

# 38. 次世代社会インフラ用ロボット導入に関わる トンネル点検記録作成支援ロボットの要求性能検討

## -性能評価にかかる指標と検証手順について-

国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課 ○東山 遼  
 土木研究所 技術推進本部 先端技術チーム 新田 恭士  
 国土技術政策総合研究所 社会資本施工高度化研究室 大槻 崇

### 1. はじめに

我が国の社会インフラをめぐるのは、老朽化の進行、現場の担い手不足等の課題に直面している。国土交通省では、より効果・効率的なインフラ点検・災害対応を実施するためにロボットの現場導入を推進してきた。

今までの経緯としては、H25 年度に経済産業省と共同の検討会でロボットの重点導入5分野（橋梁、トンネル、水中（ダム、河川）、災害対応、災害応急復旧）を設定し、H26 及び 27 年度に重点5分野についてロボットを民間企業等から公募し、直轄現場等でその性能を検証してきた。H26 及び 27 年度の現場検証において一定の性能が確認された技術について、災害対応分野のロボットは実際の災害現場での積極的な活用を推進し、維持管理分野のロボットは実際の点検と同等の条件下でその実用性の検証（「試行的導入」）を進めてきた。今回は、トンネル維持管理ロボットにおける「変状写真の撮影」を行う点検記録作成支援ロボットについて、H29 年度までに行ってきた「試行的導入」に伴う評価およびトンネル点検記録作成支援ロボットを定期点検等で実装するための性能を明らかにするために作成した要求性能（案）について紹介する。

### 2. 現在、想定しているロボットの利用場面とその先に目指している将来像

現在のトンネル定期点検は、近接目視により行うことを基本としており、必要に応じて触診や打音等の非破壊検査等を併用して行うと「道路トンネル定期点検要領」に記載されている。具体的には、肉眼により部材の変状等の状態を把握し評価が行える距離まで近接して目視を行い、打音検査（ハンマ等）、現地での計測・記録（チョーキングと写真撮影、野帳への記録）を実施することとされている。（図 1）このように、現段階ではトンネルの定期点検において部分的にでもロボットが人の作業を代替するに至っていない。

### 【従来点検の進め方】

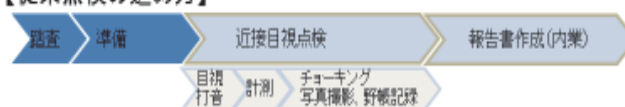


図 1. 従来点検

このような状況の下、H27 年度まで確認できたロボット技術の進捗状況が「近接目視には及ばないが、一定程度以上の変状は確実に確認できるレベル」であることを考慮して、H29 年度に想定した当面の点検ロボット利用場面を図 2 の通り設定し、ロボットの実用化を図ることとした。

具体的には、点検員が目視確認、打音検査までは行うが、一部の変状や、点検の際にトンネル内壁面にチョークで記録された文字や記号はロボットで写真撮影し、人間による写真撮影の大部分を省略（ロボットでの撮影では不鮮明さが残る可能性があるものは近接撮影）、更にロボットで十分計測可能な変状が写真撮影できる技術の場合には、当該変状については人による計測とチョーキングを省略することで効率化を図るものである。

（図 2、図 3）

### 【ロボット手法(当面)】

※近接目視には及ばないが、一定程度以上の変状は確実に確認できるレベル。

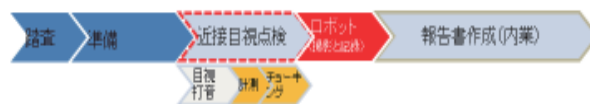


図 2. 当面のロボット活用

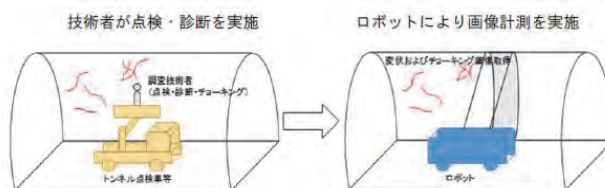


図 3. ロボット活用イメージ

このようにして、国内の定期点検では実用化してこなかったロボットの導入を図るものである。

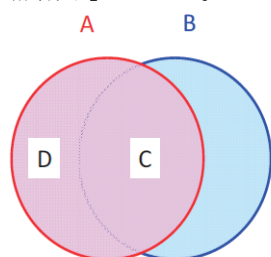
また、更なる活用拡大の将来像として、ロボット技術が「近接目視で確認できる全ての変状をロボットで確認できるレベル。」と検証できた際には、図4のような活用を想定している。具体的には、ロボットによるスクリーニングを近接目視点検に先だって行い、点検範囲の絞り込みを行ったうえで、点検員が手の届く範囲に近づき、目視確認、打音検査までは行うが、写真撮影とチョーキング（軽微な変状を除き）をほぼ全面的に省略することで、大幅な効率化を図るものである。（図4）



図4. 将来のロボット活用

### 3. 評価指標について

上記のような活用に向けた検証にあたり検討した評価指標について説明する。本検証で最も重要な指標となったのは、平成30年3月14日に意見を募集した「道路トンネル点検記録作成支援ロボット技術の要求性能(案)に対する意見を募集します」の公表で設定した「A-1:変状写真の撮影」部分である。この評価項目は、「点検員が当該技術により取得した画像(写真)を見て、別添に示す画像の判読精度(変状等を判読できる画像であること、変状と誤認しない画像であること)を有している。」である。評価指標は、判読可能率「(近接目視で検出した変状のうち、当該技術で記録した画像にて判読可能な変状箇所数) / (近接目視で検出した変状箇所数)」とした。



A : 近接目視で検出した変状箇所数

B : 当該技術で記録した覆工展開画像

C : Aのうち、当該技術で記録した画像にて判読可能な変状箇所数

D : Aのうち、当該技術で記録した画像にて判読不可能な変状箇所数(判読不能)

判読可能率 = C/A (Dが0であれば、C=Aとなり100%)

図5 判読可能率のイメージ

この判読可能率で示していることは、ロボットが過検出(変状でない箇所を誤って検出すること)は許容されるが、未検出(人が近接目視で検出した変状箇所をロボットが検出できないこと)は許容されないことである。

つまり、図5のA(近接目視で検出した変状箇所数)の内、D(Aのうち、当該技術で記録した画像にて判読不可能な変状箇所数)が0で、A=Cでなければならないということである。(Cは、Aのうち、当該技術で記録した画像にて判読可能な変状箇所数)この指標は、人の作業をロボットが代替する際にロボットの見逃しがあつてはならないという条件を反映したものであり、ロボットの社会実装に寄与する優位な指標である。

### 4. 本検討で行った検証手順について

#### (1) 検証トンネルの選定

当該指標を用いた、今回の検証では、トンネル定期点検時のスケッチ作業から変状展開図作成に至る作業における最先端のロボット技術による支援に対して、評価を行うものである。このことを踏まえ検証対象トンネルとして、葦尾根トンネルと国道246号線の新諸淵トンネルを選定した。H27年度の試行的導入においては、一般的な道路トンネルの条件を念頭におき下記の3点の条件のもと、5つのトンネルを検証候補地として、現場説明会、開発者との意見交換会を行った結果、葦尾根トンネルにて検証を行うこととした。

- ①断面の大きさは2車線道路程度。
- ②覆工の材料はコンクリート。
- ③山岳工法(矢板工法またはNATM)で建設されたトンネル。

また、H28年度の試行的導入の現場選定においては、ロボットの現場適用性を確認することを念頭におき、下記の4点を条件に選定を行い、5つのトンネルを検証候補地として、新諸淵トンネルにて検証を行うこととした。

- ①直近に点検し覆工表面にチョーキングが残っているトンネル(H28年度にトンネル定期点検を実施したトンネルが対象)。
- ②点検結果(変状展開図)が作成されているトンネル。
- ③矢板工法のトンネルで変状(ひび割れ、溶脱物等)が比較的多いトンネル。
- ④直轄国道のトンネル。

また、検証作業の効率を高めるために、対象トンネルに対して全てのスパンを対象にせず、検証に優位なスパンを抽出(トンネル坑口付近とトン

ネル中間部（光の影響の確認）、変状種類の多い区間）し評価を行った。（図6、図7）

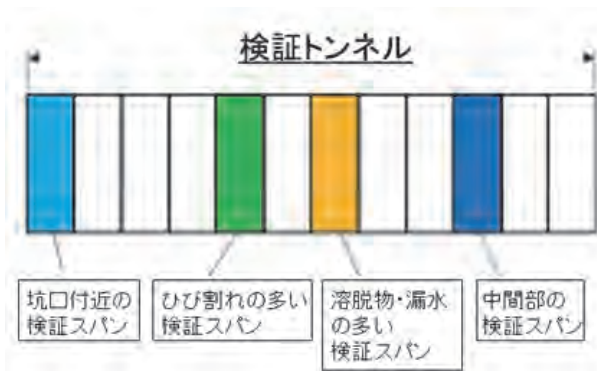


図6 検証箇所を選定



坑口付近のスパン

ひび割れの多いスパン



溶脱物の多いスパン

図7. スパン抽出例

(2) ロボット計測の流れ

本試行的導入は、従来トンネル定期点検実施により作成された変状展開図（図8）とロボット技術により取得された画像をオルソ化した覆工展開画像（図9）を比較検証した。

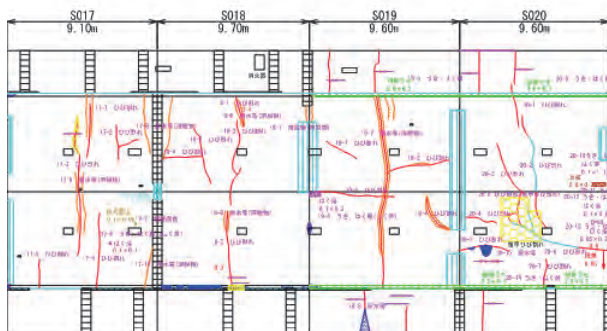


図8 変状展開図

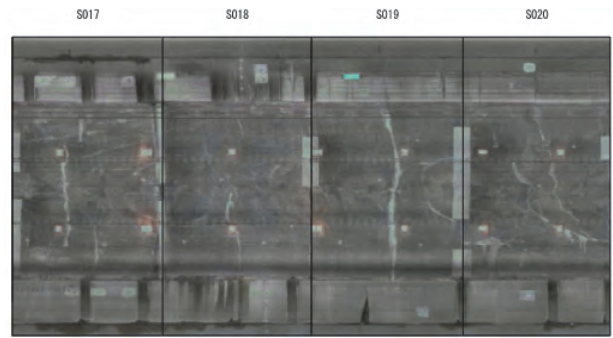


図9 ロボット技術による覆工展開図

評価対象は、「道路トンネル定期点検要領」に基づいた近接目視において、変状展開図に記載がある変状とした。評価は、ロボット技術による覆工展開画像にて該当する変状の存在を確認し、「判読可能な画像精度であるか」を判定することにより行った。また、判定は、「道路トンネル定期点検要領」における「5. 定期点検の体制」に示される「(1) 必要な資格要件」((1) 大学卒業後、5年以上のトンネルに関する実務経験を有するもの、(2) 短大・高専卒業後、8年以上のトンネルに関する実務経験を有するもの、(3) 高校卒業後、11年以上のトンネルに関する実務経験を有するもの、(4) 前項1)~3)と同等以上の能力を有すると道路トンネルの管理者が認めたもの)を満足する資格を有した3名により行うものとし。この3名が判読可能とした場合に評価することとした。

5. 検証技術と検証結果

「次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会トンネル維持管理部会」の審議を経て設定した上記の道路トンネル点検記録作成支援ロボット技術に対する要求性能に関し、開発者から申請のあった「変状写真の撮影」について、試行的導入の現場検証の際に得られた結果を用いてロボット技術の評価を行った。この試行的導入を行ったロボット技術は、H27年度の現場検証において、検証委員会より「I. 試行的導入に向けた検証を推奨する」と評価された表1の4技術である。

試行的導入を行った4技術全てにおいて、「圧ぎ、ひび割れ」、「うき、はく離」、「鋼材腐食」を表す変状箇所のチョーキングを全箇所識別できた。（表2）なお、当該4技術の要求性能（性能指標）に対する評価結果については、「次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会トンネル維持管理部会」の審議を経て、平成30年3月29日に「道路トンネル点検記録作成支援ロボット技術（変状写真の撮影）の評価結果を公表します」においても公表を行っている。

今後、当該4技術は、実用化される予定である。

表1. 評価対象技術

技術名	開発者	技術概要
走行型高速3Dトンネル点検システム MIMM-R (ミーム・アール)	パシフィックコンサルタンツ株式会社	取得した3D可視化情報を総合的に活用し健全性診断を支援することにより、トンネル点検全般の高度化、効率化、省力化、安全性向上、コスト削減を図れる。
走行型高精度画像計測システム (トンネルトレーサー)	中外テクノス株式会社	交通規制なしで撮影ができ、50km/hの速度では0.3mm以上のひび割れを検知する。交通規制内の低速撮影では画像は近接点検時と同等の解像感のある高精細な画像が得られ、覆工面の状態をより正確に記録することができる。
高精度トンネル覆工計測装置	西日本高速道路エンジニアリング 四国株式会社	覆工コンクリートのひび割れと、はく離の前兆である段差を検出し、コンクリート片がはく離する恐れのある箇所を非接触かつ定量的に検出する技術。
トンネル覆工コンクリート内部・表面調査システム	三井造船株式会社	マルチパスレーダによる計測データを覆工表面レーザ計測者による展開画像データと統合することで、トンネル覆工コンクリートの表面と内部状況を同時に把握し、総合的な判定・管理が可能となる。

表2. 検証結果

チェック項目の有無	変状種類	変状等箇所数				
		現行点検(基準)	中外テクノス	パシフィックコンサルタンツ	ネクスコエンジニアリング	三井造船
有り	圧ざ、ひび割れ	76	76 [100%]	76 [100%]	76 [100%]	76 [100%]
	うき、はく離	47	47 [100%]	47 [100%]	47 [100%]	47 [100%]
	鋼材腐食	未検証				
無し	漏水等	71	71 [100%]	71 [100%]	71 [100%]	71 [100%]
	計	196	196 [100%]	196 [100%]	196 [100%]	196 [100%]

1) 100%は判読可能率

## 6. 今後の方策

### (1) 後発類似技術の推進

「次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会トンネル維持管理部会」で評価された技術以外の技術について、平成30年7月19日に「道路ト

ンネル点検記録作成支援ロボット技術に関する評価指標を公表し、技術公募を行います！～新技術情報提供システム(NETIS)テーマ設定型(技術公募)の実施～」にて公表した道路トンネル点検記録作成支援ロボット技術評価指標(案)に基づき新技術活用システムの「テーマ設定型」による公募と検証を進めており、今回検証した4技術に続く技術を求めている。

### (2) 納品における覆工画像の活用に向けた検討

今年度からトンネル・橋梁の定期点検(各10件程度)において、従来点検の実施に合わせて、要求性能案に対する評価が高水準である点検記録作成支援ロボットの活用を点検受注者により実施し、3次元的に正確な位置情報を付した変状等の記録について3次元モデルを介して蓄積する試行を実施する。今後、AI等による変状検知機能を組み合わせ、「人手」で行っている点検記録写真の整理等についての代替を実現し、効率的な公物管理を目指す。

### (3) AI・ロボット等革新的技術のインフラ分野への導入

国交省ではロボットの導入を推進してきたが、今後は「人の作業」の支援のみならず、「人の判断」の支援が生産性の向上のカギであり、建設生産プロセス、維持管理、災害対応分野での人工知能(AI)の社会実装を目指している。このために、土木技術者の正しい判断を蓄積した「教師データ」を提供し、民間のAI開発を促進するとともに、技術開発成果を活用できる環境整備に取り組む。



図10. AI 施策概要

## 7. おわりに

部会委員並びに、関係者には大変なるご尽力を賜り心から感謝申し上げますところである。今後はAIの導入も踏まえた維持管理分野におけるロボット導入について、点検技術者が判断できる環境整備にも寄与できるように努めていきたい。