

ドローンの管内調査適用事例

(株)日水コン 南雲 亮佑

既設管路の劣化施設の増大と、地方公共団体の下水道担当職員の減少により、管内調査を精度よく、かつ効率的に進めていくための技術革新が求められている。さらには、2020年に発生したコロナパンデミックに伴い衛生概念が変化し、下水道インフラ政策においてもロボット・ドローン等を活用した ICRT (Information、Communication、Robotics Technology) 導入の重要性が指摘されている。近年、これらの需要にかなう技術として、本管調査に対するドローンの適用が積極的に進められている。本稿では、国内で導入事例の少ないドローンである ELIOS2 を用いた管内調査について、実際の調査結果と過年度の潜行目視調査結果を比較することにより、映像 (画像) の精度等から本管調査への適用性を確認するとともに、今後の実用化に向けて効率性及び経済性の観点からドローン調査の優位性について検討した。

Key Words : ドローン、UAV、本管詳細調査

1. 背景と目的

既設管路の劣化施設の増大と、地方公共団体の下水道担当職員の減少により、管内調査を精度よく、かつ効率的に進めていくための技術革新が求められている。国土交通省国土技術政策総合研究所が実施した中核市規模の地方公共団体へのアンケート調査において、下水道事業の技術的課題で「解決が必要」な技術分野として、「管路の維持管理」や「管路更生」が多く挙げられている (表 1)。

表 1 中核規模自治体における現在及び将来の技術的課題のアンケート結果

緊急性		すぐに解決が必要		1年以内に解決が必要		5年以内に解決が必要		将来的に解決が必要	
技術開発野必要性		必要	不要	必要	不要	必要	不要	必要	不要
技術分野	水処理	1	1	2	0	1	0	5	0
	高度処理	1	0	0	0	0	0	0	1
	汚泥濃縮・脱水	0	0	0	0	0	0	1	1
	汚泥焼却・乾燥	1	0	0	0	0	0	2	1
	汚泥消化	0	0	1	0	1	0	4	0
	処理場の維持管理	0	1	0	0	0	0	3	2
	管路の維持管理	4	0	4	1	0	0	10	3
	管路更生	0	0	6	1	1	1	12	1
	雨水対策	4	1	4	3	0	0	9	1
	地震対策	0	0	2	1	0	0	9	0
その他	0	0	3	0	0	0	2	0	

出典:「下水道技術開発レポート」、国土技術政策総合研究所 (2019)

また、パンデミックに伴う衛生意識の変化により、下水道管内がウイルス・細菌等による感染リスクがある環境下であることから、下水道インフラ政策においてもロボット・ドローン等を活用した ICRT (Information、Communication、Robotics Technology) 導入の重要性が指摘されている (谷戸、2020)。特に中大口径の管渠に対しては、潜行目視調査が現在の主要な方法であるが、代替手段の適用により人間の潜行を回避することができる。過去には B-DASH (下水道革新的技術実証事業) において、2016 年に「中大口径管路等を対象とした無人小型飛行体によるスクリーニング調査技術の実用化に関する調査事業」が行われている。

本稿では、国内導入事例の少ないドローンである ELIOS2 を用いた管内調査について、実際の調査結果と過年度の潜行目視調査結果を比較することにより、映像 (画像) の精度等

から本管調査への適用性を確認するとともに、今後の実用化に向けて効率性及び経済性の観点からドローン調査の優位性について検討した。

2. 調査施設と調査手法

調査は、屈曲部のある矩形渠約 110 m と、直線の円形管約 90 m の 2 つの管路施設で実施した。当該管渠の概要を表 2 に示す。これらの施設は、2015 年に潜行目視調査を行っており、いずれも腐食（鉄筋露出）や破損等の劣化が確認されている。

調査には、ドローン「ELIOS2」（開発：Flyability、国内展開：ブルーイノベーション株式会社）を用いた（図 1）。当機体は複数の飛行モードがあるが、機体の安定性を最優先するため、終始「アシストモード」で調査を行った。今回は、用途に応じたドローンの適用性を評価するため「試験飛行（最遠点確認時の飛行）」「スクリーニング」「詳細調査」の 3 飛行パターンで調査を実施した。

電波の障害やバッテリー稼働時間を勘案し、図 2 のように管渠形状・調査時間に応じた飛行ルートを選定した。



図 1 ELIOS2 の外観

表 2 調査実施施設の概要

番号	断面形状 (mm)	延長 (m)	敷設年度 (年)	数 (年)	前回調査時の判定 (2015年実施時)
調査箇所1	矩形渠 3,000×1,500	109.6	1976	44	B (機会を捉え全体改築)
調査箇所2	円形管 φ1,200	89.8	1958	62	B (機会を捉え全体改築)

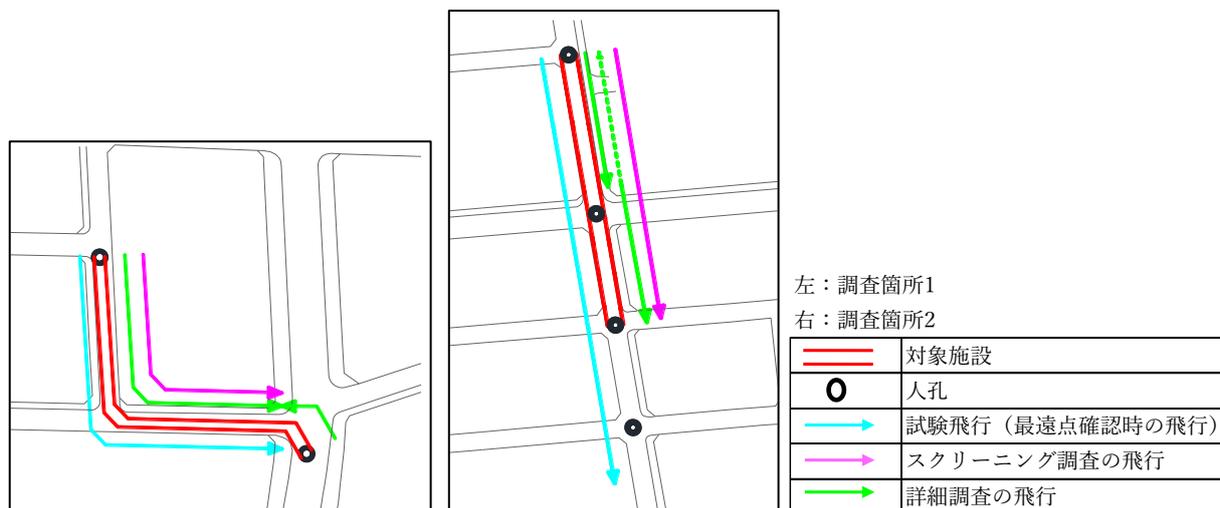


図 2 調査実施時の各飛行ルート

3. 調査結果

表 3 に、潜行目視調査（前回）とドローンによる調査（今回）における本管内での劣化症状の発見数を示す。また、前回の潜行目視調査と今回のドローン調査による同箇所の写真を図 3 に示す。以下に、特記すべき調査結果を示す。

- ① 詳細調査では、土砂堆積を除いて、潜行目視調査の結果より多くの劣化箇所を発見することができた（表 3）。
- ② 同程度以上の静止画の画質および照度を確保できた（図 3）。
- ③ 機体真下や真上の状況を捉えることはできないが、画角が広いため、状況把握は可能であった。
- ④ 鮮明な映像を作業後にも確認できたので、高い精度で異常を発見でき、過年度調査では捉えられなかった異常箇所が確認できた。
- ⑤ ドローンには、撮影対象物を正面に捉えた場合、対象物のサイズを計測する機能がある。この機能を用いると、過年度計測箇所は 10%程度の誤差で計測ができた。一方で堆積深や上部の劣化物を斜めに撮影した場合など、計測ができない対象物があった。
- ⑥ 調査箇所 1 のような屈曲管では、電波の制限により両端の人孔から双方向に調査を行った。円形管と矩形管にて調査を行ったが、断面形状の違いによる映像や作業効率への影響は感じられなかった。

表 3 調査方法毎の本管内の劣化症状発見数

症状	劣化症状発見数			
	調査箇所1		調査箇所2	
	潜行目視	ドローン	潜行目視	ドローン
破損	7	9	20	21
クラック	0	2	0	0
腐食※	12	13	84	85
浸入水	0	0	0	4
土砂堆積※	12	10	0	1
その他	0	2	0	2

*腐食と土砂堆積の発見数は、症状が確認された目地数を示す。



図 3 同一劣化個所の比較（左が潜行目視調査時、右がドローンによる調査時）

4. 本管調査への適用性の検討

ドローン（ELIOS2）調査には評価できる症状に適否があることが分かった。潜行調査時の目視で評価を行う症状は、ドローン映像でも同様の評価が期待できる。また、計測を要する評価項目でも概ね症状のレベルを評価することは可能である。一方で、平面的な情報以外を要する評価項目（例えば、堆積深計測、試料採取等）は、ドローン調査では評価が困難である。ドローン（ELIOS2）調査と症状評価の適否は表 4 のようにまとめられる。

表 4 ドローン調査と症状評価の適否

ドローン調査による症状評価の適否	具体的な症状
① 評価が十分に可能な症状	破損、クラック（円周方向）、（接合による）隙間、パッキン、浸入水、木根侵入、その他、取付不良（接続部、破損など）
② 症状の有無は確認できるが、評価が難しい症状	クラック（幅）、クラック（軸方向）、接合不良（段差）、土砂堆積深、付着物（モルタル、油脂など）、貫通、取付不良（突き出しの程度）
③ 評価が不可能な症状	腐食（中性化）、たるみ、逆勾配

ドローンを詳細調査に適用する上では、図 4 のような課題が挙げられる。

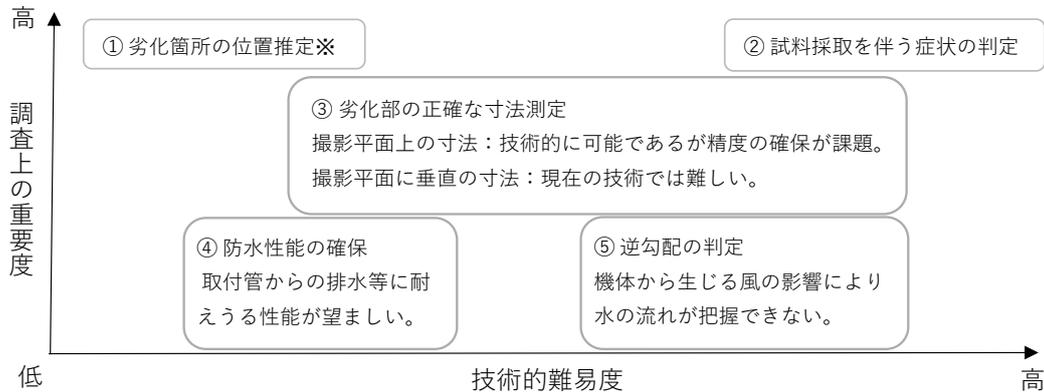


図 4 ドローンの詳細調査適用上の課題

※後継機 ELIOS 3 にて、リアルタイムでも計測後でも位置情報を取得することが可能

5. ドローン調査の優位性に関する検討

ここでは、潜行目視調査とドローン (ELIOS2) 調査の優劣について、効率性と経済性の観点から比較検討した。

5.1. 効率性

ドローン調査は、調査路線の曲がり数によって効率性が変わる。調査箇所 1 のような曲がりのある 100 m 以上のスパンでは、電波障害の懸念がある。そのため、屈曲区間を挟んだ 1 スパンでは、人孔 2 か所から調査をする必要があることが判明した。一方、調査箇所 2 のような直線の路線では、2 スパン以上の調査でも 1 か所の人孔から容易にできることが分かった。したがって、既往調査手法同様に管渠の劣化度や交通条件に加え、ドローン調査では、対象路線全体の直線性が日進量へ寄与する。

ドローン調査の効率性は、日進量にて評価する。日進量の推定は、「スクリーニング調査を核とした管渠マネジメントシステム技術導入ガイドライン (案)」(国土交通省国土技術政策総合研究所、2015) (以下「ガイドライン」) にて示された手順を参考に行った。ガイドラインでは、以下の式による日進量の算出方法が示されている。

$$\text{日進量} = \{1 \text{ 日の実作業時間} / (1 \text{ スパン当たりの調査時間})\} \times \text{代表スパン長}$$

ここで、「1 スパン当たりの調査時間」は、調査を構成する各作業に要する時間の和で算出している。1 日の実作業時間を 6 時間とし、実作業時間を 1 スパンに要する調査時間で割り、1 日当たりの調査可能スパン数を算出する。1 日当たり調査可能スパン数と代表スパン長との積によって日進量が求められる。ガイドラインでは、①準備、②機材設置、③計測、④機材回収、⑤片付けにそれぞれ要する時間の和を 1 スパン当たりの調査時間としている。

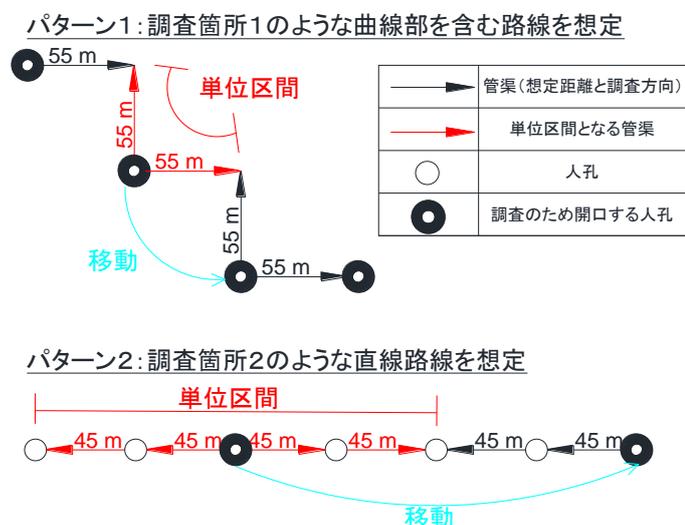


図 5 日進量算出に想定するルート

ドローン調査の実質的な日進量を算定するには参考となるデータが不足しているため、今回の調査結果を踏まえて調査効率性の異なる 2 通りのパターンにて日進量を検討した。各パターンを図 5 に示す。

パターン 1 では、調査箇所 1 のような曲がりのあるスパンのみで構成された路線の調査を想定した。パターン 2 では、調査箇所 2 のような直線の路線のみを調査することを想定した。

各パターンでの条件を表 5 に示す。スパン長は、今回の調査箇所のスパン長を反映させた。各パターンでは、同じスパン数を調査するのに移動回数異なる。そのため、図 5 において「単位区間」と示す範囲を単位区間とし、単位区間に要する時間を単位区間内のスパン数で割って 1 スパンあたりに要する調査時間を決定した。

日進量の検討においては、表 5 の条件に加えて、次の 3 つの共通条件を前提とした。

1. 人孔から上下流方向に調査を行う。
2. 本調査前に調査飛行を毎回 1 度行う。
3. 人孔間の移動時間は 1 回当たり 5 分とする。

各パターンにおいて要した時間により算出された日進量を表 6 にまとめる。今回の調査実績により想定される日進量は 900 m/日 以上となり、既往調査手法 (500~600 m/日) に比較して高い効率性が期待される。

表 5 各パターンの条件

想定項目	パターン 1 (調査箇所1)	パターン 2 (調査箇所2)
管渠特性	曲線部含む	直線のみ
調査スパン数/単位区間	1 スパン (0.5スパン×2)	4スパン
試験飛行回数/単位区間	1	1
詳細調査飛行回数/単位区間	2	4
移動回数/単位区間	1	1
スパン長	110 m	45 m
移動回数/スパン	1回	1/4 回
移動時間/回	5分	5分

表 6 ドローン調査による日進量算定結果

(単位：分)

	パターン1	パターン2	算出根拠
要 単 す 位 る 区 時 間 間 に	移動	5.0	ガイドライン
	①準備	3.3	ガイドライン
	②機材設置	5.0	今回実績
	③計測	13.5	今回実績
	④機材回収	10.5	今回実績
	⑤片付け	3.1	ガイドライン
1 スパン当たり調査時間(分)	40.4	15.5	
日進量(m/日)	980	1,045	

5.2. 経済性

既往調査手法との比較検討結果の総括を表 7 に示す。

「下水道施設維持管理積算要領—管路施設編—」(日本下水道協会、2020) に基づいて算出すると、既往調査手法 (潜行目視調査) では約 35 万円/日の費用となる。一方で、今回のドローンの調査費は約 120 万円/日であった。したがって、ドローン調査では日進量において大幅な飛躍が期待できるものの、現段階における経済性は既往調査手法が優位といえる。

表 7 各調査の比較

	単位	既往調査手法*(潜行目視調査)	ドローンによる手法
作業の容易性			
必要人員 (適正)	人	5	4
必要人員 (最小)	人	5	2
必要な道具		換気設備	ドローン 換気設備 (必要に応じ)
人員の安全		常に酸欠・硫化水素発生リスクあり 管内の突発的な流量増加によるリスクあり	基本的に特殊環境に晒されない
周囲の安全		特別な危険性は伴わない	機体が接触・衝突する可能性あり
効率性			
期待される日進量	m/日	500 ~ 600	約 900 ~ 1,000
経済性			
1日当たりの費用	¥/日	約35万	約120万**
費用単価	¥/m	約600 ~ 700	約1,000 ~ 1,200

*潜行目視調査の費用は、「下水道施設維持管理積算要領—管路施設編—」に基づき算出

**ドローン調査費用は今回調査に限ったものであり、暫定的である。

6. まとめ

本稿では、路線形状の異なる 2 つの管路施設での管内調査の結果をもとに、劣化症状の評価の適否、現場での作業の容易性、効率性 (日進量) および経済性の視点で、ドローン調査と従来調査手法を比較検討した結果を示した。

ドローン調査では、詳細調査における一般的な調査項目に準ずる劣化症状を概ね評価できることが明らかとなった。特に映像の質が高く、映像から発見できる症状は、潜行目視調査と同等の質で評価できる可能性が示唆された。また、今回の調査結果では従来調査手法に対する日進量の向上が見込まれ、将来的な調査需要の拡大に応える技術として期待される。結果的に、潜行が不要になることによる調査員の安全性の確保や人員不足を補完する効果等が期待される。

一方で、映像による劣化箇所計測精度や、「逆勾配」のような水面の様子から判定する症状は、評価が難しいことが課題として明確になった。また、調査時の課題として非常時の機体回収方法や、防水性能が低いため取付管からの急な排水対策の必要性等が挙げられ、具体的な対策の確立が望まれる。

その他、既往調査と比較しドローン調査が経済的には不利となるが、調査の安全性や作業の効率性の観点からは、ドローン調査による優位性が高いといえる。

今回調査におけるドローン調査費用は、変動要因も多いことから適正価格の設定が困難である。そのため、調査の需要量や市場の動向を探りながら適用の是非を決定していくことが必要である。

※なお、「劣化箇所の位置推定」に関しては後継機 ELIOS 3 にて、リアルタイムでも計測後でも位置情報を取得することが可能となっている。

〈参考文献〉

- 1) 国土交通省 国土技術政策総合研究所. 下水道技術開発レポート 2018. 国土技術政策総合研究所資料. 2019, 第 1070 号
- 2) 国土交通省 国土技術政策総合研究所. スクリーニング調査を核とした管渠マネジメントシステム技術導入ガイドライン (案). 国土技術政策総合研究所資料. 2015, 第 876 号
- 3) 谷戸善彦. 新型コロナパンデミック後の日本の国土政策と下水道政策. 下水道情報. 2020, 第 1920 号
- 4) 公益社団法人日本下水道管路業協会. 下水道管路管理に関する安全衛生管理マニュアル. 2002
- 5) 公益社団法人日本下水道管路業協会. 下水道管路の修繕・改築工事施工時における安全の留意点. 2019
- 6) 公益社団法人日本下水道協会. 下水道施設維持管理積算要領—管路施設編—. 2020