

管路等閉鎖性空間に対応可能なドローンを活用した農業インフラ点検の有効性について

北王コンサルタント株式会社 ○石川 健司
 株式会社 NJS 稲垣 裕亮
 株式会社北王インフラサイエンス 佐藤 朝夫
 北王コンサルタント株式会社 佐藤 太一

1. はじめに

近年、道路・橋梁・上下水道等のインフラ施設は、老朽化対策が大きな課題となっており、農業インフラにおいても同様の課題が発生している。全国の農業用水路は約 400,000km 以上あり、基幹的農業用水路は約 50,000km が整備されており、既にその 2 割が標準耐用年数を超過し、今後 10 年間で約 4 割が超過する。北海道においても基幹水路 12,000km のうち 5,000km が 10 年後には耐用年数を超過する。今後は、農業水利施設等の農業インフラの老朽化対策についても適切な点検・調査等の維持・管理が必要である。

農業水利施設のうち水路や管路は、下水道管渠と同様に潜行目視調査やテレビカメラ調査等が行われている。ただ、農業水利施設の特徴は、下水道管渠と大きく異なり、数 10m 間隔に人孔がなく、200~300m を連続で調査する必要がある点である。

本稿では、農業水利施設等の農業インフラのうち、閉鎖性空間の調査・点検について、下水道分野で既に導入されている管路等閉鎖性空間に対応可能なドローンに関して、原理や機能等踏まえ活用事例を用いて、その有効性について報告する。

2. ドローン開発の経緯と農業水利施設利用について

2.1 開発の経緯

管路施設等閉鎖性空間の点検・調査は、下水道分野で先進的に実施してきており、多くの実績を有する。今回新技術として紹介する閉鎖性空間に対応可能なドローン(Air Slider)は、もともと下水道管渠の点検・調査の効率性や安全性の向上を目的に、豊富な下水道業務経験を有する(株)NJS が開発したものである。これまで下水道管渠の点検・調査は、テレビカメラ車または目視調査が一般的であったが、以下のような課題があった。

- ①従来手法は、1日当たりの調査延長が 300~500m と必ずしも効率的とはいえない。
- ②人が人孔内に入坑し作業することから、安全面や衛生面での課題もある。

これらの課題を解決すべく、調査スピードの高速化による効率性と安全性の向上を実現するため、無人航空機に着目し、管路点検調査用ドローンの専用機として Air Slider を開発した。

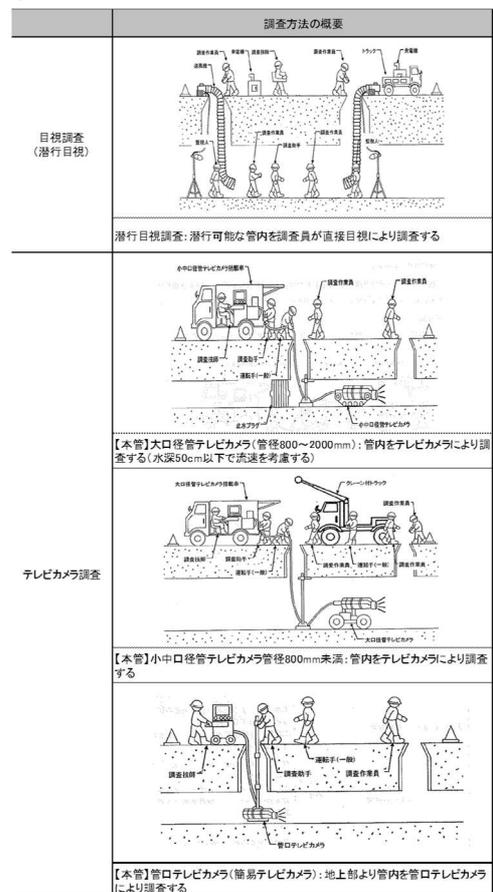


図 - 1 管路の調査方法(下水道)

2.2 農業インフラでの活用

管路施設等閉鎖性空間は、下水道施設に限らず農業インフラでも多く存在する。Air Slider が農業水利施設でも利用可能と考え、北王コンサルタント(株)と(株)NJS で共同・連携し、農業インフラへの実用化に向けた検討を行い、採用するに至った。

3. 閉鎖性空間でドローン飛行するための課題

3.1 電波障害

従来ドローンの使用可能な周波数帯は、920MHz 帯、2.4GHz 帯および 5.8GHz 帯である。このうち、920MHz、2.4GHz を使用しているドローンは、電波法令で定めている技術基準に適合している無線機であれば、無線局の免許の必要がない。現在、国内で使用されている無人航空機及び無線装置等の多くが 2.4GHz である。

口径 400mm の管路で、電波の受送信確認したところ、受信距離が 30m を超えると電波障害が発生した。そのため 2.4GHz による送受信を行う場合、中継器の設置が必要となるが、管路内に中継器を布設することはほぼ不可能である。

3.2 ダウンウォッシュによる乱流状態

航空機は、固定翼機と回転翼機に大別される。無人航空機の多くは電動型固定翼機、いわゆるマルチコプターである。飛行原理は、プロペラをモーターで回転させ揚力を得て飛行するが、空気力学上のダウンウォッシュが発生する。

閉鎖性空間では、このダウンウォッシュにより、空気がかき乱され乱流状態となり無人航空機は安定を失い、最終的には壁面等に張り付いた状態となり、飛行が困難となる。



写真-1 閉鎖性空間での飛行状況

3.3 自律飛行制御に関する課題

無人航空機が、自身の位置や施設を制御しながら自律飛行するためには、機体の姿勢情報だけでなく、位置情報や速度情報を正確に把握する必要がある。通常、機体本体の姿勢の推定を行うために加速度センサーが搭載されており、加速度の情報を取得することが可能で、理論的には位置や速度を計算することができるものの、加速度センサーの値には偏重による誤差があるため、GPS (Global Positioning System) を用いる方法が一般的となっている。しかし、下水道等の地下空間では、GPS データを受信することができず、自律飛行制御ができない。

4. Air Slider の仕様と原理

4.1 機体の仕様

Air Slider の仕様を表-1 に示す。この機体の適合口径は、400mm 以上で、現時点での実績は最大 2,000mm である。本機はプロペラを機体内に納め、壁面等に衝突した際に破損しない構造とした。この機体は、浮上用の 4 つのプロペラと後部に設置している推進用のプロペラにより管路内を飛行する。また、飛行環境は高温で水が飛散することがあるため、防水性を有し、メンテナンスが容易な構造とした。

電波障害の課題に対しては、Wi-Fi 通信を採用した。2.4GHz 帯では電波障害が発生するため、Wi-Fi5GHz 帯の通信とした。

表 - 1 Air Slider の仕様

項目	スペック
重量	1.5kg (バッテリー含)
全幅	280mm
全長	563mm
高さ	134~175mm
飛行時間	約3~5分
モーター	200W×5
プロペラ	直径5インチ×5
搭載カメラ能力	2K
照明	超高輝度白色LED ラインタイプ3W 4灯



写真 - 2 Air Slider

4.2 飛行原理

先に述べたダウンウォッシュによる乱流は、マルチコプターを採用する限り回避できない課題である。そのため、水陸両用の乗り物であるホバークラフトの構造に着目し、ダウンウォッシュによる空気が機体外部に逃げにくいような筐体構造を採用した。この構造により底部の空気が高圧となり、揚力が増加する地面効果を最大限利用でき、エネルギー効率も向上する。飛行原理の概念図を図-2に示す。

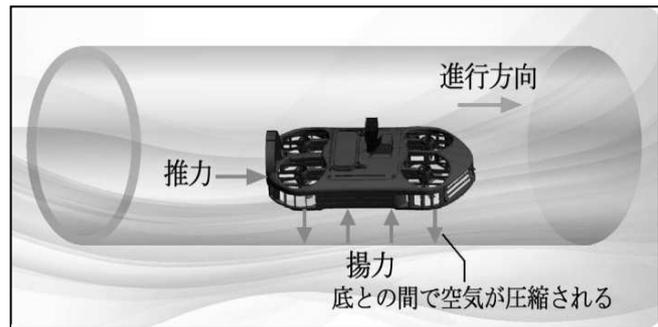


図-2 Air Slider の飛行原理

5. 農業水利施設での活用事例

5.1 農業水利施設の機能診断

調査対象とした農業水利施設は、水田用水の効率的・安定的な確保を目的として道営かんがい排水事業により造成された幹線用水路で、造成後30～40年以上経過している施設が多く、一部の施設ではコンクリートの凍害・ひび割れ・表面摩耗等が報告されていた。

この農業水利施設について、コンクリート管渠の狭小・閉鎖性空間における調査の安全性・効率性のため、新技術である Air Slider を用いることとした。

5.2 点検調査の手順

点検調査は、ドローン操縦者、巻取機・発射台操作者および補助者の3名を基本とする。別途、交通誘導員を配置が必要となる場所もある。以下に、手順の概略を紹介する。

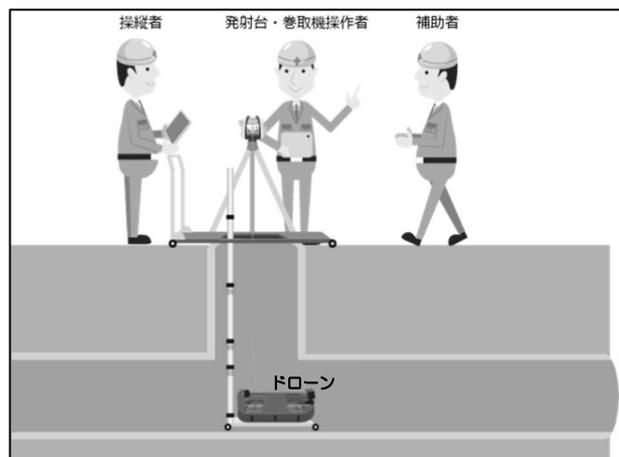
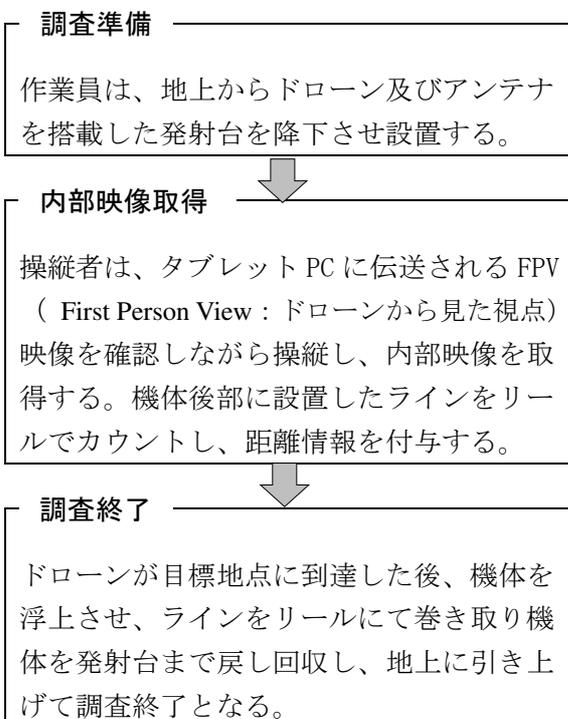


図-3 作業体制のイメージ図

5.3 機能診断調査の作業フロー

図-4の機能診断調査の作業フローに示す。機能診断調査の手順は、①事前調査、②現地踏査、③現地調査、④劣化要因の推定、⑤健全度の判定、とした。

現地踏査を実施する一部区間では、重力式擁壁水路の上部にコンクリート板が敷設された台形渠やコンクリート管渠が存在している。このような調査員による踏査・安全性確保が困難な狭小・閉鎖性空間における調査に、Air Sliderを採用した。このAir Sliderを活用すれば、動画撮影により現地踏査を補完できる。

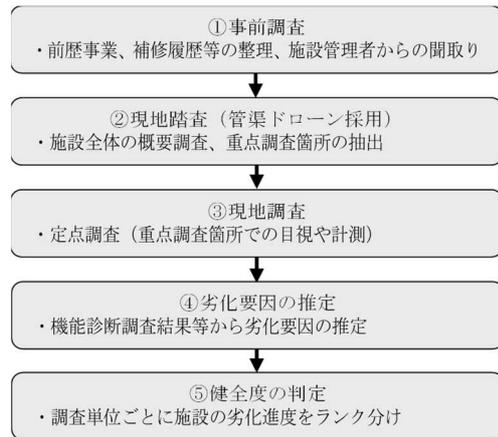


図-4 機能診断調査の作業フロー

5.4 作業状況

Air Sliderは、WiFi電波を利用してFPV操縦（First Person View：ドローンに取付けた小型カメラからの映像をタブレットで見ながら操縦）できるため、操作性にも優れている。

（写真-3～5）。



写真-3 作業状況



写真-4 FPV操縦



写真-5 FPV操縦タブレットに映し出された管渠内映像（操縦画面であり、録画保存する画像とは別）

5.5 Air Slider の撮影画像と機能診断

Air Slider を用いて管渠内を撮影した結果、コンクリート管渠では継手部に欠損等の軽微な損傷が認められた。また、台形渠では側壁の粗骨材露出・目地材拔出し、底版の粗骨材剥落等の変状が顕著に認められる状態を確認できた（写真-6～7）。

このように、新技術である Air Slider は、高解像度カメラで動画撮影することにより、変状箇所を拡大して確認できるため、調査精度の向上にも大きく寄与した。

本調査では、Air Slider で撮影した画像により施設状態を判断し、現地調査計画（定点調査の位置、調査延長及び調査項目の選定）の策定に活用した。



写真-6 コンクリート管渠のドローン映像



写真-7 台形渠のドローン映像

5.6 活用上の留意点

(1) 活用上の利点

Air Slider を活用することによる利点は以下のとおりである。

- ①調査員の施設内への立入が不要なため、酸素欠乏等の危険性の回避
- ②調査員の施設内への立入が不要なため、ウイルス感染等の危険性が低減できる
- ③調査員が立入不能な小口径管渠等の施設での調査が可能
- ④高解像度カメラによる変状箇所の確認および画像データの保存が可能
- ⑤FPV 操縦により操作が容易
- ⑥約 1～2m/s の速度で撮影が可能であり、現地作業の効率化に期待

(2) 課題・改善点

適用に当たっての課題及び今後の改良点は以下のとおりである。

- ①WiFi 電波により、1 区間の飛行距離を最大 250m 程度に制限される
- ②バッテリーの耐用時間で飛行時間が 1 回あたり 3～5 分程度
- ③ドローン操縦技術習得が必要（VR 操縦を期待）

6. 農業インフラの調査・点検・診断への新技術の活用

現在、耐用年数を超過したインフラの老朽化が社会的な問題となっており、建設(造る)の時代から維持管理(守る)の時代へと変化してきている。北海道の広大な土地には、それぞれ管轄の異なる多数の管路・施設があり、その全てを点検・調査するためには多くの人手と時間がかかるのが現状である。今後は、施設の重要度等を踏まえたより効率的な点検・調査方法の構築が必要であり、施設の重要度やリスクの大きさを踏まえ、どのような場所でどのくらいの頻度で点検・調査を実施すべきかがポイントとなる。

Air Slider は、下水道管渠の他、水力発電所の傾斜管調査等にも採用実績があり、農業インフラでも以下のとおり有効に活用できる可能性が高い。

- ①農業用排水路、ため池の底樋管等の農業水利施設の機能診断、変状把握、通水試験代替調査等として利用の可能性がある。
- ②撮影スピードが速く、効率的な作業が可能である。
- ③管路施設に人が侵入することなく点検調査が実施可能であり、新型ウイルス感染等も含め危険性を低減できる。

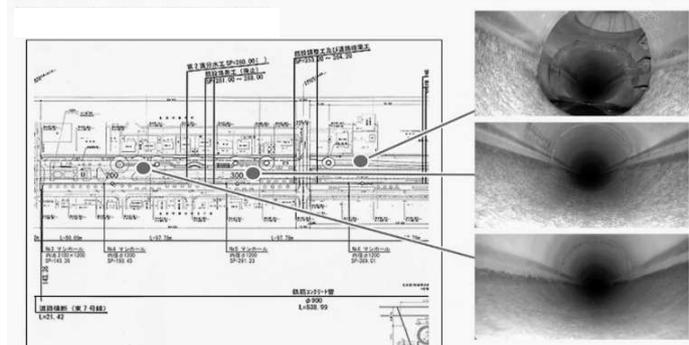


写真-8 農業水利施設調査の取りまとめ事例

現在、管路等閉鎖性空間に対応可能なドローンは「維持管理情報等を起点としたマネジメントリサイクル確立に向けたガイドライン（管路施設編）－2020版－」（令和2年3月、国土交通省水管理・国土保全局下水道部、国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部）の点検・調査方法の体系例の中に、飛行式カメラ調査として位置づけられている。

また、中大口径（1,500mm以上）や小口径（200mm程度）を対象としたドローンの開発も進められている。この他、管口カメラや全天球カメラ等、点検・調査の効率・精度・品質を向上させる技術も導入されている。

写真-9は管口カメラで撮影した写真で、伸縮可能な操作棒の先にカメラとライトを取り付け、地上にいる調査員がモニターを見ながらズーム機能や照明機能を駆使することで、管口から20mほど先までの管渠内の状況を確認することができ、さや管の継ぎ目から土砂の流出が確認できた事例である。また写真-10は、マンホール内を全天球カメラ（360度カメラ）で撮影したもので、地上からマンホール内に全天球カメラを投入し、マンホールの腐食状況を速やか・鮮明・安全に把握することができた。

このように、下水道分野をはじめとして他業種・異業種で開発された新技術を活用する等、新たな分野との融合は、農業インフラの再構築と効率的運用に向けたインフラ管理に対して有効的な手法となり得ると期待している。本稿では、その一例を紹介させていただいた。

【引用・参考文献】

- 1) 曾我部浩二・扇谷泰子・小笠原剛(2019)：新技術（管渠ドローン）を採用した農業水利施設の機能診断、水土の知-2019Vol. 87/No. 10-農業農村工学会
- 2) (社)日本下水道管路管理業協会：下水道管路管理積算資料-2015-
- 3) 谷戸善彦・稲垣裕亮(2018)：下水道管路等閉鎖性空間に対応可能なドローンの開発、第29回非開削技術研究発表会論文集



写真-9 管口カメラで撮影したさや管



写真-10 全天球カメラで撮影した人孔