

【同時発表記者クラブ】

新潟・富山・石川

県内記者クラブ

令和2年6月30日
大臣官房技術調査課
総合政策局公共事業企画調整課
北陸地方整備局『道路トンネル点検記録作成支援ロボット技術』に関する
試験結果等を公表します

～ 新技術の活用に向けて ～

国土交通省では、公共工事等における新技術活用システムの活用方式「テーマ設定型（技術公募）」により、『道路トンネル点検記録作成支援ロボット技術』について、北陸地方整備局管内の道路トンネルで評価試験を実施しました。

今回、その試験結果等を取りまとめましたので、公表します。

- 「道路トンネル点検記録作成支援ロボット技術」は、道路トンネルの定期点検において、知識及び技能を有する者が行う近接目視によるときと同等の健全性の診断を行うことができると定期点検を行う者が判断したうえで、活用できることとなりました。
- すでに実用化段階にある「道路トンネル点検記録作成支援ロボット技術」について、公共工事等における新技術活用システムの「テーマ設定型（技術公募）※」により、同一の評価項目や試験方法の下で比較可能な一覧表を作成することを目的に技術公募等を行い、試験等を実施しました。
- この度、「テーマ設定型（技術公募）」による試験結果を取りまとめましたので、公表します。ロボット技術によりトンネル展開画像を取得し、その画像からひび割れ幅等の把握が可能となることから、点検調書の作成において効率化が期待されるため、今後、技術の活用にあたっては、評価結果等を参考に検討してまいります。

※「テーマ設定型（技術公募）」：現場ニーズに基づき募集する技術テーマを設定し、民間等の優れた新技術を公募して実現場で活用・評価する方式

<道路トンネルでの試験結果について>

1. 技術公募の概要 : 別紙－1
2. 公表までの経過 : 別紙－2
3. 試験結果等比較表 : 別紙－3

《参考》

1. 道路トンネル試験の実施箇所 : 参考－1
2. 公募技術の評価方法 : 参考－2

○試験結果等の掲載場所(テーマ設定型の比較表)

<https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubtheme/themesettings>

<問い合わせ先>

①試験結果の公表について

国土交通省 北陸地方整備局 TEL：025-280-8880(代表) FAX：025-280-8809
企画部 施工企画課 課長 宮島 実 (みやじまみのる) (内線 3451)
課長補佐 渡辺 俊彦 (わたなべとしひこ) (内線 3452)

②インフラ用ロボットに関する取り組みについて

国土交通省 TEL：03-5253-8111(代表) 03-5253-8286(直通) FAX：03-5253-1556
総合政策局 公共事業企画調整課 課長補佐 渡邊 賢一 (わたなべけんいち) (内線 24933)
係長 島田 光之 (しまだみつゆき) (内線 24947)

③新技術活用システム及びNETISについて

国土交通省 TEL：03-5253-8111(代表) 03-5253-8125(直通) FAX：03-5253-1536
大臣官房 技術調査課 課長補佐 菊田 一行 (きくたかずゆき) (内線 22343)
係長 福井 慧 (ふくいけい) (内線 22346)

公募した技術

トンネル規制(片側交互通行、多車線区間における車線規制等)を行わずに走行(時速30km/h以上)しながら、車両に搭載したロボットによりトンネル本体工のコンクリート壁面の変状の情報を展開画像として取得できる技術

ユースケース

近接目視、打音点検・チョーキングが終了した状態でロボット技術による計測を行い、トンネル展開画像を作成し、その画像を利用して変状写真台帳、変状展開図を作成する。

要求した性能(必須)

○トンネル展開画像の作成(A-1)

ロボットを用いて取得し、作成した展開画像から、下記に示すいずれかのレベルによって、ひび割れを含む各種変状の判読を可能とする技術

		【レベル1】	【レベル2】
ひび割れ	幅0.3~3.0mm	・(事前チョーキングを前提) チョーキング済の画像を見て、その存在とひび割れ幅の数値を示すチョーキングを判読可能な画像精度を有していること。	・(チョーキングに頼らず判読することを前提) ひび割れの位置が判読可能であるとともに、ひび割れ幅の違いについて、ひび割れ幅0.3mm以上3mm未満のひび割れについては0.1mm単位で、判読可能な画像精度を有していること
	幅3.0mm以上	・(事前チョーキングを前提) 点検員がチョーキング済の画像を見て、ひび割れ幅3mm以上のひび割れについては、その位置とともに0.5mm単位でひび割れ幅の違いが判読可能な画像精度を有していること。	・(チョーキングに頼らず判読することを前提) ひび割れの位置が判読可能であるとともに、ひび割れ幅の違いについて、0.5mm単位で判読可能な画像精度を有していること。
ひび割れ以外	うき・はく離	・点検員等により記されたチョーキングを判読	
	漏水・鋼材の腐食	・変状の状況およびチョーキングされない鋼材の腐食、漏水の有無・範囲を判読	

要求した性能(追加)

(申請された場合、評価対象とする技術)

- 変状写真台帳の自動整理(A-2)
取得した画像から変状写真台帳を自動的に整理・作成する技術
- 変状の自動検出(A-3)
自動的に変状を検出し変状展開図を作成する技術

公表までの流れ

技術公募

要求性能に対する意見募集

募集期間 H30. 3.14 ~ 4. 5

技術の公募

公募期間 H30. 7.19 ~ 8.10

現場実証

実証技術の選定

新技術活用評価会議において、現場実証を行う技術を選定

技術の現場実証（現地試験）

北陸地方整備局が管理する国道の2トンネルで現場実証（現地試験）を実施

実証期間 H30.11. 1 ~ 11. 5

評価・公表

技術の評価

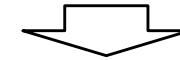
新技術活用評価会議において実証結果を審議

評価結果の公表（評価対象技術）

国土交通省ホームページ及びNETIS（テーマ設定型の比較表）に公表

公表までの技術数の推移

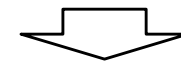
提出された意見の数
43件（11者）



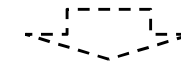
応募技術
6技術



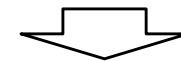
選定技術
6技術



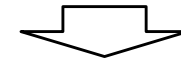
現場実証
5技術



実証辞退
1技術



評価
5技術



公表
5技術

番号		1	2	3	4	5
技術名		三菱 インフラモニタリングシステムⅡ (MMSD®Ⅱ)	走行型高速3Dトンネル点検システム MIMM(ミーム)	トンネル覆工点検システム (eQドクターT)	一般車両搭載型トンネル点検システム	トンネル覆工表面撮影システム
開発者		三菱電機株式会社	パシフィックコンサルタンツ株式会社	西日本高速道路エンジニアリング九州株式会社	株式会社リコー	株式会社三井 E&S マシナリー
共同開発者		なし	計測検査株式会社	西日本高速道路株式会社	なし	株式会社トノックス
NETIS番号		HR-180004-VR	KK-130026-VR	QS-170015-VR	KT-190062-VR	KT-190037-VR
NETIS登録技術名		社会インフラモニタリングシステム MMSD	走行型高速3Dトンネル点検システム MIMM(ミーム)	トンネル覆工点検システム (eQドクターT)	一般車両搭載型トンネル点検システム	トンネル覆工表面撮影システム
技術概要		本技術は自動焦点機能を搭載した8Kの高解像度ラインカメラとレーザー照明により、走行しながらトンネル全周の高精細画像を撮影可能。また、毎秒100万点の計測可能な高密度レーザを2台搭載しミリ単位の精度で位置座標を持つ毎秒200万点相当の高密度三次元点群データを収集可能。	本技術は道路トンネル定期点検を車両の高速走行で覆工面カラー画像と3次元空間位置データを計測するシステムで、従来は近接目視点検で対応していた。本技術の活用により、経済性・安全性・点検精度の向上、効率化、正確・客観的な変状展開図作成が可能となる。	最高時速100kmの高速走行でトンネル覆工表面を撮影し、取得した超高解像度のトンネル覆工表面画像からひび割れを自動抽出・図化するシステムである。また撮影照明の不可視化により他の通行車への影響も抑えた。	本技術は、普通自動車に被写界深度拡大カメラと照明装置を搭載した撮影車両で、トンネルを走行することで、覆工部の画像展開図を作成する。また、画像展開図を基に変状箇所を自動抽出もしくは手動でトレースし、変状情報・診断情報を登録することで、点検調書を所定のフォーマットで自動出力する。	本技術は、トンネル覆工コンクリート表面を高輝度LEDライトで照射、13台のカラーラインセンサカメラで高速撮影することで、覆工コンクリート表面のひび割れ等の変状を高精度に計測する車載型システムである。
概要図						
計測対象部位		<ul style="list-style-type: none"> ■トンネルアーチ部 ■側壁部 ■路肩 ■路面 ■坑門 	<ul style="list-style-type: none"> ■トンネルアーチ部 ■側壁部 ■路肩 ■路面 □坑門 	<ul style="list-style-type: none"> ■トンネルアーチ部 ■側壁部 □路肩 □路面 □坑門 	<ul style="list-style-type: none"> ■トンネルアーチ部 ■側壁部 □路肩 □路面 □坑門 	<ul style="list-style-type: none"> ■トンネルアーチ部 ■側壁部 ■路肩 ■路面 □坑門
必要な機器・装置等		専用車両	専用車両	専用車両	一般車両+計測装置	専用車両
必要な能力・資格等		不要	不要	不要	不要	不要
車輻寸法	車輻幅	2380mm	208 cm	2.2m	一般車両	2.40m
	車輻高さ	3340mm	599 cm	3.7m		3.56m
		トラック6t級	トラック3t級	トラック3.5t級		トラック4t級
技術の特徴		適用条件				
天候		強風、強雨、降雪時は不可	雨天時は不可	雨天時は坑口が撮影不可	雨・雪、強風時は不可	雨天時不可 (トンネルまでの走行時にレンズに雨粒が付着するため)
気温条件		-10~+45℃	0 ~ 40℃ (動作時) -20 ~ 60℃ (非動作時)	5℃~40℃程度	0~+40℃	0℃~40℃ (撮影システムの動作温度)
時間帯・日射条件		昼夜問わず使用可能	特に指定なし	晴天時の太陽が真上に近い時間帯は、坑口天端部撮影用カメラに日光が差し込む場合がある。	制約無し	なし
計測時の走行速度条件		10~80km/h	80 km/h以下	5~100km/h	40km/h以下	80km/h以下
渋滞時の計測可否		10km/h程度の継続走行であれば計測可能、停止する場合は計測不可	可能であるが推奨しない	車両が停止すると再発進時に画質に乱れが生ずる可能性がある。	30秒以上停車しなければ問題なし	可
設備等による死角条件		表面からの撮影のみ。(設備等がトンネル壁面に付帯している場合は設備を撮影し、設備の背面にある壁面は写らない。)	照明機器やジェットファン背面等の計測車両から視認できない部分、坑門面壁、非常駐車帯壁	設備裏のコンクリート面は撮影及び変状把握が不可能	照明設備の背面など車線上から死角となる箇所の撮影は不可	設備背面の撮影は不可
車両から覆工表面までの距離条件		0.3~8.0m	10 m程度以下	約7m以下(覆工面がスス等により汚れていない場合に限る)	概ね8m程度	なし
トンネル延長の制約		なし	特に制約なし (連続記録時間3時間以内)	制約なし(複数回撮影及び記録媒体交換による)	10km	40km
車線数の制約		なし(複数回走行により複数車線での計測に対応)	特に制約なし (複数回計測することで対処可能)	2車線以上	3車線以上も計測可能 (ただし、車両から覆工表面まで約8mの範囲内)	なし
断面形状の制約		円形、馬蹄形、矩形に対応	車両走行できない狭小断面は不可	トンネル内空幅：およそ9~15m	トンネル内空幅：6.6m以上	トンネル内空幅：3.0m以上
トンネル内照明の消灯の必要性		なし	なし	なし	なし	なし
その他の条件		—	ひび割れが目視できる覆工面状況	覆工面のススなどの汚れが著しい場合、およびひび割れの直上にチョーキングが施されている場合など、ひび割れ開口部が閉塞されている状況では、ひび割れの確認レベルは著しく低下する。	レーザー安全管理者の選定が必要	スス汚れ等目視できない変状は検査不可

番号		1		2		3		4		5							
技術名		三菱インフラモニタリングシステム II (MMSD II)		走行型高速3Dトンネル点検システム MIMM(ミーム)		トンネル覆工点検システム (eQドクターT)		一般車両搭載型トンネル点検システム		トンネル覆工表面撮影システム							
応募者		三菱電機株式会社		パシフィックコンサルタンツ株式会社		西日本高速道路エンジニアリング九州株式会社		株式会社リコー		株式会社三井 E&S マシナリー							
現場検証時の状況		天候		晴		晴		晴		晴							
		最大風速(柏崎)		3.6m/s		4.2m/s		3.6m/s		4.2m/s							
		平均走行速度		45.1km/h		41.0km/h		39.7km/h		38.0km/h		47.0km/h					
		検証対象トンネルの条件		・トンネル延長 No.1トンネル:L=455m、No.2トンネル:L=350m ・前回トンネル点検 H29年度実施 ・煤等による汚れが多い ・ひび割れの上に直接チョーキングがなされているものが多く見られる		・トンネル延長 No.1トンネル:L=455m、No.2トンネル:L=350m ・前回トンネル点検 H29年度実施 ・煤等による汚れが多い ・ひび割れの上に直接チョーキングがなされているものが多く見られる		・トンネル延長 No.1トンネル:L=455m、No.2トンネル:L=350m ・前回トンネル点検 H29年度実施 ・煤等による汚れが多い ・ひび割れの上に直接チョーキングがなされているものが多く見られる		・トンネル延長 No.1トンネル:L=455m、No.2トンネル:L=350m ・前回トンネル点検 H29年度実施 ・煤等による汚れが多い ・ひび割れの上に直接チョーキングがなされているものが多く見られる		・トンネル延長 No.1トンネル:L=455m、No.2トンネル:L=350m ・前回トンネル点検 H29年度実施 ・煤等による汚れが多い ・ひび割れの上に直接チョーキングがなされているものが多く見られる					
必須性能	[A-1] トンネル展開画像の作成	判読可能率※2	ひび割れ	幅0.3mm以上 3.0mm未満 (0.1mm単位)	96% (81/84)	100% (61/61)	100% (84/84)	80% (49/61)	95% (80/84)	100% (61/61)	100% (84/84)	100% (61/61)	98% (82/84)	95% (58/61)			
			うき・はく離	打音異常の有無と範囲を示すチョーキング	92% (11/12)		100% (12/12)		100% (12/12)		100% (12/12)		100% (12/12)		100% (12/12)		
		鋼材腐食	範囲を示すチョーキング	33% (2/6)		100% (6/6)		100% (6/6)		100% (6/6)		100% (6/6)		100% (6/6)			
		漏水等		100% (14/14)		100% (14/14)		100% (14/14)		100% (14/14)		100% (14/14)		100% (14/14)			
	[A-2] 変状写真台帳の自動整理	機能の有無	機能の概要	×(手動) 事前にエクセルファイルで作成している「変状写真台帳」の書式に、写真番号、変状部位、変状種類、変状の写真等の情報を手動で入力することによって、エクセルファイルを台帳の形に仕上げていくもの。	△(半自動) 専用ソフトウェア上で、覆工展開画像を見ながら「変状写真台帳」へ転記したい変状を選択し、パソコン画面上のダイヤログボックスで変状の情報を手動で入力することによって、エクセル形式で台帳を出力するもの。	— (非申請)	△(半自動) 専用ソフトウェア上で、覆工展開画像を見ながらパソコン画面上のダイヤログボックスで全ての変状情報を手作業で登録した後、自動レポート生成機能により「変状写真台帳」をエクセル形式で出力するもの。	— (非申請)									
	追加性能(開発者から申請された場合に評価)	[A-3] 変状の自動検出	レベル		【レベル2】※5		【レベル2】※5		【レベル2】※5		【レベル2】※5		【レベル2】※5				
					トンネル覆工面	模擬ひび割れ供試体	トンネル覆工面	模擬ひび割れ供試体	トンネル覆工面	模擬ひび割れ供試体	トンネル覆工面	模擬ひび割れ供試体	トンネル覆工面	模擬ひび割れ供試体	トンネル覆工面	模擬ひび割れ供試体	
			ひび割れ検出結果	幅0.3mm以上 3.0mm未満	近接目視により検出したひび割れ延長(L)	25,960mm	9,377mm	25,960mm	9,377mm	25,960mm	9,377mm	25,960mm	9,377mm	25,960mm	9,377mm	25,960mm	9,377mm
					近接目視と同じ箇所、ロボットにより自動検出されたひび割れの延長(L1)	7,600mm	2,827mm	22,348mm	8,619mm	12,774mm	9,028mm	3,890mm	8,336mm				
					近接目視では検出せず、ロボットでは自動検出されたひび割れの延長(L2)	0mm	0mm	0mm	419mm	0mm	297mm	0mm	0mm				
幅3.0mm以上			近接目視により検出したひび割れ延長(L)	対象変状なし	3,964mm	対象変状なし	3,964mm	対象変状なし	3,964mm	対象変状なし	3,964mm						
			近接目視と同じ箇所、ロボットにより自動検出されたひび割れの延長(L1)	対象変状なし	3,851mm	対象変状なし	3,764mm	対象変状なし	3,935mm	対象変状なし	3,822mm						
			近接目視では検出せず、ロボットでは自動検出されたひび割れの延長(L2)	0mm	0mm	0mm	0mm	0mm	0mm	0mm							
検出率※6			ひび割れ	幅0.3mm以上 3.0mm未満 (L1/L)	29.3% (7,600mm/25,960mm)	30.1% (2,827mm/9,377mm)	86.1% (22,348mm/25,960mm)	91.9% (8,619mm/9,377mm)	49.2% (12,774mm/25,960mm)	96.3% (9,028mm/9,377mm)	15.0% (3,890mm/25,960mm)	88.9% (8,336mm/9,377mm)					
				幅3.0mm以上 (L1/L)	対象変状なし	97.1% (3,851mm/3,964mm)	対象変状なし	95.0% (3,764mm/3,964mm)	対象変状なし	99.3% (3,935mm/3,964mm)	対象変状なし	96.4% (3,822mm/3,964mm)					
的中率※7	ひび割れ	うき・はく離	— (うき・はく離自動検出機能を具備しない設計である)	—	100% (12/12)	—	—	—	0% (0/12)	—							
		鋼材腐食	— (鋼材腐食自動検出機能を具備しない設計である)	—	100% (6/6)	—	—	—	0% (0/6)	—							
		漏水等	64% (9/14)	—	64% (9/14)	—	—	—	0% (0/14)	—							
		幅0.3mm以上 3.0mm未満 (L1/(L1+L2))	100.0% (7,600mm/7,600mm)	100.0% (2,827mm/2,827mm)	100.0% (22,348mm/22,348mm)	95.4% (8,619mm/9,038mm)	100.0% (12,774mm/12,774mm)	96.8% (9,028mm/9,325mm)	100.0% (3,890mm/3,890mm)	100.0% (8,336mm/8,336mm)							
		幅3.0mm以上 (L1/(L1+L2))	対象変状なし	100.0% (3,851mm/3,851mm)	対象変状なし	100.0% (3,764mm/3,764mm)	対象変状なし	100.0% (3,935mm/3,935mm)	対象変状なし	100.0% (3,822mm/3,822mm)							
		うき・はく離	— (うき・はく離自動検出機能を具備しない設計である)	—	100% (12/12)	—	—	—	—	0% (0/0)	—						
[B] 効率性	[B-1] 現場規制時間の短縮	規制時間比率		90%		90%		80%		90%		90%					
		[C-1] コスト比率(外業)	人件費	91% (634,540円 / 696,700円)	79% (553,353円 / 696,700円)	77% (536,240円 / 696,700円)	80% (558,620円 / 696,700円)	85% (594,850円 / 696,700円)									
			直接経費	146% (528,497円 / 361,780円)	146% (527,125円 / 361,780円)	117% (424,269円 / 361,780円)	95% (345,126円 / 361,780円)	136% (493,653円 / 361,780円)									
		[C-2] コスト比率(内業)	人件費	102% (796,770円 / 779,230円)	91% (709,810円 / 779,230円)	98% (761,171円 / 779,230円)	90% (699,010円 / 779,230円)	108% (839,630円 / 779,230円)									
			機械経費	—	—	—	—	—									
		[C-3] コスト比率(外業+内業)	人件費	97% (1,431,310円 / 1,475,930円)	86% (1,263,163円 / 1,475,930円)	88% (1,297,411円 / 1,475,930円)	85% (1,257,630円 / 1,475,930円)	97% (1,434,480円 / 1,475,930円)									
直接経費	146% (528,497円 / 361,780円)		146% (527,125円 / 361,780円)	117% (424,269円 / 361,780円)	95% (345,126円 / 361,780円)	136% (493,653円 / 361,780円)											
合計		107% (1,959,807円 / 1,837,710円)	97% (1,790,288円 / 1,837,710円)	94% (1,721,680円 / 1,837,710円)	87% (1,602,756円 / 1,837,710円)	105% (1,928,133円 / 1,837,710円)											

※1 評価方法は「別紙：評価の方法と結果概要」を参照
 ※2 判読可能率＝(近接目視で検出した変状のうち、当該技術で取得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)
 ※3 (事前チョーキング前提)点検員がチョーキング済みの画像を見て、ひび割れ幅0.3mm以上3.0mm未満のひび割れについては、その存在とひび割れ幅の数値を示すチョーキング、ひび割れ幅3.0mm以上のひび割れについては、その位置とともに0.5mm単位でひび割れ幅の値が判読可能な画像精度を有していること。
 ※4 (チョーキングに頼らず判読することを前提)点検員が画像を見て、ひび割れの位置が判読可能であるとともに、ひび割れ幅の値について、ひび割れ幅0.3mm以上3.0mm未満のひび割れについては0.1mm単位で、3.0mm以上にあたっては0.5mm単位で判読可能な画像精度を有していること。
 ※5 ひび割れ幅0.3mm以上3.0mm未満のひび割れについては、その位置とともにひび割れ幅を0.1mm単位で区別し、3.0mm以上にあたっては、その位置とともに0.5mm単位で区別して当該技術により自動で検出することができる。正しく自動検出したひび割れは、自動検出したひび割れが近接目視により検出したひび割れ上にあるものを評価する。
 ※6 検出率(ひび割れ)【L1/L】＝(近接目視で検出した変状のうち、当該技術によりひび割れを正しく自動検出した延長【L1】) / (近接目視で検出したひび割れ延長【L】)
 検出率(ひび割れ以外)＝(近接目視で検出した変状のうち、当該技術によりひび割れ以外の変状を正しく自動検出した箇所数) / (近接目視で検出したひび割れ以外の変状箇所数)
 ※7 的中率(ひび割れ)【L1/(L1+L2)】＝(近接目視で検出した変状のうち、当該技術によりひび割れを正しく自動検出した延長【L1】) / (当該技術により自動検出したひび割れ延長【L1+L2】)
 的中率(ひび割れ以外)＝(近接目視で検出した変状のうち、当該技術によりひび割れ以外の変状を正しく自動検出した箇所数) / (当該技術により自動検出したひび割れ以外の変状箇所数)
 ※8 変状写真台帳の自動整理(A-2)、変状の自動検出(A-3)を申請した場合、それぞれその効果(それぞれに要するコスト)を含んでいる対象2トンネルの内1トンネル分(延長4.55m、2車線断面)の費用

道路トンネル試験の実施箇所

参考-1

- 路線名 : 国道8号
- トンネル概要(No1)
 - トンネル名称 : 米山トンネル
 - トンネル延長 : L=350 m
 - トンネル内装・天井板 : 覆工(内装なし)
 - 前回トンネル点検年度 : 平成29年度



- トンネル概要(No2)
 - トンネル名称 : 芭蕉ヶ丘トンネル
 - トンネル延長 : L=455 m
 - トンネル内装・天井板 : 覆工(内装なし)
 - 前回トンネル点検年度 : 平成29年度



- 位置図



検証対象トンネルの状況

- ・トンネル延長 No1トンネル：L=455m、No2トンネル：L=350m
- ・前回トンネル点検 H29年度実施
- ・煤等による汚れが多い（写真1参照）
- ・ひび割れの上に直接チョーキングがなされているものが多く見られる（写真2参照）



写真1 煤等の汚れ



写真2 チョーキング状況

[A] 精度

[A-1] トンネル展開画像の作成

判読可否の判定は、トンネルに関する業務経験を有する技術者3名（「道路トンネル定期点検要領」に定められた点検員の資格を有する者）が、当該技術で取得した画像を確認し、判読の可否を合議することにより行った。以下に、検証対象および判読対象について記す。

検証対象となるひび割れについては、検証トンネル（2トンネル）の全114スパンのうち、10スパンから、ひび割れ（0.3～3mm）84カ所をできるだけ同じ幅に偏らないように比較対象ひび割れを選定した。また3mm以上や、チョーク無しひび割れについては、実際にトンネル内に対象が無いため模擬供試体をトンネル内に設置し検証を行った。

■ひび割れ

①チョーキングを判読（【レベル1】幅0.3mm以上～3.0mm未満）

検証トンネルの検証対象スパンにて、ひび割れを示すチョーキングが判読できるかどうかにより検証した。写真3に対象とした変状（チョーキング）の例を示す。

②ひび割れそのものを判読（【レベル1】幅3.0mm以上／【レベル2】幅0.3mm以上）

模擬ひび割れを設けた供試体（以下、模擬ひび割れ供試体（写真4））を用いて、ひび割れそのものが判読できるかどうかにより検証した。



写真3 実トンネルにおけるチョーキングを伴うひび割れの例

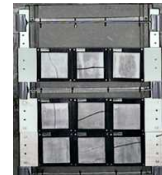


写真4 模擬ひび割れ供試体の例

評価方法

■うき・はく離

検証トンネルの検証対象スパンにて、打音異常を示すチョーキングが判読できるかどうかにより検証した。

■鋼材腐食

検証トンネルの検証対象スパンにて、鋼材腐食を示すチョーキングが判読できるかどうかにより検証した。

■漏水等

検証トンネルの検証対象スパンにて、漏水の有無・範囲が判読できるかどうかにより検証した。

以上の内容をとりまとめたもの表1に示す。

表1 [A-1] 評価対象の概要

変状種類		検証対象		判読対象	
		覆工表面 ^{※1}	模擬パネル ^{※2}	チョーキング	変状
ひび割れ	幅0.3～3.0mm	レベル1	○	○	○
		レベル2		○	○
	幅3.0mm以上	レベル1		○	○
		レベル2		○	○
うき・はく離		○		○	
鋼材腐食		○		○	
漏水等		○			○

※1 検証対象とした2トンネルの検証対象スパン

※2 15cm×15cmのモルタルパネルにひび割れを発生させたもの

評価結果概要

各変状における判読結果の概要を以下に示す。

■ひび割れ

複数の技術で画像の白とびや画像の不鮮明により、判読できないひび割れおよびチョーキングがあった（写真5参照）。

■うき・はく離

一部技術で画像の白とびにより判読できないチョーキングがあった。

■鋼材腐食

一部技術で画像の白とびにより判読できないチョーキングがあった。

■漏水等

対象とした全ての漏水が判読可能であった。



写真5 画像の白とび

[A-2] 変状写真台帳の自動整理

申請者へ変状写真台帳の提出を求めるとともに、同台帳の作成手順を示した「変状写真台帳作成手順書」を提出してもらい、この手順書に基づいて、表2の3段階で評価した。

表2 [A-2] 評価基準

評価指標	自動化の程度
○ 全自動	新技術により取得した画像から、変状箇所の写真切り出し、写真番号の番号付け、変状種類および変状部位の特定等が自動で行える。
△ 半自動	変状箇所の写真切り出し、写真番号の番号付け、変状部位等の入力パソコン画面のダイアログ等に沿って手動で入力することで、写真台帳の形式で出力される。
× 手動	写真台帳の書式の各項目に該当する写真や番号を手動で入力する。

評価結果概要 本検証への申請者は3技術であり、この内2技術が半自動であり、1技術が手動であった。

[A-3] 変状の自動検出

当該技術によって自動検出した変状の結果に基づき、以下の方法により検出率・的中率を求めた。

■ひび割れ

(1) 計測対象
 検証対象トンネルにおける「①トンネル覆工面のひび割れ」および「②模擬ひび割れ供試体」（前掲写真-4）を計測対象とした。
 また、①のひび割れについては、検出対象ひび割れを指定することで明確な評価基準を設定した。

(2) 「ひび割れを正しく自動検出した延長」について
 リクワイヤメントにある「ひび割れを正しく自動検出した延長」は、以下のように定義した。
 自動検出したひび割れが近接目視により検出したひび割れ上にある。

(3) 検出率・的中率の求め方
 図1に自動検出したひび割れの評価例を示す。同図の場合、検出率・的中率は以下になる。

図1 自動検出したひび割れの評価例

■ひび割れ以外の変状（うき・はく離、鋼材腐食、漏水等）
 検証対象トンネルの対象スパンにて自動検出された当該変状の箇所数と、近接目視で検出した変状の箇所数から検出率・的中率を求めた。





■ひび割れ幅の検出誤差性能（参考）
 ひび割れ幅の検出誤差性能の参考値として、模擬ひび割れ供試体における各パネルの最大ひび割れ幅のRMS誤差を、下記のとおり記載した。（幅0.3mm以上3.0mm未満については0.1mm単位、幅3.0mm以上については0.5mm単位の検出）
 0.3mm以上3mm未満のひびわれの場合、全検出値の中で、RMS誤差の最大は0.93mm、最小は0.40mmであった。3mm以上のひびわれの場合、全検出値の中で、RMS誤差の最大は1.89mm、最小は0.63mmであった。
 RMS誤差とは、実測値（ a_i ）と自動検出結果（ x_i ）の差から求めた（二乗平均平方根）誤差である（下式）
 なお、Nは、正しく検出したひび割れのデータ数を表す。RMS誤差の値が小さいほど高性能である

$$RMS \text{ 誤差} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - a_i)^2}$$

各変状に対する検出率・的中率の傾向を以下に示す。

■ひび割れ
 トンネル覆工表面では、煤等による汚れや、ひび割れの上に直接チョーキングがなされているものが多い等の要因により、ひび割れそのものの自動検出が困難であったと考えられる。このため、検出率が低い傾向にあると考えられる。
 模擬ひび割れ供試体については、ひび割れ幅が0.3mm~3.0mmのものについては、検出率に差がみられるが、幅3.0mm以上については、全社90%以上の検出率となっている。
 的中率については、ひび割れ幅にかかわらず全社90%以上となっている。

■ひび割れ以外の変状（うき・はく離、鋼材腐食、漏水等）
 使用技術によっては変状の検出数が0であったため、的中率を算出できなかった。

[B] 効率性（現場規制時間の短縮）									
検証方法	<p>現場規制時間は、個々の現場条件や点検員の作業方法によって変化するため、現場検証によって評価することは困難である。そのため、各開発者に点検記録の作成支援を行うというユースケースで当該技術を利用した際の車線規制時間短縮率の考え方をヒアリングし、近接目視による点検の規制時間と比較することで効率性の評価（現場規制時間の短縮）を行った。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>近接目視点検作業項目</th> <th>ロボット技術による点検作業項目</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>近接目視点検</td> <td>近接目視点検</td> </tr> <tr> <td>外業 写真撮影 変状スケッチ</td> <td>ロボット技術による展開画像撮影</td> </tr> <tr> <td>打音点検</td> <td>打音点検</td> </tr> </tbody> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>近接目視点検</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真撮影、変状スケッチ</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>近接目視点検</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>ロボット技術による展開画像撮影</p> </div> </div>	近接目視点検作業項目	ロボット技術による点検作業項目	近接目視点検	近接目視点検	外業 写真撮影 変状スケッチ	ロボット技術による展開画像撮影	打音点検	打音点検
	近接目視点検作業項目	ロボット技術による点検作業項目							
	近接目視点検	近接目視点検							
	外業 写真撮影 変状スケッチ	ロボット技術による展開画像撮影							
打音点検	打音点検								
評価結果概要	当該技術を利用することで車線規制の時間は、通常の点検作業の80~90%になると想定している。								

[C] 経済性（従来技術とのコスト比率）																	
検証方法	<p>今回検証を行った2トンネル分について、通常の近接目視点検における歩掛を各社へ提示した。そのうえで、当該技術を利用した際の内業（C-1）、外業（C-2）、内業+外業（C-3）の見積を各開発者から徴収し、近接目視点検のコストと比較を行うことで経済性の評価を行った。なお、評価結果の一覧表には、対象2トンネルの内1トンネル分（延長455m、2車線断面）の費用を示している。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>近接目視点検作業項目</th> <th>ロボット技術による点検作業項目</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>近接目視点検</td> <td>近接目視点検</td> </tr> <tr> <td>外業 写真撮影 変状スケッチ</td> <td>ロボット技術による展開画像撮影</td> </tr> <tr> <td>打音点検</td> <td>打音点検</td> </tr> <tr> <td>点検調書作成(写真台帳整理、展開図作成以外)</td> <td>点検調書作成(写真台帳整理、展開図作成以外)</td> </tr> <tr> <td>内業 写真台帳整理</td> <td>ロボット技術による自動写真台帳整理^{*1}</td> </tr> <tr> <td>展開図作成</td> <td>ロボット技術による展開図作成^{*2}</td> </tr> <tr> <td>打音点検調書</td> <td>打音点検調書</td> </tr> </tbody> </table> <p><small>※1 変状写真台帳の自動整理(A-2)を備えていない技術の場合、従来技術による写真台帳整理費用を計上している。 ※2 変状の自動検出(A-3)を備えていない技術の場合、従来技術による展開図作成費用を計上している。</small></p>	近接目視点検作業項目	ロボット技術による点検作業項目	近接目視点検	近接目視点検	外業 写真撮影 変状スケッチ	ロボット技術による展開画像撮影	打音点検	打音点検	点検調書作成(写真台帳整理、展開図作成以外)	点検調書作成(写真台帳整理、展開図作成以外)	内業 写真台帳整理	ロボット技術による自動写真台帳整理 ^{*1}	展開図作成	ロボット技術による展開図作成 ^{*2}	打音点検調書	打音点検調書
	近接目視点検作業項目	ロボット技術による点検作業項目															
	近接目視点検	近接目視点検															
	外業 写真撮影 変状スケッチ	ロボット技術による展開画像撮影															
打音点検	打音点検																
点検調書作成(写真台帳整理、展開図作成以外)	点検調書作成(写真台帳整理、展開図作成以外)																
内業 写真台帳整理	ロボット技術による自動写真台帳整理 ^{*1}																
展開図作成	ロボット技術による展開図作成 ^{*2}																
打音点検調書	打音点検調書																
評価結果概要	外業と内業の計は、従来技術に対して約90%~110%程度となっている。																

講評
<p><input type="checkbox"/> 必須性能</p> <ul style="list-style-type: none"> ○トンネル展開画像作成（A-1） <ul style="list-style-type: none"> ロボット技術によるトンネル展開画像作成（A-1）で取得した画像は、ひび割れについては80%以上、うき・はく離、漏水は92%以上の高い確率で判読可能であり、現地の変状のスケッチや、写真撮影の労力、点検調書作成の内業の労力を低減できる。鉄筋腐食において白とびにより判読できない技術があったため、今後の精度向上による改善が望まれる。 <p><input type="checkbox"/> 追加性能</p> <ul style="list-style-type: none"> ○変状写真台帳の自動整理（A-2） <ul style="list-style-type: none"> 撮影されたトンネル展開画像から半自動で写真台帳の整理が行われるため、台帳作成の労力が低減される。今後自動化の開発が望まれる。 ○変状の自動検出（A-3） <ul style="list-style-type: none"> 変状の自動検出（A-3）は、ひび割れの幅、長さ等を定量的に把握することが可能となり、さらに二回目以降の点検結果と比較することで、進行の把握も可能となる技術である。 <p><input type="checkbox"/> 経済性（C）</p> <p>今回の現場実証試験においては、ロボット技術によるコスト評価にも近接目視点検費用が含まれている。今後、本技術が、近接目視点検と同等の健全性の診断を行うことができる精度に向上し、近接目視点検を代替する技術となった場合は、大幅な労力とコストの削減につながるものと考えられる。</p>