

次世代社会インフラ用ロボット開発・導入に関する トンネル維持管理分野の取り組み

寺戸 秀和・安井 成豊・伊吹 真一

国土交通省および経済産業省が共同設置した「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」では、社会インフラの維持管理と災害対応を効率的に行うことを目的として、実現場で役立つロボットの開発・導入を検討している。当該検討会では、橋梁、トンネル、水中の各分野における維持管理、ならびに災害時の調査および応急復旧を対象としている。

施工技術総合研究所では、検討が始められた平成 26 年度より、トンネル維持管理分野を対象に現場検証業務を実施している。本稿では、これまでのトンネル維持管理分野での取り組みについて紹介する。

キーワード：トンネル点検、道路トンネル、ロボット、現場検証、ユースケース

1. はじめに

平成 25 年 7 月 16 日、国土交通省と経済産業省は「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、各種構造物の維持管理・点検作業にロボットを導入するための検討を進めている。同検討会では、橋梁、トンネル、水中の各々を対象とした維持管理（点検）作業、ならびに災害時の調査および応急復旧を対象とし、各分野へのロボット技術導入による効率化等の効果検証と課題把握等について検討を進めている。

この中では、各分野へのロボット技術の導入による効果と課題について現場検証を通じて明らかにし、開発・導入を促進することを目的としている。現場検証とは、ロボット技術による各種構造物の点検作業や調査等を実際の土木構造物を利用して模擬的に行い、ロボット技術の導入による効果と課題を検証するものである。現場検証の対象技術等の情報については、専用のポータルサイト (<https://www.c-robotech.info/>) にて紹介されている。

施工技術総合研究所では、平成 26 年度以降、国土交通省より当該現場検証に関する支援業務を受託し、トンネル維持管理分野における現場検証方法の検討、現場検証の運営、検証結果の分析、ならびにこれらの

内容について審議を行う「現場検証委員会 トンネル維持管理部会（部会長：首都大学東京 西村和夫教授）」の運営を行っている。本稿では、各年における現場検証の結果について概説する。

2. 平成 26 年度の取り組み

平成 26 年度は、トンネル点検で行われる「近接目視」、「打音検査」の各作業、ならびに「点検箇所への接近」を目的としたロボット技術の公募を行い、これらの技術を対象とした現場検証を実施した¹⁾。以下に、公募技術ならびに現場検証の内容を概説する。

(1) 応募技術の概要

平成 26 年度は、近接目視のみを対象としたものが 2 技術、打音検査のみを対象としたものが 2 技術、近接目視・打音検査の両者を対象としたものが 6 技術の計 10 技術の応募があった。なお、点検箇所への接近を対象とした技術については応募がなかった。各応募技術をその特性に応じて大別すると表 1 のようになる。なお、応募技術の詳細は前述のポータルサイトにて公開されているため、ここでは割愛する。

表 1 平成 26 年度の応募技術の概要（トンネル維持管理分野）

技術分類	技術分類の概要
壁面移動型検査技術	カメラ等を装備したトンネル壁面等を移動する装置
車両走行型検査技術	カメラ等を搭載した車両によりトンネル内を撮影・スキャニングする装置
飛行型検査技術	カメラ等を搭載した無人の飛行ロボット
打音検査技術	トンネル壁面等を打撃する装置

(2) 現場検証の実施概要

現場検証は、関東地方にあるダム周回道路トンネルおよび施工技術総合研究所所有の実物大模擬トンネルにおいて行った。ダム周回道路は、昼間は供用されているが、夜間は通行止めとなり一般車の通行がないことから、一般車両への影響がない夜間にて現場検証を実施した。写真一は、平成26年度のダム周回道路での現場検証の状況である。



写真一 ダム周回道路での現場検証の状況

(3) 現場検証結果の概要

応募されたロボット技術を「実用検証技術」と「要素検証技術」に分類し、それぞれの目的に応じた検証を行った。前者は、現段階で実現現場での利用可能性があると判断される技術であり、後者は、現時点では実現現場での適用は困難であるものの、今後の開発により実現現場での利用が見込まれる技術である。前者については、実際の使用を想定した現場検証を実施し、後者については、データ収集や各要素の稼働状況の確認を目的として現場検証を実施した。

平成26年度の検証結果の要点を整理し、以下に示す。

- ・ロボット技術の長所として、現行手法による点検作業で必要となる車線規制時間が短縮される可能性があること、ならびに点検作業の省力化の可能性を確認した。

- ・ロボット技術の短所として、取得データから変状を検出する作業において、検出者の熟練度等によって、変状検出精度にばらつきが生じる可能性があることを確認した。

3. 平成27年度の取り組み

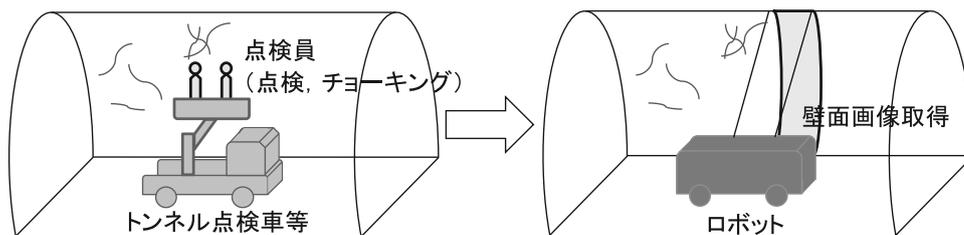
平成27年度は平成26年度と同様に、ロボット技術を公募して現場検証を実施した^{2), 3)}。ただし、通常の定期点検においてロボットがどのように利用するか(以下、ユースケースという)を例示し、ユースケースを踏まえた上でのロボットの導入効果を評価するための現場検証を実施した。

(1) ユースケースの設定

トンネル点検におけるロボットのユースケースとして、以下の2種類のユースケースを設定した。

- ①ユースケース1…現行点検による近接目視、打音検査、チョーキング(点検結果を覆工面にチョークによって記録する作業)が終了した状態でロボットによる計測を行い、変状展開図(トンネル壁面を展開した平面図上に点検結果を記録した図面)等を作成する。これにより現場における手書きによるスケッチ作業を省略し、点検作業の効率化を目指す。図一1に模式図を示す。
- ②ユースケース2…現行点検前にロボットによる計測を行い、その結果を参考に現行点検を行うことにより、現行点検(近接目視、打音検査、チョーキング、スケッチ)の効率化を促し、点検時間の短縮を目指す。図一2に模式図を示す。

これらのユースケースは、前年度に「実用検証技術」に分類した車両走行型検査技術(表一1参照)を念頭において設定したものである。当該技術は、車線規制を行うことなく覆工面の撮影・スキャニングが可能な技術である。



スケッチ作業以外の現行点検作業(近接目視、打音検査、チョーキング)を行う。

現行点検後、ロボットによる計測を実施し、チョーキングを含む覆工壁面の変状等の情報を取得する。

図一 ユースケース1の模式図

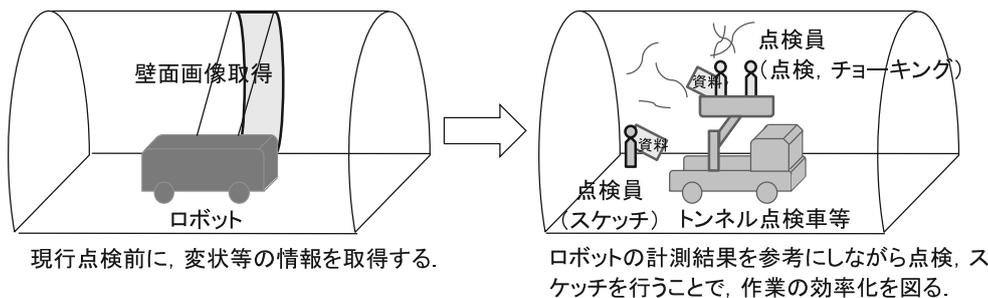


図-2 ユースケース2の模式図

(2) 現場検証結果の一例

現場検証では、平成26年度と同様にダム周回道路トンネルを利用し、上記の各ユースケースについて、どの程度の作業の効率化が見込めるかについて検証を行った。

一例として、図-3にユースケース2の検証結果の一例を示す。本検証では、人力による点検（現行の点検手法）により得た変状を正解値として位置づけた。この正解値に対し、ロボットによる計測ではどの程度の精度（正解率）で変状を取得することが可能であったか、ならびにロボットの結果を利用することで現行の点検に比べてどの程度作業が短縮されたかについて、両者の関係を求めた。

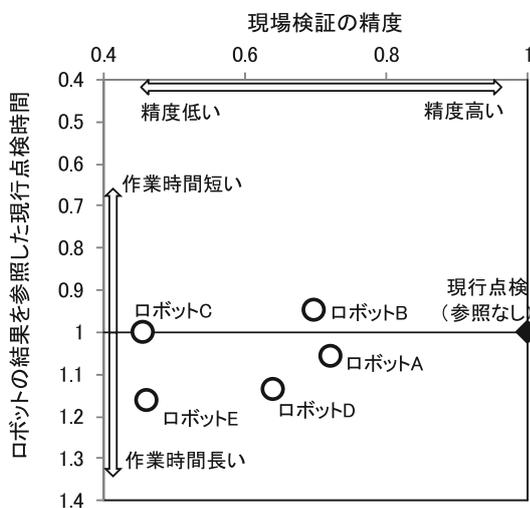


図-3 ユースケース2に対する効率性と精度に検証結果

一般には、ロボットによる計測精度が高ければ時間短縮も見込めると考えられるが、本検証結果ではサンプル数が少ないことも想定され、明確な関係は見られない結果となった。

4. 平成28年度の取り組み

平成28年度は、ロボット技術の公募は実施せず、前年度の検証結果から現場での適用性が高い技術を対

象に現場検証を実施した⁴⁾。当検証において対象としたのは、前年度と同様に車線規制が不要な車両走行型検査技術である。また、現場検証は、関東地方において供用されている道路トンネルである。

(1) 現場検証の概要

前年度までの検証結果から、現時点ではロボットが人の近接目視を代替することは困難であると判断した。このため、現時点で考えられるロボット技術の利用方法として、点検員による近接目視・打音検査とチョーキング終了後に、ロボットで取得したデータから覆工展開画像を作成し、それを利用して変状展開図等を作成するユースケース1（図-1参照）について検証を進めることとした。

現場検証では、壁面画像を取得する際にロボットに要求される事項として、ひび割れ等の各種変状の取得に加え、画像のゆがみの有無についての検証を行った。ゆがみが少ない画像が取得できれば、より正確な変状展開図の作成が可能となり、点検記録精度の向上等に資すると考えられる。

(2) 現場検証結果の一例

検証トンネル中の覆工表面に図-4に示すチャートを設置し、車両走行型検査技術によって取得した画像が図-4に示すチャートと比較してどの程度歪んでいるかを計測することで、画像のゆがみに対する正確性の検証を行った。

写真-2は、対象とした4技術の計測結果である。同写真と図-4のチャートを比較した結果、誤差は10%以下となり、実用上は問題ない精度を有すると判

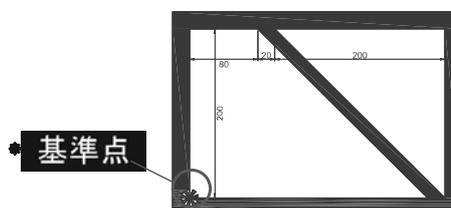
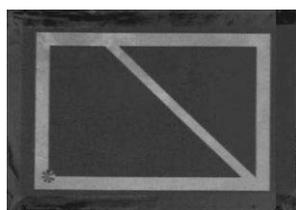
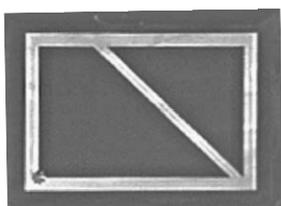


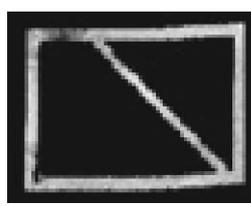
図-4 形状寸法チャート



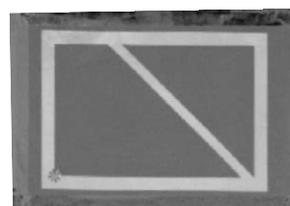
ロボット A



ロボット B



ロボット C



ロボット D

写真—2 各技術の計測結果

断した。

5. 平成 29 年度の取り組みと今後の課題

本業務の 4 年目となる本年度は、トンネル点検に利用するために求められるロボットの性能（リクワイヤメント）を明示するための検討等を進めている。

また、これまでは車両走行型検査技術を主としたユースケース等の検討を行ってきたが、今後はその他の技術についてもユースケースや評価方法の検討を行うことで、トンネルの維持管理全体の効率化・省人化を図ることが望まれる。

JCMIA

《参考文献》

- 1) 寺戸秀和, 加藤 剛, 安井成豊: 次世代社会インフラ用ロボットの現場検証 トンネル維持管理分野を中心として, 建設機械施工, Vol.67, No.12, 2015.12.
- 2) 寺戸秀和, 新田恭士, 加藤 剛, 安井成豊, 岩見吉輝, 増 竜郎, 中根 亨: トンネル点検を対象としたロボットの性能評価法について, 第 16 回建設ロボットシンポジウム, O44, 2016.8.
- 3) 寺戸秀和, 新田恭士, 加藤 剛, 安井成豊, 増 竜郎: 道路トンネルの点検におけるロボットの利用法とその評価方法について, トンネル工

学報告集, 第 26 卷, I -17, 2016.11.

- 4) 伊吹真一, 新田恭士, 安井成豊, 寺戸秀和: トンネル覆工画像取得車両の形状計測検証の試行, 土木学会第 72 回年次学術講演会概要集, VI -969, 2017.9.

【筆者紹介】



寺戸 秀和 (てらと ひでかず)
(一社) 日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所 研究第一部
課長



安井 成豊 (やすい しげとよ)
(一社) 日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所 研究第一部
部長



伊吹 真一 (いぶき しんいち)
(一社) 日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所 研究第一部
主任研究員