

報告

インフラ点検ロボット技術の実装における課題と対策

羽田野 英明*1, 蓮池 里菜*2, 木下 幸治*3, 森本 博昭*4, 六郷 恵哲*4

Problems and Countermeasures at Implementing Robotic Technologies in Inspection of Infrastructure

Hideaki HATANO*1, Rina HASUIKE*2, Koji KINOSHITA*3, Hiroaki MORIMOTO*4 and Keitetsu ROKUGO*4

要旨：地域の大学が中心となって、インフラメンテナンスの新技术を地域の自治体等で使ってもらう（実装する）ための活動を行った。その活動をふまえ、道路管理者側の心理的な負担（特に責任）を分散・軽減させることが、新技术の実装に有効なことを指摘した。新技术に関する報告会の参加者から得られたアンケート結果をもとに、点検ロボット技術の実装に関するインフラ技術者の意識について整理した。ロボット技術の開発者には、「点検成果の信頼性向上」と「点検コストの削減」が求められ、大学研究者には、「新技术の研究・開発」だけではなく、「新技术の実装への支援」も求められていた。

キーワード：インフラメンテナンス、インフラ点検、新技术実装、ロボット技術

1. はじめに

新技术の導入等によるインフラメンテナンス分野の仕事の魅力アップや効率化・高度化が強く望まれており、種々の取組みがなされている^{1,2)}。しかし、技術開発者からは、「従来にない素晴らしい技術を開発したが、なぜか使われない」との声がある。一方、インフラ構造物を管理する自治体の管理者からは、「予算不足、人手不足を緩和したいが、どんな技術をどのように取り入れればよいか分からない」との声がある。

こうした声に応えることを期待されて、内閣府のプロジェクト「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)」の一つである「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術 (PD: 藤野陽三教授)」の中に、SIP インフラ地域実装支援チームが2016年8月末に採択された。2019年3月まで、約2年半にわたり地域の大学等合計12チームで、SIP インフラ等で開発された新技术を地域の自治体等で使ってもらう（実装する）ため、シーズの普及支援、ニーズの解決支援、地域連携、技術者ネットワークの整備、人材育成、等の様々な活動を行なった。

岐阜大学では、「使いたくなる SIP 維持管理技術の ME (メンテナンスエキスパート) ネットワークによる実装 (以下、岐阜大学 SIP)」という研究活動を実施した³⁾。この研究活動では、技術説明会や公開フ

ィールド試験、報告会を通して、SIP インフラ新技术の実装支援活動を行った。4回の技術説明会への参加者総数は200人、8回の公開フィールド試験への参加者総数は544人、6回の報告会への参加者総数は963人であり、延べ1,707人のインフラ関係者へ新技术の紹介・普及活動を行った。その一環として、地方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ことを目指した活動を行なった。

本報告は、この活動をふまえ、2章と3章においては、地域実装活動をつうじて得られた知見を整理し、新技术の実装における障害、課題、対策について述べる。次に4章においては、アンケート調査結果に基づき、インフラ点検ロボット技術の実装における課題について分析し、インフラ点検ロボット技術の普及に向けて、道路管理者、点検技術者、ロボット技術開発者がとるべき対策について述べる。

2. 新技术実装への障害

筆者らが実施した発注者と技術開発者を対象としたヒアリング調査結果⁴⁾から、関係者が抱える新技术実装への障害の例を、立場別に表-1 (文献⁴⁾の表-2を簡素化) に示す。

表-1に示すように、技術開発者側が抱える障害としては、要求性能や精度を含め発注者側のニーズが曖昧なことや、発注方法や導入条件が分かりにくい

*1 岐阜大学工学部社会基盤工学科 客員教授

*2 岐阜大学工学研究科生産開発システム工学専攻 博士課程

*3 岐阜大学工学部社会基盤工学科 准教授

*4 岐阜大学工学部社会基盤工学科 特任教授

表-1 新技術実装への障害の例⁴⁾

	主な支障	主な原因
管理者(発注者)	担当者により意識差がある	・組織としてのミッションが不明確 ・中央と現場で温度差がある ・変化への抵抗感がある
	導入のための労力が大きい	・公平性の担保が必要 ・外部説明(会計検査)の根拠必要(面倒) ・内部説明(組織内合意)の根拠必要(面倒)
	トラブル発生時のリスクが大	・責任の所在が不明確(不安) ・確実、継続的なサポートを得られるか不安
技術開発者	開発の投資判断が難しい	・開発による先行者利益の確保が難しい ・短期間での投資回収が難しい ・市場の把握が難しい(規模、継続性)
	要求仕様が不明確	・ニーズ(要求性能、精度)があいまい ・発注者にとっての適切なコストが不明 ・必要とされるサポート内容、期間が不明
	行政の事情がよくわからない	・機関や地域ごとに異なる事情 ・発注方法、導入条件などがわかりにくい ・業界関係者への配慮が求められる

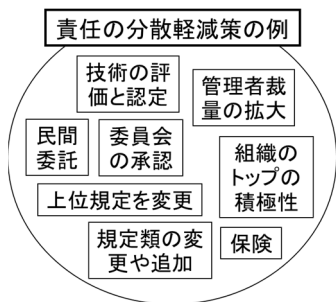


図-1 心理的負担(特に責任)の分散・軽減

ことが挙げられた。

一方、管理者(発注者)側が抱える障害としては、変化への抵抗感、会計検査等への説明の面倒さ、責任の所在が不明確なことへの不安等の心理的な負担が挙げられた。

3. 新技術実装の課題と対策と取組み

技術説明会や公開フィールド試験への参加者からいただいた意見や、前章で述べた新技術実装への障害を踏まえ、表-2⁵⁾に示すように新技術実装を進める際の課題と対策について整理した。この表の主な内容については、岐阜大学 SIP の活動においてその有用性を確認した。岐阜大学 SIP の活動では、新しい技術のシーズ情報を利用者である自治体の道路管理者や地域の維持管理技術者に伝えるとともに、利用者のニーズを技術開発者へ伝えるための説明会や公開フィールド試験を実施した。各務原大橋の定期点検へのロボット技術の適用に関する活動⁶⁾では、指針案を作成して基準類の不足を補い、用いるロボット技術を分かりやすくするために要求性能を示し、フィールド試験でロボット技術を評価し、ロボット技術を最適に組合せた活用方法を提案した。また、ロボット技術による事前調査(調査後、近接目視点検をすべて行う)をスクリーニング調査(調査後、

表-2 新技術実装を進める際の課題と対策の例⁵⁾

課題	対策の例	
ニーズとシーズの未遭遇	説明会や公開実証試験の開催	
基準類の不適合	基準類の改善や整備	各務原大橋 で実施 SIP インフラ 地域 実装 支援 活動
技術の分かり難さ	要求性能明確化、性能評価実施、活用方法提示	
コスト	コスト予測、低減方法示唆	
発注の公平性確保	中立的機関の関与	
トラブル	小規模な試用から、十分な事前対策、類似のトラブル情報把握、実績重視、保険	
心理的要因(面倒、不安、責任、変化への抵抗感)	心理的負担の分散・軽減、変化を楽しめるポジティブな人材の育成	

表-3 新技術実装のための立場別の取組み例⁴⁾

立場	対策
自治体の管理者(発注者)	・予算不足、人手不足、技術不足の課題を解決するための経費削減や省力化に繋がる技術が欲しいことをアピール ・課題を解決できれば、必ずしも新技術でなくてもよいこともアピール
国交省の担当者	・基準類・要求性能・評価方法・積算方法の整備を進める(特に高度化技術の場合)
技術開発者	・実装活動を明確に意識した開発計画をたてる —例えば、従来技術に新技術を上乘せする、会計検査の無い企業で実績を積む、等
大学等の実装支援者	・実装支援を研究活動分野にする —学会運営、論文審査、研究費配分で工夫
発注者	・プロポーザル業務等での新技術の積極的活用

必要などところだけ近接目視点検を行う)に変え、AIを活用することで、点検コストを削減できることを指摘した。一般に、新しい技術や取組みを適用した場合、これまでの経験からは予見しにくいトラブルが発生しがちである。こうしたトラブルを回避したり被害を軽くするためには、ゆっくりと小規模な試用から始めたり、類似の事例からトラブル情報を把握したりといった十分な対策が望まれる。また、管理者側の心理的な負担(特に責任)を分散・軽減させるには、例えば、図-1に示すような管理者裁量の拡大、組織のトップの積極性、技術の評価と認定といった対策が有効と考えられる。よりよく変わることへの抵抗感の少ない人材や、こうした変化を楽しめる人材育成も大切である。

表-3⁴⁾に、新技術実装のために望まれる取組み例を立場別に示す。これらの取組みのヒントの多くは、SIP インフラの各種行事における情報や意見交換等をつうじて得られたものである。自治体の道路管理者は、予算不足、人手不足、技術不足を解決したいが、必ずしも新技術による解決でなくてもよいことをアピールするとよい。新しい技術、特に従来用いられていない高度化技術の場合には、基準類、要求性能、評価方法、積算方法、発注方法等の整備が必要である。こうしたことを進めることができる立場にある国交省の担当者の役割は重要である。新技術の開発者は、例えば、使われている従来技術に新技術

を上乗せする、会計検査のない鉄道や電力分野の企業で実績を積む、技術の利用者と一緒になって技術開発を行うといったように、実装を明確に意識して開発を進めることが大切である。また、中立な立場にある大学等の研究者が、地域実装支援を行いやすいように、学会運営、論文審査、研究費配分等での一層の改善が望まれる。プロポーサル業務のように、受注者が新技術を積極的に活用することで受注増に繋がるような仕組みの充実が望まれる。

4. 点検ロボット技術の活用に関する調査

前章までにおいて、新技術実装に当たっての障害、課題、対策などを整理して述べた。本章においては、対象をインフラ点検、特に橋梁点検用のロボット技術に絞り、アンケート調査に基づく具体的な課題、要望、対応などについて検討する。SIP インフラ新技術の実装支援活動の中間段階の第 4 回報告会（2018 年 3 月 5 日）と、最終段階の第 5 回と第 6 回報告会（2019 年 2 月 12 日、27 日）において、「インフラ点検ロボット技術の活用」と「大学におけるインフラメンテナンスの活動」に関するアンケート調査を行った。アンケート調査では、第 4 回報告会（以下、中間調査）の参加者 176 名のうち 95 名から、第 5 回と第 6 回報告会（以下、最終調査）の参加者 319 名のうち 142 名より回答を頂いた。ここでは、その結果をもとに、点検ロボット技術の実装に関するイ

ンフラ技術者の意識について整理する。

4.1 アンケート調査項目

アンケート調査は、以下の項目について実施した。

- ① 回答者の立場
- ② 橋梁定期点検の現況を踏まえて、橋梁点検ロボット技術に期待すること
- ③ 点検ロボット技術活用に向けて必要な対応策
 - 1) 管理者（発注者）への要望
 - 2) 点検実務者への要望
 - 3) ロボット技術開発者への要望
- ④ 大学でのインフラメンテナンス研究活動

4.2 回答者の立場

回答者の立場の集計結果を図-2 に示す。この図から、岐阜大学 SIP の活動については、点検診断技術者や道路管理者だけでなく、施工技術者からも注目されていることがわかる。

4.3 橋梁点検ロボット技術に期待すること

橋梁定期点検の現況を踏まえて、橋梁点検ロボット技術に期待することに関する質問である。集計結果を図-3 に示す。質問は、図中に示す 7 項目からの複数選択とし、回答の重みを指定する形式とした。集計は、期待する項目を 1 点、最も期待する項目を 2 点と点数化して集計した。この図から、インフラメンテナンスの関係者は、「点検成果の信頼性向上」と「点検コストの削減」に関心度が高いことがわかる。しかしながら、研究者やロボット技術開発者が強調する「点検結果の高度化」への関心度は、現時点ではそれほど高くないことがわかる。また、「点検時の交通規制削減」についても、関心度が高いとはいえない結果となった。

4.4 点検ロボット技術活用に向けた必要な対応策

インフラ点検等にロボット技術等の新技術を取り入れる場合に求められる対応についての質問である。質問は複数選択とし、回答の重みを指定する形式とした。集計は、期待する項目を 1 点、最も期待する項目を 2 点と点数化して集計した。

(1) 管理者（発注者）側に求められる対応

集計結果を図-4 に示す。この図から「要領・指針などの整備」と「ロボット技術の積極的活用姿勢」が大半を示していた。インフラ関係者の大半が、今後のロボット技術の活用は不可欠と認識し、そのための基盤として「要領・指針などの整備」が最も重要であると考えており、岐阜大学 SIP による「ロボット技術を取り入れた橋梁点検指針（案）」の作成活動が的を射たものであったことを再認識する調査結果でもあった。

(2) 点検技術者側に求められる対応

集計結果を図-5 に示す。この図から「ロボット技

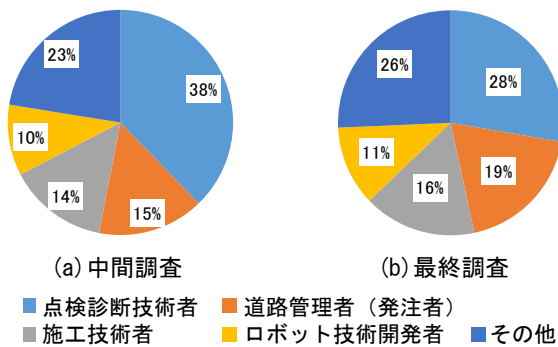


図-2 回答者の立場

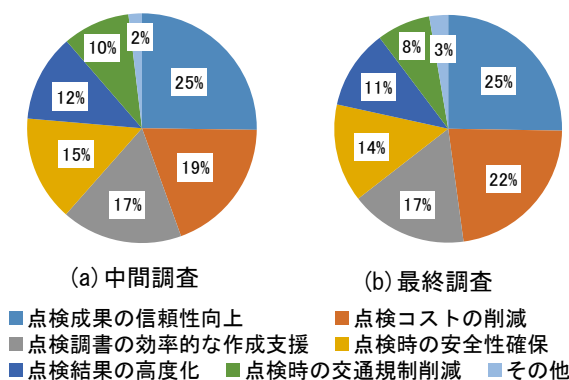


図-3 橋梁点検ロボット技術に期待すること

術に対する理解」と「ロボット技術の積極的利用」を重視した対応策が必要であることがわかった。点検ロボット技術の普及拡大に向けては、点検技術者に対する技術説明の機会を多数設けて技術内容の理解を深めていただき、点検技術者がロボット技術の積極的な活用を図れるような対応が重要であることが明らかになった。

(3) ロボット技術開発者側に求められる対応

集計結果を図-6 に示す。この図から「ロボット技術の点検精度の保証」が最も求められている対応であることが明らかとなった。これは、点検ロボット技術の利用に際して、ロボット技術による点検結果

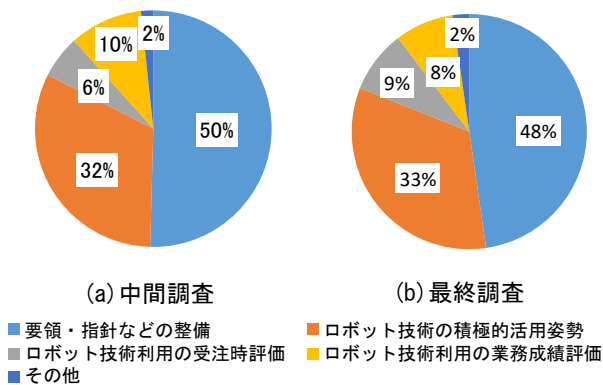


図-4 管理者（発注者）側に求められる対応

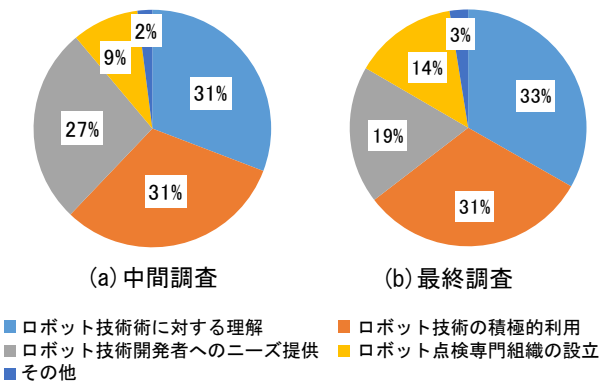


図-5 点検技術者側に求められる対応

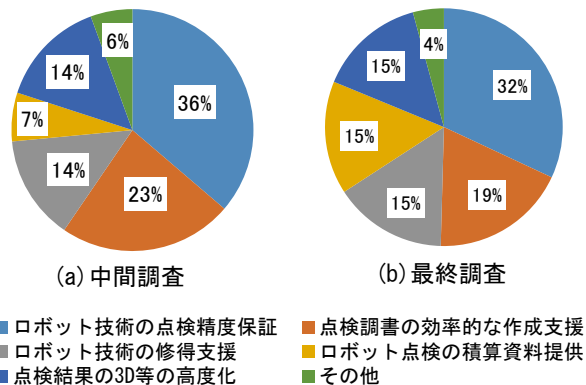


図-6 ロボット技術開発者に求められる対応

の精度に一抹の不安を感じている技術者が多いことを示している。この要因としては、現時点で明確な精度規定が未整備であることや、ロボット技術点検での実績不足が考えられる。今後は、早急に精度規定を整備するとともに、ロボット技術点検の実績を積み重ねて、ロボット技術の点検精度に対する不安要素を払拭することが重要と考えられる。

4.5 大学でのインフラメンテナンス研究活動

大学でのインフラメンテナンスの研究活動については、中間調査では岐阜大学の「SIP 実装活動への要望」について質問し、最終調査では「大学でのインフラメンテナンスの研究活動への要望」について質問した。質問は複数選択とし、回答の重みを指定する形式とした。集計は、期待する項目を1点、最も期待する項目を2点と点数化して集計した。集計結果を図-7 および図-8 に示す。なお、「SIP 実装活動への要望」では、実装活動が主体とした活動のため、選択肢から「新技術の研究・開発」を除いた。

図-7 から新技術の実装段階では、大学研究者に、新技術の「検証と評価」や「説明会や実証試験の開催」、「実装への支援」の3項目が求められていることがわかる。これは、SIP 実装活動をつうじて、大学研究者が公平な第三者的視点で、新技術に向かい合えることへの理解が深まったためと思われる。

また図-8 から、これまで一般的に考えられていた「新技術の研究・開発」と同程度に、上記の実装活動での3項目が期待されていることが明らかとなった。すなわち、大学のインフラメンテナンスに関する研究活動では、「新技術の実装への支援も大いに求められている」ことを認識すべきである。

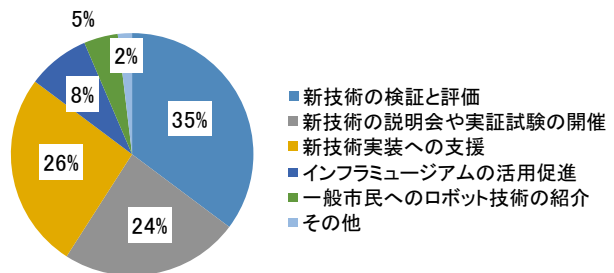


図-7 SIP 実装活動への要望（中間調査）

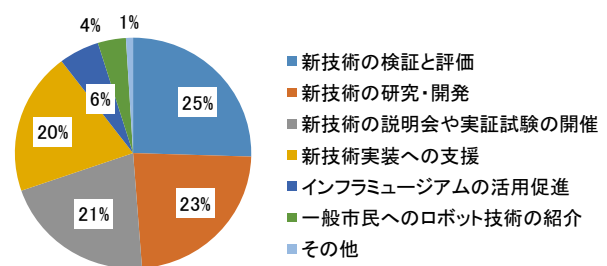


図-8 大学研究者への要望（最終調査）

4.6 調査結果のまとめ

今回のアンケート調査結果の整理から、中間調査と最終調査の結果に大きな違いは認められず、今後は以下のような取組みが必要と考えられる。

- ① 橋梁点検ロボット技術においては、「点検成果の信頼性向上」と「点検コストの削減」が最重要課題である。現時点では「点検結果の高度化」への関心はさほど高くないので、関心を高めるために「点検結果の高度化」の効果などについて幅広い情報共有等の対策が必要と思われる。
- ② インフラ関係者の大半が「今後のロボット技術の活用は不可欠」と認識しており、社会実装に向けて、「要領・指針などの整備」を強力に推進する必要がある。
- ③ 点検ロボット技術の利用対象者は、ロボット技術による点検結果の精度に一抹の不安を感じている傾向がある。その不安要素を払拭するためには、早急に精度規定を整備し、ロボット技術点検での実績を積み重ねて、ロボット技術による点検結果の精度情報を共有する必要がある。
- ④ 点検ロボット技術の普及拡大に向けては、技術説明の機会を多く設けるなどの対策により、点検技術者のロボット技術に対する理解を深め、ロボット技術の積極的な活用を図れるような対策が重要である。
- ⑤ 大学におけるインフラメンテナンスの研究活動では、「新技術の研究・開発」だけでなく、「新技術の実装への支援」も大いに求められている。点検ロボット技術の普及に向けて、道路管理者、点検技術者、ロボット技術開発者が行うべき対策を整理すると表-4 のようになる。

表-4 点検ロボット技術実装への対策

立場	立場ごとに求められる対応策
管理者(発注者)	・要領、指針、精度規定等の整備 ・ロボット技術の積極的な活用姿勢
点検技術者	・ロボット技術の理解 ・ロボット技術の積極的利用
ロボット技術の開発者	・点検成果の信頼性向上 ・点検コストの削減 ・ロボット点検の実績の積み重ね
大学の研究者	・新技術の研究・開発 ・新技術の実装への支援

4.7 点検ロボット技術推進に向けた有益な意見等

今回のアンケート調査では、質問項目毎に意見やアドバイスの記入もお願いした。その中より、今後の点検ロボット技術の推進に向けた有益な意見やアドバイスを抽出・整理し、以下に示す。今後の新技術実装活動の参考としたい。

(1) 道路管理者への意見

- ① 人間による点検は損傷箇所を記録することだけで、橋梁全体の 3D 画像を入手できない。道路管理者としては 3D 画像での管理がより容易と考えられるので、今後は 3D 画像で点検結果を整理・納品して、道路管理実務に役立たせるようにしていくべきである。この部分の追加費用については、現況業務の高度化(管理しやすい環境の整備)として必要な費用であり、現在の点検費用との比較には含めるべきではない。
- ② 道路管理者は、ロボット技術の現況性能を評価し、その性能レベルに応じた利用方法の工夫、導入事例を重ねていき、それらを評価し、次の性能目標を提示し、技術開発を促していくべきである。
- ③ 点検を目的とせず、要領に定められたデータ収集、整理に固執するのではなく、道路管理者に求められている道路橋の安全確保と長寿命化のために点検を行っていることを再認識し、この視点に立った点検のあり方を希求すべきである。具体的には、落橋や事故事例におけるリスク要因を分析し、それらを防ぐための点検項目や損傷レベルを認識する。平たく言えば、大きな損傷を見逃さないようにさえしていれば、道路管理上は十分である。さらに言えば、寿命を縮めてしまう要因を早期に認識し、除去する対応をすることがポイントである。この視点に立てば、予算は大幅に削減でき、必要な補修補強が行え、3D 画像での管理しやすい環境の創出もできてくると思う。

(2) 点検技術者への意見

- ① 現況のロボット技術の性能を見極め、ロボット技術で対応できる部分、対応できない部分を区分けして、ロボット技術利用の利点を活かしながら点検結果をとりまとめるとよい。
- ② ロボット技術のみならず、その周辺技術(オルソ画像、三次元モデル)も理解・習得して、発注者への活用提案が必要である。

(3) ロボット技術の開発者への意見

- ① SIP に参加したロボット技術の開発関係者は橋梁点検の難しさ、複雑さを大いに感じたと思う。点検対象橋梁 70 万橋のうち、おそらく 60 万橋以上はもっと簡単な構造であり、支間が 25m 以下の鋼橋では横構もない。そのような簡単な構造の橋梁を対象にロボット技術の活用を考えてはどうか。そうすれば、積算用歩掛りの作成も容易と思われる。ロボット技術開発者も、開発費を使つてのロボット技術開発にも限界が

と思われるので、ある程度の収益をあげながら開発を続ける対応とするのがよい。

- ② 現場のニーズに応えることを基本としつつも、ロボット技術ならではの方法を提案していくことが必要ではないか。
- ③ 道路管理者が必要としているデータ項目と精度レベルを理解して、それらを如何に効率的に取得できるかを旨して技術開発を進めていただきたい。

(4) 大学研究者への意見

- ① 大学には、自治体等の発注者（管理者）と受注者（企業等）のニーズとシーズを繋ぐ役割、連携拠点としての役割が非常に重要である。
- ② 既設橋の点検・診断結果により補修・補強すべき橋梁に対して、既設橋の耐荷性能の評価、補修補強方法のアドバイスを、全国の自治体の道路管理者は求めている。また、ロボット技術等の新技術を導入する場合、自治体では、その実装方法について第三者的立場からのアドバイス、支援を必要としている。それらについて、大学の方々の研究活動及び技術支援を期待している。

5. おわりに

地域の大学が中心となって、インフラメンテナンスの新技術を地域の自治体等で使ってもらい（実装する）ための活動を行った。ここでは、インフラ点検ロボット技術に着目し、その実装における様々な課題について分析し、その新技術の普及に向けて、道路管理者、点検技術者、ロボット技術開発者が行うべき対策について取りまとめた。

2 章、3 章においては、新技術の実装における障害、課題、対策について、活動から得られた成果を述べた。発注者側の心理的な負担（特に責任）を分散・軽減させることが、新技術の実装に有効なことを指摘した。特に従来用いられていない高度化技術の場合には、基準類、要求性能、評価方法、積算方法、発注方法等の整備が重要なことを指摘した。

4 章においては、2018 年 3 月と 2019 年 2 月に行った報告会の参加者から得られたアンケート結果をもとに、点検ロボット技術の実装に関するインフラ技術者の意識について整理した。ロボット技術の開発者には、「点検成果の信頼性向上」と「点検コストの削減」が求められていた。大学研究者には、「新技術の研究・開発」だけでなく、「新技術の実装への支援」も大いに求められていた。

アンケート用紙には、「道路管理者は、ロボット技術の現況性能を評価し、その性能レベルに応じた利

用方法の工夫、導入事例を重ねていき、それらを評価し、次の性能目標を提示し、技術開発を促していくべきである」、「ロボット技術等の新技術を導入する場合、自治体では、その実装方法について第三者的立場からのアドバイス、支援を必要としている」といったコメントがあった。

先述のように、SIP インフラの活動とその中の地域実装支援活動は、前例のないユニークな内容であったが、2019 年 3 月で終了した。地域の大学でこうした活動が行われるには、国のプロジェクト等として、新技術の地域実装支援という明確な方向が示され、活動資金と責任が伴うことが不可欠である。

謝辞

本研究活動は、SIP インフラの地域実装活動の一環として実施したものであり、多大なるご協力をいただいた SIP 関係者、委員会に参画いただいた方々、道路管理者である各務原市等の関係者、ロボット技術の開発者、そしてロボット技術による橋梁点検活動を精力的に支えていただいた矢島賢治氏、古澤栄二氏、溝部美幸氏、加藤波男氏に深く感謝する

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へ), 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) 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: 2019 年 4 月 10 日)
- 4) 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.
- 5) 六郷恵哲, 他: 魅力あるインフラメンテナンス分野の未来に向かって, SIP インフラ新技術地域実装活動報告書, 土木学会, 2019.1
- 6) 羽田野英明, 木下幸治, 森本博昭, 六郷恵哲: ロボット技術を取入れた長大 PC 橋の定期点検結果と今後への考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.2, pp.1357-1362, 2019.7