

狭隘部・暗所部における構造物の効率的・持続可能な点検手法確立に向けた取組み

四電技術コンサルタント 法人会員 ○渡邊 義則 飯田 奈緒美 小倉 宙
四国電力 法人会員 米澤 創 アイ・ロボティクス 非会員 平澤 昭仁

1. はじめに

高度経済成長期に建設された多量の社会インフラの課題は、適切な機能維持と長寿命化であり、低コストで効率的かつ高精度の点検結果に基づく予防保全型の維持管理が求められている。これら課題に対して、持続可能なインフラの保全対策実現には、ICT等の新技術を活用し、劣化点検・診断の効率化と高精度化を図った点検手法の確立が重要である。今回、点検員の立入りが困難な狭隘部・暗所部に存置するコンクリート構造物を対象に、超小型ドローン「マイクロドローン」を活用して、ひび割れ・剥離等の調査・点検を実施した。また、得られた調査データから視覚的判断が容易な展開図の作成や画像診断を実施し、効果的で持続可能な点検手法について検討を行った。本稿はこれらの内容について報告する。



写真-1 苦渋作業

2. 狭隘部・暗所部における調査・点検方法の現状と課題

従来の構造物点検・調査は、点検員が対象地点まで到達し目視で確認のうえ、損傷状況・損傷位置を把握し、その評価を実施している。一方で、これまで点検員の立入りが難しく調査が困難であった箇所も、構造物の高経年化や安全性から調査が求められるようになった。しかし、これらの箇所の多くは、狭隘部での作業であり、点検員は酸欠の危険性や無理な姿勢の連続等による苦渋作業を強いられている（写真-1参照）。また、暗所部では視界が悪く、手元のスポットライト照明による作業では、損傷の見落としが発生する可能性もある。このように、点検員が調査対象箇所に立入ることが困難な場合や苦渋作業を伴う場合においても、安全かつ効果的な調査・点検手法の確立が課題である。

3. マイクロドローンの特徴を活用した点検手法の可能性

既存の無人調査ロボットや球体のドローンは、狭隘部では機体の大きさや無線通信上の制約により進入が困難である。そこで著者は、建築分野において屋根裏点検等で活用されている「マイクロドローン」に着目し、その特徴から狭隘部の点検に活用できると考えた。マイクロドローンはロータピッチ10cm程度の超小型ドローンであり、ドローンに搭載したカメラの映像をゴーグルで見ながら、FPV（First Person View：一人称視点）で飛行させるものである（写真-2, 3参照）。もともとホビーとしてドローンレース向けに登場した安価なドローンであるが、LED照明搭載などカスタマイズが可能である。



写真-2 MicroDrone



写真-3 FPV 状況

マイクロドローン仕様	飛行時間：4分前後 重量：約66g(バッテリーなし) 対角寸法：120×120mm カメラ360° / 5.7K動画 チルト：なし(固定式) 障害物検知：無 照明：LED搭載
------------	---

4. ケーブルダクト調査への適用

調査対象のケーブルダクトはB0.70m×H1.0mであり、高さが変化する構造であるため最小箇所では高さ0.3mとなる。そのうえ内空はケーブルが複雑に設置されているため、部材の隙間を通り抜けて狭隘部・暗所部にある構造物の点検を行う必要がある。そこで、著者は超小型・軽量でプロペラガードがあり、万が一衝突した際でもケーブルを損傷しないマイクロドローンの活用が有効と考えた。なお、ケーブルダクト全体の損傷を把握するためには、頂版・左右側壁・底版の4方向を撮影する必要があり、1方向を撮影する通常のカメラでは4回の飛行が必要となる。このため著者は、1度の飛行で全方向の撮影が可能な360度カメラ(5.7K、動画)を搭載し、併せてライトも4方向に搭載する工夫改造を行うことで、今回の調査時間を従来調査の1/3に短縮することができた。さらに、無線途絶による墜落回避のため、操縦する送信機に接続し



写真-4 ケーブルダクト

た延長アンテナをドローン進入口からダクト内に下ろすことにより、操縦者は安全な場所で着座姿勢でのFPV操縦が可能となった。

5. 放水口調査への適用

海に面している放水口は通常、船上からの目視点検を行うが、潮汐や波浪等による点検時間の制約や船上等の作業のため海中への転落事故につながる危険性があった。また、陸上部出入口のマンホール等から搬入できる機器も制約をうけるうえ、一般的なドローンでは壁越しに飛行させると電波が届かず墜落の危険性がある。そこで、放水口（B3.0×H3.0m：気中部H2.0m、写真-5参照）においてもケーブルダクト同様、360度カメラを搭載したマイクロドローンを活用した点検が有効と考えた。

この方法により「準備・点検・後片付け」にわたる一連の作業を入孔することなく地上から実施することができ、安全性が高いうえ、調査時間を従来調査の1/4に短縮することができた（写真-6参照）。

6. 狭隘部・暗所部でのマイクロドローンの有効性について

操縦者のカメラでは前方のみの撮影となるが、マイクロドローンに360度全天球カメラを搭載することで、一度に全周を撮影でき、調査時間の短縮、操縦に集中できるなどの効果があった。得られた映像は、過去の点検記録写真と比較しても、損傷具合をよく捉えて遜色ないデータが取得できており、有効性を確認できた（写真-7参照）。また、高品質の画像を撮影するため低速飛行を心掛けたが、プロペラがダクト内の粉塵を巻き上げることにより前方が見えなくなり操縦できないことや、粉塵がノイズとして写真に写ることから、逆に、飛行速度を速めて粉塵の影響を低減する操縦の工夫を凝らした。

また、点検動画から切り出した球面写真をSfM処理（Structure from Motion：撮影した複数の写真から対象形状を復元する技術）して展開図（オルソ画像）作成も行った。1眼レフカメラの解像度には若干劣るものの、俯瞰的に損傷を観察するには十分な精度であった（図-1参照）。なお、このオルソ画像からAI画像診断（ニコンシステム SwallowAI）した結果、ひび割れや剥離、鉄筋露出等を確認することができたが（図-2参照）、一部誤認も見られた。この原因は360度カメラの解像度が低いことや球面写真であること、さらには飛行速度が速いことや粉塵が写り込んでいること等が考えられ、これらの点はさらなる工夫・改善が必要と考えている。

点検には損傷位置の特定も重要項目であるが、GPSやSLAMが未搭載のため位置特定できないものの、事前の目視調査等で損傷位置を把握しておくことで、損傷を目印として相対位置を把握することが可能であることもわかった。

7. まとめ

酸欠や海中への転落の危険性をはらんでいた作業や、点検員が立入りにくい狭隘部の調査において、マイクロドローンを活用することにより、これらの課題を解決し調査が可能となった。また、小型・軽量のため小回りが利くとともに、衝突しても構造物に与えるダメージや危険性は低く、詳細点検範囲の絞り込み等に活用することで、現地作業時間の短縮・点検費用削減・危険作業の削減等が図れることになる。マイクロドローンは、小型ゆえにバッテリー容量が小さく飛行時間が4分程度と短い、導入コストが安価でありカスタマイズしやすいことから持続可能な点検機器である。一方で、マニュアル操縦で空中自立安定性が低く、高度の維持（ホバリング）など操縦の難易度が高いという面もある。

今回のケーブルダクト・放水口の調査で活用した結果、マイクロドローンは、他の構造物（煙突や管路、小断面水路）や工業地帯のプラント施設、災害時に立入ることが困難な家屋倒壊現場等でも活用の際は広いことから、さらなる狭隘部・暗所部等への活用に向け改良に取り組むとともに、操作訓練マニュアルの整備や操縦技術の向上・教育等も進め、持続可能なインフラメンテナンスを実現していくこととしている。

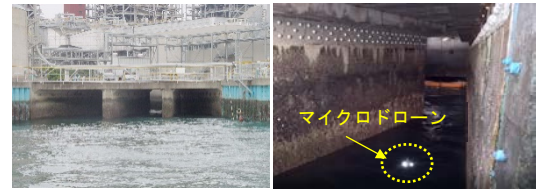


写真-5 放水口

写真-6 調査状況

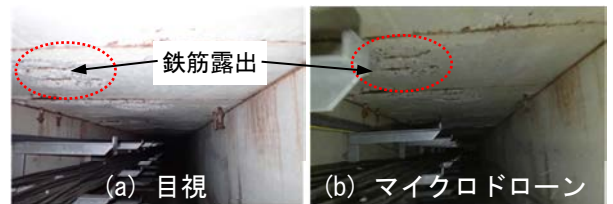


写真-7 調査写真の比較



図-1 展開図(側壁)

図-2 画像診断(頂版)