

下水道管きよのスクリーニング調査における UAV の活用検討

株式会社 NJS ○勝岡 聡 稲垣 裕亮 池田 浩史 竹内 パトリック 権

本報告は、UAV による下水道管きよのスクリーニング調査の有効性を確認することを目的として、3 つの調査手法（TV カメラ調査、管口カメラ調査、UAV 調査）による実証試験を行い、効率性、安全性及び品質（視認性）について比較検討を行った結果を取り纏めたものである。UAV 調査は、従来手法と比較して作業に要した日数が少なく、作業員が入孔せず地上から管内を目視できることから、効率性及び安全性に優れていることがわかった。また、スクリーニング調査の従来手法である管口カメラ調査と比べて視認性が同等以上であることから、精度の高いスクリーニング調査手法としての活用が期待される。

Key Words : UAV、ドローン、有効性、点検・調査、維持管理、スクリーニング調査

1. はじめに

わが国の下水道管きよの総延長は、平成 30 年度末時点で約 48 万 km に達しており、そのうち標準耐用年数 50 年を経過した管きよの延長は約 1.9 万 km（総延長の 4%）である。管きよの整備延長は昭和 40 年代半ばから急速に伸長し、それらの管きよは現時点において耐用年数を超過していないものの、今後順次耐用年数を迎え、老朽管の破損等による道路陥没事故の急増が懸念されている。

現在、詳細調査で用いられている TV カメラ車は、作業員が現場で撮影、異常判定を行うため、調査効率が必ずしも高いとは言えない。さらに安全性については、カメラ挿入の際、マンホール内に入って作業を行うことから、酸欠、各種有毒ガス及び急な降雨による管内水位上昇に伴う事故の危険性がある。

一方でスクリーニング調査として実績の多い管口カメラは、撮影範囲が管口周辺に限定され、路線全体の劣化状況を把握することが難しい。このため、今後は効率的かつ安全な点検・調査手法が求められるとともに、人口減少や厳しい財政状況を踏まえると、スクリーニング調査による詳細調査の実施箇所の絞り込みが有効である。

本報告では、膨大な管路ストックを効率的に安全かつ高品質に点検・調査する手法として UAV（Unmanned aerial vehicle、通称ドローン）によるスクリーニング調査に着目し、従来手法（TV カメラ調査、管口カメラ調査）と比較を行い、その有効性の確認を目的とする。

2. 検証内容

(1) 使用機材

本検証で使用するカメラの画素数は、TV カメラ（41 万画素）、管口カメラ（200 万画素）、UAV（200 万画素）である。表-1 に使用する UAV の仕様、写真-1 にその外観を示す。

表-1 UAV の仕様

項目	仕様
重量	2.0kg (バッテリー含む)
形状寸法	W : 250mm L : 570mm×H : 120mm
飛行時間	約5分
飛行速度	0.5~3m/秒
搭載カメラ	SONY DSC-RX0
画素数 (動画撮影)	約200万画素
視野角	84°



写真-1 UAV の外観

(2) 検証対象路線

検証対象路線は、図-1 に示す直線が連続する路線を選定した。対象管きょは、「口径φ400mm~600mm のヒューム管、30 路線、総延長 1,324.8m」の合流管である。なお、管内洗浄は TV カメラ調査では事前に行ったが、管口カメラ調査及び UAV 調査では実施しなかった。



図-1 検証路線

(3) 検証項目

UAV 調査の有効性を検証するため、表-2 に示す「効率性」、「安全性」、「品質」の3つの視点で比較検証を行った。

表-2 検証内容

検証項目	検証内容
効率性	作業にかかった日数の比較
安全性	作業員の非入孔率の比較【非入孔数÷マンホール開閉数】
品質 (視認性)	TV カメラ調査の異常箇所判定結果を基準とした場合の UAV 調査と管口カメラ調査の視認一致率の比較

効率性については、作業 (1,324.8m) に要した日数を比較した。UAV 調査で要した作業日数が、2つの従来手法で要した作業日数を下回ることができれば、従来手法と同等以上の

効率性があると判定した。

安全性については、各手法で作業員の入孔数を確認し、非入孔率を用いて比較した。非入孔率が高いほど、マンホール内における突発的な水位上昇等による事故のリスクが少なく、安全性が高いと判定した。

品質については、TV カメラ調査の異常箇所判定結果を基準とし、UAV 調査と管口カメラ調査で視認一致率を比較した。視認一致率が 100%であれば、TV カメラ調査と同等の視認性があると判定し、管口カメラ調査より視認一致率が高ければ、管口カメラ調査と同等以上の視認性があると判定した。

3. 検証結果

「効率性」、「安全性」、「品質」に着目し、3つの方法について比較検証した結果を以下に示す。

(1) 効率性

UAV 調査の作業時間は、事前準備、機材調整、後片付けを含めて 4 時間 18 分であり、1 日の作業時間を 8 時間とし日当り作業量を算出すると 2,904m となった。また、表-3 に示すとおり、1,324.8m の作業に要した日数の比率は、「TV カメラ調査：管口カメラ調査：UAV 調査：=4：2：1」であった。UAV 調査が TV カメラ調査、管口カメラ調査と比較して、短い日数で作業完了できた主な要因は、1 マンホール当りの作業時間が短く、1 回のマンホールの開閉で複数路線を確認でき、マンホールの開閉に伴う準備・後片付けの回数を削減できたことが挙げられる。なお、UAV 調査は、準備、後片付けに要する時間が短く、さらに飛行スピードが速いため、マンホール間移動を含む、1 マンホール当りの平均作業時間は 12 分 23 秒であった。

表-3 効率性の比較

	TVカメラ調査	管口カメラ調査	UAV調査
調査日数 (日)	4	2	1 (4時間18分)
開閉マンホール数 (箇所)	30	36	15
1マンホール当りの平均調査路線数	1.0	0.8	2.0
1マンホール当りの平均調査延長 (m)	44.16	36.8	88.32

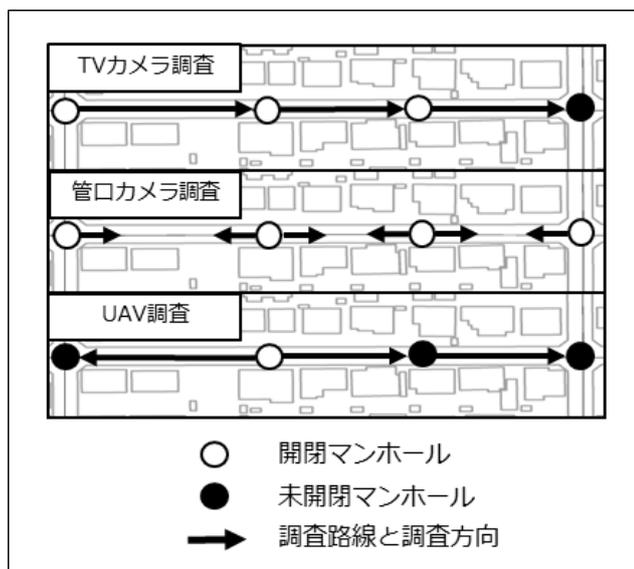


図-2 開閉したマンホールと調査路線及び方向

また、図-2 に示すとおり、TV カメラ調査では路線間で段差がある場合、1 路線ごとに作

業帯を設置し、マンホールを開け、機材の準備を行う必要があり、管口カメラ調査も、1 路線に対し上流・下流の双方向から目視を行う必要があった。それに対して UAV 調査は、1 箇所マンホールの開閉で上流 1 路線、下流 2 路線の目視を行うことができ、3 つの手法の中でマンホールの開閉数が最も少なかった。これを 1 マンホール当りの平均路線数で評価すると、表-3 に示すように「TV カメラ調査：管口カメラ調査：UAV 調査=1.0：0.8：2.0」で UAV 調査が最も多く、また 1 マンホール当りの平均延長で評価すると、「TV カメラ調査：管口カメラ調査：UAV 調査=44.16m：36.8m：88.32m」と UAV 調査が最も長い結果となり、これらも作業に要する日数が少なくなる要因となった。

以上の結果から UAV 調査は、従来手法と比べて作業に要した日数が最も少なく、従来手法より効率性が高いことを確認した。

(2) 安全性

表-4 に示すとおり、マンホール開閉数と作業員が入孔せず目視を行った数（非入孔数）による各手法の非入孔率は、「TV カメラ調査：管口カメラ調査：UAV 調査=0%：100%：93.3%」であった。なお、UAV 調査の入孔は、大きな段差部に落下した機体回収のためであり、事前確認の徹底により防止可能と考えられる。

UAV 調査は、写真-2 に示すとおりハンドリングが良いため、基本的に「準備、管内目視、後片づけ」にわたる一連の作業を作業員が入孔することなく、地上部から実施することができ、突発的な降雨による管内水位上昇に伴う事故等のリスクが少ないことから安全性が高いことを確認した。

表-4 作業員の非入孔数と非入孔率

	TVカメラ調査	管口カメラ調査	UAV調査
非入孔数 (マンホール開閉数)	0 (30)	36 (36)	14 (15)
非入孔率	0.0%	100.0%	93.3%



写真-2 UAV 調査風景

(3) 品質

表-5 に TV カメラ調査の異常箇所判定結果を示す。なお、調査判定基準は「下水道管路施設の点検・調査マニュアル（案）」の本管調査判定基準（案）を基本とした。

表-5 TV カメラ調査の異常箇所判定結果

腐食			上下方向のため			管の破損			管のクラック			管の継手スレ			浸入水			取付管の突出			油脂の付着			樹木根侵入			モルタル付着			その他			計					
A	B	C	A	B	C	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	A	B	C	計	a	b	c	計				
-	1	2	-	-	-	3	8	6	1	5	8	-	-	3	-	-	1	-	-	1	-	-	-	3	-	-	4	-	-	1	-	1	2	3	4	16	24	44

異常箇所は全部で 47 箇所あり、そのうちランク A と a が 4 箇所、ランク B と b が 17 箇所、ランク C と c が 26 箇所であった。各手法で撮影した画像（クラック）を写真 3 に、TV カメラ調査の異常箇所判定結果を基準とした、UAV 調査と管口カメラ調査における視認一致率を表-6 に示す。



写真-3 管内撮影画像（クラック）

視認一致率（「上下方向のたるみ」、「油脂の付着」を除く全 9 項目）の合計は表-6 に示すとおり、管口カメラ調査が 11%、UAV 調査が 68%であり、UAV 調査の視認一致率は、すべての異常項目及びランクにおいて管口カメラ調査と同等以上であった。

また、構造的異常項目の視認一致率は、管口カメラ調査が 8%、UAV 調査が 74%、管理的異常項目の視認一致率については、管口カメラ調査が 22%、UAV が 44%となっており、構造的異常項目の方が視認一致率は高い傾向にあった。このうち、「腐食、継手ズレ、浸入水、取付管の突出し」の異常項目は、TV カメラ調査と完全に一致した。なお、管口カメラ調査で視認一致率が低い要因として、UAV 調査は路線全長の異常を把握したのに対して、管口カメラ調査では路線中央部の異常を視認できなかったためと考えられる。

表-6 異常箇所視認数と視認一致率

異常項目	ランク	異常箇所視認数			視認一致率		
		TVカメラ調査	管口カメラ調査	UAV調査	管口カメラ調査	UAV調査	
構造的異常項目	腐食	A	—	—	—	—	
		B	1	0	1	0%	100%
		C	2	0	2	0%	100%
	破損	a	3	1	3	33%	100%
		b	8	2	8	25%	100%
		c	6	0	3	0%	50%
	クラック	a	1	0	0	0%	0%
		b	5	0	4	0%	80%
		c	8	0	3	0%	38%
	継手ズレ	a	—	—	—	—	—
		b	—	—	—	—	—
		c	3	0	3	0%	100%
浸入水	a	—	—	—	—	—	
	b	—	—	—	—	—	
	c	1	0	1	0%	100%	
小計	A(a)+B(b)+C(c)	38	3	28	8%	74%	
管理的異常項目	取付管の突出し	a	—	—	—	—	—
		b	—	—	—	—	—
		c	1	1	1	100%	100%
	樹木根の侵入	a	—	—	—	—	—
		b	3	0	1	0%	33%
		c	—	—	—	—	—
	モルタル付着	a	—	—	—	—	—
		b	—	—	—	—	—
		c	4	1	2	25%	50%
	取付管閉塞	a	—	—	—	—	—
		b	—	—	—	—	—
		c	1	0	0	0%	0%
小計	a+b+c	9	2	4	22%	44%	
合計	A(a)+B(b)+C(c)	47	5	32	11%	68%	

※本検証において「上下方向のたるみ」、「油脂の付着」は該当なし。また「—」は本検証で該当なし

一方、破損 (c)、クラック (a・c)、樹木根の侵入 (b)、モルタル付着 (c) については、視認一致率が 50%以下と低かった。これは UAV が巻き起こす下向きの気流によって巻上げられた水しぶきがカメラレンズに付着すること、カメラの視野角の狭さが原因で画像が不

鮮明となるためと考えられ、搭載するカメラの選定が今後の検討課題である。なお、取付管閉塞 (c) は異常箇所視認一致率が 0%であったが、これは UAV がカメラの構造上側視ができないためである。

以上の結果から、UAV 調査は検討課題があるものの、管口カメラ調査に比べて構造的異常、管理的異常ともに TV カメラとの視認一致率が高く、品質が高いことを確認した。

4. スクリーニング調査手法としての有効性

UAV 調査と従来手法との比較検証結果を以下のとおり総括する。

- 効率性について、UAV 調査は作業にかかる時間が短く、一度に複数路線を目視でき、TV カメラ調査、管口カメラ調査と比較して、それぞれ 1/4、1/2 の日数で作業完了できたことから、効率性が高いことを確認した。
- 安全性について、UAV 調査は準備から後片づけにわたる一連の作業を作業員が入孔することなく地上部から実施でき、突発的な降雨による管内水位上昇等に伴う事故のリスクが少ないことから、安全性が高いことを確認した。
- 品質について、TV カメラ調査の異常判定箇所数を基準とした場合、UAV 調査の視認一致率は、管口カメラ調査の 11%に対して 68%であった。また、全ての異常項目及びランクにおいて、視認一致率は管口カメラ調査と比較して同じ、または高く、品質は管口カメラ調査と同等以上であることを確認した。

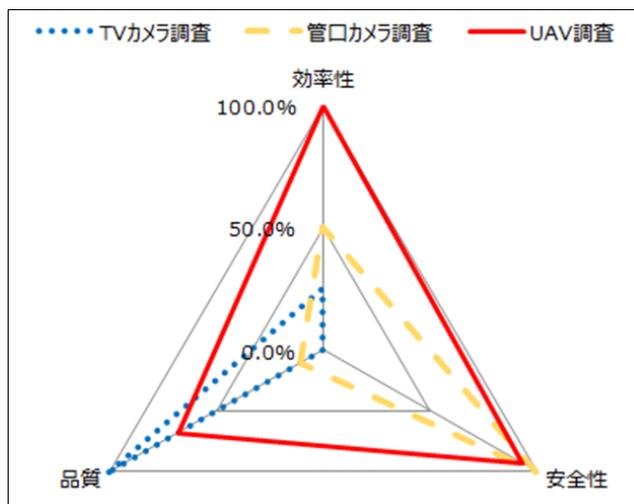


図-3 比較検証結果

以上の検証結果より、UAV 調査は TV カメラ調査と比べて品質は劣るものの、効率的かつ安全に詳細調査を実施する箇所を絞り込むことが可能である。また、スクリーニング調査の従来手法である管口カメラ調査と比べて、UAV 調査は全ての異常項目で視認性が同等以上であることから、精度の高いスクリーニング調査手法としての活用が期待される。今後は、本検証で判明したカメラ選定等の検討課題を解決するとともに、運用の容易性等について検証を重ね、さらなる技術改良を図っていきたい。

本報告は、横須賀市上下水道局、株式会社 NJS、高杉商事株式会社の 3 社で実施している「ドローンを用いた下水道管きよの点検・調査手法に関する共同研究」の中間結果に基づくものである。