

1. 基本事項

技術番号	TN010039-V0025		
技術名	デジタル画像とAIを用いたトンネル点検サポートシステム		
技術バージョン	Ver.1.2.0	作成:	2025年3月
開発者	株式会社 ニコン・トリムブル		
連絡先等	TEL: (03)3737-9411	E-mail: gs-info@nikon-trimble.co.jp	ジオスペーシャル事業部マーケティング部マーケティング課
現有台数・基地	無制限(ソフトウェア)	基地	—

本技術は、トンネル覆工等コンクリート構造物を撮影したデジタル画像を用い、AIと画像処理技術によりひび割れ、はく落・鉄筋露出、漏水・遊離石灰の変状を自動で検出するものである。
ひび割れの幅と長さ、はく落・鉄筋露出、漏水・遊離石灰の面積を自動で計測することができ、これらの変状情報を画像データ、DXFデータ、Excelデータとして出力できる技術である。

高精度な解析結果を得るためにはデジタル一眼カメラの使用を推奨するが、ひび割れが検出可能な画素分解能が得られ、画像にブレ・ボケが無いなどの条件を満たせば、ドローンや車載カメラで撮影されたデジタル画像を解析に使用することも可能。

画素分解能については、例えばひび割れ幅0.2[mm]を解析したい場合は、0.5[mm/Pixel]前後の画素分解能で撮影を行う。横方向4000画素のカメラを使用する場合は2[m]幅、横方向8000画素のカメラを使用する場合は4[m]幅を撮影されていることが目安となる。

また、高ISO感度で撮影すると、微細なひび割れが識別可能な画像として残らなくなってしまう可能性があるため、ブレ抑止のために高速シャッターを使用することと引き換えに、ISO感度を際限なく上げることは良くない。
検出対象とするひび割れ幅を想定し、使用予定機材に必要な画素分解能を得ることの他に、許容可能なISO感度の上限を事前検証で把握しておくことを推奨する(当社実験条件下では、Nikon Z7 を使用した場合、ISO感度の許容上限は1000とした)。



技術区分	対象部位	その他(コンクリート覆工面)
	損傷の種類	ひび割れ その他(はく落・鉄筋露出、漏水・遊離石灰)
	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		本技術は、コンクリート構造物を撮影したデジタル画像から、AIと画像処理技術を使用して、コンクリート表面に発生するひび割れ、漏水・遊離石灰、はく落・鉄筋露出の変状の自動検出と計測を行う解析支援ソフトウェアであるため、計測機器は持たない。	
移動装置	移動原理	—	
	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	カメラ	下記仕様を満たすデジタル一眼カメラを推奨 ・センサーサイズ:APS-C以上 ・焦点距離:24mm~300mm 例 ・ニコン製デジタルカメラ:Z 7 II (センサーサイズ:35.9×23.9mm、画素数:8256×5504ピクセル) ・ニコン製レンズ:NIKKOR Z 24-120mm f/4 S, NIKKOR Z 70-200mm f/2.8 VR S など ひび割れ解析に必要な画素分解能を確保できれば、ドローン搭載カメラなどの適用も可能。
		パン・チルト機構	—
		角度記録・制御機構 機能	—
		測位機構	—
	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

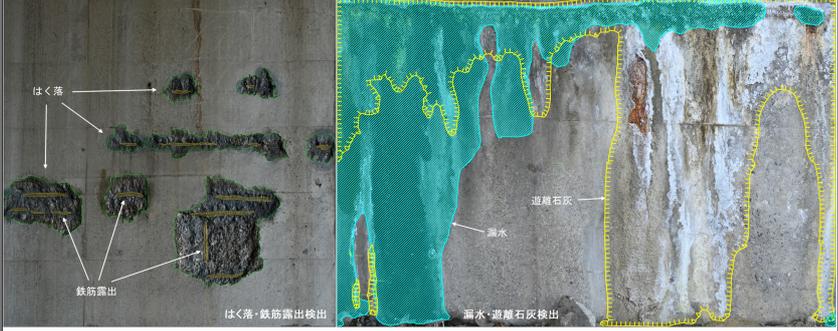
項目	性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件
適用可能なトンネルの最小寸法	—	—
適用可能なトンネルの最大寸法	—	—

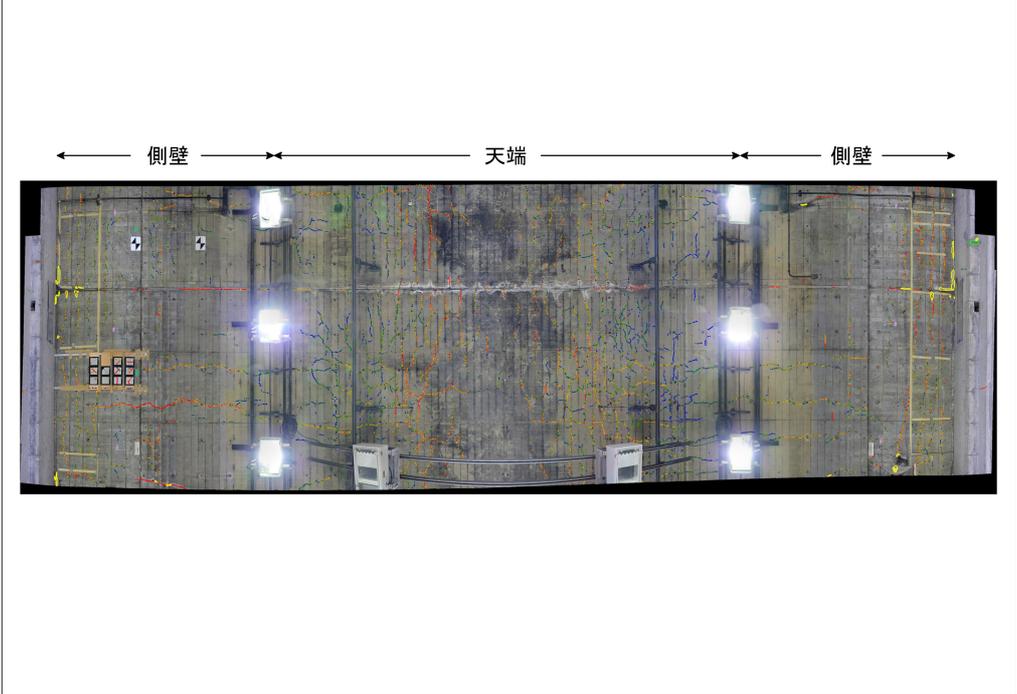
4. 計測性能

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 ※	-																								
		-		-																							
	計測精度	性能確認シートの有無 ※	有																								
		【性能値】 最小計測ひび割れ幅(画素分解能 0.25[mm/pixel]で撮影したとき): 0.05[mm] ひび割れ幅計測精度(ひび割れ幅 0.05~1.1[mm]のときの誤差の3σ):0.112[mm]		<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れ計測に必要な画素分解能で撮影された画像であること 例:0.2[mm]のひび割れを検出対象とするとき、0.5[mm/pixel]の画素分解能で撮影されていること ・撮影画像にブレ/ボケがないこと ・極力正対して撮影されていること(あおり角30度以内) ・白とび、黒つぶれによりひび割れの詳細形状が失われていないこと ・高ISO感度撮影によりひび割れの詳細形状が失われていないこと ・LED照明下で撮影されていること(Na灯下では検出性能がLEDに対して劣る可能性がある) 																							
		【標準試験値】 標準試験方法(2019) 実施年:2025年																									
		最小計測ひび割れ幅(画素分解能 0.5[mm/pixel]で撮影したとき): 0.1[mm] ひび割れ幅計測精度E(ひび割れ幅 0.1~1.0[mm]のとき):0.096[mm] ひび割れ幅計測精度E(ひび割れ幅 1.0~4.0[mm]のとき):0.174[mm]																									
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】 なし		<ul style="list-style-type: none"> ・計測面に対して極力正対して撮影されていること(あおり角30度以内) ・画像結合が行えるよう、画像間の重なり(ラップ率)が50%以上で撮影されていること 																								
	【標準試験値】 標準試験方法(2019) 実施年:2025年																										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>指標</th> <th>AB</th> <th>CD</th> <th>AC</th> <th>BD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>距離[m]</td> <td>真値 1.368</td> <td>1.379</td> <td>8.770</td> <td>8.751</td> </tr> <tr> <td></td> <td>計測値 1.365</td> <td>1.373</td> <td>8.743</td> <td>8.722</td> </tr> <tr> <td>誤差[m]</td> <td>0.003</td> <td>0.006</td> <td>0.027</td> <td>0.029</td> </tr> <tr> <td>誤差[%]</td> <td>0.22%</td> <td>0.44%</td> <td>0.31%</td> <td>0.33%</td> </tr> </tbody> </table>			指標	AB	CD	AC	BD	距離[m]	真値 1.368	1.379	8.770	8.751		計測値 1.365	1.373	8.743	8.722	誤差[m]	0.003	0.006	0.027	0.029	誤差[%]	0.22%	0.44%	0.31%
指標	AB	CD		AC	BD																						
距離[m]	真値 1.368	1.379	8.770	8.751																							
	計測値 1.365	1.373	8.743	8.722																							
誤差[m]	0.003	0.006	0.027	0.029																							
誤差[%]	0.22%	0.44%	0.31%	0.33%																							
進行方向平均誤差(AC, BD):0.32% 周方向平均誤差(AB, CD):0.33%																											
位置精度	性能確認シートの有無 ※	-																									
	-		-																								
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		<ul style="list-style-type: none"> ・カラー撮影が行われていること ・適正露出で撮影されていること 																								
【標準試験値】 標準試験方法(2019) 実施年:2025年																											
		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

<p>変状検出手順</p>		<p>①撮影画像をアプリケーションへ取り込み、画像を自動結合する ※外部アプリケーションで結合された、結合済みの1枚画像を取り込んで解析することも可能 ②結合画像及び変状トレース画像を貼付する為の図面データを読み込む ③結合画像に対してひび割れと漏水・遊離石灰、はく落・鉄筋露出の変状を自動検出し、手順②の画像に重ね描きする ④自動検出結果の手直し(結合、変形、追加、削除)、及び上記以外の変状を手動で追加する ⑤変状図、DXFデータ、変状の数量表の出力を行う</p>
	<p>ソフトウェア名</p>	<p>SightFusion for Desktop</p>
	<p>検出可能な変状</p>	<p>・ひび割れ ・漏水 ・遊離石灰 ・はく落 ・鉄筋露出</p>
<p>損傷検出の原理・アルゴリズム</p>	<p>ひびわれ</p>	<p>・AI(畳み込みニューラルネットワーク)による変状検出モデルを作成し、変状箇所を撮影したデジタル画像を入力すると、変状箇所に反応した解析結果画像が出力される ・変状解析は入力画像の1画素ごとに行われ、画素ごとの信頼値(所望の変状を検出したことの確からしさ)を基に最終的な変状形状を確定する ・AI教師データは、トンネル、ボックスカルバート、橋梁等のコンクリート構造物表面の変状に対して正解データを付与し、学習している</p>
	<p>ひびわれ幅および長さの計測方法</p>	<p>ひび割れ幅、長さ計測の基準は、UIによりユーザーが入力する画素分解能に依存する(解析画像上の既知の2点をクリックし、その長さを入力することで画素分解能[m/pixel]が計算される)。 【幅の計測】AIが検出したひび割れ箇所を基に、解析画像の輝度情報を参照してひび割れ幅を計算する 【長さの計測】ひび割れを構成する画素に、画素分解能を乗ずることで計算する</p>
	<p>ひびわれ以外</p>	<p>・AI(畳み込みニューラルネットワーク)による変状検出モデルを作成し、変状箇所を撮影したデジタル画像を入力すると、変状箇所に反応した解析結果画像が出力される ・変状解析は入力画像の1画素ごとに行われ、画素ごとの信頼値(所望の変状を検出したことの確からしさ)を基に最終的な変状形状を確定する ・AI教師データは、トンネル、ボックスカルバート、橋梁等のコンクリート構造物表面の変状に対して正解データを付与し、学習している</p>
	<p>画像処理の精度(学習結果に対する性能評価)</p>	<p>【ひび割れ】再現率92%、適合率91%、ダイスコア91% 【はく落】 再現率85%、適合率84%、ダイスコア85% 【鉄筋露出】再現率85%、適合率85%、ダイスコア85% 【漏水】 再現率96%、適合率92%、ダイスコア94% 【遊離石灰】再現率94%、適合率93%、ダイスコア93% 再現率=正しく検出した変状の個数/真の変状の個数 適合率=正しく検出した変状の個数/検出した変状の個数 ダイスコア=再現率と適合率の調和平均 何れも、学習に使用していない画像を使い、当社が作成した正解データに基づき評価した結果</p>
	<p>変状の描画方法</p>	<p>【ひび割れ】ポリライン 【ひび割れ以外】ポリゴン </p>
<p>ソフトウェア情報</p>	<p>ファイル形式</p>	<p>【画像結合をアプリケーション内で行って解析する場合】 JPG(画像結合時に参照するため、Exif情報が残っていること) 【外部アプリケーションで結合した画像を解析する場合】 JPG、PNG、TIFF(TIFFはマルチページTIFFや、ラージTIFFなどの拡張フォーマットは除く)</p>
	<p>ファイル容量</p>	<p>結合済み1枚画像を解析する場合、10GPixel以下</p>
	<p>カラー/白黒画像</p>	<p>カラー</p>
	<p>取り扱い可能な画像データ</p>	<p>ひび割れ幅0.2[mm]を解析したい場合、0.5[mm/Pixel]で撮影が行われていること。 (高ISO感度の場合、画素分解能が確保されていても微細なひび割れ形状が消失する可能性があるため、予め使用機材の特性を調べておくことを推奨)</p>

		<p>その他留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れにチョークが重なっている場合、ひび割れの検出性能、幅計測の精度が劣化する可能性がある ・入力画像を人が見た時に、変状の識別が難しいもの(汚れ、ブレ、ボケ、低解像度画像)は検出精度が劣化する可能性がある ・撮影した画像間に重なり領域が不足する場合、画像結合が行えない可能性がある ・トンネル内照明がNa灯(3000K以下)である場合、LED灯に比べて変状検出性能が劣る可能性がある ・AI解析にNVIDIA社製GPUボードが必要
	<p>出力ファイル形式</p>	<p>【変状図】JPG、PNG 【解析画像】JPG、PNG 【CAD】DXF 【数量表】xlsx</p> <div style="text-align: center;">  </div>
<p>調書作成支援の手順</p>	<p>・適用可能な画像および撮影条件は、上記『ソフトウェア情報』の『変状検出の原理・アルゴリズム』を参照 ・アプリケーションのライセンス認証のために、インターネット接続が必要</p>	
<p>調書作成支援の適用条件</p>	<p>・適用可能な画像および撮影条件は、上記『ソフトウェア情報』の『変状検出の原理・アルゴリズム』を参照</p>	
<p>調書作成支援に活用する 機器・ソフトウェア名</p>	<p>・SightFusion for Desktop Ver1.2.0 ・Windows10 / 11 (Corei7、メモリ32GB以上を推奨) ・NVIDIA製GPUボード (RTX2070, 3070, 4070 相当以上、メモリ8GB以上が必要)、CUDA 11.3</p>	

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	—	—
	無線等使用における混線等対策	—	—
	交通規制の要否	—	—
	交通規制の範囲	—	—
	現地への運搬方法	—	—
	トンネル延長の制約	—	・トンネル内壁を撮影する場合、撮影枚数が相当数になることが予想され、解析に長く時間を要したりメモリ不足に起因してアプリケーションが応答しなくなることが懸念されるため、撮影枚数は1000枚程度を上限にプロジェクトを分けて解析することを推奨する ・トンネルがカーブしている場合、適切な画像結合が実行できない可能性があるため、直線と見なせる短いスパンごとに区切って解析を行うか、外部アプリケーションにより生成されたオルソ画像を取り込んで解析することを推奨する
	車線数の制約	—	—
	断面形状の制約	—	・一様な円筒(トンネル断面の中心から、トンネル壁面までの距離が一定)であること 楕円形状や、部分的に平面であるなど、曲率が異なる複数の面で内壁が構成されている場合、適切な結合画像が得られない可能性がある
その他	—	・トンネル内照明がNa灯(3000K以下)である場合、LED灯に比べて損傷の検出性能が劣る可能性がある	

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)
作業条件・運用条件	調査技術者の技量	—	・所望の画素分解能で、ブレなくボケなく適正露出で、必要なラップ率を保持しながら撮影を行うために、デジタル一眼カメラを扱える技量が必要 (入力画像次第で解析結果が変わる)
	必要構成人員数	—	—
	操作に必要な資格等の有無、フライト時間	—	—
	操作場所	—	—
	計測作業日数	—	—
	点検費用	—	—
	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	—	—
	設備等による死角条件	—	—
	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	—	—
	可搬性(寸法・重量)	—	—
	自動制御の有無	—	—
	利用形態:リース等の入手性	—	—
	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	【解析ソフトウェア】SightFusion for Desktop Ver.1.2.0 【費用】ソフトウェア サブスクリプションライセンス費用(税別): 1か月:150,000円 3か月:390,000円 6か月:540,000円 12か月:960,000円	—
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	当社営業時間内、およびサブスクリプション契約期間内での問い合わせ対応とサポート	—
センシングデバイスの点検	—	—	
その他	【気象条件】トンネル入り口付近では、カメラとトンネル壁面との間に雨や雪が写り込まないこと(雨雪がトンネル壁面の結像を不明瞭にしてしまうため) 【作業条件】なし	—	

7. 図面