

# 国土交通省における次世代インフラ用ロボット 現場検証の取組みについて

新 田 恭 士\*

## 1. はじめに

国土交通省では、建設産業における技術者・技能者の不足が懸念されるなか、膨大なインフラ点検を効果的・効率的に行い、また、人が近づくことが困難な災害現場の調査や応急復旧を迅速かつ的確に実施するための「次世代社会インフラ用ロボット」の開発・導入を推進している。このため、ロボット産業を所管する経済産業省と「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」を共同設置し、ロボットの開発・導入を重点的に推進する5分野（「橋梁維持管理」「トンネル維持管理」「水中構造物の維持管理（ダム・河川）」「災害調査」「災害応急復旧」）を設定した（図-1）。

さらに平成26年度から平成27年度にかけて、実業務への導入が期待できる「点検ロボット」や「災害対応ロボット」について民間企業等への公募を行い、全国各地の実現場において実用性等の検証を実施し、平成28年3月30日に現場検証の評価結果を公表した。国交省では、現場検証での評価結果を踏まえ、平成28年度以降は、実業務においてロボットの適用性等を検証するための試行的導入を実施するとともに、ロボットの利用手順等について検討がなされた。

これらの結果を踏まえ、ロボットをインフラ点検業務にて用いるための導入マニュアル等の整備が進められている。本稿では、これらの取組みと今後のロボット技術活用の方針について解説する。

## 2. 現場検証の取組みについて

### 2.1 現場検証の目的

2年間かけて実施された現場検証は、実用段階にあり試行的導入の候補となる“直ちに現場適用が可能なロボット”の見きわめを目的とした。

公募に際しては、各分野でロボットに対し求めるニーズを必須要件である「基本要件」と、加えて望まれる「期待項目」を分けて明示し、応募技術の持つ機能や性能を実大スケールの現場環境下において評価することとした。維持管理3分野については、ロボットで取得した

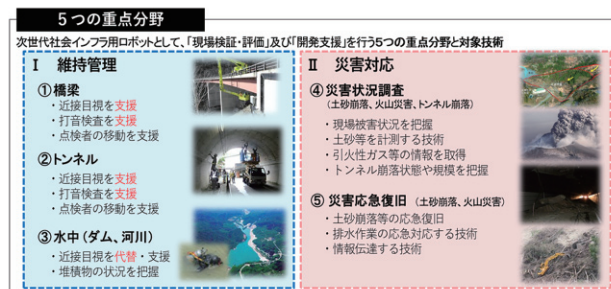


図-1 ロボットの開発・導入を推進する重点分野

### 次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会

【橋梁維持管理部長】	藤野陽三 横浜国立大学 先端科学高等研究院 席特別教授
【トンネル維持管理部長】	西村和夫 首都大学東京 教授
【水中維持管理部長】	角哲也 京都大学 防災研究所 教授
【災害調査部長】	高橋弘 東北大学 教授
【応急復旧部長】	建山和由 立命館大学 教授
【ロボット分野（主に維持管理）】	油田信一 芝浦工業大学 特任教授
【ロボット分野（主に災害対応）】	浅間一 東京大学大学院 教授

図-2 次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会（敬称略）

点検記録は「管理者責任」に直結するため、損傷の検出精度検証や作業中の安全性、経済性について重点が置かれた。

災害2分野については、「人の立ち入ることができない区域での使用」を念頭に、調査データの精度や作業効率、信頼性、迅速性などに重点が置かれた。

### 2.2 評価体制（現場検証委員会と専門部会）

現場検証と評価の実施にあたっては、「次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会」（H26.2.25設置）と、そのもとに5つの「専門部会」を設置した。専門部会には、当該分野に見識のある学識者、行政関係者、関係研究機関の代表者に参加頂き、公募条件の設定、検証対象技術の選定、評価方法の決定等の具体的事項についてご指導を頂いた。その上位の現場検証委員会には、各専門部会の長、ロボット分野の有識者の代表者、行政機関等および研究機関の代表者に参画頂き、分野間共通事項や全体の運営方針についてご審議頂いた（図-2）。

### 2.3 現場検証フィールド

ロボットによる土木構造物の点検は、対象が現地一品

\* につた・やすし／(国研)土木研究所 上席研究員

生産ゆえに構造が多岐にわたる。現場検証は、ロボットの機能の違いも考慮し、分野毎のロボット検証結果が広くイメージできる現場として直轄現場を中心に全国11カ所が選定された。現場検証では、公募要件に記載した「基本要件」や「公募技術に期待する項目」について効果的な検証ができるよう、「橋梁維持管理」や「トンネル維持管理」については、構造形式や道路交通への影響等を考慮し、ダム・河川での「水中維持管理」については、施設規模に加え水深や流速・濁度等を考慮して選定した。とりわけ現場条件の設定が難しい「災害調査」や「応急復旧」については、過去の大規模災害の復旧現場を活用し、実物スケールでの検証を実施することとした。各検証現場では、ロボットの性能を検証するために、検証事務局により人力を主体とした従来方法による計測（点検要領に基づく点検記録の作成）を実施し、ロボットによる点検成果や調査結果の精度検証に用いた。

### 3. 橋梁点検におけるロボットへの期待

急峻で起伏の激しい我が国において、橋梁は数多く存在する重要インフラである。その数は道路橋だけで全国に70万橋を超える。その構造形式はアーチ橋やトラス橋、桁橋、斜張橋など様々で、径間長も2m程度のものから長いもので2kmに及び、橋脚や主塔高さも2m程度から200mを超えるものまで大小様々である。

橋梁点検は、点検要領において近接目視が基本とされ、タワーの上や水中部を含めて人が手の届くところまで近づいて、進行性の大きな損傷を見逃さないよう把握することが重要である。この変状を捉えるため、コンクリート部材では、ひび割れ、石灰分の表面への溶出、鉄筋の腐食、鋼部材では、亀裂や錆、ボルトの緩みなどが重要な点検項目となっている。

2014年に点検が義務化されて以降、将来の担い手不足に悩む自治体などにおいてロープアクセスを必要とするような近接目視が危険で困難な場所にロボットを用いて効率的に点検ができないか期待する声が高まっている。

### 4. 橋梁点検の現状

橋梁の点検作業については、道路法によって全ての道路管理者に近接目視を基本とした5年毎の定期点検および診断が法的に義務付けられている。

適確な補修計画を立案し健全な状態を維持するために、点検作業では、変状および損傷状態を正確に把握し記録することが要求される。橋梁定期点検要領には、様々な橋梁の部材・要素に対して26種類の損傷が定義され、点検時に近接目視で確認することを求めている。また、点検の記録を作成するために、点検員は近接目視と打音検査を実施し、主要損傷についてチョーキングを行い必要な写真を撮影し調書にまとめている。これらの作業は、橋梁が複雑な構造を有することから、その記録作成にお

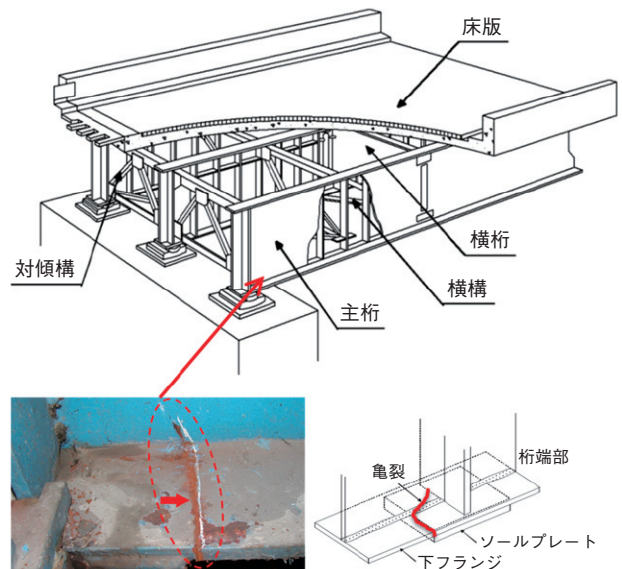


図-3 複雑な構造を有する橋梁と損傷の例

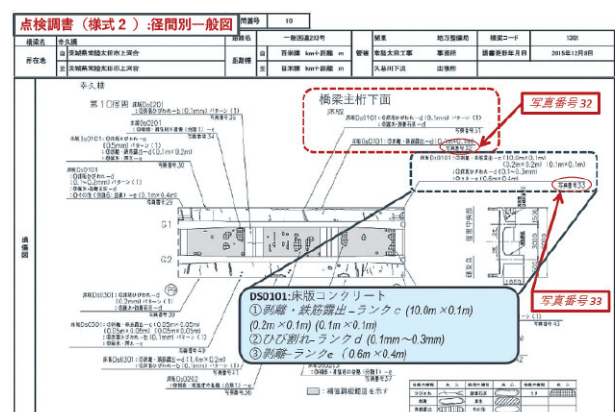


図-4 点検調書（平面展開図）の例

いても膨大な時間と労力を要している（図-3）。点検員が実態として「コンクリート構造物全面にわたり表面にある幅0.1mm程度の微細クラックを含め、遊離石灰把握、塗膜劣化などの基本的な損傷を把握し記録」している。これらは、定められた様式に基づいて展開図と写真台帳により記録が作成される（図-4）。

### 5. 現場検証の概要

橋梁点検ロボットの現場検証は、平成26年度と27年度の2年にわたって行われた。公募された技術は、次に示す1)～6)が対象であった。

- 1) 鋼橋において、桁の「腐食、亀裂、破断、ゆるみ・脱落、防食機能の劣化」について、点検要領に基づく近接目視の代替または支援ができる技術・システム
- 2) コンクリート橋において、桁の「ひび割れ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、うき」について、点検要領に基づく近接目視の代替または支援ができる技術・システム
- 3) 鋼橋・コンクリート橋の床版において、「床版ひ



び割れ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、抜け落ち、うき」について点検要領に基づく近接目視の代替または支援ができる技術・システム

- 4) 鋼橋において、桁の添接部のボルトやリベットの「ゆるみ・脱落、破断」、コンクリート橋において、桁の「うき」について、点検要領に基づく打音検査の代替または支援ができる技術・システム
- 5) 鋼橋・コンクリート橋の床版において、「うき」について点検要領に基づく打音検査の代替または支援ができる技術・システム
- 6) 鋼橋・コンクリート橋において、点検車を点検箇所近づけることができる技術・システム

平成26年度には、31技術（68検証項目）の応募があった。そのうち飛行ロボットを用いて点検の代替、支援を行うものが10技術と最も多く、他に橋面上部から懸架するタイプの技術も見られた。平成27年度は、26技術の応募があり、吸着移動ロボットなどの新しいタイプの応募もあった。全体として応募技術は、前年度の検証を踏まえて大幅に改良された。2年間の検証の結果は、精度や効率性などを踏まえ、次の4段階の総合評価がなされ公表された。

- 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。

結果として評価Ⅰが5技術、評価Ⅱが5技術であった。2年目の検証は前年に比べ大幅な技術向上が確認され、優れた性能が確認された技術については、試行的導入に向け推薦がなされた。また、推薦までに至らなかった技術についても、検証を通じて明らかになった解決すべき課題が示された。

## 6. ロボットの利用場面（支援・代替）について

ロボットの開発者にとって、具体的利用場面を想定し、必要な機能と達成すべき性能目標を定量的かつ適切に設定することが重要である。点検ロボットが点検員の代替を目指す場合においては、人と同等水準をクリアすることを基本要件とせざるを得ない。残念ながらH26年度の現場検証では、基本要件を達成した応募技術はなかったが、維持管理コストを低減し専門技術者の不足を補う点において、導入効果が十分発揮されるならば、ロボットが必ずしも“人の代替”でなくともよい。そこで、H27年度は“人の代替”を求めず“支援”できる技術を公募した。ロボットを人の代替として利用することで、たとえば、点検作業の中で手間を要している記録手間の削減のみならず通行規制時間の短縮効果が期待できる。ロボットの導入効果（支援効果）を最大限に活かす利用方法に

ついては、今後の段階的導入を通じて明らかにする必要がある。その上で、利用方法に対応して必要機能や性能目標が設定できると考える。

## 7. 橋梁点検におけるロボット導入の可能性

### 7.1 提案された点検ロボットの特徴

提案されたロボット技術は、『移動機構』として「飛行型、懸架型、車両型、ポール型、吸着型等」、『センサー』として「カメラ、赤外線等」、『データ処理』として「損傷自動抽出・解析、オルソ化、3次元化等」と、これらの組合せにより多種多様に構成されている。

また、各種ロボット技術による一連の点検作業における支援には、いくつかの働きとその効果とがあり、その主要なものを次に掲げる（図-5）。

（点検を支援する際のロボット技術の主要な働き）

- ・「人が近接することが困難な点検箇所へ近接」（行く）し、「写真や動画等を取得」（見る・撮る）する働き
- ・複数の画像データ等から「損傷を見つけ出し、必要な情報（寸法や損傷の状態）を把握」（検出する）し、その後の再点検のために「損傷の程度や位置等を確認しやすく整理」（記録）しておく働き

（点検に対するロボット技術による支援効果）

- ・人が点検する前に、橋梁の全体的な損傷状況を把握することで、「重点的に把握すべき箇所を認識」し、

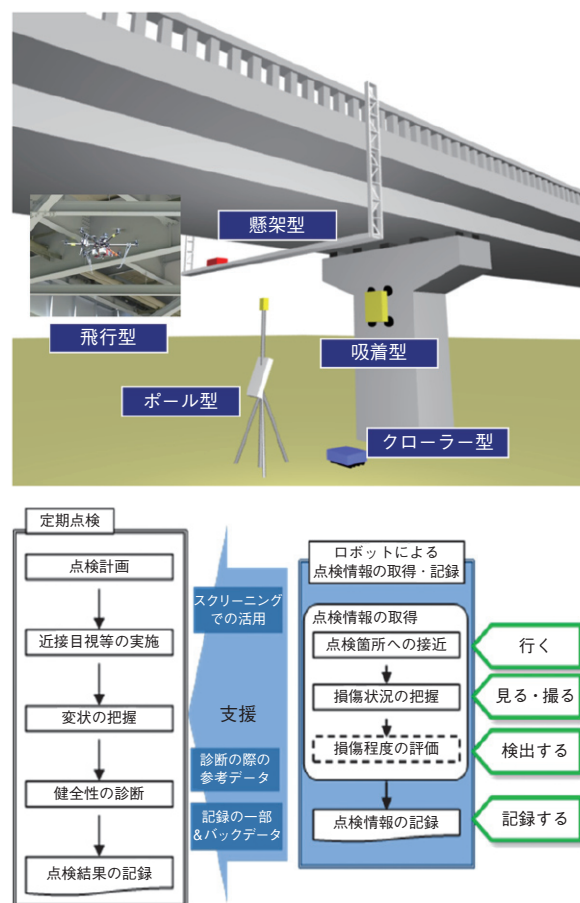


図-5 点検ロボットの種類と利用場面

「重大な損傷の早期発見・対策」につながり、橋梁の安全性の向上に資する効果

- ・「点検調査を作成」する際に、ロボット技術により取得され、その位置がわかり易く整理された「写真を効率的に利用」する効果
- ・点検調査で利用する写真の他にも、場所と時間の情報が付与された写真データとともに、平面あるいは立体のモデルとして記録し、次回の点検において、「損傷程度の進行等の経年変化を把握しやすく」する効果

現場検証では、こうした各種ロボット技術が、一連の点検作業における「行く」、「見る・撮る」、「検出する」、「記録する」の各過程について、いくつかの支援の可能性を有することが確認され、また、実用上の課題も明らかになった。

## 7.2 ロボット技術の課題

現状のロボットは、正確な記録を効率的に取得することが期待できる反面、ロボットが苦手とする条件もある。例えば、鋼橋の桁内部空間など部材が輻輳する狭隘部の点検は、飛行型ロボットには不向きである（写真-1、写真-2）。点検対象には、ロボットによる点検が困難な箇所も数多く存在するため、全てをロボットで行うことは難しい。点検員による従来からの点検方法も必要とされている。

## 8. ロボット技術活用に向けた環境整備

### 8.1 点検要領の見直し

国土交通省では、社会資本整備審議会道路分科会道路技術小委員会での議論を踏まえ、2014年7月より開始した定期点検の見直しを行い2019年2月に自治体等の道路管理者へ通知がなされた。

見直しのポイントは、①損傷や構造特性に応じた点検箇所の絞り込み、②新技術の活用による効率的な点検、の2点である。②の新技術活用について、これまで知識と技能を有する者が近接目視により点検を行うことが基本とされているが、今回の要領改訂により、近接目視を基本としつつ、点検を実施する技術者が近接目視による場合と新技術等を活用する場合とで同等の健全性の診断を行うことができると判断した場合、新技術を活用する方法についても近接目視を基本とする範囲と考えて良いことが示された。

### 8.2 新技術利用のガイドライン（案）と点検支援技術性能カタログ（案）

国土交通省は、道路管理者が定期点検において、点検支援技術を円滑に活用できるよう定期点検要領と合わせて参考となる「新技術利用のガイドライン（案）」を整備した。これは、業務委託等により定期点検が行われる場面を想定し、点検実施者が道路管理者と行う新技術活用の際しての確認プロセスや、留意事項を示したもので

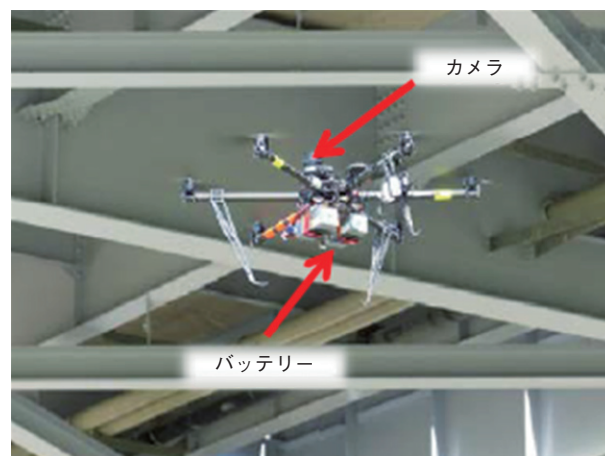


写真-1 主桁や横桁など部材が輻輳



写真-2 内桁の下フランジ上面や狭隘部の支承

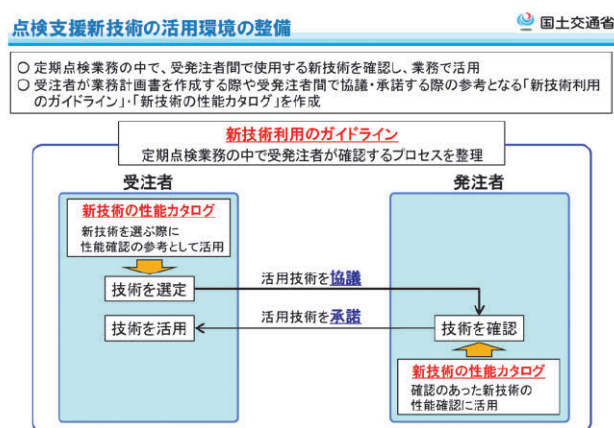


図-6 点検支援技術の活用プロセス（参考文献1）

あり、ロボットなどの新技術を活用する範囲、活用目的、技術選定の考え方、技術性能を示す際の標準項目等について例示されている（図-6）。また国交省では、点検支援技術の性能値等について、新技術利用のガイドライン（案）で明示された標準項目に対応して、必要な性能値を新技術ごとに整理した点検支援技術性能カタログ（案）を作成した。

この性能カタログは、国交省がNETIS（新技術情報提供システム）テーマ設定型において技術公募し、仕様や性能等の確認が行われた技術を対象に、開発者の責任において提示された性能値等についてカタログ形式に取りまとめたものである。

これらの取組みは、現場検証での評価結果を踏まえ、道路管理者におけるロボット等の新技術の活用を可能とするものであり、大いなる前進と言える。今後、さらに



