第Ⅳ部門

河道閉塞湛水池の迅速な水位観測に向けたUAVによる水位計ブイの設置実証

青野　友哉[1]・山田　啄也[1]

[1]近畿地方整備局　紀伊山系砂防事務所　調査課（〒637-0002 奈良県五條市三在町 1681）

河道閉塞形成時には，決壊等に伴う二次災害に備え，発災後速やかな水位観測の開始が求められる．従来の投下型水位観測ブイの設置は有人ヘリコプターに依存し，災害発生直後の機体確保が課題となっている．本研究では，UAVによる小型水位観測ブイの空輸・設置手法ついて，予備実験および猿谷ダムにおける実証実験により検証した．その結果，UAVによるブイの空輸・設置、衛星通信による水位データの安定受信および安全な回収が可能であることを確認した．さらに，現地到着から約75分で観測を開始できることを実証した。本手法は，災害初動における迅速な水位観測の省力化と安全性向上に寄与する有効な手段であることが示された。

キーワード　UAV，河道閉塞，災害初動対応，水位観測

1.　はじめに

2011 年（平成 23 年）9 月の台風第 12 号に伴う紀伊半島大水害では，紀伊山地を中心に深層崩壊が多発し，赤谷，長殿，栗平，北股，熊野等の各地区で大規模な河道閉塞（天然ダム）が形成された [1]．河道閉塞が生じると，上流側では湛水による浸水被害，下流側では閉塞部の越流侵食や決壊に伴う土石流等の二次災害の発生が懸念される．このため，土砂災害防止法に基づく緊急調査等においては，湛水池の水位を発災後できる限り早期に観測し，越流までの時間や被害の生じるおそれのある区域を想定することが求められる [2]．

現地への機器搬入が困難な状況下での湛水池の水位観測には，ヘリコプターから投下するだけで直ちに水位計測とデータ送信が可能な「土研式投下型水位観測ブイ」が実運用されている [3]．同ブイは 2008 年の岩手・宮城内陸地震を契機に開発され，紀伊半島大水害においても赤谷・長殿・栗平・熊野の各地区に設置されるなど，湛水位監視に大きな役割を果たしてきた [1]．しかし，有人ヘリコプターによる設置には，①災害時にヘリコプターの確保が容易でないこと，②天候によりヘリコプターの飛行が不可能なこと等の課題がある．

一方，近年の UAV（無人航空機）の性能向上は著しく，物流分野では可搬重量 20 kg を超える運搬用 UAV が市場導入されつつある．紀伊山系砂防事務所においても，UAV の自律飛行を活用した河道閉塞の緊急調査手法について検討し，その成果を手引きとして整理している [4]ところであり，水位観測ブイの空輸・設置への UAV の適用は，有人ヘリコプターに依存しない新たな設置手法として現実的な選択肢となりつつある．

そこで本研究では，河道閉塞湛水池の迅速な水位観測の実現に向け，UAV による投下型水位計の空輸・設置手法を検証した．具体的には，(1)UAV で運搬・設置可能な小型水位観測ブイおよび運搬用 UAV 機体の選定，(2)吊下げ・切離し等の基本動作を確認する屋外・室内の予備実験，(3)猿谷ダム（奈良県五條市）を河道閉塞湛水池に見立てた実証実験，を段階的に実施し，一連の手順の実現性，所要時間および留意事項を明らかにした．

2.　水位観測ブイの投下実績と課題

(1)　投下実績の整理

本研究に先立ち，投下型水位観測ブイの投下実績を整理した（表-1）．2008 年以降，訓練を含め 8 回の投下実績があり，2013 年のインドネシア・アンボン島の事例（ボートによる人力投入）を除き，いずれも有人ヘリコプターにより設置されている．2024 年の能登半島地震では小型に改良された投下型水位計が消防ヘリコプターから投入され，2025 年には台湾の堰塞湖にも日本から提供されたブイが投入されるなど，機器の小型化と適

用場面の拡大が進んでいる．

表-1　投下型水位観測ブイの投下実績

年月	場所	概　要
2008年7月	宮城県 湯浜地区	岩手・宮城内陸地震で形成された河道閉塞に，投下型ブイをヘリコプターから初適用
2010年4月	群馬県 相俣ダム	ヘリコプターによる投下訓練（関東地方整備局）
2011年9月	奈良県 栗平・赤谷・長殿地区 和歌山県 熊野地区	紀伊半島大水害で形成された河道閉塞に，各地方整備局保有のブイをヘリコプターから投下し水位観測を実施
2013年3月	インドネシア アンボン島	ヘリコプターの確保・運用が困難なため，ボート・筏により人力投入（決壊まで観測）
2014年8月	奈良県 栗平・赤谷地区	台風第11号により観測機器が流出したため再投下し観測
2018年9月	北海道 日高幌内川	北海道胆振東部地震で形成された河道閉塞に投下し水位観測を実施
2024年1月	石川県 牛尾川地区	能登半島地震の河道閉塞に，小型に改良された投下型水位計を消防ヘリコプターから投入
2025年10月	台湾 花蓮県萬馬太鞍渓	台風豪雨に伴う堰塞湖の越流被害を受け，災害支援として日本から提供されたブイをヘリコプターから投入

これらの実績から，ブイ投下位置の選定条件として，①衛星通信を確保しやすい天空の開けた場所であること，②水位計の測定可能水深（40 m）未満であること，③湖底勾配が緩やかで水位計が経時的に移動しにくいこと，等が確認されている．他方で，有人ヘリコプターによる運搬・設置には前述の課題があることから，UAVによる代替・補完手法の確立が求められる．

3.　機材の選定

(1) 小型水位観測ブイの選定

市販されている水位観測ブイについて仕様調査を実施した。結果，天然ダムの水位観測を想定した製品は「小型水位観測ブイ BCPS-40R」（株式会社拓和）の1種類であった．同製品は，土研式投下型水位観測ブイと同等の機能（衛星・携帯通信，水中音響通信，圧力式による水位計測，測定範囲0～40 m，総合精度±0.08 m）を有する後継機種の位置づけであり，ブイ部（φ250×1,002 mm，質量14 kg以下）とアンカーケージ部（512×512×867 mm，質量10 kg以下）で構成される．総重量約24 kgとUAVによる運搬が可能であることから，本研究では，当該機器を採用した（図-1）．

図-2に活用イメージを示す．ブイは着水後にブイ部とアンカーケージ部が分離し，アンカーケージ部が湖底に沈降・着床するとともに，ブイ部が水面に浮上して観測を開始する．あわせて，水位センサーとワイヤーリール・フロート部で構成される軽量（約2.5 kg）の「水位計単体投下装置（図-3）」も導入し，比較検証の対象とした．図-4に水位計単体投下装置の運用イメージを示す．

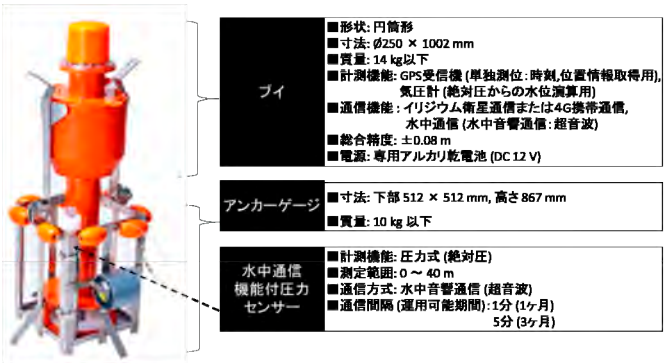


図-1　小型水位観測ブイの概要

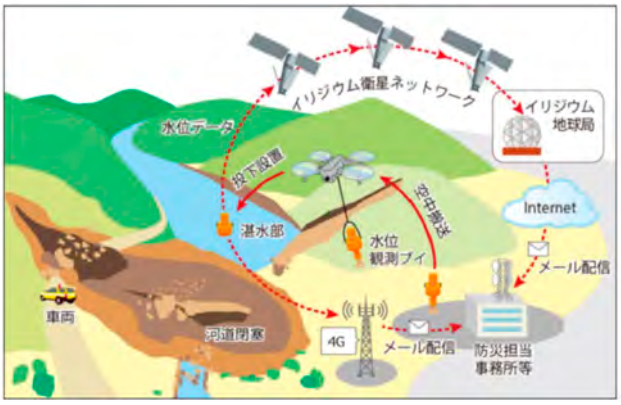


図-2　UAVによる小型水位観測ブイの設置・観測の活用イメージ

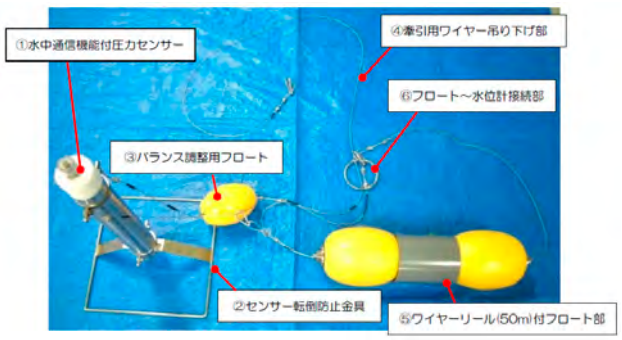


図-3　水位計単体投下装置の概要

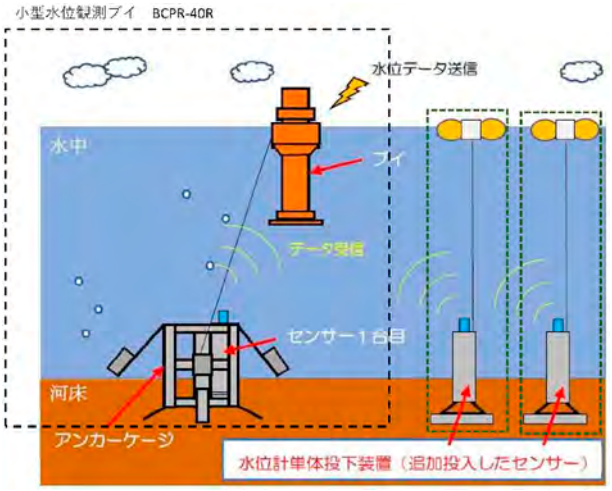


図-4　水位計単体投下装置 運用イメージ

⑵　運搬用ＵＡＶ機体の選定

物流・運搬用 UAV を対象に，①小型水位観測ブイの総重量 24 kg を運搬可能なペイロード，②遠隔で吊下げ・切離しができる把持装置，③遠隔でワイヤー長を操作できるウインチ，④運搬設置状況を監視できるカメラ，の 4 条件について各機体の仕様を確認した．その結果，全条件を満たす機体のうち，市場導入が進み災害時対応業者の増加が見込まれる「DJI FlyCart 30」を第 1 候補，衛星通信仕様により適用範囲が広い一方で災害時対応業者が限定される「FAZER R G2」を第 2 候補として選定した．本実証実験では，第 1 候補の DJI FlyCart 30 を使用した．

4.　予備実験

⑴ 屋外予備実験（吊下げ・運搬・切離し）

広島ドローン練習場（広島県広島市）において，ブイと同等重量のウエイト（約 25 kg）を用い，UAV と 3 種類の把持装置（機体付属のウインチシステム，および着地時に自動開放するフック 2 種）による吊下げ～運搬～設置～切離しの一連の動作を確認した．その結果，①把持装置 2 種で目的地への設置・切離しが可能であること，②運搬時の飛行速度を 6 m/s 以下とし急停止・急旋回を避けることで荷の揺れ（スイング）が機体側で自動制御されること，③荷を降ろす際の対地高度は把持装置により 9～16 m となること，等を確認した．また，安全確保の観点から，UAV と荷までの離隔は離陸時の風圧やワイヤー長を考慮して 8 m 程度とすることとした．

⑵ 室内予備実験（水槽での浮体・切離し）

実機の小型水位観測ブイおよび水位計単体投下装置を用い，深さ 5 m の水槽において浮体・切離し実験を実施した．その結果，①トリガーを固定した状態のブイは着水後に沈むこと（切離し不能時に機体ごと引き込まれないよう操縦上の配慮が必要），②水位計単体投下装置は浮くこと，③着地時自動開放式の把持装置は緩速で着水させると作動せず，自由落下に近い速度で着水させることで確実に切離せること，④切離し後はアンカーケージ部が着床しブイ部が浮上して所定の観測姿勢に移行すること，を確認した．また，アンカーリール内のワイヤーの巻き状態が不良の場合はブイ部が引き込まれて沈むため，投下前の点検が重要であることも確認した．これらの結果を踏まえ，実証実験では一定以上の下降速度で着水させる運用とした．

5.　猿谷ダムにおける実証実験

⑴ 実験の概要

2011 年紀伊半島大水害で河道閉塞および湛水池が発生した状況下の初動対応を想定シナリオとし，猿谷ダム（奈良県五條市大塔町）において，実証実験を実施した．着目点は，①UAV による小型水位観測ブイの投下設置の可否，②水位観測データの受信可否とデータの妥当性，③ボートによるブイ回収の可否，の 3 点である．

本実験で使用した把持装置は着水後にブイの自重で切り離される構造であり，航空法上の物件投下に該当しないため，物件投下に係る飛行承認申請は不要であった．飛行はいずれも目視内とし，運搬は自律飛行，投下時は手動飛行とした．

⑵ 空輸・投下の結果

本番実験では，離陸後に相対高度 40 m・速度 7～8 m/s で湖面上を運搬し，投下地点上空でホバリングした後，下降速度約 2.5 m/s で着水させることで把持装置が確実に作動し，小型水位観測ブイの切離し・設置に成功した．水位計単体投下装置についても同様の手順で投下・設置に成功した（下降速度約 2.0 m/s）．図-5 に飛行経路と投下地点を，図-6 に投下・設置状況を示す．

現地での UAV およびブイの準備に要した時間は約 65 分，空輸・設置は約 10 分であり，UAV による空輸・設置時間は約 10 分であり，従来の有人ヘリコプター手法の代替手段として実用性を有することが確認された．また，投下地点は，操縦装置の画面を Web 会議システムで共有し，流木等の浮遊物がないことを確認のうえ事務所職員の指示により最終決定した．これは災害時に災害対策本部が遠隔で投下判断を行う運用を模擬したものであり，その実現性も確認できた．



図-5　小型水位観測ブイの運搬・設置位置

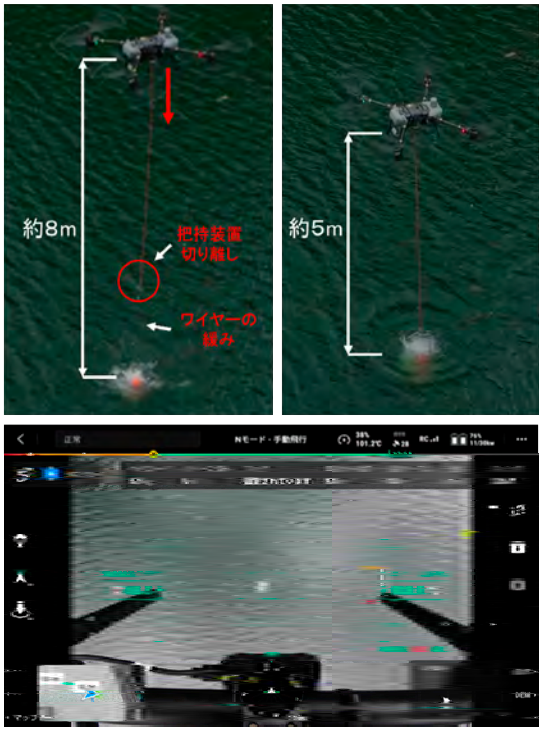


図-6　小型水位観測ブイ投下・設置状況

(3) 水位観測データの受信・妥当性

災害時の携帯電話圏外を想定し，通信にはイリジウム衛星回線を使用した．投下後，小型水位観測ブイ・水位計単体投下装置とも，設定間隔（10 分）で観測データが安定して受信されることを確認した．計測水深の妥当性は，横断測量成果と当日の貯水位（EL.433.17 m）から求めた投下地点の水深との比較により検証した（図-7）．小型水位観測ブイは実水深 30.68 m に対し計測値 31.40 m（＋約 0.7 m）であり，河道閉塞監視を目的とした水位変化把握の観点からは実用上許容できる精度であると考えられる．一方，水位計単体投下装置は実水深 19.33 m に対し計測値 25.83 m（＋約 6.5 m）と差が大きくかった。投下地点の河床勾配が比較的急であり，急勾配河床では設置位置が安定しない可能性が示唆された

また，ブイの GPS 座標は投下地点から約 9 m 離れた位置を示した．これは，ブイ部とアンカーケージ部を接続するアンカーリール（長さ 50 m）の余長により，ブイ部が水流で流されたためであり，受信座標はブイ部の位置であって水位計（センサー）の位置を必ずしも示さない点に留意が必要である．

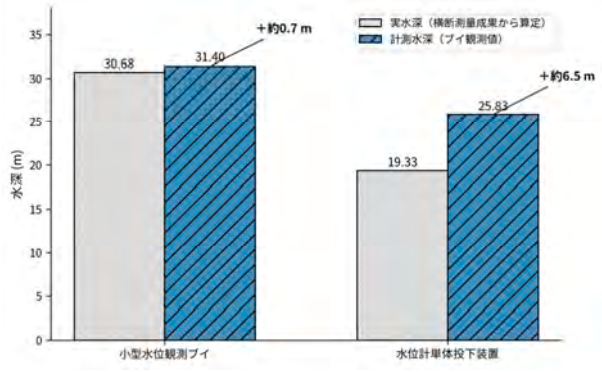


図-7　実水深と 計測水深の比較

(4) ブイの回収

運用終了後を想定し，エンジン付き小型ボート（2 名体制）によりブイの回収を実施し，約 15 分で回収を完了した．回収にあたっては，①ブイ部（約 14 kg）引上げ時の転覆防止のための体重移動，②アンカーケージ部（約 12.5 kg）をワイヤーで手繰り寄せる際の手袋およびライフジャケットの着用，が必須であること，③ワイヤーとの摩擦による船縁の損耗対策が望ましいこと，④パンクのおそれのあるゴムボートは避けるべきこと，等の留意点を確認した．

6.　実運用に向けた課題

本実証により一連の手順の実現性を確認した一方，実災害での運用に向けては以下の課題がある．

(1)　**飛行形態の拡大**：本実証は目視内飛行（運搬：自律，投下：手動）で実施した．実災害では発災箇所までの長距離飛行や目視外飛行が想定されるため，目視外飛行に係る制度への対応と飛行申請の事前準備が必要である．

(2)　**気象条件の整理**：降雨・降雪時は飛行できず，機体の耐風性能（使用機体で風速 12 m/s）を超える強風時も運用できない．悪天候時の代替手段を含めた運用条件の整理が必要である．

(3)　**体制・契約の事前準備**：災害時に対応可能な UAV 操縦体制（対応業者の確保等）の構築が必要である．また，通信契約は申込みから利用開始までイリジウム回線で 8 日，4G 回線で 4 日を要したことから，災害時に備

えた事前契約等の検討が必要である．

⑷　適用条件の検証：本実証はダム貯水池の 1 地点における検証である．実際の河道閉塞湛水池では流木等の浮遊物や複雑な地形条件が想定されるため，浮遊物がある場合の投下可否判断等，適用条件の検証を継続する必要がある．

7.　おわりに

本研究では，UAV による小型水位観測ブイの運搬・設置および衛星通信によるデータ取得が可能であることを確認した。また，現地到着から約 75 分で観測を開始できることを実証した。

本手法は，有人ヘリコプターの確保が困難な災害初動期においても，迅速かつ安全に湛水池の水位観測を開始できる有効な手段であり，災害対応の省力化・安全性向上に寄与する．今後は，前章の課題への対応を進めるとともに，訓練を通じた手順の習熟を図り，実災害で確実に機能する運用体制の構築につなげていく．

謝辞：本検討課題においては中電技術コンサルタント株式会社に受託いただきご尽力いただいた．また，本実証実験の実施にあたり，猿谷ダム管理支所をはじめとする関係各位に多大なご協力をいただいた．ここに記して感謝の意を表する．

参考文献

1) 近畿地方整備局：2011 年紀伊半島大水害　国土交通省近畿地方整備局災害対応の記録，2013.
2) 国土交通省砂防計画課：緊急調査実施の手引き（河道閉塞による土砂災害対策編），2011.
3) （独）土木研究所：天然ダム監視技術マニュアル（案），2008.
4) 大規模土砂災害対策技術センター：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，2021.