

新都市社会技術融合創造研究会 研究成果報告会

建設DXにおける「トンネル点検支援技術、斜面
防災・減災」の取り組み

トンネル点検支援技術の高度化に関する研究

6. 支援技術活用の効果と今後の展望

(株) パシフィックコンサルタンツ
安田 亨

1

12. 支援技術活用の効果

12章

12.1 縮減効果検討

近畿道路メンテナンスセンター
R2近畿地整管内トンネル点検・診断及び修繕計画業務より

試算対象トンネル

本業務での点検実績を踏まえた従来点検時の点検日数										
号線	事務所	トンネル名	点検内容	トンネル延長(m)	点検面積(m ²)	ひび割れ密度(m/m ²)※1	点検日数(日)	作業班※2	高所作業車の台数	備考
国道27号	福知山	Aトンネル	監視点検	740	1,195	0.08	1	2	2	監視対象スパン：S006、PE 追加スパン有 2班体制
国道9号	豊岡	Bトンネル	定期点検	330	6,022	0.14	2	2	4	2班体制
国道9号	豊岡	Cトンネル	定期点検	38	841	0.55	1	1	1	1班体制
国道483号	豊岡	Dトンネル	定期点検	1,420	29,652	0.14	4	3	12	誘導員の人数は実績で計上 3班体制
国道483号	豊岡	Eトンネル	定期点検	2,810	59,249	0.14	7	3	21	誘導員の人数は実績で計上 3班体制
国道24号	奈良	Fトンネル	定期点検	389	8,376	0.19	2	2	4	誘導員の人数は実績で計上 2班体制
			合計	5,727	105,335	1km未満	6		44	
						1km以上	11			
						合計	17			
※1：ひび割れ密度は、ひび割れ幅0.3mm以上のひび割れが対象										
※2：今回点検時の作業班と同様で想定										
				トンネル延長(m)	点検面積(m ²)	ひび割れ密度				
				740	1,195	0.08				
				4,949	103,300	0.14				
				38	841	0.55				
			合計	5,727	105,335					

2

12.1 縮減効果検討

近畿道路メンテナンスセンター
R2近畿地整管内トンネル点検・診断及び修繕計画業務より

試算条件

項目	試算概要	点検人工	点検面積	点検日数
従来点検	・国の積算基準をベースに試算 ・誘導員の人数、作業用数は業務実績を考慮	・従来通り100%で設定。	・従来通り100%で設定。	17日 ・積算基準より ・作業用数は、実績を考慮
支援技術 (画像撮影)	・業務実績をベースに、画像撮影を活用ケースを試算	・画像撮影による効果を踏まえて、70%とした。	・BTN、DTN、ETN、FTNの点検面積は画像計測による事前確認効果を期待して30%で設定。 ・Aトンネルは監視点検のため100%とした。 ・Cトンネルは延長が短く、ひび割れ密度が0.4>Cのため100%とした。	10日 ・DTN、ETNを合計6日と想定
支援技術 (画像撮影+変形モード解析)	・業務実績をベースに、画像撮影+変形モード解析を活用ケースを試算	・画像撮影により効果と同程度と評価。	・点検箇所に関わらず一定と想定し、支援技術(画像撮影)と同様の設定とした。	9日 ・DTN、ETNを合計5日と想定
支援技術 (画像撮影+変形モード+レーザ解析)	・業務実績より算出	・画像撮影により効果と同程度と評価。	・BTN、DTN、ETN、FTNの点検面積はレーザ解析によりスクリーン効果により15%とした。 ・Aトンネルは監視点検のため100%とした。 ・Cトンネルは延長が短く、ひび割れ密度が0.4>Cのため100%とした。	8日 ・業務実績より ・とがやまTN、三谷TNを合計4日で実施

試算
試算
実績

表 1.3 点検作業内容項目別の構成比率

点検作業内容	構成比率
近接目視点検	30%
打音検査(たたき落とし含む)	35%
変状箇所スケッチ	20%
変状箇所写真撮影	15%
計	100%

※道路トンネル定期点検業務積算基準(暫定版) H31.2より

路線	事務所	トンネル名	点検内容	トンネル延長(m)	点検面積(m ²)	ひび割れ密度(m ² /m ²) ^{※1}
国道27号	福知山	Aトンネル	監視点検	740	1,195	0.08
国道9号	豊岡	Bトンネル	定期点検	330	6,022	0.14
国道9号	豊岡	Cトンネル	定期点検	38	841	0.55
国道483号	豊岡	Dトンネル	定期点検	1,420	29,652	0.14
国道483号	豊岡	Eトンネル	定期点検	2,810	59,249	0.14
国道24号	奈良	Fトンネル	定期点検	389	8,376	0.19
				合計	5,727	105,335

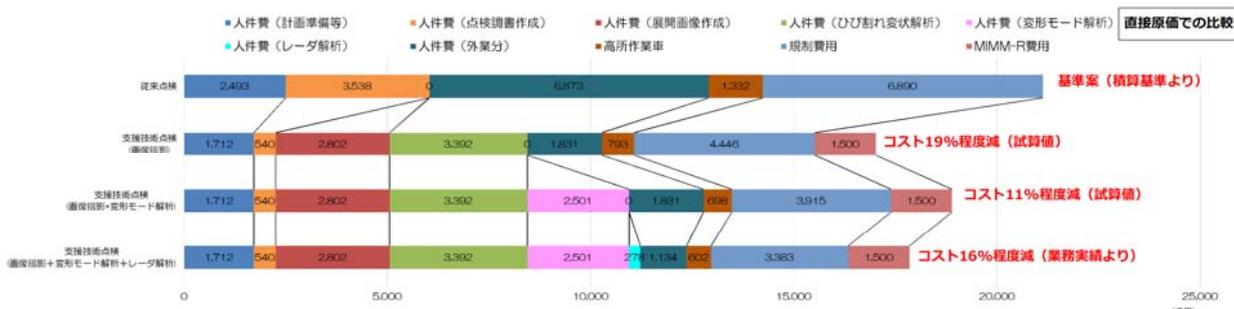
⇒点検面積100%

⇒点検面積100%

- ・支援技術(画像撮影)
- ・支援技術(画像撮影+変形モード解析) ⇒点検面積30%
- ・支援技術(画像撮影+変形モード解析+レーザ解析) ⇒点検面積15%

12.1 縮減効果検討のまとめ

近畿道路メンテナンスセンター
R2近畿地整管内トンネル点検・診断及び修繕計画業務より



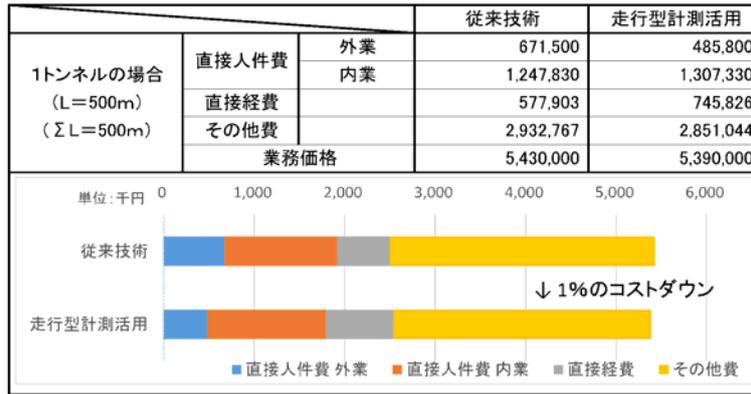
6トンネル、総延長5,727mにおけるコスト比較



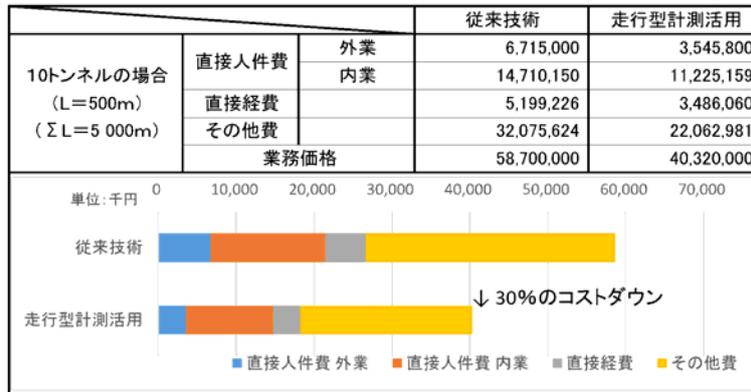
6トンネル、総延長5,727mにおけるコスト比較

12.1 既往事例

単位:円



単位:円



5

12.1 既往事例

表-1 走行型画像計測を併用した現地点検作業日数の効率化の試算結果

トンネル名	工法	延長(m)	覆工点検面積 (m ²)	ひび割れ密度 (m/m ²)	①暫定歩掛りによる 点検日数(日)	②実績による 点検日数(日)	③補正点検日数 [※] (日)	低減率 100-③/①(%)	備考
Aトンネル	矢板工法	1922.2	31011.4	0.29	16	3	4.5	71.9%	3班(12名)+1名
Bトンネル	NATM	499.0	4116.6	0.15	2	2	2	0.0%	2班(7名)+1名
Cトンネル	NATM	2151.0	39919.5	0.22	20	2	3	85.0%	3班(12名)+1名
Dトンネル	NATM	2447.0	43273.9	0.17	17	2	3	82.4%	#
Eトンネル	矢板工法	2510.9	31153.4	0.21	12	4	6	50.0%	#
Fトンネル	矢板工法	239.6	3939.6	0.17	2	1	1	50.0%	2班(6名)+1名
Gトンネル	矢板工法	559.0	10,403.3	0.04	6	2	2	66.7%	2班(6名)+1名
Hトンネル	NATM	165.0	3,372.6	0.05	1	1	1	0.0%	#
Iトンネル	NATM	165.0	3,412.6	0.04	1	1	1	0.0%	#
Jトンネル	NATM	1171.0	21,426.0	0.01	11	4	4	63.6%	#(夜間作業)

※2班を基準として補正

$$\text{低減率 (\%)} = 1 - \frac{\text{補正点検日数}}{\text{暫定歩掛りによる点検日数}}$$

表-2 走行型画像計測を併用した現地点検作業員数の効率化の試算結果

トンネル名	工法	延長(m)	覆工点検面積 (m ²)	ひび割れ密度 (m/m ²)	暫定歩掛りによる 点検日数(日)	①暫定歩掛りによる のべ点検員数(人)	②実績による のべ点検員数(人)	低減率 100-②/①(%)
Aトンネル	矢板工法	1922.2	31011.4	0.29	16	128	39	69.5%
Bトンネル	NATM	499.0	4116.6	0.15	2	16	16	0.0%
Cトンネル	NATM	2151.0	39919.5	0.22	20	160	26	83.8%
Dトンネル	NATM	2447.0	43273.9	0.17	17	136	26	80.9%
Eトンネル	矢板工法	2510.9	31153.4	0.21	12	96	52	45.8%
Fトンネル	矢板工法	239.6	3939.6	0.17	2	16	7	56.3%
Gトンネル	矢板工法	559.0	10,403.3	0.04	6	48	14	70.8%
Hトンネル	NATM	165.0	3,372.6	0.05	1	8	7	12.5%
Iトンネル	NATM	165.0	3,412.6	0.04	1	8	7	12.5%
Jトンネル	NATM	1171.0	21,426.0	0.01	11	88	28	68.2%

$$\text{低減率 (\%)} = 1 - \frac{\text{補正点検員数}}{\text{暫定歩掛りによる点検員数}}$$

6

12. 支援技術活用の効果

近畿道路メンテナンスセンター
R2近畿地整管内トンネル点検・診断及び修繕計画業務より

12.2 効率化検討

今回点検時と前回点検時の点検日数を比較した結果を示す。

下記トンネルについては、支援技術点検を行うことで、前回点検時より現地作業の効率化し点検日数を削減でき、交通規制による周辺環境への負荷を低減し安全性確保に努められたと考えられる。

①国道27号 Aトンネル

Aトンネルは、前回点検時よりも1日短縮できたと考えられる。

※今回点検は監視点検であったが、画像撮影による一次点検を全線実施しているため定期点検相当と位置付けた。

なお、附属物は前回点検時に×判定の箇所のみ確認をしている。

②国道483号 Dトンネル、Eトンネル

国道483号の2トンネルについては、前回点検時に対して6日短縮できたため、点検日数を6割削減することができたと考えられる。

本業務での点検実績を踏まえた従来点検時の点検日数と今回業務での実績日数

号線	事務所	トンネル名	点検内容	トンネル延長(m)	点検面積(m ²)	ひび割れ密度(m/m ²) ^{※1}	従来点検			本業務(新技術活用)			効率化低減率	
							点検日数(日)	作業班 ^{※2}	高所作業車の台数	点検日数(日)	作業班 ^{※2}	高所作業車の台数		
国道27号	福知山	Aトンネル	監視	740	1,195	0.08	1	2	2	1	2	2	0	
国道9号	豊岡	Bトンネル	定期	330	6,022	0.14	1	2	2	1	2	2	0	
国道9号	豊岡	Cトンネル	定期	38	841	0.55	1	1	1	1	1	1	0	
国道483号	豊岡	Dトンネル	定期	1,420	29,652	0.14	4	3	12	1	3	3	75%	
国道483号	豊岡	Eトンネル	定期	2,810	59,249	0.14	7	3	21	3	3	9	57%	
国道24号	奈良	Fトンネル	定期	389	8,376	0.19	2	2	4	1	2	2	50%	
				合計	5,727	105,335								
							1km未満	5	9	4	7	20%		
							1km以上	11	33	4	12	64%		
							合計	16	42	8	19	50%		

7

13. 今後の展望

13章

13.1~2 研究成果のまとめ(支援レベル 8,9章)

走行型計測技術等のトンネル点検支援技術の高度的活用により、高品質化・効率化・省力化を図ることが実現でき、更なる実装化が可能となる。

①事前の展開図作成、スクリーニングによる近接目視時の点検作業の効率化

②点検表作成作業の効率化

③目視点検に先立つ覆工展開画像活用(変状抽出、AI活用)による効率化

④展開図の高品質化(変状位置精度の正確性)

⑤机上点検後の現地点検による変状抽出漏れ防止

⑥複数技術の実証実験により、画像、レーザともに同様の支援ができ、データの互換性も確保

⑦レーザについて、断面計測精度の検証、縦断位置補正・回転補正の方法を提案、コンター解析による外力性診断の有効性を実証

⑧レーダについて、健全度を除外するスクリーニングに有効、巻厚・空洞情報を点検時に提供でき適切な診断が可能(組合せ技術も活用)

⑨判定の目安に対する判断情報付加による適正な健全度診断

⑩点検要領の判定の目安および健全診断に対し、検討した高度化技術は点検診断を有効に支援でき、代替あるいは高機能化が可能(一部は技術の組合せにより代替可能)

⑪外業、内業を総合しコスト縮減、効率化を実現

8

13. 今後の展望

13.3~5 高度化技術の有効活用, 留意点

- ①帳票の点検記録に加え、画像や形状などの計測データを取得し、**保管管理**することが重要
- ②データベース、**共通プラットフォーム**が必要
- ③状態や進行性の定量評価には、**初期計測が重要**
- ④**進行性差分計測**による**有害な損傷の早期発見**
- ⑤**人とロボットのベストミックス**が望ましい
- ⑥画像、点群、非破壊検査、AIなど**有効な技術を組合わせて診断**を行うことが重要
- ⑦BIM/CIM、i-Conなど設計から維持管理段階で一貫した**データ活用、汎用性の確保**が重要
- ⑧新技術は、**目的、適した対象、ユースケース、性能規定**に基づき活用することが重要
- ⑨**データ・診断の品質**を確保するため、**計測時の留意点、マニュアル化、データ標準化**が重要
- ⑩高度化技術を活用した**次期点検要領**が望まれる

13. 今後の展望

13.3 高度化技術の有効活用, 留意点

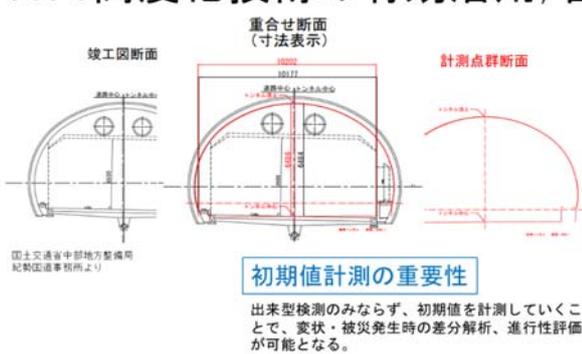


図 13.3.1 初期値計測の重要性

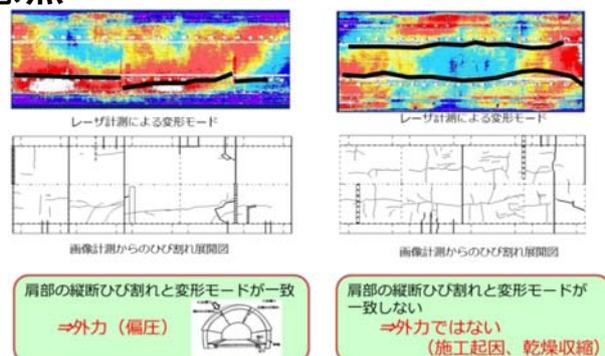


図 13.3.2 外力性診断の事例

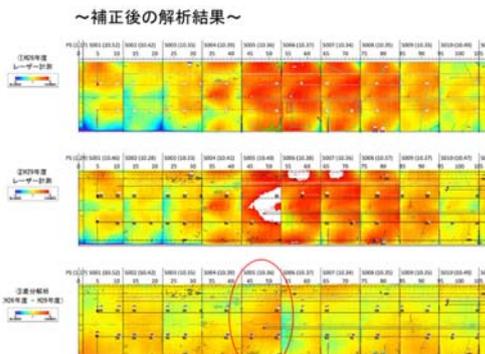


図 13.3.3 進行性差分解析

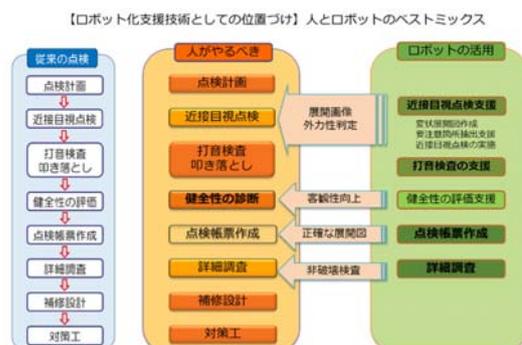
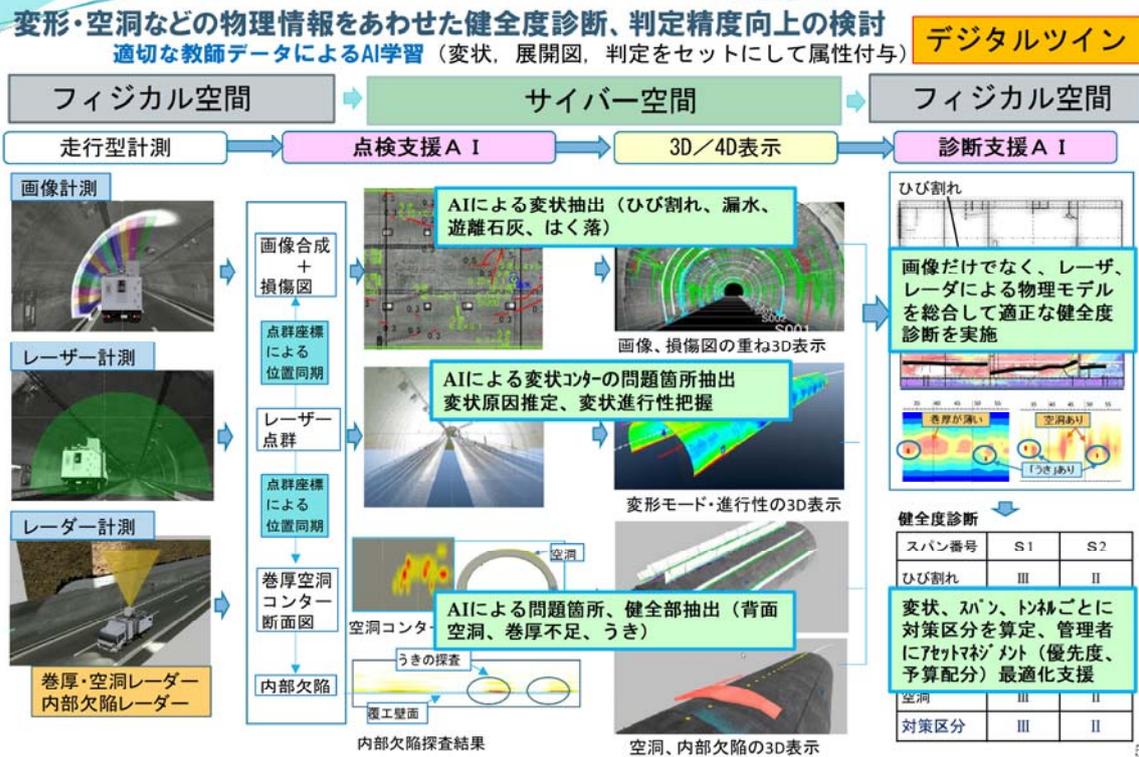


図 13.3.4 人とロボットのベストミックス

13. 今後の展望

13.3 高度化技術の有効活用, 留意点



56

図 13.3.5 技術の組合せ

13. 今後の展望

13.6. 今後の方向性

- デジタルツインの具現化による健全度診断技術の高度化 (Society5.0)

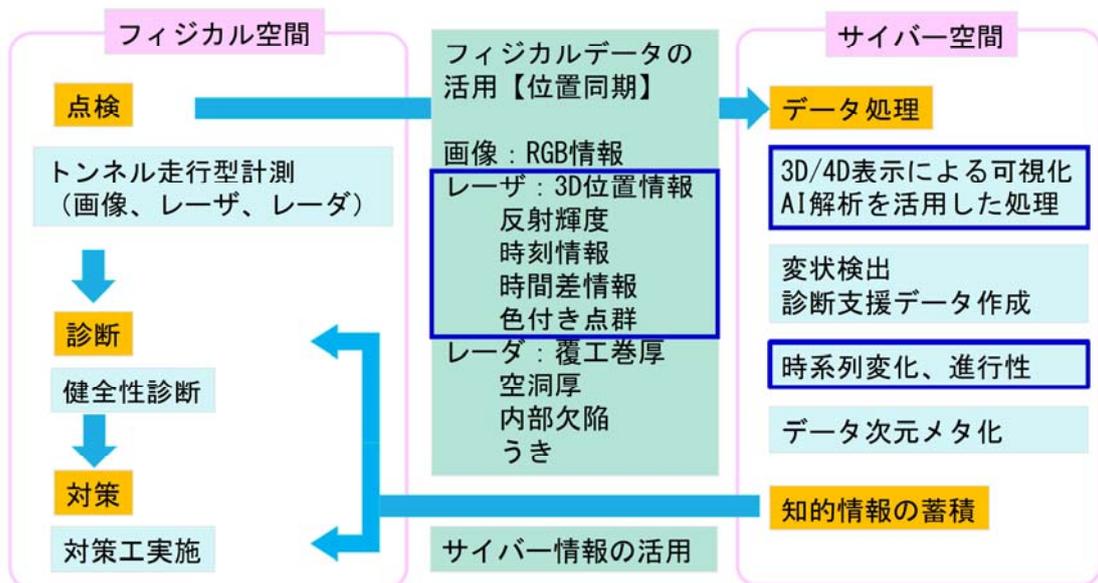


図 13.6.2 デジタルツイン

13. 今後の展望

13.6 今後の方向性

今後求められる新技術

1) 省力化、効率化技術（補完、代替技術）

- ① 近接目視、打音検査を除外できる健全部のスクリーニング技術
- ② 近接目視を基本とする点検を代替する技術
- ③ チョーキングを省略し、効率化、省力化する技術
- ④ うき、はく離を定量的に評価できる技術
- ⑤ 打音検査を代替する技術
- ⑥ 重要な変状、明確な進行性、補修跡の進行、画像・レーダなどで検出できないうきなどに絞ったマーキング

① 外力性判定のための変形解析、進行性解析

② 画像解析に同期し、変形計測技術を用いた外力性変状解析、→路面変状計測

③ 路面画像、レーザ計測（路面隆起・沈下計測）、解析技術

④ 画像、変形、非破壊など、物理モデルを含め総合的に変状原因、健全性診断を行う技術

⑤ ひび割れや漏水等の覆工の表面の情報だけではなく、変形・移動・沈下、巻厚や背面空洞、覆工コンクリート内部欠陥などの情報を考慮し、総合的に健全性診断を支援する技術

⑥ トンネル点検・調査・補修補強工事の一連の記録のデータベース化（BIM/CIM対応）

⑦ 日常点検で要注意箇所の変化を検知するシステム

⑧ 措置の提案や実施時期を支援する技術

13. 今後の展望

13.6 今後の方向性

AI、自動化、遠隔化（高機能化）

(1) AI技術

- ① 変状抽出、点検支援AI（漏水や遊離石灰で不可視ひび割れを検出する技術）
対策工区分判定に必要な、外力性か材質劣化かを判定する技術
- ② 外力性診断のAI
- ③ 外力性・進行性診断AI
- ④ 定量的診断、診断AI

(2) 自動化技術

- ① 進行性自動把握、前回との比較・差分を自動で把握する技術
- ② 自動診断システム（状態把握、進行性、措置必要性、履歴管理の一連を自動で処理、診断する技術）
- ③ センサーによる自動監視技術

(3) 遠隔化技術

- ① AR, VR, MRを活用し、遠隔診断ができる技術
- ② 点検を遠隔支援する技術社会実装促進のあり方

13. 今後の展望

13.6 今後の方向性

- ①補完、代替技術として省力化、効率化を進める
- ②AI、自動化、遠隔化など更なる高機能化を促進
- ③点群位置情報、物理情報と3D可視化、AI診断などを組み合わせ3D～5Dのデジタルツインを構築
- ④点検マネジメントサイクルを支援し、社会実装を具現化する
- ⑤研究は終了するが、今後もオープンイノベーションとして、**社会実装の活動を継続**していく。

⇒ R3,4 研究を継続

15

今後の活動

継続研究項目

- (1) AIによる支援技術の検討
 - ①健全部スクリーニングAIの開発
 - ②3次元点群を活用した変状検出AIの開発
- (2) 変状原因、変状進行性の評価手法
 - ①スキャンマッチングによる補正技術の開発
- (3) 社会実装に向けた検討
(今年度性能カタログなど他の新技術検証も含む)
 - ①データ互換性、データ管理の検討
 - ②適用性、コスト、現場および内業の効率化等の支援技術のさらなる検証
 - ③性能規定でのマニュアル化の検討
 - ④点検記録の高度化の検討および検証
- (4) 次期「道路トンネル定期点検要領」の改定に向けた検討

16

今後の活動

継続研究計画

研究項目	令和3年度	令和4年度
①健全部スクリーニングAIの開発	■	
②3次元点群を活用した変状検出AIの開発	■	
③スキャンマッチングによる補正技術の開発	■	
④データ互換性、データ管理手法の検討		■
⑤適用性、コスト、現場および内業の効率化等の支援技術の検証		■
⑥性能規定でのマニュアル化の検討		■
⑦点検記録の高度化の検討および検証		■
⑧次期要領の改定に向けた検討		■