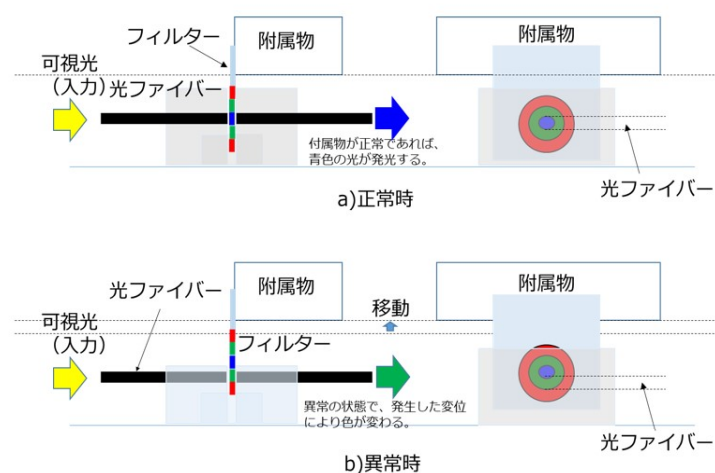
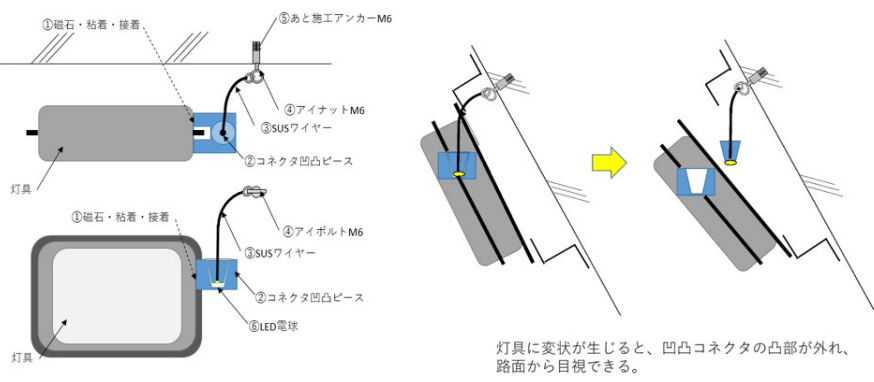


## 1. 基本事項

技術番号	TN030001-V0323		
技術名	OSVを活用したトンネル附属物の監視技術		
技術バージョン	Ver. 2	作成: 2023年3月	
開発者	パシフィックコンサルタンツ(株) 神戸大学 一般社団法人OSV研究会 株式会社ケー・エフ・シー		
連絡先等	TEL: 03-6777-4763	E-mail: tn-mimm@ss.pacific.co.jp	交通基盤事業本部 トンネル部
現有台数・基地	注文生産	基地	
技術概要	<p>光ファイバーを用いたOSVセンサー(現場可視化技術)により照明灯具等の附属物の脱落の異常を監視するものである。</p> <p>本技術は、道路トンネル定期点検において、附属物の判定区分「O」ではあるが、取付部材の腐食が進行しており、監視を必要とするようなものを対象としている。万が一、対象附属物の取付金具の1部に破断等が発生した場合に生じた附属物等の変位をOSVセンサーにて検知するものである。</p> <p>定期点検時に監視対象の照明等の附属物に設置し、徒歩による日常パトロールや定期点検においてセンサーの発光色の变化で異常の有無を確認し、異常が認められた場合は速やかに近接目視等で点検を行い措置もしくは撤去、交換を行うことを前提としている。</p> <p>なお、神戸大学が主催するOSV研究会では、任意データが安全側から危険側へ変化することを、光の色の変化として表現する方法をとっている。例えば、3段階表示の場合は、青(もしくは緑)⇒黄⇒赤、5段階表示の場合は青⇒水色⇒緑⇒黄⇒赤と表示することを標準としている。</p>		
技術区分	対象部位	照明灯具、大型標示板、ジェットファン等の取付部材等の異常(腐食等)により脱落の有無の変位・変状監視	
	検出原理	タイプ1:光ファイバーを用いたOSVセンサーの発色の変化による タイプ2:ソケットの抜けによる変化の表示	
	検出項目	タイプ1:可視光(センサー内部に光の三原色RGBのフィルムを設置することで変位に同調した色調変化の確認) タイプ2:反射シートによる確認	

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>【タイプ1】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>光ファイバー(直径Φ2.2mm) 5m×2本</li> <li>センサー本体 1個</li> <li>センサーフィルム 1個</li> <li>強力両面テープ 適量</li> <li>光ファイバー固定材 適量</li> </ul> <p>【タイプ2】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>センサー部(反射シート・コネクタ凹凸ピース) 1組</li> <li>SUSワイヤー 1本</li> <li>アイボルトまたはアイナット(M6) 1個</li> <li>あと施工アンカー(M6) 1個</li> </ul>	
移動装置	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		外形寸法・重量	-
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
計測装置	設置方法	高所作業車等を用いて光ファイバーをコンクリートアンカーもしくは強力両面テープで覆工コンクリートに固定する。検知対象の附属物には強力両面テープで固定する。	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	光ファイバーの直径は、Φ2.2mmを標準とする。 延長は1本当たり5m程度を標準とする。	
	センシングデバイス	光ファイバー、LED懐中電灯等の照明(手元から入力側の光ファイバーに白色光を入力する)	
	計測原理	<p>【タイプ1】</p> <p>本技術は、2本の光ファイバーをセンサー本体で接続し、センサー本体内で2本の光ファイバーの間にRGBの着色をしたフィルムを設置する。センサー本体は、覆工コンクリートに固定し、着色フィルムは、対象とする附属物等に固定する。対象の附属物等の取付部材の一部が破断等により変位が生じたときにその変位量に同調した発色を確認することで、脱落の危険性を判断するものである。</p> <p>フィルムは同心円状に内側から青(直径2mm)、緑(直径6mm)、赤(フィルム本体色)としており、変位に応じて青⇒水色⇒緑⇒黄色⇒赤と発光色が変化するものである。</p> <p>【タイプ2】</p> <p>本技術は、対象附属物にセンサー部を設置し、センサー部と覆工コンクリートをSUSワイヤーにより接続する。センサー部は、凹凸構造のソケットとなっており、凹部が附属物と固定され、凸部がSUSワイヤーで覆工に固定されている。附属物が脱落する際にソケットが抜けることにより異常を検知する構造である。</p>	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件件)	<p>【タイプ1】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>OSVのセンサーを覆工コンクリートおよび附属物等に設置可能な状態であること。</li> <li>多量漏水箇所、素掘トンネル等では、センサーの固定に問題が生じるため適用不可となる。</li> <li>多量の漏水によりセンサーに水が浸透する場合は、センサーの発色が適正にできない場合がある。</li> <li>OSVセンサーフィルム部と対象の附属物の固定を強力粘着テープ等で確実にすること。</li> <li>OSVセンサー本体は、コンクリートアンカーもしくは強力粘着テープ等で確実に覆工コンクリートに固定すること。</li> </ul> <p>【タイプ2】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>附属物が2箇所以上の取り付け部材で固定されていること。</li> <li>ソケットの反射シートに懐中電灯等のライトが照射されること。</li> </ul>	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<p>【タイプ1】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>可視光を確認するため、光ファイバーの端部が汚れている場合は検知できないおそれがある。</li> <li>光ファイバーの固定部分に不良がある場合は、検知できないおそれがある。</li> <li>漏水、遊離石灰がコネクタ部に浸透すると減光や遮断の恐れがある。</li> <li>照明等の附属物が取付金具の腐食等で脱落する際にセンサー設置部で1mm以上の変位が発生しない場合は検知できない場合がある。</li> </ul> <p>【タイプ2】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>取り付け部材の1箇所が腐食等により破断等が発生した際に5mm程度の変位が生じること。</li> </ul>	

<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">計測プロセス</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">計測装置</p>	<p><b>【タイプ1】</b></p> <p>① 徒歩による日常パトロール、定期点検の際にLED懐中電灯等により白色光を入力側光ファイバーに照射させることを想定している。</p> <p>② 2本の光ファイバーとOSVセンサーで構成されたセンサーをトンネル内附属施設と近傍の覆工コンクリートに設置する。光ファイバーの設置の概念図を「6. 図面」に示す。</p> <p>③ 附属物の脱落を可視光の変化により確認する。</p> <p>④ センサーからの発色は正常時は青であるが、変位が発生すると青⇒水色⇒緑⇒黄色⇒赤と変化する。</p> <p>⑤ 赤となった場合は、5mm以上の変位が発生しており、少なくとも1箇所の取付部材が破断等の異常が発生している状況である。</p> <p><b>【タイプ2】</b></p> <p>① 徒歩による日常パトロール、定期点検の際に懐中電灯等によりコネクタが外れているときは反射シートの反射が目視できることを想定している。</p> <p>② センサーの設置概要と附属物の脱落時のセンサーの挙動の概念図を以下に示す。</p> <p>③ 附属物の取り付け金具が腐食等によって破断した際にソケットが抜けコネクタ凸部の先端が懐中電灯等で反射して異常を検知する。</p> <p><b>【タイプ1】</b></p>  <p><b>【タイプ2】</b></p> 
	<p><b>アウトプット</b></p> <p><b>【タイプ1】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・出力側光ファイバーの可視光の発光色</li> </ul> <p><b>【タイプ2】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・コネクタ凸部の先端の反射</li> </ul>
	<p><b>計測頻度</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・日常パトロール、定期点検等の適宜実施</li> </ul>
	<p><b>耐久性</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・5年程度</li> </ul>
	<p><b>動力</b></p> <p>—</p> <p><b>連続稼働時間</b> (バッテリー給電の場合)</p> <p>—</p>

データ収集・通信装置	設置方法	-
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	-
	データ収集・記録機能	-
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	-
	動力	-
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	-

## 3. 運動性能

項目	性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件
適用可能なトンネルの最小寸法	-	-
適用可能なトンネルの最大寸法	-	-
障害物回避	-	-

## 4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件		
計測装置	計測レンジ (計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	有	【性能値】未検証 【標準試験値】 標準試験方法 (2020) 実施年 2020年 最大5mm、(青～緑～赤の変位で確認)	附属物等が脱落する際に変位を生じること。	
	校正方法	-		-		
	感度	検出性能	性能確認シートの有無 ※	有	【性能値】未検証 【標準試験値】 標準試験方法 (2020) 実施年 2020年 ・附属物に1mm程度以上の変位が発生した場合に、概ね1mm程度の間隔で変位を検知	発光色を確認するため、暗所であること。
	検出感度	性能確認シートの有無 ※	有	定性的な判断(発光色のカラーチャートとの比較)	入力する光源が白色であること。また、十分な光量が必要なため、高輝度なLED懐中電灯等を用いること。	
	S/N比	性能確認シートの有無 ※		-		
	分解能	性能確認シートの有無 ※	有	【性能値】未検証 【標準試験値】 標準試験方法 (2020) 実施年 2020年 1mm程度	変位1mmに対応した発光色のカラーチャートとの比較とする。	
	計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	【性能値】未検証 【標準試験値】 標準試験方法 (2020) 実施年 2020年 1mm程度	入力する光源が白色であること。また、十分な光量が必要なため、高輝度なLED懐中電灯等を用いること。	
	計測速度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※		-		
	位置精度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※		-		
	色識別性能 (画像から計測する場合)	性能確認シートの有無 ※		-		

※「有」の場合は付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

## 5. 留意事項(その1)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
点検時現場条件	作業範囲	・設置時は、側壁から天端(附属物の設置高さまで) ・点検時は、監視員通路もしくは監査路の路面より高さ1.5m程度の側壁。	-
	安全面への配慮	・アンカー等による固定が必要となるため、落下に留意 ・附属物の材質を確認し、異種金属腐食が発生しないことを確認	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	交通規制の要否	・設置、撤去時は片側規制が必要 ・点検時は不要	-
	交通規制の範囲	・設置、撤去時は、設置位置前後30m程度。ただし、安全面に配慮してトンネル内の全線の片側規制を原則とする。 ・点検時は不要。	-
	現地への運搬方法	・設置時は、車両にて資機材を運搬 ・点検時は、LED懐中電灯のみとなるため、徒歩で可能	-
	気温条件	・特になし	-
	トンネル延長の制約	・特になし	-
	車線数の制約	・設置時は、1車線分の作業範囲を要する	-
	断面形状の制約	・特になし	-
	その他	すす汚れによる作業の可否:可	コネクタ一部に漏水、遊離石灰等が付着しないように留意

## 5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
調査技術者の技量	トンネル維持管理の経験を有する技術者	-
必要構成人員数	設置時は、現場責任者1人、機器設置主任1人、補助員1人 合計3名	-
操作に必要な資格等の有無	設置時は、高所での作業となるため、高所作業車運転資格	-
操作場所	高所作業車上	-
計測費用	【タイプ1、タイプ2】 設置材料費20,000円/箇所 設置費 150,000円/日(1日当たり5~10箇所設置可能) 計測は道路管理者(日常パトロール等)による	【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 ・照明灯具など附属物の脱落の異常監視(落下前に異常検知)
保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
時間帯(夜間作業の可否)	・特になし(夜間作業は可)	-
計測時の走行速度条件	-	-
渋滞時の計測可否	・特になし	-
車両から対象部位までの距離条件	-	-
トンネル内照明の消灯の必要性	・特になし	-
可搬性(寸法・重量)	・特になし	-
自動制御の有無	なし	-
利用形態:リース等の入手性	購入品のみ	-
関係機関への手続きの必要性	・設置時は、交通規制を必要とするため、トンネル管理者及び警察との協議を要する。 ・計測時は、監視員通路、監査路もしくは歩道からの作業のため不要。	-
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	-	-
不具合時のサポート体制の有無及び条件	なし	-
センシングデバイスの点検	定期点検等の高所作業時にコネクタや取付部材の状態を確認。 光ファイバーの端部の汚れを除去。	-
その他	特許状況:特になし 気象条件:特になし 作業条件:特になし	-



6. 図面

本カタログは、図-1に示す3段階の開発のうち、フェーズ1の段階である。

【フェーズ1】

入力側の光ファイバーに手元からLED懐中電灯の白色光を入力し、出力側の光ファイバーの発光色を手元で確認する。

【フェーズ2】

対象の照明灯具から入力側の光ファイバーに入力し、出力側の光ファイバーの発光色を手元で確認する。

【フェーズ3】

対象の照明灯具から入力側の光ファイバーに入力し、出力側の光ファイバーの発光色を日常パトロールの車上から確認する。

図-1 本技術の開発段階

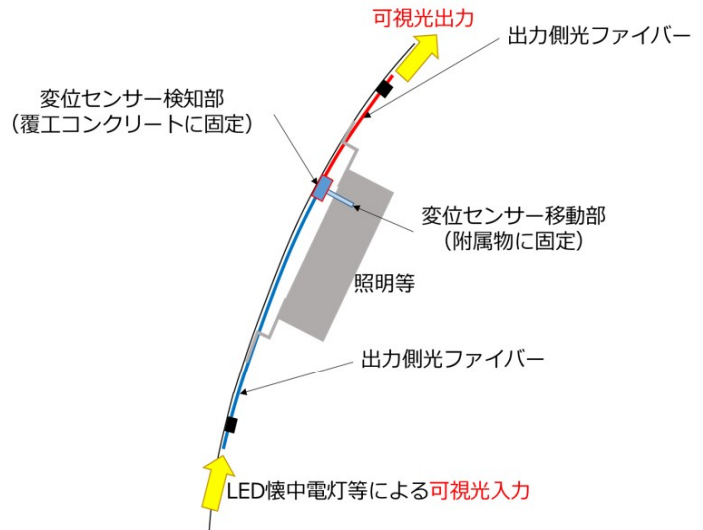


図-2 設置模式図

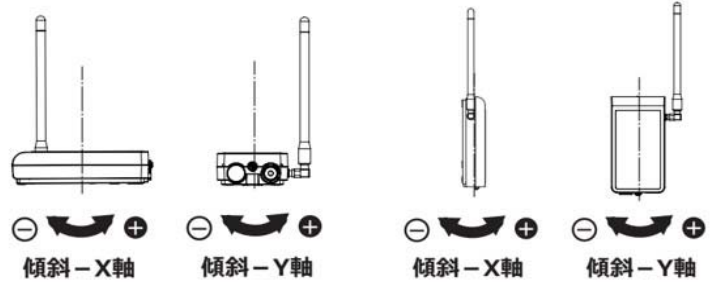
表-1 OSVセンサー（出力）の発光色とセンサー部変位の関係例


変位	0mm	1mm程度	2mm程度	3mm程度	4mm程度	5mm以上
OSVセンサーの発光色						

## 1. 基本事項

技術番号	TN030002-V0323		
技術名	3軸加速度センサを用いた傾斜計による、トンネル内付属物(照明器具・標識等)の傾斜角度変位モニタリングシステム		
技術バージョン	IoT看板センサ(OFM-002S)	作成:	2023年3月
開発者	株式会社ザイマックス オプテックス株式会社 公立大学法人兵庫県立大学		
連絡先等	TEL: 03-5544-6630	E-mail: hi-yoshida@xymax.co.jp	株式会社ザイマックス経営企画部 吉田
現有台数・基地	100台	基地	東京都港区赤坂
技術概要	3軸加速度センサを搭載した監視センサをトンネル内付属物(照明器具・標識等)に設置し、キャリブレーションを行った後の相対傾斜角度の変位をモニタリングする技術である。監視センサは、3軸加速度センサ・電池(専用リチウム電池)・通信モジュール等で構成されており、これを最長で5年間設置しておくことで、その期間において、一定時間毎の傾斜角度を継続的に計測する。これにより、どの程度変位が発生したかが可視化できる技術である。		
技術区分	対象部位	トンネル内付属物(照明・標識等)	
	検出原理	重力加速度を測定し、傾斜角度を算出している	
	検出項目	キャリブレーション後の相対傾斜角度	

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>本監視センサは、3軸加速度センサ・電池および通信モジュール内蔵の本体のみで計測を行うものである。計測されたデータはSigfox通信を通じて、弊社のクラウドサーバに蓄積される。お客様のパソコンやスマートフォンのインターネットブラウザから、傾斜角度の継続的データが確認・出力できる。</p> <p>※Sigfox通信 京セラコミュニケーションシステム株式会社が日本国内において基地局を設置し、電気通信事業者として展開している通信サービス <a href="https://www.kccs-iot.jp/">https://www.kccs-iot.jp/</a></p>	
移動装置	移動原理		
	通信用制御機構	通信	
		測位	
		自律機能	
	外形寸法・重量		
	搭載可能容量 (分離構造の場合)		
	動力		
連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)			
計測装置	設置方法	<p>照明器具の場合は器具横の垂直面部分に、標識の場合は照明器具型のものは器具横の垂直面部分または器具上部の水平面部分に、取付用のビスが付いた設置用治具をもって監視センサを取り付ける。または監視センサをステンレス製の台座にビスで取り付け(2箇所)、それを金属用強力接着剤で対象物に接着固定する。</p> <p>※トンネル内部はSigfox通信が圏外となる場合がある。そこで通信環境確保のため、トンネル開口部付近で3G回線の通信環境下であり、防水環境、十分な設置空間および100V電源が確保できる場所に、小型Sigfox基地局(Access Station Micro)を設置する。これによりトンネル開口部から約1kmの範囲まで通信可能となる(下記サイト参照) <a href="https://www.kccs.co.jp/news/release/2019/0130/">https://www.kccs.co.jp/news/release/2019/0130/</a></p>	
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	<p>監視センサ(OFM-002S) 約210g(アンテナ、電池を含む) 水平設置の場合:監視センサの外径寸法W134×D93×H172mm(本体/アンテナ垂直設置時) 垂直設置の場合:監視センサの外径寸法W93×D33×H275.5mm(本体/アンテナ垂直設置時) ・小型Sigfox基地局(Access Station Micro) W186×H159×D108mm 約450g(sigfox内蔵アンテナを含む) 付属:ACアダプタ、3G USB ドングル(ドコモ回線 SIM 内蔵)</p>	
	センシングデバイス	オプテックス株式会社製 IoT看板センサ(型番:OFM-002S)	
	計測原理	<p>3軸加速度センサを内蔵した監視センサを用いて、対象物のX・Y2軸のキャリブレーション後の相対傾斜角度を計測する。計測されたデータはすぐに弊社クラウドサーバに送信される。</p>  <p style="text-align: center;">傾斜-X軸      傾斜-Y軸      傾斜-X軸      傾斜-Y軸</p> <p style="text-align: center;">【対象物の水平面に取り付ける場合】      【対象物の垂直面に取り付ける場合】</p>	
	計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件件)	<p>照明器具の場合は器具横の垂直面部分に、標識については照明器具型のものは器具横の垂直面部分または器具上部の水平面部分に、取付用のビスが付いた設置用治具をもって監視センサを取り付ける。または監視センサをステンレス製の台座にビスで取り付け(2箇所)、それを金属用強力接着剤で対象物に接着固定する。その際にトンネル天井部などとの間に、アンテナを垂直に立てた状態で監視センサを設置できるだけのスペースが必要である。</p> <p>さらに監視センサは水平面に対し-10° ~ +10° の範囲に収まるように取り付ける必要がある。</p> <p>またぐらつきなどが生じず、一体となるよう接合できる必要がある。</p> <p>トンネルがSigfoxの通信サービスエリア内にあることが必要であり、下記サイトにて確認を要する。 (<a href="https://www.kccs-iot.jp/area/">https://www.kccs-iot.jp/area/</a>)</p> <p>トンネル内部はSigfoxの通信が届かないため、トンネル開口部付近に基地局を設置し、トンネル内部にまで通信環境を整備することになる。そこで基地局を設置するにおいて、3G回線による通信環境下であり、防水環境、および100V電源が確保できる十分な設置空間が必要となる。</p> <p>これによりトンネル開口部から約1kmの範囲まで通信可能となる(下記サイト参照) <a href="https://www.kccs.co.jp/news/release/2019/0130/">https://www.kccs.co.jp/news/release/2019/0130/</a></p>	
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<p>金属用強力接着剤を使用して設置した場合に、取付後硬化した状態になるまで、一定期間微細な変位が起きる可能性がある。そこで設置後2か月を目安に、計測データを棄却すべき場合がある。</p> <p>コンクリートや金属物等は、その熱膨張により傾斜角度の計測に影響を与える場合がある。そこで1日間の温度変化を考慮し、1日に2回以上の計測を推奨している。</p>		

計測装置	計測プロセス	<p>&lt;事前確認&gt; トンネルがSigfox通信のサービスエリア内にあるかどうかを確認する。 トンネル内の図面を用いて、監視センサを設置する附属物(照明・標識等)を確認する。 トンネル開口部付近に、小型Sigfox基地局を設置する場所(※)が確保できることを確認する。 ※3G回線による通信環境下であり、防水環境と100V電源が確保できる十分な設置空間 現場にて設置場所・設置方法を確認し、設置が可能であることを確認する。 また設置時点にて通信状態の確認を行う。確認は、試験用監視センサ内部のディップスイッチにて「送信確認機能」をオンにすることで、1分ごとに10回の計測データが試験送信されるので、弊社クラウドサーバにて送信の有無を見る。本試験計測に要する目安の時間は、計測準備に15分、計測に10分、データ確認に5分である。 トンネル内部においては、トンネル坑口付近に試験用の小型Sigfox基地局を仮設置して起動し(別途電源バッテリーが必要)、通信の可否を上記の方法で確認する。</p> <p>&lt;取付&gt; 予定した部位に監視センサを取付用のビスが付いた設置用治具をもって設置する。または監視センサをステンレス製の台座にビスで取り付け(2箇所)、それを金属用強力接着剤で対象物に接着固定する。 設置後、監視センサの傾斜角度(計測開始時の傾斜角度)をゼロ度に調整(キャリブレーション(※))を行う。 ※キャリブレーション方法:監視センサ右側面の銘板に記載された“n”マーク(近接ポイント)に約3時間磁石を付ける。監視センサ内部の表示灯が点灯し、キャリブレーションが開始。表示灯が消灯するとテスト送信を行い、キャリブレーションが完了。磁石がない場合は、監視センサのカバーを開けて本体基盤にあるキャリブレーションスイッチを数秒間押す。カバーの開閉を伴うため、設置のズレに注意が必要。</p> <p>&lt;設置後の計測について&gt; 対象物に設置した監視センサにより、あらかじめ設定した測定間隔でX・Yの2軸にて傾斜角度を計測し、Sigfox通信により弊社サーバに伝送する。伝送されたデータは一定間隔ごと(現状6時間ごとに設定)にWEBサービスに更新され閲覧・出力可能となる。</p> 																								
アウトプット	アウトプット	<p>&lt;送信後のデータは下表参照&gt; DeviceID 監視センサ個体ごとの識別コード 傾きX 単位:度(角度) X軸傾斜データ 傾きY 単位:度(角度) Y軸傾斜データ 最終データ取得日時 単位:西暦年/月/日_時:分:秒 監視センサからの最終データ取得日時 変量スコアX、変量スコアY 無単位:X・Yそれぞれの軸において、各計測時点からさかのぼった過去のデータから、自己回帰移動平均モデル(※)を用いて算出された当該計測時点の予測値と実測値の乖離度合い①を、過去データの標準偏差②との比率((①の2乗÷②の2乗)の平方根)により表したものの。この値は予測値に対する乖離の大きさを、それが発生する確率として解釈することが可能であり、2を超えることは4.55%、3を超える場合は0.27%、4を超える場合は0.01%で起きる乖離の大きさを示している。 ※自己回帰移動平均モデルとは、時系列の統計的な性質(平均や分散)が観測時刻によらず一定であると考えられるデータにあてはめられるモデルであり、ある時点のデータとそれ以前のデータの相関を想定する自己回帰モデルと、各データは過去の誤差に影響されると考える移動平均モデルを組み合わせた時系列分析の統計的手法である</p> <p>&lt;送信後のデータ&gt;</p> <table border="1" data-bbox="470 1366 1093 1478"> <thead> <tr> <th>DeviceID</th> <th>傾きX</th> <th>傾きY</th> <th>変量スコアX</th> <th>変量スコアY</th> <th>最終データ取得日時</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>742E67</td> <td>0.03</td> <td>-0.03</td> <td>0.05609</td> <td>0.07635</td> <td>2020/2/7 14:26:54</td> </tr> <tr> <td>742E67</td> <td>0.02</td> <td>-0.02</td> <td>0.06543</td> <td>0.09654</td> <td>2020/2/7 2:26:50</td> </tr> <tr> <td>742E67</td> <td>0.02</td> <td>-0.03</td> <td>0.00275</td> <td>0.08654</td> <td>2020/2/6 14:26:50</td> </tr> </tbody> </table>	DeviceID	傾きX	傾きY	変量スコアX	変量スコアY	最終データ取得日時	742E67	0.03	-0.03	0.05609	0.07635	2020/2/7 14:26:54	742E67	0.02	-0.02	0.06543	0.09654	2020/2/7 2:26:50	742E67	0.02	-0.03	0.00275	0.08654	2020/2/6 14:26:50
DeviceID	傾きX	傾きY	変量スコアX	変量スコアY	最終データ取得日時																					
742E67	0.03	-0.03	0.05609	0.07635	2020/2/7 14:26:54																					
742E67	0.02	-0.02	0.06543	0.09654	2020/2/7 2:26:50																					
742E67	0.02	-0.03	0.00275	0.08654	2020/2/6 14:26:50																					
計測頻度		以下の4つの計測頻度から選択が可能 12時間毎、6時間毎、1時間毎、15分毎																								
耐久性		IPX5																								
動力		リチウム電池(1次電池)																								
連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)		監視センサのデータ取得設定頻度に応じて、バッテリーの使用可能時間は変動。 5年(外気温25°C、12時間毎計測の場合) 4年(外気温25°C、6時間毎計測の場合) 1.5年(外気温25°C、1時間毎計測の場合) 6か月(外気温25°C、15分毎計測の場合)																								

データ収集・通信装置	設置方法	通信モジュールは、計測装置(監視センサ)と一体の構造である。 ただし、Sigfox通信のサービスエリア内にあるトンネルで、内部までSigfox通信が届かない場合は、小型Sigfox基地局を別途設置する。
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	通信モジュールは、計測装置(監視センサ)と一体の構造である。 小型Sigfox基地局(Access Station Micro) W186×H159×D108mm 約450g(内蔵アンテナを含む) ※別途設置が必要な場合のみ
	データ収集・記録機能	監視センサで計測したデータはSigfox通信を使用して、あらかじめ設定した計測間隔ごと即座に送信され、弊社が契約したクラウドサーバに保存される。 クラウドサーバに保存されたデータは、一定時間ごとにWEBサービスに更新され閲覧・出力可能となる。
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	監視センサ 内蔵モジュール ・通信方法 Sigfox ・通信規格 920MHz帯小電力無線(上り 923.2MHz) ・通信速度 上り100bps ・通信距離 数kmから数十km  小型Sigfox基地局 監視センサ → 小型Sigfox基地局(内蔵アンテナ) ・受信周波数 923.2 MHz ・受信感度 -132 dBm ・通信速度 上り100bps ・通信距離 約1km 小型Sigfox基地局からクラウドへのデータ送信 ・付属 3G USB ドングル(ドコモ回線 SIM 内蔵) ※3Gの通信エリアは株式会社NTTドコモHPにて要確認 <a href="https://www.nttdocomo.co.jp/area/">https://www.nttdocomo.co.jp/area/</a>
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	Sigfox通信のセキュリティは、監視センサに書き込まれたデバイスIDとPACコードを用いて認証される。 弊社サーバへはSSL通信にて送信され、WEBサービスへの送信もSSL通信および特定のIPアドレスのみに制限している。
	動力	監視センサ 内蔵のバッテリーより供給 リチウム電池(1次電池) 小型Sigfox基地局(Access Station Micro) 電源供給: 付属 PoE 給電アダプタ 220/110 VAC to 24VDC 消費電力: 2.3W 平常時(Rx mode), 12.5W ピーク時 入力電圧: 11 ~ 26V ※別途設置が必要な場合のみ
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	監視センサのデータ取得設定頻度に応じて、バッテリーの使用可能時間は変動。 5年(外気温25°C、12時間毎計測の場合) 4年(外気温25°C、6時間毎計測の場合) 1.5年(外気温25°C、1時間毎計測の場合) 6か月(外気温25°C、15分毎計測の場合)

## 3. 運動性能

項目	性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件
適用可能なトンネルの最小寸法	-	-
適用可能なトンネルの最大寸法	-	-
障害物回避	-	-

## 4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	計測レンジ (計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無	使用環境 温度:-25℃~60℃ 湿度:85%以下 水平面に対して±10° 以内の傾きでの設置	
		<b>【性能値】</b> キャリブレーション後の相対傾斜角度 -25° ~+25° (X・Y2軸) <b>【標準試験値】</b> 標準試験方法 (2020) 実施年 2020年 キャリブレーション後の相対傾斜角度 -25° ~+25° (X・Y2軸)			
	感度	校正方法	<b>【性能値】</b> 加速度センサを6方向(±X方向、±Y方向、±Z方向)に対して 重力加速度に合致するかどうかを測定する <b>【標準試験値】</b> 標準試験方法 (2020) 実施年 2020年 加速度センサを6方向(±X方向、±Y方向、±Z方向)に対して 重力加速度に合致するかどうかを測定する		
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	-
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	無	-
		分解能	性能確認シートの有無 ※	有	-
		計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	-
		計測速度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	無	-
		位置精度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	無	-
	色識別性能 (画像から計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	無	-	

※「有」の場合は付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

## 5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点 検 時 現 場 条 件	作業範囲	-	-
	安全面への配慮	設置・撤去時においては高所作業車を用いての作業となるため、道路規制を行う場合は、注意喚起の看板の設置、誘導員の確保が必要	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	交通規制の要否	設置・撤去時においては道路規制が必要となる場合がある。設置・撤去に要する時間は約1時間の見込み。	-
	交通規制の範囲	交通規制を行う場合は「片側車線」	-
	現地への運搬方法	人による運搬	-
	気温条件	特になし	-
	トンネル延長の制約	特になし	-
	車線数の制約	設置・撤去時においては、1車線分の作業範囲を要する	-
	断面形状の制約	特になし	-
その他	汚れ、すず等がある場合の作業の可否:可	-	



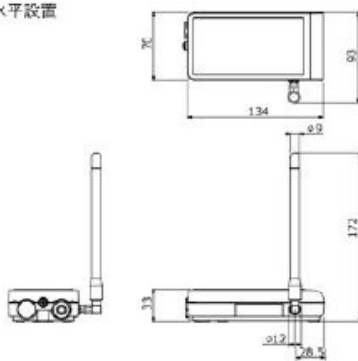
## 5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
調査技術者の技量	高所作業車を用いる場合は、作業特別教育修了者もしくは技能講習修了者である。また、高所作業車において設置撤去にかかる技量を有する。	-
必要構成人員数	設置・撤去時に必要な人員数: 作業員 1名	高所作業車が必要な場合は1名追加 道路規制が生じる場合は誘導員の確保が必要
操作に必要な資格等の有無	センサの操作に必要な資格等は特に無	-
操作場所	特になし	-
計測費用	監視センサ1点につき、 ・12時間毎計測の場合: バッテリー使用可能期間相当の5年契約で総額90,000円(年換算18,000円) ・6時間毎 " : 同4年契約で総額80,000円(年換算20,000円) ・1時間毎 " : 同1.5年契約で総額45,000円(年換算30,000円) ・15分毎 " : 同6ヶ月契約で総額30,000円(年換算60,000円)	監視センサ(レンタル)、Sigfox通信費用、データ閲覧・出力が可能なWEBサービスまでを含む ※設置・撤去にかかる治具等資材費及び作業費等の費用は別途必要 ※電波状況の確認や対策検討に必要な現地調査については別途見積 ※小型Sigfox基地局が必要な場合は、別途見積  【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 ・センサ設置期間における一定時間毎の傾斜角度の継続的監視 ・傾斜角度の変位量の可視化 ※想定している対象物: トンネル内の照明・表示板等の付属物
保険の有無、保障範囲、費用	-	-
時間帯(夜間作業の可否)	特になし(夜間作業は可)	-
計測時の走行速度条件	特になし	-
渋滞時の計測可否	特になし	-
車両から対象部位までの距離条件	特になし	-
トンネル内照明の消灯の必要性	特になし	-
可搬性(寸法・重量)	特になし	-
自動制御の有無	-	-
利用形態: リース等の入手性	監視センサ: レンタル 計測機器及びアウトプットに至る一連のシステムが対象(株式会社ザイマックス: 03-5544-6630)  小型Sigfox基地局: レンタル 基地局本体、3G USB ドングル(ドコモ回線 SIM 内蔵・通信費用含む)及びPoE 給電アダプタ 220/110 VAC to 24VDC)が対象 ※小型Sigfox基地局は京セラコミュニケーションシステム株式会社との契約(TEL: 0120-9111-901)	-
関係機関への手続きの必要性	特になし	-
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	・解析ソフト: R言語を用いた自社開発プログラムにて自動解析 ・必要作業: なし ・費用: 上記、計測費用に含まれる	-
不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート体制あり。 センサ自身の不具合による場合、交換対応。	-
センシングデバイスの点検	-	-
その他	特許状況・気象条件: 特になし 作業条件: トンネル上部の付属物に監視センサを設置する場合は、高所作業車等が必要である。 ジェットファンをはじめとする他のトンネル内付属物について実証実験を行っていないものの、計測対象物に応じたアタッチメント(台座治具や挟み込み式取り付け金具)を用いることで適用可能と考える。 適用できない条件: トンネル内部でSigfoxの通信が困難、かつ、トンネル開口部付近に基地局を設置できない場合や基地局を設置しても通信が困難な場合。	-

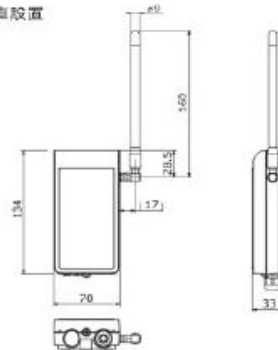
## 6. 図面

## &lt;監視センサ図面(単位:mm)&gt;

水平設置



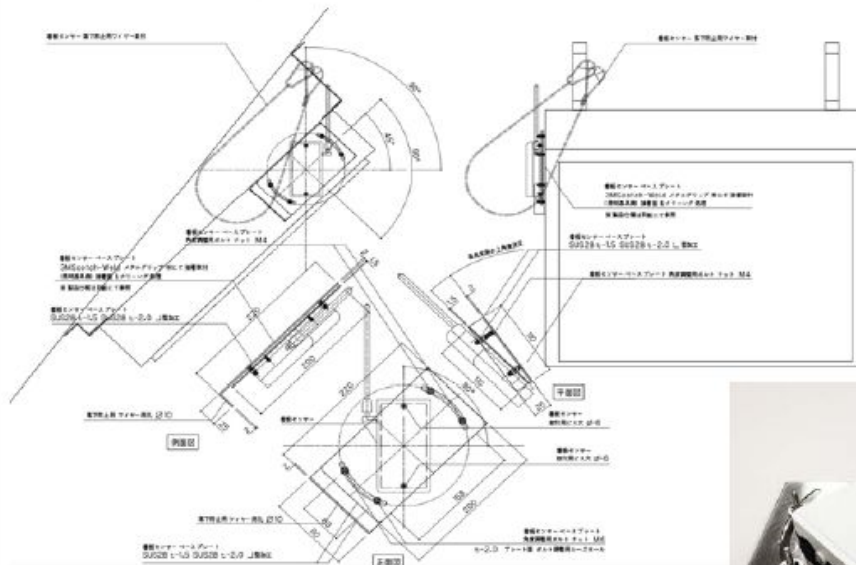
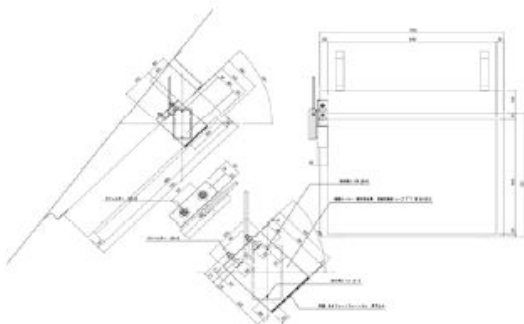
垂直設置



## &lt;トンネル内の附属物(照明・標識)&gt;

照明の場合は灯具横の垂直面部分に、標識の場合は照明型の場合は器具横の垂直面部分または器具上部の水平面部分に、取付用のビスが付いた設置用治具をもって監視センサを取り付ける。

または監視センサをステンレス製の台座にビスで取り付け(2箇所)、それを金属用強力接着剤で対象物に接着固定する。



1. 基本事項

技術番号	TN030003-V0323		
技術名	MIMM-Rのレーザースキャナを活用したトンネル覆工の形状、変形の状態把握技術		
技術バージョン	Ver.4	作成:	2023年3月
開発者	パシフィックコンサルタンツ株式会社		
連絡先等	TEL: 03-6777-4763	E-mail: tn-mimm@ss.pacific.co.jp	交通基盤事業本部 トンネル部
現有台数・基地	1台	基地	茨城県つくば市
技術概要	<p>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、覆工表面ひび割れや漏水等の変状と、トンネル断面形状、巻厚、背面空洞等を計測する。3次元レーザースキャナにより、トンネル内空の断面形状や断面変形の有無を把握することができるため、外力性変状や変状進行性を評価するための定量的なデータを得ることができる。また、内装板と覆工コンクリートが一体として動く仮定すると、内装板背面の覆工コンクリートの変位、変形を計測、監視ができるため、内装板を撤去して近接目視を実施するか否かの判断資料となる。</p> <div style="text-align: center;"> <p>・ 走行型計測車両 MIMM-R</p> </div> <p style="text-align: center;">図-1 技術概要図</p>		

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>【計測装置の構成】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本計測機器は移動装置と計測装置が一体構造であり、トンネル内空の三次元座標の計測を行うものである。なお、トンネル坑外では、GNSS(GPS)で車両位置を測位しており、トンネル坑内では、IMUおよび距離計により車両の自己位置等を計測する。高精度レーザスキャナはPegasus II U(Z+Fレーザ、IMU、GNSS、カメラ)と高精度レーザZ+Fの2台から構成し、Pegasus II Uは計測室後方ルーフ部に、Z+Fレーザは車両後方に75°あるいは90°で設置し、2台のレーザスキャナは、100万点/秒、回転数最大200回/秒の性能を備えている。</li> </ul>	
移動装置	移動原理	<p>車両型</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・内燃機関を搭載した車両にて移動する。</li> <li>・車両に切り離し可能な計測室(カメラ、レーザ、レーダを搭載)を設置し、一般車両に混じって交通規制を行うことなく通常走行しながら計測を行うことが可能。</li> <li>・陸運局にて規制緩和認定を取得しており、道路使用申請なしに走行計測することができる。</li> </ul>	
	運動制御機構	通信	通信機能なし
		測位	・レーザスキャナ、GNSS、IMU、距離計
		自律機能	該当せず
	外形寸法・重量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車両+計測室一体構造(ただし分離可能)</li> <li>・車両の寸法(車検証記載情報)</li> <li>・長さ599cm、幅208cm、高さ363cm</li> <li>・車両総重量7.22t</li> </ul>	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計測室(分離可能)</li> <li>・長さ:4.24m 幅:2.02m 高さ:2.21m 重量:2,600kg</li> </ul>	
動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・動力源:内燃機関</li> <li>・燃料:ディーゼル</li> <li>・定格出力:13kW</li> </ul>		
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	・移動装置としては連続稼働時間の制限は特になし		
計測装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・分離可能構造。</li> <li>・3トン車両後方に設置された計測室は車両本体とボルト・ナットにより締結、分離時はボルト・ナットを取り外しフォークリフトまたは移動式クレーン等を用い切り離し作業を行う。</li> </ul>	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計測室(分離可能)</li> <li>長さ:4.24m 幅:2.02m 高さ:2.21m 重量:2,600kg</li> </ul>	
	センシングデバイス	・レーザスキャナ 1,000,000点/秒(200Hz,100Hz)	
	計測原理	・車両に搭載したレーザスキャナによりトンネル内空の三次元データを取得する。	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・供用下で他の車両と同程度の速度で計測が可能(交通規制は不要)。</li> <li>・トンネル坑門外にGNSS(GPS)を受信できる空間が必要。</li> </ul>	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネル覆工表面に結露や多量の漏水がある場合にはレーザ光の乱反射によりデータが欠損するおそれがある。</li> <li>・対向車等の障害物がある場合はデータ欠損となる。</li> <li>・データの密度を一定とするため、できる限り等速での計測が望ましい。</li> <li>・トンネル坑外でGPSを受信し測位したデータをトンネル内ではIMUと距離計で自己位置を計測するため、GNSS(GPS)不可視状態を可能な限り短くすることが望ましい。</li> </ul>	

計測装置

計測プロセス

①トンネル郊外にて距離計のキャリブレーションを実施した後、GNSS(GPS)のキャリブレーションを行う。  
 ②対象トンネルまで自己位置をGNSS(GPS)で測位し、坑内の壁面の三次元座標をレーザースキャナにて計測し記録する。

**【処理フロー図等】**

処理フロー図

変形モード解析;  
 1回走行で、算出した平均と各断面の点群を比較し、変形モード解析を行う。  
 (赤：内面側、青：背面側)

変状原因の分析;  
 変形モード解析とひび割れ位置から変状原因を分析する

高精度レーザ 100万点/秒  
 周方向 5,000点/周 (4mm間隔)  
 走行方向 5cm間隔/40km/h

変形モード解析  
 コンター表示 (赤：内面側、青：背面側)

変状原因の推定

レーザ計測による変形モード

画像計測からのひび割れ展開図

⇒外力(偏圧)

レーザ計測による変形モード

画像計測からのひび割れ展開図

⇒外力ではない  
(施工起因、乾燥収縮)

図-2 計測プロセス

計測装置	アウトプット	<p>①坑外のGNSS(GPS)データ、IMU(車両姿勢)データ、距離計データ、レーザースキャナ計測データから高精度処理によりトンネル壁面の三次元座標データを算出する。                  ②三次元座標データからトンネルの平均的な断面、トンネルの各スパンの方向を求める。                  ③算出した平均断面と各断面を比較し、変形モードを算出する。                  ④二回目以降の計測においては、初回の計測結果に基づき変位・変形の進行性評価が可能。                  ⑤現地計測に要する時間は、キャリブレーションに1時間、計測準備に15分、計測に2分/km(時速40km/hの場合)、データ確認に15分を要する。</p> <p>2回計測によるコンター差分解析の事例</p> <p>2回計測による進行性評価アウトプットの事例</p> <p>上図：レーザによる内装板前面での変形モード解析                  コンター→側圧による変形が認められる                  下図：内装板背面に縦断方向のひび割れ</p> <p>変形モード解析による内装板背面変位分析事例</p>
	図-3 アウトプットイメージ	
計測頻度	・トンネル走行型レーザー計測 1走行1回が基本	
耐久性	・Pegasus II U IP52 ・レーザースキャナ部 IP54	
動力	・レーザ計測装置の動力はバッテリーを使用	
連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	・レーザースキャナはバッテリー給電であり連続稼働時間は4時間程度であるが、計測に合わせ断続的に計測する場合は、通常1日:8時間程度の使用が可能。(外気温:0~40℃)	
データ収集・通信装置	設置方法	・分離可能構造。3トン車両後方に設置された計測室は車両本体とボルト・ナットにより締結、分離時はボルト・ナットを取り外しフォークリフトまたは移動式クレーン等を用い切り離し作業を行う。
データ収集・通信装置	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	計測室(分離可能) 長さ:4.24m 幅:2.02m 高さ:2.21m 重量:2,600kg
データ収集・通信装置	データ収集・記録機能	・計測機器のデータ収集・通信装置から計測したデータを車両に搭載したPCに伝送しハードディスクに保存
データ収集・通信装置	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	—
データ収集・通信装置	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	—
データ収集・通信装置	動力	・移動装置の内燃機関によって発電された電力を用いる。
データ収集・通信装置	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	—

## 3. 運動性能

項目	性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件
適用可能なトンネルの最小寸法	・R3.5m以上 ・R3.5m以下(SL1.5m程度)の場合、道路中央を走行することにより高さ3.8m幅3.5m程度まで対応可	・複数回走行が必要な場合がある。 ・照明や標識等の付帯物が走行に支障の無い事を確認する必要がある。
適用可能なトンネルの最大寸法	・R8.5m以下	・複数回走行が必要な場合がある。 ・照明や標識等の付帯物が走行に支障の無い事を確認する必要がある。
障害物回避	非接触のため無し	

## 4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	計測レンジ (計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無	-	
	感度	校正方法	メーカー仕様		-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	-
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	無	-	
	分解能	性能確認シートの有無 ※	無	-	
	計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	<p>【性能値】社内検証実験の結果による 【標準試験値】計測精度は確認シート参照</p> <p>・内空断面計測精度は平均化処理を行うことで±2mm ・相対差分計測は、外力等に伴う2時期計測差分および覆工表面の凹凸、段差などの相対差分で、確認シートより±1mm</p> <p>近接目視のみでは要因の特定(材質劣化によるものか、外力の影響なのか等)が困難な場合があることから、ひび割れの形態と覆工の変形モードの関係、および変形の進行性を把握することにより外力性が否かの覆工の状態把握を行う技術である。 計測精度が±2mmのとき、面的なコンター解析により外力性変状要因であるか否かを判定が可能であり、コンター差分解析によって変状の進行性を把握することができる。</p>	
	計測速度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	有	<p>【性能値】 ・70km/h程度以下 【標準試験値】 標準試験方法(2020) 実施年 2016年 ・70km/h程度以下</p> <p>高速道路で規制なし走行計測ができること 渋滞や片側交通規制など読度一定とならない条件下でないこと</p>	
	位置精度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	無	<p>【性能値】 ・50mm程度以下(補正後) 【標準試験値】</p> <p>・2時期の相対変位差分をとる場合のトンネル縦断方向の位置精度は、坑口、坑内補正を行うことで、50mm程度の位置精度。</p>	
	色識別性能 (画像から計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	無	-	

※「有」場合は付録2「技術の性能確認シート」に添付する。



## 5. 留意事項(その1)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
点 検 時 現 場 条 件	作業範囲	・路面を含み、トンネル全周	—
	安全面への配慮	該当せず	—
	無線等使用における混線等対策	該当せず	—
	交通規制の要否	交通規制不要	—
	交通規制の範囲	交通規制不要	—
	現地への運搬方法	・走行計測車両に一体型で搭載しており、自走にて運搬	—
	気温条件	・周囲温度:0~+45°C(動作時)、-20~+50°C(非動作時)	—
	トンネル延長の制約	・特になし	—
	車線数の制約	1車線道路以上、3車線道路以下	—
	断面形状の制約	・(下限)道路幅員3.5m以上、および高さ3.8m以上 (上限)3車線トンネル断面程度以下	円形、矩形は問わない
	その他	GNSS(GPS)の受信状態の良好な時間帯が望ましい。 【汚れ、すす等がある場合の作業の可否】:可	—

## 5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
調査技術者の技量	特になし	—
必要構成人員数	現場責任者1人、操作1人、運転員1人 合計3名	—
操作に必要な資格等の有無	特になし	—
操作場所	特になし 操作場所は計測室内	—
計測費用	<p>【レーザ計測のみの計測費用】</p> <p>車両損料 750,000円/日 計測費 100,000円/日 解析費 470,000円/km</p> <p>【統合型システムとして実施する場合】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>計測サービスを提供</li> <li>計測作業日数は、トンネル数(トンネル群の距離)、延長、変状の大小(ひび割れ密度)、打音検査の量、矢板工法かNATMなどにより変わる。</li> <li>新技術により事前計測スクリーニング後、近接目視点検、打音検査を実施</li> <li>画像合成、展開図作成、点検帳票作成含む</li> </ul> <p>【実績】</p> <p>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 国交省近畿地整道路メンテナンスセンター 点検(近接、打音)、内業(変状抽出、展開図作成、レーザ解析、レーダ解析)、交通規制を含み、従来点検に対して、16%コスト低減</p> <p>【近畿地整実績の条件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>トンネル数:6本</li> <li>2車線断面、照明灯具あり</li> <li>2回目以降点検</li> <li>延長:短いトンネルから順に 38,330,389,740,1420,2810m</li> <li>ひび割れ密度:同上順に 0.55,0.14,0.19,0.08,0.14,0.14</li> <li>画像計測、変形モード解析、レーダ解析実施</li> <li>スクリーニング後、近接目視点検、打音検査実施</li> <li>交通規制含む</li> </ul>	<p>【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>外力性変状などの変状原因の推定、2時期差分による変状進行性など客観的・正確な変状状態把握</li> <li>トンネル覆工の形状計測による正確な変状展開図作成(画像と点群位置同期)</li> <li>統合型診断システムによる総合的判断による健全性診断の支援</li> </ul>
作業条件・運用条件		
保険の有無、保障範囲、費用	自動車保険、動産保険に加入	—
時間帯(夜間作業の可否)	・特になし(夜間作業は可)	—
計測時の走行速度条件	・70km/h程度以下	・左記以上の高速走行速度での計測は可能であるが、点群密度を確保するため、左記条件が望ましい。
渋滞時の計測可否	・特になし	・トンネル内の位置精度を高めるためには、一定速度が望ましい。 停止時の場合、補正が必要。
車両から対象部位までの距離条件	・トンネルを対象した場合、覆工表面までの距離が10m程度以内	—
トンネル内照明の消灯の必要性	・特になし	—
可搬性(寸法・重量)	・車載搭載型であり、特に条件はなし	—
自動制御の有無	なし	—
利用形態:リース等の入手性	コンサルティング業務	—
関係機関への手続きの必要性	・必要なし(陸運局許可取得済)	—
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	・解析ソフト:自社開発ソフトを使用 ・必要作業:担当者による解析作業 ・費用:計測費用欄に示す 470,000円/km	—

作業条件・運用条件	不具合時のサポート体制の有無及び条件	該当せず	—
	センシングデバイスの点検	1回/年	—
	その他	<p>【計測作業日数】 規制を必要としない走行型のため、法定速度＝計測速度による作業日数となる。 対面通行トンネルでは、原則として往復計測となる。 ※) 近接している場合には複数のトンネル計測が可能</p> <p>【特許状況】 特になし</p> <p>【気象条件】 ・1mm/h以上の降雨時の計測は要協議 ・気温が零下になる場合は要協議</p> <p>【作業条件】 特になし</p>	—

6. 図面

走行型高速3D計測システムによるインフラ点検・診断技術

・ 走行型計測車両 MIMM-R

高密度レーザ(100万点/秒) 非接触内部欠陥レーダ

Pegasus II U (IMU,GNSS,12Mカメラ) TYPE2:内部欠陥ジャンカ

高密度レーザ(100万点/秒) 非接触空洞探査レーダ 全周18台ビデオカメラ (Full HD 200万画素)

覆工の3次元形状計測 TYPE1:巻厚と背面空洞 ひび割れ、変状を連続撮影

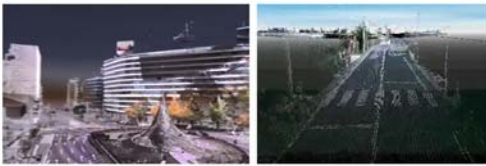
画像(カメラ) レーザ レーダ

時速50~70km/hで走行しながら計測

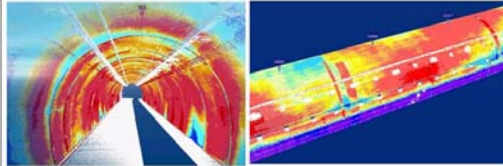
アンテナと壁面離隔: 3m

カメラ、レーザ、レーダおよび、近接目視、打音検査を総合的に融合させ、適切な判定を実施し、トンネル点検・診断全般の効率化、省力化などの支援を目指す。

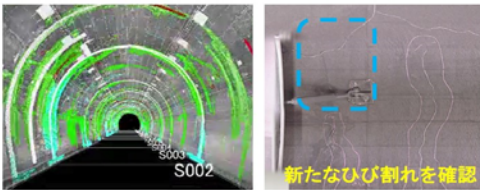
地形測量対応MMS (3Dマッピング)  
・ 高精度地形測量、地物認識  
⇒道路管理の電子化、CIM導入への対応



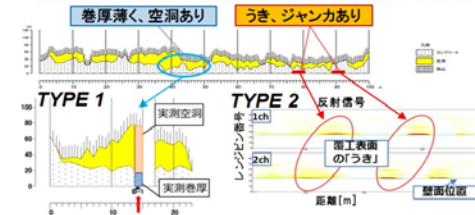
MMS:3次元形状計測: 高精度レーザ(100万点/秒)  
・ トンネル形状、変形モード解析、段差検出  
⇒ひび割れ変状原因、進行性が推定可能



MIS:3次元画像計測、損傷度評価  
・ 0.2mm幅のひび割れ検出精度(70km/h)  
⇒近接目視点検の支援、効率化、正確な位置



MRS:非接触型レーダ: 2タイプ (50~70km/h)  
・ 巻厚・空洞探査 & 内部欠陥(うき、ジャンカ)  
⇒高速非接触レーダ(離隔3m)は世界初の技術



技術紹介



動画



技術紹介 <https://www.pacific.co.jp/service/infrastructure/tunnel/close-up/mimm-r/>

動画 [https://www.youtube.com/watch?v=hZfctUCVs\\_E](https://www.youtube.com/watch?v=hZfctUCVs_E)

[https://www.youtube.com/watch?v=q\\_DvV9u8XEw](https://www.youtube.com/watch?v=q_DvV9u8XEw)

図-4 全体図

## 1. 基本事項

技術番号	TN030004-V0021		
技術名	FBG方式光ファイバーセンサー		
技術バージョン	EFOX-1000B-4	作成:	2021年10月
開発者	株式会社 共和電業		
連絡先等	TEL: 042-485-6623	E-mail: matsuyama@kyowa-ei.co.jp	インフラ営業部 松山・住井
現有台数・基地	センサー: (1) ±1.5mm;5台 (2) 0~12mm;1台 (3) 0~50mm;1台 ほかは受注生産 (納期3ヶ月) 測定器 :3台 所有	基地	東京都調布市調布ヶ丘3丁目5-1
技術概要	<p><b>概要</b> : FBG (Fiber Bragg Grating)方式の光ファイバー変位センサー(以下:センサ)とその計測器(EFOX-1000B-4)を用いて、計測する技術である。 センサ本体は、トンネル内のひび割れ、うきなどの異常個所に設置固定し、長期的な変位量を計測する技術である。 具体的には、ひび割れ、うきなどの変位がセンサのFBGへ入力されると、その変位量がFBGのブラッグ波長の変化となる。計測器によってそのブラッグ波長を計測し、計測用PCの制御ソフト内で、ブラッグ波長を物理量(変位量)に変換し、時系列データと共に保存される。</p> <p><b>測定内容</b> : トンネル内のひび割れ、うきを長期間の変位計測を行う。 支承部の変位量を計測する。計測器、PCは、測定時のみ設置する測定方法も可能である。一定時間を置いて、複数回計測することで、計測箇所の変位量が経年変化等による変化が無いか確認する。トンネルに配置された各センサーは光ファイバーで直列につなぐため、計測点数が複数点であっても省配線となる特徴を持つ。(1本の光ファイバーに直列につなげられるセンサー数は、センサーの仕様、条件によって変わるが、数十点のセンサーを接続可能)</p> <p><b>計測タイミング(方法)</b> : 2種類の計測方法があります。 ①必要時のみ計測器を設置する方法 センサーを設置後、点検時等のに計測器とPCを持参し、任意のタイミングで計測する ②計測器を常設し、自動計測する方法 日中、深夜問わず、新設時からの計測や長期維持管理計測を自動で計測する。</p>		
			
	写真1 計測器 (EFOX-1000B-4)		
技術区分	対象部位	覆工の横断目地/覆工の水平打継ぎ目/覆工天端/その他覆工面/内装板/吸音板/天井板/警報表示板/標識/ジェットファン	
	検出原理	FBG方式光ファイバーセンサーにて、物理量(変位量)を検出する。	
	検出項目	変位量(mm)	

2. 基本諸元

計測機器の構成	<p>【計測装置の構成】                  機器構成は、下記のとおり</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① FBG方式光ファイバー変位センサー(取付金具含む)</li> <li>② 計測器(EFOX-1000B-4)</li> <li>③ 計測用PC(収録ソフト)</li> <li>④ 上記の接続用ケーブル。(※ PC、計測器に電源(AC100V)が必要)</li> </ol> <p>本技術は、対象のトンネル内のひび割れ・うきなどの異常個所に、FBG方式光ファイバーセンサーを取付け、長期間変位量を計測する技術である。                  FBG方式は光ファイバー1本にセンサーを数十個以上、直列配置できるため、省配線化が実現する。                  また光ファイバーセンサーは、他の技術と比較して、以下の特徴を有している</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 外来ノイズの影響を受けない</li> <li>② 絶縁抵抗の低下による計測不良がない</li> <li>③ 雷サージなどによる故障がない</li> <li>④ 波長帯域が1460nm～1620nmとワイドであり、1本の光ファイバー上に数十個のセンサを構成することができるため、省配線で多点計測が実現</li> </ol>		
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>写真2</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真3</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>写真4 変位計 (±1.5mm用)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真5 変位計 (0～12mm用)</p> </div> </div>		
移動装置	移動原理	対象外	
	運動制御機構	通信	対象外
		測位	対象外
		自律機能	対象外
	外形寸法・重量	対象外	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	対象外	
	動力	対象外	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	対象外		
計測装置	設置方法	センサの設置方法は、固定金具にセンサーを固定し、固定金具とひび割れ・浮きの変化量を計測できる位置に取付ける。	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	変位センサ <ol style="list-style-type: none"> <li>① ±1.5mm測定用センサー(延長ケーブルは除く) 165mm×20mm×16mm、約0.3kg</li> <li>② 0～12mm測定用センサー(延長ケーブルは除く) 13.9.7mm×95.2mm×42.8mm、約1.0kg</li> <li>③ 0～50mm測定用センサー(延長ケーブルは除く) 152.4mm×76.2mm×44.5mm、約1.0kg</li> </ol> ※ 対象個所の想定変位量に合わせたセンサー容量とすることが望ましい。 保護カバーは含まず。 計測器 206mm×79mm×274mm 約3.0kg	
	センシングデバイス	FBG方式光ファイバー変位センサー	

計測装置

計測原理

計測原理：(FBG光ファイバ測定システムの原理 参照)

光ファイバーに光が入射されるとファイバ内を伝送する。光ファイバ内に記された回折格子(FBG)を通過する際、ブラッグ波長と呼ばれる回折格子の間隔に比例した特定の波長成分が反射され、残りの波長成分は透過する。(下図参照)

**FBGの構造**

このFBGに温度や外力が加わるとファイバーは膨張、伸張し、それに伴い回折格子の間隔も変わる為、ブラッグ波長も変化する。このFBGの特性を活かし、変位量の変化をセンシングする技術である。(下図参照)

**FBG光ファイバ式測定の原理**

前述のセンサを1本のファイバー上に構成することで多点計測が実現する。(下図 計測システム イメージ図 参照)

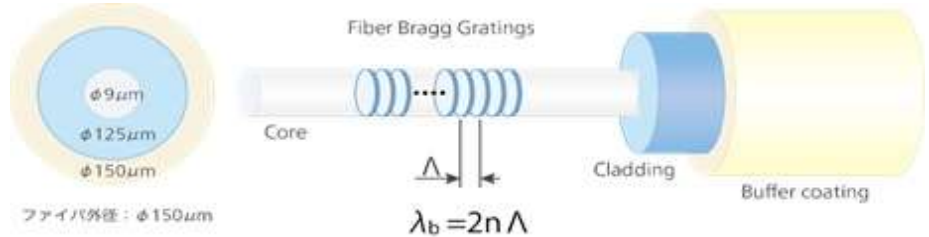
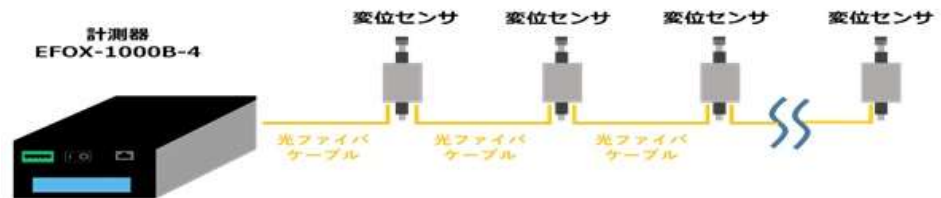
**WDM方式による多点計測**

計測器は、光通信で多用されている波長分割多重伝送方式(WDM方式)を採用しており、1本の光ファイバー辺り、4nm刻みで最大40CH/1ポート、2nm刻みで最大80CH/ポートの多点長距離計測が可能である。

(下図 計測システム

イメージ図 参照) また、本計測器は、NISTにより認証されたガスセルによって、レーザー光の波長校正を絶えず行っているため、高精度なブラッグ波長を計測できる。

**【計測システム イメージ図】**



λ<sub>b</sub>: ブラッグ波長  
 n: 光ファイバのコアにおける有効屈折率  
 Λ: グレーティング周期と呼ばれるグレーティング(回折格子)の間隔

計測の適用条件  
(計測原理に照らした適用条件)

- ① 計測用の電源が安定して供給されること
- ② 配線する光ファイバケーブルが、鋭角に曲げたり、飛来物などが直接当たる恐れが無い事
- ③ トンネル内の車両通過による風圧の影響を受けないように保護カバー等で覆う事
- ④ 変位計の初期設置時に変位計 範囲範囲の中間付近で取付ることが望ましい (正負の変動を計測できるようにする)

精度と信頼性に影響を及ぼす要因

- ① センサー測定範囲を想定される変位量より若干大きい容量を選定する (最大変位量を確実に把握し、精度良く計測する為)
- ② サンプリング周波数 1000Hz以上 (計測器の仕様による)
- ③ 計測中の温度計測 (長期計測のため、温度変化によるデータ確認・補正用に必要)

計測装置	計測プロセス	<p>① 支承部および桁に設置した変位センサにより、変位における光波長の変化を検出する。 2. 基本諸元【機器配置イメージ】を参照願います。</p> <p>② 検出・送信部にて、光のピーク波長を検出し、時系列データ化したピーク波長データをPCへ送信する。</p> <p>③ 集録・処理部にて、係数演算し物理量(変位データ)算出し、CSVファイルで保存される。</p> <p>④ 集録時に、PCにて、リアルタイム波形表示が可能。</p> <p>※ フロー図 下記参照願います。</p>
	アウトプット	計測データは、集録PCに直接変位量で記録され、CSVファイルで保存される。データファイル内では、左から右への順で、時系列データ、CH番号(1CH~)となる。上から下への順で、時系列の変位データ。最下部が最後のデータとなる。
計測頻度	計測頻度は、使用先の下記より任意設定となる サンプリング周波数 1,2.5,10,20,50,100,200,500,1000Hz	
耐久性	センサ・計測器 単体は、IP40程度のため、保護カバーや収納盤に納める必要あり(観測小屋、収納ボックス等、に収納し、温度変化が無い事が望ましい)	
動力	センサ: 必要な動力(電源等)は、不要。 計測器 : 消費電力は、最大40W	
連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	対象外	
設置方法	温度 -20~60℃、湿度 20~80%(結露無し)の環境に設置し、極力、振動の無い場所に設置する。	
外形寸法・重量 (分離構造の場合)	測定器(EFOX-1000B-4): 206mm×79mm×274mm(突起部含まず) 約3.3kg 計測用パソコン: 集録用ノートPC 市販品 程度	
データ収集・記録機能	計測用パソコンにて、記録される。 (リアルタイムに変位データで直接PC内部のHDDに保存)	
通信規格 (データを伝送し保存する場合)	対象外	
セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	対象外	
動力	AC100V もしくは DC9~36V	
データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	計測用パソコンのHDD空き容量に依存する。 (参考例) サンプリング周波数 1000Hz、1点測定、10分間で約40MB	



## 3. 運動性能

項目	性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件
適用可能なトンネルの最小寸法	センサーが設置できる寸法を確保できる最小寸法で作業員が設置できる環境であること	—
適用可能なトンネルの最大寸法	制限なし	センサー設置できる足場など安全作業が確保できる事
障害物回避	制限なし	—

## 4. 計測性能

項目		性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	計測レンジ (計測範囲)	性能確認シートの有無 ※ 無  【性能値】 測定器:計測波長レンジ:1460~1620nm 精度:±1pm センサー:±1.5mm、0~12mm、もしくは0~50mm  【標準試験値】 未検証	現場で想定されるセンサー容量を選択する 左記以外のセンサー容量の場合、別途注文扱い	
	校正方法	計測器内部にNISTが定めるガスセルを用いた波長校正法に 適合しており、計測中は常に校正される。	—	
	感度	検出性能	性能確認シートの有無 ※ 無  【性能値】 検出率100%  【標準試験値】 未検証	検出範囲内の光強度が確保できている事
		検出感度	性能確認シートの有無 ※ 無  【性能値】 測定器:1pm センサー:±1.5mmの変位センサーの場合、0.0016mm/pm  【標準試験値】 未検証	検出範囲内の光強度が確保できている場合 実負荷校正結果による(センサー個別) 参考資料 確認シート、マニュアルに添付(校正試験)
	S/N比	性能確認シートの有無 ※ 無  【性能値】 40dB(ピークディテクト 25dB)以上  【標準試験値】 未検証	センサ接続ケーブルなどの減衰影響を考慮しない場合	
	分解能	性能確認シートの有無 ※ 無  【性能値】 ±0.05pm以内(1Hz) センサー:±1.5mmの変位センサーの場合、0.00008mm/pm  【標準試験値】 未検証	カタログ値(±0.05pm以内)を実負荷校正結果の検出感度に 乗算し、算出した値 検出範囲内の光強度が確保できている場合 実負荷校正結果による(センサー個別) 参考資料 確認シート、マニュアルに添付(校正試験)	
	計測精度	性能確認シートの有無 ※ 有  【性能値】 右記条件での計測精度は、 ① 7.2% ② 4.8%  詳細は、確認シートに記載 ※ 上記データは、確認シート 表1, 2の「相対精度」の平均 値となります。  【標準試験値】 未検証	算出条件 ブロックゲージ(t=2.0mm、3.0mm、4.0mm) 各1枚使用 3mmの状態から、±1.0mmの変動を加え、下記条件で計測し た。測定値は、変位後、値が安定した状態を測定値とした。 ①各ステップ 10分保持 ②各ステップ 5分保持	
	計測速度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※ 対象外	—	
	位置精度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※ 対象外	—	
	色識別性能 (画像から計測する場合)	性能確認シートの有無 ※ 対象外	—	

※「有」の場合は付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

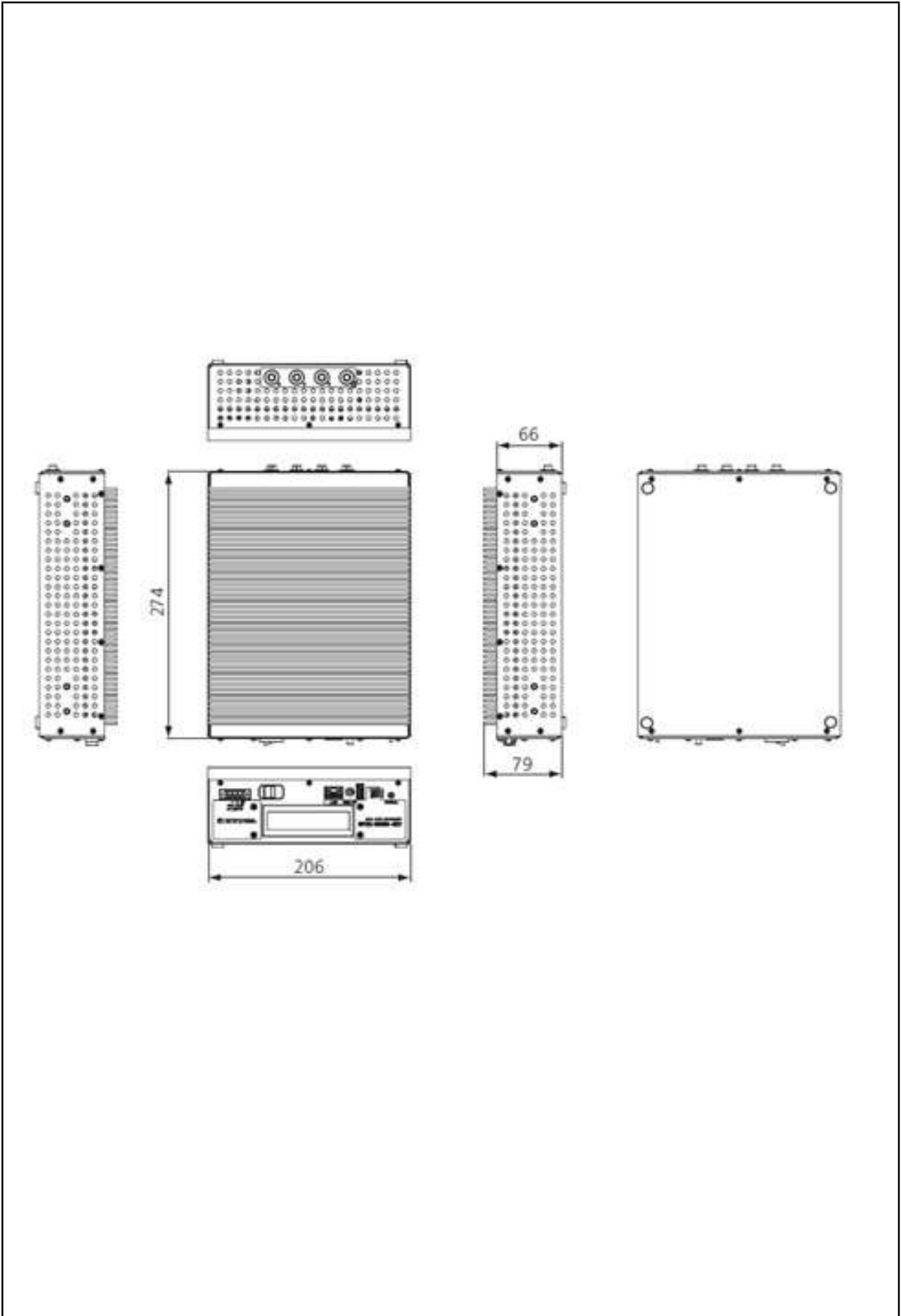
## 5. 留意事項(その1)

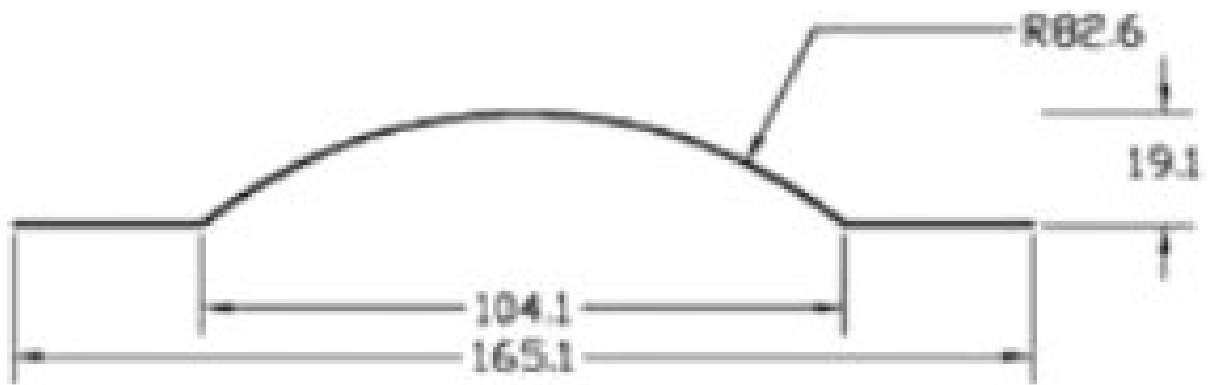
項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点 検 時 現 場 条 件	作業範囲	特に無し	足場、高所作業車など準備されていること
	安全面への配慮		
	無線等使用における混線等対策	対象外	
	交通規制の要否	要	
	交通規制の範囲	片側車線	
	現地への運搬方法	車両により、搬入可能、現地にて配線接続	
	気温条件	特に無し	
	トンネル延長の制約	特に無し	
	車線数の制約	1車線分の作業範囲を要する	
	断面形状の制約	特に無し	
	その他	すす汚れによる作業の可否:可	

## 5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
調査技術者の技量	パソコン操作、EXCEL等でデータ整理ができる程度	現場計測前に、複数回、事前計測トレーニングが必要
必要構成人員数	現場責任者1人、センサ設置技術者2名、交通誘導員1人、合計4名 等	
操作に必要な資格等の有無	特に無し	
操作場所	トンネル入り口付近に設置機器の置き場用に作業ヤードが必要(3m×3m程度)	
計測費用	<p>【参考】 [トンネル条件] 延長500mのトンネル1本に計測箇所を1点設置する場合</p> <p>[費用] 新技術活用による費用 200,000円</p> <p>[費用算定上の条件] 以下は上記費用に含まず ① 現地までの移動費、運搬費 ② 計測器、延長ケーブルの材料費、設置労務費 ③ 計器収納盤・電源の材料費、設置労務費</p>	関東地域の日帰り可能な場所とする
保険の有無、保障範囲、費用	保険無し	
時間帯(夜間作業の可否)	特に無し(夜間作業は可)	夜間費用は、別途追加
計測時の走行速度条件	—	
渋滞時の計測可否	—	
車両から対象部位までの距離条件	—	
トンネル内照明の消灯の必要性	特に無し	
可搬性(寸法・重量)	特に無し	
自動制御の有無	無	
利用形態:リース等の入手性	①機器販売 ②機器レンタル ③業務委託 ただし、センサは、購入が必要	
関係機関への手続きの必要性		
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	解析ソフト:無し 必要作業:担当者による解析作業 Excelによるデータ整理 費用:別途(データ量による)	
不具合時のサポート体制の有無及び条件	担当部署にて、電話によるお問合せ可能 (平日9時から17時まで)	
センシングデバイスの点検	特に無し	
その他	特許状況:特に無し 気象条件:特に無し 作業条件:特に無し	購入の場合は、初回サポート対応付き

6. 図面







## 1. 基本事項

技術番号	TN030005-V0021		
技術名	LoRa方式長距離無線ユニット		
技術バージョン	SRLS-100A	作成:	2021年10月
開発者	株式会社 共和電業		
連絡先等	TEL: 042-485-6623	E-mail: matsuyama@kyowa-ei.co.jp	インフラ営業部 松山・住井
現有台数・基地	3台 (他は受注生産 約1ヶ月)	基地	東京都調布市調布ヶ丘3丁目5-1
技術概要	<p>・当該技術の特徴 LoRa方式の無線技術により、通信費などの維持費が不要で安定した長距離無線伝送計測ができる。 また、送信機1台で2個のセンサーに対応でき、受信機1台で送信機10台に対応できることから、1グループあたり20個のセンサーを無線データ集録ができる。さらにこのグループを最大10グループ同時運用できるため、1つのエリアにて最大200個のセンサーを無線データ集録ができる。 対象となるセンサーは、電圧、ひずみゲージ式変換器(ひび割れ変位、圧力、水位、荷重、応力等)である。トンネル内のひび割れ箇所などに設置し、1日に数回などの一定間隔で長期計測することで、ひび割れの進展などを把握できるなど、新設時や補修後からの確認ができる。 送信機の内部電池により、1日に1回の計測で1年メンテ不要で計測できる。また、仮に受信機への送信が不良となった場合、送信機内部のメモリに記録が残り、欠測することが無い</p> <p>・計測結果の活用 ひび割れが時間の経過とともに、拡大・進展していないかどうかを計測値より判断する。 長期間の計測により、ひび割れの進展状況が把握でき、健全性確認の指標となる。</p>		
技術区分	対象部位	覆工の横断目地/覆工の水平打継ぎ目/覆工天端/その他覆工面/内装板/吸音板/天井板/その他補修箇所/排水施設/路肩及び路面/坑門	
	検出原理	従来方式のひずみ・電圧センサーをケーブルレス化できるLoRa方式 無線技術で通信費が不要	
	検出項目	2点間のひずみ/ひび割れ変位量/圧力・水位/応力・荷重/他など 使用するセンサーによる。対象はひずみゲージ式センサー、電圧信	

## 2. 基本諸元

計測機器の構成	<p>本計測器は、「センサー近傍に設置した送信機」と「遠方に設置した受信機」の分離構造である。          組み合わせ例は下記の通り。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① センサー(ひずみゲージ式、電圧)</li> <li>② 送信機(SRLS-100A-S)</li> <li>③ 受信機(SRLS-110A)</li> <li>④ 計測用PC(必要に応じて)</li> </ol>	
	 <p>写真1 機器外観</p>	 <p>写真2 送信機 (設置状況)</p>
移動装置	移動原理	対象外
	通信	対象外
	測位	対象外
	自律機能	対象外
	外形寸法・重量	対象外
	搭載可能容量 (分離構造の場合)	対象外
	動力	対象外
連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	対象外	
計測装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・路面より、1m以上の高さに設置する。</li> <li>・なお、防水ケースに収納し、車両通過時の風圧等でガタつきが無いよう、ボルト、アンカー等で固定すること。</li> </ul>
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・送信機</li> <li>外形寸法 100(W)×35(H)×100(D)mm ※突起部含まず</li> <li>重 量 約400g</li> </ul>
	センシングデバイス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ひずみゲージ式センサー 共和電業 社製、350Ωであること</li> <li>・電圧 メーカー問わず、±10V</li> </ul>
	計測原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネル覆工のひび割れ部分などに、変位計を取付、変位計近傍に送信機を設置し、ケーブル接続する。</li> <li>計測は、事前に設定した間隔で通信距離範囲内に設置した受信機に自動送信される。</li> <li>計測器内に、内臓電池があり、1H1回の計測で約1年間計測できるため、電源不要。</li> <li>長期的な計測で、覆工のひび割れなど変化を捉える事ができる。</li> </ul>
	計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計測部位から送信機までケーブルを配線する必要がある。</li> <li>・ひび割れなどの変位を計測する際、センサーを固定するための金具を設置する必要がある。</li> <li>・センサーおよび送信機は、飛び石などによる破損を防ぐため、保護カバー等で覆う必要がある。</li> </ul>
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・良好な無線通信確保の為、送信機・受信機の設置位置は、路面から1m以上の高さが望ましい。</li> <li>・送信機は、防水ケースに収納すること。</li> <li>・計測データの精度向上の為、センサーの容量を想定できる容量を若干超える測定範囲を持ったセンサーを選定する。</li> </ul>	



計測装置	計測プロセス	<p>① ひび割れなどの対象部位に変位計などのセンサーにより、物理量を検出する。          ② 送信機にて、任意に設定した間隔にて、自動でA/D変換処理し、受信機へ送信する。          ③ 受信機では、送信されてきたデータを記録する。          ※ 受信できないデータがあった場合、送信機内にて、データ保存される。          ④ 受信機にPCを常設しない場合、必要時に現地にPCを持参し、受信機とUSB接続し、データを回収する。          ⑤ 受信機にPCを常設し、常時接続する場合、データはPCに保存される。          ⑥ PCを常設することで、長期におけるひび割れ等の状態を常にモニタリングできる。          ※ オプション機能により、閾値を超えた場合、外部出力可能</p> <p>処理フロー図</p>
	アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> <li>計測されるデータは、CSVファイルにて保存される。</li> <li>記録される項目は、日時、測定値、電池電圧、装置内温度、受信信号強度</li> </ul>
	計測頻度	・1回あたり、10分/30分/1時間/3時間/6時間/12時間/1日 に1回
	耐久性	<ul style="list-style-type: none"> <li>送信機 IP4X (別途、防水ケースに入れること)</li> <li>受信機 IP3X</li> </ul>
	動力	・内蔵バッテリーにより、駆動するため、外部動力は不要。
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	20°C、1H1回の測定で約1年間、外部接続も可能
データ収集・通信装置	<p>設置方法</p> <p>送信機、受信機共に          温度-20~50°C、湿度10~95% (結露しないこと)          強い振動の無い場所に設置する。</p> <p>外形寸法・重量 (分離構造の場合)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>受信機</li> <li>外形寸法 100(W) × 35(H) × 100(D)mm ※突起部含まず</li> <li>重量 約300g</li> </ul> <p>データ収集・記録機能</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>送信機、受信機共に、内部メモリに8800回 記録可能</li> <li>PCを常設した場合は、PCのHDD空き容量による</li> </ul> <p>通信規格 (データを伝送し保存する場合)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>通信方法 LoRa変調</li> <li>通信規格 920MHz帯</li> </ul> <p>セキュリティ (データを伝送し保存する場合)</p> <p>対象外</p> <p>動力</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>外部電源 DC10~16V 推奨品 ACアダプタ SA-10A-EDS</li> </ul> <p>データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>上記電源の使用により、連続使用可能</li> </ul>	

## 3. 運動性能

項目	性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件
適用可能なトンネルの最小寸法	センサーが設置できる寸法を確保できる最小寸法で作業員が設置できる環境であること	—
適用可能なトンネルの最大寸法	制限なし	センサー設置できる足場など安全作業が確保できる事
障害物回避	特に無し	—

## 4. 計測性能

項目		性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	計測レンジ (計測範囲)	性能確認シートの有無 ※ 無  【性能値】 ひずみ: $\pm 20,000 \mu \varepsilon$ 温度: $-30 \sim 70^\circ\text{C}$ (ひずみゲージ式温度計 使用の場合) 電圧: $\pm 10\text{V}$  【標準試験値】 未検証	ひずみ用送信機 (SRLS-100A-S) 電圧用送信機 (SRLS-100A-V)	
	校正方法	・社内にて、等価ひずみ発生器、電圧発生器により、入力を行い、確認する。		
	感度	検出性能	性能確認シートの有無 ※ 無  【性能値】 ・検出率 100%  【標準試験値】 未検証	通信状態が、120dBm以上であること
		検出感度	性能確認シートの有無 ※ 無  【性能値】 感度 ひずみ: $1 \mu \varepsilon$ 電圧: $1\text{mV}$  【標準試験値】 未検証	通信状態が、120dBm以上であること
	S/N比	性能確認シートの有無 ※ 無  —	—	
	分解能	性能確認シートの有無 ※ 無  【性能値】 感度 ひずみ: $1 \mu \varepsilon$ 電圧: $1\text{mV}$  【標準試験値】 未検証	通信状態が、120dBm以上であること	
	計測精度	性能確認シートの有無 ※ 無  【性能値】 ・ひずみ: $\pm 0.1\% \text{FS}$ 以内 ・電圧: $\pm 0.1\% \text{FS}$ 以内  【標準試験値】 未検証	通信状態が、120dBm以上であること	
	計測速度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※ 対象外	—	
	位置精度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※ 対象外	—	
	色識別性能 (画像から計測する場合)	性能確認シートの有無 ※ 対象外	—	

※「有」の場合は付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

## 5. 留意事項(その1)

	項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点 検 時 現 場 条 件	作業範囲	路面より高さ1m以上の側壁から天端まで。	足場、高所作業車など準備されていること
	安全面への配慮	注意喚起の看板の設置	
	無線等使用における混線等対策	対象外	
	交通規制の要否	要	
	交通規制の範囲	片側車線	
	現地への運搬方法	車両に搭載して運搬	
	気温条件	特に無し	
	トンネル延長の制約	特に無し	
	車線数の制約	1車線分の作業範囲を要する	
	断面形状の制約	特に無し	
	その他	すす汚れによる作業の可否:可	

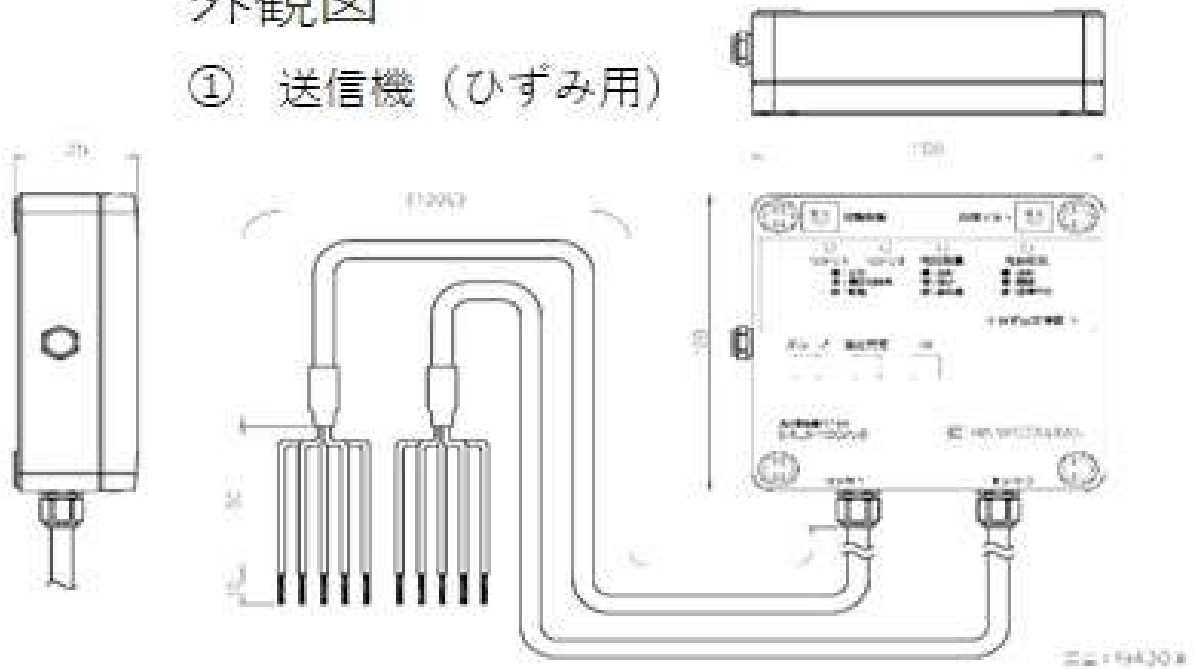
## 5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
調査技術者の技量	パソコン操作、EXCEL等でデータ整理ができる程度	
必要構成人員数	現場責任者1人、センサ・計測器 設置技術者2名、交通誘導員1人、合計4名 等	
操作に必要な資格等の有無	特に無し	
操作場所	トンネル入り口付近に設置機器の仮置き場用に作業ヤードが必要(3m×3m程度)	
計測費用	<p>【参考】</p> <p>[計測条件] 延長500mのトンネル1本に計測箇所を1点設置する場合</p> <p>[作業日数] 1日間</p> <p>※ 以下は別途となります。</p> <p>① 現地までの移動 ② 計測器、延長ケーブルの設置、配線作業 ③ 計器収納盤の設置、電源引き込み</p>	
保険の有無、保障範囲、費用	保険なし	
時間帯(夜間作業の可否)	特に無し(夜間作業は可)	夜間費用は、別途追加
計測時の走行速度条件	特に無し	
渋滞時の計測可否	対象外	
車両から対象部位までの距離条件	対象外	
トンネル内照明の消灯の必要性	特に無し	
可搬性(寸法・重量)	人員での運搬可	
自動制御の有無	無し	
利用形態:リース等の入手性	<p>①機器販売 ②機器レンタル ③業務委託</p> <p>ただし、センサは、購入が必要。 上記全て、開発者へ連絡願います。</p>	
関係機関への手続きの必要性	・交通規制を必要とするため、トンネル管理者及び警察との協議を要する。	
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	<p>解析ソフト:無し 必要作業:担当者による解析作業 Excelによるデータ整理 費用:別途(データ量による)</p>	
不具合時のサポート体制の有無及び条件	担当部署にて、電話によるお問合せ可能 (平日9時から17時まで)	
センシングデバイスの点検	特に無し	
その他	<p>特許状況:特に無し 気象条件:特に無し 作業条件:特に無し</p>	購入の場合は、初回サポート対応付き

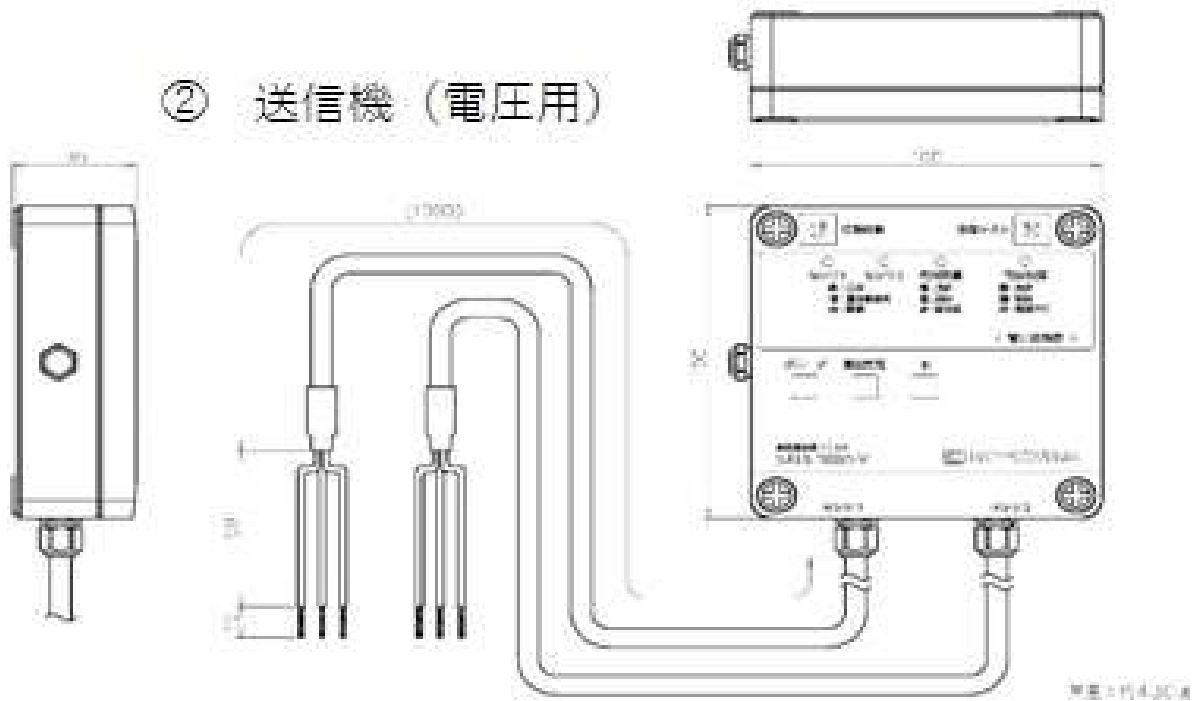
6. 図面

# 外観図

## ① 送信機 (ひずみ用)



② 送信機 (電圧用)



## 1. 基本事項

技術番号	TN030006-V0223		
技術名	走行型レーザー計測(MIMM)によるトンネル覆工幅と高さの把握		
技術バージョン	なし	作成:	2023年3月
開発者	計測検査株式会社		
連絡先等	TEL: 093-642-8231	E-mail: kkeigy@keisokukensa.co.jp	営業部
現有台数・基地	2台	基地	福岡県北九州市八幡西区
技術概要	<p>走行型レーザー計測車両MIMM(NETIS KK-130026-VE)で取得したレーザー点群を解析し、トンネル覆工の幅と高さをグラフで連続的に把握するものである。</p> <p>200rpsの高精度レーザー計測器を用い、法定速度で走行しながらトンネル断面の点群を取得する。得られた断面より近似円を計算し基準断面とトンネル中心点を求め、その中心点を起点に覆工面の幅と高さを求める。幅と高さをグラフ化することでトンネルの寸法(変形)状態を連続的に把握することができる。</p>		
技術区分	対象部位	覆工の横断目地/覆工の水平打継ぎ目/覆工天端/その他覆工面/内装板/吸音板/天井板	
	検出原理	赤外線レーザー	
	検出項目	対象部位に当たって戻ってきた拡散反射成分の位相差	



## 2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>本計測装置は、3トン車後方に「覆工壁面撮影システム(MIS)」と「移動式高精度3次元計測システム(以下MMS)」が搭載された計測室を設置しており、走行しながらの計測が可能となっている。なお、計測室は車両から分離可能な構造となっており、計測室のみを鉄道のトロ台車などに設置して計測することも可能である。</p> <p>移動式高精度3次元計測システムは、3台のGPS(衛星測位システム)、IMU(慣性計測装置)、オドメータ(距離計)、レーザー計測器(100万点/秒、回転数最大200回/秒)により構成されており、トンネルの3次元情報を法定速度で走行しながら高精度に取得することができる。</p>
移動装置	移動原理	<p>【車両型】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・内燃機関を搭載した車両にて移動する。</li> <li>・車両に分離可能な計測室を設置し、一般車両に混じって交通規制を行うことなく通常走行しながら計測を行うことが可能。</li> </ul>
	通信	対象外
	測位	対象外
	自律機能	対象外
	外形寸法・重量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車両+計測室一体構造(ただし分離可能)</li> <li>・外形寸法 長さ5.99m×幅2.1m×高さ3.1m</li> <li>・最大重量 6.5t</li> </ul>
	搭載可能容量(分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計測室(分離可能)</li> <li>・外形寸法 長さ4.24m×幅2.02m×高さ2.21m</li> <li>・重量 2.6t</li> </ul>
	動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・動力源:内燃機関</li> <li>・燃料:ディーゼル</li> </ul>
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	移動装置としては連続稼働時間の制限は特になし	
計測装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・分離可能構造</li> <li>・3トン車後方に設置された計測室は車両本体とボルト・ナットにより締結、分離時はボルト・ナットを取り外しフォークリフトまたは移動式クレーン等を用い切り離し作業を行う。</li> </ul>
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計測室(分離可能)</li> <li>・外形寸法 長さ4.24m×幅2.02m×高さ2.21m</li> <li>・重量 2.6t</li> </ul>
	センシングデバイス	・高精度レーザー PentaxS2100(Z+F9012OEM)【非接触タイプ】
	計測原理	<p>GPS(衛星測位システム)、IMU(慣性計測装置)、オドメータ(距離計)より複合計算された自己位置からレーザー測距された位置に後処理により3次元点群を付与する。</p> <p>計測によって得られたレーザー一点群断面より近似円を計算し、基準断面とトンネル中心点を求め、基準断面を各レーザー一点群断面の最適位置(最もフィットする位置)に置く。その中心点を起点に覆工面の幅と高さを求める。</p> <p>全ての断面(間引き可能)の幅と高さのデータをグラフ化することで、連続的に覆工の寸法(変形)状態を把握することができる。</p>
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計測時の衛星状況等によってGPS信号を受信できない場合は計測できない</li> <li>・小雨であれば計測可能だが、強風、強雨、降雪時には計測できない</li> <li>・気温0℃～40℃で計測可能</li> <li>・昼夜問わず計測可能</li> </ul>
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネル覆工表面及びトンネル内に結露、霞、霧、粉塵、漏水など、レーザーの乱反射要因がある場合、正常なデータが得られない可能性があるため、時間をずらしたり別日に計測するといった対策が必要となる</li> <li>・同一のトンネルを2回計測してデータを比較する場合は、1回目計測の季節、気温を考慮し、できるだけ同じ条件で2回目の計測を行う必要がある</li> </ul>
	計測プロセス	<p>①MMS初期化走行を行う。 ②レーザー計測を行う。計測前後にGPSを必ずFIXさせる。 ③MMS終了走行を行う。 ④点群の3次元化処理を行う。 ⑤解析するラインを選定する。 ⑥変位解析を行う。 ⑦変位をグラフ化する。</p>

計測装置	アウトプット	・計測範囲内(トンネル外含む)の3次元座標データ(CSV等) ・トンネル覆工面の寸法をトンネル延長方向にグラフ化したデータ(EXCEL等)
	計測頻度	車線毎に一回計測
	耐久性	・IP54
	動力	・動力源:電気式 ・電源供給方法:移動装置に設置された発動発電機からの電源供給 ・定格容量:13KVA
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	・発動発電機による電力を使用しており、特に制約はなく、通常1日使用が可能。
データ収集・通信装置	設置方法	・分離可能構造 ・3トン車後方に設置された計測室は車両本体とボルト・ナットにより締結、分離時はボルト・ナットを取り外しフォークリフトまたは移動式クレーン等を用い切り離し作業を行う。
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	・計測室(分離可能) ・外形寸法 長さ4.24m×幅2.02m×高さ2.21m ・重量 2.6t
	データ収集・記録機能	・計測中は、計測装置の記録メディアに保存される。計測終了後、車両に搭載したPCIに伝送し、HDDに保存する。
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	対象外
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	対象外
	動力	・動力源:電気式 ・電源供給方法:移動装置に設置された発動発電機からの電源供給 ・定格容量:13KVA
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	対象外

## 3. 運動性能

項目	性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件
適用可能なトンネルの最小寸法	<ul style="list-style-type: none"><li>・R3.5m</li><li>・R3.5m以下(SL1.5m程度)の場合、道路中央を走行することにより高さ3.8m幅3.5m程度まで対応可</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・舗装路面であること</li></ul>
適用可能なトンネルの最大寸法	<ul style="list-style-type: none"><li>・R8.5m(車体との離隔が側方6m以下かつ上方6m以下である必要がある)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・レーザー発射位置から7m以内</li><li>・車線数に応じて複数回走行が必要</li></ul>
障害物回避	対象外	対象外

## 4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	計測レンジ (計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無	対象外	
	校正方法	校正用マーカールにより校正		レーザー起動時に自動校正	
	感度	検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	対象外
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	対象外
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	無	対象外	
	分解能	性能確認シートの有無 ※	無	全周(360度)計測可能	
		<b>【性能値】</b> 設定した回転数によって分解能は異なる ・50Hz → 0.018度 ・100Hz → 0.036度 ・200Hz → 0.072度  <b>【標準試験値】</b> 未検証			
	計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	<b>【性能値】</b> うき・はく離の検出 ・厚み 覆工から1mm以上突出していれば検出可能 ※レーザー計測器の仕様 ・サイズ 5cm×5cm以上であれば検出可能 ※検出可能サイズは速度によって変化(右記参照)  <b>【標準試験値】</b> 標準試験方法(2020) 実施年 2021年 うき・はく離の検出 ・厚み 覆工に設置された3mm、5mmの試験片を検出 ・サイズ 5cm×5cm以上であれば検出可能 ※検出可能サイズは速度によって変化(右記参照)  変位解析誤差:2mm程度 ※同じトンネルを2回走行し10mm～50mmの変位を差分解析した場合の誤差	
	計測速度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	有	<b>【性能値】</b> ・計測速度 50km/h程度以下  <b>【標準試験値】</b> 標準試験方法(2019) 実施年 2021年 ・計測速度 50km/h程度以下	
	位置精度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	有	<b>【性能値】</b> 速度、レーザー回転数、トンネルの大きさにより異なる 例:50km/h、200Hz、R5.0mの場合 ・進行方向誤差 ±70mm ・トンネル周方向誤差 ±5.0mm  <b>【標準試験値】</b> 標準試験方法(2019) 実施年 2021年 例:50km/h、200Hz、R5.6の場合(検証時の条件) ・進行方向誤差 6mm以下 ・トンネル周方向誤差 1mm以下	
色識別性能 (画像から計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	無	対象外		

※「有」の場合は付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

## 5. 留意事項(その1)

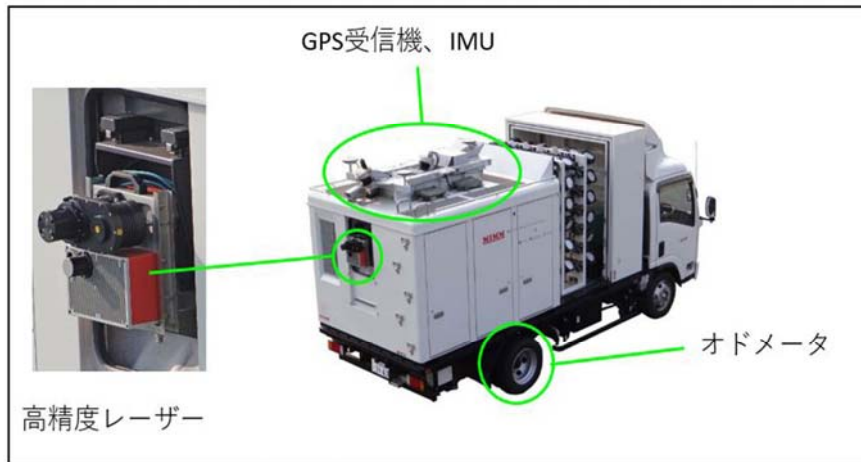
項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
点検時 現場条件	作業範囲	特になし	特になし
	安全面への配慮	高精度レーザーの規格は「クラス1」であり、人体に影響はない	特になし
	無線等使用における混線等対策	対象外	対象外
	交通規制の要否	不要	特になし
	交通規制の範囲	不要	トンネル内に通行人(歩行者、自転車)がいた場合や、大型車両とすれ違ったり、追い抜かれたりした場合はデータ抜けが発生するため、再計測を行う必要がある
	現地への運搬方法	計測車両を運転して運搬	特になし
	気温条件	0°C~40°C	特になし
	トンネル延長の制約	特になし	特になし
	車線数の制約	特になし	特になし
	断面形状の制約	同一断面が連続していること	・徐々に断面が変化するような箇所は解析不可 (基準断面が作成できない箇所は解析不可)
	その他	覆工に汚れ、すず等がある場合でも作業可	特になし

## 5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
調査技術者の技量	・社内基準	特になし
必要構成人員数	・車両運転員1人、機器オペレータ1人、合計2名 ※車両運転員は中型免許が必要	特になし
操作に必要な資格等の有無	・社内講習必要	特になし
操作場所	・車両内 ・作業ヤードは不要	特になし
計測費用	現場計測費用 ・現地までの燃料費、交通費(高速道路、フェリー等) ・車両損料 750,000円/日 ・計測費 100,000円/日 ・解析費 500,000円/km  ※日数については右記計測作業日数を参照	計測作業日数  [トンネル条件] ・延長500mのトンネル1本のみ計測 [作業日数] ・新技術活用による作業日数 1日  [トンネル条件] ・延長500mのトンネル10本を計測 [作業日数] ・新技術活用による作業日数 2日 (同一路線の連続するトンネルの場合は1日)  [計測作業日数算定上の条件] ・レーザー計測のみ  【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 ・トンネルの変形状態の把握
保険の有無、保障範囲、費用	・加入済み 保証範囲: 人+自転車+車、保証金額: 無制限	特になし
時間帯(夜間作業の可否)	・特になし(夜間作業は可)	特になし
計測時の走行速度条件	法定速度で走行	特になし
渋滞時の計測可否	・渋滞によりトンネル内で停止した場合は再計測が必要	特になし
車両から対象部位までの距離条件	・6m以内	特になし
トンネル内照明の消灯の必要性	・特になし	特になし
可搬性(寸法・重量)	・特になし	・特になし
自動制御の有無	無	特になし
利用形態:リース等の入手性	・業務委託にて対応	特になし
関係機関への手続きの必要性	不要	特になし
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	・解析ソフト: 自社開発ソフトを使用 ・必要作業: 担当者による解析作業 ・費用: 上記計測費に含む	特になし
不具合時のサポート体制の有無及び条件	有	特になし
センシングデバイスの点検	・日常点検 ・毎年定期調整を実施	特になし
その他	・特許状況: 特になし ・作業条件: 特になし ・気象条件: 強風、強雨、降雪時の計測は不可	・計測開始時と終了時にGPS信号を十分に受信できなかった場合は精度が著しく低下する(山間部や高層構造物付近など)

作業条件・運用条件

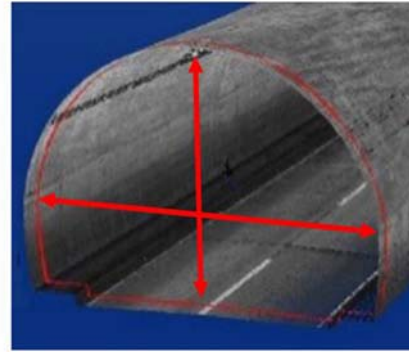
6. 図面



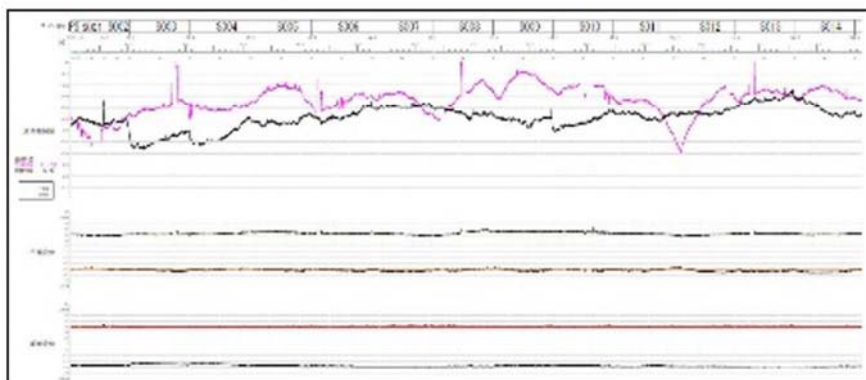
走行型レーザー計測車両MIMM



計測状況



解析イメージ



OUTPUTイメージ

1. 基本事項

技術番号	TN030007-V0223		
技術名	統合型トンネル点検・診断支援システム-変形モード・進行性差分析、外力性診断AI-		
技術バージョン	ver.1	作成:	2023年3月
開発者	パシフィックコンサルタンツ(株)		
連絡先等	TEL: 03-6777-4763	E-mail: tn-mimm@ss.pacific.co.jp	交通基盤事業本部 トンネル部
現有台数・基地	統合版1システム、個別版あり	基地	東京都千代田区神田錦町

MIMM-Rにより画像・レーザ・レーダ計測を行い、各種3次元解析やAIによる変状原因把握を行うことで外力性・進行性・空洞など覆工の状態把握を行うとともに、現場でのスケッチ効率化、帳票の自動出力を行うことによって、現場作業効率化、内業の省力化を図る統合型点検・診断支援システムである。  
本登録において、統合型トンネル点検・診断支援システムのうち、レーザ処理系の計測・モニタリング技術を取り纏めた。

- ・【変形モード解析、変状進行性差分析】レーザ計測による3次元点群から変形モード解析を実施し、変状原因の把握を行うとともに、2時期の計測結果から変形差分をとり、変状進行性を把握する技術
- ・【外力性診断AI】変形モード解析とひび割れ展開図から、AIを活用し、外力性が材質劣化による変状かの判定を支援する技術
- ・【統合型トンネル点検・診断支援システム】MIMM-Rにより画像・レーザ・レーダ計測を行った結果を3次元解析、AI処理などを行って点検結果を3次元可視化し、各種データを総合的に評価することで、覆工の状態把握を行う統合型点検診断支援を行う技術

関連する性能カタログ  
 TN010011-V0223 統合型トンネル点検・診断支援システムのうち、画像を活用した技術  
 TN010006-V0423 走行型高速3Dトンネル点検システムMIMM-R(ミーム・アール)/MIMM(ミーム)  
 TN030003-V0323.MIMM-R(ミーム・アール)のレーザースキャナを活用したトンネル覆工の形状、変形の状態把握技術  
 TN020006-V0323.走行型高速3Dトンネル点検システムMIMM-R(ミーム・アール) -レーダ探査技術

技術概要

図-1 技術概要図

技術区分	対象部位	覆工の横断目地/覆工の水平打継ぎ目/覆工天端/その他覆工面/内装板/吸音板/天井板/ケーブル類/はく落防止対策工/漏水対策工/その他補修箇所/排水施設/路肩及び路面/監査歩廊/その他(警報表示板・標識・ジェットファイ取付部材/照明可視部)
	検出原理	画像:画像合成には、レーザ点群の位置座標を活用し、ゆがみ、ひずみ補正を行い、正しいアスペクト比でのスパン画像を作成する。
	検出項目	本体内における圧ざ・ひび割れ/うき・はく離(変色等目視確認できる異常が見られる場合や範囲を示すチョーキングがあるもの)/変形/移動/沈下/鋼材腐食/巻厚の不足または減少/背面空洞/漏水等による変状/その他(目視観察で把握可能な変状、可視部の附属物本体・取付部材等の破断/脱落/腐食/欠損)



## 2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>【計測装置の構成】</p> <p>本計測装置は、3トン車両後方に切り離し可能な計測室を置き、撮影角度を0.1度刻み(位置決め精度0.03度)で調整可能な電動雲台、16倍の望遠機能を備えたデジタル・ビデオカメラ、録画装置、照明用のLEDからなる画像撮影部と、高精度レーザー・スキャナ・GPS・IMU・オドメータ等で構成される高精度レーザー計測部、および2種類のレーダ計測部(TYPE1:覆工巻厚・背面空洞探査用レーダ、TYPE2:うきなど内部欠陥探査レーダ)からなる。</p> <p>高精度レーザー・スキャナはPegasus II U (Z+Fレーザ、IMU、GNSS、カメラ)と高精度レーザーZ+Fの2台から構成し、Pegasus II Uは計測室後方ルーフ部に、Z+Fレーザは車両後方に75~90°で設置し、2台のレーザー・スキャナは、100万点/秒、回転数最大200回/秒の性能を備える。</p>	
移動装置	移動原理	<p>車両型</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・内燃機関を搭載した車両にて移動する。</li> <li>・車両に切り離し可能な計測室(カメラ、レーザ、レーダを搭載)を設置し、一般車両に混じって交通規制を行うことなく通常走行しながら計測を行うことが可能。</li> <li>・陸運局にて規制緩和認定を取得しており、道路使用申請なしに走行計測することができる。</li> </ul>	
	運動制御機構	通信	通信機能なし
		測位	・レーザー・スキャナ、GNSS、IMU、距離計
		自律機能	該当せず
	外形寸法・重量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車両+計測室一体構造(ただし分離可能)</li> <li>・長さ:5.99m 幅:2.08m 高さ:3.63m</li> <li>・車両総重量7.22t</li> </ul>	
搭載可能容量(分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計測室(分離可能)</li> <li>・長さ:4.24m 幅:2.02m 高さ:2.21m 重量:2,600kg</li> </ul>		
動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・動力源:内燃機関</li> <li>・燃料:ディーゼル</li> <li>・定格出力:13kW</li> <li>・仮設備は不要</li> </ul>		
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	・移動装置としては連続稼働時間の制限は特になし		
計測装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・分離可能構造。</li> <li>・3トン車両後方に設置された計測室は車両本体とボルト・ナットにより締結、分離時はボルト・ナットを取り外しフォークリフトまたは移動式クレーン等を用い切り離し作業を行う。</li> </ul>	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計測室(分離可能)</li> <li>長さ:4.24m 幅:2.02m 高さ:2.21m 重量:2,600kg</li> </ul>	
	センシングデバイス	・レーザー・スキャナ 1,000,000点/秒 200Hz,100Hz	
	計測原理	・車両に搭載したレーザー・スキャナによりトンネル内空の三次元データを取得する。	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・供用下で他の車両と同程度の速度で計測が可能(交通規制は不要)。</li> <li>・トンネル坑門外にGNSS(GPS)を受信できる空間が必要。</li> </ul>	
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネル覆工表面に結露や多量の漏水がある場合にはレーザー光の乱反射によりデータが欠損するおそれがある。</li> <li>・対向車等の障害物がある場合はデータ欠損となる。</li> <li>・データの密度を一定とするため、できる限り等速での計測が望ましい。</li> <li>・トンネル坑外でGPSを受信し測位したデータをトンネル内ではIMUと距離計で自己位置を計測するため、GNSS(GPS)不可視状態を可能な限り短くすることが望ましい。</li> </ul>		

計測装置

計測プロセス

- 【統合型トンネル点検・診断支援システムの手順—外力性、進行性診断の手順—】
- ①近接目視点検前に交通規制なしで走行型計測車両MIMM-Rにより、画像、レーザ、レーダの計測を実施
  - ②変形モード解析により、変状原因の推定を行う
  - ③2時期の計測結果がある場合は、進行性差分析を行い、変状進行性を把握
  - ④変形モード解析とひび割れ展開図から、AIを活用し、外力性が材質劣化による変状かの判定を支援
  - ⑤外力による変状か、材質劣化による変状を判定支援し、対策工判定区分、健全性診断を支援
  - ⑥診断結果をiTAMSに反映させ、点検・診断結果を帳票に自動出力
  - ⑦過去の点検記録、補修履歴などをデータベースシステムで一元管理

【変形モード解析の手順】

- ①高精度レーザスキャナによる計測(自動)
- ②点群データの後処理(自動)
- ③中心軸の設定(スパン毎中心軸とトンネル全体中心軸を求める)(自動)
- ④推定出来形断面の設定(スパン毎出来形断面とトンネル全体出来形断面を求める)(自動)
- ⑤コンター図の作成(推定出来形断面とレーザ点群との差分析により3種類のコンター図を作成する)(自動)

【変状進行性差分析】

- ①変形モード解析にて2時期のコンター図を作成(自動)
- ②2時期の差分析(自動)

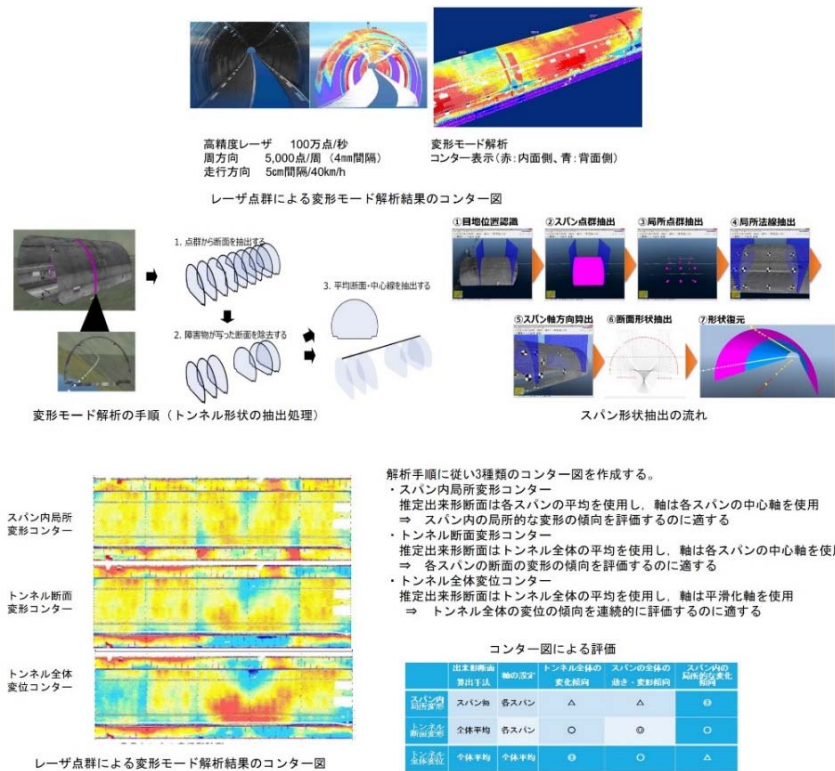
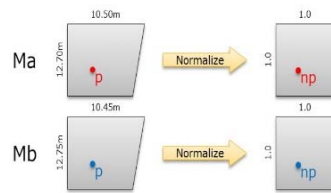


図-2 変形モード解析のプロセス



差分析評価する2時期の展開メッシュは、それぞれ別のレーザ点群から生成されること、経年変化で伸縮する可能性があるため寸法が完全一致することはないため、展開メッシュ同士の位置合わせを以下の手法で行い、差分析を行う。

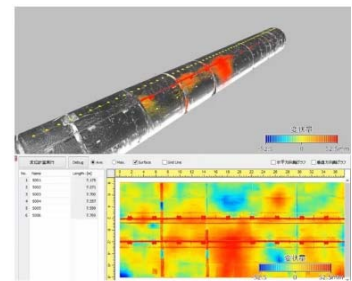
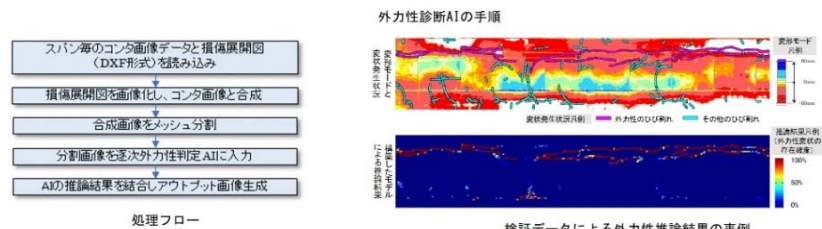
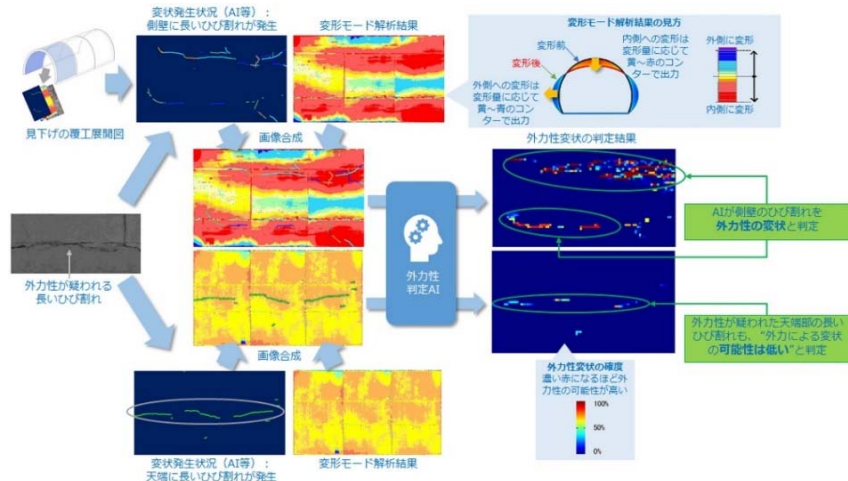


図-3 進行性差分析のプロセス

## 【外力性診断AIの手順】

トンネル点検時、発生した変状に対する変状区分判定は対策区分判定や健全性の診断時に不可欠である。外力性の判定は、従来は技術者の判断に任されており、確立した方法はない。  
変形モード解析結果とAIによる変状検知結果から、以下の手順により、外力性の変状の発生を推定する外力性判定を行う。

- ①高精度レーザスキャナによる計測(自動)
- ②コンター図の作成(推定出来形断面とレーザ点群との差分解析により3種類のコンター図を作成する)(自動)
- ③画像処理と点検結果の判定より、変状展開図を作成(自動、手動)
- ④コンターとひび割れ展開図を使って、AI処理により外力性診断実施(自動)



## 処理フロー

## 検証データによる外力性推論結果の事例

- ・既往の外力性のひび割れとコンター図を収集し、教師データを作成する。
- ・解析対象とするトンネルのコンター図とひび割れ展開図を外力性診断AIにかけ、外力性の判定を行う。
- ・判定は外力性と判定した確率で表示し、カラーで確率を表示する。(例えば、50%以上の確率のみを表示)

図-4 外力性診断AIのプロセス

## 【ソフトウェア名】

- 【変形モード解析】変形モード解析ソフト(自社開発)
- 【変状進行性差分解析】変状進行性差分解析ソフト(自社開発)
- 【外力性診断AI】外力性診断AIソフト(自社開発)

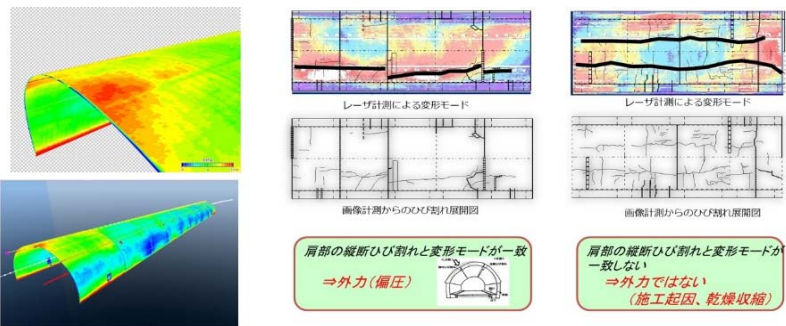
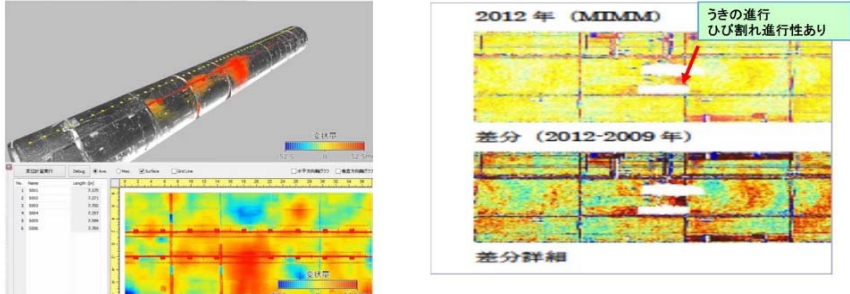
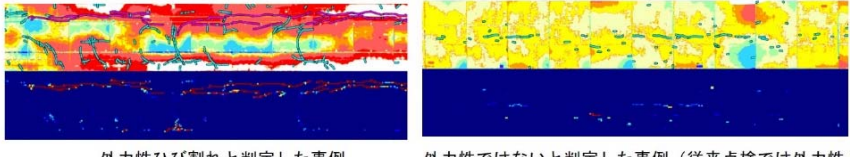
## 【検出可能な変状】

- 【変形モード解析】変形モード(天端沈下、側圧卓越、編土圧などの変形形状)、外力性など変状原因の分析
- 【変状進行性差分解析】2時期計測結果の差分をとり、変状の進行性を評価
- 【外力性診断AI】外力性が材質劣化による変状かの判定

## 【ファイル形式】共通 JPEG、PNG、BMP、DXFなど

## 【出力形式】共通 JPEG、DXFなど

## 【クラウドサービス】共通 なし

計測装置	アウトプット	<p>変形モード解析、変状進行性差分解析</p> <p>【変形モード解析による変状原因の推定】</p> <p>①変形モード解析によるコンター図より、変状原因の分析を行う。 ②3種類のコンターより、目的に応じた変状原因の分析を行う。</p> <p>【変状進行性差分解析】</p> <p>2時期の差分解析により、進行性評価を行う。</p> <p>外力性診断AI</p> <p>専門技術者に依存していた外力性判定を、客観的な判断材料に基づき実施することが可能となり、外力性変状の問題個所の抽出や、従来は外力性と判定されているような事象に対しても、外力性変状では無いことを示すことが可能となった。</p>																							
	 <p style="text-align: center;">変形モード解析結果のコンター図</p> <p style="text-align: center;">変状原因の分析の事例</p> <p style="text-align: center;">図-5 変形モード解析による変状原因の推定</p>																								
	 <p style="text-align: center;">図-6 変状進行性差分解析</p>																								
	 <p style="text-align: center;">図-7 外力性診断AIの判定結果の事例</p>																								
	<table border="1"> <tr> <td>計測頻度</td> <td>必要に応じて</td> </tr> <tr> <td>耐久性</td> <td>・Pegasus II U IP52 ・レーザースキャナ部 IP54</td> </tr> <tr> <td>動力</td> <td>・レーザ計測装置の動力はバッテリーを使用</td> </tr> <tr> <td>連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)</td> <td>・レーザスキャナはバッテリー給電であり連続稼働時間は4時間程度であるが、計測に合わせ断続的に計測するため、通常1日:8時間程度の使用が可能。(外気温:0~40℃)</td> </tr> <tr> <td>設置方法</td> <td>・分離可能構造。3トン車両後方に設置された計測室は車両本体とボルト・ナットにより締結、分離時はボルト・ナットを取り外しフォークリフトまたは移動式クレーン等を用い切り離し作業を行う。</td> </tr> <tr> <td>データ収集・通信装置</td> <td></td> </tr> <tr> <td>外形寸法・重量 (分離構造の場合)</td> <td>計測室(分離可能) 長さ:4.24m 幅:2.02m 高さ:2.21m 重量:2,600kg</td> </tr> <tr> <td>データ収集・記録機能</td> <td>・計測機器のデータ収集・通信装置から計測したデータを車両に搭載したPCに伝送しハードディスクに保存</td> </tr> <tr> <td>通信規格 (データを伝送し保存する場合)</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>セキュリティ (データを伝送し保存する場合)</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>動力</td> <td>・移動装置の内燃機関によって発電された電力を用いる。</td> </tr> <tr> <td>データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)</td> <td>-</td> </tr> </table>	計測頻度	必要に応じて	耐久性	・Pegasus II U IP52 ・レーザースキャナ部 IP54	動力	・レーザ計測装置の動力はバッテリーを使用	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	・レーザスキャナはバッテリー給電であり連続稼働時間は4時間程度であるが、計測に合わせ断続的に計測するため、通常1日:8時間程度の使用が可能。(外気温:0~40℃)	設置方法	・分離可能構造。3トン車両後方に設置された計測室は車両本体とボルト・ナットにより締結、分離時はボルト・ナットを取り外しフォークリフトまたは移動式クレーン等を用い切り離し作業を行う。	データ収集・通信装置		外形寸法・重量 (分離構造の場合)	計測室(分離可能) 長さ:4.24m 幅:2.02m 高さ:2.21m 重量:2,600kg	データ収集・記録機能	・計測機器のデータ収集・通信装置から計測したデータを車両に搭載したPCに伝送しハードディスクに保存	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	-	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	-	動力	・移動装置の内燃機関によって発電された電力を用いる。	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	-
計測頻度	必要に応じて																								
耐久性	・Pegasus II U IP52 ・レーザースキャナ部 IP54																								
動力	・レーザ計測装置の動力はバッテリーを使用																								
連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	・レーザスキャナはバッテリー給電であり連続稼働時間は4時間程度であるが、計測に合わせ断続的に計測するため、通常1日:8時間程度の使用が可能。(外気温:0~40℃)																								
設置方法	・分離可能構造。3トン車両後方に設置された計測室は車両本体とボルト・ナットにより締結、分離時はボルト・ナットを取り外しフォークリフトまたは移動式クレーン等を用い切り離し作業を行う。																								
データ収集・通信装置																									
外形寸法・重量 (分離構造の場合)	計測室(分離可能) 長さ:4.24m 幅:2.02m 高さ:2.21m 重量:2,600kg																								
データ収集・記録機能	・計測機器のデータ収集・通信装置から計測したデータを車両に搭載したPCに伝送しハードディスクに保存																								
通信規格 (データを伝送し保存する場合)	-																								
セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	-																								
動力	・移動装置の内燃機関によって発電された電力を用いる。																								
データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	-																								

## 3. 運動性能

項目	性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件
適用可能なトンネルの最小寸法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・R3.5m以上</li> <li>・R3.5m以下(SL1.5m程度)の場合、道路中央を走行することにより高さ3.8m幅3.5m程度まで対応可</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・複数回走行が必要な場合がある。</li> <li>・照明や標識等の付帯物が走行に支障の無い事を確認する必要がある。</li> </ul>
適用可能なトンネルの最大寸法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・R8.5m以下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラからの直線距離が1.5m～7.5m以内推奨</li> <li>・車線数に応じ複数回走行が必要</li> <li>・照明や標識等の付帯物が走行に支障の無い事を確認する必要がある。</li> </ul>
障害物回避	非接触のためなし	

## 4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	計測レンジ (計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無	-	
	感度	校正方法	メーカー仕様		-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	-
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	無	-	
	分解能	性能確認シートの有無 ※	無	-	
	計測精度	性能確認シートの有無 ※	無	<p>【性能値】社内検証実験の結果による 【標準試験値】計測精度はTN030003-V0121 確認シート参照</p> <p>・内空断面計測精度は平均化処理を行うことで±2mm ・相対差分計測は、外力等に伴う2時期計測差分および覆工表面の凹凸、段差などの相対差分で、確認シートより±1mm</p> <p>近接目視のみでは要因の特定(材質劣化によるものか、外力の影響なのか等)が困難な場合があることから、ひび割れの形態と覆工の変形モードの関係、および変形の進行性を把握することにより外力性が否かの覆工の状態把握を行う技術である。 計測精度が±2mmのとき、面的なコンター解析により外力性変状要因であるか否かを判定が可能であり、コンター差分解析によって変形の進行性を把握することができる。</p>	
	計測速度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	無	<p>【性能値】 ・70km/h程度以下 【標準試験値】 標準試験方法(2020) 実施年 2016年 ・70km/h程度以下</p> <p>高速道路で規制なし走行計測ができること 渋滞や片側交通規制など読度一定とならない条件下でないこと</p>	
	位置精度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	無	<p>【性能値】 ・50mm程度以下(補正後) 【標準試験値】 -</p> <p>・2時期の相対変位差分をとる場合のトンネル縦断方向の位置精度は、坑口、坑内補正を行うことで、50mm程度の位置精度。</p>	
	色識別性能 (画像から計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	無	-	

※「有」の場合は付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

## 5. 留意事項(その1)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
点検時現場条件	作業範囲	・路面を含み、トンネル全周	-
	安全面への配慮	該当せず	-
	無線等使用における混線等対策	該当せず	-
	交通規制の要否	交通規制不要	-
	交通規制の範囲	交通規制不要	-
	現地への運搬方法	・走行計測車両に一体型で搭載しており、自走にて運搬	-
	気温条件	・周囲温度:0~+40℃(動作時)、-20~+50℃(非動作時)	-
	トンネル延長の制約	・特になし	-
	車線数の制約	・1車線道路以上、3車線道路以下	-
	断面形状の制約	・(下限)道路幅員3.5m以上、および高さ3.8m以上 (上限)3車線トンネル断面程度以下	円形、矩形は問わない
	その他	GNSS(GPS)の受信状態の良好な時間帯が望ましい。 【汚れ、すず等がある場合の作業の可否】:可	-

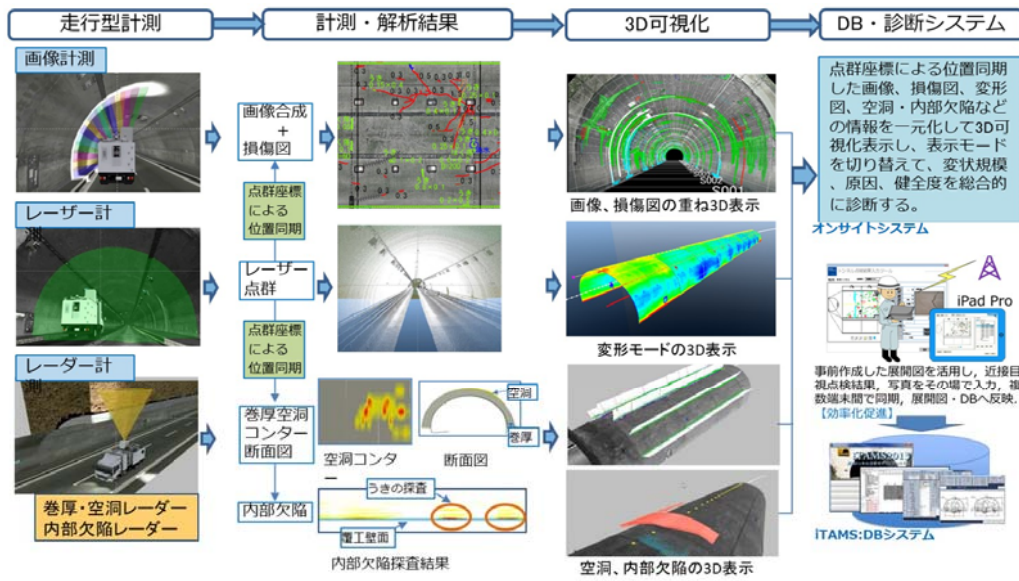
## 5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
調査技術者の技量	特になし	-
必要構成人員数	現場責任者1人、操作1人、運転員1人 合計3名	-
操作に必要な資格等の有無	特になし	-
操作場所	特になし 操作場所は計測室内	-
計測費用	<p>・計測サービスを提供</p> <p>・計測作業日数は、トンネル数(トンネル群の距離)、延長、変状の大小(ひび割れ密度)、打音検査の量、矢板工法かNATMなどにより変わる。</p> <p>・新技術により事前計測スクリーニング後、近接目視点検、打音検査を実施</p> <p>・画像合成、展開図作成、点検帳票作成含む</p> <p>【実績】 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 国交省近畿地整道路メンテナンスセンター 点検(近接、打音)、内業(変状抽出、展開図作成、レーザ解析、レーザ解析)、交通規制を含み、従来点検に対して、16%コスト低減</p> <p>【近畿地整実績の条件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネル数:6本</li> <li>・2車線断面、照明灯具あり</li> <li>・2回目以降点検</li> <li>・延長:短いトンネルから順に 38,330,389,740,1420,2810m</li> <li>・ひび割れ密度:同上順に 0.55,0.14,0.19,0.08,0.14,0.14</li> <li>・画像計測、変形モード解析、レーザ解析実施</li> <li>・スクリーニング後、近接目視、打音検査実施</li> <li>・交通規制含む</li> </ul>	<p>近畿地整実績は、統括システム全体の費用</p> <p>一般的な場合、例えば、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネル500m程度 10本計測の場合</li> <li>直接人件費 <ul style="list-style-type: none"> <li>外業 3,500,000円</li> <li>内業 11,000,000円</li> </ul> </li> <li>直接経費 3,500,000円</li> <li>その他費 22,000,000円</li> <li>業務価格 40,000,000円</li> <li>(従来点検に比べ、30%程度縮減)</li> <li>・トンネル500m 1本のみ</li> <li>(従来点検とほぼ同等)</li> </ul> <p>【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・外力性変状などの変状原因の推定、2時期差分による変状進行性など客観的・正確な変状状態把握</li> <li>・トンネル覆工の形状計測による正確な変状展開図作成(画像と点群位置同期)</li> <li>・統合型診断システムによる総合的判断による健全性診断の支援</li> </ul>
作業条件・運用条件		
保険の有無、保障範囲、費用	・加入済み、保証範囲:人+自転車+車、保証金額:無制限	
時間帯(夜間作業の可否)	・特になし(夜間作業は可)	
計測時の走行速度条件	・1mm/h以上の降雨時の計測は要協議 ・気温が零下になる場合は要協議	
渋滞時の計測可否	・特になし	・トンネル内の位置精度を高めるためには、一定速度が望ましい。停止の場合、補正が必要。
車両から対象部位までの距離条件	・トンネルを対象した場合、覆工表面までの距離が10m程度以内	
トンネル内照明の消灯の必要性	・特になし	
可搬性(寸法・重量)	・車載搭載型であり、特に条件はなし	
自動制御の有無	なし	
利用形態:リース等の入手性	・コンサルティング業務	
関係機関への手続きの必要性	・必要なし(陸運局許可取得済)	
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	・解析ソフト:自社開発ソフトを使用 ・必要作業:担当者による解析作業	
不具合時のサポート体制の有無及び条件	該当せず	
センシングデバイスの点検	・年/1回	



作業条件・運用条件	その他	<p><b>【計測作業日数】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計測サービスを提供</li> <li>・計測作業日数は、トンネル数(トンネル群の距離)、延長、変状の大小(ひび割れ密度)、打音検査の量、矢板工法かNATMなどにより変わる。</li> <li>・新技術により事前計測スクリーニング後、近接目視点検、打音検査を実施</li> <li>・画像合成、展開図作成、点検帳票作成含む</li> </ul> <p><b>【実績】</b></p> <p>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      国交省近畿地整道路メンテナンスセンター      トンネル6本あたりの現地作業日数の実績</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">従来点検日数</th> <th style="text-align: left;">新技術活用点検日数</th> <th style="text-align: left;">日数比率</th> <th style="text-align: left;">低減率</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>16日</td> <td>8日</td> <td>50%</td> <td>50%</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">内訳</th> <th style="text-align: left;">1km以上の場合</th> <th style="text-align: left;">1km未満の場合</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>36%</td> <td>64%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>80%</td> <td>20%</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>【特許状況】</b> 特になし</p> <p><b>【気象条件】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・1mm/h以上の降雨時の計測は要協議</li> <li>・気温が零下になる場合は要協議</li> </ul> <p><b>【作業条件】</b> 特になし</p>	従来点検日数	新技術活用点検日数	日数比率	低減率	16日	8日	50%	50%	内訳	1km以上の場合	1km未満の場合		36%	64%		80%	20%	
従来点検日数	新技術活用点検日数	日数比率	低減率																	
16日	8日	50%	50%																	
内訳	1km以上の場合	1km未満の場合																		
	36%	64%																		
	80%	20%																		

6. 図面



統合型トンネル点検・診断支援システム

・ 走行型計測車両 MIMM-R

高密度レーザ(100万点/秒) 非接触内部欠陥レーダー  
Pegasus II U (IMU, GNSS, 12M カメラ) TYPE2: 内部欠陥ジャンカ  
全周 18 台ビデオカメラ (Full HD 200 万画素)

高密度レーザ(100万点/秒) 非接触空洞探査レーダー  
覆工の 3次元形状計測 TYPE1: 巻厚と背面空洞 ひび割れ、変状を連続撮影

時速50~70km/hで走行しながら計測

アンテナと壁面離隔: 3m

画像(カメラ) レーザ レーダ 動画

技術紹介



技術紹介 <https://www.pacific.co.jp/service/infrastructure/tunnel/close-up/mimm-r/>  
 動画 [https://www.youtube.com/watch?v=hZfctUCVs\\_E](https://www.youtube.com/watch?v=hZfctUCVs_E)  
[https://www.youtube.com/watch?v=q\\_DvV9u8XEw](https://www.youtube.com/watch?v=q_DvV9u8XEw)

図-8 システム全体図

## 1. 基本事項

技術番号	TN030008-V0123		
技術名	現場の安全を光の色で確認する「光るコンバーター Light Emitting Converter」		
技術バージョン	LEC-II	作成: 2023年3月	
開発者	株式会社KANSOテクノス 東亜エルメス株式会社 国立大学法人神戸大学		
連絡先等	TEL: 06-6263-7363	E-mail: takahashi_atsushi@kanso.co.jp	土木技術部 高橋厚志
現有台数・基地	販売品5台 レンタル品20台	基地	鹿児島県鹿屋市
技術概要	トンネル現場で行われている計測において、データを収録するとともに変状を光の色で表示する。光るコンバーター Light Emitting Converter(LEC)は、様々なセンサー(変位、ひずみ、圧力、pH、温度、湿度など)と繋ぐことが可能であり、計測結果を外部の判断プロセスを経由することなく、リアルタイムで光の色により、危険度を表示する。 トンネル掘削時の変状監視時は、リアルタイム(1秒更新)で光の色により危険度を可視化することができる技術であり、以前のように種々のデータを計測後、危険度を判断し警報を出すというタイムラグがなく、危険・異常を把握することができる。		
技術区分	対象部位	覆工の横断目地/覆工の水平打継ぎ目/覆工天端/その他覆工面	
	検出原理	計測の物理原理は接続するセンサーによって異なる。本技術は、センサーに電源を供給し、センサーから出力された電流や電圧信号を物理量(デジタル信号)に変換し、計測値を得る。そして、計測値を保存するとともに予め設定された管理値に応じて光の色により危険度を表示する。	
	検出項目	変位量	

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		本計測機器「光るコンバーター」は、変位、ひずみ、圧力、pH、温度、湿度などを計測する様々なセンサーと接続するものである。接続可能なセンサー形式は2種類に大別され、①ひずみゲージ形(変位計、ひずみ計、圧力計など)、②差動トランス形(傾斜計、沈下計など)である。	
移動装置	移動原理	—	
	移動制御機構	通信	—
		測位	—
		自律機能	—
		外形寸法・重量	—
	搭載可能容量(分離構造の場合)	—	
	動力	—	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	—		
設置方法		【据置】 ・様々なセンサー(変位、ひずみ、圧力、pH、温度、湿度など)と光るコンバーター本体を繋ぎ、トンネル内空側に設置する。	
外形寸法・重量(分離構造の場合)		・最大外形寸法(長さ125mm×幅125mm×高さ75mm)、最大重量(850g)	
センシングデバイス		以下の変換方式であれば、様々なセンサー(変位、ひずみ、圧力、pH、温度、湿度など)を接続できる。 ・変位計、ひずみ計、圧力計などの接続の場合:ひずみゲージ形センサー(4G350Ω) ※メーカー不問 ・傾斜計、沈下計などの接続の場合:差動トランス形センサー ※東横エルメス製のみ対応 ・圧力計などの接続の場合:電圧形(±2V)センサー ※メーカー不問 ・温度計、湿度計などの接続の場合:電流形(4-20mA、抵抗100Ωを並列接続し電圧変換 0.4-2V)センサー ※メーカー不問 ※センサー電源別途必要	
計測原理		・計測の物理原理は、接続するセンサーによって異なる。センサーに電源(定電流)を供給し、センサーからの信号を増幅、デジタル変換し、校正係数を乗じて物理量に変換する。そして、計測値を保存するとともに予め設定された管理値に応じて光の色により危険度を表示する。	
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件件)		・センサーの設置方法は接続するセンサーによって異なる。 ・センサーから光るコンバーター本体までケーブルを配線する必要がある。 ・光るコンバーター本体とデータコンバーター(RS485)を接続し、予め管理値と発光色を設定する必要がある。	
精度と信頼性に影響を及ぼす要因		・接続するセンサーによって異なる。 ・誤動作を防ぐため、光るコンバーター本体の管理値と発光色を正しく設定する必要がある。	
計測装置	計測プロセス		
	<p>①PCから管理値、発光色、インターバル測定間隔(MMC又は互換カードへデータ保存)等を設定する。 ②1秒に1回測定を行い、管理値と比較し、LEDの発光色を更新する。 ③設定したインターバル測定間隔毎にMMC又は互換カードへデータ(csvファイル)を保存する。 ④光るコンバーター本体とPCを常時接続することで、オンライン測定が可能となり、PCへデータを保存できる。</p>		
アウトプット		・1秒間隔で測定し、危険度に応じてLED発光色に変化する。 ・スタンドアロンでMMCまたは互換カードにデータ(csvファイル)を保存できる。 データ項目:[測定時刻,生データ,物理量データ] ・パソコンと常時接続してのオンライン計測も可能である。	
計測頻度		・1秒に1回(LED発光) ・10秒に1回(データ保存)	
耐久性		・IP65	
動力		・AC100V～240V電源が必要	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)		—	

データ 収集・ 通信 装置	設置方法	・移動装置と一体的な構造
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	—
	データ収集・記録機能	・記録メディア(MMC又は互換カード)に保存 ・PCと接続し、測定ソフトにて外部記録媒体への保存も可能
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	・通信方法 有線 ・通信規格 RS485(2線式) ・通信速度 19200bps ・通信距離 最大1.2km
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	—
	動力	・PC接続時に用いるRS485データコンバーターは、PCのUSB給電で駆動
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	—

## 3. 運動性能

項目	性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件
適用可能なトンネルの最小寸法	・トンネル形状の制約はなく、接続するセンサー、及び計測内容によって異なる。	・センサーに依存する。
適用可能なトンネルの最大寸法	・トンネル形状の制約はなく、接続するセンサー、及び計測内容によって異なる。	・センサーに依存する。
障害物回避	・トンネル内附属物(ジェットファン、照明灯具、看板等)を回避して設置可能	・発電機、モーター、ハイパワー無線機、デジタル機器や高圧高電流電線路、電源台車、ジェットファン等のノイズ発生源から離す方が望ましい。 なお電源用アースには接続禁止

## 4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	計測レンジ (計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無	【性能値】 ・ひずみゲージ形(4G350Ω)センサーの場合±20,000μst ・差動トランス形/電圧形センサーの場合±2,000.0mV 上記の計測レンジは、一般的なセンサー定格出力をカバーしている。 【標準試験値】 未検証 ・周囲温度 -10℃~50℃、湿度85%RH以下(内部結露のなきこと)	
	校正方法	性能確認シートの有無 ※	無	【性能値】 ・国家標準とのトレーサビリティがとれた電圧発生器からの模擬入力にて校正する。 【標準試験値】 未検証 ・校正作業は東亜エルメス(株)にて実施する。	
	感度	検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	【性能値】 ・本装置は測定器であり、接続するセンサーによって異なる。 【標準試験値】 未検証 ・センサーに依存する。
	検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	【性能値】 ・物理量の検出感度は、接続するセンサーによって異なる。 【標準試験値】 未検証 ・センサーに依存する。	
	S/N比	性能確認シートの有無 ※		—	
	分解能	性能確認シートの有無 ※	無	【性能値】 ・ひずみゲージ形(4G350Ω):1μst ・差動トランス形/電圧形:0.1mV 【標準試験値】 未検証 ・特になし	
	計測精度	性能確認シートの有無 ※	無	【性能値】 ±(0.05%rdg+5digit)以内 上記の計測精度は ・測定範囲±5mmで定格出力±4000μstのセンサーの場合、誤差±0.0088mmに相当する。 ・測定範囲±10degで定格出力±600mVのセンサーの場合、誤差±0.013degに相当する。 【標準試験値】 未検証 ・周囲温度 23℃±5℃	
	計測速度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※		—	
	位置精度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※		—	
	色識別性能 (画像から計測する場合)	性能確認シートの有無 ※		—	

※『有』の場合は付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

## 5. 留意事項(その1)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
点検時現場条件	作業範囲	・センサー、及び計測内容によって異なる。	・センサーに依存する。
	安全面への配慮	・センサー、及び計測内容によって異なる。	・センサーに依存する。
	無線等使用における混線等対策	—	—
	交通規制の要否	・センサー、及び計測内容によって異なる。	・トンネル天端付近にセンサーを設置する場合は交通規制要
	交通規制の範囲	・センサー、及び計測内容によって異なる。	・センサーに依存する。
	現地への運搬方法	・車両に搭載して運搬	・機器設置時は、車両にて運搬するが、点検は自動計測の為、車両不要
	気温条件	-10℃～50℃	・センサーの条件がより狭い場合はそちらを優先する。
	トンネル延長の制約	・特になし	・特になし
	車線数の制約	・特になし	・特になし
	断面形状の制約	・特になし	・特になし
	その他	汚れ、すず等がある場合の作業の可否:原則可	・センサーに依存する。

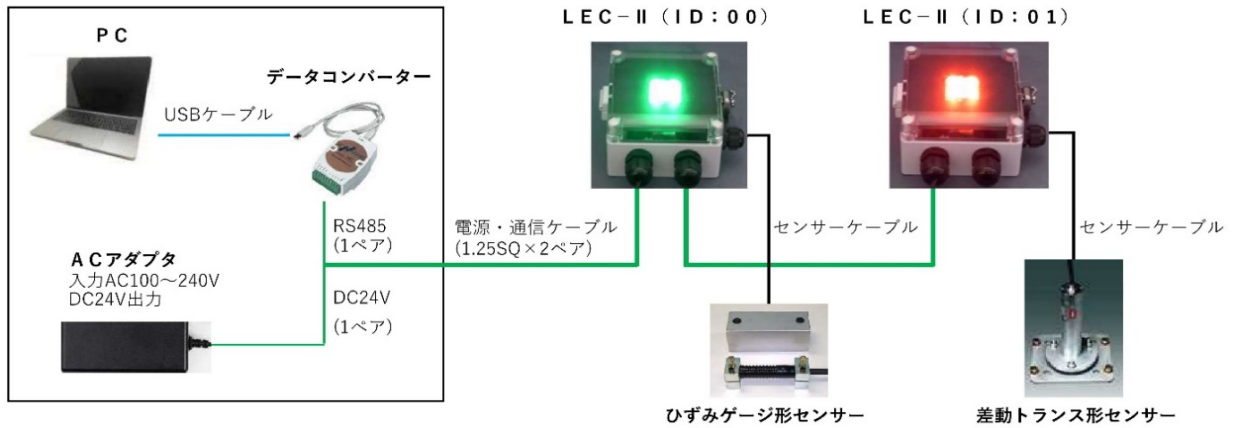


## 5. 留意事項(その2)

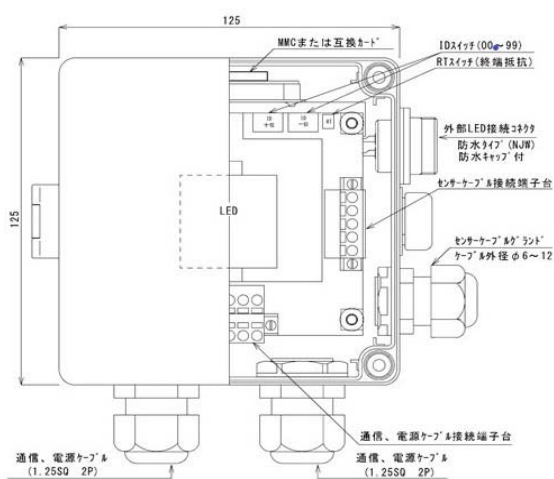
項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
調査技術者の技量	・特になし	・特になし	
必要構成人員数	・センサー、及び計測内容によって異なる。	・センサーに依存する。	
操作に必要な資格等の有無	・なし	・なし	
操作場所	・センサー、及び計測内容によって異なる。	・センサーに依存する。	
計測費用	<p>【参考例】</p> <p>①亀裂などの突発的事象</p> <p>【費用】</p> <p>・設置作業:2名×1日相当額</p> <p>・LEC:31万円/1台(本体価格)</p> <p>・亀裂変位計:5万円/1台</p> <p>[計測作業日数算定上の条件]</p> <p>・亀裂箇所:1箇所×1測点</p> <p>②内空変位計測</p> <p>【費用】</p> <p>・設置作業:2名×2日相当額</p> <p>・LEC:93万円/3台(本体価格)</p> <p>・レーザー距離計:90万円/3台</p> <p>[計測作業日数算定上の条件]</p> <p>・計測箇所:1断面×3測線</p>	<p>【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】</p> <p>・トンネルの対象部位の状態監視に使用</p>	
作業条件・運用条件	保険の有無、保障範囲、費用	・加入していない	・特になし
	時間帯(夜間作業の可否)	・特になし	・特になし
	計測時の走行速度条件	—	—
	渋滞時の計測可否	—	—
	車両から対象部位までの距離条件	—	—
	トンネル内照明の消灯の必要性	・特になし	・特になし
	可搬性(寸法・重量)	・特になし	・特になし
	自動制御の有無	・無	・特になし
	利用形態:リース等の入手性	・購入、レンタル問い合わせ先:東亜エルメス(株) TEL0994-52-2763	・標準在庫数 販売品5台、レンタル品20台
	関係機関への手続きの必要性	・センサー、及び計測内容によって異なる。	・センサーに依存する。
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	・解析ソフト:なし	・特になし	
不具合時のサポート体制の有無及び条件	・有、連絡先:東亜エルメス(株) TEL0994-52-2763	・特になし	
センシングデバイスの点検	・センサーによって異なる。	・センサーに依存する。	
その他	特許状況:実用新案登録第3193861号 気象条件:特になし 作業条件:特になし	—	

6. 図面

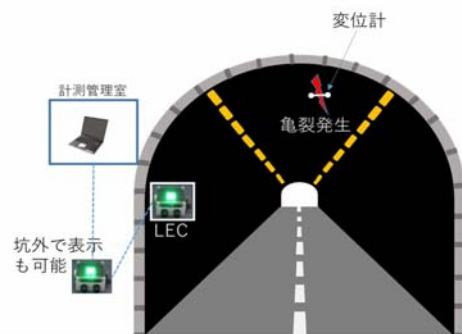
光るコンバーターシステム図



光るコンバーター外観図



亀裂などの突発的事象による計測システム概念図



## 1. 基本事項

技術番号	TN030009-V0123		
技術名	附属物検知デバイス「フリークエンター」(電源フリー)		
技術バージョン	1.1	作成: 2023年 3月	
開発者	(株)構研エンジニアリング/(株)鷺宮製作所/(株)建設技術研究所/国立大学法人京都大学/国立大学法人北海道大学		
連絡先等	TEL: 011-780-2813 04-2953-3187 03-3668-4309	E-mail: m.sakou@koken-e.co.jp hiro-mitsuya@saginomiya.co.jp tomoto@ctie.co.jp	構研エンジニアリング・佐光正和 鷺宮製作所・三屋裕幸 建設技術研究所・戸本悟史
現有台数・基地	20台	基地	埼玉県狭山市
技術概要	<p><b>【概要】</b> 附属物等の点検を補助する装置。照明灯具等に取り付けられたMEMSエナジーハーベスタ(環境発電を用いた微小な電気機械システム)が、指定した周波数でランプを点灯または点滅することにより、点検を支援するものである。管理値(周波数)は、チューニング可能であり、幅広い附属物形状に適用することができる。また、電池交換不要で使用できるため、追加電源は不要で設置が容易である。</p> <p><b>【特徴】</b> ・附属物の健全性の診断支援は、附属物の取り付け状態等により生じる振動の特徴的なピーク周波数で発電するMEMSエナジーハーベスタに取り付けられたランプが点灯または点滅することによって、取付状態や取付金具の健全性の定量的な評価に必要な情報を把握する ・ピーク周波数の低下が確認された附属物について、従来の近接目視点検と触診(揺すり)を行い異常の有無を把握することで、重点的な監視等が可能 ・機器は、MEMSエナジーハーベスタを用いるため、外部電源を必要としない。このため、トンネル内に追加電源やケーブル等を設置する必要がなく、既存附属物へのアドオンが容易 ・附属物の周波数は、形状や大きさ、取り付けされている環境により異なるが、検知したい周波数に応じてチューニングが可能である。また、複数のピーク周波数のチェックポイントを設けることにより、状態の把握が可能</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>センサモジュール</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>計測器設置状況</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>管理基準値の設定例 (例: センサ値に反応して点灯・点滅する)</p> </div> </div>		
対象部位	・照明/ケーブル類/警報表示板/標識/ジェットファン/吸音板/その他附属物		
検出原理	・車両の走行などの交通イベントによって発生した微振動、風などにより照明などの付属物が僅かに振動。それを無電源の振動発電デバイスの発電電圧として検出し、あらかじめわかっている健全時との発電量の差分より異常を検出		
検出項目	・附属物等の周波数		

2. 基本諸元

計測機器の構成		・MEMSエナジーハーベスタ(環境発電を用いた微小な電気機械システム)と、その発電された微小な電気により点灯または点滅するLEDランプを具備(必要に応じてLEDランプを点灯するための電池を搭載する場合があります)	
移動装置	移動原理	・対象施設に設置される計測機器であることから、移動は不要 ・高所作業車等で対象施設へ近づき本計測機器を設置する。設置後は、路面上や監視員通路路面からの日常点検により、ランプの点灯状態を確認	
	移動制御機	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
計測装置	設置方法	・異常等を知らせるLEDが一体となったMEMSエナジーハーベスタユニットを照明灯具本体等に磁石やステンレスバンド等で固定	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・計測装置(一体型):最大外形寸法(幅82mm×奥行46mm×高さ36mm)、最大重量(0.3kgf)	
	センシングデバイス	・MEMSエナジーハーベスタ「フリークエンター」 鷲宮製作所製 タイプA	
	計測原理	・トンネル附属物に三軸加速度センサを設置し、振動データを計測する。計測した振動データから固有値解析を行い、附属物の異常変化(腐食やゆるみ等)と固有値振動数の関係について把握 ・上記から管理基準値となる周波数を設定し、その周波数にチューニングした検知デバイスを取付 ・管理基準値となる周波数を検知したときに、それがスイッチとなりLEDを点灯 ・緩みにより周波数が低下していくため、管理基準値となる周波数で発電しているタイミングで日常点検が実施されない可能性がある。このため、管理基準値となる周波数で内蔵した電池によりLEDランプを点灯(ボタン電池で半年間連続点灯)	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	・本計測機器の設置のため、対象となる施設の計測部位に近接できる必要がある。また計測部位周辺に本計測機器が取付作業が出来る隙間が必要 ・取付箇所は汚れなどを取り除き平滑面を確保 ・雨水が極力あたらない位置に設置	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・トンネル坑内の環境によっては、環境振動による附属物の励起力が十分でない可能性もあることから、その場合は励起力を補助する装置の併用が必要 ・腐食の著しい部材に取り付ける場合は、設置面を平滑にするなどの事前処理が必要	
	計測プロセス	<p>①照明灯具等のトンネル内附属物に設置した検知デバイスにより振動加速度を計測し周波数を把握 ②管理基準値は、対象の附属物の形状や設置状況で異なるため、設置してある状態でのピーク周波数等を計測し、その値に基づいて管理基準値を設定 ③MEMSエナジーハーベスタは、その管理基準値(周波数)で発電するようにチューニングし、附属物に設置 ④設定した管理基準値までピーク周波数が低下すると、LEDランプが点灯(点滅)し、取付状態の健全性が何らかの要因で損なわれたことを表示 ※標準的なトンネル照明においては、取付金具の腐食やボルトの緩みにより、照明灯具本体の振動特性を表すピーク周波数が低下する傾向であることが知られていることから、この原理を活用する</p> <p>【計測フロー】</p> <pre> graph LR     A[準備] --&gt; B[周波数把握]     B --&gt; C[管理基準値]     C --&gt; D[機器取付]     D --&gt; E[自動計測]     E --&gt; F[ランプ点灯]     F --&gt; G[診断]     subgraph "自動処理"         E         F     end     </pre>	

計測装置	アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設定した周波数になると、ランプが点灯・点滅・消灯(無線送信も可能)</li> <li>・複数の周波数のチェックポイントを設けることで、取り付け状態の劣化診断が可能</li> </ul>
	計測頻度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・常時計測可能(ただし車両走行などの交通イベントにより計測)</li> </ul>
	耐久性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・IP66</li> </ul>
	動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・無(MEMSエナジーハーベスタ)</li> </ul>
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・無制限(周波数監視に電力は不要、電池自体の寿命は最長で20年程度)</li> <li>(異常を検出しLED点灯のための電池寿命は半年~1年、異常修理時に電池交換可能)</li> </ul>
データ収集・通信装置	設置方法	-
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	-
	データ収集・記録機能	-
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	-
	動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特になし(一体構造)</li> </ul>
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	-

## 3. 運動性能

項目	性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件
適用可能なトンネルの最小寸法	・最小所要空間寸法 幅1m × 高さ1.5m程度	・人が入れる大きさ
適用可能なトンネルの最大寸法	・特になし	
障害物回避	・特になし	・計測機器が取り付けられる空間があること

## 4. 計測性能

項目		性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	計測レンジ (測定範囲)	性能確認シートの有無 ※ 無 ・周波数レンジ: 50 Hz~1kHz ・加速度レンジ: 0.01G <sub>rpm</sub> 以上		
	校正方法	・トンネル点検、設備点検時等に動作確認		
	感度	検出性能	性能確認シートの有無 ※ 有 ・検出率100% ・励起装置により、指定の周波数を検出(点灯)するか確認	
		検出感度	性能確認シートの有無 ※ 無 ・加速度レンジ: 0.01Grpm以上で任意に設定可能	
	S/N比	性能確認シートの有無 ※ 無 ・S/N比=20dB		
	分解能	性能確認シートの有無 ※ 無 ・周波数分解能: 0.1Hz		
	計測精度	性能確認シートの有無 ※ 無 標準試験方法(-) 実施年 2021年 ・任意設定		
	計測速度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※ 無 -		
	位置精度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※ 無 -		
	色識別性能 (画像等から計測する場合)	性能確認シートの有無 ※ 無 -		

※「有」の場合は付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

## 5. 留意事項(その1)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件等)
作業範囲	・特になし ・人が入っていける広さであること	
安全面への配慮	・特になし ・機器設置・撤去時等、交通規制を行う場合は「注意喚起の看板の設置」	
無線等使用における混線等対策	・特になし	
交通規制の要否	・不要 ・機器設置、撤去時は片側交互交通規制が必要	
交通規制の範囲	・不要 ・機器設置、撤去時は片側交互交通規制が必要	
現地への運搬方法	・人による運搬	
気温条件	・-20~+60℃	
トンネル延長の制約	・特になし	
車線数の制約	・特になし	
断面形状の制約	・特になし	
その他	・すす汚れがある場合等は、検知デバイスが取付づらい場合があるため、必要に応じて清掃などが必要	

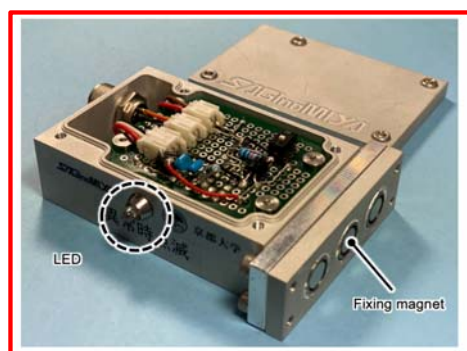


## 5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件等)
調査技術者の技量	・特になし	
必要操作人員数	・点検員1人、点検補助員1人	
操作に必要な資格等の有無	・特になし	
操作場所	・特になし	
作業条件・運用条件 計測費用	<p>[トンネル条件]            ・延長500mのトンネル照明灯具(2車線、速度50km/h、コンクリート舗装)の標準的な基数を80基(40基×2車線)と仮定            ・片側車線40基を検知デバイス10基を4回転用して計測・計測後規制車線を変更し計測</p> <p>[費用①]延長500mのトンネル1本のみ計測の場合            ・従来の人点検による費用 850千円(外業:550千円/1日、内業300千円/2日)            ・新技術活用による費用 950千円(外業:750千円/1日、内業200千円/1日)            ※機械の輸送費は、外業(連絡車で運搬)に含む            ※旅費・交通費は別途必要</p> <p>[費用②]延長500mのトンネル10本を一括して計測する場合            ・従来の人点検による費用 4,850千円(外業:4,400千円/8日、内業450千円/3日)            ・新技術活用による費用 4,650千円(外業:4,150千円/8日、内業500千円/3日)            ※機械の輸送費は、外業(連絡車で運搬)に含む            ※旅費・交通費は別途必要</p> <p>[費用算定上の条件]            ・新技術活用による費用には従来点検との併用によって生じる、「人力による点検」部分は、日数、費用に含めない</p>	<p>【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】            ・照明、標識等のトンネル内附属物全般の状態監視に使用</p>
保険の有無、保障範囲、費用	・加入していない	
時間帯(夜間作業の可否)	・特になし	
計測時の走行速度条件	・特になし	
渋滞時の計測可否	・特になし	
車両から対象部位までの距離条件	・特になし	
トンネル内照明の消灯の必要性	・特になし	

作業条件・運用条件	可搬性(寸法・重量)	・特になし	
	自動制御の有無	・無	
	利用形態:リース等の入手性	・すべて自社機材	
	関係機関への手続きの必要性	・必要なし ※機器の設置・撤去時は交通規制を必要とするため、トンネル管理者及び警察との協議を要する	
	解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	-	
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	・無	
	センシングデバイスの点検	・トンネル点検や設備点検時に動作確認 ・簡易ポータブル振動発生器でLED点灯確認	
	その他	<p>【特許状況】 ・無</p> <p>【気象条件】 ・無 ※トンネル坑口付近で雨水の影響を受ける箇所は極力避ける</p> <p>【作業条件】 ・トンネル上部の設置・撤去には高所作業車等が必要</p> <p>【適用できない(適用できなかった)条件等】 ・附属物の形状や隙間によって機器が取り付けられない場合は適用できない ・人が入っていけない狭小断面の場合は適用できない</p>	<p>【その他】 ・トンネル点検システム「ロードビューワ」(覆工撮影～調査作成)等と組み合わせることで、計測の位置情報を持つことが可能となり、継続的な管理が可能 ・腐食状態の照明灯具を継続的に計測・解析中。劣化曲線等から標準的な管理基準の目安値を検討中 ・現在、トンネル坑内の環境振動(大型車通過時の風圧等が附属物等の振動挙動に及ぼす影響度合い)を継続的に計測・解析中である。その結果と本申請技術を組み合わせることで、トンネル内附属物全体の維持管理が可能</p>

6. 図面



d <d ~エネルギーハーベスタ



照明灯具への取付状況

1. 基本事項			
技術番号	TN030010-V0123		
技術名	非GNSS環境対応型レーザー計測システム(MIMM-S)によるトンネル覆工幅と高さの把握		
	技術バージョン	なし	作成: 2023年 3月
開発者	計測検査株式会社		
連絡先等	TEL: 093-642-8231	E-mail : <a href="mailto:kkeigyo@keisokukensa.co.jp">kkeigyo@keisokukensa.co.jp</a>	担当部署・営業部
現有台数・基地	1台	基地	福岡県北九州市八幡西区
技術概要	<p>非GNSS環境対応型レーザー計測システムで取得した相対的な点群情報を解析し、トンネル覆工の幅と高さをグラフで連続的に把握するものである。</p> <p>200rpsの高精度レーザー計測器を用い、法定速度で走行しながらトンネル断面の点群を取得する。得られた断面より近似円を計算し基準断面とトンネル中心点を求め、その中心点を起点に覆工面の幅と高さを求める。幅と高さをグラフ化することでトンネルの寸法(変形)状態を連続的に把握することができる。なお本技術は点検支援技術性能カタログ(TN030006-V0223)と同手法にて解析を行う。</p>		
技術区分	対象部位	覆工の横断目地/覆工の水平打継ぎ目/覆工天端/その他覆工面/内装板/吸音板/天井板	
	検出原理	赤外線レーザー	
	検出項目	対象部位に当たって戻ってきた拡散反射成分の位相差	

2. 基本諸元			
計測機器の構成		<p>本計測装置は、車両後方に画像計測システム及び非GNSS環境対応型レーザー計測システムで構成されたMIMM-Sを設置しており、走行しながらの計測が可能となっている。なお、MIMM-Sは車両から分離可能な構造となっており、台車などに設置して計測することも可能である。</p> <p>非GNSS環境対応型レーザー計測システムは、IMU(慣性計測装置)、オドメータ(距離計)、レーザー計測器(100万点/秒、回転数最大200回/秒)により構成されており、トンネルの3次元情報を法定速度で走行しながら高精度に取得することができる。</p>	
移動装置	移動原理	<p>【車両型】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・内燃機関を搭載した車両にて移動する。</li> <li>・車両に設置し、一般車両に混じって交通規制を行うことなく通常走行しながら計測を行うことが可能。</li> </ul> <p>【人力】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・台車等に設置し、人力で運用することも可能。</li> </ul>	
	運動制御機構	通信	対象外
		測位	対象外
		自律機能	対象外
	外形寸法・重量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・分離構造</li> <li>【軽車両型】</li> <li>・最大外形寸法(長さ3.4m×幅1.5m×高さ1.8m)</li> <li>・最大重量(1.2t)</li> <li>【台車型】</li> <li>・最大外形寸法(長さ1.0m×幅1.0m×高さ1.0m)</li> <li>・最大重量(50kg)</li> </ul>	
	搭載可能容量 (分離構造の場合)	<p>【軽車両型】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・最大外形寸法(長さ1.9m×幅1.4m×高さ2.0m)</li> <li>・最大重量(350kg)</li> </ul> <p>【台車型】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・最大外形寸法(長さ0.9m×幅0.9m×高さ2.0m)</li> <li>・最大重量(100kg)</li> </ul>	
動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・動力源: 内燃機関(車両搭載時)、人力(台車搭載時)</li> <li>・燃料: ディーゼル</li> </ul>		
連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	移動装置としては連続稼働時間の制限は特になし		
計測装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・分離可能構造</li> <li>・車両後方に設置された計測システムは車両本体とラッシングベルトにより締結、分離時はラッシングベルトを取り外し分解作業を行う。</li> </ul>	
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計測システム(分離可能)</li> <li>・外形寸法 長さ1.0m×幅1.0m×高さ1.5m</li> <li>・重量 0.1t</li> </ul>	
	センシングデバイス	・高精度レーザー PentaxS2100(Z+F9012OEM)【非接触タイプ】	
	計測原理	<p>IMU(慣性計測装置)、オドメータ(距離計)より複合計算された自己位置からレーザー測距された位置に後処理により相対的な3次元点群を付与する。</p> <p>計測によって得られたレーザー一点群断面より近似円を計算し、基準断面とトンネル中心点を求め、基準断面を各レーザー一点群断面の最適位置(最もフィットする位置)に置く。その中心点を起点に覆工面の幅と高さを求める。全ての断面(間引き可能)の幅と高さのデータをグラフ化することで、連続的に覆工の寸法(変形)状態を把握することができる。</p>	
	計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小雨であれば計測可能だが、強風、強雨、降雪時には計測できない</li> <li>・気温0℃～40℃で計測可能</li> <li>・昼夜問わず計測可能</li> </ul>	

計測装置	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>トンネル覆工表面及びトンネル内に結露、霞、霧、粉塵、漏水など、レーザーの乱反射要因がある場合、正常なデータが得られない可能性があるため、時間をずらしたり別日に計測するといった対策が必要となる</li> <li>同一のトンネルを2回計測してデータを比較する場合は、1回目計測の季節、気温を考慮し、できるだけ同じ条件で2回目の計測を行う必要がある</li> </ul>
	計測プロセス	<ol style="list-style-type: none"> <li>①初期静止を行う。</li> <li>②レーザー計測を行う。</li> <li>③終了静止を行う。</li> <li>④点群の3次元化処理を行う。</li> <li>⑤解析するラインを選定する。</li> <li>⑥変位解析を行う。</li> <li>⑦変位をグラフ化する。</li> </ol>
	アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> <li>計測範囲内(トンネル外含む)の相対的な3次元座標データ(CSV等)</li> <li>トンネル覆工面の寸法をトンネル延長方向にグラフ化したデータ(EXCEL等)</li> </ul>
	計測頻度	車線毎に一回計測
	耐久性	・IP54
	動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>動力源: 電気式</li> <li>電源供給方法: 移動装置に設置されたポータブルバッテリーからの電源供給</li> <li>定格容量: 1KVA</li> </ul>
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	・ポータブルバッテリーによる電力を使用しており、通常4時間程度の使用が可能。
データ収集・通信装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>分離可能構造</li> <li>車両後方に設置された計測システムは車両本体とラッシングベルトにより締結、分離時はラッシングベルトを取り外し分解作業を行う。</li> </ul>
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>計測システム(分離可能)</li> <li>外形寸法 長さ1.0m×幅1.0m×高さ1.5m</li> <li>重量 0.1t</li> </ul>
	データ収集・記録機能	・計測中は、計測装置の記録メディアに保存される。計測終了後、車両に搭載したPCに伝送し、HDDに保存する。
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	対象外
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	対象外
	動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>動力源: 電気式</li> <li>電源供給方法: 移動装置に設置されたポータブルバッテリーからの電源供給</li> <li>定格容量: 1KVA</li> </ul>
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	対象外

## 3. 運動性能

項目	性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件
適用可能なトンネルの 最小寸法	【軽車両型】 ・幅2.5m 高さ2.5m 以上  【台車型】 ・幅2.0m 高さ2.0m 以上	・舗装路面であること
適用可能なトンネルの 最大寸法	・R8.5m以下(車体との離隔が側方6m以下かつ上方6m以下である必要がある)	・レーザー発射位置から7m以内 ・車線数に応じて複数回走行が必要
障害物回避	対象外	対象外

## 4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	計測レンジ (測定範囲)	検証の有無の記載 ※	無	特になし	
		360度			
	感度	校正方法	校正用マーカにより校正		レーザー起動時に自動校正
		検出性能	検証の有無の記載 ※	無	対象外
			対象外		
	検出感度	検証の有無の記載 ※	無	対象外	
	S/N比	検証の有無の記載 ※	無	対象外	
		対象外			
	分解能	検証の有無の記載 ※	無	計測時に設定した回転数によって分解能は異なる ・50Hz → 0.018度 ・100Hz → 0.036度 ・200Hz → 0.072度	
		0.018度			
計測精度	検証の有無の記載 ※	有	<ul style="list-style-type: none"> <li>・円周方向の点群間隔はレーザーの回転数によって変化 レーザーからの距離が5mの場合 200Hz→6.3mm 100Hz→3.1mm 50Hz→1.6mm</li> <li>・走行型計測であるため、速度により検出精度が変化 200Hzの場合 10km/h: サイズ5cm×5cm以上 20km/h: サイズ10cm×10cm以上 30km/h: サイズ20cm×20cm以上 40km/h: サイズ20cm×20cm以上 50km/h: サイズ20cm×20cm以上</li> </ul>		
	標準試験方法(2020) 実施年 2022年 変位解析誤差:3.7mm程度 ※同じトンネルを2回走行し10mmの変位を差分解析した場合の誤差  うき・はく離の検出について ・厚み 覆工から3mm以上突出していれば検出可能 ・サイズ 5cm×5cm以上であれば検出可能 ※検出可能サイズは速度によって変化(右記参照)				
計測速度 (移動しながら計測する場合)	検証の有無の記載 ※	有	<ul style="list-style-type: none"> <li>・走行型計測であるため、速度により計測間隔が変化 10km/h: 約14mm 20km/h: 約28mm 30km/h: 約42mm 40km/h: 約56mm 50km/h: 約70mm</li> </ul>		
	・計測速度 50km/h程度以下				
位置精度 (移動しながら計測する場合)	検証の有無の記載 ※	有	特になし		
	標準試験方法(2020) 実施年 2022年 速度、レーザー回転数、トンネルの大きさにより異なる 例: 50km/h、200Hz、R5.0mの場合 ・進行方向誤差 ±70mm ・トンネル周方向誤差 ±19.1mm ※周方向は最大誤差発生時(40km/h走行時)6測点(性能確認シート A-B、C-D)の平均値				
色識別性能 (画像等から計測する場合)	検証の有無の記載 ※	無	対象外		
	対象外				

※性能検証を実施している場合は「有」、実施していない場合は「無」と記載する。「有」の場合は、根拠となる資料を巻末に添付する。



## 5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件等)
点検時 現場条件	作業範囲	特になし	特になし
	安全面への配慮	高精度レーザーの規格は「クラス1」であり、人体に影響はない	特になし
	無線等使用における混線等対策	対象外	対象外
	交通規制の要否	不要	特になし
	交通規制の範囲	不要	トンネル内に通行人(歩行者、自転車)がいた場合、また大型車両と離合もしくは並走した場合は、データ抜けが発生するため、再計測を行う必要がある。
	現地への運搬方法	・車両に搭載して運搬	特になし
	気温条件	0℃～40℃	特になし
	トンネル延長の制約	特になし	特になし
	車線数の制約	特になし	特になし
	断面形状の制約	同一断面が連続していること	・徐々に断面が変化するような箇所は解析不可 (基準断面が作成できない箇所は解析不可)
	その他	覆工に汚れ、すず等がある場合でも作業	特になし

## 5. 留意事項(その2)

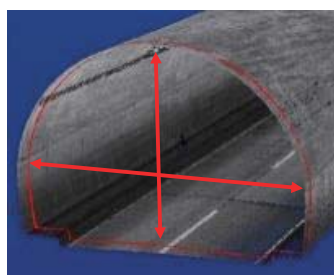
項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件等)
調査技術者の技量	・社内基準	特になし
必要操作人員数	・車両運転員1人、機器オペレーター1人、合計2名	特になし
操作に必要な資格等の有無	・社内講習必要	特になし
操作場所	車両内	特になし
計測費用	<p>現場計測費用</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・現地までの燃料費、交通費(高速道路、フェリー等)</li> <li>・車両損料 250,000円/日</li> <li>・計測費 100,000円/日</li> <li>・解析費 500,000円/km</li> </ul> <p>※日数については右記計測作業日数を参照</p>	<p>計測作業日数</p> <p>[トンネル条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・延長500mのトンネル1本のみ計測</li> </ul> <p>[作業日数]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新技術活用による作業日数 1日</li> </ul> <p>[トンネル条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・延長500mのトンネル10本を計測</li> </ul> <p>[作業日数]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新技術活用による作業日数 2日</li> </ul> <p>(同一路線の連続するトンネルの場合は1日)</p> <p>[計測作業日数算定上の条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・レーザー計測のみ</li> </ul> <p>【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネルの変形状態の把握</li> </ul>
保険の有無、保障範囲、費用	・加入済み 保証範囲: 人+自転車+車、保証金額: 無制限	特になし
時間帯(夜間作業の可否)	・特になし(夜間作業は可)	特になし
計測時の走行速度条件	法定速度で走行	特になし
渋滞時の計測可否	・渋滞によりトンネル内で停止した場合は再計測が必要	特になし
車両から対象部位までの距離条件	・6m以内	特になし
トンネル内照明の消灯の必要性	・特になし	特になし
可搬性(寸法・重量)	<p>下記容量へ複数分離し可搬可能</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・寸法 長さ1.0m × 幅1.0m × 高さ1.0m × 複数個</li> <li>・重量15kg × 複数個</li> </ul>	特になし
自動制御の有無	無	特になし
利用形態:リース等の入手性	・業務委託にて対応	特になし
関係機関への手続きの必要性	・必要なし	特になし
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・解析ソフト: 自社開発ソフトを使用</li> <li>・必要作業: 担当者による解析作業</li> <li>・費用: 上記計測費に含む</li> </ul>	特になし
不具合時のサポート体制の有無及び条件	有	特になし
センシングデバイスの点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日常点検</li> <li>・毎年定期調整を実施</li> </ul>	特になし
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計測開始時と終了時に静止作業を十分に行えなかった場合、精度が低下する。</li> <li>・長距離区間の連続計測は精度が著しく低下する。</li> </ul>	特になし

6. 図面

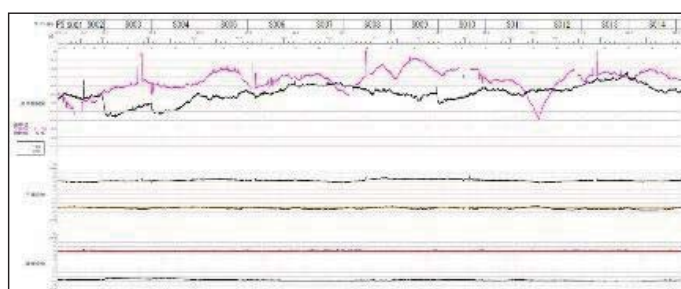


非GNSS環境対応型レーザー計測システム(MIMM-S)

計測状況



解析イメージ

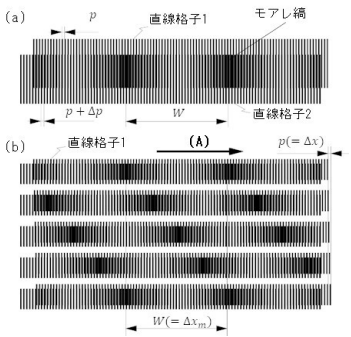
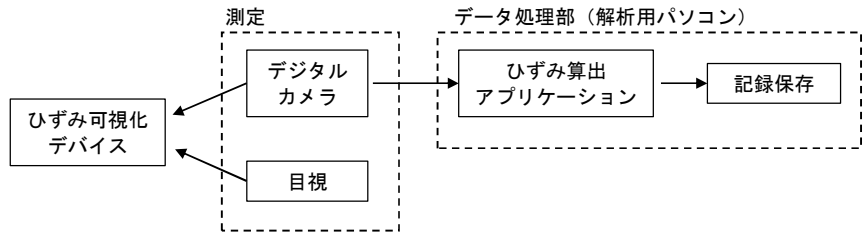


## 1. 基本事項

技術番号	TN030011-V0022		
技術名	モアレ縞を用いたひずみ計測技術(ひずみ可視化デバイス)		
技術バージョン	SVD-1	作成: 2022年 2月 (西暦で記載)	
開発者	(株)計測リサーチコンサルタント/国立大学法人広島大学		
連絡先等	TEL: 082-899-5472	E-mail: oomachi@krcnet.co.jp	事業推進部・大町正和
現有台数・基地	350台	基地	広島県広島市東区福田1丁目665-1
技術概要	<p>本技術は、微小な変位を拡大して表示できるモアレ縞の特徴を用いたひずみ計測用センサである。鋼・コンクリート部材のひずみを定量的に肉眼で読み取ることができるとともに、一般的なデジタルカメラでデバイスを撮影し、そのデジタル画像を解析することで、肉眼で読み取るひずみ値よりもさらに精度の高いひずみ値を算出することが可能である。</p> <p>本体は、線格子や文字状の格子を生成したガラス製のフロントプレート及びリアプレート、鋼製の温度補償板(温度補償対象:コンクリート及び軟鋼)で構成される。加えて、本体を取り付ける治具やひずみ算出アプリケーションなども付属されている。電気的な要素を使用しないため、電源が不要で、電気的な故障もないため、長期的に部材のひずみの変化(応力状態の変化)を確認できる。</p>		
技術区分	対象部位	覆工/坑門/附属物 ※コンクリート及び鋼製部材でアンカーボルトまたは溶接で設置できる部材	
	検出原理	静止画	
	検出項目	ひずみ	

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>本機器は、以下で構成されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひずみ可視化デバイス本体</li> <li>・取付脚</li> <li>・ダミープレート</li> </ul> <p>カメラでの撮影を考えた場合は、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・デジタルカメラ 1台</li> <li>・解析用PC(ひずみ算出アプリケーション(付属品)が搭載) 1台</li> </ul> <p>以上の機器を準備する必要がある</p>	
移動装置	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量 (分離構造の場合)	-	
動力	-		
連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	-		
計測装置	設置方法	<p>①設置位置の位置出しを行う          ②ダミープレートと取付脚を組立てる          ③②で組立てた取付脚を設置位置に置き、アンカー固定または溶接固定を行う          ④取付脚からダミープレートを取り外し、ひずみ可視化デバイスを取付ける</p>	
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	<p>【検査機本体】          ひずみ可視化デバイス:最大外形寸法(長さ17mm×幅120mm×厚さ6.8mm)</p> <p>【取付治具】          ・取付脚:最大外形寸法(24mm×77mm×18mm)          ・ダミープレート:外形寸法(16mm×110mm×6.8mm)</p>	

センシングデバイス	ひずみ可視化デバイス SVD-1
計測原理	<p>ピッチの異なる直線格子を生成した2枚のプレートを重ねることで発生するモアレ縞の原理を用いている。直線格子1のピッチを<math>p</math>、直線格子2のピッチを<math>p+\Delta p</math>とすると、モアレ縞のピッチ<math>W</math>は、<math>((p+\Delta p)/\Delta p) \cdot p</math>で表される。これらの関係より、直線格子1がピッチ<math>p</math>ほど移動すると、視覚的に<math>(p+\Delta p)/\Delta p</math>倍に拡大表示され、モアレ縞は<math>W</math>ほど移動する。この原理によって、微小変位を視覚的に拡大表示して検出している。</p> 
計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・撮影時に、外乱光の影響がないこと(デバイス表面に不均一な影、ハレーションなど)</li> <li>・設置面が平坦であり、ひずみ可視化デバイスの表面が汚れていないこと(または汚れをふきとれること)</li> </ul>
計測装置 精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・正対して撮影できない場合、精度が低下する。</li> <li>・撮影時、外乱光の影響がある場合、精度が低下する可能性がある。</li> </ul>
計測プロセス	<p>計測プロセス</p> <p>【目視による計測】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①設置時に<math>100\mu\epsilon</math>ごとの目盛の最も濃く表示されている数値を読み取り、記録する</li> <li>②計測時に<math>100\mu\epsilon</math>ごとの目盛の最も濃く表示されている数値を読み取り、記録する</li> <li>③上記①②で読み取った数値の差分を計算する</li> </ol> <p>【デジタルカメラによる計測】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①設置時にひずみ可視化デバイスを撮影する(5枚以上推奨)</li> <li>②計測時にひずみ可視化デバイスを撮影する(5枚以上推奨)</li> <li>③上記①②で撮影した画像を画像解析アプリケーションにより画像解析してひずみ値を算出</li> </ol> 
アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・画像解析アプリケーションで解析されたデータは、csvファイルで保存される。</li> <li>・現地の状況や環境にもよるが、現場での作業が目視の場合は1分程度、デジタルカメラによる撮影の場合は1~2分(5枚以上の撮影)、画像の解析に5分程度(5枚の画像を解析)要する</li> </ul>

計測装置	計測頻度	任意
	耐久性	・自然環境下における10年以上の耐候性能 ・自然環境下(沿岸部暴露)における10年以上の耐腐食性能を持つ
	動力	ひずみ可視化デバイスの動力は不要
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	-
データ収集・通信装置	設置方法	-
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	一般的なデジタルカメラの仕様
	データ収集・記録機能	・デジタルカメラの記録メディア(SDカード) ・解析用のPC
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	-
	動力	・デジタルカメラのバッテリー ・PC本体のバッテリー
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	-

### 3. 運動性能

項目	性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件
適用可能なトンネルの最小寸法	特になし	
適用可能なトンネルの最大寸法	特になし	
障害物回避	-	

## 4. 計測性能

項目		性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	計測レンジ (測定範囲)	性能確認シートの有無 ※ 無 【性能値】 ±500 μ ε (F.S.=1000 μ ε)		
	感 度	校正方法	-	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※ -	
		検出感度	性能確認シートの有無 ※ -	
	S/N比	性能確認シートの有無 ※ -		
	分解能	性能確認シートの有無 ※ 無 【性能値】 目視:50 μ ε 画像解析:1 μ ε.		
	計測精度	性能確認シートの有無 ※ 有 標準試験方法(-) 実施年 2022年 【性能値】 画像解析の場合 繰り返し精度(2σ) ±10 μ ε 非直線性: ±1% of F.S. 【試験値】 最大誤差:0.0076mm ※ひび割れ幅の変位量をパイ型変位計と比較	【性能値】 ・ひずみ可視化デバイスに正対して撮影 ・設置面が平坦かつ外乱光の影響がない場所で撮影 ・1回の計測当たり5枚以上撮影し、平均値を採用 【試験値】 ・ひずみ可視化デバイスに正対して撮影 ・設置面が平坦かつ外乱光の影響がない場所で撮影 ・USBカメラで連続的に計測	
	計測速度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※ -		
	位置精度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※ -		
	色識別性能 (画像等から計測する場合)	性能確認シートの有無 ※ -		

※「有」の場合は付録2「技術の性能確認シート」に添付する。



## 5. 留意事項(その1)

項目		適用可否／適用条件	特記事項(適用条件等)
点 検 時 現 場 条 件	作業範囲	-	
	安全面への配慮	設置後、落下することのないようネジの緩み止め等の措置を行う	
	無線等使用における混線等対策	-	
	交通規制の要否	設置箇所によっては交通規制が必要	
	交通規制の範囲		
	現地への運搬方法	人による運搬	
	気温条件	-	
	トンネル延長の制約	-	
	車線数の制約	-	
	断面形状の制約	-	
	その他	-	

## 5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件等)
調査技術者の技量	特になし	
必要操作人員数	【設置時】 現場責任者1人、作業員2人 【計測時】 現場責任者1人、作業員1人	
操作に必要な資格等の有無	-	
操作場所	設置スペース:1m×1m	
計測費用	[トンネル条件] 特になし  [費用] ・約140万円  [費用算定上の条件] ・コンクリート部材 ・設置箇所数:10箇所 ・計測頻度:5年/1回 ・計測期間:1年	数量、場所によっては価格が変動する
保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	
時間帯(夜間作業の可否)	夜間作業時は照明が必要	
計測時の走行速度条件	-	
渋滞時の計測可否	-	
車両から対象部位までの距離条件	-	
トンネル内照明の消灯の必要性	特になし	
可搬性(寸法・重量)	【検査機本体】 ひずみ可視化デバイス:最大外形寸法(長さ17mm×幅120mm×厚さ6.8mm) 【取付治具】 ・取付脚:最大外形寸法(24mm×77mm×18mm) ・ダミープレート:外形寸法(16mm×110mm×6.8mm)	
自動制御の有無	無	
利用形態:リース等の入手性	機器の販売または業務委託 ※ひずみ可視化デバイス一式は購入が必要	
関係機関への手続きの必要性	必要なし	
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	解析ソフト:自社開発「SVD 画像解析プログラム」	
不具合時のサポート体制の有無及び条件	株式会社計測リサーチコンサルタントが不具合に対応	
センシングデバイスの点検	取付に緩みなどがないか、本体に割れなどがないか点検する	
その他	【特許状況】 2件取得済  【作業条件】 トンネル上部の計測には高所作業車等が必要である。  【適用できない(適用できなかった)条件等】 ・設置面が平坦でない	

6. 図面

機器構成

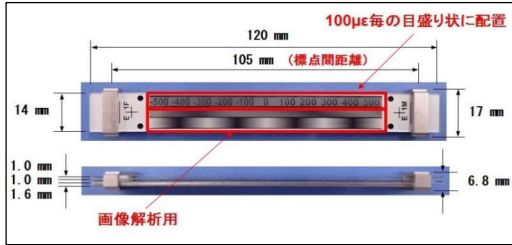


図-1 装置全体像

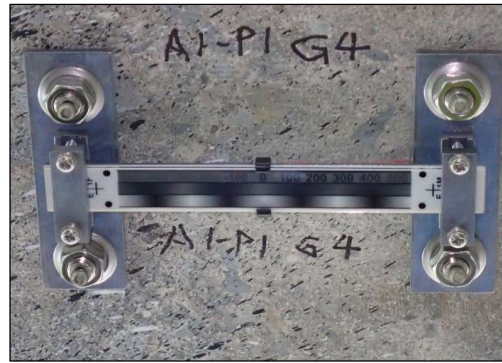


図-2 現場状況



図-3 ひずみ算出アプリケーション

ひずみ可視化デバイスの画像	読取り値 (με)
	0
	100
	250
	350
	400

目視による「ひずみ」の確認

目視による「ひずみ」の読取値

デジタルカメラによる写真撮影

画像解析プログラム

図-4 計測方法

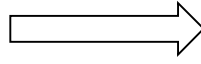
技術概要



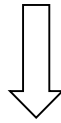
①デジタルカメラで検査機を撮影



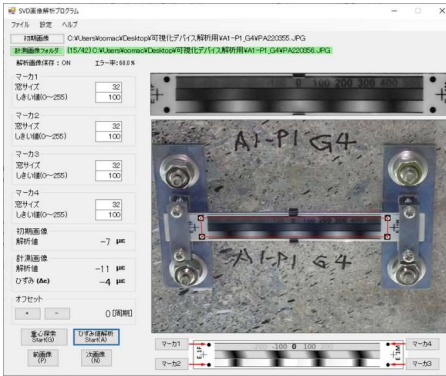
画像ファイルを転送



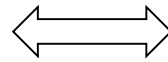
②ひずみ算出アプリケーションを起動



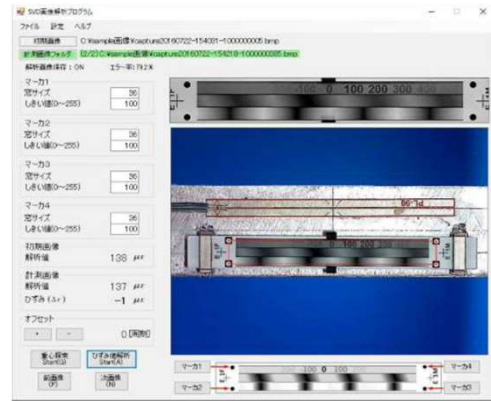
画像読み込み



③初期画像のひずみを解析



⑤比較




④計測画像のひずみを解析

## 1. 基本事項

技術番号	TN030012-V0023		
技術名	ワイヤレスモニタリングシステム		
技術バージョン	ver.1	作成: 2023年 3月	
開発者	Senceive社 販売会社:グレートスタージャパン株式会社		
連絡先等	TEL: 045-228-8677	E-mail : <a href="mailto:s.nakamura@greatstarjapan.co.jp">s.nakamura@greatstarjapan.co.jp</a>	営業部 中村聡
現有台数・基地	4台	基地	横浜市中区山下町223-1NU関内ビル10F
技術概要	本技術は、トンネル内空及びトンネル構造物の動態観測をワイヤレスセンサーで行うモニタリングシステムで、従来は、トータルステーションや鋼尺による計測方法で対応していた。本技術の活用により、人的な計測作業を行うことなく従来より密な間隔で計測が可能となる。		
技術区分	対象部位	内装板／吸音板／天井板／照明／警報表示板／標識／ジェットファン／その他附属物／路肩及び路面／坑門	
	検出原理	・IMUによる傾斜角の検出、レーザー距離計による距離値の検出 ・TTS(3軸傾斜センサー)／ODS(距離計付3軸傾斜センサー)	
	検出項目	・トンネル内空および附属物等の異常なたわみ／変形／欠損／沈下・移動・傾斜	

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ワイヤレスモニタリングセンサーをトンネル内空等に固定</li> <li>・ワイヤレスモニタリングセンサー: 3軸傾斜センサーまたは距離計付3軸傾斜センサー</li> <li>・4Gゲートウェイによりデータをクラウドに送信</li> <li>・PCやスマートフォンにて角度変化、距離変化を観測</li> </ul>	
移動装置	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量 (分離構造の場合)	-	
	動力	-	
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	-	
計測装置	設置方法	変位等の計測が必要な箇所にセンサーが動かないよう直接ネジ止、接着、両面テープ等で固定する	
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	・計測装置: 最大外形寸法(長さ90mm×幅90mm×高さ90mm)、最大重量(0.6kgf)	
	センシングデバイス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3軸傾斜センサー-TTS</li> <li>・レーザー距離計付3軸傾斜センサー-ODS</li> </ul>	
	計測原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・内蔵の3軸傾斜センサーより角度の検出</li> <li>・内蔵のレーザー距離計にて距離を検出</li> </ul>	
	計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・移動通信(4G等電話回線)を有するエリア</li> <li>・移動体などの変位振動が大きい場所には適さない</li> </ul>	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設置後にセンサーが移動、傾斜しないように確実に固定する。</li> <li>・温度変化による膨張、収縮のひずみが生じるが、同時に温度データをモニタリングすることで正常、異常の判断が可能。</li> </ul>	

計測装置	計測プロセス	<p>①トンネル内空等に設置したセンサーの傾斜角及び距離値をゲートウェイに送信                  ②ゲートウェイからデータをクラウドに転送上のWeb                  ③PCからWebモニターにて傾斜角及び距離値を確認                  ④継続的にモニタリングすることで、データの変化を観察                  ⑤閾値を設定することで、アラートによる警告が発動される</p> 
	アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> <li>計測される傾斜角または距離値のデータはWebモニター上にグラフ化され、また各数値はcsvファイルにて出力可能。</li> <li>機器の設置に要する時間は通信設定を含めて1~2時間程度。PCで確認可能</li> </ul>
	計測頻度	<ul style="list-style-type: none"> <li>データ取得間隔は最低1秒から設定可能。</li> </ul>
	耐久性	<ul style="list-style-type: none"> <li>IP68</li> </ul>
	動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>内蔵リチウムメタルバッテリー</li> <li>電池交換可能</li> </ul>
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>TTS(3軸傾斜センサー)は15年(1測定/30分)</li> <li>ODS(距離計付3軸傾斜センサー)は10年(1測定/30分)</li> </ul>
データ収集・通信装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>センサー周辺(最大300m)に4Gゲートウェイを設置。センサーと4Gゲートウェイは2.4G無線で接続</li> </ul>
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>4Gゲートウェイ:最大外形寸法(長さ395mm×幅120mm×高さ65mm)、最大重量(1.2kgf)</li> </ul>
	データ収集・記録機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>計測される傾斜角または距離値のデータはWebモニター上にグラフ化され、また各数値はcsvファイルにて出力可能。</li> </ul>
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>通信方法 4G</li> <li>通信規格 3.4 - 3.6GHz / 698 - 806MHz</li> <li>通信速度 平均150Mbps</li> <li>通信距離 4G受信範囲</li> </ul>
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Microsoft Azureクラウド使用(ISO/IEC2701準拠)</li> </ul>
	動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>ソーラパネルまたはAC電源</li> </ul>
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>制限なし</li> </ul>

**3. 運動性能**

項目	性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件
適用可能なトンネルの 最小寸法	-	-
適用可能なトンネルの 最大寸法	-	-
障害物回避	-	-



## 4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
計測装置	計測レンジ (測定範囲)	性能確認シートの有無 ※	無	-
		【性能値】 ・3軸傾斜センサー:全方向で設置可能 ・距離計:測距範囲:0.04~150m		
		【標準試験値】 未検証		
	校正方法	-	-	-
	検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	-
		【性能値】 ・全方向で傾斜、変位を検出可能		
		【標準試験値】 未検証		
	検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	-
		-	-	-
S/N比	性能確認シートの有無 ※	無	-	
	-	-	-	
分解能	性能確認シートの有無 ※	無	-	
	【性能値】 ・3軸傾斜センサー:0.0001° (±0.0018mm/m) ・距離計:0.1mm			
計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	-	
	【性能値】 ・3軸傾斜センサー再現性:±0.0005° (±0.009mm/m) ・距離計 再現性 :f ± 0.15mm			
	【標準試験値】 標準試験方法 (2020) 実施年 2022年 ・試験体に1mmの変位を与えた場合に、1mmの変位として検知			
計測速度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	無	-	
	-	-	-	
位置精度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	無	-	
	-	-	-	
色識別性能 (画像等から計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	無	-	
	-	-	-	

※「有」の場合は付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

## 5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件等)
点 検 時 現 場 条 件	作業範囲	・特になし	-
	安全面への配慮	・特になし	-
	無線等使用における混線等対策	・特になし	-
	交通規制の要否	・不要	-
	交通規制の範囲	・不要	-
	現地への運搬方法	・「人による運搬」	-
	気温条件	・動作温度 -40℃～+80℃	-
	トンネル延長の制約	・特になし	-
	車線数の制約	・特になし	-
	断面形状の制約	・特になし	-
	その他	-	-

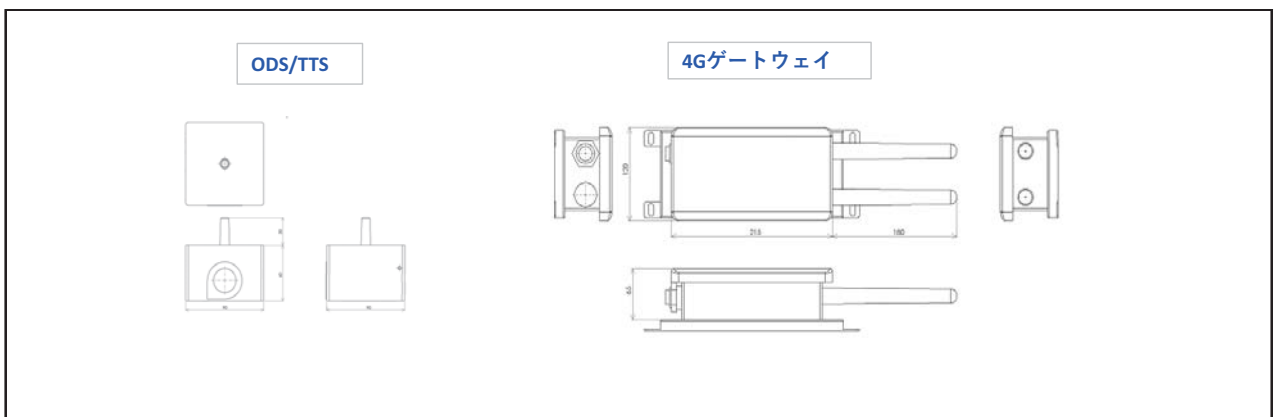
5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件等)																																																																																		
調査技術者の技量	・特に不要。	-																																																																																		
必要操作人員数	・設置者1名	-																																																																																		
操作に必要な資格等の有無	・特に不要。	-																																																																																		
操作場所	・特に不要。	-																																																																																		
計測費用	500mのトンネル4箇所の内空面の傾斜、変位を測定する場合の年間費用 ・従来の人力点検による費用 2,007,000円 ・新技術活用による費用 1,265,000円	設置条件 トンネル内空にセンサー4台 4Gゲートウェイ1台  設置労務費用:116,000 機器費用:1,148,655 雑務費用:345 合計:1,265,000(12ヶ月)  ・計測値の監視や評価に係る費用に関しては対象外																																																																																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">新技術の内訳</th> </tr> <tr> <th>項目</th> <th>仕様</th> <th>数量</th> <th>単位</th> <th>単価</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>労務費</td> <td>技術員(センサー設置・撤去、ネットワーク接続・調整)</td> <td>4</td> <td>人</td> <td>29,000</td> <td>116,000</td> </tr> <tr> <td>機器費</td> <td>センサー機料</td> <td>1,460</td> <td>個・日</td> <td>600</td> <td>876,000</td> </tr> <tr> <td>機器費</td> <td>4Gゲートウェイ機料</td> <td>365</td> <td>個・日</td> <td>600</td> <td>219,000</td> </tr> <tr> <td>機器費</td> <td>ノートPC機料</td> <td>365</td> <td>台・日</td> <td>147</td> <td>53,655</td> </tr> <tr> <td>諸経費</td> <td>雑費処理</td> <td>1</td> <td>式</td> <td>345</td> <td>345</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">従来技術の内訳</th> </tr> <tr> <th>項目</th> <th>仕様</th> <th>数量</th> <th>単位</th> <th>単価</th> <th>金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>労務費</td> <td>測量技師</td> <td>26</td> <td>人</td> <td>42,200</td> <td>1,097,200</td> </tr> <tr> <td>労務費</td> <td>測量助手</td> <td>26</td> <td>人</td> <td>31,100</td> <td>808,600</td> </tr> <tr> <td>機器費</td> <td>トータルステーション機料</td> <td>52</td> <td>日</td> <td>1,030</td> <td>53,560</td> </tr> <tr> <td>機器費</td> <td>プリズムポール</td> <td>4</td> <td>本</td> <td>11,900</td> <td>47,600</td> </tr> <tr> <td>諸経費</td> <td>雑費処理</td> <td>1</td> <td>式</td> <td>40</td> <td>40</td> </tr> </tbody> </table>		新技術の内訳						項目	仕様	数量	単位	単価	金額	労務費	技術員(センサー設置・撤去、ネットワーク接続・調整)	4	人	29,000	116,000	機器費	センサー機料	1,460	個・日	600	876,000	機器費	4Gゲートウェイ機料	365	個・日	600	219,000	機器費	ノートPC機料	365	台・日	147	53,655	諸経費	雑費処理	1	式	345	345	従来技術の内訳						項目	仕様	数量	単位	単価	金額	労務費	測量技師	26	人	42,200	1,097,200	労務費	測量助手	26	人	31,100	808,600	機器費	トータルステーション機料	52	日	1,030	53,560	機器費	プリズムポール	4	本	11,900	47,600	諸経費	雑費処理	1	式
新技術の内訳																																																																																				
項目	仕様	数量	単位	単価	金額																																																																															
労務費	技術員(センサー設置・撤去、ネットワーク接続・調整)	4	人	29,000	116,000																																																																															
機器費	センサー機料	1,460	個・日	600	876,000																																																																															
機器費	4Gゲートウェイ機料	365	個・日	600	219,000																																																																															
機器費	ノートPC機料	365	台・日	147	53,655																																																																															
諸経費	雑費処理	1	式	345	345																																																																															
従来技術の内訳																																																																																				
項目	仕様	数量	単位	単価	金額																																																																															
労務費	測量技師	26	人	42,200	1,097,200																																																																															
労務費	測量助手	26	人	31,100	808,600																																																																															
機器費	トータルステーション機料	52	日	1,030	53,560																																																																															
機器費	プリズムポール	4	本	11,900	47,600																																																																															
諸経費	雑費処理	1	式	40	40																																																																															
保険の有無、保障範囲、費用	・保険の有無:無し	-																																																																																		
時間帯(夜間作業の可否)	・特になし	-																																																																																		
計測時の走行速度条件	・特になし	-																																																																																		
渋滞時の計測可否	・特になし	-																																																																																		
車両から対象部位までの距離条件	・特になし	-																																																																																		
トンネル内照明の消灯の必要性	・特になし	-																																																																																		
可搬性(寸法・重量)	・特になし	-																																																																																		

作業条件・運用条件

作業条件・運用条件	自動制御の有無	・無	-
	利用形態:リース等の入手性	・販売及びレンタル 自社 計測ネットサービス株式会社 03-6807-6466	-
	関係機関への手続きの必要性	・交通規制を必要とする場合は、トンネル管理者との協議を要する。	-
	解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	・クラウドシステム Senceive WebMonitor Portalが必要 年間保守料、センサー購入及びレンタル費用に含む	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	・有。クラウドの設定変更、電池交換等	-
	センシングデバイスの点検	-	-
	その他	<p>【気象条件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・センサー設置状態によっては降雨時、降雪時の距離計測は不能</li> </ul> <p>【作業条件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネル上部にセンサーを設置する場合は高所作業車等が必要。</li> </ul>	-

6. 図面



# 計測・モニタリング技術(トンネル) (1/9)

## 1. 基本事項

技術番号	TN030013-V0023		
技術名	トンネル覆工の3Dモデル構築と点群差分解析による変形の算出技術		
技術バージョン	Ver.1.0	作成: 2023年 3月	
開発者	有限会社吉川土木コンサルタント/福井コンピュータ株式会社/株式会社IML/東北大学インフラ・マネジメント研究センター		
連絡先等	TEL: 095-862-0101	E-mail: mori@yoshikawa-d.co.jp	営業部・森 達也
現有台数・基地	1	基地	長崎県長崎市光町10番5号吉川ビル2階
技術概要	<p>・当該技術の特徴 3次元レーザースキャナを用いて覆工表面や付属物等の3D点群モデルを作成するとともに、新設時と定期点検時、もしくは前回定期点検時との点群データの差分解析により、覆工の変形状態や付属物の脱落、欠損等の把握に資するものである。</p> <p>・計測の原理やプロセス レーザ光の対象物からの反射到達時間の計測により、対象物の形状(3次元点群データ(点群各点の3次元座標値))を計測する。また、3次元点群処理プログラムを用いて、時期が異なる2状態における3次元点群データの差分を解析することで、構造物の経年による変形などを算出する。</p> <p>・計測結果の活用</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>高精度レーザ計測による 3Dモデルの構築</p>  <p>新設時または前回定期点検時</p> <p>今回定期点検時(現況)</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>3D点群処理システム 「TREND-POINT」(福井コンピュータ製) を用いた3Dモデル表示・変状寸法の算出</p>  <p>差分解析</p> <p>変形のコンター表示 (イメージ図)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>状態の定量的把握</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・覆工の変形状態の把握</li> <li>・付属物の脱落等の把握</li> </ul> </div> </div> <p style="text-align: center;">技術の概要と計測結果の活用</p>		
技術区分	対象部位	覆工の横断目地/覆工の水平打継ぎ目/覆工天端/その他覆工面/内装板/吸音板/天井板/はく落防止対策工/漏水対策工/その他補修箇所/附属物本体・取付部材等	
	検出原理	レーザー	
	検出項目	構造物3次元座標	

## 計測・モニタリング技術(トンネル) (2/9)

### 2. 基本諸元

計測機器の構成		計測装置は、3次元レーザースキャナー機能を備えたトータルステーションTrimble SX10((株)ニコン・トリンプル社製)と、3次元点群処理システムTREND-POINT(福井コンピュータ(株)社製)で構成する。	
移動装置	移動原理	人力による	
	運動制御機構	通信	該当しない
		測位	該当しない
		自律機能	該当しない
	外形寸法・重量	該当しない	
	搭載可能容量 (分離構造の場合)	該当しない	
	動力	該当しない	
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	該当しない	
設置方法	単体型で専用整準台と三脚に搭載して設置		
外形寸法・重量 (分離構造の場合)	・最大外形寸法:幅285.6mm×高さ327.8mm×奥行き208.2mm ・最大重量:8.6kg(専用整準台とバッテリー1個を含む)		
センシングデバイス	・3次元レーザースキャナー機能 スキャニング方式:望遠鏡内の回転プリズムを使ったバンドスキャニング スキャンスピード:26,600点/秒 解像度@50m:50mm(フルドームスキャンの場合) ・カメラ機能 解像度:2,592×1,944ピクセル(0.88mm@50m) 焦点距離(35mm判換算):36~3,000mm フォーカス距離:1.7m~無限		
計測原理	レーザー光の対象物からの反射到達時間の計測により、対象物の形状(3次元点群データ(点群各点の3次元座標値))を計測。		
計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)	黒色、鏡面、透明な対象物は、レーザーが反射しにくいいため計測データが欠損する可能性がある。		
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	トンネル覆工表面に多量の漏水や結露がある場合、また、トンネル内に多量の埃がある場合はレーザー光の乱反射によりデータが欠損する可能性がある。		
計測プロセス	①3次元レーザースキャナーを用いて、トンネル内部の覆工や付属物等の表面全体の3次元点群データを計測する。また、付属のカメラ機能を用いて表面画像を撮影して、3次元点群データにRGBデータを付加する。 ②1回の計測におけるトンネル長は10~20mとして、計測機器を人力で移動させながら、3次元点群データを計測する。分割された点群データを一体化するため、各回の計測位置は予め測量して計測機器に設定しておく。 ③計測された点群データをUSBメモリを介してPC上で稼働する3次元点群処理システムに取り込む。 ④新設時と定期点検時、前回点検時と今回点検時など時期の異なる2つの状態について、上記①~③の計測を実施して、3次元点群処理システムの差分析機能を用いて変位を算出することで、覆工や付属物の変形を可視化する。		
アウトプット	計測された点群データは、汎用の点群データフォーマット(3次元座標値+RGBデータ)や、OBJ形式(点群データ+画像テクスチャマッピング)等のファイルにより3次元点群処理システムへ受け渡す。		
計測頻度	新設時や5年毎の定期点検時、および災害による緊急点検時に計測する。		
耐久性	IP55		
動力	内蔵バッテリーで稼働		
連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	2~3時間(バッテリー1個搭載時)		

計測・モニタリング技術(トンネル) (3/9)

データ収集・通信装置	設置方法	計測機器本体に内蔵
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	計測機器本体と同じ
	データ収集・記録機能	・記録メディア(USBメモリ)に保存 ・3次元点群処理システムが稼働するPCのUSBポートを介して計測データを受け渡すとともに保存する。
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	該当しない
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	該当しない
	動力	該当しない
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	該当しない



## 計測・モニタリング技術(トンネル) (4/9)

### 3. 運動性能

項目	性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件
適用可能なトンネルの 最小寸法	R3.5m以上	計測機器の設置スペース、作業スペースを確保するとともに、カメラ機能の最小フォーカス距離1.7m以上を確保する。
適用可能なトンネルの 最大寸法	R10m以下	レーザー計測の点群解像度10mm以下となる条件を確保する。
障害物回避	該当しない	-

## 4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	計測レンジ (測定範囲)	性能確認シートの有無 ※	無	レーザー計測の点群解像度10mm以下となる条件を確保する。	
		【性能値】 計測距離10m以下 【標準試験値】 未検証			
	校正方法	JSIMA規格に基づく校正		-	
	感度	検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	-
			該当しない		
	検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	-	
			該当しない		
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	無	-	
		該当しない			
	分解能	性能確認シートの有無 ※	無	計測距離10m以下	
	【性能値】 レーザー計測の点群解像度10mm以下 【標準試験値】 未検証				
計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	計測距離10m以下		
	【性能値】 トンネル円周方向、長さ方向の距離(長さ1000mm相当): 点群解像度10mm/長さ1000mm×100=1.0% 覆工の厚さ方向の変位:計測誤差1.5mm 【標準試験値】 距離の計測誤差:1.0%以下(マーカー間距離) 変位の計測誤差: 3.1%×模擬変位(平板平均板厚)4.95mm=0.15mm以下				
計測速度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	無	-		
	該当しない				
位置精度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	無	-		
	該当しない				
色識別性能 (画像等から計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	無	-		
	該当しない				

※「有」の場合は付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

## 5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件等)
点 検 時 現 場 条 件	作業範囲	路面を含むトンネル全周	-
	安全面への配慮	注意喚起の看板の設置等	-
	無線等使用における混線等対策	該当しない	-
	交通規制の要否	要	-
	交通規制の範囲	片側車線	-
	現地への運搬方法	人力による	-
	気温条件	-20℃~50℃	-
	トンネル延長の制約	特になし	長さ10~20mごとに分割して計測
	車線数の制約	特になし	-
	断面形状の制約	R10m以下	-
	その他	黒色、鏡面、透明な対象物は、レーザーが反射しにくいいため計測データが欠損する場合がある。	-

計測・モニタリング技術(トンネル) (7/9)

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件等)
調査技術者の技量	測量技術者、トンネル点検技術者	-
必要操作人員数	現場責任者1人、点検員1人、点検補助員1人、交通誘導員3人、合計6名	-
操作に必要な資格等の有無	社内講習5時間以上	-
操作場所	不要	-
計測費用	トンネル条件 延長300m、全幅員8.5m 部位・部材[本土工、付属物本体・取付部材等] 検出項目[本土工;変形/はく離/移動、付属物本体・取付部材等;変形/脱落/欠損] 費用 以下の合計金額:1,737,000円 トンネル覆工の3次元計測業務:730,000円 データ処理・解析業務:1,007,000円 消費税、旅費交通費は別途	【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 ・トンネルの対象部位の状態監視に使用 ・前回点検時からの変状の進行状況の把握
保険の有無、保障範囲、費用	加入していない	-
時間帯(夜間作業の可否)	特になし	-
計測時の走行速度条件	該当しない	-
渋滞時の計測可否	片側車線の計測時に反対側車線の壁面も計測する。著しい渋滞時に車両により反対側の壁面が見通せない条件では、計測できない場合があります。	-
車両から対象部位までの距離条件	特になし	-
トンネル内照明の消灯の必要性	特になし	-
可搬性(寸法・重量)	特になし	-
自動制御の有無	無	-
利用形態:リース等の入手性	計測も含めて全て自社による	-

作業条件・運用条件

計測・モニタリング技術(トンネル) (8/9)

作業条件・運用条件	関係機関への手続きの必要性	交通規制を必要とするため、トンネル管理者及び警察との協議を要する。	-
	解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	3次元点群処理システムTREND-POINT(福井コンピュータ(株)社製)	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	有	-
	センシングデバイスの点検	計測機器使用時に機器が自動的にセルフチェックを実施	-
	その他	<p>【特許状況】 該当なし</p> <p>【気象条件】 特になし</p> <p>【作業条件】 特になし</p> <p>【適用できない(適用できなかった)条件等】 すす等による汚れで表面が黒色に近い場合。</p>	-

6. 図面

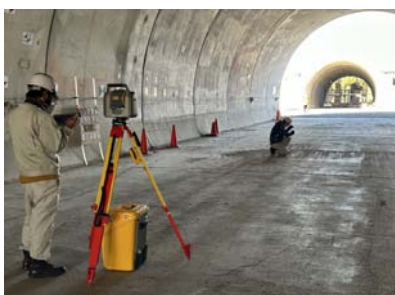


外観

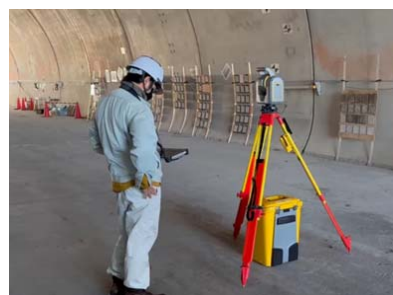


寸法

計測装置(3次元レーザースキャナー機能を備えたトータルステーションTrimble SX10)

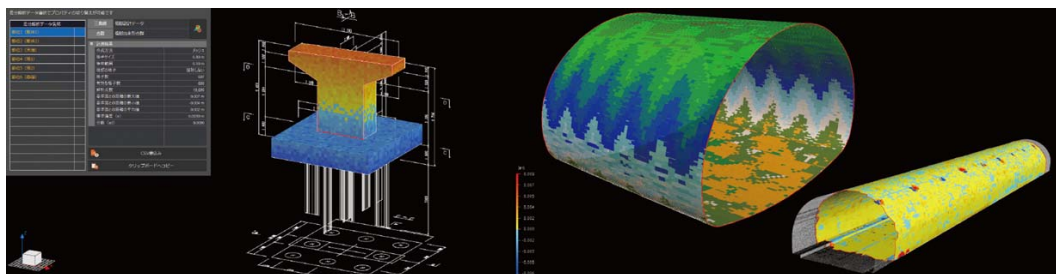


計測機器の設置位置の測量(位置決め)



計測状況の監視

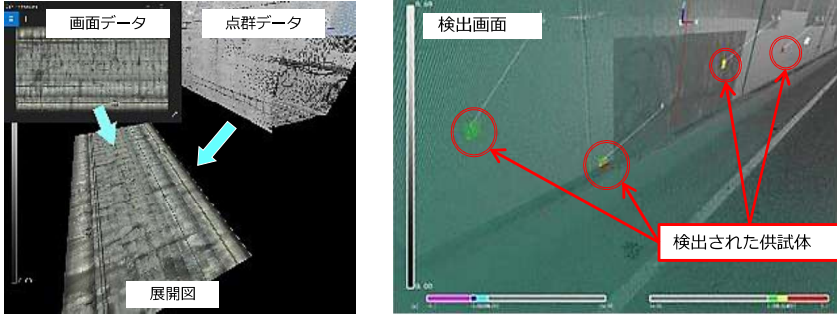
3次元点群データの計測状況



(<https://const.fukuicompu.co.jp/products/trendpoint/index.html> から抜粋)

3次元点群処理システムTREND-POINTの差分析機能

## 1. 基本事項

技術番号	TN030014-V0023		
技術名	InfraDoctor <sup>®</sup> ADVANCE:3次元点群データと画像データによるトンネル点検支援		
技術バージョン	Ver.8.1	作成:2023年3月	
開発者	首都高技術株式会社/株式会社エリジオン/朝日航洋株式会社		
連絡先等	TEL: 03-3578-5767	E-mail: <a href="mailto:info@infradoctor.jp">info@infradoctor.jp</a>	首都高技術株式会社 インフラデジタル部 インフラドクター課
現有台数・基地	無制限	基地	東京都港区虎ノ門3-10-11
技術概要	<p>本技術は、MMS(モービル・マッピング・システム)等で取得した3次元点群データ(以下、点群データ)ならびに画像データをもとに、コンクリート表面の凹凸形状をカラーマップとして可視化するソフトウェアである。本ソフトウェアを活用することで、「うき・はく離」等の変状箇所を推定し、点検業務を支援する。本ソフトウェアによる「うき・はく離」等の可視化方法は下記の通りである。</p> <p>(1) 基準面を作成する方法 覆工コンクリート表面の点群データを近似し、基準面データを作成する。 作成した基準面データと点群データとの差分を計算し、その差分量をコンクリート表面の凸凹形状としてカラーマップ化する。</p> <p>(2) 基準断面を作成する方法 トンネルの点群データから任意の断面を指定し、基準横断面データを作成する。 作成された基準横断面データをトンネル縦断方向に押し出しながら点群データとの差分を計算し、その差分量を凸凹形状として平面状に展開した点群データ上にカラーマップ化する。</p> <p>(3) 上記(1)(2)の検出結果と画像データを併用し、「うき・はく離」の可能性のある箇所を選定(スクリーニング)する。</p>		
			
技術区分	対象部位	覆工コンクリート表面(ただし、照明やジェットファンなどの添架物で表面が隠れる範囲は検出不可)	
	検出原理	レーザ点群の位置座標を活用し、覆工コンクリート表面の「うき・はく離」等の変状を可視化及びマップ化する	
	検出項目	うき・はく離(覆工コンクリート表面の形状変化を伴うものに限る)	

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		—	
移動装置	移動原理	—	
	運動制御機構	通信	—
		測位	—
		自律機能	—
	外形寸法・重量	—	
	搭載可能容量 (分離構造の場合)	—	
	動力	—	
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	—	
計測装置	設置方法	—	
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	—	
	センシングデバイス	—	
	計測原理	—	
	計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)	—	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	InfraDoctor <sup>®</sup> ADVANCEは、解析対象の点群データから、縦横100mm×100mm、厚さ約3mm程度の大きさ以上のコンクリート表面の凸凹形状を「うき・はく離」候補としてカラーマップ化する。また、点群データの点密度は約2,500点/m <sup>2</sup> 以上(点と点の間隔が2cm以下)であることが望ましい。	



計測装置	計測プロセス	—
	アウトプット	—
	計測頻度	—
	耐久性	—
	動力	—
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	—
データ収集・通信装置	設置方法	—
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	—
	データ収集・記録機能	—
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	—
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	—
	動力	—
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	—

**3. 運動性能**

項目	性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件
適用可能なトンネルの 最小寸法	—	—
適用可能なトンネルの 最大寸法	—	—
障害物回避	—	—

## 4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	計測レンジ (測定範囲)	性能確認シートの有無 ※	有/無	—	
		—	—		
	感度	校正方法	—	—	—
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	有/無	
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	有/無	
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	有/無	—	
	分解能	性能確認シートの有無 ※	有/無	—	
	計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	<p>【性能値】社内検証実験の結果による ・点群データから、厚さ3mm、縦横100mm×100mmの大きさのコンクリート表面凹凸形状を「うき・はく離」候補としてカラーマップ化し可視化可能 【標準試験値】 標準試験方法(2020) 実施年 2023年 うき・はく離 ・厚さ0.5mmの場合:可視化不可 ・厚さ1mmの場合:可視化不可 ・厚さ3mmの場合:可視化可能※ただし、10×10cm以下は識別不可 ・厚さ5mmの場合:可視化可能※ただし、5×5cmは識別困難 ※評価対象に目地部含む</p> <p>【性能値】社内検証実験の結果による ・点群データから、厚さ3mm、縦横100mm×100mmの大きさのコンクリート表面凹凸形状を「うき・はく離」候補としてカラーマップ化。なお、点群データの点密度は約2,500点/m<sup>2</sup>以上(点と点の間隔が20mm以下)。 【標準試験値】詳細は確認シート参照 ・国総研実大トンネルに設置された模擬うきの3次元点群データ(点間隔:約20mm、点密度:約1,634点/m<sup>2</sup>)をカラーマップ化し、凹凸形状識別性能(うき・はく離)を評価した結果</p>	
	計測速度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	有/無	—	
	位置精度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	有/無	—	
色識別性能 (画像等から計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	有/無	—		

※「有」の場合は付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

## 5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件等)
点 検 時 現 場 条 件	作業範囲	—	—
	安全面への配慮	特になし	—
	無線等使用における混線等対策	特になし	—
	交通規制の要否	不要	—
	交通規制の範囲	不要	—
	現地への運搬方法	—	—
	気温条件	—	—
	トンネル延長の制約	特になし	—
	車線数の制約	—	—
	断面形状の制約	特になし	—
その他	—	—	

## 5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件等)
調査技術者の技量	—	—
必要操作人員数	—	—
操作に必要な資格等の有無	—	—
操作場所	—	—
計測費用	<p>[費用]内業作業のみ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・解析ソフトウェア: InfraDoctor<sup>®</sup> ADVANCEを使用</li> <li>・解析ソフトウェアライセンス費: 年間48万円</li> <li>・必要作業: 担当者による解析作業</li> </ul> <p>[費用算定上の条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・外業作業である点群データと画像データの取得は、高性能レーザスキャナを搭載したMMS(モービル・マッピング・システム)、地上レーザスキャナ等で実施されているものとする。</li> </ul>	<p>【想定される活用方法(ユースケース)】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「うき・はく離」等の変状箇所を推定し、点検業務を支援する。</li> </ul> <p>※本技術はソフトウェアであり、計測作業や点検費用は想定していない</p>
作業条件・運用条件		
保険の有無、保障範囲、費用	—	—
時間帯(夜間作業の可否)	—	—
計測時の走行速度条件	—	—
渋滞時の計測可否	—	—
車両から対象部位までの距離条件	—	—
トンネル内照明の消灯の必要性	—	—
可搬性(寸法・重量)	—	—
自動制御の有無	—	—

作業条件・運用条件	利用形態:リース等の入手性	インフラドクターへのお問合せは下記URLで承っております。 <a href="https://www.infradoctor.jp/contact.html">https://www.infradoctor.jp/contact.html</a> 内容により、回答までにお時間を頂く場合がございます。あらかじめご了承ください。	—
	関係機関への手続きの必要性	—	—
	解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・解析ソフト:InfraDoctor<sup>®</sup> ADVANCEを使用</li> <li>・必要作業:担当者による解析作業</li> <li>・解析ソフトウェアライセンス費:年間48万円</li> </ul>	—
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	インフラドクターへのお問合せは下記URLで承っております。 <a href="https://www.infradoctor.jp/contact.html">https://www.infradoctor.jp/contact.html</a> 内容により、回答までにお時間を頂く場合がございます。あらかじめご了承ください。	—
	センシングデバイスの点検	—	—
	その他	—	—

6. 図面

# InfraDoctor® ADVANCE

Powered by Elysium InfiPoints.

## BIM/CIM対応の点群処理ソフトウェア

様々な形式の点群データを読み込み、以下のような処理や編集が可能です

### 大規模な点群をスムーズに処理



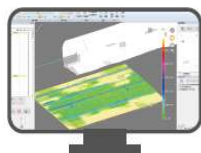
- 点の間引きによるデータの軽量化
- 柱状物の自動抽出
- 指定したサイズにグリッド化
- レイヤ機能によるデータ分類
- ノイズなどの除去

### 点群データを編集して BIM/CIM に活用

- 寸法計測、体積測定、角度計測
- 物体間の干渉判定
- 2D図面、3Dモデルの作成
- 3Dモデルを利用した各種シミュレーション
- 編集したデータを DWG ファイルで出力



### トンネル点検の報告書作成を支援

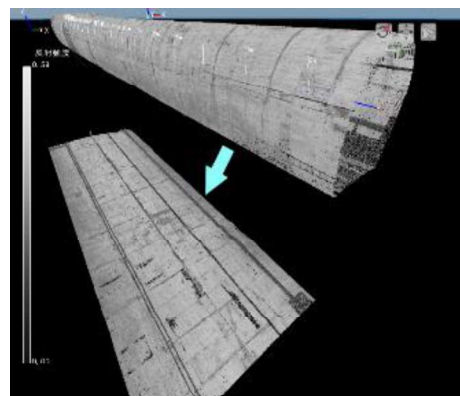


- トンネル内面の点群データを自動で展開
- 天井や側壁の凹凸をカラーマップで表示
- 前回データとの比較により変状を検出
- 展開したデータを LAS ファイルや DWG ファイルで出力

読み可能な点群データの形式: .txt, .asc, .xyz, .e57, .fls, .fws, .lsp, .zfs, .zfpj, .d3, .ptx, .pts, .las, .laz, .dp  
 インポート可能な3Dモデルの形式: .stl, .igs, .iges, .stp, .step, .obj, .wrl, .vrz, .vrm, .enf, .enf\_\*, .drx, .drx\_\*

GI Sプラットフォームのクラウドサービス InfraDoctor® WEB をご契約の方は ADVANCE もご利用いただけます

※ 自動フィルタリングや自動の位置合わせ機能など、より高度な処理を必要とする場合は InfiPoints® の導入をご検討ください ※  
 【問合せ先】  
 首都高技術株式会社 インフラデジタル部 インフラドクター課 info@infradoctor.jp https://www.infradoctor.jp/



トンネルの点群データを平面状に展開



覆工コンクリート表面の凹凸形状を色分け表示し、カラーマップとして可視化