

1. 基本事項

技術番号	TN010033-V0024		
技術名	隧道SfM/MVS技術 (Structure from Motion/Multi View Stereo)		
技術バージョン	Ver. 1.0	作成:	2024年3月
開発者	株式会社メンテナンス・ネットワーク		
連絡先等	TEL: 011-816-7888	E-mail: h.sugamata@mtnet.co.jp	技術部
現有台数・基地	1台	基地	北海道札幌市白石区東札幌2条5丁目1-25

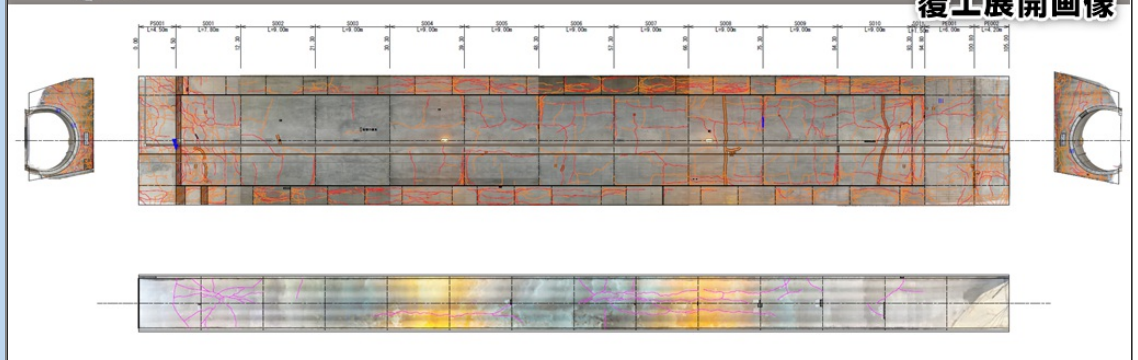
本技術は車両走行型の画像計測技術である。交通規制下で、民生用デジタルカメラ等機材を車両に架装してトンネル覆工面を5km/h程度の低速走行しながら静止画撮影する。撮影した画像は画像処理ソフトウェアを用いて、写真測量の原理で高画質の3Dモデルを作成して、覆工展開画像を抽出するシステムである。
 そこから得られた覆工展開画像から、劣化損傷自動検出技術C2finder (点検支援技術性能カタログ:BR010047-V0022)を活用することにより、覆工面に生じた変状等の自動検出を行うことも可能である。



撮影機材の車載



トンネル3Dメッシュモデル



覆工展開画像

技術概要

- 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
- 照明
- ケーブル類

技術区分	対象部位	警報表示板 標識 ジェットファン その他附属物 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 坑門
	損傷の種類	本体工における圧ざ ひび割れ はく離 変形 移動 沈下 鋼材腐食 漏水等による変状、ならびに附属物本体・取付部材等の破断 脱落 腐食 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		<ul style="list-style-type: none"> 移動装置: トヨタ製 ハイエース 計測装置: SONY製 RX0 II (DSC-RX0M2)、LED投光器 (200~500W相当) データ収集・通信装置: Windows搭載PC 	
移動装置	移動原理	<p>【車両型】</p> <ul style="list-style-type: none"> 公道上や車が走行できる空間では、内燃機関車両のルーフ上に計測装置を搭載して移動する 歩道や排水路トンネルなどの狭隘空間では、手押し台車に計測装置を搭載して移動可能 	
	外形寸法・重量	<p>【車両】</p> <ul style="list-style-type: none"> 分離構造 (移動装置、計測時に組立て) 最大外形寸法 (長さ4690mm×幅1690mm×高さ1980mm) 最大重量 (3215kg) 	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> 最大外形寸法 (長さ5100mm×幅1690mm×高さ3800mm) 最大重量 (850kg) 	
	動力	<ul style="list-style-type: none"> 動力源: 内燃機関 燃料: 軽油 総排気量: 2.75L (最高出力: 111kW) 	
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	<ul style="list-style-type: none"> 内燃機関のため対象外 	
	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> 計測時に車両ルーフ上に組立てた単管パイプへ雲台を使ってカメラ、単クランプを使ってLED投光器を固定して、車内のWindows搭載PCに有線LAN接続して使用する 	
計測装置	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> 最大外形寸法 (長さ5100mm×幅1690mm×高さ3800mm) 最大重量 (850kg) 	
	センシングデバイス	カメラ	<ul style="list-style-type: none"> SONY製カメラ RX0 II (DSC-RX0M2) センサーサイズ (縦8.8mm×横13.2mm)、ピクセル数 (縦3200pixel×横4800pixel)、焦点距離 (24mm) GOODGOODS製LED投光器 LD-580T 本体サイズ (幅585mm×高さ513mm×奥行き72mm)、消費電力 (480W)、明るさ (76800Lumen)
		パン・チルト機構	<ul style="list-style-type: none"> 水平: 0°~360° 鉛直: -90°~180°
		角度記録・制御機構 機能	<ul style="list-style-type: none"> 水平および鉛直方向とも人力によりカメラ本体およびLED投光器を回転させる
	測位機構	—	
耐久性	<ul style="list-style-type: none"> 【カメラ】IP68相当 【LED投光器】IP66相当 		



	動力	【カメラ】【LED投光器】 ・動力源:内燃機関 ・燃料:無鉛レギュラーガソリン ・定格出力:1.6kVA
	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	・車両の後部座席テーブルに据置き
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	—
	データ収集・記録機能	・Windows搭載PCに内蔵するストレージに保存
	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	・Windows搭載PCに内蔵するバッテリーに依存
	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	車両搭載の場合 ・最小所要空間寸法 幅3000mm × 高さ4000mm程度 ・道路幅員3000mm×高さ4000mm 手押し台車の場合 ・最小所要空間寸法 幅1500mm X 高さ1500mm程度 ・道路幅員1500mm×高さ1500mm	・覆工面が結露等で濡れて照明光が乱反射しないこと ・変状が全く生じておらず、コンクリート表面に特徴点が見い出せない覆工面でないこと
適用可能なトンネルの最大寸法	・車両と覆工面との離隔距離が側方5m以上または上方5m以上となる場合は不可 ・トンネル断面が大きい場合は、車両をハイエースからトンネル点検車に替えることで対応可	・覆工面が結露等で濡れて照明光が乱反射しないこと ・変状が全く生じておらず、コンクリート表面に特徴点が見い出せない覆工面でないこと

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	撮影速度	性能確認シートの有無 ※	有	
		SONY製 RX0 II (DSC-RX0M2) ・5~10km/h		・路面が未舗装などで車体が揺れる場合は撮影速度5km/h未満で走行
	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】 ・標準試験方法(2019) ・実施年 2024年 ・最小ひび割れ幅0.3mm (0.3mmのひび割れを画像で確認できる) ・計測精度0.75mm (0.1~3mmのひび割れを対象とした確認精度) ・ひび割れ幅の最小単位:0.1mm ・ひび割れ長さの最小単位:1mm		【走行速度】 ・5km/h以下(検証時) 【照度】 ・4200lux(検証時) 【覆工面の状況】 ・乾燥状態(検証時) 【被写体との距離】 ・2.0mおよび3.0m(検証時)
	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】 ・未検証 【標準試験】 ・標準試験方法(2019) ・実施年 2024年 ・0.56%		【走行速度】 ・5km/h以下(検証時) 【照度】 ・4200lux(検証時) 【覆工面の状況】 ・乾燥状態(検証時) 【被写体との距離】 ・2.0mおよび3.0m(検証時) 【補助手段】 ・トンネル延長方向に距離マーカーまたはスパン長が必要 ・距離マーカー6.0mを設置(検証時)
位置精度	性能確認シートの有無 ※	有		
	【性能値】 ・未検証 【標準試験】 ・標準試験方法(2019) ・実施年 2024年 ・延長方向:8mm(12側線の平均値) ・周方向:12mm(12側線の平均値)		【走行速度】 ・5km/h以下(検証時) 【照度】 ・4200lux(検証時) 【覆工面の状況】 ・乾燥状態(検証時) 【被写体との距離】 ・2.0mおよび3.0m(検証時) 【補助手段】 ・トンネル延長方向に距離マーカーまたはスパン長が必要 ・距離マーカー6.0mを設置(検証時)	
色識別性能	性能確認シートの有無 ※	有		
	【性能値】 ・未検証 【標準試験】 ・標準試験方法(2019) ・実施年 2024年 ・カラー画像:フルカラー識別可能		【走行速度】 ・5km/h以下(検証時) 【照度】 ・4200lux(検証時) 【覆工面の状況】 ・乾燥状態(検証時) 【被写体との距離】 ・2.0mおよび3.0m(検証時)	

※「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		①5台のカメラによりトンネル覆工面を往復撮影し、Windows搭載PCに画像を保存する。(手動) ②画像による3次元モデル作成ソフトiTwinCapture Modelerを使用して、3Dメッシュモデルを復元する。(自動) ③展開画像自動抽出ソフトウェアLupoScanを使用して、トンネル3Dメッシュモデルから2次元オルソ画像を抽出する。(自動) ④C2finderを使用して、撮影した画像からひび割れを自動検出する。(自動) ⑤生成された検出結果を必要なデータ形式でダウンロードする。(手動) ⑥ひび割れ以外の変状については、目視にて撮影画像を確認しながら手動で抽出する。(手動)		
ソフトウェア 情報	ソフトウェア名	【ソフトウェア1】 Bentley Systems社製「iTwinCapture Modeler」(市販ソフト) 【ソフトウェア2】 Lupos3D社製「LupoScan」(市販ソフト) 【ソフトウェア3】 テクノハイウェイ社製「C2finder ver.1.1」(市販ソフト)		
	検出可能な変状	・ひび割れ(幅および長さ)、遊離石灰、段差		
	損傷検出の原理・アルゴリズム	ひび割れ	・AI(ディープラーニング)によって自動検出 ・AIの教師データは、RC床版橋、RCT桁橋の下部構造(橋脚、橋台)、上部構造(主桁、床版)、山岳トンネル側壁・アーチ部におけるひび割れ、床版ひび割れに関する写真と、技術者によるひび割れ、床版ひび割れと判断した部位の情報とを用いて学習させている。 ・撮影条件・仕様等 1) カメラ: 車両ルーフ上または手押し車に搭載したデジタルカメラ 2) 撮影設定: プログラムオート、シャッター速度優先、マニュアル 3) ISO感度: ISO-1600以下 4) 画質: 最高(ファイン) 5) 画質フォーマット: JPEG 6) 撮影角度: 正対位置から±25° 7) 注意事項: デジタルズーム機能は使用しないこと。検出範囲内にボケ、ブレが発生していないこと。	
		ひび割れ幅および長さの計測方法	・ひび割れ境界を特定し、ひび割れ幅および長さを算出する。 ・メートル単位への変換は、1画素のサイズが対応する画像中の対象のサイズ(mm)を指定するか、対象とカメラ間の距離(mm)と画角(度)を指定することで自動計算する。画角は、撮影画像中のEXIF情報に35mm換算焦点距離があればそれを自動取得して計算することも可能。	
		ひび割れ以外	・遊離石灰の析出範囲をAI(ディープラーニング)によって自動検出 ・段差やその他変状は、人が画像を確認して、変状を人力でトレース ・AIの教師データは、RC床版橋、RCT桁橋の下部構造(橋脚、橋台)、上部構造(主桁、床版)、山岳トンネル側壁・アーチ部における遊離石灰に関する写真と、技術者による遊離石灰と判断した部位の情報とを用いて学習させている。	
		画像処理の精度(学習結果に対する性能評価)	・ひび割れの検出結果を、あらかじめ技術者が作成した正解データとの一致度について、Mean Average Precision法により計算した検出精度が95%であった。 ・性能評価には、当社が保有する画像データのうち、評価用に無作為に選出した画像を用いた。評価用画像は、機械学習のトレーニングデータとしては用いていない。	
		変状の描画方法	・ひび割れ: ポリライン、指定したひびわれ幅ごとに指定色で描画 ・遊離石灰: ポリゴン、指定色で塗りつぶし	
	取り扱い可能な画像データ	ファイル形式	・JPEG形式	
		ファイル容量	・特に制限はないが、使用する情報端末の性能による。	
		カラー／白黒画像	・カラー	
画素分解能		・ひび割れ幅0.1mmを検出するためには0.3mm/Pixel以下であることが必要。		
その他留意事項		・ひび割れにチョークが重なっている場合、ひび割れが埋まっている状態は検出が困難		
出力ファイル形式	・元画像と検出結果の重畳画像: JPG ・CAD用の形状および数値情報: DXF/SXF/SVG ・ひび割れ幅ごとの総長: CSV			
調書作成支援の手順		①適応条件に記載の条件により画像データを取得を行う。 ②Webブラウザ等を利用して、画像データを検出サービスにアップロードする。 ③生成された検出結果を必要なデータ形式でダウンロードする。 ④利用者が使用するCADソフト等を用い、ダウンロードしたファイルを読み込み、損傷図等に張り込み、整形する。		
調書作成支援の適用条件		・以下の条件の画像データが得られるように撮影すること。 1) 被写体に対して正対して撮影することが望ましいが、10%の精度低下が供用される場合は±25度以内とする。 2) 画像の解像度は0.6mm/pix以下となるよう撮影 3) 走行しながらの撮影となり、シャッター速度やISO感度にひび割れ検出精度が制約を受けるため、被写体の照度を500lux以上とする。		
調書作成支援に活用する 機器・ソフトウェア名		・現地での入力: Windows搭載PC ・点検調書データのダウンロード: OS Windows8.1以降、ブラウザ Chrome、Edge、Firefox ・Bentley Systems社製「iTwinCapture Modeler」 ・Lupos3D社製「LupoScan」 ・テクノハイウェイ社製「C2finder」		

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	<ul style="list-style-type: none"> ・対抗車線側の覆工面も撮影するため、撮影車両には交通誘導警備員が同乗して、一般車両を適宜誘導する ・撮影時に一般車両への視界を妨げないよう照明に配慮する 	
	無線等使用における混線等対策	・無線の使用なし	—
	交通規制の要否	・交通規制あり	—
	交通規制の範囲	・計測を実施するトンネル区間について片側交互通行規制	—
	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	・特に制限なし	—
	車線数の制約	<ul style="list-style-type: none"> ・特に制限なし ・1車線ごとの画像計測を要する 	—
	断面形状の制約	<ul style="list-style-type: none"> ・特に制限なし ・断面形状に変化があっても対応可能 	—
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・覆工面に著しい結露が生じている場合、適用不可 ・覆工面が一様に仕上げられ特徴点のない塗装面は適用不可 	・覆工面に結露がない乾燥状態での撮影が望ましい	

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	・撮影知識および技術を有する者	・シャッター速度、絞り、ISO感度を適切に設定できる知識が必要
必要構成人員数	・現場責任者(点検員)1名、撮影者1名(点検補助員)、運転手1名、交通誘導警備員3名 ・合計6名	・トンネル延長や交通量に応じて、撮影車両に交通誘導警備員が同乗する ・交通規制が不要の場合、必要構成人員数は3名
操作に必要な資格等の有無、フライト時間	・普通自動車運転免許 ・社内実技研修(撮影補助として20h以上従事)	—
操作場所	・撮影車両が駐車できるスペース	・撮影に必要なルーフ上架台やカメラおよび照明機材等を組立解体できる場所が必要
計測作業日数	【作業日数】 トンネル10本当たり、トンネル延長500m未満 ・画像計測: 5日 ・画像解析: 40日(ひびわれ解析含む)	・対象トンネル間の移動を除く
点検費用	・ 650千円(1トンネル当たり、延長500m、歩道なし2車線) ・4,900千円(10トンネル当たり、延長500m未満、歩道なし2車線)	・点検費用には以下の直接人件費が含まれています ・画像計測(外業) ・画像解析(内業) ・ひびわれ解析(内業) ・ただし、移動滞在費、その他原価、一般管理費は除く
保険の有無、保障範囲、費用	・施設賠償責任保険の加入 ・保険対象:点検等に関わる業務 ・対人:2億円/1名、4億円/1事故 対物:2億円/1事故	・業務外については自動車保険で対応
時間帯(夜間作業の可否)	・特に制限なし(夜間作業可)	—
計測時の走行速度条件	・5~10km/hの速度域を基本	—
渋滞時の計測可否	・渋滞時等の発進~停車を繰返す場合でも適用可 ・速度変化に制限を受けない	—
設備等による死角条件	・ジェットファン、照明等の附属物の背面は原則撮影不可	・車両型撮影では原則的に設備等の死角撮影は不可であるが、別途、手持ちカメラ等の撮影を行った場合はこの限りではない
車両から覆工表面までの距離条件	・5m以内	—
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)	・単管パイプによる架台組立方式のため、対象に合わせて架台寸法の変更可	—
自動制御の有無	・自動制御無し	—
利用形態:リース等の入手性	・使用する資機材はすべて民生用製品 ・機材貸出しは不可 ・機材販売していませんが、販売業者等の紹介可 ・業務委託による画像計測可	・ソフトウェアについては業務用製品(購入または従量課金制)
関係機関への手続きの必要性	・道路使用許可の申請(所管する警察署)	—
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	・画像による3次元モデル作成ソフト Bentley Systems社製「iTwinCapture Modeler」(市販ソフト) ・展開画像自動抽出ソフト Lupos3D社製「LupoScan」(市販ソフト) ・ひびわれ解析ソフト テクノハイウェイ社製「C2finder ver.1.1」(市販ソフト) ・費用:	—
不具合時のサポート体制の有無及び条件	・サポート体制有り	・年間保守契約が必要
センシングデバイスの点検	・必要なし	—
その他	・特許権:特になし ・気象条件:雨天時撮影可、濃霧およびホワイต์アウト時は撮影不可 ・作業条件:路面が未舗装でも路盤が入っていれば撮影可、覆工面に著しい結露が生じている場合は撮影不可	—

作業条件・運用条件

7. 図面

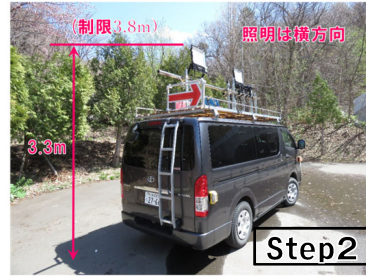
別紙資料1. ⑨ 検証方法・実施手順

3Dモデル及び展開画像の作成フロー

Step1. トンネル区間の交通規制開始



Step2. トンネル撮影車の撮影機材セッティング



Step3. トンネル覆工面の撮影 (片側通行規制)



Step4. 写真測量による3Dモデル化画像処理 [ソフトウェア名:iTwin Capture]

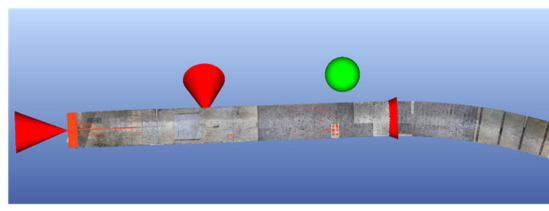
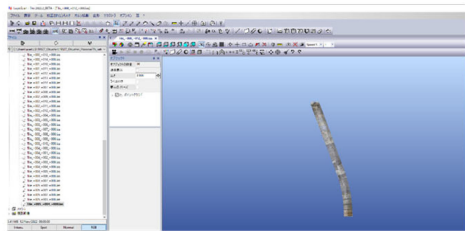


Step5. トンネル3Dモデルから展開画像作成 [ソフトウェア名:LupoScan]

① 点群,OBJデータからデータ読込 ※Context Captureにてモデル作成済みが前提

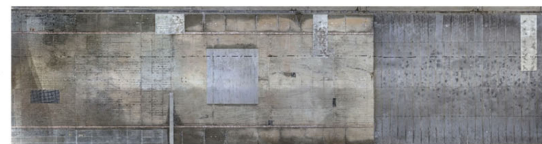
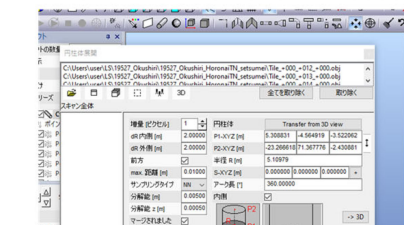
② 展開範囲を選択

Step5

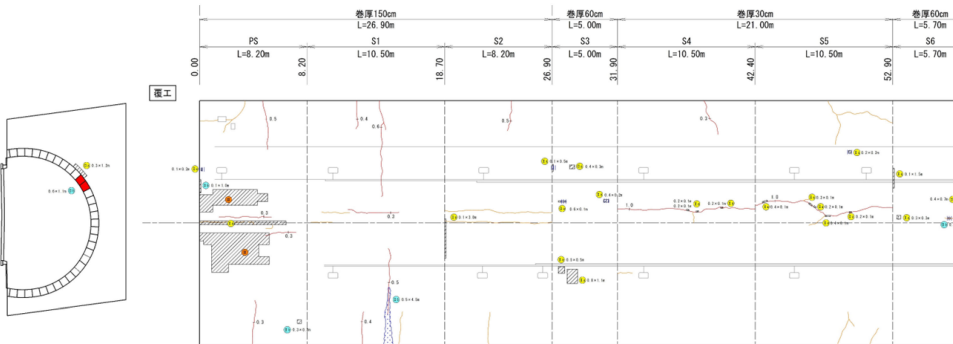


③ 展開して出力される画像の精度設定

④ 展開画像完成



撮影・計測状況および作成した3Dモデルと覆工展開画像



【技術紹介動画】 空中写真測量を使ったトンネルの3Dモデル化「隧道SfM/MVS技術」
(Structure from Motion/Multi View Stereo)

<https://youtu.be/SR5rWU6HkHQ?si=qtdpEoeKt5BPtd7o>

<https://www.mntnet.co.jp/business.html#3d>