

道路トンネル点検記録作成支援ロボット技術の評価

ユースケースの前提		点検員等がチョーキング(ひび割れ幅0.3~3.0mmのひび割れ、うき・はく離の打音異常の有無及び範囲、鋼材腐食の範囲)した後、ロボットによる写真撮影を実施。点検員等がロボットにより取得した変状写真を見て、記録調書を作成。 ※上記とは別に、専門的な知識と技能を有する技術者が近接目視を行った上で健全性の診断を行う。															
技術名		走行型高速3Dトンネル点検システム MIMM-R(ミー・ム・アール)			走行型高精度画像計測システム(トンネルレーザ)			道路性状測定車両二輪(L&Lシステム)			トンネル覆工コンクリート内部・表面調査システム						
開発者		パシフィックコンサルタンツ株式会社			中外テクノス			西日本高速道路エンジニアリング四国株式会社			三井造船株式会社						
共同開発者		計測検査株式会社、システムリサーチ株式会社、株式会社ウォールナット			—			—			株式会社トックス						
NETIS番号		(申請予定)			(申請中)			SK-160013-A			(申請予定)						
技術概要		トンネル覆工壁面の連続画像撮影システム、高精度3次元レーザ計測システム、非接触レーザ探査システムを車両に搭載し、覆工表面ひび割れ、漏水等の変状と、トンネル断面形状、巻厚、背面空洞等を計測するもので、走行型であるため計測時の交通規制が不要となる。この統合型計測システムにより従来点検前に計測し、近接目視、打音検査の併用技術として支援するとともに、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。			民生用4Kビデオカメラを使用した高精度の覆工面画像を取得するシステム。民生機を使用することで、装置全体をコンパクトにできる。カメラの配置により撮影範囲及び解像度を自在に変更でき、狭隘な水路トンネル等への対応が可能。覆工表面を高い解像度で撮影することで、発生している変状を正確に記録する。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度のある高精度な画像が得られ、覆工面の状態をより正確に記録することができる。			カラーラインセンサカメラによる高精度な可視画像撮影システムと、光切断法による3次元形状計測技術を併用して、覆工コンクリートの表面状態と形状を、同時に計測、解析する。これにより、覆工コンクリートのひび割れと、剥離の前兆である段差を検出し、コンクリート片が剥落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である。将来的に、現状のトンネルの損傷評価だけでなく、定期的な計測を行うことにより劣化進行を定量的に把握できる技術を目指している。			打音検査では検出困難だった変状(空洞や豆板など)を、マルチバレーダ(MPLAレーダ)により3次元で映像化するシステム。専用支持装置に架装したレーダを車両に搭載し、最高速度3.5km/hでの連続走行計測が可能である。マルチバレーダによる計測データを覆工表面レーザ計測車(株トックス製)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。						
概要図		<p>走行型計測車両 MIMM-R</p> <p>高密度レーザ(100万点/秒) 線陣MMS:レーザ</p> <p>覆工の3次元形状計測 道路周辺の3次元地形測量</p> <p>非接触空洞探査レーザ 非接触内部欠陥探査レーザ</p> <p>TYPE1:巻厚と背面空洞 TYPE2:内部欠陥、ジャンク ひび割れ、変状を連続撮影</p>															
計測対象部位		トンネル本体内覆工(アーチ、側壁)			トンネル本体内覆工(アーチ、側壁)			トンネル本体内覆工(アーチ、側壁)			トンネル本体内覆工(アーチ、側壁)						
必要な機器・装置等		CCDカメラ(38万画素)×20台 画像合成ソフト			4Kカメラ(830万画素):11台 画像合成ソフト			ラインセンサカメラ(4096画素/ライン:4台) 画像合成ソフト			レーザ照射装置=アルゴンイオンガスレーザ(出力4W)×6面体スキャナ レーザスキャン性能=21,000回転/分×6(レーザ走査線数) 画像合成ソフト						
必要な能力・資格等		なし			なし			なし			なし						
概略費用※2	直接人件費	1,832,700円(周長17m×延長500m×10トンネル)			1,818,950円(周長17m×延長500m×10トンネル)			375,200円(周長17m×延長500m×10トンネル)			1,654,450円(周長17m×延長500m×10トンネル)						
	直接経費	703,100円(周長17m×延長500m×10トンネル)			1,209,953円(周長17m×延長500m×10トンネル)			1,762,000円(周長17m×延長500m×10トンネル)			1,750,150円(周長17m×延長500m×10トンネル)						
	計	2,535,800円(周長17m×延長500m×10トンネル)			3,028,903円(周長17m×延長500m×10トンネル)			2,137,200円(周長17m×延長500m×10トンネル)			3,404,600円(周長17m×延長500m×10トンネル)						
車両寸法	車両幅	2.08m			1.67m			2.18 m			2.26m						
	車両高さ	3.63m			2.80m			3.14 m			3.20m						
適用条件	天候	屋外では強風、強雨、降雪時は使用不可(小雨では使用可能)			雨天時はカメラのレンズに水滴が付き画像に影響が出るため撮影は避ける			天候が雨天でないこと			雨天時(小雨を除く)は、レーザ計測への影響が懸念されるため、計測は避ける						
	気温条件	0℃~40℃			-10~40℃			特に無し			外気温0℃以下の場合、レーザ計測への影響が懸念されるため、計測は避ける						
	時間帯・日射条件	昼夜問わず計測可能			トンネル坑口に直射日光が当たる時間の撮影は避ける			坑口付近の覆工コンクリートについては、日射の影響を考慮し夜間が望ましい			昼夜問わず計測可能						
	計測時の走行速度条件	80km/h以下			5~80km/h			100km/h以下(壁面撮影の場合)			60km/h以下						
	渋滞時の計測可否	測定可能			渋滞時の撮影は不可			測定可能			測定可能						
	設備等による死角条件	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			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			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			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						
	車両から覆工表面までの距離条件	10m程度以内			制限なし(壁面までの距離が大きく変化する部分の撮影は不可。)			制限なし			概ね10m以内						
	トンネル延長の制約	制限なし			制限なし			制限なし			制限なし						
	車線数の制約	3車線以上も計測可能			制限なし			3車線以上も計測可能			3車線も計測可能						
	断面形状の制約	矩形断面など対象構造物に応じて対応可能			大きな断面変化がないこと			矩形断面など対象構造物に応じて対応可能			矩形断面も計測可能(断面形状に応じて、レーザ照射器を要位置調整)						
トンネル内照明の消灯の必要性	不要			不要			不要			不要							
その他の条件	—			トンネル覆工面が濡れている場合や内装版がある箇所では照明が反射し、画像に影響が出ることがある			—			・走行路面が平坦であること ・覆工表面の排ガスによる汚れが少ないこと							
検証結果	[A] 精度	[A-1] 変状写真の撮影	判読可能率※3	ひび割れ	幅0.3~3.0mm(0.1mm単位)	【レベル1】 ひび割れを示すチョーキングを判別 100%(76箇所/76箇所)	【レベル2】 ひび割れそのものを判別 (非申請)	【レベル1】 ひび割れを示すチョーキングを判別 100%(76箇所/76箇所)	【レベル2】 ひび割れそのものを判別 (非申請)	【レベル1】 ひび割れを示すチョーキングを判別 100%(76箇所/76箇所)	【レベル2】 ひび割れそのものを判別 (非申請)	【レベル1】 ひび割れを示すチョーキングを判別 100%(76箇所/76箇所)	【レベル2】 ひび割れそのものを判別 (非申請)				
					幅3.0mm以上(0.5mm単位)※4	100%(14箇所/14箇所)	(非申請)	100%(14箇所/14箇所)	(非申請)	100%(14箇所/14箇所)	(非申請)	100%(14箇所/14箇所)	(非申請)	未検証(0箇所)			
				うき・はく離	打音異常の有無と範囲を示すチョーキング	100%(47箇所/47箇所)	(非申請)	100%(47箇所/47箇所)	(非申請)	100%(47箇所/47箇所)	(非申請)	100%(47箇所/47箇所)	(非申請)	100%(47箇所/47箇所)	(非申請)	100%(47箇所/47箇所)	
					ひび割れ等の状況※5	100%(47箇所/47箇所)	(非申請)	100%(47箇所/47箇所)	(非申請)	100%(47箇所/47箇所)	(非申請)	100%(47箇所/47箇所)	(非申請)	100%(47箇所/47箇所)	(非申請)	100%(47箇所/47箇所)	
				鋼材腐食	範囲を示すチョーキング	未検証(0箇所)	(非申請)	未検証(0箇所)	(非申請)	未検証(0箇所)	(非申請)	未検証(0箇所)	(非申請)	未検証(0箇所)	(非申請)	未検証(0箇所)	
					腐食の有無	未検証(0箇所)	(非申請)	未検証(0箇所)	(非申請)	未検証(0箇所)	(非申請)	未検証(0箇所)	(非申請)	未検証(0箇所)	(非申請)	未検証(0箇所)	
					部位	アーチ	側壁	路面	アーチ	側壁	路面	アーチ	側壁	路面	アーチ	側壁	路面
				漏水等による変状	漏水(有無及び範囲)	100%(71箇所/71箇所)	(非申請)	(非申請)	100%(71箇所/71箇所)	(非申請)	(非申請)	100%(71箇所/71箇所)	(非申請)	(非申請)	100%(71箇所/71箇所)	(非申請)	(非申請)
					水	未検証(0箇所)	(非申請)	(非申請)	未検証(0箇所)	(非申請)	(非申請)	未検証(0箇所)	(非申請)	(非申請)	未検証(0箇所)	(非申請)	(非申請)
					土砂	未検証(0箇所)	(非申請)	(非申請)	未検証(0箇所)	(非申請)	(非申請)	未検証(0箇所)	(非申請)	(非申請)	未検証(0箇所)	(非申請)	(非申請)
	[A-2] 変状写真台帳の整理	機能の有無	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)				
		[A-3] 変状の自動検出	検出率	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)				
			的中率	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)	(非申請)				
	[B] 効率性	現場規制時間の短縮	規制時間比率	非申請或未検証の部分がため、今回は算出対象外													
	[C] 効率性	従来技術とのコスト比率	コスト比率(外業)	非申請或未検証の部分がため、今回は算出対象外													
コスト比率(内業)			非申請或未検証の部分がため、今回は算出対象外														
コスト比率(外業+内業)			非申請或未検証の部分がため、今回は算出対象外														

※1 利用場面に対する開発者からの申告
 ※2 概略費用: 周長17m(平均)、延長500m(平均)の同一路線上に連続した10トンネルを対象に算出。(費用は条件により変わります。)
 点検員等がチョーキングした後ロボット技術により写真撮影を実施し、点検員が作業できる形に加工するまでの費用。旅費交通費、機材運搬費、間接原価、一般管理費等は除く。
 ※3 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)
 ※4 検証トンネルにひび割れ(3.0mm以上)が無かったため、幅0.5mm以上のひび割れが判読可能であること、幅0.5mmのひび割れが判読可能であることを確認することにより、ひび割れ(3.0mm以上(0.5mm単位))が判読可能であるとみなすとした。
 ※5 ひび割れ等の状況: 閉合、ブロック化、補修材等の材質劣化、覆工コンクリート等の細片化、覆工コンクリート等の材質劣化