

2020

試験・検査・評価・診断・寿命予測の専門誌

1

検査技術

Vol.25 No.1

Inspection Engineering

発行：日本工業出版
<https://www.nikko-pb.co.jp/>

特集：放射線検査技術の最前線
製品ガイド：ネブコンジャパン・オートモティブワールドの見どころ

FUJIFILM
Value from Innovation



DYNAMIX™ VU



DYNAMIX™ HR²



DYNAMIX™ FXR

一つのプラットフォームで、あらゆる検査を革新。

FUJIFILM DIGITAL RADIOGRAPHY

DYNAMIX™

SYSTEM

Dynamix VU / Dynamix HR² / Dynamix FXR

ロボット技術を取り入れた各務原大橋の定期点検

Roboto-supported Periodic Inspection of Kakamigahara Bridge

シーズとニーズを繋ぐ大学の取り組み

岐阜大学 六郷 恵哲・羽田野 英明

1. はじめに

全国の橋梁のうち、国土交通省と地方自治体が管理する橋梁については、それぞれ橋梁定期点検要領と道路橋定期点検要領に基づいて、2014年度から5年に1度の近接目視点検が行われ、2018年度で一巡した。この間、橋梁点検用の高解像度カメラや打音装置等を備えたロボット技術（以下、ロボット技術）は、その利用が想定されていなかったため、利用が難しかった。一方、ロボット技術の開発と利用を促すうえで、ロボット技術の活用の実績が強く望まれた。

内閣府主導のSIPインフラ⁽¹⁾において、地方自治体等に新技術を使っていただく（実装する）ための地域実装支援活動が2019年3月まで2年半にわたって行われた⁽²⁾。この地域実装支援活動の中で、筆者らの岐阜大学SIPチーム（以下、岐阜大学SIP）は、2017年度に地方自治体の橋梁点検において橋梁点検用ロボット技術を活用するための指針⁽³⁾を作成するとともに、フィールド試験を行った。2018年度には各務原市が実施した各務原大橋（橋長594mのPC橋）の定期点検において、ロボット技術を活用した支援を行った。道路橋定期点検要領が改訂される前の2018年度の定期点検であったため、まずロボット技術による事前調査を行い、その結果を用いて近接目視点検を実施した。これにより、橋梁

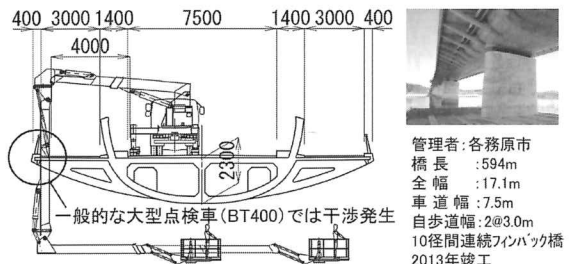
点検車両による橋面片側交通規制期間を10日間から4日間に短縮できた。

道路橋定期点検要領⁽⁴⁾が2019年2月に改訂され、新技術の活用を可能とする見直しが行われた。本稿では、各務原大橋の定期点検へのロボット技術の活用事例について紹介するとともに、ニーズとシーズを繋ぐ取り組みとしてこの活用事例を捉え、大学の支援について考える。

2. 橋梁定期点検へのロボット技術の活用^{(5)~(7)}

(1) 各務原大橋と定期点検の特徴

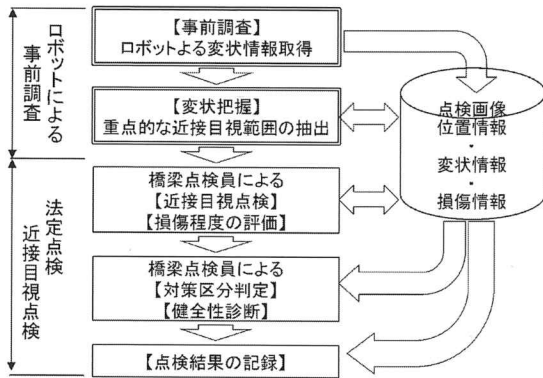
各務原市が管理する各務原大橋は橋長594mの長大PC橋であり、自転車歩行者道幅が3mと広いことから、第1図に示すような一般的な大型橋梁点検車（懐幅4m）の利用が困難である。超大型橋梁点検車（懐幅5m）やロープワーク、



第1図 大型橋梁点検車による点検が困難な各務原大橋

点検用足場等の特殊な点検方法が必要とされ、点検費用が大きくなる。

そこで、2018年度に各務原市が実施した各務原大橋の定期点検では、第2図に示すように、ロボット技術を活用した事前調査（以下、事前調査）を、道路橋定期点検要領に基づく近接目視点検に先立って実施した。岐阜大学SIPが担当した事前調査では、点検対象とする部位について、ロボットに搭載したカメラ等により取得した情報から、変状の有無や程度を把握した。建設コンサルタントが担当した近接目視点検では、事前調査の情報に基づいて、特に重点的に点検すべき部位や範囲を点検技術者があらかじめ決め、効率的な作業を行った。



第2図 事前調査と近接目視点

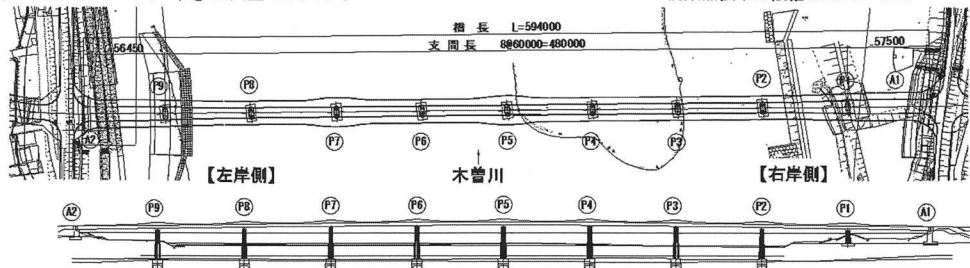
技術／開発者／特徴／担当	ロボットの稼働状況	技術／開発者／特徴／担当	ロボットの稼働状況
ドローン系 二輪型マルチコプター／富士通・名工大／3Dモデルによる橋梁損傷状況管理／橋脚・支承	①	可変ピッチ機能付ドローン／センサー／自動飛行による近接撮影／広域	②
ロボットカメラ系 橋梁点検ロケット／三井住友建設・日立産業制御ソリューションズ／PC箱桁橋梁の内外面の効率的な点検／上部工	③	橋梁点検カメラシステム／ジベル調査設計／専門技術者による遠隔損傷診断／上部工	④
打音点検ロボット 打音機能付き飛行ロボット／新日本非破壊検査／水平面の打音点検・近接点検／上部工	⑤	打音点検飛行ロボット／NEC／鉛直面の打音点検／橋脚	⑥

第3図 6種類のロボット技術

		A2	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1	A1
事前調査	広域調査						②					
	狭域調査		③	③	④	④	④	④	④	④	③	③
	上部工		①	①	①	①	①	①	①	①	①	
近接目視点検	下部工		①		②		②	①	①	①	①	
	打音点検		⑥		⑤						①	
		標準部 橋梁点検車			拡幅部 標準部 橋梁点検		標準部 橋梁点検車		標準部 橋梁点検車			

①は小型マルチコプター、①は大型マルチコプター

橋梁点検車は幅5mのAB1400X



第4図 ロボット技術の担当範囲

作業項目等		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	
事前調査	事前準備(関係機関協議等)	■								
	現地調査	ロボット機能調整		■						
		広域調査				■				
		狭域調査				■				
	内業	打音点検				■				
変状状況資料作成					■	■	■	■	■	
変状状況の把握 重点目視点位の整理							■	■	■	
近接目視	事前準備									
	点検車等による近接目視							■	■	
	点検結果の取り纏め								■	

第5図 実施工程

(2) ロボット技術を活用した事前調査

① 活用したロボット技術

岐阜大学SIPによるフィールド試験の結果⁽⁸⁾から、各務原大橋の全ての部材の事前調査を単一のロボット技術で網羅することは、現状のロボット技術の機能・性能では難しいと判断した。このため、今回の事前調査では、フィールド試験やその評価結果⁽⁸⁾を踏まえて、第3図に示す6種類のロボット技術を組み合わせて活用した。第4図に各ロボット技術における調査対象部材の分担を示す。具体的な実施工程を、第5図に示す。

② 広域調査

橋梁全体の状況把握、各種変状の位置関係の把握、橋梁のオルソ画像や3次元モデルの作成を目的として、橋梁全体を比較的視野の広いカメラで連続撮影した。0.3mm 程度のひび割れを検出できる解像度(0.84mm/pixel程度)を要求性能とし、撮影範囲は5m×3.4m程度とし

た。その性能は、岐阜大学SIPのフィールド試験で確認した。

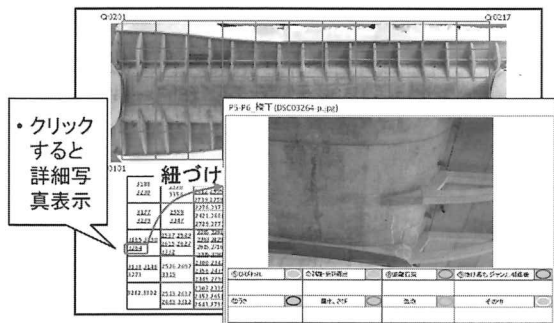
広域調査結果は、第6図に示すように構造物単位(上部工一径間、下部工一橋脚)毎のオルソ画像を5m×5m程度のメッシュに分割して、各メッシュに対して撮影オリジナル画像との紐づけを行った。この撮影オリジナル画像に対しては、ソフトウェア上で変状のマーキングや注釈の記入、画像の拡大表示が可能であり、机上での変状確認と、後続の近接目視点検計画のための資料作成を効率的に実施することができた。

③ 狭域調査

0.2mm以上のひび割れを含む各種変状を検出することを目的として、部材に近接した詳細画像を比較的狭いカメラ視野で撮影した。岐阜県橋梁点検マニュアル⁽⁹⁾をもとに作成したロボット技術への要求性能を第1表に示す。使用した技術がこの性能を満たすことを、岐阜大学SIPのフィールド試験で確認した。

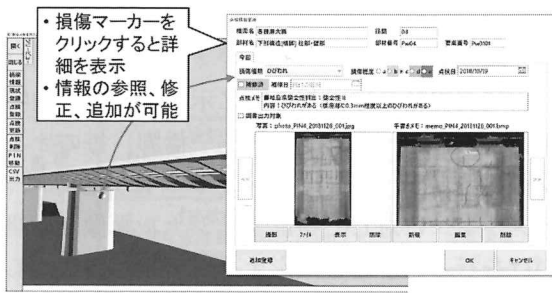
第1表 ロボット技術への要求内容

		要求内容	検証方法
変状の検出	有無等	変状の有無と種類を認識できる。	近接目視により作成された変状図と比較して、変状の位置、範囲、方向等が概ね一致している。
	位置	変状箇所と他の部材との位置関係を検出できる。	
	範囲	「局所的」か「広範囲」かを判断できる。	
	方向等	変状の方向やパターンを検出できる。	
変状の計測	原因	漏水や遊離石灰等の変状について、水の侵入経路や発生源を検出できる。	
	大きさ	0.2mm以上のひび割れ幅を0.1mm以内の誤差で計測できる。 変状の寸法を、5cm以内の誤差で計測できる。	
	変位	桁遊間や支承の変位を、10mm以内の誤差で計測できる。	



第6図 広域調査結果の表事例

狭域調査結果については、近接目視点検の取り纏めに利用できるように変状マップと写真台帳に整理した。変状マップは、変状位置と構造物との位置関係が理解しやすいように、広域調査で作成したオルソ画像を背景に配置し、その画像上に変状位置を示す資料とした。また、第7図に示すようにタブレット端末上に三次元構造モデルを表示し、検出された変状の位置を示すとともに、変状写真(健全性判定付き)を紐



第7図 狭域調査結果の表示例

づけし、近接目視点検の現場で利用することで、作業の効率化を図った。

④ 打音点検調査

広域調査や狭域調査によって、変色等からコンクリートの剥離や浮きが疑われる部位について、ロボット技術を活用した打音点検調査を行った。なお、今回の事前調査では、剥離や浮きが疑われる部位が全区間で抽出されたが、打音点検ロボットの作業効率や利用可能期間の制約から、下部工はP9橋脚、上部工はP7-P8径間で実施し、他の部位は近接目視点検において確認することとした。

(3) 事前調査結果を踏まえた近接目視点検

ロボット技術による事前調査で作成した変状図をもとに、標準部については超大型橋梁点検車を使用し、拡幅部についてはロープアクセスにより、上部工ならびに下部工の下記の部位について、近接目視点検を重点的に実施した。

- ・健全性区部がⅡ以上の変状箇所(0.3mm以上の幅のひび割れ箇所等)
- ・ひび割れ(0.3mm未満)の密集発生箇所
- ・うき、剥離が疑われる箇所

ロボット技術により作成された変状図をもとに近接目視点検を行ったことにより、橋梁点検車による橋面片側交通規制期間を10日間から4日間に短縮できた。近接目視点検を、必要などころだけ行えば、点検作業はさらに短縮される。ロボット技術による撮影結果では、蜘蛛の糸や施工時のコンクリートのノロをひび割れとして

抽出する場合があった。しかし、ひび割れをはじめとする変状の見落としがなく、変状結果を記録できるメリットは大きい。近接目視点検を担当した技術者からは、「限られた時間の中で見落としのない点検を実施することのリスクとプレッシャーから解放された」との感想があった。

(4) 橋梁点検用のロボット技術の活用促進

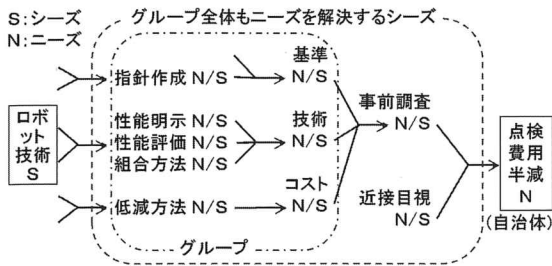
橋梁点検におけるロボット技術を、一般的な技術として広く普及させるためには、下記の取り組みが望まれる⁽⁷⁾。

- ① ロボット技術の供給体制やロボット技術を活用する受発注体制の整備
- ② 鋼橋への適用性や多主桁橋の主桁間の点検への適用性の明確化
- ③ ロボット技術の組み合わせ事例の公開
- ④ 補修設計における変状寸法調査、新設橋梁の初回点検調査、補修対策の長期モニタリング等、定期点検以外での積極的な活用

3. ニーズとシーズを繋ぐ大学の取り組み

既存の技術や取り組みでは解決が難しい強いニーズと、それを解決できる新しいシーズとがうまく出会うと、ニーズが解決され、シーズが活用される。出会いが生まれるためには、ニーズとシーズとを結びつける人や組織の存在と働きが重要となる。SIPインフラの地域実装支援活動は、目的、資金、責任を伴って、この役割を担った。

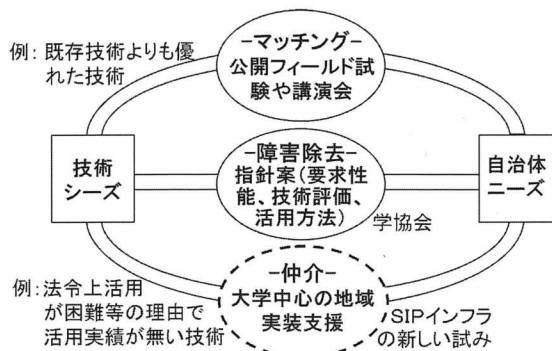
一般に、事業はシーズとニーズの組合せと連鎖で表現できる⁽⁸⁾。各務原大橋の定期点検へのロボット技術の活用という事業では、「点検費用を半減したいという地方自治体のニーズ」と、SIPインフラ等で開発された「橋梁点検用のロボット技術というシーズ」とを、第8図に示すように繋いだ。この図では、左から見て右に位置するものがニーズ、右から見て左に位置するものがシーズとなる。①「事前調査」という考



第8図 各務原大橋の活動でのシーズとニーズの連鎖

え方、②不足する基準を補うための指針の作成、③技術の要求性能の明示と性能評価、④ロボット技術の組み合わせといった要素がうまく繋がり、事業を実施することができた。第8図で破線や一点鎖線で囲まれた一まとまりのグループ全体も、右から見ればニーズを解決するシーズと見なすことができる。

技術シーズと自治体ニーズとの繋ぎ方の例を第9図に示す。技術シーズが、既存技術よりも優れた改良技術である場合には、すでに市場があるので、公開フィールド試験、講演会、展示会等によるマッチングが有効である。技術シーズが、従来に無いものであり、要求性能、評価方法、活用方法が明確になっていない場合には、これらの障害を除くための技術指針の作成が役立つ。こうした指針の作成は、主に学協会で行われている。橋梁点検用のロボット技術の場合には、道路橋定期点検要領でその利用が想定されていないという法令上の理由で、自治体での



第9図 シーズとニーズの繋ぎ方の例

活用が難しい技術であったため、指針案の作成だけでなく、大学が中心となって行政関係者、点検技術者、技術開発者が一緒になった取り組みが有効であった。行政と民間の直接の協力が難しいという背景があるため、大学の支援が有効であった。

4. おわりに

2018年度に、全国の自治体の中で初めて、各務原市が実施する各務原大橋（長大PC橋）の定期点検においてロボット技術を活用して支援を行った。この定期点検では、まずロボット技術を取り入れた事前調査を行い、その結果を踏まえて点検技術者による近接目視点検を行った。このロボット技術の活用により、参加したロボット技術の完成度が高まるとともに、橋梁点検車による橋面片側交通規制期間を大幅に短縮できることや、ロボット技術により取得した情報がたいへん役立つこと等、ロボット技術を活用することのメリットが明らかとなった。

橋梁点検支援技術としてのロボット技術の場合のように、法令でこの技術の使用が想定されておらず、技術が使われ難いために技術開発が進まないといった状況においては、大学が中心となって、行政関係者、点検技術者、技術開発者の間で十分な意見交換を行いながら、活用促進にむけた各種の取り組みを行うことが有効であった。

<参考文献>

- (1) インフラ維持管理・更新・マネジメント技術、戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)
<http://www.jst.go.jp/sip/k07.html> (閲覧日：2019.8.8)
- (2) 岐阜大学新技術地域実装支援
<http://me-unit.net/> (閲覧日：2019.8.8)
- (3) 新しい橋梁点検技術の適用性評価委員会：ロボット技術を取り入れた橋梁点検指針（案）-地方自治体向け-、岐阜大学SIP実装プロジェクト（2018.4）
- (4) 国土交通省道路局：道路橋定期点検要領、新技術利用のガイドライン（案）、点検支援技術性能カタログ（案）（2019.2）