天然ダム発生時における水面標高観測機器の運搬・設置に関する検証

パシフィックコンサルタンツ株式会社　○佐々木央・松田如水・飛岡啓之・澤田悦史
国土交通省 九州地方整備局 九州技術事務所 酒匂俊輔・内藤博

1. はじめに

近年、災害時における無人航空機（以下、UAV とする）の活用事例として、被災状況調査、孤立地域への物資運搬等が実施されている。また、UAV による災害対応に関する協定は自治体レベルでも締結されるなど、一般に普及しつつある。また、“空飛ぶクルマ”の実現にむけた「空の移動革命に向けたロードマップ」や「ドローンを活用した荷物配送等に関するガイドライン」等の物資運搬に関する制度整備も進んでいる。

UAV に関する技術は、エンジンを動力源としたハイブリッド式や高精度測位システム、2 台体制による中継システムなど、大型化以外にも日進月歩で進められている。こういった技術を活用し UAV の優位性である無人化・省力化・安全性といった観点から、物資運搬に限らず、各種の災害対応に適用していくことが期待される。

このような災害時における物資輸送の効率化や各種の技術開発、物資輸送に向けた大型 UAV の開発が各メーカーで進められている背景を踏まえ、河道閉塞を伴う天然ダム発生時について、迅速かつ安全な監視機器の UAV による運搬・設置について適用性の検証を行った。

2. 検証の概要

2.1 検証の目的

現在、検討が進められている小型の水面標高観測機器について、実際に天然ダムの湛水地へ運搬・設置する際の課題や留意点等を整理することを目的に検証を実施した。

2.2 使用した資機材

検討中の水面標高観測機器本体の想定重量は 22kg 程度となる見込みである。このため、25kg 以上のペイロードを有する大型 UAV を用いて検証を実施した。なお、水面標高観測機器の実機は検証実施時点で製作されていないため、類似した形状であるプラスチック製ペール缶の重量を調整し代替した。

2.3 検証項目

検証項目は運搬・設置時に想定される課題や留意点を整理し、以下の 6 つの検証項目を設定した。

① 離陸、運搬、投下、分離の各手法の安定性
② 飛行の安定性
③ 飛行速度
④ 観測機器の吊り下げ方法
⑤ 高高度からの設置精度
⑥ 2 台以上の体制による運用

図 1 検証時の飛行状況

図 2 機体が不安定化した事例

2.4 検証の方法

検証は上記の項目を満たすように飛行速度や吊り下げ長、機材の投下高度を段階的に設定するとともに、手動飛行や自律飛行（自動飛行）による違いを確認するため、それぞれをパターンに分けて実施した。

3. 検証結果

検証を通じて得られた課題や留意点のうち、特に重要と考えられる事項を以下にまとめる。

【1】飛行速度・吊り下げ長

飛行速度 7m/s 以上、もしくは吊り下げ長 3m 以上となる場合、急制動や急な方向転換を行った際に慣性力の影響（振り子の原理）により揺動が大きくなり、機体が不安定化することが確認された。

このため、安全な飛行のためには、目標設置地点の距離から逆算して、バッテリーの消費量を考慮した適切な飛行速度を設定するとともに、可能な限り吊り下げ長を短くすることが推奨される。

【2】テザー投下の実現性

観測機器を高高度から投下した場合、水面から受ける衝撃により機器の損傷や不具合が発生するおそれが

ある。このため、ウィンチ等を用いたテザー投下により観測機器を緩やかに水面に設置する方法が推奨される。一方で、天然ダムの発生が想定される山間部において遠方まで運搬する場合、地形条件による通信途絶を回避するため、高高度を飛行する必要がある。

この際、タブレット等のディスプレイ上に表示される画像のみでは、機体が目標地点の上空にいるかどうかを判断することは難しい。また、飛行時間が限られた状況下で、テザー投下しながら位置調整を行うことは安全性、技術的な観点から高度な技術を要することが課題として挙げられる。

【3】テザー投下による吊り下げ長の増大

前述した通り、吊り下げ長が増大した場合、機体の不安定化につながる。また、山間部特有の横風や突風等が発生するおそれもある。

また、無事に設置が完了した後も、帰還時の安全性の観点からワイヤロープ等は巻き上げておく必要がある。飛行可能時間に制限があることから、効率的な設置を行うとともに、余裕を持った飛行計画の立案が必要となる。

【4】投下した際に水面から受ける衝撃力

検証実施時点では、ウィンチを使用可能かつ想定重量のペイロードを有する UAV は限定されていた。

このため、災害時にウィンチ等を有していない UAV しか調達できなかった場合、上空から観測機器を投下する必要がある。この場合、高度が高くなるほど、衝撃力（落下エネルギー）が増加することから、機器設置は可能な限り低空で実施する必要がある。

検証では高度 10m から投下した場合、ペール缶に凹みが生じているため、UAV 本体の通信を担保しつつ対応しなければならない点に留意する必要がある。

4. 推奨される運用案の検討

検証で得られた留意事項を踏まえ、天然ダム発生時における水面標高観測機器の運搬・設置に関する運用案の検討を行った。観測機器の運搬・設置フローを図 3、運搬・設置方法のイメージ図を図 4 に示す。

水面標高観測機器の運搬・設置は、それぞれの役割ごとに「現況把握用」と「観測機器設置用」の複数の UAV を用いて実施するものとした。

この理由として、天然ダムの発生前後では、現地の地形条件が大きく変わっていることが想定され、障害物の有無や周辺状況を把握し、目標設置地点を設定する必要があるためである。

こういった作業は大型機よりも小型・中型機の優位性が高く、上位モデルでは、写真・レーザー等を用いて、現地で簡易的なモデル作成が可能である。また、設置時に低空や別アングルから撮影することで設置時の補助的な役割を果たすことも期待される。

観測機器の設置はテザー投下を基本とし、フックは

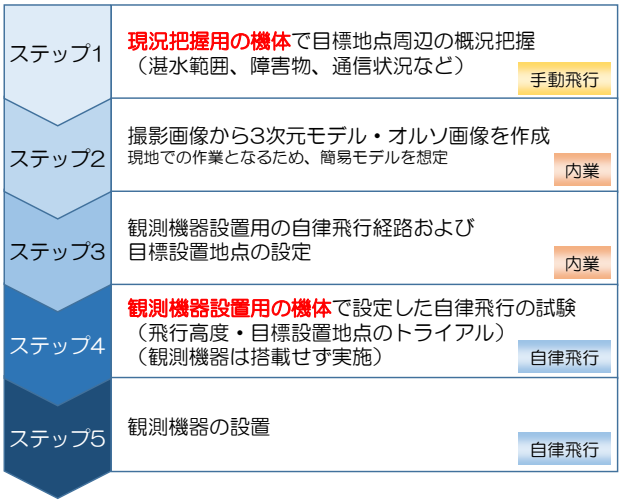

図 3 観測機器の運搬・設置フロー

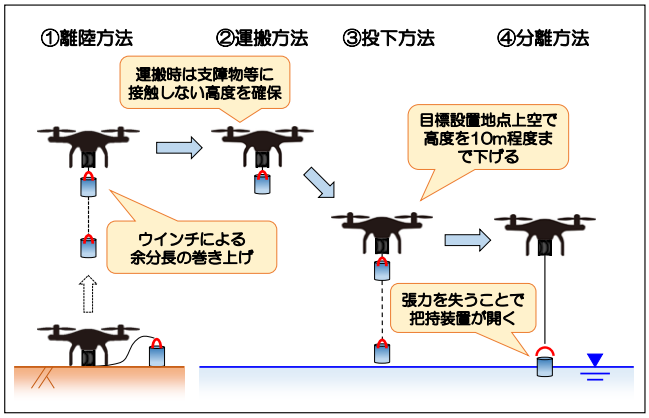

図 4 観測機器の運搬・設置方法のイメージ図

水面に着水することで張力を失うことで開閉するものを想定する。障害物の有無や周辺の地形条件によって、降下可能な高度は現地条件によって異なるが、低空で行った方が作業の安全性、確実性につながると考えられる。

5. 今後の展望

今回の検証では、大型 UAV を用いて水面標高観測機器の運搬・設置が可能であることを確認し、運用に向けた課題や留意点を把握できた。

今後は製作予定の試験機を用いて、ダム湖や既往の天然ダム発生地点のような実際の災害現場の条件に近い条件で、検討した運用案の検証を行い、実運用に向けたマニュアルとして整備していく必要がある。

参考文献

1) （国研）土木研究所（2008）：天然ダム監視技術マニュアル（案） 土木研究所資料第 4121 号
2) 国土交通省砂防計画課（2011）：土砂災害防止法に基づく緊急調査実施の手引き（河道閉塞による土砂災害対策編）
3) 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（2020）：UAV の自律飛行による天然ダムの緊急調査及び被災状況把握に関する手引き