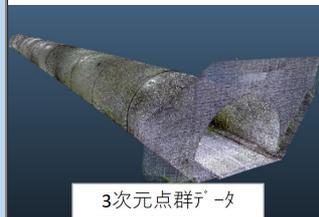


1. 基本事項

技術番号	TN010028-V0023		
技術名	トンネル覆工展開図自動作成システム		
技術バージョン	1	作成:	2023年 3月
開発者	株式会社 伸浩技建		
連絡先等	TEL: 088-855-7029	E-mail: n.komatsu@shinkougiken.jp	調査部
現有台数・基地	1	基地	高知県高知市南ノ丸町15番地2

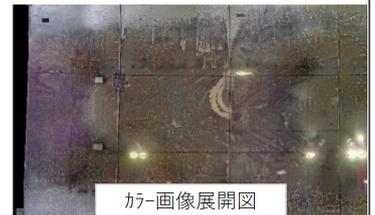
本技術は、3次元レーザースキャナで点検後の覆工コンクリートを撮影し、カラー画像データ等を取得。このデータから変状展開図を自動作成し、現場でのスケッチ作業を代替できるシステムである。
 2車線道路トンネルの場合、2スパン(約20m)を約6~8分で計測し、3次元の点群データと8000万画素のカラー画像が取得可能である。



3次元点群データ



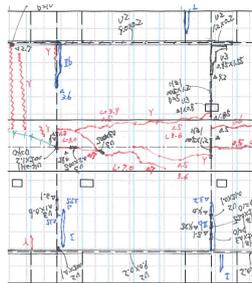
3次元カラー画像データ



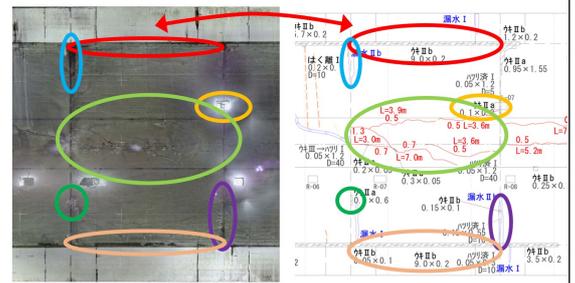
カラー画像展開図



(従来) スケッチ状況

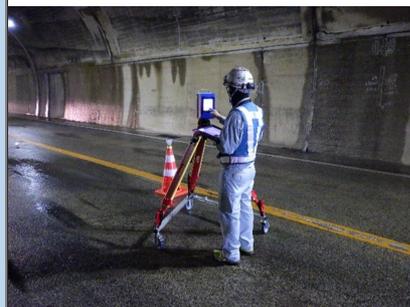


(従来) 手書きスケッチ



カラー画像展開図と自動作成展開図の精度対比

技術概要



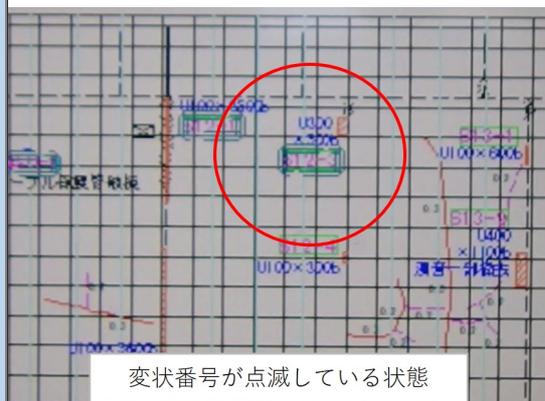
撮影状況



撮影状況



3次元レーザースキャナセッティング状況



変状番号が点滅している状態



点検完了後、タップすると点滅が消える

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 内装板 吸音板 天井板 坑門
	損傷の種類	ひび割れ うき はく離 変形 欠損
	物理原理	技術が採用する 画像

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>本技術に使用する計測機器は、移動を容易に行うため、台車に三脚をセットした状態で使用する。三脚に本計測機器を固定した状態で徒歩で移動させ、計測位置ではキャスターをロックした状態でレベルを取って計測を行う、軽量かつコンパクトな構成である。</p> <p>操作は本体および、タブレット端末で行い、タブレットでは、20m程度の遠隔での操作も可能である。</p> <p>計測結果は本体内部ストレージおよび、本体内蔵のWi-Fiでタブレットに記録され、即時に合成処理・カラー化、ノイズ処理が可能である。</p>   	
移動装置	移動原理	オペレーターが計測装置を持ち運び、装置を設置後、情報取得範囲を重複させるように移動して計測するもの	
	外形寸法・重量	移動装置なし(人力)	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	移動装置なし(人力)	
	動力	移動装置なし(人力)	
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	移動装置なし(人力)	
計測装置	設置方法	計測機器は、台車にセットした三脚上に固定し、トンネル坑内に設置する	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	外形寸法(幅1100mm×奥行き1100mm×高さ1560~2200mm)、総重量 約23kg ・計測機器本体：外形寸法(幅328mm×奥行き150mm×高さ258mm)、重量(7.5kg(バッテリー含む)) ・三脚：最大外形寸法(幅1100mm×奥行き1100mm×高さ1100~1730mm)、重量(8.6kg) ・台車：最大外形寸法(幅1100mm×奥行き1100mm×高さ200mm)、重量(6.8kg)	
	センシングデバイス	カメラ	2軸回転型レーザースキャナ(赤外線レーザー) ・照射時の角度情報と反射光の距離計測情報で3次元点群データを構成する ・HDRカメラにより高解像度のカラー情報を取得し、3次元点群データにRGB情報を付加しリアルなカラー化点群を構成する
		パン・チルト機構	・パン:360° ・チルト:320°
	角度記録・制御機構 機能	・垂直及び水平回転軸をモーターとロータリーエンコーダーによる回転駆動 2軸 ・傾斜補正:解像度: 0.001°計測精度: +/- 0.5° 精度: < 0.004° ダイナミック補正 on/off 選択可能	
	測位機構	GPS、コンパス、ジャイロスコープ、気圧計、加速度センサ	
	耐久性	IP54(埃および水撥ねからの保護)	
動力	計測機器取付けバッテリー(リチウムイオン二次電池・交換可)		
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	約5時間(外気温:-10~45℃、湿度:結露がないこと)		
データ収集・通信装置	設置方法	計測機器に内蔵	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	(計測機器に含む)	
	データ収集・記録機能	内部128GB SATA、128GBのSDカード	
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	Wi-Fi(802.11 a/n/g standaed、デュアルバンド、最大伝送速度 240Mbits/s)、Ethernet	
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	IEEE 802.11a/n/g 規格	
	動力	計測機器取付けバッテリー(リチウムイオン二次電池・交換可)	
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	最大伝送速度 240Mbits/s	

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	トンネル幅0.6m×高さ0.5m 覆工との計測装置との距離が0.3mまで計測可能	狭小なトンネルほど、計測回数が増加する
適用可能なトンネルの最大寸法	計測機器と覆工との距離が100m以上となる場合は不可	・最大寸法を越える場合は、点群密度が低下する ・坑内粉塵等によるノイズの影響が大きくなる

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	撮影速度	性能確認シートの有無 ※	無	
		【性能値】 公表無し 【標準試験値】 ・トンネル延長20mあたり約6分		標準的な道路トンネル(幅員10m、高さ7m程度)の場合
	計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	
		【性能値】 公表無し 【標準試験値】 標準試験方法(2022) 実施年 2022年 白、黄、ピンクの幅5mm、10mmのマーキングを用いた結果、全て確認可能		—
	長さ計測精度(長さの相対誤差)	性能確認シートの有無 ※	有	
		【性能値】 1mm+10ppm/m 【標準試験値】 標準試験方法(2019) 実施年 2022年 ・マーカージ間距離を計測した場合の計測誤差 延長方向:0.09%(4側線の平均) 周方向:0.14%(4側線の平均)		—
	位置精度	性能確認シートの有無 ※	有	
		【性能値】 公表無し 【標準試験値】 標準試験方法(2019) 実施年 2022年 延長方向:0.002m(8側線の平均) 周方向:0.003m(8側線の平均)		—
	色識別性能	性能確認シートの有無 ※	有	
		【性能値】 ・フルカラー識別可能 【標準試験値】 ・フルカラー識別可能		—

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 画像処理・調書作成支援

変状検出手順		<p>①トンネル覆工面の点検を行い、ひび割れ、漏水、うき等の変状箇所にチョークによるマーキングを行う。</p> <p>②本計測器で点検後の覆工を撮影し、点群データ(RGB/反射強度付き)および画像データ(8000万画素)を取得する。</p> <p>③展開画像作成ソフトウェアにて、撮影した点群データを「展開画像化」し、点群の隙間などがある場合には自動補完を行う。</p> <p>④展開画像作成ソフトウェアにて「チョークによるマーキングの自動検出・CAD描画機能」を使用し、展開画像のCADデータ化を行う。</p> <p>⑤次回点検時、当システムで作成した変状展開図を活用し、タブレットPCに表示したCADデータで変状箇所を点滅させる。</p>	
ソフトウェア 情報	ソフトウェア名	3次元データ 展開画像化/チョークによるマーキング自動CAD化 ソフトウェア	
	検出可能な変状	チョークによるマーキングを行った変状	
	損傷検出の原理・アルゴリズム	ひびわれ	<ul style="list-style-type: none"> ・点検時にチョークによるマーキングされたひび割れを、展開画像からRGBやIntensity(反射強度)をもとに自動検出 ・検出された点をもとにCAD線に自動変換
		ひびわれ幅および長さの計測方法	<ul style="list-style-type: none"> ・幅:チョークによるマーキングを読み取り図面化する(手動) ・長さ:AutoCADソフトウェアにて、自動描画されたCADデータを計測する(手動)
		ひびわれ以外	<ul style="list-style-type: none"> 【うき・はく離、漏水、豆板、変形、欠損 等】 展開画像のチョークによるマーキングにより、変状箇所を目視で検出(手動)
		画像処理の精度(学習結果に対する性能評価)	チョークによるマーキング抽出の設定値により変動(検証中)
		変状の描画方法	チョークによるマーキング・ポリライン/線分
	取り扱い可能な画像データ	ファイル形式	OBJ/PLY/STL/E57/LAS/ZFS/FLS/RSP/CL3/XYZ
		ファイル容量	約5GB(点群データ・テクスチャモデル)
		カラー/白黒画像	カラー(RGB)/グレースケール/ミラー(凹凸陰影表示)/距離での段階色彩
画素分解能		1mm以上	
その他留意事項		<ul style="list-style-type: none"> ・チョークの色を統一する ・3次元レーザースキャナの撮影明度を一定にする ・変状の検出精度は検証中 	
出力ファイル形式	DXF/PTC/TIFF/JPG/BMP/PNG/TFW		
調書作成支援の手順		<p>①展開画像作成ソフトウェアにて「チョークによるマーキングの自動検出・CAD描画機能」を使用し、展開画像のCADデータ化を行う。</p> <p>②展開画像と自動抽出されたCADデータを、AutoCADソフトウェアに出力する。</p> <p>③AutoCADソフトウェアにて、ひび割れの幅や長さ、ひび割れ以外の変状のマークを追記する。</p> <p>④点検調書の様式に従い、覆工スパン番号等を入力する。</p>	
調書作成支援の適用条件		—	
調書作成支援に活用する 機器・ソフトウェア名		<p>《市販ソフトウェア》</p> <ul style="list-style-type: none"> ・LupoScan Pro 2022.1 ・AutoCAD 2014~2021 ・Pythagoras SV. version <p>《クラウドサービス》</p> <ul style="list-style-type: none"> ・提供無し 	

6. 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	安全面への配慮	なし	レーザー製品の安全性クラス:クラス1 本計測器は、ISO DIN EN 60825-1およびIEC 60825-1:「レーザー機器の安全性(Sicherheit von Laser-Einrichtungen)」に従い、クラス1に区分されたレーザー製品である。 このレーザーは、不可視光線なので、道路利用者(走行車両、歩行者、自転車等)の妨げにはならない。
	無線等使用における混線等対策	—	—
	交通規制の要否	要	点検作業(道路交通規制を伴う)と並行して計測可能
	交通規制の範囲	片側交互通行規制 全面通行止め	—
	現地への運搬方法	車両に搭載して運搬	—
	トンネル延長の制約	なし	【参考】バッテリー駆動時間2.5時間(1個あたり)
	車線数の制約	なし	適用可能なトンネルの最大寸法(計測機器から覆工の離隔が100m)を越えないこと
	断面形状の制約	・トンネル内空幅0.6m未満または内空高さ0.5m未満は計測不可 ・本計測装置から覆工面までの隔離が100m以上となる断面形状の箇所では、計測不可	—
その他	・苔、煤、汚れ等がある場合でも計測可能 ・計測範囲内に車両等の障害物がある場合は、計測範囲外に移動が必要	汚れ等を遊離石灰として誤検出する可能性がある	

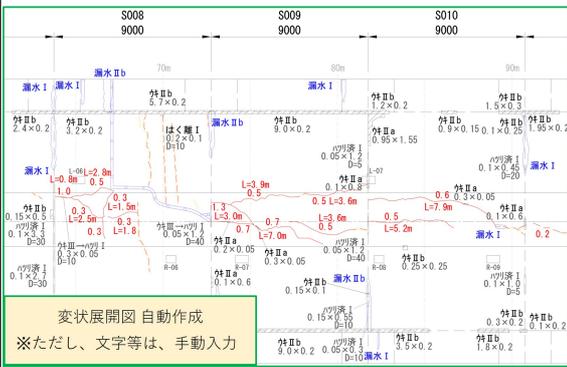
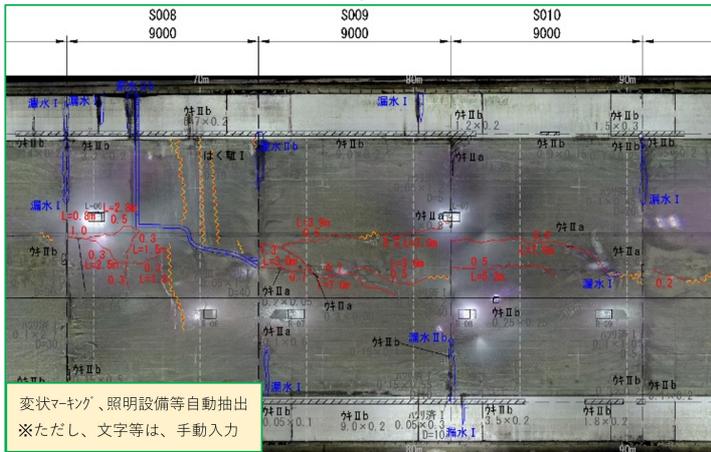
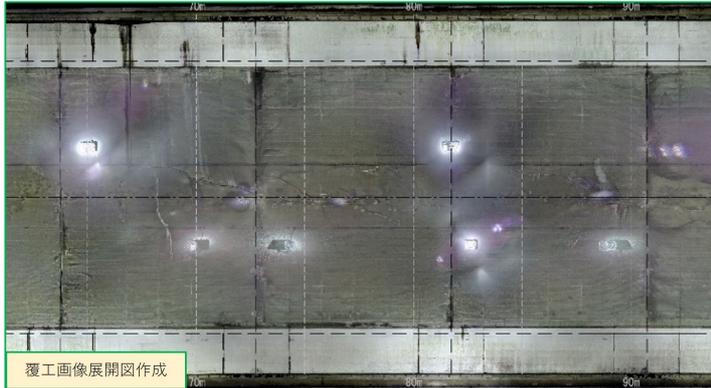
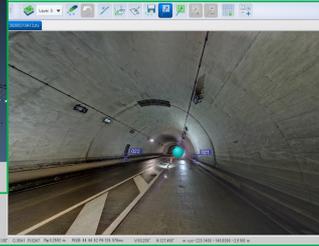
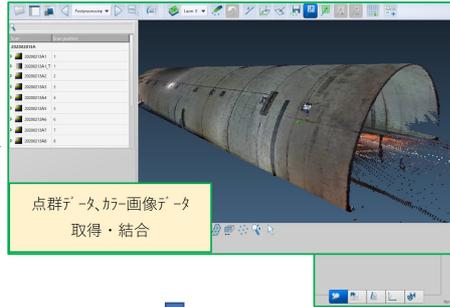
6. 留意事項(その2)

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	現場計測時の機器設置および操作が行えること	事前に設置および操作手順の習得が必要
必要構成人員数	・3次元レーザースキャナ計測オペレーター: 1名 ・計測補助員: 1名	最小遂行人数: 1名
操作に必要な資格等の有無、フライト時間	なし	—
操作場所	・トンネル(坑口、坑内) ・カルバート ・シェッド	・作業ヤードの設置不要 ・交通規制中の範囲内のみでの計測
計測作業日数	作業日数 現場計測作業日数: 2日 (解析作業日数: 2日 変状が多いトンネルは別途必要)	【トンネル条件】 ・トンネル延長: 1,000m ・点検対象面積: 20,000㎡ ・施工条件: 一般道の道路トンネル 【計測条件】 ・点検作業に随行し、上り線・下り線ともに点検が完了した状態で計測を行う ・変状箇所はチョークによるマーキングを行うこと
点検費用	【現地計測(外業)】220,000円 【解析等(内業)】150,000円	・現地計測、画像解析費、変状展開図作成の直接人件費のみの金額 ・解析ソフトウェア使用料、点検支援ソフトウェア使用料、機械損料、旅費交通費は含まない 【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 ・スケッチ作業の代替により、人為的ミスの懸念がなくなる。ペーパーレス化が可能になる。
保険の有無、保障範囲、費用	加入済み(保証範囲: 機器損壊)	—
時間帯(夜間作業の可否)	なし(昼夜不問で作業可能)	—
計測時の走行速度条件	—	—
渋滞時の計測可否	計測可能	通行車線を走行する車両が写り、計測精度は低下する
設備等による死角条件	照明、ジェットファン等の附属物の背面は計測不可	—
車両から覆工表面までの距離条件	—	—
トンネル内照明の消灯の必要性	消灯の必要なし	—
可搬性(寸法・重量)	装置寸法(計測および坑内移動可能な状態) ・最大外形寸法(長さ1100mm×幅1100mm×高さ2200mm) ・最大重量(約23kg)	—
自動制御の有無	—	—
利用形態: リース等の入手性	自社機材	—
関係機関への手続きの必要性	道路交通規制を要する場合は、トンネル管理者及び警察との協議が必要	—
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	・解析ソフト: 自社開発ソフトウェア ・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	あり	—
センシングデバイスの点検	・計測直前に、レーザー出射窓およびカメラ表面ガラスの汚れやくもりの有無を確認 ・年1回の校正が望ましい	—
その他	・気象条件: なし ・作業条件: なし ・作業条件: 計測装置本体が結露しないこと、計測対象が濡れていないこと	降雨等でも作業可能 (坑口付近では、吹き込む雨が写りこみ、ノイズになることがある)

作業条件・運用条件

7. 図面

計測から調書作成までの流れ



定期点検記録様式 トンネル全体変状展開図【様式D-2-1】

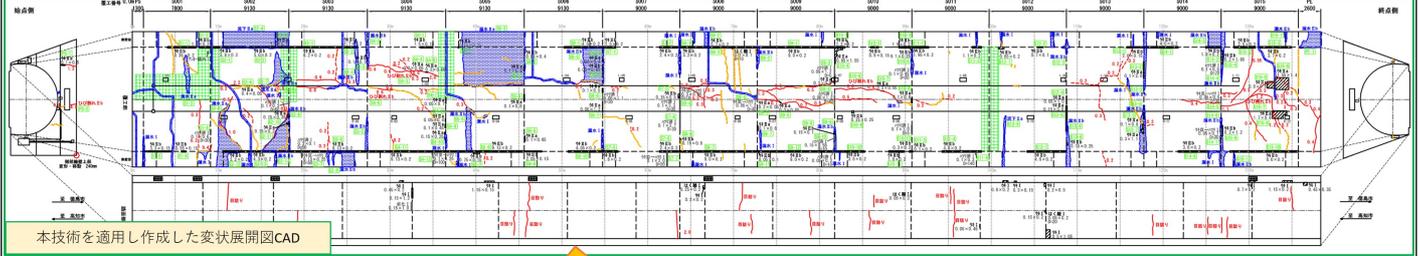
フリガナ	路線名	定期点検番号	定期点検年月
〇〇〇〇トンネル	〇〇〇〇	〇〇〇〇	〇〇〇〇
名	番	番	番
〇〇〇〇トンネル	〇〇〇〇	〇〇〇〇	〇〇〇〇

トンネル全体変状展開図

成果品に貼付

注1: 本図は、点検員が現場で撮影すること。
 注2: 施工入止等は撮影目的外(撮影目的は上層アーチ)
 撮影目的外は撮影しないこと。
 注3: 撮影目的外は撮影目的外(撮影目的は上層アーチ)
 撮影目的外は撮影しないこと。
 注4: 1階に近づく場合は、撮影目的外として撮影すること。

点検支援ソフトウェア



本技術を適用し作成した変状展開図CAD



次回点検時、タブレットPCの点検支援ソフトウェアでCAD表示

タブレットPCスペック

【仕様】

OS : Windows 11 Home
 CPU : 第 11 世代 Intel(R) Core(TM) i5 - 1135G7
 メインメモリ : 8GB
 グラフィック : Intel(R) Iris(R) Xe グラフィックス
 ストレージ容量 : 128GB
 ディスプレイサイズ : 12.3 インチ PixelSense(TM) Display
 ディスプレイ解像度 : 2736×1824(267PPI)
 バッテリー持続時間 : 最大約15時間(※1)急速充電対応 (約1時間で80%)
 無線LAN : Wi-Fi 6 802.11a/b/g/n/ac/ax
 Bluetooth : Bluetooth 5.0

外部接続端子

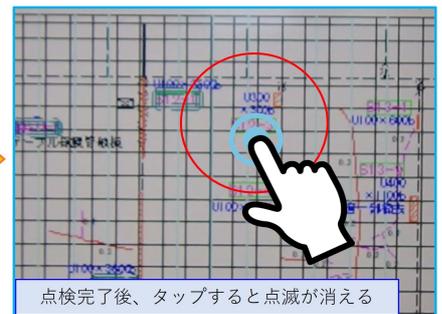
- ・USB - C(R)
- ・フルサイズ USB - A
- ・microSDXC(TM) カード スロット
- ・3.5mm ヘッドセット ジャック
- ・SurfaceConnect(TM) (充電、Surface ドック用端子)
- ・Surface Dial のオフスクリーン操作に対応(※2)
- 生体認証 : Windows Hello (顔認証)
- 前面カメラ画素数 : 5メガピクセル, 1080p対応
- オーディオ
 - ・Dual far-field スタジオマイク内蔵
 - ・Dolby Atmos(R) 搭載 1.6W ステレオスピーカー(※3)
- 製品サイズ : 292×201×8.5mm
- 製品重量 : 770g



点検状況



変状番号が点滅している状態



点検完了後、タップすると点滅が消える