

ロボット技術による橋梁定期点検の効率化・高度化と交通規制の大幅短縮

岐阜大学 工学部 社会基盤工学科

ろくごう けいてつ は た の ひであき
六郷 恵哲, 羽田野 英明

1. まえがき

平成 26 年 7 月から 5 年に 1 回、近接目視による橋梁の定期点検が行われている。定期点検にドローン等を用いたロボット技術を取り入れることにより、下記の効果が期待されるが、未だ十分には取り入れられていない。

- ・点検時の交通規制の短縮
- ・点検作業の安全性の向上
- ・詳細な情報の蓄積
- ・費用の将来的な低減

政府の「未来投資戦略 2018」(平成 30 年 6 月 15 日)¹⁾の中には、インフラの点検・診断等の業務において、ロボットやセンサー等の新技術を導入している施設管理者の割合を高めることが記載されている。インフラメンテナンス国民会議では、革新的技術フォーラムの一環として、「ドローン×インフラメンテナンス」連続セミナー²⁾が開催され、ドローン技術をインフラメンテナンスへ普及させるため、さまざまな組織や関係者を結び付け、情報を交換し、アイデアを組み合わせるための活動が行われている。

岐阜大学 SIP 地域実装支援プロジェクト(以下、「岐阜大学 SIP」という)³⁾では、各務原市が管理する各務原大橋で、平成 30 年度に行われる定期

点検にドローンを含むロボット技術を取り入れることを目指した活動を行っている。ここでは、文献 4) から抜粋して、この取り組みについて述べる。

なお、岐阜大学 SIP は、内閣府主導の「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)」の中の「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術 (SIP インフラ)」において、新技術の地域実装支援を目的としたプロジェクトの一つとして平成 28 年 9 月に採択され、平成 31 年 3 月まで活動している。

2. 各務原大橋の定期点検の難しさ

写真-1 に示す各務原大橋(橋面積 11,200 m²)は、木曾川に架かる PC10 径間連続フィンバック橋(橋長 594 m, 平成 25 年竣工)である。上部工は、半円筒型の箱桁構造、橋脚は張出し部のない小判型であり、高さは水面より 10 m 程度である。車道部の標準幅員は 7.5 m で、上下流とも 3 m 幅員の自歩道が整備され、P5 橋脚付近と P7 橋脚付近では、自歩道幅が 5 m に部分的に拡幅されている。

各務原大橋は、自歩道幅員が広く、歩車道境界にフィンバック部材もあるため、図-1 に示すように使用実績の多い大型橋梁点検車を利用しても橋梁下面の点検作業ができない。特に、脚高が 10 m 以上と高く、桁下からの点検作業が難しい



写真-1 各務原大橋

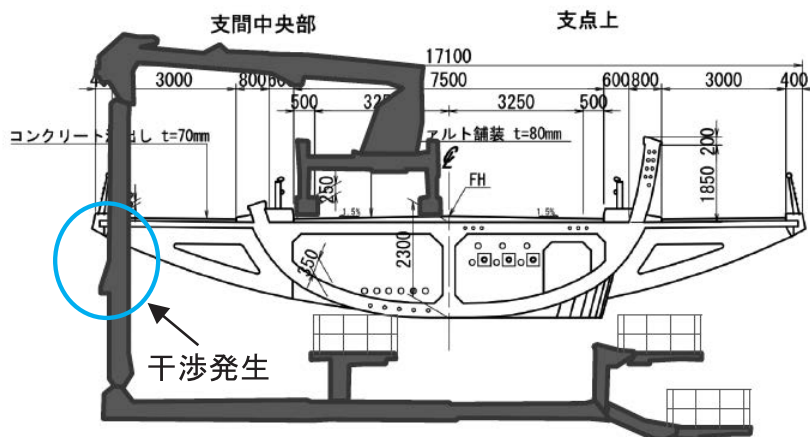


図-1 大型橋梁点検車による橋梁点検

河川内径間 P2～P9 (420 m) については、懐幅が 5 m 程度の超大型橋梁点検車、あるいは点検用吊足場、高所ロープ作業による点検が必要となり、コスト面での負担も大きい。

3. 課題と解決のための取り組み

表-1 に、橋梁の定期点検にロボット技術を取り入れる場合の課題を、基準類、ロボット技術、コストに分けて示すとともに、それぞれの課題に対する岐阜大学 SIP の取り組みの要点を示す。

表-1 橋梁の定期点検にロボット点検技術を取り入れる場合の課題と岐阜大学 SIP の取り組み		
	課題	岐阜大学 SIP の取り組みの要点
基準類	・ロボット技術取り入れの拠り所となる基準類がない	・「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 -」を作成 ^{3), 6)}
	・点検方法は道路橋定期点検要領に整合	・点検要領に基づく近接目視点検(図-2で、業務2)の前に、ロボット技術で事前調査(業務1)を行うことを提案
ロボット技術	・ロボット技術への要求内容が不明確	・部材の健全性区分が道路橋定期点検要領で規定するⅡ以上となりうるか否かを判断可能な性能を要求(表-2)
	・技術の評価が十分に行われていない	・各務原大橋におけるフィールド試験でロボット技術の性能を評価(表-3)
	・全部位の点検を行える単独のロボット技術がない	・複数のロボット技術を組み合わせて用いることを提案(図-2, 3)
コスト	・点検コスト削減の可能性が分かりにくい	・ロボット技術による事前調査をスクリーニング調査に変え、AIを活用することで、コスト削減が可能と予想(図-4)

(1) 基準類

自治体が管理する橋梁の定期点検にロボット技術を取り入れる場合、道路橋定期点検要領⁵⁾と整合していることが重要である。また、ロボット技術を取り入れた橋梁点検業務を発注する際の拠り所となる技術基準等が必要である。

岐阜大学 SIP では、「新しい橋梁点検技術の適用性評価委員会」（平成 29 年 7 月～平成 30 年 3 月）を組織し、各務原大橋のような比較的新しい大型のコンクリート橋を主な対象として、「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－」（以下、「指針（案）」という）を作成し公開した^{3), 6)}。さらに、各務原大橋の定期点検において、この指針（案）に従い、まずロボット技術を用いて「事前調査」（後述の図－2 で業務 1）を行い、次にその結果をもとに、超大型橋梁点検車等を用いて「近接目視点検」（業務 2）を橋梁全体に全て実施する方法を提案した。

各務原大橋は広い自歩道部を有した特殊橋梁（フィンバック橋梁）であり、その点検にはわが国に 1 台しかない超大型橋梁点検車を 10 日間ほど利用する必要がある。一方、ロボット技術による事前調査を活用すれば、超大型橋梁点検車の利用は 4 日間で済む。超大型橋梁点検車の使用期間を短縮したことにより、片側交通規制による交通渋滞を減らすことができる。超大型橋梁点検車の利用を 6 日間分減らした費用で、ロボット技術を利用できれば、コスト増も避けることができる。

ロボット技術の利用が拡がり、実績と信頼が増すとともに、道路橋定期点検要領での近接目視に関する記載が変更され、ロボット技術による調査結果をもとに、全てではなく必要などところだけ近接目視点検を行うようになることが望まれる。

(2) ロボット技術

橋梁定期点検にロボット技術はほとんど取り入

れられていないので、ロボット技術が有するべき性能について、明確に示すことは難しい。先述の指針（案）では、ロボット技術で取得される情報に、各部材の健全性区分が道路橋定期点検要領で規定するⅡ以上となりうるか否かを判断可能な性能を求めている。岐阜大学 SIP では、点検技術者が橋梁の各部材の健全性を判断するために求める情報と、ロボット技術が提示すべきデータを整理したうえで、取得情報の要求性能を表－2 のように規定した。フィールド試験によって確認したロボット技術の性能の主な結果を、表－3 に示す。なお、表－2 の計測性能については岐阜県橋梁点検マニュアル⁷⁾を参考に設定し、許容誤差についてはフィールド試験等の結果も参考に設定した。

表－3 から、取り上げた技術の範囲では、全ての部位を 1 種類の技術のみで点検することは現時点では難しいことがわかる。岐阜大学 SIP では、各務原大橋の定期点検の事前調査において、図－2, 3 に示すように、複数のロボット技術を、特徴を生かしながら組み合わせて用いる予定である。

最初に、広域調査として 1 種類のロボット技術の高速性を生かして、橋梁全体を対象として、ひび割れ以外の変状を主として検出する調査を行う。この調査では、最小 10 mm 程度の変状が検出できるような精度とし、1 回の撮影範囲は、約 3～5 m 四方とする。次に、ひび割れを主として検出するための狭域調査を実施する。0.2 mm 以上のひび割れ幅を、0～+0.1 mm 以内の誤差で計測できるロボット技術を活用して実施する。広域調査において変色等によりコンクリートの剥離や浮きが疑われる部位については、コンクリートの浮きを検出するために、打音点検が可能なロボット技術を活用した調査を行う。

表-2 ロボット技術による取得情報の要求性能

要求内容			検証方法
検出機能	有無	損傷の種類を認識できる。	左記の項目について確認できる写真や損傷図が提供されること。 提供された写真や損傷図が、近接目視により作成された損傷図と比較して、損傷の位置、範囲、方向が概ね一致していること。
	位置	損傷箇所と他の部材との位置関係をスケッチできる程度に検出できる。	
	範囲	損傷の範囲について、「局所的」あるいは「広範囲」を判断できるような全体像を検出できる。	
	方向(パターン)	損傷の方向性(水平、鉛直、斜め、鋼材方向、直交方向)あるいはパターン(網目状)を検出できる。	
	原因	漏水や遊離石灰等、水の影響が懸念される損傷について、水の侵入経路や発生源を検出できる。	
計測性能	大きさ	【ひび割れ幅】 0.2 mm 以上のひび割れ幅を 0.0 ~ +0.1 mm 以内*の誤差で計測できる。	近接目視により作成された損傷図に記載された損傷、あるいは人工的に作成した精度検証指標の計測結果が、概ね左記に示す許容誤差の範囲内であること。
		【ひび割れ長さ、剥離、鉄筋露出、漏水等】 5 cm 以内の誤差で計測できる。 (長さ L = ○○○ cm, 面積 A = ○○ cm × ○○ cm)	
	量	桁遊間や支承の変位を、10 mm 以内の誤差で計測できる。	

* 幅 0.3 mm のひび割れ幅の検知漏れがないように、以下のような性能とする。
0.2 mm のひび割れ幅に対して、測定結果を安全側に 0.3 mm (0.2 mm + 誤差 0.1 mm) と出力することは許容する。
0.3 mm のひび割れ幅に対して、測定結果が危険側に 0.2 mm (0.3 mm - 誤差 0.1 mm) とすることは許容しない。

表-3 各務原大橋におけるロボット技術の評価例

点検対象部位	各務原大橋に対する適用性評価	UAV 技術者による操作			点検技術者による操作	
		打音機構付点検ロボット	二輪型マルチコプタ	可変ピッチ機構付ドローン	橋梁点検ロボットカメラ	橋梁点検カメラシステム
河川内径間での適用	A: 適用可 B: 条件付適用可(適用条件) C: 対象外	B (ボート等利用)	B (ボート等利用)	B (ボート等利用)	A	A
床版下面		A (+) 打音点検可	A (-) 再検証要	A	A	A
主桁(側面)		B 上側のみ点検可能	C 曲面对応不可	A	A	A
主桁(下面)		A	A (-) 再検証要	A	A	B 中央部の点検不可
支点上横桁		C 対応不可	C 対応不可	A	B 側面側のみ点検可	A
ブラケット		B 下面のみ	A	A	A	A
支承		C 対応不可	A	A (-) 再検証要	B 支承間の点検不可	B 支承間の点検不可
排水管等附属物		A	A	A	A	A
下部工(天端上面)		C 対応不可	A	A (-) 再検証要	C 対応不可	C 対応不可
下部工(側面:天端~水面上)		C 対応不可	A	A	C 対応不可	C 対応不可

		A1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	A2	
【業務1】 ロボット技術 による事前調査	広域調査	①											
	上部工	②A	②B	④	④	④	①	①	④	②B	②A		
	支承周り	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③		
	下部工	③	③	③	③	③	①	①	③	③			
	打音点検	上部工⑤、下部工⑥											
【業務2】	ロボット事前調査結果を踏まえた近接目視点検	標準部 ⑦				拡幅部 ⑧		標準部 ⑦		拡幅部 ⑧		標準部 ⑦	

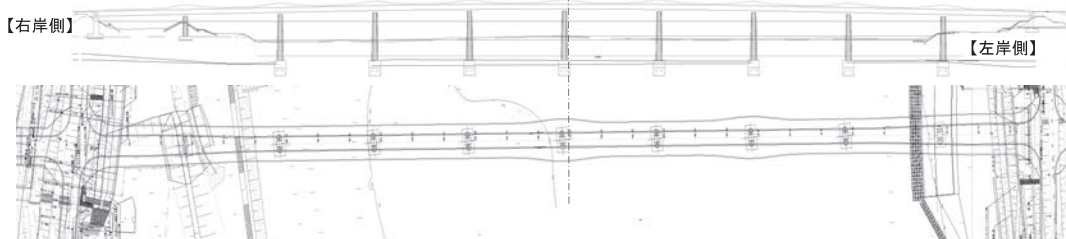


図-2 橋梁点検の分担計画



図-3 活用する橋梁点検技術

(3) コスト

岐阜大学 SIP では、ロボット技術を取り入れた橋梁点検の内容とコストについて、図-4のように考えている。当面の対応では、ロボット技術による高度な情報管理を行うと、現在の点検費用より増加することが考えられる。そのため、ロボ

ット技術による高度な情報管理を含まない部分で、現行費用と同程度以下に抑えることが、ロボット技術活用の当面の対応となる。目指している方向としては、ロボット技術による高度情報管理を含めても、現行費用と同程度以下に抑え、点検技術者による点検照査と健全性診断だけが残ると

このような状況を想定している。
ロボット技術を取り入れた橋梁点検のコストは、以下の方法で下げることが十分可能であると考えている。

- ・取得データを解析して変状を検出する作業を、AIを活用する等して自動化する。
- ・ロボット技術による調査結果をもとに、全てではなく必要なところのみ橋梁点検車等を用いて近接目視点検を行う（事前調査からスクリーニング調査へ）。

4. あとがき

岐阜大学 SIP では、各務原大橋の定期点検（平成 30 年度初点検）にロボット技術を取り入れることを目指して、下記の取り組みを行っている。

- ・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－の作成
 - ・ロボット技術への要求性能の提示と性能評価
 - ・ロボット技術の最適な組み合わせの例示
- 橋梁点検にロボット技術を活用することにより、下記のメリットがある。
- ・各務原大橋のような大断面を有する大型橋梁の点検が容易に
 - ・大型点検車の使用による橋面交通規制を大幅短縮（各務原大橋の場合：10 日間→4 日間）
- ロボット技術を取り入れることによる点検コストの低減は、下記により可能と考えている。
- ・ロボット技術による調査を、事前調査からスクリーニング調査へ
 - ・点検と診断に AI を活用

岐阜大学 SIP では、今後、各務原大橋へのロボット技術の適用結果を踏まえて、取得情報や結果の表示方法を含め、技術の利用者の視点に立った改善提案を行う予定である。

今後、技術基準類の改定にあたっては、ロボッ

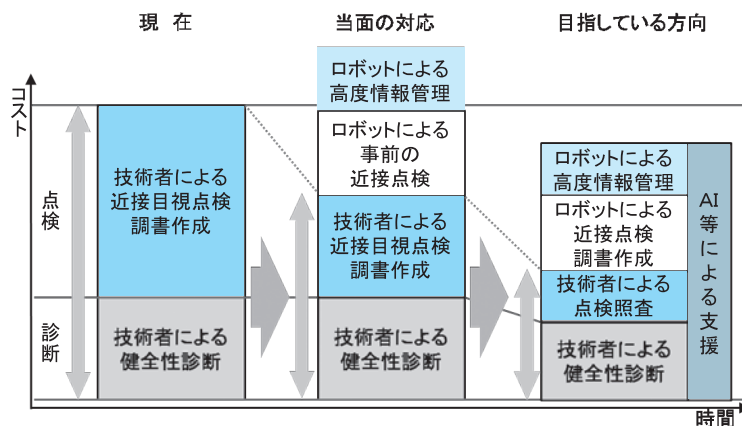


図-4 橋梁点検の今後の変化予測

ト等による計測技術の改善、取得データの精度向上、データ処理技術の高度化等、技術の進化と新技術の適用を促進する観点に立って、点検項目や要求性能の見直し等が行われることが期待される。

【参考文献】

- 1) 首相官邸 HP, 未来投資戦略 2018 : https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/miraitousi2018_zentai.pdf (閲覧日: 2018 年 6 月 20 日)。
- 2) 国土交通省 HP, 「ドローン×インフラメンテナンス」連続セミナーを開催! : http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo03_hh_000188.html (閲覧日: 2018 年 6 月 20 日)。
- 3) 岐阜大学工学部インフラマネジメント技術研究センター: 使いたくなる SIP 維持管理技術の ME ネットワークによる実装 HP : <http://me-unit.net/> (閲覧日: 2018 年 6 月 20 日)。
- 4) 蓮池里菜, 木下幸治, 羽田野英明, 古澤榮二, 六郷恵哲: ロボット技術の組み合わせによる各務原大橋の定期点検の試み, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), (投稿中)。
- 5) 国土交通省 HP, 道路橋定期点検要領 : <http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobohozen.html> (閲覧日: 2018 年 6 月 20 日)。
- 6) 蓮池里菜, 木下幸治, 羽田野英明, 六郷恵哲: 長大コンクリート橋におけるロボット技術を取り入れた橋梁点検の試み, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.2, 2018。
- 7) 岐阜県 HP, 岐阜県橋梁点検マニュアル (平成 28 年 3 月改訂版) : http://www.pref.gifu.lg.jp/shakai-kiban/doro/doro-iji/11657/index_57545.html (閲覧日: 2018 年 6 月 20 日)。