

3-2-3 大口径管きょ調査用 UAV の開発と実用化に向けた検証

東京都下水道サービス株式会社 技術部 技術開発課 元吉 浩之
(現 中部下水道事務所 再構築推進課)
株式会社日立製作所 陰山 晃治、小野 郁宏、益池 孝

1. はじめに

これまで大口径管きょの調査方法は、人が管きょ内に入り、内部の状況を直接目視することで劣化破損状況等を調査することを基本としている。その際、管きょ内の換気、流出防止柵の設置、直視が難しい高所の場合は足場の設置など、安全対策を実施するため、作業効率が低いのが現状である。

また管きょ内が高水位、高流速、硫化水素の発生により、入孔が困難な場所も多く、調査が困難となっている。このような状況のなか、人が入ることなく地上からの遠隔操作で調査を実施できる解決策の一つとして UAV (ドローン) がある。この UAV を使えば、調査困難な箇所においても、危険を回避し、安全に管きょ内の調査を可能にすると考えられる。

そこで、本稿では、人による調査が困難な場所をターゲットに UAV を開発し、大口径管きょの調査用としての実用化に向け、検証した内容について報告する。

2. 開発目標

下水道管きょ調査用 UAV の開発は、平成 29 年度から進めてきた。図-1 で示すように、モニターに映る UAV 搭載の前方カメラの映像を見ながら、地上にて UAV を操縦し、点検調査を進める形態を目指しており、次の事項を目標とした。

- ① 管きょ内の環境が高水位、高流速、硫化水素濃度が高いなど、人による調査が困難な場所の調査
- ② 5mm 幅のクラック (東京都損傷判定 A ランク) を確認できる画像の取得
- ③ 設計指針が示す人孔間の最長距離最大 200m の安定飛行
- ④ 入孔せずモニターを活用した地上からの遠隔操作 (一部の特殊人孔を除く)
- ⑤ 万一の落下時にも沈没せず確実に回収できると共に、管きょ内での飛行距離や速度を地上で把握でき、更にカメラ機能更新による交換を容易にできること

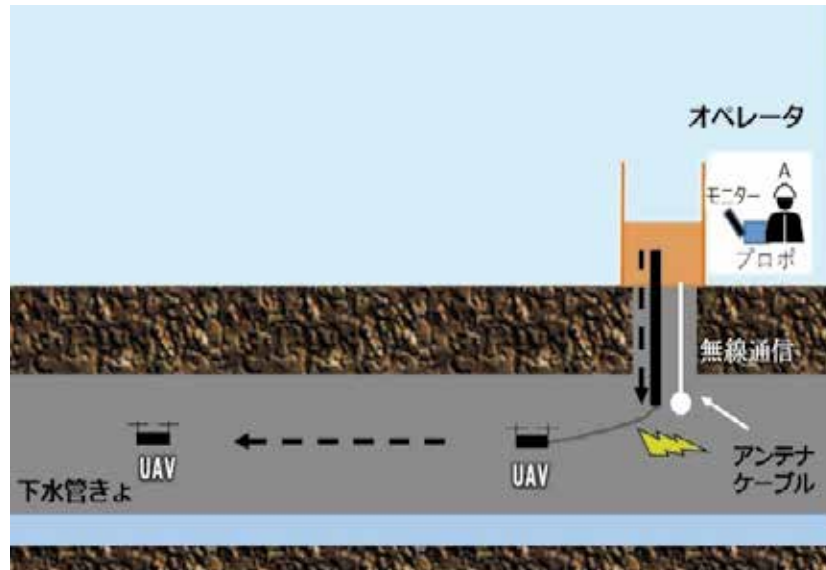


図-1 飛行調査概念図

3. これまでの開発経緯

(1) 過年度の試作機

過年度開発した機体は、安定飛行のため管路内の天井面に接触させる車輪を4つ備えた天井接触飛行式 UAV であり、模擬管路を用いた試験で検証した結果、天井面からの変動を±10mm 程度に抑えるものであった¹⁾。

(2) これまでの開発内容と結果

1) 飛行距離：A ランククラックが判定できる程度の速度で天井接触飛行式 UAV は約4分間に約150m 飛行でき、その際のバッテリー残量から理論上では260m 飛行できる結果を得ている¹⁾。

2) 目視外飛行：施設内上層階から下層階にアンテナを下ろし、模擬的に隔離した環境にて、目視外飛行できることを確認している¹⁾。

4. 検証目的と内容

(1) UAV を実用化するにあたっての検証

1) 狭隘空間における飛行の安定性

広い空間と異なり、狭隘な管きよ内で UAV を飛行させる場合、機体が発する風の影響により壁面に機体が吸い寄せられる現象が発生する。このことで、場合により壁面に接触し墜落するなど、安定飛行に影響を及ぼすことが過年度の実験¹⁾や流体解析結果から判明している。

そこで、安定性を確保できる壁面からの隔離を検証した。なお、風速や圧力が左右対称とならない場合があることを示す解析結果の一例を図-2に示す。

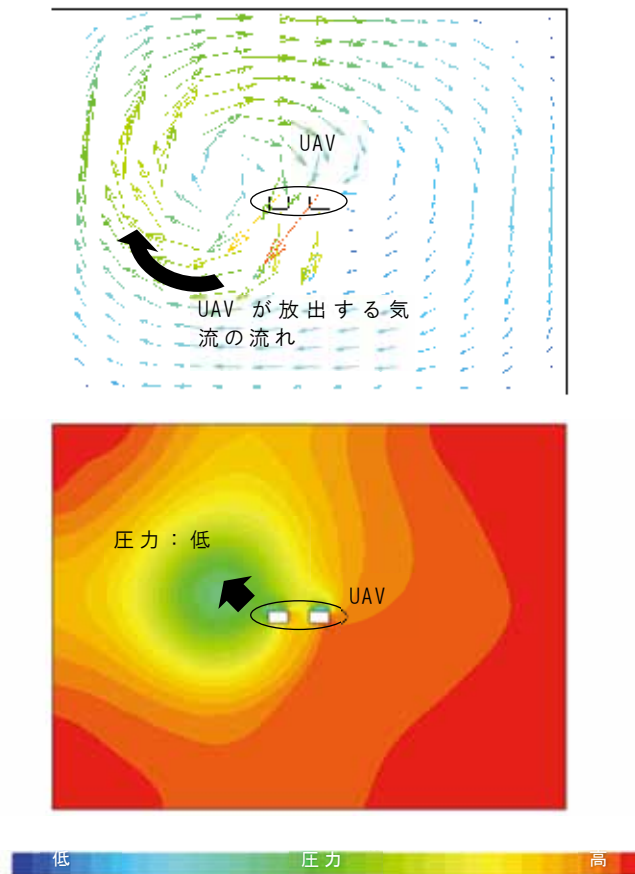


図-2 流体解析の例

2) A ランククラックを調査確認できる飛行速度

UAV による調査技術の利点の一つはその飛行速度であるが、その速さ故に調査カメラの性能によって、取得した画像がぶれるなど、その精度が落ちてしまう。すなわち、飛行速度と画像の精度はトレードオフの関係となる。そこで、より効率的な点検とするため、目標とする A ランククラック画像を取得できる速度について検証した。

(2) 試験に用いた UAV の機器概要

今回開発し試験に用いた機体の概要は次のとおりである。(図-3)

- 1) 飛行部分：回転翼を 6 基搭載し、直径 500mm、全体重量約 2.5kg
- 2) 制御部分：壁面方向と天井面方向の離隔を計測する距離センサーとその離隔を一定に維持する 2 点測位制御を装備
- 3) 撮影部分：2100 万画素の汎用カメラ



図-3 2点測位制御飛行式 UAV

(3) 実験の概要

以下に述べる設定を行い実験を行った。

1) 狭隘空間における飛行の安定性

- ① 幅 5mm(A ランククラック相当)の紙テープを管きょ内の壁面に貼付する。
- ② 矩形きょ (4000mm×3200mm)では 1~2m、円形管 (ϕ 4780mm)では 1~2.4m と機体と壁面の離隔を設定し、UAV を往復飛行させ、壁面を撮影しつつ、飛行の安定性を評価する。

2) A ランククラックを調査確認できる飛行速度

- ① 幅 5mm(A ランククラック相当)、3mm、2mm(B ランククラック相当)、1mm(C ランククラック相当)の紙テープを円形管 (ϕ 4750mm)の壁面に貼付する。
- ② 機体と壁面の離隔を 2m と設定し、UAV を往復飛行させて壁面を撮影する。壁面カメラの撮影頻度は 30 フレーム/s、飛行速度は 0.3m/s、0.6m/s、1.0m/s とし、異なる速度での撮影画像を評価する。

5. 実証試験による検証と考察

(1) 実験結果

1) 矩形きょ

UAV の飛行状況を図-4 に示す。2点測位制御の設定に従い、矩形断面のほぼ中心を飛行し、200m 先までを往復して目視外飛行させた場合の壁面からの離隔の推移を図-5 に示す。グラフから 2点測位制御の設定値付近を維持していることが分かり、このときの標準偏差は約 8cm であった。また、撮影した壁面画像で A ランククラック相当の幅 5mm の模擬クラックを十分に確認できた。



図-4 UAV 飛行状況（矩形きよ）

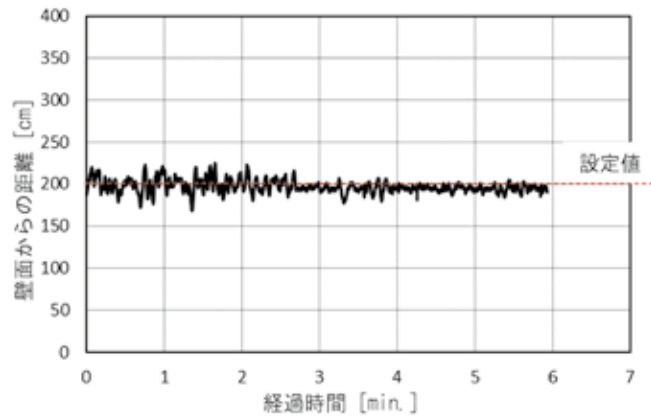


図-5 壁面からの距離（矩形きよ）

2) 円形管

UAV の飛行状況を図-6 に示す。2点測位制御の設定に従い、円形断面の下方中央を飛行し、120m 先までを往復して目視外飛行させた場合の壁面からの離隔の推移を図-7 に示す。グラフから2点測位制御の設定値付近を維持していることが分かり、このときの標準偏差は約 11cm であった。

併せて、壁面を撮影した画像の例を図-8 に示す。これは飛行速度を 1.0m/s と設定した場合であるが、A ランククラック相当の幅 5mm の模擬クラックのみならず、B ランククラック相当の幅 2mm の模擬クラックも目視確認できた。

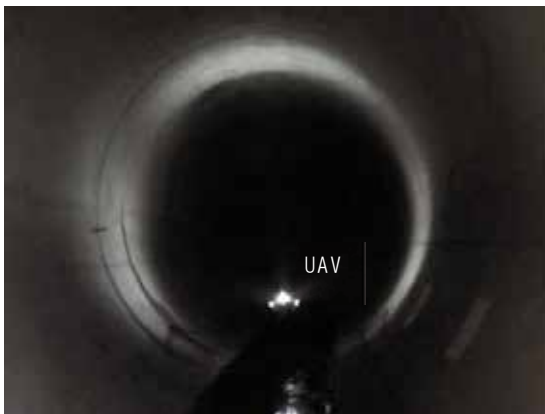


図-6 UAV 飛行状況（円形管）

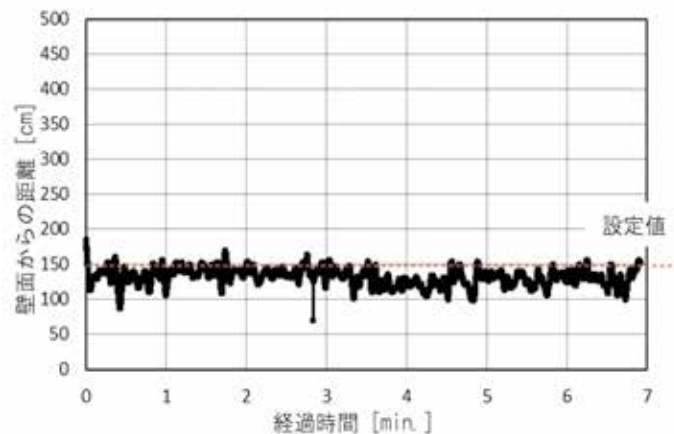


図-7 壁面からの距離（円形管）

(2) 考察

上述のように、矩形きよと円形管にて、壁面や天井からの離隔が一定となるよう設定した際、安定して飛行できることを供用中の下水道施設で確認できた。壁面からの離隔に関して標準偏差は多少異なったが、これは管断面の形状だけではなく管のサイズや2点測位制御の制御パラメータの値の違いが影響したと考えられる。

図-8 の壁面画像では、上下に伸びる周方向の 5mm 幅の模擬クラックは左右方向にブ

レがほとんど見られない。この結果は飛行速度を 1.0m/s と設定した場合であるが、A ランククラックを見つけることが目的の場合には飛行速度をさらに高めても良いと言える。飛行速度を高められると、(i)点検効率の向上、(ii)1回の飛行で点検可能な距離の延伸、(iii)バッテリー交換や充電頻度の低減、などメリットが多い。今後、撮影画像の画質を確保できる飛行速度の上限値の調査も進めていきたい。

6. まとめ

本稿では、入孔困難な大口径管きよの点検を安全で効率よく行える UAV の実用化に向け、安定した飛行及び画像取得についての検証内容について報告した。UAV 自体が巻き起こした風により、管路内で機体が不安定となる現象が過年度の研究でみられたことから、2点測位制御を新たに開発し、供用中の矩形きよ及び円形管で検証したものである。引き続き、管きよ内における UAV の飛行の課題をさらに明確化させ運用時の対応に生かすとともに、早期の実用化に向け、当開発のコンセプトである、高水位や高流速、硫化水素発生のため、入孔困難な管きよでも調査できる UAV の開発と検証を進めていく。

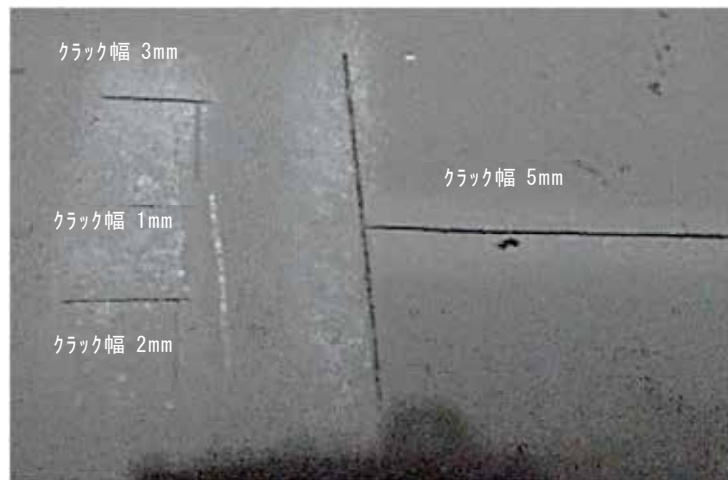


図-8 飛行撮影した壁面画像 (1.0m/s)

参考文献

- 1) 栗原佳弘他、2018 下水道施設調査向けドローンの開発とそれを用いた調査技術について
第 55 回下水道研究発表会