

連携記事

橋梁点検に対するドローン適用の期待と課題

Towards Drone Bridge Inspection Systems : Expectations and Challenges

金平徳之 川田テクノロジーズ (株)
技術研究所
Noriyuki Kanehira 次長

1 はじめに

インフラ、中でも橋梁の老朽化は社会問題の一つとなっている。例えば建設後50年を経過した橋梁の割合は今後10年間で現在の2割から4割と急増する。特に橋長15m未満の橋梁ではその約半数が建設後50年を経過すると推定されている。これは昭和30年から50年にかけて建設された橋梁が橋梁数の26%を占めていることに起因する¹⁾。

これに対して国は道路法施行規則の一部改正 (H26.3.31公布、H26.7.1施行) を行い、道路橋 (約70万橋) に対する5年に1回の近接目視点検の実施を規定した。しかしながら平成26年度における点検の実施率は全体の10%にとどまっており、計画通りの点検の実施が困難である可能性が指摘されている。特に市町村の管理する橋梁に関しては実施率が約7%となっており、国の直轄の橋梁の点検率15%に対して遅れが顕著である。これは、市町村が国内の約70%の橋梁を保有しているにもかかわらず財源や技術者の数が十分でないということに原因がある。

この財源や人員の不足の解決策の一つとして期待されているのが橋梁点検に対するロボット技術の適用である。ロボット技術の導入は、点検の効率化だけではなく点検の均質化にも寄与できると考えられており、実現すればその効果は大きい。このため、国土交通省が発表したインフラ長寿命化基本計画²⁾ においても、ICT (Information and Communication Technology)、ロボット等の新技術の開発・導入が施策の一つとして盛り込まれている。

ロボット技術の中でも注目されているのがドローンである。ドローンはその優れた機動性により近年アプリケーションの場が広がっており、製品と運用の両面において市場が急速に拡大している。橋梁の点検に関してもアクセス性の悪い環境下における点検の支援ツールとしての期待が大きい。

このような背景の下、国土交通省は経済産業省と連携して

平成26年度と平成27年度に次世代インフラ用ロボット技術・ロボットシステムを一般から公募し、現場実証試験を行った。川田テクノロジーズ株式会社を中心とする研究開発コンソーシアムも平成26年と平成27年の両年に現場実証試験に参加し評価を受けた。川田テクノロジーズ株式会社は、平成26年度から平成27年度にかけて、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (以下、NEDO) の委託研究としてマルチコプタ (以下、ドローンと区別せずに用いる) を利用した橋梁点検システムの研究開発を行っており、上述の現場実証試験は、その開発成果を評価する目的で参加した。

本稿では、平成27年度に行われた国交省実証試験について、プロジェクト全体を概観すると同時に、当社の実施した実証試験の内容を交えながら、橋梁点検に対するドローン適用の期待と課題について説明する。

なおこの研究開発は、川田テクノロジーズ株式会社が、株式会社エンルート、大日本コンサルタント株式会社及び国立研究開発法人産業技術総合研究所と共同で実施したものである。

2 次世代社会インフラ用ロボット現場 検証プロジェクトの概要

国土交通省及び経済産業省は、インフラ点検を効果的・効率的に行い、また災害現場の調査や応急復旧を迅速かつ的確に実施する、実用性の高いロボットの開発・導入を促進する目的で、次世代インフラ用ロボット現場検証プロジェクト (以下、国交省実証試験) を平成26年度と27年度に実施した。

平成27年度は現場検証の2年目であり、維持管理・災害対応の両分野に合わせて70技術が参加した。

このうち橋梁分野では、橋梁の近接目視、点検者の移動を支援する技術が公募され、21技術が参加した。橋梁分野の実施場所は、蒲原高架橋 (静岡県) と幸久橋 (茨城県) の2つであり、

それぞれ、コンクリート床版橋、コンクリート橋と鋼橋の混合橋である。

参加したロボットは、車両型、懸架型、飛行型、吸着型、ポール型、それら以外の6つに大別される。これらのタイプのロボットを図1にまとめる。

実証試験は、与えられた時間の中で、ロボットの準備、運用、撤収を行い、得られたデータを持ち帰り、そのデータを用いて点検調書を作成し、予め主催者が点検した内容がどの程度まで網羅されているか、また時間や費用の上で従来の方法に比べてどの程度効果があるのかについて評価がなされた。評価結果は本プロジェクトの専用ポータルサイトにて公表されている³⁾。

3 ドローンに期待する橋梁点検の内容

橋梁点検に対してドローンがその威力を発揮するのは、アクセス性の悪い部位の点検画像の取得と俯瞰的・網羅的画像の迅速な取得の2面においてである。

前者については、図2に示すような部位の点検に関する情報の取得が期待できる。特に、容易に下面に人が近寄れない状況にある橋梁（河川上の桁、高橋脚橋梁）に対しては、現在、大型橋梁点検車やロープアクセスの方法がとられているが、コスト、安全面の両面から、ドローンの利用によってメリットが出る可能性はあると思われる。

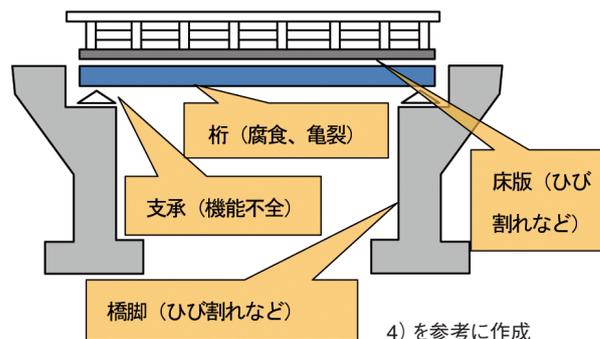


図2 ドローンの活用が有効と思われる橋梁点検の部位と損傷内容



車両型



懸架型



飛行型



吸着型



ポール型



それら以外

図1 橋梁維持管理実証試験に参加したロボットの主な種類

俯瞰的・網羅的な画像の取得については、得られた情報が、点検調査作成の際の作業効率向上に役立つ他、長期的なモニタリングや設計図の存在しない橋梁の図面化等、定期点検要領の枠外での維持管理に貢献できる。

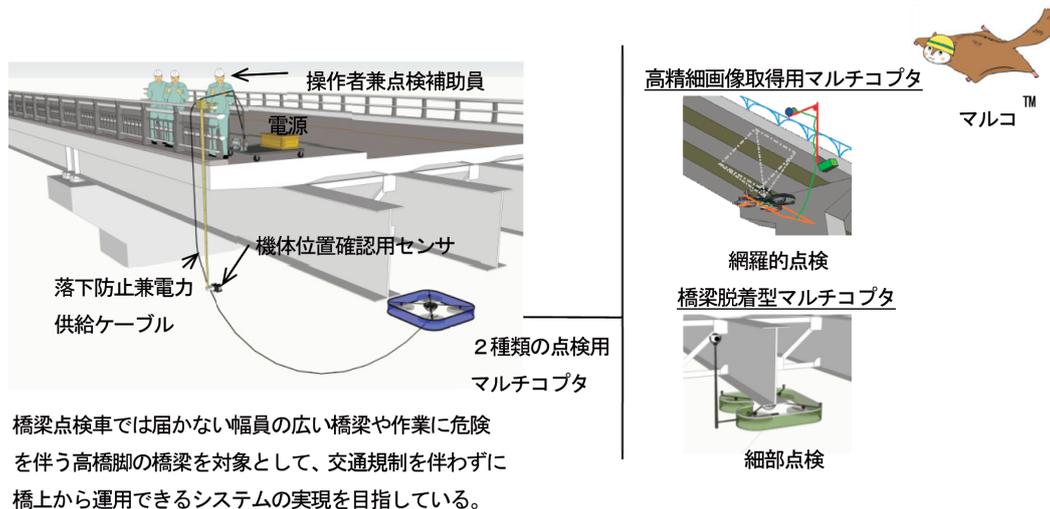
4 川田テクノロジーが開発を進める 橋梁点検用マルチコプタ

川田テクノロジーを中心とした研究開発コンソーシアムは、橋梁下面の近接目視支援を目的とした2種類のマルチコプタシステム（マルコ™）を開発し、実証試験に臨んだ。図3に我々が最終目標とするシステムの形態を示す。システムは迅速かつ網羅的に橋梁下面の画像を取得する高精細画像取得用マルチコプタと風等の影響を受けずに安定して桁の詳細な状

況を観察できる橋梁脱着型マルチコプタからなる。双方とも、歩道から機体をつり下げて運用する。機体は安全索と給電のための有線ケーブルで橋上と接続されており、安全対策と必要な飛行時間の確保を実現している。以下に個々のシステムの概要を説明する。

4.1 高精細画像取得用マルチコプタ

図4に高精細画像取得用マルチコプタの外観、表1にその仕様を示す。本マルチコプタは機体上のジンバル雲台（回転雲台）に載せた高解像度カメラにより短時間で床版、桁の網羅的画像を取得する。電力は給電ケーブルにて地上から供給され、十分な飛行時間が確保されている。また、突風等の外乱で生じる機体の流れに高い応答性で対応する外乱抑制制御を開発し機体の実装した。



橋梁点検車では届かない幅員の広い橋梁や作業に危険を伴う高橋脚の橋梁を対象として、交通規制を伴わずに橋上から運用できるシステムの実現を目指している。

図3 川田テクノロジー株式会社研究開発コンソーシアムが開発を進める2種類の点検用マルチコプタ



図4 高精細画像取得型マルチコプタの外観

表1 高精細画像取得型マルチコプタの仕様

項目	仕様
機体サイズ	1,000mm × 1,000mm
全備質量	5kg
プロペラ直径	457mm
プロペラ基数	4
飛行時間	1時間程度（有線給電による外部給電方式）
搭載機器	2軸ジンバル雲台 デジタルカメラ
取得画像画素数	最大2,430万画素
データ処理	3Dモデル構築
その他	機体の準備、撤収は橋上より機体懸下装置を用いて安全索で吊り下げて行う。
開発担当	国立研究開発法人産業技術総合研究所 株式会社エンルート

平成27年11月に幸久橋で行われた国交省実証試験では、橋梁の様子を網羅的に把握するための飛行ルートを予め設定し、そのルートに沿って機体を手動で操縦して画像を取得した。得られたデータは持ち帰って3次元化処理を行った。点検調査作成については、オリジナルデータから損傷程度を把握し、3次元化されたデータによって損傷位置の特定を行った。図5に国交省実証試験で実際に点検を行っている様子、図6に得られたデータの処理の流れを示す。



図5 試験の様子 (高精細画像取得用マルチコプタ)

マルチコプタによる撮影写真



撮影写真の3次元化

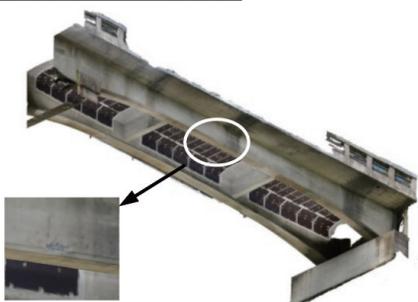


図6 高精細画像取得用マルチコプタが取得した画像の処理

4.2 橋梁脱着型マルチコプタ

図7に橋梁脱着型マルチコプタの外観、表2にその仕様を示す。本システムは、鋼桁橋下面の近接目視点検支援を目的として開発された。橋梁に磁着し、ロボットアームを延伸させて床版や桁に近接させる機能を有しており、遠望からでは観察が困難な複雑な構造を有する橋梁の細部画像を取得することができる。

機体本体は、1,000mm四方、高さ570mm、質量7kgの4枚ロータ有線給電式の機体である。機体上部に永久磁石と駆動輪を具え、鋼橋への磁着、移動、離脱を行うことができる。機体下部には、旋回式のカメラアームを装備し、橋梁に磁着後アームを展開して、カメラを橋桁に近接させ画像を取得する。さらに機体の位置を計測・記録するために、ポールと追尾用のジンバル及び赤外線ステレオカメラから構成されるLPS



図7 橋梁脱着型マルチコプタの外観

表2 橋梁脱着型マルチコプタの仕様

項目	仕様	
機体サイズ	1,000mm × 1,000mm	
全備質量	7kg	
プロペラ直径	457mm	
プロペラ基数	4	
飛行時間	20分程度(有線給電による外部給電方式)	
搭載機器	橋梁脱着モジュール	磁力を用いて鋼桁に磁着、移動
	カメラアーム	4軸アームにより桁にカメラを近接させる。
	デジタルカメラ	カメラアームの先端に搭載
取得画像画素数	最大1,200万画素	
その他	機体の準備、撤収は橋上より機体懸下装置を用いて安全索で吊り下げて行う。	
開発担当	川田テクノロジーズ株式会社 株式会社エンルート	

(Local Positioning System)を開発した。本装置は橋梁の防護柵に固定し柵下に伸ばして使用する。

平成27年11月に幸久橋で行われた国交省実証試験では、添架物周辺、ガセット上面など、遠望からでは観察できない箇所を予めピックアップした。そしてそれらの部位に対して橋梁への磁着、移動、カメラアームの展開、画像取得、離脱の一連の機能を繰り返し用い、画像を取得した。図8に国交省実証試験で実際に点検を行っている様子、図9に得られたデータの一例を示す。

5 国交省実証試験の結果

実証試験の結果は次の4つのクラスで公表された。

- I. 試行的導入に向けた検証を推奨する。
- II. 課題の解決を前提に、試行的導入に向けた検証を推奨する。
- III. 課題への対応・結果により、試行的導入に向けた検証を推奨する。
- IV. 今回は十分な検証ができていない。

ドローンで参加した7技術のうち、I:1件、II:4件、III:1件、IV:1件であった。(7技術のうち、1件は要素検証のための参加であり、評価なし。) 当研究コンソーシアムの評価はII(高精度画像取得用マルチコプタ)であった。

6 明らかになった課題

本実証試験にて移動範囲の広さ、速さについてのドローンの優位性が実証された。その一方で、「課題解決が前提」という評価を受けた技術がほとんどであったように、実運用に対して解決すべき課題があることも明らかになった。5)では、国交省実証試験の総評とともに、参加した各技術への課題が説明されており、ドローンの橋梁点検への活用に対する今後の開発の方向性を示す貴重な資料となっている。以下では、この資料を元に、本試験を通じて明らかになった課題を3点説明する。



図8 試験の様子(橋梁脱着型マルチコプタ)



図9 橋梁脱着型マルチコプタで得られた細部画像

(1) ひび割れ等の損傷検出率、検出精度の向上

参加したほとんどのドローンが画像からのひび割れ等の検出率や損傷精度について課題を残した。当研究コンソーシアムの結果においても、ひび割れの検出率は40%程度にとどまった。0.1mm或いはそれ以下のひび割れの検出を目標とした場合、機体をより対象に近接させて鮮明な画像を取得する必要があった。また、画像だけでは、ひび割れか、汚れかの判別がつきにくく、判別に迷うこともあった。ひび割れの自動検出についての研究開発の動向も注視しながら、求められる画像の品質、撮影条件等を定量化する必要がある。

(2) 機体操縦に求められる技量の低減

ドローン特有の課題として、「効率よくデータ取得ができていたが、オペレータの技量による部分が多い」という指摘が挙げられていた。橋の下は、GPS取得が困難なため、機体は位置情報を持つことができない。そのため、位置の制御はオペレータの技量に頼らざるを得ない。国交省実証試験では、レーザーレンジセンサを用いたSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) やかご型による接触を前提とした技術などでこの問題に対応しようとする例が見られた。当研究コンソーシアムの機体についても、突風等による機体の反応を低減する外乱抑制制御技術の効果は確認できたが、基本的な操縦は人が行っており、運用にはある程度訓練された操縦者が必要である。橋梁点検の効率化という観点からは、機体運用に伴うコストを極力おさえる必要がある。本問題もドローンの橋梁点検への利用を促進するために解決しなければならない技術的課題の一つである。

(3) 橋梁点検要領の中での効果的な使い方の検討

橋梁点検は、人による近接目視が基本である⁶⁾。損傷状況の正確な把握のためには、人が現場に行き見て見る必要がある不可欠という考え方に基いている。一方で、今後労働者が減少していく社会において、増大する老朽化した橋梁の点検を確実に実施するためには、人が行う作業をできるだけ減らし、その分をロボット化によって担保するという、ロボットとの協働を実現する考え方が必要になる。国交省実証試験の評価報告書においても、「スクリーニング」という概念が例として挙げられている。このようなロボットとの協働を実現するためには、まずは、実地でのロボットの利用を積み重ね、得られたデータを元に協働できる仕組みを合理的に構築していく作業が必要であると考えられる。これは、国、点検事業者、橋梁メーカー、ロボット技術者の全員が長期的に関与して取り組んでいかなければならない課題であろう。

7 まとめ

本稿では、平成27年度に実施された国交省実証試験を題材に、ドローンを利用した橋梁点検システム技術の動向と課題を解説した。

容易に空中を移動できるドローンは近年爆発的な広がりを見せている。特に、空中からの俯瞰的な画像の取得にドローンは最適であり、画像処理ソフトウェアの進歩との相乗効果で今後もこの用途での利用は増えていくものと思われる。

一方で、橋梁点検への応用は、これからその適用方法を開拓していく段階にある。機体の運用環境が厳しいこと（非GPS環境、橋下の強風）に加え、ドローンに求められる作業の種類が多く、かつ必要とされる精度が高いことに理由がある。

しなしながら、橋梁の老朽化対策は待たなしである。研究室で完全なものができの待って運用に入るのではなく、使いながらその効果や問題点を探り、更には人との作業の棲み分けも同時に模索していく、という開発方法が必要である。当コンソーシアムでもH28年度～H29年度の助成事業としてNEDOの支援を受けながら開発を継続しており、実証試験を精力的に行うことで橋梁点検用としてのマルチコプタの最適化を図っていく所存である。

参考文献

- 1) 道路メンテナンス年報, 国土交通省, H27.11.
- 2) インフラ長寿命化基本計画, インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議, 平成25年11月.
- 3) 次世代社会インフラ用ロボット技術・ロボットシステム～現場実証ポータルサイト～, <http://www.c-robotech.info/>
- 4) 日経コンストラクション2015年10月12日号, 日経BP社, (2015), 63.
- 5) 次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進 橋梁維持管理技術の現場検証・評価の結果, 次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会 橋梁維持管理部会, 平成28年3月30日.
- 6) 橋梁定期点検要領, 国土交通省道路局国道・防災課, H26.6.

(2016年5月23日受付)