

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

寺戸 秀和¹・新田 恭士²・加藤 剛³・安井 成豊⁴・増 竜郎⁵

¹正会員 一般社団法人日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第一部
(〒417-0801静岡県富士市大淵3154番地)
E-mail:terato@cmi.or.jp

²国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課 (〒100-8918東京都千代田区霞が関2-1-3)
E-mail:nitta-y92qx@mlit.go.jp

³一般社団法人日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第一部
(〒417-0801静岡県富士市大淵3154番地) (研究当時)
E-mail:katoht@cmi.or.jp

⁴正会員 一般社団法人日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第一部
(〒417-0801静岡県富士市大淵3154番地)
E-mail:yasui@cmi.or.jp

⁵国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課 (〒100-8918東京都千代田区霞が関2-1-3) (研究当時)
E-mail:masu-t8310@mlit.go.jp

本報告では，道路トンネルの定期点検にロボットを利用するための方法と評価方法を提案し，その評価結果について述べる．

ロボットを利用する方法としては，現行の人力による近接目視作業における労力の軽減を主目的とし，人力による点検作業前にロボットによる計測を実施する方法（シナリオ1）と，人力による点検作業後にロボットによる計測を実施する方法（シナリオ2）の2方法を提案した．また，これらの効果を検証するために，実際の点検現場で実施した「現場検証」と，供試体を使用した「要素検証」を行った．検証結果の評価は，現場への導入を念頭におき，点検作業の効率性の向上効果，ロボットの計測精度，ロボットによる計測時の安全性に着目して行った．

上記の結果にもとづき，現行の点検作業とロボットを導入することによる効果を整理し，今後の課題についてとりまとめる．

Key Words : tunnel inspection, road tunnel, robot, evaluation method, verification

1. はじめに

道路に関する一般法である「道路法」の第42条では，“道路の維持または修繕”について定められている．これを解釈，遵守するために，“道路法施行令”，「道路法施行規則」，「トンネル等の健全性の診断結果の分類に関する告示」がある．この枠組みの中で，道路トンネルについては国が定める基準により，5年に1回の頻度で近接目視によって点検を行うことが定められている．これを受けて国土交通省では，2014年6月に「道路トンネル定期点検要領」¹⁾（以下，要領という）を発出した．現在の道路トンネルの定期点検は，この要領に従って行

われている．

要領には，トンネルの点検は近接目視と打音検査によることを基本とすることが記載されている．ただし，これらは人力による作業が中心となり，苦渋作業を伴うことも少なくない．

このような中，国土交通省および経済産業省では，社会インフラの維持管理と災害対応を効率的，効果的に行うことを目的として，平成25年7月16日に「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ことを検討している．この取り組みでは，道路トンネルの点検作業も対象としており，国土交通省では一昨年およ

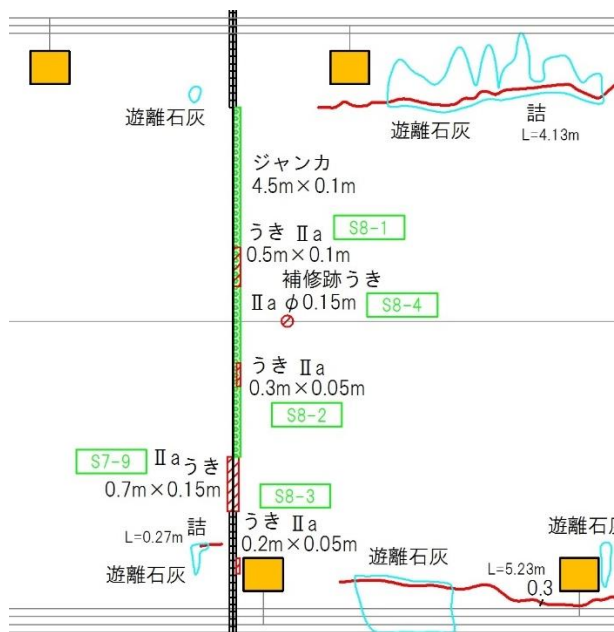


図-1 変状展開図の一例

び昨年の2箇年にわたり、トンネル点検を対象としたロボットに対して現場検証を実施した。

本報告は、上記の取組みの中で実施した各種の検証、および評価の方法について述べることで、今後のトンネル点検用ロボットの開発における着眼点の明確化や開発目標の設定に資することを目的としている。本報告では、まず、ロボットを現行の点検作業に利用するための方法と、その効果の検証方法を提案する。続いて、提案した方法について、実際の点検作業での効果を評価するために実施した現場検証と要素検証の方法ならびにその結果について報告し、考察を加える。終わりに、本報告で得られた結果をとりまとめるとともに、今後取り組むべき課題を整理する。

2. 点検作業と点検用ロボットについて

(1) 点検作業

5年に1回の頻度で行われる道路トンネルの定期点検では、要領に記載された近接目視、打音検査、触診による点検が行われる。また、その結果は、手書きのスケッチにより記録され、そのスケッチをもとにトンネル変状状況を図示する変状展開図が作成されるのが一般的である。図-1に変状展開図の一例を示す。

これら一連の点検方法の概要を表-1にとりまとめる。これらの作業は、変状展開図の作成を含めて基本的には人力による手作業であることから、将来的にはロボットを利用した点検作業の効率化は重要であると考え。なお、以降においては、本手法による点検を“現行点検”

表-1 点検作業の方法の概要

点検作業	方法の概要
近接目視 ¹⁾	点検者が覆工表面等の点検箇所にトンネル点検車（トンネル点検用の高所作業車）を用い、肉眼により部材の変状等の状態を把握して評価が行える距離まで接近し、ひびわれ、うき、はく落、漏水の状況、トンネル内付属物の取付状態を観察する行為をいう。
打音検査 ¹⁾	頭部重量 100～300 g 程度の点検ハンマーを用いて覆工表面を打診し、うきやはく離の有無とその範囲を確認する。また、付属物を取り付けるボルト、ナット等を打診し、緩み等の異常の有無を確認する行為をいう。
触診 ¹⁾	トンネル内付属物の取付状態等について、トンネル点検車等を用いて点検対象物に接近し、直接手で触れて固定状況や損傷の有無を確認する行為をいう。
スケッチ	近接目視等の結果は、トンネル壁面等にチョークにて記録される（チョーキングという）。このチョーキングの結果を手書きによって紙面に記入する作業をスケッチという。スケッチは人による遠望目視と手書きによる作業であるため、チョーキングの見落としやスケッチのずれ等が生じる可能性がある。
変状展開図作成	スケッチによって記録した手書き図をもとに、CAD 等で変状展開図を作成する。変状展開図は、トンネルの変状状況を概括して捉えることができるため、重要な出力結果のひとつである。

と称する。

(2) 点検用ロボット

トンネルの点検は、上述のように近接目視や打音検査等のように、人による作業を基本とすることが要領に示されている。このため、トンネル点検にロボットを導入する際に課題となるのは、“ロボットによる点検は、人による点検と同程度以上の品質が確保できるか？”という点である。現在でも様々なロボット開発が進められており、様々な高精度の点検技術が開発されている²⁾。しかしながら、人による点検では表-1に示すような複雑な作業を並行して行っており、また、はく落しそうなものは点検作業時にたたき落とすという作業も行っている。これら一連の作業をロボットによって完全に代替することは、現時点では困難であろう。そこで、本研究では、ロボットと人を組み合わせて点検することで、互いの長所を活用し、点検を安全かつ効率的に進めるための検証を

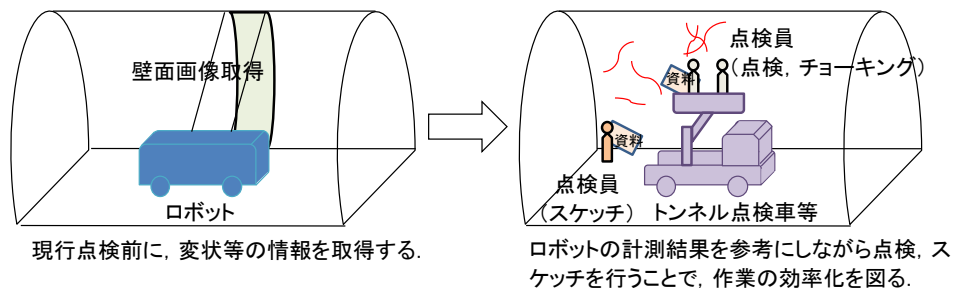


図-2 シナリオ1の模式図

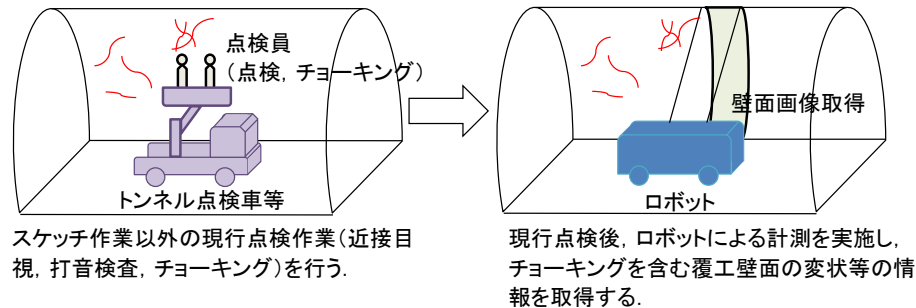


図-3 シナリオ2の模式図

表-2 応募されたロボット技術の概要

技術分類	技術の概要
車両型壁面撮影技術	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

行うこととした。

上記を踏まえ、1. で述べた「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」の現場検証では、「近接目視」および「打音検査」を支援するためのロボットを公募した。この結果、一昨年度は8技術、昨年度は13技術を対象に現場検証を行った。公募された技術は様々であるが、大別すると表-2のようになる。本報告では同表のうち、車両型壁面撮影技術を対象として、その利用法ならびに検証、評価の方法を述べる。

3. ロボットの利用法の提案と効果の検証方法

前章で述べたように、ロボットのみによる点検では人による点検を代替することは困難と考えられることを踏まえ、本研究では実際の点検作業においてロボットを利用するためのシナリオを設定することとした。これによ

り、ロボットの利用者とロボット開発者の双方にイメージの共有を図るとともに、人間とロボットのそれぞれの作業の相互補完が期待できる。

以下に、本研究で設定した2種類のシナリオと、その効果を確認するための検証方法の概要を述べる。

(1) シナリオ1

シナリオ1は、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）の点検時間の短縮を目指すものである。図-2にシナリオ1の模式図を示す。

(2) シナリオ2

シナリオ2は、現行点検による近接目視、打音検査、チョーキングが終了した状態でロボットによる計測を行い、変状展開図等を作成する。これによりスケッチ作業を省略し、点検作業の効率化を目指すものである。図-3にシナリオ2の模式図を示す。

(3) 検証方法の概要

上述のシナリオに従った点検を実施することで、どの程度の現行点検の効率化が可能となるかを検証、評価する。検証、評価は、実物のトンネルを利用した現場検証により行った。現場検証で利用したトンネルは、神奈川

表-3 評価の考え方

シナリオ	検証項目	評価区分	評価方法
シナリオ1	効率性	定量的評価	・ロボットによる計測結果を参照することで、点検が効率的になったかを作業時間、作業人員を調査することにより評価
		定性的評価	・ロボットによる計測結果を参照することで、点検作業が効率的に行えたかを点検者が評価
	精 度	定量的評価	・ロボットによる計測から求めた変状と、通常の点検手法により求めた変状を比較し、誤検出、未検出の量を評価 ・模擬供試体を利用し、ひびわれおよび打音異常位置の取得精度を評価
	安全性	定性的評価	・通行車両、歩行者ならびに点検作業員への影響（危険性、身体への影響、驚き）について、ロボットによる作業状況およびヒアリングにより評価
シナリオ2	効率性	定量的評価	・点検時のスケッチ時間を計測し、その時間が省略されたとした作業時間短縮による評価 ・ロボットでのスケッチによって車線規制時間が短縮されることによる評価
	精 度	定量的評価	・通常の方法による変状展開図とロボットによる変状展開図を比較することにより正確性を評価
	安全性	定性的評価	・通行車両、歩行者ならびに点検作業員への影響（危険性、身体への影響、驚き）について、ロボットによる作業状況およびヒアリングにより評価

県相模原市に位置する韮尾根トンネル（延長：615m）である。同トンネルは、供用中の2車線道路トンネルであるが、午後7時～翌午前7時までの夜間は通行止めとなる。現場検証では、この通行止めの時間帯を利用し、実際の点検作業を模擬的に行うことで検証を実施した。

本現場検証の主目的は、各ロボットを点検の実現場へ導入することによる効率性の向上効果を評価するとともに、ロボットが実際の点検業務へ適用可能であるかを確認することにある。そこで、以下の点に着眼して検証を行い、その結果から実際の点検業務への適用性について評価することとした。

- 1) 効率性：ロボットを利用することで、現行点検の作業人員や作業時間が軽減し、点検が効率的になることについて評価する。
- 2) 精 度：ロボットを利用することで、誤りの少ない高い精度の点検結果が得られることについて評価する。
- 3) 安全性：車線規制下での作業となることから、点検作業員のみならず、トンネル通行車両や歩行者への安全が確保されているかを評価する。

上記のうち、効率性、精度については定量的な評価（一部、定性的な評価を含む）を行い、安全性については定性的な評価を行うこととした。表-3に各評価の考え方をとりまとめる。

なお、精度については、種々のひびわれ幅を模擬した供試体（以下、供試体という）による要素検証を補助的



写真-1 ひびわれ模擬供試体の外観

に行った。これは、現場検証では様々なひびわれ幅に対する精度検証が行えないことに対応するためである。供試体は、15cm×15cmのモルタル板を複数製作し、そのモルタル板に幅が0.1mm～3.0mmのひびわれを設けてパネルに取り付けたものである。ひびわれは、1つのモルタル板に1種類の幅のひびわれを設けることとし、ひびわれのないモルタル板も混在させて供試体とした。供試体の外観を写真-1に示す。

4. シナリオ1に対する検証、評価方法

図-4にシナリオ1を対象とした検証フローを示し、以

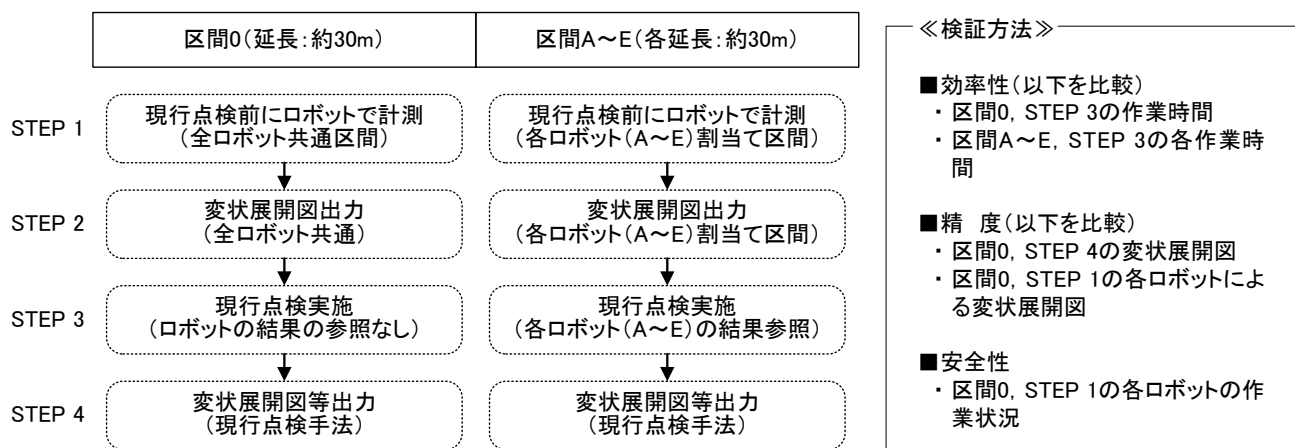


図-4 シナリオ1の検証フロー

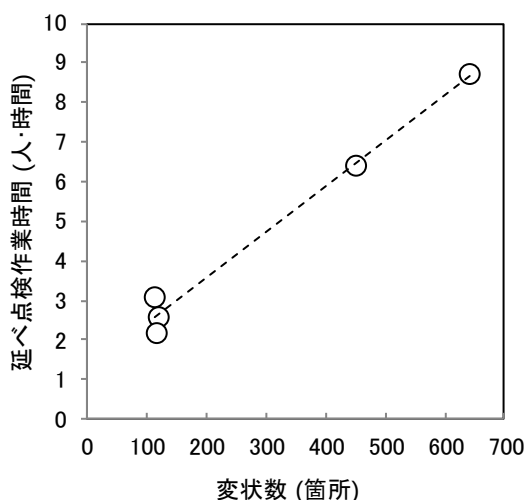


図-5 変状数と点検時間の関係

安全性について、以下に詳述する。

(1) 効率性の検証, 評価方法

a) 定量的評価

作業効率については、各ロボットの成果を利用することによる現行点検の作業時間の短縮効果を評価する。ここでは、図-4に示すように区間0での現行点検時間（ロボットの結果を参照しない現行点検）と、区間A～Eでの各々の現行点検時間（ロボットの結果を参照しながら行う現行点検）の作業時間を比較する。ここで、ロボットごとに異なる検証区間を設定したのは、現行点検では覆工表面にチョーキングを行うため、同一区間で複数のロボットの検証を行うためには、検証実施の都度チョーキングを消去する必要があるため現実的ではないことを考慮したためである。

ここで、注意を要するのは、区間A～Eの各検証区間において変状の量や種類が異なるという点である。変状の量や種類が多ければ点検に要する時間も長くなるため、検証区間が異なる場合、直接的な比較は行えない。そこで、点検時間を補正するために、別途実施したトンネル点検作業に対する調査結果から得た変状の数と点検時間（人、時間）の関係（図-5）を用いて作業時間の補正を行うこととした。同図に示すように、変状数と点検時間はおおむね比例関係にある。この関係を利用し、区間A～Eの変状数と区間0の変状数の比率を求め、それぞれに対応する延べ点検作業時間を図-5から求める。この結果、区間0を1とした場合の区間A～Eの点検時間が得ることができる。これを区間A～Eのロボットを参照にしながら実施した現行点検時間に乗じることで、各区間の作業時間の正規化を試みた。

上記により求めた作業効率の評価結果を図-6に示す。同図によると、ロボットの結果を利用した区間A～Eの現行点検作業時間がロボットの結果を利用しない区間0

下に現場検証の手順を述べる。

- 1) 各ロボット共通の検証区間（区間0, 延長：約30m）と、各ロボット（ロボットA～E）独自の検証区間（区間A～E, 各延長：約30m）について現行点検前の計測を実施する。また、上記以外の区間に供試体を設置する。
- 2) 区間0および供試体については全ロボット、区間A～Eについては各ロボットの割当て区間についてロボットの計測結果による変状展開図を出力する。
- 3) 区間0および区間A～Eについて現行点検を行う。区間0については、ロボットの計測結果を参照にしない通常の現行点検により行い、区間A～Eについては、それぞれの区間で各ロボットによる変状展開図を参考にしながら現行点検を実施する。
- 4) 区間0および区間A～Eについて、3)の現行点検結果をもとに、変状展開図を作成する。

上記の現場検証結果にもとづき評価した効率性、精度、

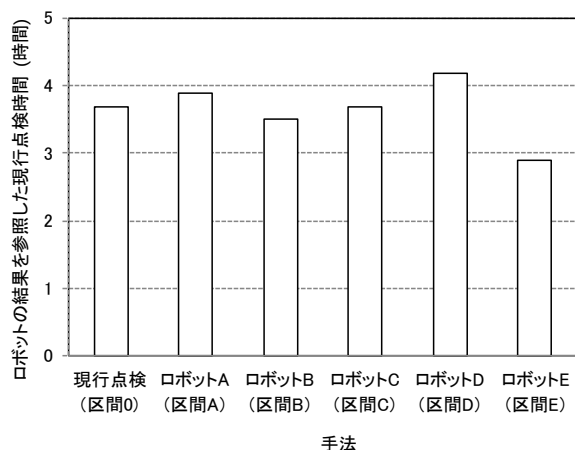


図-6 シナリオ1の効率性の検証結果

の現行点検作業時間を上回っており、シナリオ1で想定した作業効率の向上効果が得られていないものがある。この原因としては、点検者がロボットによる出力結果を参考にしながら点検するという方法を経験しておらず、効果的な利用が行えなかったことが考えられる。今後は、ロボットによる計測結果の利用方法（たとえば、ロボットの結果を利用した場合はチョーキングが一部省力できる等の方法）について、さらに検討および検証を深める必要があると考えている。

b) 定性的評価

ロボットによる計測結果を利用することで、現行点検が効率的に行えたかを評価するために、ロボットの結果を利用することの効果について、点検を実施した技術者に対して所感をヒアリングした。なお、本報告では、検証の方法と考え方について述べることを目的としており、個々のロボットに対する評価については言及しない。したがってここでは、全体的な所感のみを以下にとりまとめることとする。

- ・ 目地部等のうきに対する検出の可否は、ロボットにより得た画像から変状を検出する検出者の経験、力量に依存するようである
- ・ 析出物で充填されたひびわれを、開口ひびわれとして検出されているものが多い。
- ・ 型枠板等の跡をひびわれとして検出しているものも多い。
- ・ 運用方法としては、事前に画像を取るなどして、着眼点を絞り、見落としを極力なくすのに役立てることが考えられる。

(2) 精度の検証、評価方法

図-4に示す区間0のSTEP 4で得た現行点検の変状展開図と、区間0のSTEP 1で得た各ロボットの計測結果のみ

表-4 変状展開図に記載された変状種類と変状数

		現行 点検	ロボット				
			A	B	C	D	E
変状種類と変状数	ひびわれ	41	27	34	19	28	27
	うき	27	11	8	0	13	0
	コールド ジョイント	1	0	0	0	0	0
	豆板	3	0	1	0	3	0
	段差	1	0	0	0	0	0
	鉄筋露出	1	0	0	0	1	0
	導水工劣化	4	0	0	0	0	0
	遊離石灰	52	50	51	42	48	30
	漏水	31	28	18	12	10	17
	全変状	161	116	112	73	103	74
変状検出率(%)		—	72.0	69.6	45.3	64.0	46.0

から得た変状展開図を比較することで、シナリオ1の精度検証を行う。また、供試体についても同様の手法により検証を行う。

ここでの精度検証の目的は、ロボットを利用することで、高い精度の点検結果が得られることについて評価することと、ロボットによる計測結果に誤りが少ないかどうかを確認することにある。これは、ロボットによる計測結果の精度、すなわち変状展開図の精度が低いと現行点検の参考資料として有効に利用できず、現行点検の効率化は見込めないと考えたためである。

a) 変状展開図による評価

評価にあたっては、現行点検による変状展開図を真値とし、それに対して各ロボットの計測結果のみによる変状展開図がどの程度適合しているかにより評価した。なお、現行点検は同一の区間を異なる点検者により2回実施し、変状の検出漏れや誤検出を可能な限り排除した。スケッチについては、人によるスケッチに代えて覆工全面を写真撮影し、その結果にもとづいた変状展開図を作成することでスケッチによるずれ等を極力排除した。ここで、適合の度合いの考え方は以下によるものとした。

- ・ ひびわれについては、幅の合致は考慮せず、ある程度パターンとして検出している場合（1本のひびわれとして検出されていない場合でも、部分的に検出されて全体としてひびわれの形状が判断できる場合を含む）を正解とする。
- ・ そのほかの変状については、変状の種別、位置、範囲が合致している場合を正解とする。

上記の手順によって得た現行点検とロボットによって検出した変状の一覧を表-4に示す。また、同表の最下段に示した各ロボットにおける適合度（現行点検によって

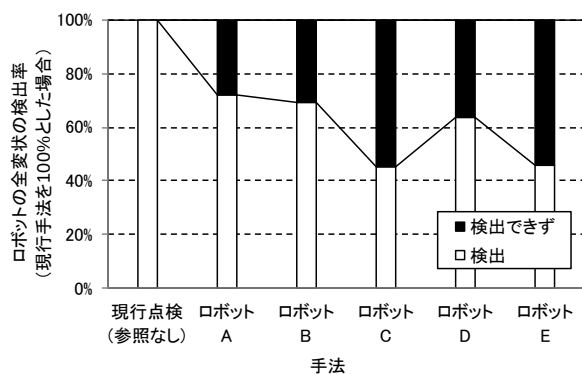


図-7 シナリオ1の精度の検証結果

求めた変状に対する各ロボットの正解率)を図-7に示す。同図では、左端に現行点検の結果(真値)を示し、ロボットによる適合度を比較している。同図から、変状の適合度は現行点検の50%~70%程度であることが分かり、このことからロボットによる現行点検の完全な代替は、現状では困難であることが読み取れる。

b) 供試体による評価

供試体に設けた各種ひびわれについて、ひびわれ幅の検出率を図-8のように求めた。同図には、全ひびわれ幅に対する検出率、ならびに各ひびわれ幅に対する検出率を示している。同図に示すように、ひびわれ幅が0.3mm未満のものは検出率が0から90%程度までばらついていて、総じて検出率は低い傾向にある。一方、幅が0.3mm以上のものはおおむね80%以上の検出率となっている。

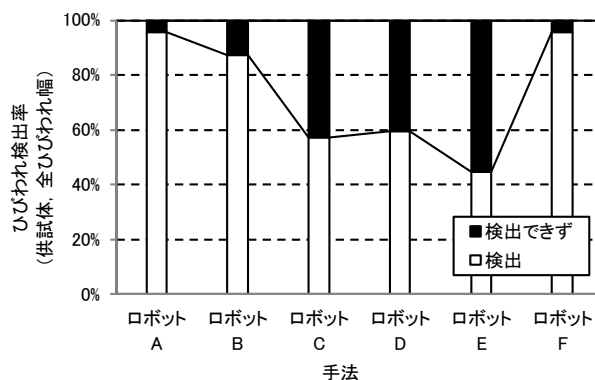
ここで確認できるのは各ロボットのひびわれの検出精度のみであるが、この現状を踏まえてシナリオ1を改良することも考えられる。たとえば、現行点検前のロボットによる計測は、検出精度の高い0.3mm幅以上のひびわれのみを検出する。続いて行う現行点検では、0.3mm幅以上のひびわれはその有無を確認するのみとし、0.3mmよりも幅が小さいものの計測とチョーキングを実施することで、点検作業が効率的になる可能性も考えられる。

(3) 安全性の検証、評価方法

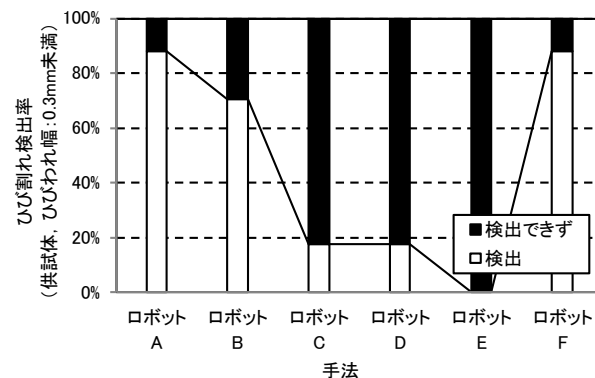
安全性は、以下の点に着眼し、現場検証の実施状況により確認した。

- ・ロボットによる作業時に、通行車両、歩行者ならびに点検作業員へ衝突等の危険が及ばないか。
- ・ロボットによる作業時に、車両運転者、歩行者ならびに点検作業員の身体に影響(被曝等)を及ぼすものを発しないか。
- ・ロボットによる作業時に、車両運転者、歩行者ならびに点検作業員が驚くことはないか。

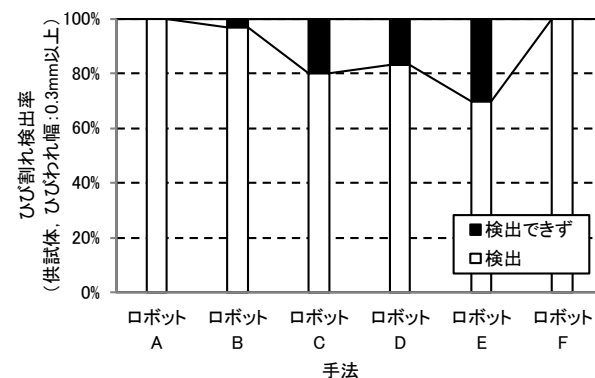
ここで、身体への影響については現場検証では評価が



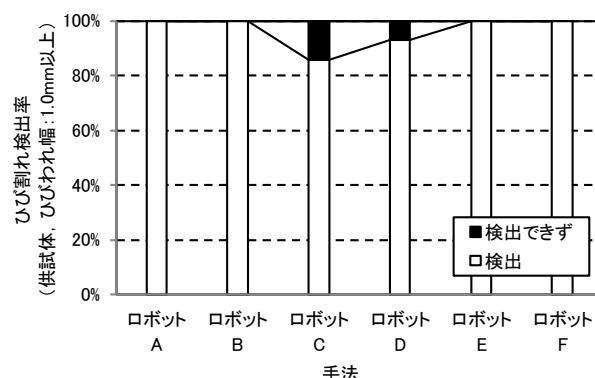
(a) 全ひびわれ幅



(b) ひびわれ幅0.3mm未満



(c) ひびわれ幅0.3mm以上



(d) ひびわれ幅1.0mm以上

図-8 供試体を用いた精度の検証結果

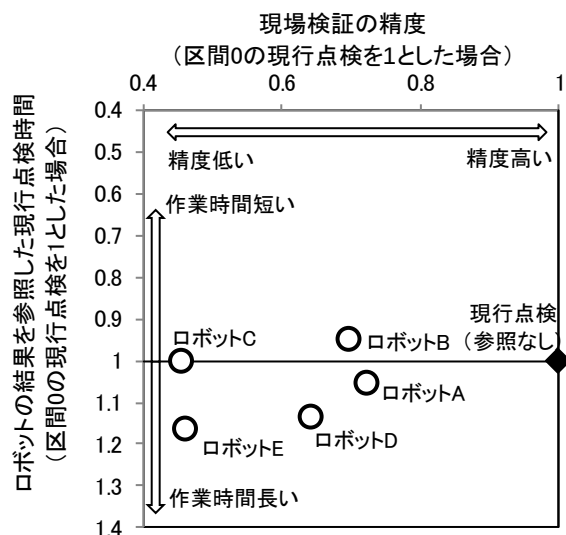


図-9 シナリオ1に対する効率性と精度の検証結果

困難なため、開発者へのヒアリングにより評価することとした。今回の現場検証では、投光器使用による車両運転者、歩行者への眩惑対策が必要と判断した技術があったものの、設備の改良や作業方法等の改善による対策が可能であり、根本的に安全性が問題となる技術は見られなかった。

(4) シナリオ1に対する評価結果

上述の結果をもとに、各ロボットの効率性と精度を2軸上の分布図として表したものが図-9である。なお、精度については、区間0の変状展開図による検証結果（図-7）を示しており、図-8のひびわれ供試体による検証結果は加味していない。これは、区間0における現行点検との比較を目的としたことによる。

今回の検証結果からは、サンプル数が少ないこともあり、効率性と精度に明確な関係は見いだせないが、今後、同様の手法でサンプルを加えることで何らかの関係性を得ることが期待できる。その結果、ある効率性を確保するために必要な精度を把握することでロボットの開発目標が明確になることや、ある精度のロボットを利用することによる効率性を把握することで、ロボットをより現場へ導入しやすくなること等が期待される。

5. シナリオ2に対する評価方法

図-10にシナリオ2を対象とした検証フローを示し、以下に現場検証の手順を示す。

- 1) 各ロボット共通の検証区間（区間0、延長：約30m）において、スケッチ作業以外の現行点検を実施す

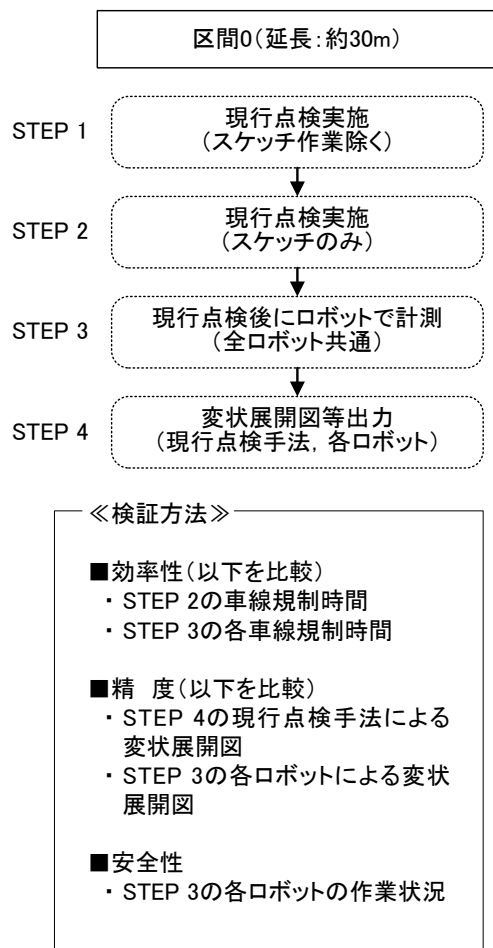


図-10 シナリオ2の検証フロー

る。

- 2) 区間0において、現行点検のスケッチ作業のみを実施する。
- 3) 区間0において、各ロボットで計測を行う。
- 4) 上記2), 3)の結果にもとづき、各々変状展開図を作成する。

上記の現場検証結果にもとづき評価した効率性、精度、安全性について、以下に詳述する。

(1) 効率性の検証、評価方法

区間0で実施した現場検証時の作業時間や作業人員等の結果からロボットによるスケッチ計測を実施することで、従来の点検作業におけるスケッチ作業に要する人員、時間に対し、どの程度の人員、時間で作業が行えたかについて定量的に評価した。

図-11にシナリオ2における現行点検のスケッチ作業に伴う車線規制時間と、各ロボットによる計測に必要な車線規制時間を示す。なお、ここでは、スケッチ作業省略による労力削減効果は各ロボット共通であるため、車線規制の削減効果に着目して評価することとした。

同図に示すように、車線規制が不要となる技術につい

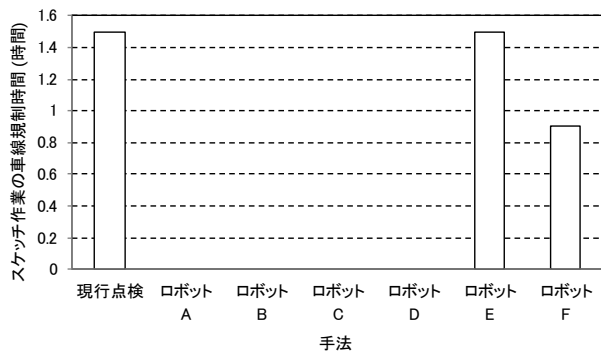


図-11 シナリオ2の効率性の検証結果

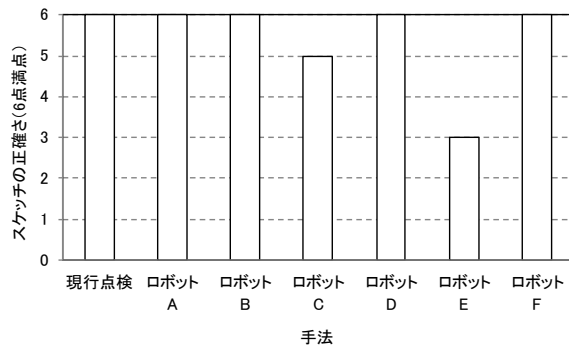


図-12 シナリオ2の精度の検証結果

ては車線規制時間が0となるのは自明であり、シナリオ2として利用する効果が最大となる。

(2) 精度の検証, 評価方法

区間0を対象としたロボット計測による変状展開図と、現行点検（人間によるスケッチ）による変状展開図を比較することで、ロボットによるスケッチの正確性を定量的に評価した。現行点検では、人によるスケッチと合わせて、全点検対象壁面の写真撮影を行っており、ここでは写真撮影結果にもとづく変状展開図を作成した。これにより、スケッチ作業時の転記ミス等を排除し、現行点検においても精度の高い展開図の作成を行った。

点検結果の比較については、ロボットによる計測ではチョーキングにもとづいて変状を検出する手法をとるため、精度の高い変状展開図が得られると考えられる。そのため、詳細な点検精度の確認は行わず、トンネルの横断方向の側壁、肩部、天端の覆工の部位ごとに、正確に記録されているものは2点、軽微な記入漏れがあるものは1点、多数の記入漏れがあるものは0点として、6点満点で精度を評価することとした。この結果を図-12に示す。同図によると、おおむね精度の高い結果が得られていることが分かる。

(3) 安全性の検証, 評価方法

安全性については、シナリオ1 (4. (3)参照) と同一の

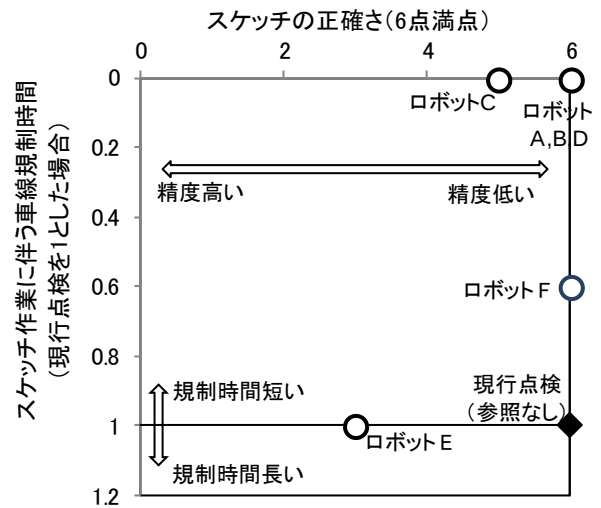


図-13 シナリオ2に対する効率性と精度の検証結果

手法により評価したため、ここでは割愛する。

(4) シナリオ2に対する評価結果

上述の結果をもとに、各技術の点検精度と作業効率を2軸上の分布図として表したものが図-13である。なお、シナリオ1と同様に、本論文の目的は評価方法の提案であることから、個別の技術に対する性能比較は避ける。

同図から、車線規制時間と精度の関係が把握可能となり、点検業務において点検ロボットの選定等に利用する結果が得られたものとする。

6. おわりに

本報告では、道路トンネルの点検にロボットを利用するための方法を提案するとともに、その評価の着眼点を示した。また、評価手法として現場検証を実施し、評価の着眼点にもとづいた検証、評価を行った。本報告の結果をとりまとめると以下ようになる。

- ・ トンネル点検にロボットを導入する手法として、2種類のシナリオを設定した。一方は現行点検前にロボットによる計測を行うシナリオ、他方は現行点検後にロボットによる計測を行うシナリオである。
- ・ 上記シナリオによる効果を確認するために、実トンネルを利用した現場検証を行った。
- ・ 効果を確認するための着眼点として、効率性、精度、安全性を設定し、それぞれの評価方法を示した。
- ・ 現場検証の結果にもとづき、上記の評価手法によってロボットの評価を行った。

本報告では、ロボットの利用法と評価方法について基本的な考え方を示したのみであり、その妥当性や評価結果の利用方法については、サンプル数が少ないこともあり論じてはいない。しかしながら、精度と効率性の関係で整理手法を示すことで、将来的には“この効率性を確保するためには、この精度を確保する必要がある”といったいわゆるロボットの開発目標を明示することにつながる事が期待される。また、“この精度のロボットを利用することで、この効率性の確保が見込める”といった現場での利用が促進されることも期待できる。また、本報告で述べた評価に関する考え方以外にも、ロボットの利用法のマニュアル化や積算基準の策定もロボットを点検業務へ導入する上で重要であると考ええる。

今後、本研究をより充実させるためのデータ収集が望まれる。ただし、実現場を利用した現場検証は費用や時間を要するものであり、容易なものではない。したがって今後は、模擬トンネル等を利用したより簡便な検証方法の確立も重要と考える。

謝辞：本報告は、国土交通省と経済産業省が共同した「次世代社会インフラ用ロボット現場検証」での成果の一部をとりまとめたものである。本検証に対して助言をいただいた委員各位、ならびに現場検証にご協力いただいた各地方整備局の方々に謝意を表す。とりわけ、現場検証の方法から結果の評価にわたるまで丁寧なご指導をいただいた「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）」の委員各位には深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省 道路局 国道・防災課：道路トンネル定期点検要領，2014.6.
- 2) たとえば，戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）：インフラ維持管理・更新・マネジメント技術ホームページ，<<http://www.jst.go.jp/sip/k07.html>>，2016.7.25 アクセス。

(2016.8.5受付)

USE OF ROBOTS IN ROAD TUNNEL INSPECTION AND ASSOCIATED EVALUATION METHODS

Hidekazu TERATO, Yasushi NITTA, Takashi KATO,
Shigetoyo YASUI and Tatsuro MASU

This report proposes methods for using robots in the periodic inspection of road tunnels and associated evaluation methods, and describes the results.

The main purpose of using a robot is to reduce working hours spent on the close visual inspection which is currently conducted by humans. For this purpose, the report proposes two methods: a robot conducting measurement before inspection work by humans (scenario 1), and a robot conducting measurement after inspection work by humans (scenario 2). To verify the effects of these methods, we conducted "on-site verification" at the actual inspection site and "elemental verification" that uses some specimens.