m下流の道路からUAVを離陸させ、撮影した。施設全体とともに堆砂状況も確認できる。



➤ 目視点検

堰堤高が14mあり、下流側からでは堆砂状況が確認できないため、堰堤上流側まで移動する必要がある。堆砂敷が樹林化しているため、遠方まで望めない。



写真-3 E堰堤における堆砂状況写真

➤ UAV点検

堰堤の下流側でUAVを離陸させ、堆砂状況を確認した。堆砂敷の上流端まで望むことができる。

(2) 変状調査結果の比較

各点検で撮影した変状に関する写真の一例を以下に示す。

写真-4, 5に示すように、堤高が高く、樹木・植生の繁茂等により視認が難しい部位や河川の流況により移動制限を受けるような箇所において、目視点検では十分に把握できなかった変状を確認することができた。しかし、健全度評価やその後の補修等に当たっては、変状の程度（ひび割れの幅や長さ、洗堀深等）を把握する必要があるが、UAV点検では、スケールを示すものが無く、変状の定量的な把握は十分ではない。写真-6は、本堤前面の洗堀状況の写真である。UAVでは、水面下の変状は確認できず、写真撮影も難しい状況であった。



➤ 目視点検

下流側の目視により、本堤前面の劣化やひび割れ、打継ぎ目等からのエフロレッセンスが確認される。



➤ UAV点検

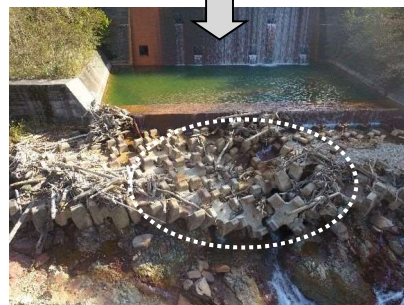
斜面の植生により、目視点検では把握できなかった地山付近の袖部の劣化状況が確認できる。

写真-4 C堰堤における本堤のひび割れ・劣化状況



➤ 目視点検

大規模な根固めブロックが設置されており、溪流横断方向の移動も規制され、根固め工全体の状況が確認できない。



➤ UAV点検

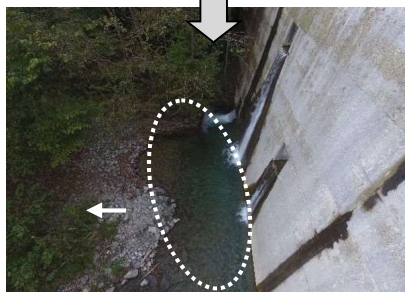
上空からの撮影により、広範囲に渡り、根固めブロックが移動・沈下している状況が確認できる。

写真-5 F堰堤における根固め工の変形・沈下状況



➤ 目視点検

本堤前面において、測量ポールを用いた簡易計測により、1m程度の基礎洗堀が確認された。



➤ UAV点検

UAVによる撮影写真では、水面下の状況は把握できず、さらに基礎洗堀の有無も確認できない。

写真-6 E堰堤における基礎洗堀状況

5. 今後の施設点検の提案

以上の結果に基づき、UAV点検を考慮した施設点検の実施フロー(案)を図-3に示す。

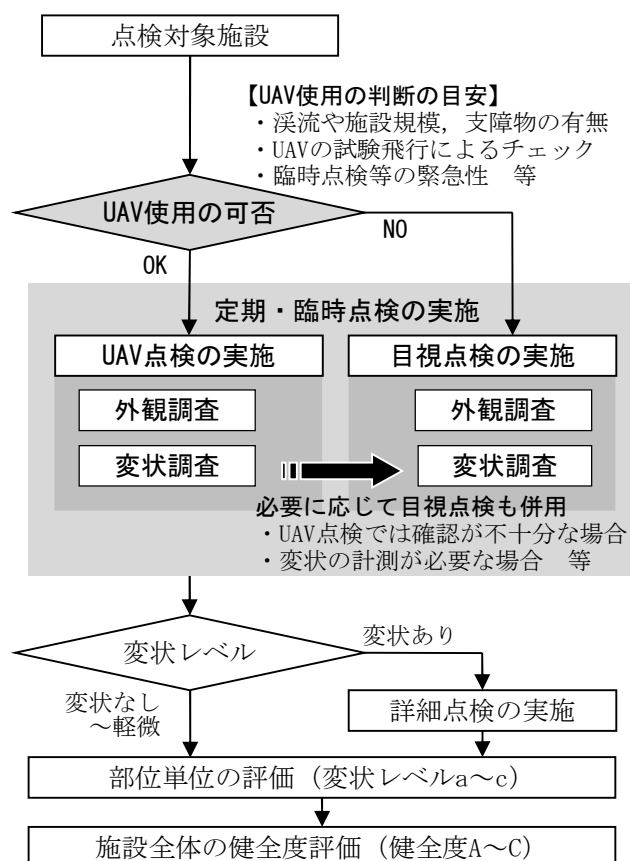


図-3 UAVを活用した施設点検の実施フロー(案)

今回試行した UAV 点検の結果より、上空に支障物が少なく、比較的規模の大きい施設においては、ある程度の変状の有無も含め、施設の外観や堆砂状況

の確認は可能であると判断される。UAV 点検にあたっては、点検対象となった施設に対して、過去の点検結果や現地踏査、試験飛行等により、障害物等に遮られることなく、飛行・施設の確認ができることを事前に調査した上で、外観・変状調査を実施する。その結果に基づき、UAV 点検では不明確な場合や施設の機能・性能への影響が懸念される変状が確認された場合には、その箇所に絞り込んだ目視点検を実施することで、施設点検の効率化が図れるものと考えられる。

特に豪雨や地震時に実施する臨時点検においては、災害情報発令に絡み、点検結果を即時に報告する必要があり、UAVを活用することで、より迅速な対応が可能であると考えられる。現在、ズームカメラを搭載したUAV (DJI社製 MAVIC2 ZOOM) を運用し、安全な高度や施設との離隔を保ちつつ、変状確認のさらなる高精度化に努めている。

6. 今後の課題

UAV点検の普及にあたっては、施設サンプル数を増やした上で、適用性の高い施設を選定し、データの蓄積を図っていく必要がある。また、各種講習会等を通して、施設点検やUAV操作に関する技術の習得・レベルアップに努めていく必要がある。

さらに、定量的な調査・計測が必要になった場合において、点検の効率化・精度向上を図る上で、次のような技術との組み合わせも考えられる。今後の技術開発・動向にも注視し、積極的な新技術の活用を図っていく必要がある。

a) SfM解析を用いた写真測量技術の活用

UAVで撮影した2時期の写真画像を基に、SfM解析により地形変化量を算定し、崩壊生産土砂量や堰堤に捕捉された土砂量等を定量的に把握することができる。土砂生産・流出の多い施設等においては、前もって不動点に対空標識を設置し、座標・標高を取得しておくことで、2時期間の誤差を無くし、次期出水に備えるための観測を行うことができる。

b) AIによる画像解析技術の活用

コンクリート構造物のひび割れ診断等において、AIによる画像解析技術が既に実用化されている。UAVで撮影した写真と画像解析技術を組み合わせることで、変状の定量的な評価が期待できる。

c) UAVの自動操縦技術の活用

自動操縦や自律制御可能なUAVが商用化されている。臨時点検等において、あらかじめ飛行ルートに登録・保存し、自動航行させることで、迅速な対応が可能であり、前回調査時との差異も確認できる。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部保全課：砂防関係施設点検要領(案)，令和2年3月
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部保全課：砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン(案)，令和2年3月