

次世代社会インフラ用ロボットの現場検証 ～道路トンネル点検支援ロボット技術の評価と導入について～

国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課
ひがしやまりょう おおつき たかし につた やすし
東山 遼 大槻 崇 新田 恭士

1. インフラ点検支援ロボットの現場検証について

わが国の社会インフラを巡っては、これまで国民の安全・安心と活力を支えてきた多くの施設で進行する老朽化、また、年々リスクの高まる大規模地震や頻発する風水害等の災害、一方、社会情勢としての人口減少・少子高齢化の進行といった重要かつ喫緊の課題に対し、近年のICT等を活用し、効率的・効果的な対応を可能とする技術を開発し、導入することが求められている。

それを実現するため、「日本再興戦略 改訂2014」（平成26年6月24日閣議決定）、「科学技術イノベーション総合戦略」（平成26年6月24日閣議決定）および「ロボット新戦略」（平成27年2月10日日本経済再生本部決定）、「未来投資戦略2017」（平成29年6月9日）においても、わが国の強みであるロボット技術の開発・導入を迅

速かつ集中的に進めていくことが求められている。

国土交通省および経済産業省は、平成25年7月16日「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、現場ニーズと技術シーズ等の検討を経て、同年12月25日に「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入重点分野」を5分野（橋梁維持管理、トンネル維持管理、水中維持管理、災害調査、応急復旧）策定し、今後取り組むべき事項を提示した。これを受け、国土交通省において「次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会」を設置し、分野ごとに専門部会を設けて、導入に向けた活動を進めている。

活動としては、重点分野に係るロボットについて、平成26、27年度の全国の直轄現場等における現場検証および評価を通じ、開発・改良を促進し、現場検証の結果を踏まえ、リクワイアメント（要求性能）を策定し、有用な技術は平成30年度以降の本格導入を目指し取り組んでいるところである（図-1）。

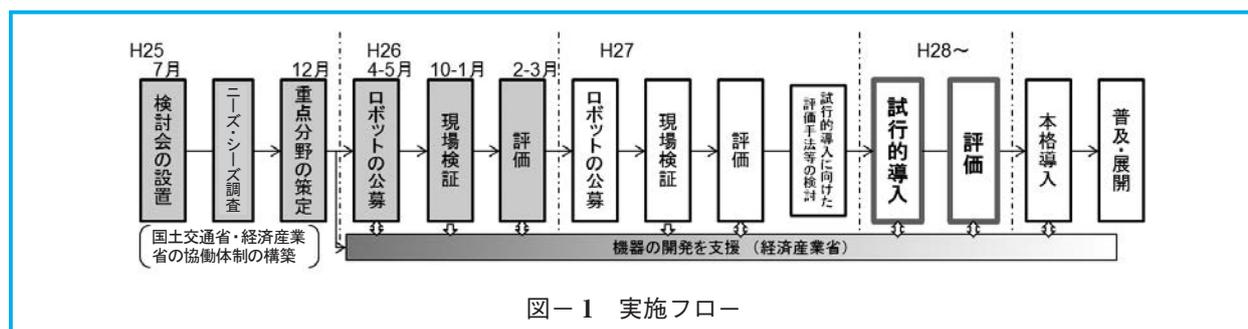


図-1 実施フロー

加えて、平成29年度より、点検ロボット等の現場活用を迅速化するため、現場検証に認定された技術に類似する技術（後発類似技術）においては「NETIS テーマ設定型」を活用し、試行結果に基づく技術の評価認定の試行に取り組んでいる（図-2）。

トンネル点検ロボットについては、①トンネルにおいて、覆工、坑門等に発生した変状（ひび割れ、うき、はく離、はく落、変形、漏水など）の全てまたは一部に対して近接目視の支援ができる技術・システム、②トンネルにおいて、覆工、坑門等に発生した変状（うき、はく離、はく落、打継目の目地切れなど）の全てまたは一部に対して、打音検査の支援ができる技術・システム、③トンネルにおいて、点検者を点検箇所近づけて移動できる技術・システムを公募し、21技術（平成26年度：8技術、平成27年度：13技術）について現場検証を実施した（図-3、4）。

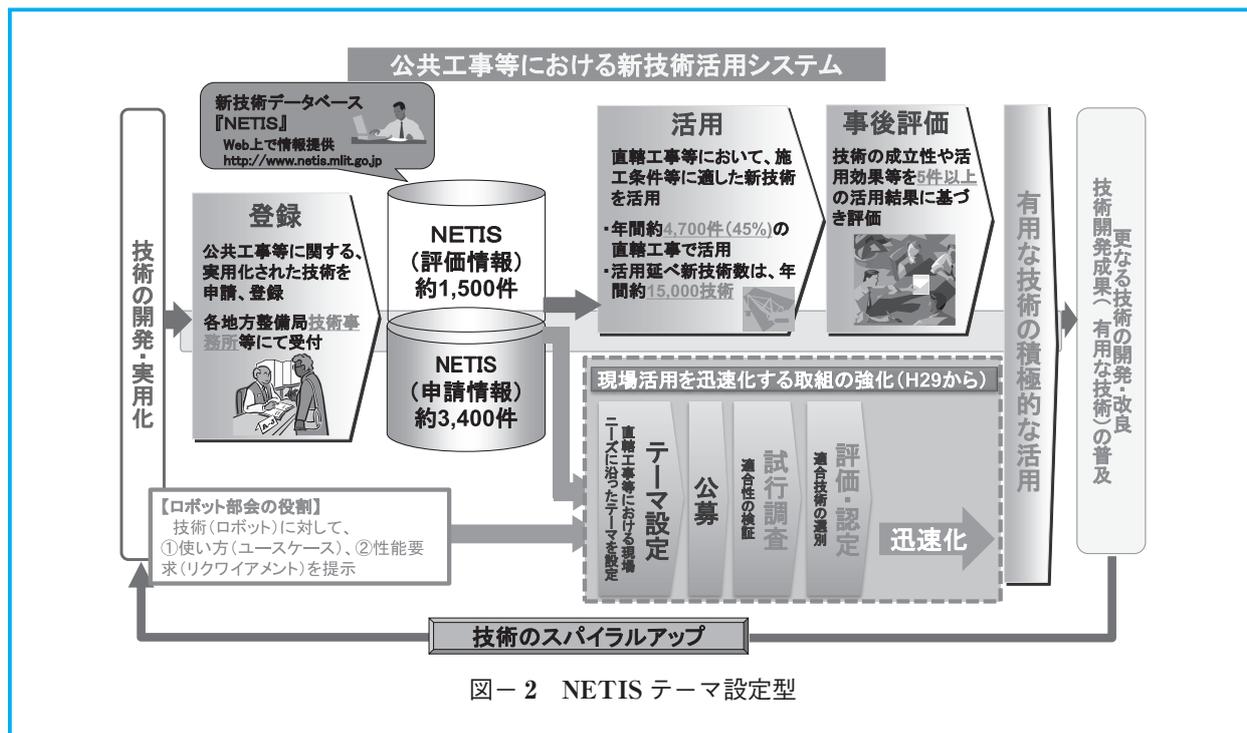
その後、平成27年度の現場検証において試行的導入が推奨された技術を対象に、試行的導入を実施し、その評価結果を公表している。

2. トンネル点検支援ロボットの導入により期待される効果

トンネル点検ロボットは、道路トンネル定期点検要領（平成26年6月）（以下、「点検要領」という。）に基づき、実施される点検での活用を前提としている。定期点検の方法は、点検要領において近接目視により行うことを基本とし、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こととしている。ここでの近接目視とは、肉眼により部材の変状等の状態を把握し、評価が行える距離まで接近して目視を行うことを想定している。

また、点検要領に記載の「6. 定期点検の方法」において、「今後、調査技術者が近接目視によって行う評価と同等の評価が行えると判断できる新技術が開発された場合は、新技術の併用を妨げるものではない」としている。

今回、トンネル点検ロボットの検証では、過去2カ年にわたり実施した現場検証の結果を踏まえ、現時点の技術水準においては、ロボットを点検記録作成に用いることを想定している（図-5）。具体的には、調査技術者が近接目視、打音検





図一 3 現場検証例：走行型高速 3D トンネル点検システム MIMM-R (ミーム・アール)
 【開発者：パシフィックコンサルタンツ株式会社, 共同開発者：計測検査株式会社, iシステムリサーチ株式会社, 株式会社ウォールナット】



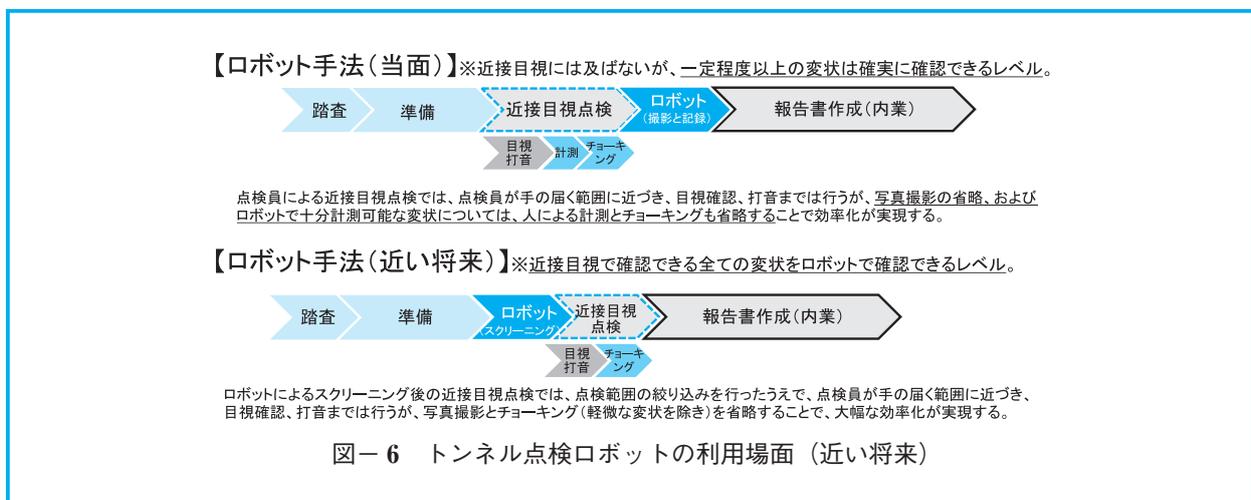
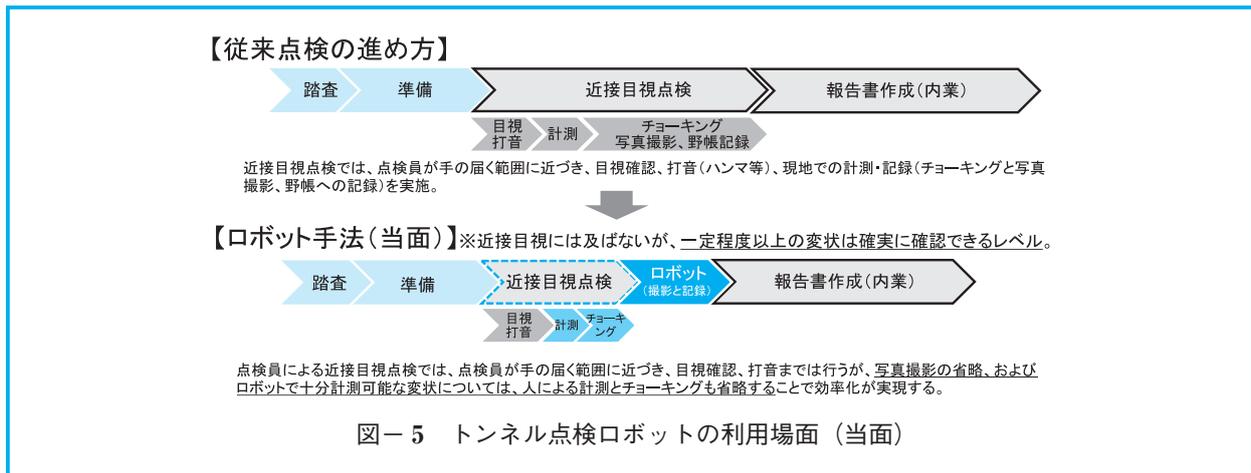
図一 4 トンネル点検ロボットにより取得した展開画像 (画像：中外テクノス (現場検証 2016))

査, 触診による点検を実施したのち, ロボットを用いて記録作成を行うものである。

近接目視では, 調査技術者がトンネル点検車等を用いて, 肉眼により部材の変状等の状態を把握し評価できる距離まで接近し, ひび割れ, うき, はく離, 漏水の状況等を観察する。ひび割れについては, 必要に応じてその位置, 長さ, 幅, 段差等をクラックスケール等により計測することとしている。また, 打音検査にあたっては, 変状が確認された箇所, 対策工が施されている箇所およびその周辺, 水平打継ぎ目・横断目地部等に対して

打音することが基本とされている。点検ロボットは, チョーキングを含め, 調査技術者の点検終了後に覆工表面の画像取得に用いることとした。

近い将来, ロボットの性能が近接目視によって行う評価と同等の評価が行えると判断された場合は, ロボットをスクリーニングに使用することが期待される。これは, 調査技術者による点検に先立ち, ロボットでトンネルの変状展開画像を取得し, 近接目視, 打音検査, 触診が必要な箇所を絞り込むことで, 点検を効率的にするものである (図一 6)。



3. リクワイアメントとユースケースについて

前述のとおり、トンネル点検作業の効率化を目的として、今回の試行検証においては、ロボットを点検記録作成の支援に活用するユースケース(利用場面)を想定した。

ロボットを点検記録の作成支援に用いることを前提に、リクワイアメント(要求性能)の設定は、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)において性能評価項目として、点検要領や現在の実施状況を踏まえ、「精度」、「効率性」、「経済性」を検討している(図-7)。

特に「精度」に関しては、調査技術者が近接目視等で把握した変状等を、ロボットにより正確に

記録することを求めるものであり、近接目視等により把握された変状の全てについてロボットが記録した変状展開画像から判読可能であることが必要とされる。

(A-1)のレベル1において、ひび割れ幅3mm以下のクラックについては、チョーキングを判読できれば良いとするユースケースを設定している。(A-1)のレベル2において全ての変状をチョーキングなしで記録できるとするユースケースを設定しており、点検時のチョーキングが不要となり省力化が実現する。

「効率性」、「経済性」については、点検時におけるスケッチ作業の省略が可能となり、点検作業員および現場点検時間の削減が期待される。

今後、さらなる技術の向上と開発が促進され、トンネル点検作業のさらなる精度向上および効率性向上に寄与するユースケースへと発展するため

| 評価項目 | | | |
|------|-----|------------|--|
| 精度 | A-1 | 覆工展開画像の記録 | 点検員が当該技術により取得した覆工展開画像を見て、別紙に定義する画像の判読精度(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。 |
| | A-2 | 写真台帳の自動整理 | 変状写真台帳に写真番号、変状部位(対象箇所、部位区分)、変状種類を自動で整理できる機能を有する。 |
| | A-3 | 変状展開図の作成支援 | 当該技術により取得した覆工展開画像に基づき、変状展開図を自動作成することができる。 |
| 効率性 | B-1 | 規制時間の短縮 | 当該技術を導入したことによる現場規制時間の短縮 |
| 経済性 | C-1 | コスト(外業) | 当該技術を導入したことによる従来技術とのコスト比率(外業) |
| | C-2 | コスト(内業) | 当該技術を導入したことによる従来技術とのコスト比率(内業) |
| | C-3 | コスト(外業+内業) | 当該技術を導入したことによる従来技術とのコスト比率(外業+内業) |

画像にある変状の判読は人が行う【第一のステップ】

↓

判読の自動化【次のステップ】

共通の評価項目

図-7 リクワイアメント(要求性能)のイメージ

に、点検記録作成の自動化に資する導入ロボットを示し各導入ステップにおいて、達成すべきリクワイアメントを以下に示す。

(1) 現 状

点検員等が近接目視・打音検査等を行い、変状箇所等をトンネル壁面にチョーキング。チョーキングを基に点検員が変状記録をスケッチ。点検員等がスケッチ記録を利用して変状展開図を作成(図-8)。

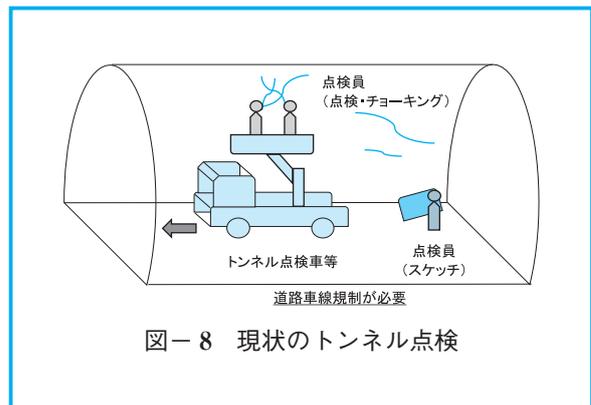
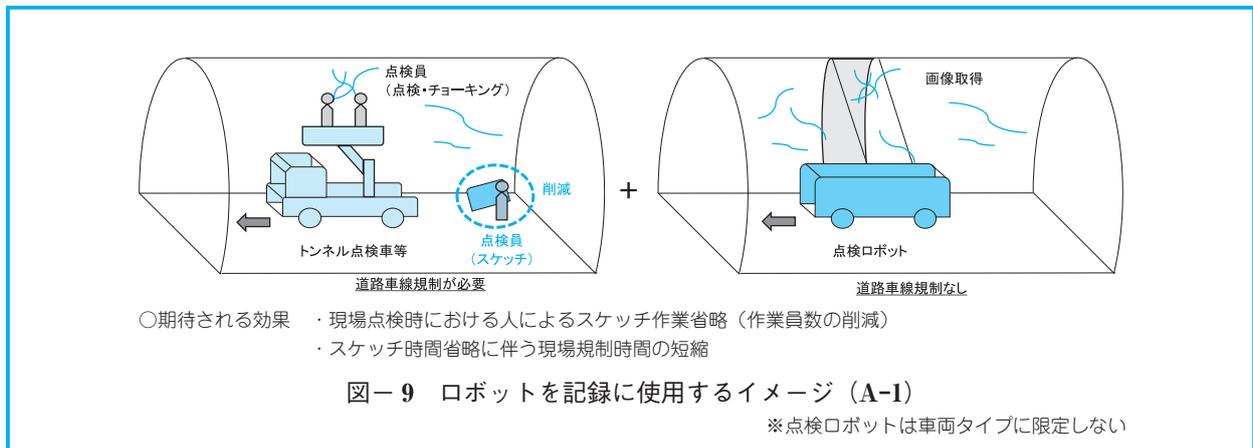


図-8 現状のトンネル点検

(2) 点検後の記録に使用 (A-1)

近接目視点検により、点検員等がトンネル壁面に残したチョーキング記録と変状発生状況につい

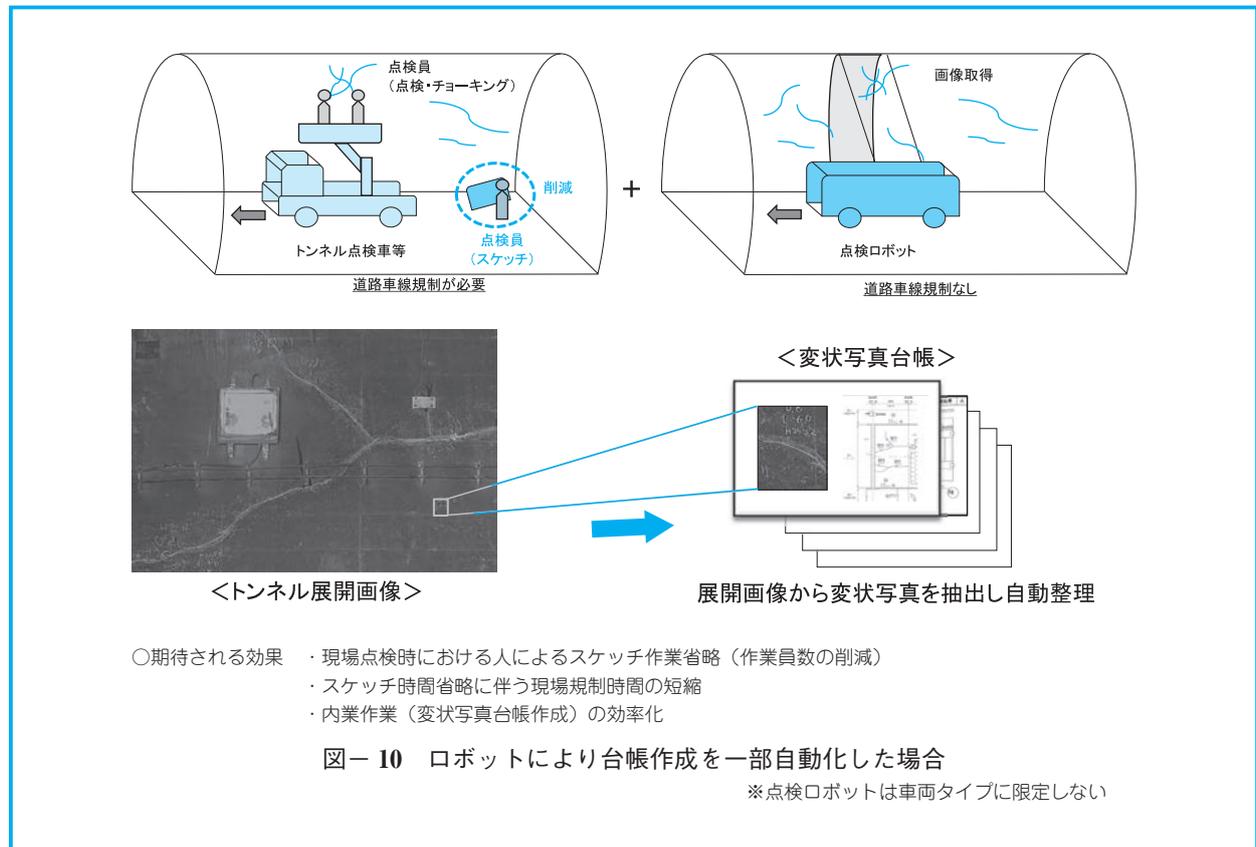
て、ロボットによる計測を実施し、覆工展開画像を作成。点検員等がロボットの取得した展開画像を利用して変状展開図を作成(図-9)。



(3) 台帳作成の一部自動化 (A-1 および A-2)

従来点検により、点検員等がトンネル壁面に残したチョーキング記録と変状発生状況について、ロボットによる計測を実施し、覆工展開画像（高

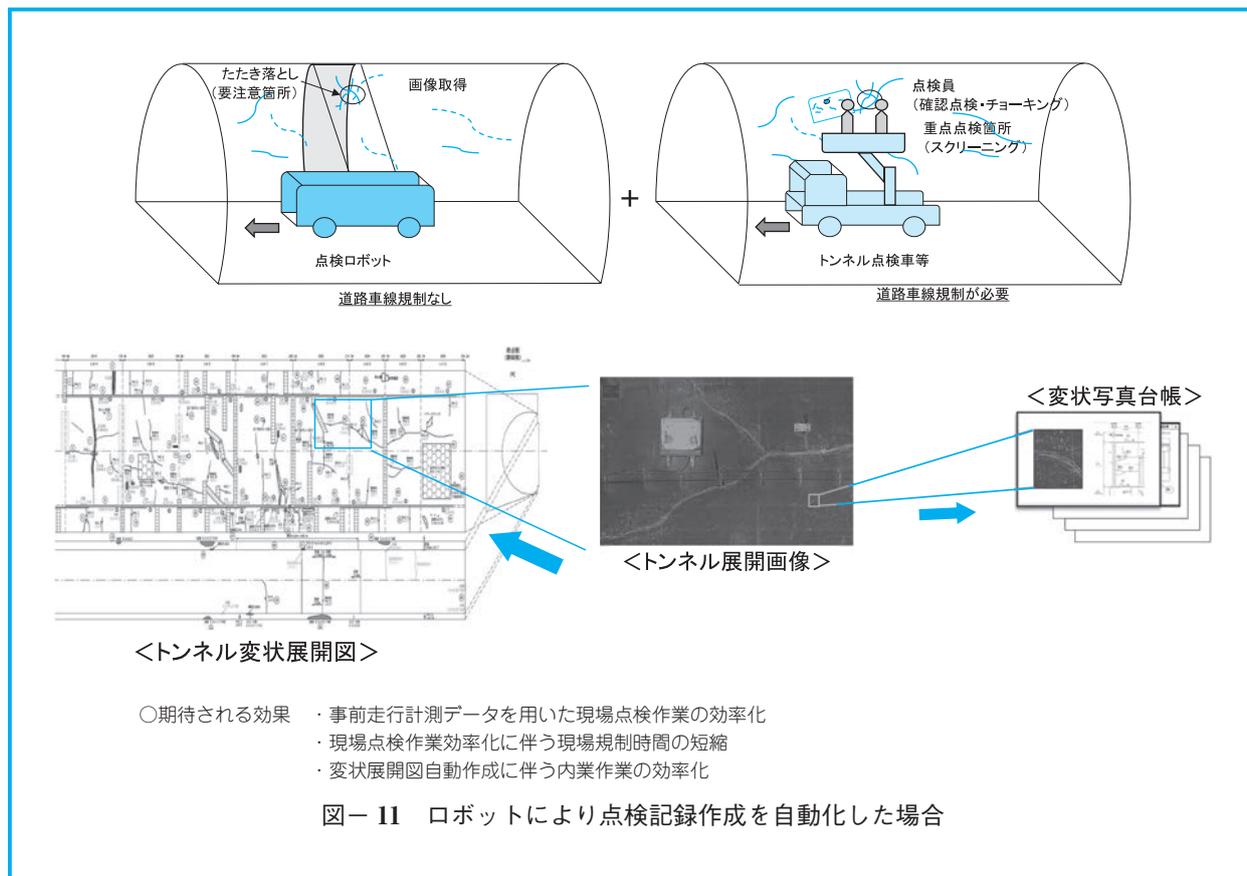
精度）を作成。点検員等がロボットの取得した展開画像を利用して変状展開図を作成するとともに、展開画像を用いて変状写真台帳を自動作成（図-10）。



(4) 点検記録作成を自動化 (A-1, A-2 および A-3)

従来点検実施前に、ロボットによる計測を実施。覆工展開画像（高精度）を基に変状展開図を

自動作成。点検員等がロボットの取得した展開画像および変状展開図を利用した現場点検作業を実施。点検結果を踏まえて変状展開図の修正等を実施（図-11）。



4. おわりに

次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会で設定検討されたユースケースにおける検証と評価を行った後は、「1. インフラ点検支援ロボットの現場検証について」で記載のとおり、引き続き

NETIS テーマ設定技術公募と評価を行っていくこととしている。これにより、技術の導入が進み、効率的かつ効果的な点検にさらなる技術の発展を期待している。

また、当該検証に応募いただいた開発企業の技術者をはじめ、検証に協力いただいた検証委員会委員および現場提供に協力をいただいた方々など検証への支援に感謝するものである。