

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

蓮池 里菜¹・木下 幸治²・羽田野 英明³・古澤 栄二⁴・六郷 恵哲⁵

¹学生会員 岐阜大学 工学研究科生産開発システム工学専攻 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1番1)
E-mail: w3912010@edu.gifu-u.ac.jp

²正会員 岐阜大学准教授 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1番1)
E-mail: kinosita@gifu-u.ac.jp

³正会員 岐阜大学工学部附属インフラマネジメント技術研究センター客員教授 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1番1)
E-mail: h_hatano@gifu-u.ac.jp

⁴正会員 (株) テイコク コンサルタント本部技術第3部 (〒500-8856 岐阜県岐阜市橋本町2-8 濃飛ニッセイビル 4F)
E-mail: furusawa@teikoku-eng.co.jp

⁵正会員 岐阜大学特任教授 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1番1)
E-mail: rk@gifu-u.ac.jp

著者らは、岐阜大学SIP地域実装プロジェクトの一環として、各務原大橋(長大PC橋)の定期点検へのロボット技術の取り入れを試みている。はじめにロボット技術を用いて「事前調査」を行い、次にその調査結果をもとに、橋梁全体の近接目視点検を実施する。ロボット技術に対する要求性能を明示するとともに、ロボット技術の機能・性能を検証した。ロボット技術には、部材の点検要領における健全性区分がII以上となりうるか否かを判断可能な性能を求めた。「事前調査」では、3種類のドローン技術と2種類のロボットカメラ技術を組み合わせることで、最初に橋梁全体を対象としてコンクリートひび割れ損傷以外の損傷を検出するロボット広域調査を行い、次にひび割れ損傷を検出するロボット狭域調査を実施することを提案した。

Key Words : SIP, bridge inspection, robot technology, maintenance, field trial

1. 背景・目的

5年に1回、近接目視による橋梁の定期点検が平成26年7月から行われている。こうした点検への橋梁点検用ロボット技術(以降、ロボット技術)の活用が望まれており、種々の取り組みがなされている^{1,4)}。定期点検にドローン等のロボット技術を取り入れることにより、点検時の交通渋滞の軽減、点検作業の安全性向上、詳細な情報の蓄積、費用の将来的な低減等、様々なメリットが期待されるが、取り入れは実現していない。技術を使う側には、ロボット技術は発展途上にあり完成度が低いとの評価がある。一方、技術を開発する側には、技術の使用法や要求内容が明確にされていないので技術開発が難しいとの意見がある⁵⁾。裏返せば、ロボット技術が実際に使われ始めれば、要求内容が明確になって性能が向上し、使い勝手が良くなれば、利用がさらに広がるという好循環が期待される。

著者らは、岐阜大学SIP地域実装プロジェクト(以降、岐阜大学SIP)の一環として、平成30年度に、各務原市が管理する橋長594mの長大PC橋である各務原大橋の定期点検にロボット技術を取り入れることを目指した活動を行なっている。ロボット技術の取り入れにあたっては、前例がないため、国交省道路橋定期点検要領⁶⁾、岐阜県橋梁点検マニュアル⁷⁾などの既存技術基準への適合のさせ方、ロボット技術の特徴の把握、ロボット技術の性能の評価方法、技術の組み合わせ方、コストや発注の考え方等、様々な課題がある。たとえば、上記のような長大橋では、部材数が多いことによる点検段階に必要な技術者の作業日数増加や、大型橋梁点検車など新たな機材の投入に伴い、近接目視による橋梁点検費用が大きくなるという試算もあり⁸⁾、ロボット技術の導入によってコスト面でのメリットが大きくなると考えられる。本論文では、これらの課題を乗り越えるために、岐阜大学SIPで検討し、工夫し、提案した内容について述べる。具体的

には、3.にて後述している。

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。

岐阜大学SIPでは、SIPで開発された維持管理技術等を紹介するための説明会や公開フィールド試験の開催⁹⁾、新技術の実装の障害と対策に関する調査⁹⁾、自治体の技術的支援と連携強化、建設過程がわかる構造物モデルの製作と活用¹⁰⁾、「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⁹⁾¹¹⁾等の活動を行っている。

2. 各務原大橋とその定期点検

(1) 橋梁の定期点検の全体概要

平成25年6月の道路法改正により道路管理者による点検が法定化され、平成26年7月からは道路法施行規則に基づく5年に1回の定期点検が開始されている。全国には約73万橋の定期点検が必要な橋梁があり、その約7割が市町村の管理となっている¹²⁾。そのため、地方自治体の橋梁維持管理においては、定期点検の効率化やコスト低減が望まれている。

橋梁の定期点検作業は、図-1に示すような3つの作業で構成されている。国が管理する橋梁では、Step1とStep2を点検業務として橋梁点検員が実施し、Step3を診断業務として橋梁検査員によって実施されている¹³⁾。一方、地方自治体が管理する橋梁では、Step1からStep3を一連の業務として、点検技術者により実施されている場合が多い⁷⁾。橋面積1,000m²の標準的作業量は、Step1で1日（3.5人工）、Step2で2.5日（6.3人工）、Step3で0.5日（0.5人工）程度である。なお、人工については、点検作業に従事したことのある著者らの経験に基づく試算である。橋梁点検作業での課題として、Step1での高所

作業に対する点検員の安全性確保、橋梁点検車両等の機材賃料、点検作業時の交通規制による交通渋滞、Step2での調書作成に対する作業量の多さが挙げられる。これらの課題に対し、Step1とStep2の点検作業をロボット技術の導入によってサポートすることで、課題の解決および橋梁点検の効率化が期待される。

また、定期点検では近接目視によって点検を行うことが基本とされている⁶⁾。この近接目視作業について、道路橋定期点検要領⁶⁾の解説では「近接目視とは、肉眼により部材の変状等の状態を把握し評価が行なえる距離まで接近して目視を行なうことを想定している」と記載されている。このように近接目視作業の実施は、それまでの橋梁点検で多用されていた遠望目視では適切な点検が実施されていない部位や損傷が存在したという背景を踏まえて、点検員による遠望目視点検における見落としの排除を主目的にしていると考えられる。

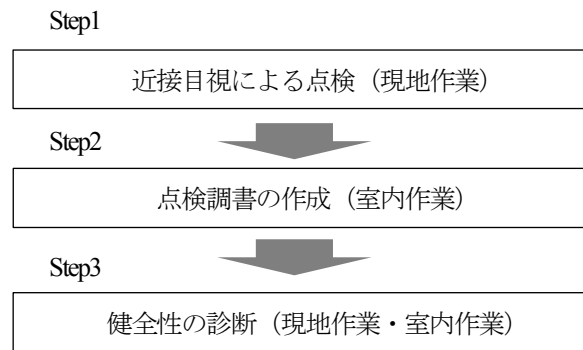


図-1 橋梁点検作業



図-3 歩道部構造



図-2 各務原大橋

(2) 各務原大橋の概要

図-2に示す各務原大橋（橋面積 11,200m²）は、木曾川に架かる PC10 径間連続フィンバック橋（橋長 594m）である。木曾川の景観に配慮した設計が行なわれており、平成 25 年度には土木学会田中賞作品賞を受賞している。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、その高さは水面より 10m 程度である。橋脚天端幅は支点上横桁の幅と同一として景観面での配慮がなされている。

車道部の標準幅員は 7.5m で、上下流とも 3m 幅員の自歩道（図-3）が整備され、P5 橋脚付近と P7 橋脚付近では、その自歩道幅が 5m に部分的に拡幅されている。自歩道部の構造は、PC 版がプレキャスト製ブラケットで支持された構造という特殊な形式となっている。

(3) 各務原大橋の定期点検の難しさ

各務原大橋は、歩道幅員が 3m と広く、歩車道境界にフィンバック部材もあるため、図-4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 10m 以上と高く、桁下からの点検作業が難しい河川内径間 P2～P9（420m）については、我が国に 1 台しかなく、適用が容易ではない幅員が 5m 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. 課題解決のための取り組みの方法

著者らの既往研究⁹⁾において、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⁹⁾と整合していることや、ロボット技術を取り入れた点検業務を発注する際の抛りところとなる技術基準等の整備が望まれていることが明らかとなった。そこで著者らは、岐阜大学 SIP の取り組みを通して下記の

活動を行なった。

- ・新しい橋梁点検技術の適用性評価委員会の設置
- ・各務原大橋点検方法検討会の設置
- ・性能確認のためのフィールド試験の実施

これらは、平成 30 年度の各務原大橋の定期点検にロボット技術を取り入れることを目指した活動の一環であり、現在も継続して活動している。本論文では、これらの活動における検討内容及び成果を、検討中の内容も含め述べた。

(1) 委員会ならびに検討会における活動

技術基準の作成を目的とした「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）では、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—」（以降、指針（案））を作成し、公開した^{9[1])}。

この指針（案）では、橋梁点検の手順として、ロボット技術による点検支援と道路橋定期点検要領⁹⁾に基づく点検の 2 ステップのフローを提案している。ロボット技術による点検支援では、近接目視点検の支援として、ロボット技術を活用した事前調査に重点を置いている。ロボット技術を活用した事前調査とは、点検対象とする部材について、ロボット等の眼により取得した損傷の有無や程度に関する情報等に基づき、近接目視を重点的に実施する部材や範囲を点検技術者が決めることとした。調査結果に基づき必要な箇所のみ目視点検を行うスクリーニング調査とは異なり、事前調査箇所のすべてについて近接目視点検を実施する。また、これまで十分に示されてこなかったロボット技術を橋梁点検に活用する上での必要機能を 5 項目に分類し、「重点的な近接目視実施範囲を抽出するための資料の提供」という機能を定義している。取得情報の精度については、その情報に基づき予防保全措置の必要性判断を適切に行うことができる精度である必要がある。そこで、要領⁹⁾で規定されている

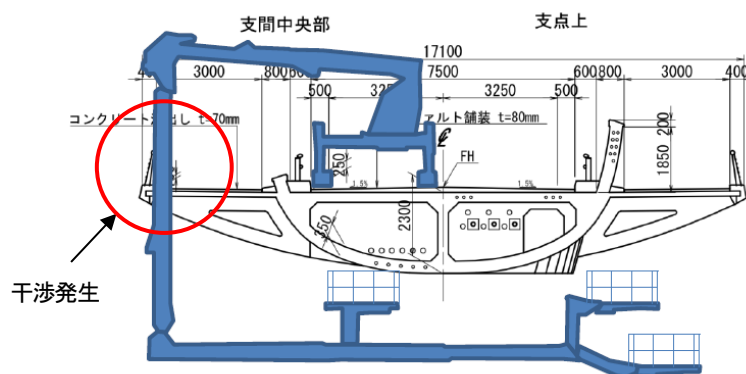


図-4 大型橋梁点検車による橋梁点検

各部材において補修が必要となる健全性区分である「健全性区分Ⅱ」を目安とし、これ以上であるか否かが判断可能な精度を確保することができる性能を求めた。

「各務原大橋点検方法検討会」（平成29年10月～）では、各務原大橋で実施したフィールド試験で得られたロボット点検技術の結果について検証するとともに、具体的な点検方法について検討した。検討会では、「各務原大橋点検方法検討会 報告書（① 岐阜県橋梁点検マニュアルによる取得情報の要求性能，② 各務原大橋におけるロボット技術の評価）」を作成し、公開した⁹⁾。

委員会ならびに検討会で審議する原案は、それぞれのワーキンググループ（WG）で作成した。委員会、検討会、2つのWGは、大学関係者、行政関係者、建設コンサルタント関係者で構成した。委員会ならびに検討会の成果物の内容については、ロボット技術の開発者から意見を聴取し、改良した。

一般に、前例のない取り組みを行う場合、すべての関係者（ここでは、発注者、技術の利用者、技術の開発者）が協力して取り組むことが効果的である。しかし、公共事業の分野では、官民のみによる取り組みは倫理規定の関係で一般に難しい。地域の大学の組織が取り組みを主導すると円滑に進めることができた。このことが、SIP地域実装プロジェクトで明らかになった。

(2) フィールド試験による性能確認

各務原大橋の定期点検に適用予定の表-1ならびに図-5に示す5つのロボット技術について、平成29年11月にフィールド試験を実施した。このフィールド試験では、ロボット技術に対する要求性能を示すと同時に、従来の目視点検手法による結果との比較を行い、ロボット技術の機能・性能を検証した。精度検証は、①各社が検証した性能と精度確認資料による確認、②精度検証用マーク（図-6）による計測性能の検証、③目視により作成した損傷図と各社が作成した損傷図との対比により行った。精度検証用マークのうち、(a) 視認性マークによって、ひび割れ以外の損傷程度（長さ、面積、変形量等）の計測性能を確認し、(b) クラックスケールによって、ひび割れ（幅、長さ）の計測性能を確認した。

4. ロボット技術取入れの課題と対応

(1) 定期点検要領の「近接目視」の規定への対応

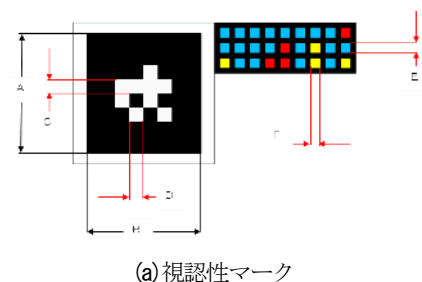
道路橋定期点検要領⁹⁾に、自治体が管理する橋長2.0m以上の道路橋について、「定期点検は、5年に1回の頻度で実施することを基本とする」と記載されている。点検方法としてのロボット技術の採用については明示されていない。

表-1 適用予定の橋梁点検用ロボット技術

ロボット技術	特徴ある機能の例
打音機構付点検ロボット	RC床版の自動打音・近接点検による損傷判定
二輪型マルチコプタ	構造物に接触し近接画像を取得・3Dモデルによる橋梁損傷状況の管理
可変ピッチ機構付ドローン	自動飛行による近接撮影と損傷解析システム
橋梁点検ロボットカメラ	PC箱桁橋梁の内外面の効率的な点検
橋梁点検カメラシステム	遠隔地の専門技術者による損傷診断



図-5 適用予定の橋梁点検用ロボット技術



(a) 視認性マーク

クラックスケール
0.05mm
0.10mm
0.15mm
0.20mm
0.25mm
0.30mm

(b) クラックスケール

図-6 精度検証用マーク

著者らは、岐阜大学SIPの活動を通して、平成30年度に実施予定の各務原大橋の定期点検において、先述の指針（案）に従って、まずロボット技術を用いて「事前調査」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」を橋梁全体にすべて実施することとした。

各務原大橋は、広い歩道部を有した特殊橋梁（フィンバック橋梁）であり、2.(3)で述べた理由からその点検には我が国に1台しかない超大型橋梁点検車を利用する必要があり、点検期間は10日間ほど見込まれる。一方、ロボット技術による事前調査を活用することで、超大型橋梁点検車の利用を4日間まで減らすことが出来ると考えている。これらの期間は、超大型点検車による点検が可能であるかどうか、図-7に示すように性能確認フィールド試験を実施⁹⁾した際の経験に基づくものである。なお、この試験において歩道拡幅部以外については点検可能であることを確認している。さらに、超大型橋梁点検車の使用期間を短縮することで、片側交通規制による交通渋滞を減らすことができる。また、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することができれば、コスト増を避けることができる。

ロボット技術の利用が広がり、実績と信頼が増すとともに、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、すべてではなく必要など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（事前調査からスクリーニング調査へ）。

(2) ロボット技術が分かりにくいことへの対応

ドローン系の技術にも、詳細な画像取得が得意なもの、打音点検を行えるものなど、様々な種類がある。たとえば、ドローンに積載したカメラと構造物との距離を一定として画像取得を迅速に行うため、位置制御に優れたもの、球殻を有するもの、二輪を有するもの等がある。ま

た、飛行するための電力については、積載したバッテリーから供給するものと、電源ケーブルで供給するものがある。電源ケーブルで電力を供給するドローンの場合、飛行時間に制約がなく、墜落した場合に回収が容易である。このように、ロボット技術には種々のものがあるが、技術の特徴と何が得意で不得意か、分かりにくい。

著者らは、岐阜大学SIPの一環として、橋梁点検の事前調査に活用できるロボット技術の多くを、表-2のように分類することを提案した。ロボット技術は開発思想により、損傷部の検出を現場で行うか、専任のオペレータが取得したデータを点検技術者あるいはロボット技術により後で検出するかの違いがある。前者の場合、点検技術者が現場ですべての箇所を確認することができるため、全ての画像データを残す必要はないが、後者の場合、ロボット技術が取得してきたデータから点検技術者が損傷部だけでなく非損傷部も確認できるよう、すべての画像データを記録する必要がある。それによって、非損傷部の記録方式、映像等のデータ記録方式、データ量に大きな違いがある。

(3) 技術への要求内容が不明確なことへの対応

最初に述べたように、橋梁定期点検にロボット技術はまだ取り入れられていないので、ロボット技術が有する



図-7 超大型橋梁点検車のフィールド試験

表-2 橋梁点検用ロボット技術の分類

	ロボットカメラ系	ドローン系
ロボット操縦	点検技術者	専任オペレータ
開発思想	近接目視点検の代替	点検の高速化 点検、損傷図等作成の効率化
損傷検出	現場	室内
非損傷部の記録	非損傷部は記録せず (記録はできるが効率低下)	損傷の有無に関わらず 全面的に撮影
点検漏れ等	照査不可	照査可能
記録映像	写真が主体 損傷パネル写真 損傷部の拡大写真	ビデオ撮影⇒損傷画像抽出 抽出作業の合理化 写真撮影⇒近接画像 損傷パネルとのリンク
記録容量	ドローン系に比べ小 (損傷部のみ)	大 (非損傷部含む)

べき性能について明確に示すことが難しい。例えば、次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会が行った現場検証・評価⁴⁾では、橋梁定期点検要領¹³⁾に基づく近接目視の支援ができる技術・システムかどうかを検証している。一方、本研究ではロボット技術を用いた「事前調査」へ活用可能かどうかを評価している。様々な使用方法がある中で、ロボット技術の開発者は、どのような性能を目標に技術を開発すればよいか分かりにくいという課題がある。すなわちロボット技術に対するニーズとシーズのマッチングには改善の余地があり、ロボット技術の使用方法・対象に合ったそれぞれの要求性能を明確に示す必要がある。

そこで、岐阜大学SIPでは、3. (1)で述べた指針（案）において、ロボット技術に対し、各部材の健全性区分がII以上となりうるか否かを判断可能な情報を取得できる性能を求めた。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、コンクリート橋を対象とした場合のロボット技術による取得情報の要求内容を表-3のように規定した。また、3. (2)で述べたフィールド試験によってロボット技術の性能を確認した。その主な結果を、表-4に示す。なお、表-3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-4は、各務原大橋での適切な点検計画を立案するために、ロボット技術の点検部位への適用性を整理・評価した内容のうち、主なものである。表-4の評価の判断は、ロボット開発者から提出される「近接目視点検による橋梁点検結果とロボット技術による点検結果を比較した資

料」をもとに行った。検出機能の検証は、近接目視により作成された損傷図（ベンチマーク）とロボットが取得した情報から作成した損傷図を比較することで行った。計測性能の検証は、3. (2)中の図-6で示した精度検証用マークを用いて行った。また、適用性をA～Cの3段階で評価しており、A：表-3に示した要求性能を満たしており適用可能、A(+)：適用可能であることに加え打音点検が可能といった付加機能がある、A(-)：適用可能であるが再検討を要する、B：提供可能であるが、ボートの使用が必要であったり、点検不可な部位がある等条件が存在する、C：今回の定期点検時では対象外とする、としている。詳細は「各務原大橋点検方法検討会 報告書」を作成しており、公開している⁹⁾。この表からすべての部位を1種類の技術のみで点検するには現時点では難しく、複数の技術を組み合わせる必要があることがわかった。

(4) 単独では不完全な技術への対応

ロボット技術は、SIPインフラをはじめ精力的に開発が進められており、急速に進化している。しかしながら、現時点では、単独のロボット技術で橋梁点検をすべて行えるものはない。多様なロボット技術を組み合わせることが有用と考えられるが、どのように組み合わせればよいか、前例はない。

著者らは、各務原大橋の定期点検の事前調査において、図-8に示すように、5種類のロボット技術の特徴を生かしながら、組み合わせる予定である。

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、ひび割れ損傷以

表-3 ロボット技術による取得情報の要求性能（コンクリート橋の場合）

		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 小	【ひび割れ幅】 0.2mm以上のひび割れ幅を 0.0～+0.1mm以内※の誤差で計測できる。 【ひび割れ長さ、剥離、鉄筋露出、漏水等】 5cm以内の誤差で計測できる。 (長さL=○○○cm, 面積A=○○cm×○○cm)	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。
	量	桁遊間や支承の変位を、10mm以内の誤差で計測できる。	

※ 幅0.3mm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。

0.2mmのひび割れ幅に対して、測定結果を安全側に0.3mm (0.2mm+誤差0.1mm) と出力することは許容する。

0.3mmのひび割れ幅に対して、測定結果が危険側に0.2mm (0.3mm-誤差0.1mm) とすることは許容しない。

外の損傷を主として検出する調査を行う。この調査では、最小10mm程度の損傷が検出できるような精度とし、1回の撮影範囲は、3～5m四方とする。これは、WGの検討において得られた有識者の意見や、現在のカメラの精度や撮影方法に基づくものである。この結果は、3次元損傷マップ等の次世代の橋梁点検の在り方を示すような点検情報の高度化処理のための基本情報も取得する。

次に、ひび割れ損傷を主として検出するための狭域調査を実施する。0.2mm以上のひび割れ幅を、0～+0.1mm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。また、広域調査によっ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なう。

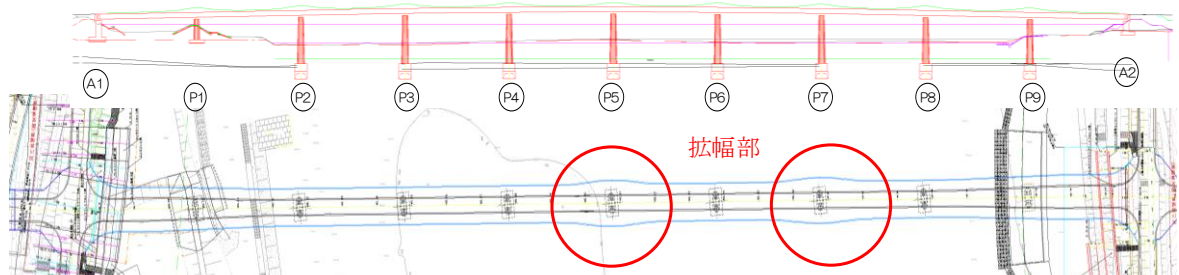
(5) コストや発注方法が不明なことへの対応

橋梁点検用のロボット技術の公開試験や性能確認試験は、しばしば行われているが、実際に発注されたことが無いため、歩掛も明確でなく、コストや発注方法が不明である。

そこで著者らは、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-9のように考えている。当面の対応では、ロボットによる高度な情報管理を行なうと、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おさえることが、ロボット活用の当面の対応となる。ロボットによる高度な情報管理とは、ロボット技術を用いて点検に必要な情報を取得することで、たとえば3Dモデルによる損傷状況のデー

表-4 ロボット技術の必要機能の評価結果（各務原大橋フィールド試験H29.11時点での評価）

各務原大橋での適用部位	各務原大橋への適用性評価	UAV技術者による操作			点検技術者による操作	
		打音機能付点検ロボット	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 A(+): 付加機能あり A(-): 再検証必要 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 曲面対応不可	A	A	A
主桁 (下面)		A	A(-) 再検証要	A	A	B 中央部のみ点検不可
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
		標準部				拡張部		標準部		拡張部		標準部
事前調査	広域調査	ドローン系										
	狭域調査	ドローン系/ロボットカメラ系										
	打音調査	打音機能付ロボット										
近接目視点検		超大型橋梁点検車				ロープアクセス	超大型橋梁点検車	ロープアクセス	超大型橋梁点検車			

図-8 ロボット技術の組み合わせのイメージ

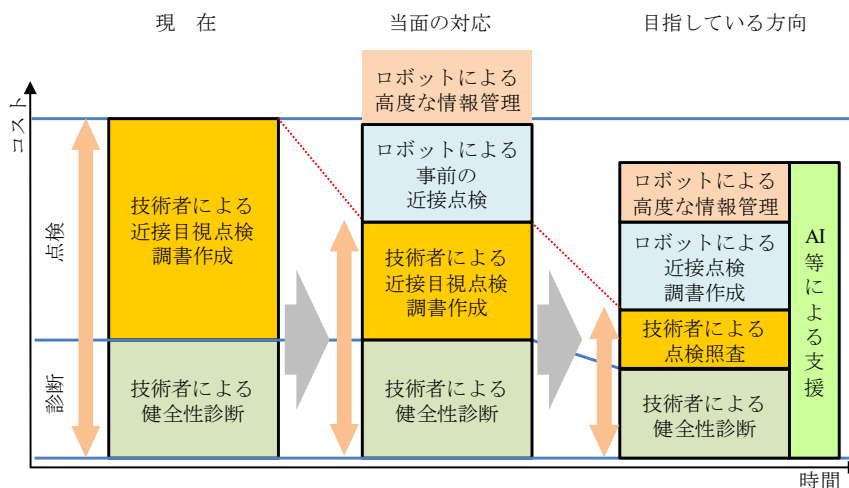


図-9 橋梁点検の今後の変化予測

タ化・蓄積や、ジオタグ付きの写真撮影によって損傷が存在する箇所を特定し経時変化の把握が可能となることを指す。目指している方向としては、ロボットによる高度な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いような状況を考えている。

ロボット技術を取り入れた橋梁点検のコストは、日進月歩のロボット技術の近い将来を見据えれば、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損傷を検出する作業を、AIを活用するなどして自動化する。
- ロボット技術による調査結果をもとに、すべてではなく必要箇所だけについて橋梁点検車等を用いて近接目視点検を行う（スクリーニング調査）。
- ロボットによる高度な情報管理といった、技術の進展に呼応した新たな付加価値を反映するような積算体系を導入する。

5. 結論

著者らは岐阜大学SIPの一環として、平成30年度に、各務原大橋の定期点検にロボット技術を取り入れることを目指して、委員会や検討会を組織し、指針（案）の作成、要求性能の明確化、技術の評価を行った。強調したい主な点は、次のとおりである。

- (1) 委員会を組織して作成した「ロボット技術を取り入れた橋梁点検指針（案）」に基づき、まずロボット技術を用いて「事前調査」を行い、次にその調査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」を橋梁全体にすべて実施する。
- (2) ロボット技術に対する要求性能を明示すると

もに、従来の目視点検手法による結果と比較するなどして、ロボット技術の機能・性能を検証した。ロボット技術には、部材の健全性区分がII以上となりうるか否かを判断可能な性能を求めた。

- (3) 「事前調査」では、5種類のロボット技術を組み合わせて用いることとし、最初に橋梁全体を対象として、主にひび割れ損傷以外の損傷を検出するロボット広域調査を行い、次に主にひび割れ損傷を検出するロボット狭域調査を実施することを提案した。
- (4) ロボット技術を取り入れた橋梁点検のコストについて、当面は、ロボット技術による高度な情報管理を含まないで現行費用と同程度以下に抑え、将来は、高度な情報管理を含めても現行費用と同程度以下に抑えるとの考え方を提案した。
- (5) 自治体が管理する橋梁の定期点検へのロボット技術の取り入れという前例のない取組みを、地域の大学の組織が主導することによって、円滑に進めることができた。このことは、SIP地域実装活動の成果の一つと考えられる。

謝辞：本研究はSIPインフラによって実施した。委員会や検討会に参画いただいた内閣府、国土交通省、岐阜県、岐阜県建設研究センター、各務原市、岐阜県建設コンサルタント協会、岐阜大学の皆様、協力いただいたロボット技術の開発者の皆様に謝意を表します。

参考文献

- 1) 林利行, 大石龍太郎, 吉田好孝, 安井成豊: 現行のロボット技術等による橋梁点検を支援するためのインフラ構造の検討 (特集 先進技術を活用したメンテナンス), 土木技術資料, Vol.59, No.8, 10-13, 2017.
- 2) 新田恭士: 解説 次世代社会インフラ用ロボット現場検証の取り組みについて, 日本ロボット学会誌,

Vol.34, No.8, pp.492-496, 2016.

- 3) 藤野陽三：解説 次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進－橋梁維持管理部会における現場検証の紹介－，日本ロボット学会誌，Vol.34, No.9, pp.572-574, 2016.
- 4) 国土交通省 HP，橋梁維持管理技術の現場検証・評価の結果：<http://www.mlit.go.jp/common/001125338.pdf>（閲覧日：2018年10月3日）
- 5) 蓮池里菜，木下幸治，矢島賢治，高木朗義，六郷恵哲：インフラ構造物のメンテナンス等への新技術活用における障害と対策に関する考察，土木学会論文集 F4（建設マネジメント），Vol.73, No.4, pp. I_100-I_111, 2017.12.
- 6) 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5月7日）
- 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5月18日）
- 8) 川西寛，丸山収，三木千壽：市町村の橋梁点検業務の費用分析と対策について，構造工学論文集，Vol.62A, pp.459-471, 2016.3.
- 9) 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5月7日）
- 10) 國枝稔，沢田和秀，六郷恵哲：岐阜大学インフラミュージアムの整備，プレストレストコンクリート，Vol.60, No.1, pp.56-60, 2018.1.
- 11) 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.40, No.2, pp.1345-1350, 2018.
- 12) 国土交通省 HP，道路メンテナンス年報（平成28年度）：http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobohozen_maint_h28.html（閲覧日：2018年5月18日）
- 13) 国土交通省 HP，橋梁定期点検要領：<http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobohozen.html>（閲覧日：2018年10月5日）

(2018.5.21 受付)

BRIDGE INSPECTION ASSISTED WITH ROBOT TECHNOLOGY FOR LONG-SPAN PC BRIDGE, KAKAMIGAHARA-BRIDGE

Rina HASUIKE, Koji KINOSHITA, Hideaki HATANO,
Eiji FURUSAWA and Keitetsu ROKUGO

The Gifu University SIP implementation team (GU-SIP team) is conducting activities to adopt robot technology (RT) into the legal periodical inspection of Kakamigahara Bridge (long-span PC bridge). Based on the guidelines (draft) proposed by a committee of the GU-SIP team, we planned to adopt two-step inspections. In the first step, "preliminary survey" is carried out by using RT. In the second step, "close visual inspection" is conducted on the whole bridge by utilizing the results of the preliminary survey. Performance requirements were established for RT. The performance of RT was then verified. For the RT, we requested that its performance allows us to judge whether or not the soundness class of the structural member under inspection is "II or more". In the "preliminary survey", an RT system combining three drone systems and two robot camera systems was used. We proposed a method in which one drone system detects damage other than concrete cracks on the entire bridge from a short distance and then the RT system with a high-resolution camera detects concrete cracks.