

# 性能カタログ

## ■画像計測技術（トンネル）

1. 基本事項

|         |  |   |                                     |
|---------|--|---|-------------------------------------|
| 技術番号    | TN010001-V0121   |   |                                     |
| 技術名     | 画像解析を用いたコンクリート構造物のひび割れ定量評価技術   |   |                                     |
| 技術バージョン | Ver.01   | 作成: 2021年10月                                  |                                     |
| 開発者     | 大成建設株式会社   |   |                                     |
| 連絡先等    | TEL: 045-814-7228  | E-mail: kenichi.horiguchi@sakura.taisei.co.jp | 大成建設(株)技術センター<br>堀口 賢一              |
| 現有台数・基地 |  | 基地  | 大成建設(株)技術センター<br>神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1 |
| 技術概要    | <p>本技術は、コンクリートのひび割れをデジタル画像から画像解析により抽出し、定量評価する技術であり、画像解析にウェーブレット変換を用いることを特徴とする。また、ひび割れを抽出して、定量的に評価するためには、いくつかの処理プロセスを経る必要があるが、本技術ではこれらを手順通りに実施できるようにひとつのプログラムソフトに集約してシステム化している。これにより、コンクリートのひび割れ図(CAD図)を半自動で描画できる。また、ひび割れ幅ごとのひび割れ長さのヒストグラムを自動で描画し、ひび割れ総延長、平均ひび割れ幅、およびひび割れ密度(単位面積あたりのひび割れ長さ)を自動で算出できる。</p> <p>本技術の主な処理プロセスは、以下①～④のとおりである。①コンクリートのひび割れの写ったデジタル画像を入力画像として、ひび割れ近傍を太線でトレースしてひび割れ候補領域を指定する。②この範囲の全ての画素に対してウェーブレット変換を行い、一つひとつの画素ごとに得られるウェーブレット係数に基づいてひび割れを判別する。③ひび割れと判別された画素を抽出して、ひび割れ図をCAD形式ファイルに出力する。④ウェーブレット係数から画素ごとにひび割れ幅を算定し、ひび割れ長さのヒストグラムを描画し、ひび割れ総延長、平均ひび割れ幅、およびひび割れ密度(単位面積あたりのひび割れ長さ)を算出する。</p> <p>ウェーブレット変換による画像解析は、ひび割れ位置の画素とその周囲の画素の輝度値を用いた処理の結果に基づいてひび割れを判別しており、単に輝度値の差のみに基づくひび割れの判別よりも、画像の明るさや色合いなどの影響を受けにくい。デジタル画像上のひび割れを検出するのに適している。また、ウェーブレット係数とひび割れ幅の相関が高いことから、カメラの種類や撮影方法によらず、検出したいひび割れの最小幅に対応した画質の画像を撮影できれば、目視が困難な箇所でも画像からひび割れの位置を特定し、幅、長さなどを算定できる。</p> |   |                                     |
| 技術区分    | 対象部位   | 覆工コンクリート                                      |                                     |
|         | 変状の種類  | コンクリートのひび割れ                                   |                                     |
|         | 物理原理   | 画像解析  |                                     |

2. 基本諸元

|                        |                                       |   |   |
|------------------------|---------------------------------------|---|---|
| 計測機器の構成                |                                       | 本技術は、①撮影条件設定、②分解能計算、③あおり補正、④画像合成、⑤ひび割れトレース、ならびに⑥ひび割れ画像解析の各プログラムから構成されており、これらをひとつのプログラムソフトに統合してシステム化したものである。 |   |
| 移動装置                   | 移動原理                                  | —   |   |
|                        | 外形寸法・重量                               | —   |   |
|                        | 搭載可能容量<br>(分離構造の場合)                   | —   |   |
|                        | 動力                                    | —   |   |
|                        | 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合)                | —   |   |
| 計測装置                   | 設置方法                                  | —   |   |
|                        | 外形寸法・重量<br>(分離構造の場合)                  | —   |   |
|                        | センシング<br>ステージ                         | カメラ   | — |
|                        |                                       | パン・チルト機構  | — |
|                        |                                       | 角度記録・制御機構<br>機能   | — |
|                        |                                       | 測位機構  | — |
|                        | 耐久性                                   | —   |   |
|                        | 動力                                    | —   |   |
| 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合) | —                                     |   |   |
| データ収集・<br>通信装置         | 設置方法                                  | —   |   |
|                        | 外形寸法・重量<br>(分離構造の場合)                  | —   |   |
|                        | データ収集・記録機能                            | —   |   |
|                        | 通信規格<br>(データを伝送し保存する場合)               | —   |   |
|                        | セキュリティ<br>(データを伝送し保存する場合)             | —   |   |
|                        | 動力<br>データ収集・通信可能時間<br>(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 ※             | <input type="checkbox"/> |                      |
|       |                     | —                        |                          |                      |
|       | 計測精度                | 性能確認シートの有無 ※             | <input type="checkbox"/> |                      |
|       |                     | —                        |                          |                      |
|       | 長さ計測精度<br>(長さの相対誤差) | 性能確認シートの有無 ※             | <input type="checkbox"/> |                      |
|       | —                   |                          |                          |                      |
| 位置精度  | 性能確認シートの有無 ※        | <input type="checkbox"/> |                          |                      |
|       | —                   |                          |                          |                      |
| 色識別性能 | 性能確認シートの有無 ※        | <input type="checkbox"/> |                          |                      |
|       | —                   |                          |                          |                      |

※「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>本技術では、コンクリートのひび割れをデジタル画像から抽出し、ひび割れの幅や長さを定量的に評価できる。ひび割れの抽出結果や定量的な評価結果は、以下に示すような処理プロセスごとの個別のプログラムソフトを実行することで得られるが、各プログラムソフトをひとつに集約して、ひび割れ画像解析システムとしている。</p> <p>①撮影条件設定(半自動): 目標とする空間分解能のデジタル画像を撮影するために、使用するカメラやレンズごとに撮影距離や焦点距離を設定する。</p> <p>②分解能計算(半自動): 撮影画像が、目標とした空間分解能で撮影されていることを確認する。</p> <p>③あおり補正(半自動): 画像内に矩形の隅角部を基準点に指定して、正対画像に補正する。</p> <p>④画像合成(半自動): 分割して撮影した画像の重なる領域を指定して、ひとつの画像に合成する。</p> <p>⑤ひび割れトレース(手動): ひび割れ直上をひび割れ幅より数倍太い線でトレースする。</p> <p>⑥ひび割れ画像解析(自動): トレース範囲内の全ての画素を対象に、ウェーブレット変換による画像解析を実行する。また、この結果に基づいて、ひび割れ図やひび割れの幅、長さなどを出力する。</p> <p>解析作業日数: 画像1枚あたり10分程度(ひび割れの量により変動)</p>  |         |   |                 |  |                |  |                           |   |                 |  |        |   |                           |  |         |             |              |  |        |           |        |      |          |     |       |   |         |  |          |                  |
| <p>ソフトウェア情報</p>           | <table border="1"> <tr> <td data-bbox="220 564 472 636">ソフトウェア名</td> <td data-bbox="472 564 1453 636">「コンクリートのひび割れ画像解析プログラム」(ティー・ドット・ウェーブ) (自社開発ソフト)<br/>必要スペック: Windows10, MS Excel2013以降<br/>クラウドサービス: 2021年度提供予定</td> </tr> <tr> <td data-bbox="220 636 472 685">検出可能な変状</td> <td data-bbox="472 636 1453 685">ひび割れ<br/>(幅、長さ、ひび割れ密度(単位面積あたりのひび割れ長さ)をひび割れ全画素に対して算定)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="220 685 472 1688">変状検出の原理・アルゴリズム</td> <td data-bbox="472 685 1453 1688"> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="472 685 724 1088">ひび割れ</td> <td data-bbox="724 685 1453 1088"> <ul style="list-style-type: none"> <li>・撮影画像に対してウェーブレット変換による画像解析を行い、画素ごとに得られるウェーブレット係数に基づいて、画素ごとにひび割れの判別を行う。</li> <li>・ウェーブレット変換による画像解析は、ひび割れ位置の画素とその周囲のコンクリート面の画素の輝度値を用いた解析処理の結果に基づいてひび割れを判別しており、単に輝度値の差のみに基づくひび割れの判別よりも、画像の明るさや色合いなどの影響を受けにくい。</li> <li>・撮影条件・仕様等                             <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 本画像解析技術を適用できる撮影画像の空間分解能の範囲: 0.2~0.8mm/pixel</li> <li>2) カメラ: デジタル一眼レフカメラ(推奨)、デジタルカメラ</li> <li>3) 撮影設定: 三脚固定の場合は絞り優先設定(F6.3以上を推奨)<br/>UAV撮影の場合は露出速度優先設定(1/500秒以下を推奨)</li> <li>4) ISO感度: 200以下</li> <li>5) ラップ率: 30%</li> <li>6) 画質: 最高(ファイン)</li> <li>7) 画質フォーマット: JPEG</li> <li>8) 注意事項: デジタルズーム機能は使用しないこと</li> </ol> </li> </ul> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1088 724 1384">ひび割れ幅および長さの計測方法</td> <td data-bbox="724 1088 1453 1384"> <p>【ひび割れ幅】<br/>ひび割れと判別された画素のウェーブレット係数は、ひび割れ幅の実測値と高い相関がある。これを用いて、本画像解析システムには、予めウェーブレット係数からひび割れ幅を算定する計算式が組み込まれているため、ひとつの画素ごとにひび割れ幅を算定できる。<br/>ただし、これにより算定できるひび割れ幅は、撮影画像の空間分解能の1/4倍から2倍の範囲となる。例えば、撮影画像の空間分解能が0.8mm/pixelの場合、算定できるひび割れ幅は0.2mmから1.6mmの範囲となる。</p> <p>【ひび割れ長さ】<br/>撮影画像の空間分解能と、ひび割れと判別された画素の数を乗じて算定される。ただし、隣り合う画素が斜め45°方向の部分については、空間分解能を<math>\sqrt{2}</math>倍した長さで算定される。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1384 724 1433">ひび割れ以外</td> <td data-bbox="724 1384 1453 1433">—</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1433 724 1688">画像処理の精度<br/>(学習結果に対する性能評価)</td> <td data-bbox="724 1433 1453 1688"> <p>実際のコンクリートのひび割れ幅の実測値と本手法による解析値を比較したところ、以下の通りであった。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・撮影画像の空間分解能が0.4mm/pixelの場合<br/>測定点数144点に対して、解析値が実測値の<math>\pm 0.2</math>mmの範囲にある割合は79%、<math>\pm 0.3</math>mmの範囲にある割合は93%</li> <li>・撮影画像の空間分解能が0.8mm/pixelの場合<br/>測定点数216点に対して、解析値が実測値の<math>\pm 0.2</math>mmの範囲にある割合は68%、<math>\pm 0.3</math>mmの範囲にある割合は81%</li> </ul> <p>なお、実測値は2人の点検員が同じ場所のひび割れ幅をクラックスケールで計測したものであり、解析値はカメラを3機種用いて同じ場所のひび割れ幅を本手法により推定したものであり、ここではその全てのデータに対して比較している。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1688 724 1738">変状の描画方法</td> <td data-bbox="724 1688 1453 1738">ひび割れ: ポリライン</td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="220 1688 472 2051">取り扱い可能な画像データ</td> <td data-bbox="472 1688 1453 2051"> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="472 1688 724 1738">ファイル形式</td> <td data-bbox="724 1688 1453 1738">JPEG, BMP</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1738 724 1787">ファイル容量</td> <td data-bbox="724 1738 1453 1787">制限なし</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1787 724 1836">カラー/白黒画像</td> <td data-bbox="724 1787 1453 1836">カラー</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1836 724 1966">画素分解能</td> <td data-bbox="724 1836 1453 1966"> <p>本画像解析技術を適用できる撮影画像の空間分解能の範囲は0.2~0.8mm/pixelである。この時に算定できるひび割れ幅は、撮影画像の空間分解能の1/4~2倍の範囲である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・例えば、空間分解能0.4mm/pixelの場合、検出可能なひび割れ幅は0.1~0.8mmとなる。</li> <li>・例えば、空間分解能0.8mm/pixelの場合、検出可能なひび割れ幅は0.2~1.6mmとなる。</li> </ul> <p>ただし、定量的に評価できるひび割れ幅の最小値は0.1mmである。すなわち、空間分解能0.2mm/pixelの画像であっても、この場合に評価できるひび割れ幅の最小値は、空間分解能の1/4である0.05mmではなく、0.1mmとなる。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1966 724 2051">その他留意事項</td> <td data-bbox="724 1966 1453 2051">ひび割れ直上がチョーキングされている場合は、ひび割れを正確に検出することが難しい。また、検出された場合でも、ひび割れ幅を正確に定量的に評価することも難しい。</td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="220 2051 472 2056">出力ファイル形式</td> <td data-bbox="472 2051 1453 2056">BMP/DXF/MS Excel</td> </tr> </table> | ソフトウェア名 | 「コンクリートのひび割れ画像解析プログラム」(ティー・ドット・ウェーブ) (自社開発ソフト)<br>必要スペック: Windows10, MS Excel2013以降<br>クラウドサービス: 2021年度提供予定   | 検出可能な変状         | ひび割れ<br>(幅、長さ、ひび割れ密度(単位面積あたりのひび割れ長さ)をひび割れ全画素に対して算定)  | 変状検出の原理・アルゴリズム | <table border="1"> <tr> <td data-bbox="472 685 724 1088">ひび割れ</td> <td data-bbox="724 685 1453 1088"> <ul style="list-style-type: none"> <li>・撮影画像に対してウェーブレット変換による画像解析を行い、画素ごとに得られるウェーブレット係数に基づいて、画素ごとにひび割れの判別を行う。</li> <li>・ウェーブレット変換による画像解析は、ひび割れ位置の画素とその周囲のコンクリート面の画素の輝度値を用いた解析処理の結果に基づいてひび割れを判別しており、単に輝度値の差のみに基づくひび割れの判別よりも、画像の明るさや色合いなどの影響を受けにくい。</li> <li>・撮影条件・仕様等                             <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 本画像解析技術を適用できる撮影画像の空間分解能の範囲: 0.2~0.8mm/pixel</li> <li>2) カメラ: デジタル一眼レフカメラ(推奨)、デジタルカメラ</li> <li>3) 撮影設定: 三脚固定の場合は絞り優先設定(F6.3以上を推奨)<br/>UAV撮影の場合は露出速度優先設定(1/500秒以下を推奨)</li> <li>4) ISO感度: 200以下</li> <li>5) ラップ率: 30%</li> <li>6) 画質: 最高(ファイン)</li> <li>7) 画質フォーマット: JPEG</li> <li>8) 注意事項: デジタルズーム機能は使用しないこと</li> </ol> </li> </ul> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1088 724 1384">ひび割れ幅および長さの計測方法</td> <td data-bbox="724 1088 1453 1384"> <p>【ひび割れ幅】<br/>ひび割れと判別された画素のウェーブレット係数は、ひび割れ幅の実測値と高い相関がある。これを用いて、本画像解析システムには、予めウェーブレット係数からひび割れ幅を算定する計算式が組み込まれているため、ひとつの画素ごとにひび割れ幅を算定できる。<br/>ただし、これにより算定できるひび割れ幅は、撮影画像の空間分解能の1/4倍から2倍の範囲となる。例えば、撮影画像の空間分解能が0.8mm/pixelの場合、算定できるひび割れ幅は0.2mmから1.6mmの範囲となる。</p> <p>【ひび割れ長さ】<br/>撮影画像の空間分解能と、ひび割れと判別された画素の数を乗じて算定される。ただし、隣り合う画素が斜め45°方向の部分については、空間分解能を<math>\sqrt{2}</math>倍した長さで算定される。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1384 724 1433">ひび割れ以外</td> <td data-bbox="724 1384 1453 1433">—</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1433 724 1688">画像処理の精度<br/>(学習結果に対する性能評価)</td> <td data-bbox="724 1433 1453 1688"> <p>実際のコンクリートのひび割れ幅の実測値と本手法による解析値を比較したところ、以下の通りであった。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・撮影画像の空間分解能が0.4mm/pixelの場合<br/>測定点数144点に対して、解析値が実測値の<math>\pm 0.2</math>mmの範囲にある割合は79%、<math>\pm 0.3</math>mmの範囲にある割合は93%</li> <li>・撮影画像の空間分解能が0.8mm/pixelの場合<br/>測定点数216点に対して、解析値が実測値の<math>\pm 0.2</math>mmの範囲にある割合は68%、<math>\pm 0.3</math>mmの範囲にある割合は81%</li> </ul> <p>なお、実測値は2人の点検員が同じ場所のひび割れ幅をクラックスケールで計測したものであり、解析値はカメラを3機種用いて同じ場所のひび割れ幅を本手法により推定したものであり、ここではその全てのデータに対して比較している。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1688 724 1738">変状の描画方法</td> <td data-bbox="724 1688 1453 1738">ひび割れ: ポリライン</td> </tr> </table> | ひび割れ                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・撮影画像に対してウェーブレット変換による画像解析を行い、画素ごとに得られるウェーブレット係数に基づいて、画素ごとにひび割れの判別を行う。</li> <li>・ウェーブレット変換による画像解析は、ひび割れ位置の画素とその周囲のコンクリート面の画素の輝度値を用いた解析処理の結果に基づいてひび割れを判別しており、単に輝度値の差のみに基づくひび割れの判別よりも、画像の明るさや色合いなどの影響を受けにくい。</li> <li>・撮影条件・仕様等                             <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 本画像解析技術を適用できる撮影画像の空間分解能の範囲: 0.2~0.8mm/pixel</li> <li>2) カメラ: デジタル一眼レフカメラ(推奨)、デジタルカメラ</li> <li>3) 撮影設定: 三脚固定の場合は絞り優先設定(F6.3以上を推奨)<br/>UAV撮影の場合は露出速度優先設定(1/500秒以下を推奨)</li> <li>4) ISO感度: 200以下</li> <li>5) ラップ率: 30%</li> <li>6) 画質: 最高(ファイン)</li> <li>7) 画質フォーマット: JPEG</li> <li>8) 注意事項: デジタルズーム機能は使用しないこと</li> </ol> </li> </ul> | ひび割れ幅および長さの計測方法 | <p>【ひび割れ幅】<br/>ひび割れと判別された画素のウェーブレット係数は、ひび割れ幅の実測値と高い相関がある。これを用いて、本画像解析システムには、予めウェーブレット係数からひび割れ幅を算定する計算式が組み込まれているため、ひとつの画素ごとにひび割れ幅を算定できる。<br/>ただし、これにより算定できるひび割れ幅は、撮影画像の空間分解能の1/4倍から2倍の範囲となる。例えば、撮影画像の空間分解能が0.8mm/pixelの場合、算定できるひび割れ幅は0.2mmから1.6mmの範囲となる。</p> <p>【ひび割れ長さ】<br/>撮影画像の空間分解能と、ひび割れと判別された画素の数を乗じて算定される。ただし、隣り合う画素が斜め45°方向の部分については、空間分解能を<math>\sqrt{2}</math>倍した長さで算定される。</p> | ひび割れ以外 | — | 画像処理の精度<br>(学習結果に対する性能評価) | <p>実際のコンクリートのひび割れ幅の実測値と本手法による解析値を比較したところ、以下の通りであった。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・撮影画像の空間分解能が0.4mm/pixelの場合<br/>測定点数144点に対して、解析値が実測値の<math>\pm 0.2</math>mmの範囲にある割合は79%、<math>\pm 0.3</math>mmの範囲にある割合は93%</li> <li>・撮影画像の空間分解能が0.8mm/pixelの場合<br/>測定点数216点に対して、解析値が実測値の<math>\pm 0.2</math>mmの範囲にある割合は68%、<math>\pm 0.3</math>mmの範囲にある割合は81%</li> </ul> <p>なお、実測値は2人の点検員が同じ場所のひび割れ幅をクラックスケールで計測したものであり、解析値はカメラを3機種用いて同じ場所のひび割れ幅を本手法により推定したものであり、ここではその全てのデータに対して比較している。</p> | 変状の描画方法 | ひび割れ: ポリライン | 取り扱い可能な画像データ | <table border="1"> <tr> <td data-bbox="472 1688 724 1738">ファイル形式</td> <td data-bbox="724 1688 1453 1738">JPEG, BMP</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1738 724 1787">ファイル容量</td> <td data-bbox="724 1738 1453 1787">制限なし</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1787 724 1836">カラー/白黒画像</td> <td data-bbox="724 1787 1453 1836">カラー</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1836 724 1966">画素分解能</td> <td data-bbox="724 1836 1453 1966"> <p>本画像解析技術を適用できる撮影画像の空間分解能の範囲は0.2~0.8mm/pixelである。この時に算定できるひび割れ幅は、撮影画像の空間分解能の1/4~2倍の範囲である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・例えば、空間分解能0.4mm/pixelの場合、検出可能なひび割れ幅は0.1~0.8mmとなる。</li> <li>・例えば、空間分解能0.8mm/pixelの場合、検出可能なひび割れ幅は0.2~1.6mmとなる。</li> </ul> <p>ただし、定量的に評価できるひび割れ幅の最小値は0.1mmである。すなわち、空間分解能0.2mm/pixelの画像であっても、この場合に評価できるひび割れ幅の最小値は、空間分解能の1/4である0.05mmではなく、0.1mmとなる。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1966 724 2051">その他留意事項</td> <td data-bbox="724 1966 1453 2051">ひび割れ直上がチョーキングされている場合は、ひび割れを正確に検出することが難しい。また、検出された場合でも、ひび割れ幅を正確に定量的に評価することも難しい。</td> </tr> </table> | ファイル形式 | JPEG, BMP | ファイル容量 | 制限なし | カラー/白黒画像 | カラー | 画素分解能 | <p>本画像解析技術を適用できる撮影画像の空間分解能の範囲は0.2~0.8mm/pixelである。この時に算定できるひび割れ幅は、撮影画像の空間分解能の1/4~2倍の範囲である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・例えば、空間分解能0.4mm/pixelの場合、検出可能なひび割れ幅は0.1~0.8mmとなる。</li> <li>・例えば、空間分解能0.8mm/pixelの場合、検出可能なひび割れ幅は0.2~1.6mmとなる。</li> </ul> <p>ただし、定量的に評価できるひび割れ幅の最小値は0.1mmである。すなわち、空間分解能0.2mm/pixelの画像であっても、この場合に評価できるひび割れ幅の最小値は、空間分解能の1/4である0.05mmではなく、0.1mmとなる。</p> | その他留意事項 | ひび割れ直上がチョーキングされている場合は、ひび割れを正確に検出することが難しい。また、検出された場合でも、ひび割れ幅を正確に定量的に評価することも難しい。 | 出力ファイル形式 | BMP/DXF/MS Excel |
| ソフトウェア名                   | 「コンクリートのひび割れ画像解析プログラム」(ティー・ドット・ウェーブ) (自社開発ソフト)<br>必要スペック: Windows10, MS Excel2013以降<br>クラウドサービス: 2021年度提供予定  |         |   |                 |  |                |  |                           |   |                 |  |        |   |                           |  |         |             |              |  |        |           |        |      |          |     |       |   |         |  |          |                  |
| 検出可能な変状                   | ひび割れ<br>(幅、長さ、ひび割れ密度(単位面積あたりのひび割れ長さ)をひび割れ全画素に対して算定)  |         |   |                 |  |                |  |                           |   |                 |  |        |   |                           |  |         |             |              |  |        |           |        |      |          |     |       |   |         |  |          |                  |
| 変状検出の原理・アルゴリズム            | <table border="1"> <tr> <td data-bbox="472 685 724 1088">ひび割れ</td> <td data-bbox="724 685 1453 1088"> <ul style="list-style-type: none"> <li>・撮影画像に対してウェーブレット変換による画像解析を行い、画素ごとに得られるウェーブレット係数に基づいて、画素ごとにひび割れの判別を行う。</li> <li>・ウェーブレット変換による画像解析は、ひび割れ位置の画素とその周囲のコンクリート面の画素の輝度値を用いた解析処理の結果に基づいてひび割れを判別しており、単に輝度値の差のみに基づくひび割れの判別よりも、画像の明るさや色合いなどの影響を受けにくい。</li> <li>・撮影条件・仕様等                             <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 本画像解析技術を適用できる撮影画像の空間分解能の範囲: 0.2~0.8mm/pixel</li> <li>2) カメラ: デジタル一眼レフカメラ(推奨)、デジタルカメラ</li> <li>3) 撮影設定: 三脚固定の場合は絞り優先設定(F6.3以上を推奨)<br/>UAV撮影の場合は露出速度優先設定(1/500秒以下を推奨)</li> <li>4) ISO感度: 200以下</li> <li>5) ラップ率: 30%</li> <li>6) 画質: 最高(ファイン)</li> <li>7) 画質フォーマット: JPEG</li> <li>8) 注意事項: デジタルズーム機能は使用しないこと</li> </ol> </li> </ul> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1088 724 1384">ひび割れ幅および長さの計測方法</td> <td data-bbox="724 1088 1453 1384"> <p>【ひび割れ幅】<br/>ひび割れと判別された画素のウェーブレット係数は、ひび割れ幅の実測値と高い相関がある。これを用いて、本画像解析システムには、予めウェーブレット係数からひび割れ幅を算定する計算式が組み込まれているため、ひとつの画素ごとにひび割れ幅を算定できる。<br/>ただし、これにより算定できるひび割れ幅は、撮影画像の空間分解能の1/4倍から2倍の範囲となる。例えば、撮影画像の空間分解能が0.8mm/pixelの場合、算定できるひび割れ幅は0.2mmから1.6mmの範囲となる。</p> <p>【ひび割れ長さ】<br/>撮影画像の空間分解能と、ひび割れと判別された画素の数を乗じて算定される。ただし、隣り合う画素が斜め45°方向の部分については、空間分解能を<math>\sqrt{2}</math>倍した長さで算定される。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1384 724 1433">ひび割れ以外</td> <td data-bbox="724 1384 1453 1433">—</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1433 724 1688">画像処理の精度<br/>(学習結果に対する性能評価)</td> <td data-bbox="724 1433 1453 1688"> <p>実際のコンクリートのひび割れ幅の実測値と本手法による解析値を比較したところ、以下の通りであった。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・撮影画像の空間分解能が0.4mm/pixelの場合<br/>測定点数144点に対して、解析値が実測値の<math>\pm 0.2</math>mmの範囲にある割合は79%、<math>\pm 0.3</math>mmの範囲にある割合は93%</li> <li>・撮影画像の空間分解能が0.8mm/pixelの場合<br/>測定点数216点に対して、解析値が実測値の<math>\pm 0.2</math>mmの範囲にある割合は68%、<math>\pm 0.3</math>mmの範囲にある割合は81%</li> </ul> <p>なお、実測値は2人の点検員が同じ場所のひび割れ幅をクラックスケールで計測したものであり、解析値はカメラを3機種用いて同じ場所のひび割れ幅を本手法により推定したものであり、ここではその全てのデータに対して比較している。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1688 724 1738">変状の描画方法</td> <td data-bbox="724 1688 1453 1738">ひび割れ: ポリライン</td> </tr> </table>   | ひび割れ    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・撮影画像に対してウェーブレット変換による画像解析を行い、画素ごとに得られるウェーブレット係数に基づいて、画素ごとにひび割れの判別を行う。</li> <li>・ウェーブレット変換による画像解析は、ひび割れ位置の画素とその周囲のコンクリート面の画素の輝度値を用いた解析処理の結果に基づいてひび割れを判別しており、単に輝度値の差のみに基づくひび割れの判別よりも、画像の明るさや色合いなどの影響を受けにくい。</li> <li>・撮影条件・仕様等                             <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 本画像解析技術を適用できる撮影画像の空間分解能の範囲: 0.2~0.8mm/pixel</li> <li>2) カメラ: デジタル一眼レフカメラ(推奨)、デジタルカメラ</li> <li>3) 撮影設定: 三脚固定の場合は絞り優先設定(F6.3以上を推奨)<br/>UAV撮影の場合は露出速度優先設定(1/500秒以下を推奨)</li> <li>4) ISO感度: 200以下</li> <li>5) ラップ率: 30%</li> <li>6) 画質: 最高(ファイン)</li> <li>7) 画質フォーマット: JPEG</li> <li>8) 注意事項: デジタルズーム機能は使用しないこと</li> </ol> </li> </ul> | ひび割れ幅および長さの計測方法 | <p>【ひび割れ幅】<br/>ひび割れと判別された画素のウェーブレット係数は、ひび割れ幅の実測値と高い相関がある。これを用いて、本画像解析システムには、予めウェーブレット係数からひび割れ幅を算定する計算式が組み込まれているため、ひとつの画素ごとにひび割れ幅を算定できる。<br/>ただし、これにより算定できるひび割れ幅は、撮影画像の空間分解能の1/4倍から2倍の範囲となる。例えば、撮影画像の空間分解能が0.8mm/pixelの場合、算定できるひび割れ幅は0.2mmから1.6mmの範囲となる。</p> <p>【ひび割れ長さ】<br/>撮影画像の空間分解能と、ひび割れと判別された画素の数を乗じて算定される。ただし、隣り合う画素が斜め45°方向の部分については、空間分解能を<math>\sqrt{2}</math>倍した長さで算定される。</p> | ひび割れ以外         | —  | 画像処理の精度<br>(学習結果に対する性能評価) | <p>実際のコンクリートのひび割れ幅の実測値と本手法による解析値を比較したところ、以下の通りであった。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・撮影画像の空間分解能が0.4mm/pixelの場合<br/>測定点数144点に対して、解析値が実測値の<math>\pm 0.2</math>mmの範囲にある割合は79%、<math>\pm 0.3</math>mmの範囲にある割合は93%</li> <li>・撮影画像の空間分解能が0.8mm/pixelの場合<br/>測定点数216点に対して、解析値が実測値の<math>\pm 0.2</math>mmの範囲にある割合は68%、<math>\pm 0.3</math>mmの範囲にある割合は81%</li> </ul> <p>なお、実測値は2人の点検員が同じ場所のひび割れ幅をクラックスケールで計測したものであり、解析値はカメラを3機種用いて同じ場所のひび割れ幅を本手法により推定したものであり、ここではその全てのデータに対して比較している。</p>  | 変状の描画方法         | ひび割れ: ポリライン  |        |   |                           |  |         |             |              |  |        |           |        |      |          |     |       |   |         |  |          |                  |
| ひび割れ                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・撮影画像に対してウェーブレット変換による画像解析を行い、画素ごとに得られるウェーブレット係数に基づいて、画素ごとにひび割れの判別を行う。</li> <li>・ウェーブレット変換による画像解析は、ひび割れ位置の画素とその周囲のコンクリート面の画素の輝度値を用いた解析処理の結果に基づいてひび割れを判別しており、単に輝度値の差のみに基づくひび割れの判別よりも、画像の明るさや色合いなどの影響を受けにくい。</li> <li>・撮影条件・仕様等                             <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 本画像解析技術を適用できる撮影画像の空間分解能の範囲: 0.2~0.8mm/pixel</li> <li>2) カメラ: デジタル一眼レフカメラ(推奨)、デジタルカメラ</li> <li>3) 撮影設定: 三脚固定の場合は絞り優先設定(F6.3以上を推奨)<br/>UAV撮影の場合は露出速度優先設定(1/500秒以下を推奨)</li> <li>4) ISO感度: 200以下</li> <li>5) ラップ率: 30%</li> <li>6) 画質: 最高(ファイン)</li> <li>7) 画質フォーマット: JPEG</li> <li>8) 注意事項: デジタルズーム機能は使用しないこと</li> </ol> </li> </ul>  |         |   |                 |  |                |  |                           |   |                 |  |        |   |                           |  |         |             |              |  |        |           |        |      |          |     |       |   |         |  |          |                  |
| ひび割れ幅および長さの計測方法           | <p>【ひび割れ幅】<br/>ひび割れと判別された画素のウェーブレット係数は、ひび割れ幅の実測値と高い相関がある。これを用いて、本画像解析システムには、予めウェーブレット係数からひび割れ幅を算定する計算式が組み込まれているため、ひとつの画素ごとにひび割れ幅を算定できる。<br/>ただし、これにより算定できるひび割れ幅は、撮影画像の空間分解能の1/4倍から2倍の範囲となる。例えば、撮影画像の空間分解能が0.8mm/pixelの場合、算定できるひび割れ幅は0.2mmから1.6mmの範囲となる。</p> <p>【ひび割れ長さ】<br/>撮影画像の空間分解能と、ひび割れと判別された画素の数を乗じて算定される。ただし、隣り合う画素が斜め45°方向の部分については、空間分解能を<math>\sqrt{2}</math>倍した長さで算定される。</p>   |         |   |                 |  |                |  |                           |   |                 |  |        |   |                           |  |         |             |              |  |        |           |        |      |          |     |       |   |         |  |          |                  |
| ひび割れ以外                    | —  |         |   |                 |  |                |  |                           |   |                 |  |        |   |                           |  |         |             |              |  |        |           |        |      |          |     |       |   |         |  |          |                  |
| 画像処理の精度<br>(学習結果に対する性能評価) | <p>実際のコンクリートのひび割れ幅の実測値と本手法による解析値を比較したところ、以下の通りであった。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・撮影画像の空間分解能が0.4mm/pixelの場合<br/>測定点数144点に対して、解析値が実測値の<math>\pm 0.2</math>mmの範囲にある割合は79%、<math>\pm 0.3</math>mmの範囲にある割合は93%</li> <li>・撮影画像の空間分解能が0.8mm/pixelの場合<br/>測定点数216点に対して、解析値が実測値の<math>\pm 0.2</math>mmの範囲にある割合は68%、<math>\pm 0.3</math>mmの範囲にある割合は81%</li> </ul> <p>なお、実測値は2人の点検員が同じ場所のひび割れ幅をクラックスケールで計測したものであり、解析値はカメラを3機種用いて同じ場所のひび割れ幅を本手法により推定したものであり、ここではその全てのデータに対して比較している。</p>   |         |   |                 |  |                |  |                           |   |                 |  |        |   |                           |  |         |             |              |  |        |           |        |      |          |     |       |   |         |  |          |                  |
| 変状の描画方法                   | ひび割れ: ポリライン  |         |   |                 |  |                |  |                           |   |                 |  |        |   |                           |  |         |             |              |  |        |           |        |      |          |     |       |   |         |  |          |                  |
| 取り扱い可能な画像データ              | <table border="1"> <tr> <td data-bbox="472 1688 724 1738">ファイル形式</td> <td data-bbox="724 1688 1453 1738">JPEG, BMP</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1738 724 1787">ファイル容量</td> <td data-bbox="724 1738 1453 1787">制限なし</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1787 724 1836">カラー/白黒画像</td> <td data-bbox="724 1787 1453 1836">カラー</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1836 724 1966">画素分解能</td> <td data-bbox="724 1836 1453 1966"> <p>本画像解析技術を適用できる撮影画像の空間分解能の範囲は0.2~0.8mm/pixelである。この時に算定できるひび割れ幅は、撮影画像の空間分解能の1/4~2倍の範囲である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・例えば、空間分解能0.4mm/pixelの場合、検出可能なひび割れ幅は0.1~0.8mmとなる。</li> <li>・例えば、空間分解能0.8mm/pixelの場合、検出可能なひび割れ幅は0.2~1.6mmとなる。</li> </ul> <p>ただし、定量的に評価できるひび割れ幅の最小値は0.1mmである。すなわち、空間分解能0.2mm/pixelの画像であっても、この場合に評価できるひび割れ幅の最小値は、空間分解能の1/4である0.05mmではなく、0.1mmとなる。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1966 724 2051">その他留意事項</td> <td data-bbox="724 1966 1453 2051">ひび割れ直上がチョーキングされている場合は、ひび割れを正確に検出することが難しい。また、検出された場合でも、ひび割れ幅を正確に定量的に評価することも難しい。</td> </tr> </table>   | ファイル形式  | JPEG, BMP   | ファイル容量          | 制限なし   | カラー/白黒画像       | カラー  | 画素分解能                     | <p>本画像解析技術を適用できる撮影画像の空間分解能の範囲は0.2~0.8mm/pixelである。この時に算定できるひび割れ幅は、撮影画像の空間分解能の1/4~2倍の範囲である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・例えば、空間分解能0.4mm/pixelの場合、検出可能なひび割れ幅は0.1~0.8mmとなる。</li> <li>・例えば、空間分解能0.8mm/pixelの場合、検出可能なひび割れ幅は0.2~1.6mmとなる。</li> </ul> <p>ただし、定量的に評価できるひび割れ幅の最小値は0.1mmである。すなわち、空間分解能0.2mm/pixelの画像であっても、この場合に評価できるひび割れ幅の最小値は、空間分解能の1/4である0.05mmではなく、0.1mmとなる。</p>   | その他留意事項         | ひび割れ直上がチョーキングされている場合は、ひび割れを正確に検出することが難しい。また、検出された場合でも、ひび割れ幅を正確に定量的に評価することも難しい。   |        |   |                           |  |         |             |              |  |        |           |        |      |          |     |       |   |         |  |          |                  |
| ファイル形式                    | JPEG, BMP  |         |   |                 |  |                |  |                           |   |                 |  |        |   |                           |  |         |             |              |  |        |           |        |      |          |     |       |   |         |  |          |                  |
| ファイル容量                    | 制限なし   |         |   |                 |  |                |  |                           |   |                 |  |        |   |                           |  |         |             |              |  |        |           |        |      |          |     |       |   |         |  |          |                  |
| カラー/白黒画像                  | カラー  |         |   |                 |  |                |  |                           |   |                 |  |        |   |                           |  |         |             |              |  |        |           |        |      |          |     |       |   |         |  |          |                  |
| 画素分解能                     | <p>本画像解析技術を適用できる撮影画像の空間分解能の範囲は0.2~0.8mm/pixelである。この時に算定できるひび割れ幅は、撮影画像の空間分解能の1/4~2倍の範囲である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・例えば、空間分解能0.4mm/pixelの場合、検出可能なひび割れ幅は0.1~0.8mmとなる。</li> <li>・例えば、空間分解能0.8mm/pixelの場合、検出可能なひび割れ幅は0.2~1.6mmとなる。</li> </ul> <p>ただし、定量的に評価できるひび割れ幅の最小値は0.1mmである。すなわち、空間分解能0.2mm/pixelの画像であっても、この場合に評価できるひび割れ幅の最小値は、空間分解能の1/4である0.05mmではなく、0.1mmとなる。</p>  |         |   |                 |  |                |  |                           |   |                 |  |        |   |                           |  |         |             |              |  |        |           |        |      |          |     |       |   |         |  |          |                  |
| その他留意事項                   | ひび割れ直上がチョーキングされている場合は、ひび割れを正確に検出することが難しい。また、検出された場合でも、ひび割れ幅を正確に定量的に評価することも難しい。   |         |   |                 |  |                |  |                           |   |                 |  |        |   |                           |  |         |             |              |  |        |           |        |      |          |     |       |   |         |  |          |                  |
| 出力ファイル形式                  | BMP/DXF/MS Excel   |         |   |                 |  |                |  |                           |   |                 |  |        |   |                           |  |         |             |              |  |        |           |        |      |          |     |       |   |         |  |          |                  |

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <p>調書作成支援の手順</p>             | <p>本画像解析を実行すると、出力結果がBMP形式やDXF形式、MS Excelファイルとして、自動的に所定のフォルダー内に保存される。また、これらをMS Excelのシート上に一括して貼付したファイルが自動的に生成される。そのため、点検調書などを作成する時に、個別ファイルを専用のアプリケーションを立ち上げることなく、MS Wordなどの文書ファイルに効率的に貼付することができる。</p> <p>本画像解析を実行して得られる結果は以下のファイルである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1)入力画像(あおり補正、画像合成などを実施した後の画像)(BMP形式)</li> <li>2)ひび割れ図(DXF形式)</li> <li>3)入力画像上にひび割れ図を重ねた画像(BMP形式)</li> <li>4)ひび割れ幅ごとのひび割れ長さに関するヒストグラム(MS Excelファイル)</li> </ol> <p>このひび割れ図は、ひび割れ幅の範囲ごとに色分けして表示することができる。また、Excelファイルのヒストグラム上には、以下の値が自動的に表示される。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5)ひび割れ総延長</li> <li>6)平均ひび割れ幅</li> <li>7)ひび割れ密度(単位面積あたりのひび割れ長さ)</li> </ol> <p>なお、予め書式に合わせたMS Excel形式の出力フォーマットを作成しておけば、書式に合わせて出力を自動化することもできる。</p> |
| <p>調書作成支援の適用条件</p>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>1) 撮影画像の空間分解能が、0.2~0.8mm/pixelの画像であること。</li> <li>2) 検出したいひび割れの最小幅に対して、空間分解能をその最小幅の2倍以下の範囲に設定した画像であること。<br/>(例えば、検出したいひび割れの最小幅が0.2mmのとき、撮影画像の空間分解能を0.8mm/pixel以下に設定)</li> <li>3) 被写体に正対した時の法線に対して、30° 以内の角度で撮影した画像であること。</li> </ul>   |
| <p>調書作成支援に活用する機器・ソフトウェア名</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリートのひび割れ画像解析プログラムt.WAVE(ティー・ドット・ウェーブ)(自社開発ソフト)</li> <li>・Windows10</li> <li>・MS Excel2013以降</li> </ul>  |

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<br>検<br>時<br>現<br>場<br>条<br>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      | —              |                            |
|                                 | 車線数の制約         | —              |                            |
|                                 | 断面形状の制約        | —              |                            |
|                                 | その他            | すす汚れによる作業の可否:可 | ひび割れと重なっていると、解析に影響する場合がある。 |



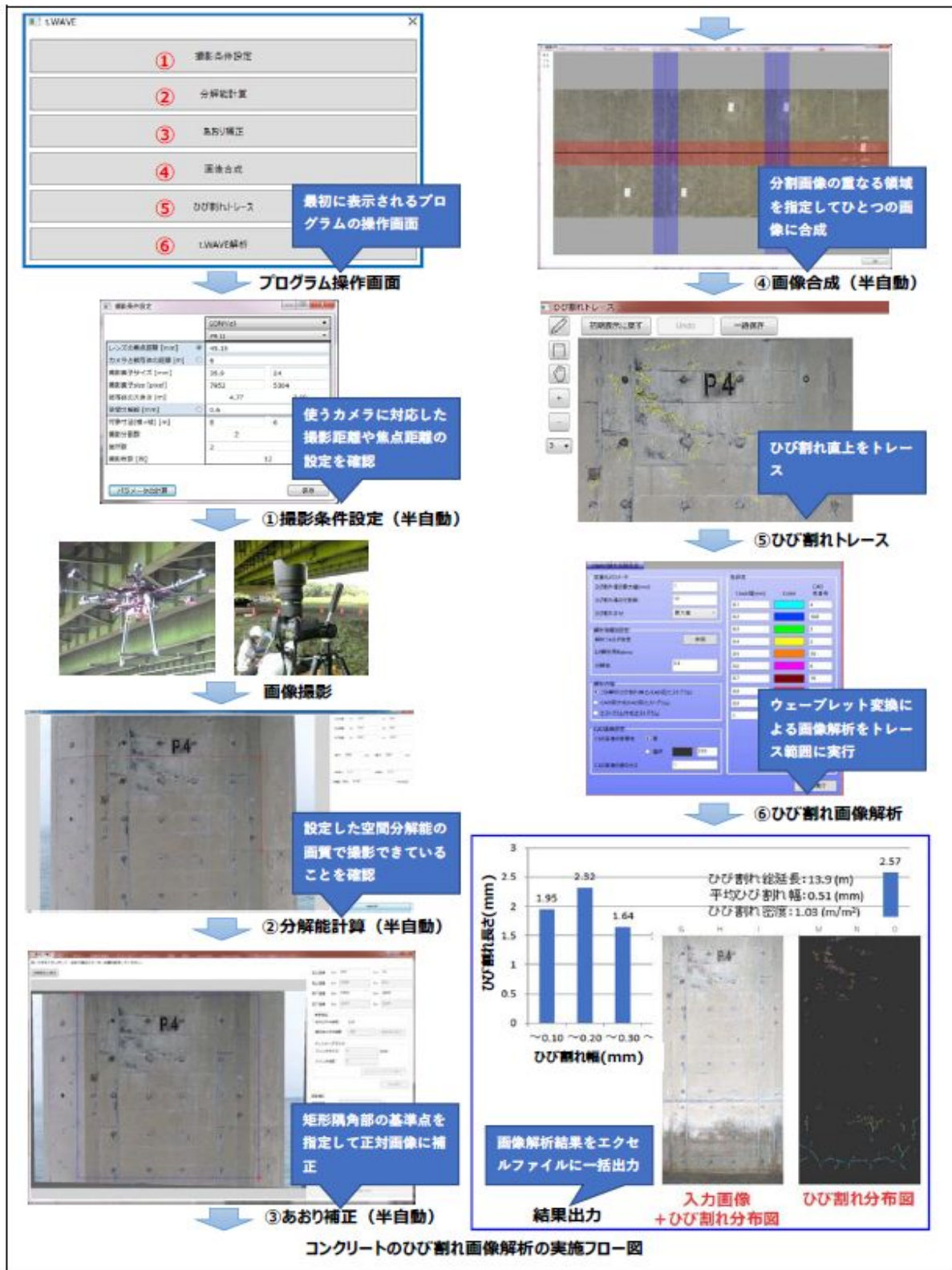
6. 留意事項(その2)

| 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                | 特に必要なし   | マニュアルに従って操作すれば解析可能 |
| 必要構成人員数                 | ひび割れ画像解析プログラム操作1人  |                    |
| 操作に必要な資格等の有無、<br>フライト時間 | 特に必要なし   |                    |
| 操作場所                    | 作業ヤード:特に必要なし   |                    |
| 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<br>条件     | —  |                    |
| トンネル内照明の消灯の必要<br>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           | 画像解析プログラムソフトの購入、あるいは一定期間のレンタル<br>(ソフト価格:200万円/3ライセンス、レンタル価格:30万円/月)<br>(レンタル先:大成建設株式会社、TEL:045-814-7228) |                    |
| 関係機関への手続きの必要性           | 特に必要なし   |                    |
| 解析ソフトの有無と必要作業及<br>び費用等  | 画像解析プログラムソフトの購入、あるいは一定期間のレンタル<br>(ソフト価格:200万円/3ライセンス、レンタル価格:30万円/月)                                      |                    |
| 不具合時のサポート体制の有<br>無及び条件  | 画像解析プログラムの導入および使用方法に関するサポート<br>あり  |                    |
| センシングデバイスの点検            | —  |                    |
| その他                     | 特許状況:14件取得、気象条件:雨天不可、作業条件:特にな<br>し   |                    |

作業  
条件・  
運用  
条件

7. 図面

コンクリートのひび割れ画像解析の実施フロー図



1. 基本事項

|         |  |   |          |
|---------|--|---|----------|
| 技術番号    | TN010002-V0121   |   |          |
| 技術名     | 社会インフラ画像診断サービス「ひびみつけ」  |   |          |
| 技術バージョン | Ver 1.3  | 作成:   | 2021年10月 |
| 開発者     | 富士フイルム株式会社   |   |          |
| 連絡先等    | TEL: 03-6447-5179  | E-mail: infra_service@fujifilm.com          | 産業機材事業部  |
| 現有台数・基地 | 無制限  | 基地  | 東京都港区    |
| 技術概要    | 本技術は、コンクリート構造物を撮影した写真からコンクリートに発生する「ひび割れの自動検出」と「ひび割れ幅の自動計測」をAIを活用した画像解析で行うシステムである。本技術の活用により従来人手で対応していた検出作業を削減できる。 |   |          |
| 技術区分    | 対象部位   | 覆工面／天井板                                     |          |
|         | 変状の種類  | 自動検出: 本体工におけるひび割れ<br>目視検出: はく離、鉄筋露出、遊離石灰、漏水 |          |
|         | 物理原理   | 画像  |          |

2. 基本諸元

|            |                                 |             |  |
|------------|---------------------------------|-------------|--|
| 計測機器の構成    |                                 |             |  |
| 移動装置       | 移動原理                            |             |  |
|            | 外形寸法・重量                         |             |  |
|            | 搭載可能容量<br>(分離構造の場合)             |             |  |
|            | 動力                              |             |  |
|            | 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合)          |             |  |
| 計測装置       | 設置方法                            |             |  |
|            | 外形寸法・重量<br>(分離構造の場合)            |             |  |
|            | センシングデバイス                       | カメラ         |  |
|            |                                 | カメラ         | 下記仕様を満たすミラーレス一眼カメラを推奨。または、フルサイズ一眼レフカメラ。<br>・センサーサイズ: 縦15.6mm×横23.5mm(APS-C以上)<br>・焦点距離(mm): 14mm~400mm<br>・ピクセル数:(1000Pixel×1000Pixel以上)<br>・ダイナミクスレンジ(bit): 8bit以上<br>・コントラストAFは使用しない事を推奨 |
|            |                                 | パン・チルト機構    | 必須ではない。  |
|            |                                 | 角度記録・制御機構機能 | 必須ではない。  |
|            |                                 | 測位機構        | 必須ではない   |
|            |                                 | 耐久性         |  |
|            | 動力                              |             |  |
|            | 連続稼働時間<br>(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<br>(分離構造の場合)            |             |  |
|            | データ収集・記録機能                      |             |  |
|            | 通信規格<br>(データを伝送し保存する場合)         |             |  |
|            | セキュリティ<br>(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<br>(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 ※             | <input type="checkbox"/> |                      |
|       |                     | -                        |                          |                      |
|       | 計測精度                | 性能確認シートの有無 ※             | <input type="checkbox"/> |                      |
|       |                     | -                        |                          |                      |
|       | 長さ計測精度<br>(長さの相対誤差) | 性能確認シートの有無 ※             | <input type="checkbox"/> |                      |
|       | -                   |                          |                          |                      |
| 位置精度  | 性能確認シートの有無 ※        | <input type="checkbox"/> |                          |                      |
|       | -                   |                          |                          |                      |
| 色識別性能 | 性能確認シートの有無 ※        | <input type="checkbox"/> |                          |                      |
|       | -                   |                          |                          |                      |

※「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撮影した画像を「ひびみっけ」で当社クラウドへアップロードする。(手動)<br/>                 ②撮影した画像を自動合成機能でつなぎ合わせる。(自動)<br/>                 ③ひびわれ自動検出機能(下記アルゴリズム参照)により、ひびわれを検出する。(自動)<br/>                 ④合成後画像中の長方形領域の4頂点を指定し、前記長方形領域の実寸サイズ(mm)を入力する。(手動)<br/>                 ⑤ひびわれ幅・長さを自動計測する(自動)(下記アルゴリズム参照)<br/>                 ⑥自動検出されたひびわれを目視確認し、端点が隣接するひびわれの連結(ボタン押下で自動処理)、ひびわれ長さ・幅に応じたフィルタリング(幅・長さを指定しボタン押下で自動処理)、誤抽出結果の削除(手動)、未抽出箇所のトレース(手動)など、ひびわれ抽出結果の編集を必要に応じて実施する。<br/>                 ⑦ひびわ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マーキングする。(手動)</p> <p>解析作業日数<br/>                 [トンネル条件]<br/>                 ・延長500m<br/>                 ・ひび割れ密度0.3m/m2 等<br/>                 ・2車線断面<br/>                 [作業日数]<br/>                 ・画像合成～変状抽出 1日以内※<br/>                 ※ひびの編集作業は除く。</p> |   |   |
| <p>ソフトウェア情報</p> | <p>ソフトウェア名</p>   | <p>・社会インフラ画像診断サービス「ひびみっけ」(ver.1.3)(当社クラウドサービス)</p>                      |   |
|                 | <p>検出可能な変状</p>   | <p>・ひび割れ(幅および長さ)(自動検出)<br/>                 ・はく離、鉄筋露出、遊離石灰、漏水(目視検出)</p> |   |
|                 | <p>変状検出の原理・アルゴリズム</p>  | <p>ひび割れ</p>   | <p>・AI(畳み込みニューラルネットワーク)による自動検出<br/>                 ・AI教師データは日本全国47都道府県のRC橋やPC橋の下部構造(橋脚、橋台)や上部構造(主桁、床版)、トンネル覆工コンクリート、ボックスカルバート、ダム、護岸、堤防などのコンクリート構造物におけるひび割れ・床版ひび割れに関する写真に、ひび割れ・床版ひび割れに該当する画素の正解情報を付与したデータを用いて学習させている。<br/>                 ・撮影条件・仕様等<br/>                 1) カメラ: デジタル一眼レフ<br/>                 2) 撮影設定: 絞り優先設定<br/>                 3) ISO感度: ISO200以下<br/>                 4) ラップ率: オーバーラップ 30%以上、サイドラップ 30%以上<br/>                 5) 撮影角度: 正対(被写体表面の法線ベクトルに対し概ね±20°以内)<br/>                 6) 画質: 最高(ファイン等)<br/>                 7) 画像フォーマット: JPEG<br/>                 8) 注意事項: デジタルズーム機能は使用しないこと</p> |
|                 | <p>ひび割れ幅および長さの計測方法</p>   | <p>ひび割れ幅</p>  | <p>・幅: 自動検出されたひび割れの画素数幅をひび割れ横断方向の画素の濃淡分布を考慮してサブピクセル精度で計測し、前記画素数幅を1画素当たりの実寸サイズ(※)を用いて、実寸幅に換算することで、サブピクセル精度(0.05mm単位)でひびわれの幅を自動計測。<br/>                 ・長さ: 自動検出されたひび割れの画素数長さを「1画素当たりの実寸サイズ」(※)を用いて実寸長さに換算することで、ひび割れの長さを自動計測。<br/>                 ※変状検出手順④で入力された長方形領域の4頂点に対する実寸サイズ情報より算出</p>  |
|                 | <p>ひび割れ以外</p>  | <p>ひび割れ以外</p>   | <p>・人が画像を確認し、変状箇所を手動でマーキング<br/>                 ・ひび割れ検出: 検出したひび割れの総延長および本数の再現率・適合率がともに95%以上[日本全国47都道府県から収集したAI学習に使用していない画像で評価]<br/>                 本数の再現率 = 正しく検出したひび割れ本数 / 真のひび割れ本数<br/>                 本数の適合率 = 正しく検出したひび割れ本数 / 検出したひび割れ本数<br/>                 総延長の再現率 = 正しく検出したひび割れ総延長 / 真のひび割れ総延長<br/>                 総延長の適合率 = 正しく検出したひび割れ総延長 / 検出したひび割れ総延長<br/>                 ・全国47都道府県で追加学習なく適用可能</p>  |
|                 | <p>画像処理の精度<br/>(学習結果に対する性能評価)</p>  | <p>画像処理の精度<br/>(学習結果に対する性能評価)</p>                                       | <p>・ひび割れ: ポリライン<br/>                 ・はく離、鉄筋露出、遊離石灰、漏水: ポリゴン</p>  |
|                 | <p>変状の描画方法</p>   | <p>変状の描画方法</p>  | <p>・ひび割れ: ポリライン<br/>                 ・はく離、鉄筋露出、遊離石灰、漏水: ポリゴン</p>  |
|                 | <p>取り扱い可能な画像データ</p>  | <p>ファイル形式<br/>ファイル容量<br/>カラー／白黒画像<br/>画素分解能</p>                         | <p>JPG<br/>                 ファイル容量: 200MB以下/枚<br/>                 カラー画像(RGB/8bit)<br/>                 ・ひび割れ幅0.1mmを検出・幅計測するためには0.3mm/pixel以下であることが必要<br/>                 ・ひび割れ幅0.2mmを検出・幅計測するためには0.6mm/pixel以下であることが必要</p>  |
|                 | <p>出力ファイル形式</p>  | <p>出力ファイル形式</p>   | <p>・三脚・自動雲台での撮影について、初回撮影時は当社または当社代理店による撮影講習を行うことで、正確に撮影する事をサポートする。<br/>                 ・ひび割れにチョークが重なりひびを目視できない場合や汚れて目視できない場合等、目視でも見えないひびは検出が不可<br/>                 ・画像サイズ: 1000×1000ピクセル～8800×6500ピクセル。前記サイズを超える場合はご相談ください<br/>                 ・画像やExif情報を編集しないこと<br/>                 ・当社「ひびみっけ」アプリをインストールして使用すること</p> <p>・画像: JPEG(合成画像サイズの長辺が6500ピクセル以下の場合)、PNG(合成画像サイズの長辺が6500ピクセルより大きい場合)<br/>                 ・CAD: DXF<br/>                 ・ひび割れ数量積算表: CSV</p>   |

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <p>調書作成支援の手順</p>             | <p>①上記「変状検出手順」に従い、変状検出を実施する。<br/>                 ②変状検出結果(画像、CAD、数量表)のデータを当社クラウドからダウンロードする<br/>                 ③任意のCADソフト、表計算ソフト等で、ダウンロードしたデータを読み込み、点検調書(変状展開図)の所定の項目に貼り付ける。</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、上記項目「ソフトウェア情報」の「変状検出の原理・アルゴリズム」「取扱可能な画像データ」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>・社会インフラ画像診断サービス「ひびみつけ」(ver.1.3)(当社クラウドサービス)</p> <p>クラウドサービスについて:<br/>                 当社HPよりユーザー登録後、無料でソフトウェアをダウンロードする。<br/>                 ソフトウェアを介して、弊社クラウドにて合成・検出を行い解析後、ソフトウェア上で解析完了になるため、ソフトウェアにダウンロードして成果物に問題がなければ、解析結果を購入する。</p> |



6. 留意事項(その1)

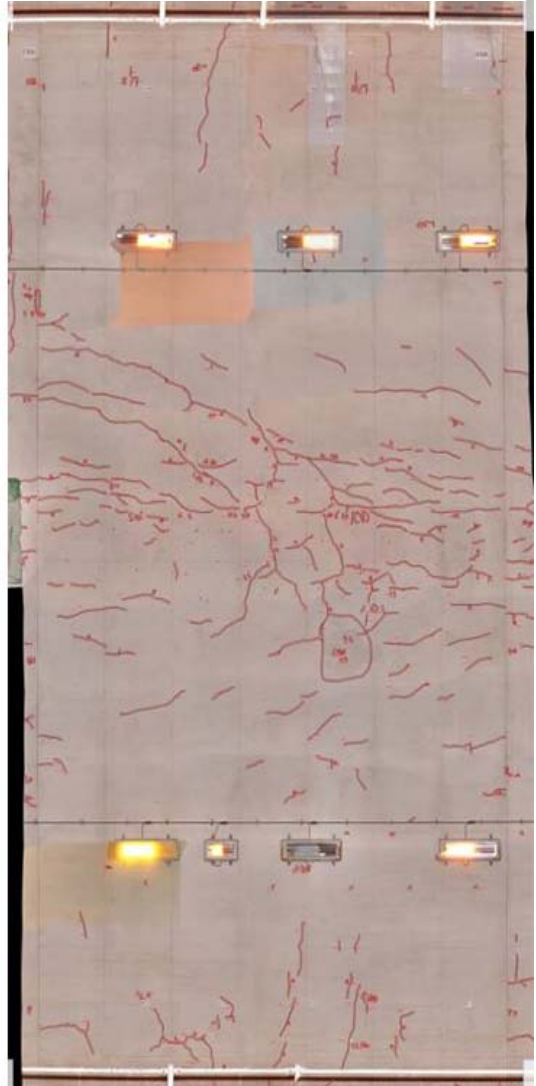
| 項目                              | 適用可否/適用条件      | 特記事項(適用条件)  |
|---------------------------------|----------------|---|
| 点<br>検<br>時<br>現<br>場<br>条<br>件 | 安全面への配慮        |   |
|                                 | 無線等使用における混線等対策 |   |
|                                 | 交通規制の要否        |   |
|                                 | 交通規制の範囲        |   |
|                                 | 現地への運搬方法       |   |
|                                 | トンネル延長の制約      |   |
|                                 | 車線数の制約         |   |
|                                 | 断面形状の制約        |   |
|                                 | その他            | 汚れ、すず等がある場合の作業の可否:可<br>・すず汚れがある場合、撮影した画像上からひびが目視できれば検出は可能であるが、目視できないひびは検出不可能。 |

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            | 特になし  | ソフトウェアマニュアルに従って操作すれば技量は問わない。   |
| 必要構成人員数             | ひびみつけソフトウェア利用者1名  | -  |
| 操作に必要な資格等の有無、フライト時間 | ソフトウェア操作に資格は不要  | -  |
| 操作場所                | 点検現場、事務所などPC操作可能な場所。  | -  |
| 計測作業日数              | 写真の合成・ひび検出時間:1時間程度※<br>※通信環境による   | -  |
| 点検費用                | <p>・撮影:撮影した計測機器(車載カメラ・ロボット等)の仕様に準ずる。<br/>弊社は一眼レフ撮影を主体とした撮影器具を提案可能です。<br/>撮影器具の費用は約40万円~紹介可能です。<br/>撮影はユーザー自身が行う想定です。</p> <p>・解析:社会インフラ画像診断サービス「ひびみつけ」費用<br/>当社提案の一眼レフを用いた撮影治具の場合<br/>トンネル[コンクリート]<br/>延長 500m<br/>半径 5m(2車線)<br/>検出項目[ひびわれ]<br/>ひび割れ密度:0.3/m<sup>2</sup>(ひび割れ密度は費用に影響しない)<br/>&lt;費用&gt;<br/>0.2mmひび検出の場合に500m1本の場合<br/>撮影時間:2日※<br/>※当社ではなく利用者様による撮影<br/>※従来点検と併用して使用を想定<br/>ひびみつけ費用:約450,000円</p> <p>0.2mmひび検出の場合に500m10本の場合<br/>使用量に応じて割引となり上記より1本辺りの単価は安価になります。詳細はお問合せください。</p> <p>対象となるひび割れ幅で写真の枚数が増減するため費用が変わる。<br/>サービス料のみで、消費税・一般管理費等は作業者の人件費等は含まず。</p> | 社会インフラ画像診断サービス「ひびみつけ」費用<br>写真1枚辺り~400円(消費税別)<br>使用量に応じて割り引きます。   |
| 作業条件・運用条件           |   |  |
| 保険の有無、保障範囲、費用       | 保険:無  | 補償範囲などについては、ホームページからのユーザー登録時に表示される利用同意書をご参照願います。   |
| 時間帯(夜間作業の可否)        | ソフトウェア操作に時間は含まず。  | ソフトウェアのメンテナンスタイムについては、ホームページからのユーザー登録時に表示される利用同意書をご参照願います。   |
| 計測時の走行速度条件          | 撮影した機器に準ずる。   | 撮影した画像を確認しひび割れが視認できること、またプレによってひび幅が太く見えないことが必要。  |
| 渋滞時の計測可否            | 撮影した機器に準ずる。   | -  |
| 設備等による死角条件          | 撮影した機器に準ずる。   | -  |
| 車両から覆工表面までの距離条件     | 撮影した機器に準ずる。   | -  |
| トンネル内照明の消灯の必要性      | 撮影した機器に準ずる。   | -  |
| 可搬性(寸法・重量)          | ノートパソコンにインストールし持ち運び可能。  | -  |
| 自動制御の有無             | 撮影した機器に準ずる。   | -  |
| 利用形態:リース等の入手性       | ・利用形態:ソフトウェアサービス<br>社会インフラ画像診断サービス「ひびみつけ」のソフトウェアは当社HPよりユーザー登録を行えば無償でインストール可能<br>詳細はホームページよりお問い合わせください。  | ・ソフトウェアを通じて解析を行った写真1枚毎に課金を行う従量課金型ソフトウェアサービス<br>・「ひびみつけ」ホームページURL:<br><a href="https://www.fujifilm.com/jp/ja/business/inspection/infraser/vice/hibimikke">https://www.fujifilm.com/jp/ja/business/inspection/infraser/vice/hibimikke</a> |
| 関係機関への手続きの必要性       | ソフトウェアのため、対象外。  | -  |
| 解析ソフトの有無と必要作業及び費用等  | 当サービスは解析ソフトであり、費用については利用形態をご参照ください。   | -  |
| 不具合時のサポート体制の有無及び条件  | 撮影・計測装置:撮影した計測機器(車載カメラ・ロボット等)の仕様に準ずる。<br>ソフトウェア利用に関する問い合わせは当社HPまたは代理店にて対応致します。  | -  |
| センシングデバイスの点検        | -   | -  |
| その他                 | 特許状況:特になし<br>気象条件:特になし<br>作業条件:特になし   | -  |

7. 図面

変状展開図合成



弊社は撮影システムの提案も行っています。撮影した画像を合成して変状展開図にする事が可能です。

1. 基本事項

|         |  |   |         |
|---------|--|---|---------|
| 技術番号    | TN010003-V0221   |   |         |
| 技術名     | 走行型高精細画像計測システム(トンネルトレーサー)  |   |         |
| 技術バージョン | TT-2.2   | 作成: 2021年10月  |         |
| 開発者     | 中外テクノス株式会社   |   |         |
| 連絡先等    | TEL: 052-739-3708  | E-mail: tosaki@chugai-tec.co.jp   | 大崎      |
| 現有台数・基地 | 1台   | 基地  | 愛知県名古屋市 |
| 技術概要    | <p>走行型高精細画像計測システム(トンネルトレーサー)は、民生用4Kビデオカメラとラインセンサカメラの2種類の画像センサを搭載した走行型画像計測システムである。ラインセンサカメラを主に使用し、ラインセンサカメラが適さないトンネル(漏水が多く発生し、画像が白飛びするトンネルや路面が不陸なトンネル)では4Kビデオカメラを使用して撮影を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計測の原理やプロセス</li> <li>・計測結果の活用</li> </ul> <p>車両等に搭載したカメラを撮影面に対して平行に走行しながら撮影する。<br/>交通規制なしで高解像度の覆工面画像を取得し、ひび割れやその他の変状を検出して展開画像や変状展開図を作成することができる。</p> |   |         |
| 技術区分    | 対象部位   | 覆工の横断方向目地/覆工の縦断方向打ち継目/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/警報表示板/標識/ジェットファン/その他付属物/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 |         |
|         | 変状の種類  | 本体内における圧さ/ひび割れ/うき(範囲を示すチョーキングがあるもの)/はく離/変形/移動/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/変形/欠損                        |         |
|         | 物理原理   | 動画、画像   |         |

2. 基本諸元

|                             |                    |  |   |
|-----------------------------|--------------------|--|---|
| 計測機器の構成                     |                    | 本計測機器は「移動用車両」に「専用フレーム」を積載した分離構造としている。積載した「専用フレーム」には複数の「ビデオカメラ」、「ラインセンサカメラ」、「LED照明」を取り付け「制御盤」や「パソコン」により操作することで撮影を行う。  |   |
| 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搭載して移動する。</li> <li>・歩道トンネルなどでは小型フレームに取り付けて手押し台車や電動台車で移動することも可能。</li> </ul>  |   |
|                             | 外形寸法・重量            | <p>【車両】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・分離構造(移動装置)</li> <li>・最大外形寸法(長さ4275mm×幅1675mm×高さ1890mm)</li> <li>・最大重量(2050kg)</li> </ul>   |   |
|                             | 搭載可能容量(分離構造の場合)    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・最大外形寸法(長さ2480mm×幅1585mm×高さ3280mm)</li> <li>・最大重量(800kg)</li> </ul>   |   |
|                             | 動力                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・動力源: 内燃機関</li> <li>・燃料: 無鉛レギュラーガソリン</li> <li>・定格出力: 71kW</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>・内燃機関のため対象外</li> </ul>  |   |
| 計測装置                        | 設置方法               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・分離構造、車両の荷台枠内にはめ込み。</li> </ul>  |   |
|                             | 外形寸法・重量(分離構造の場合)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・最大外形寸法(長さ2380mm×幅1650mm×高さ2100mm)</li> <li>・最大重量(500kg)</li> </ul>   |   |
|                             | センシングデバイス          | カメラ  | <p>4Kビデオカメラ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・画素サイズ 1型(縦13.2mm×横8.8mm)</li> <li>・画素数(縦3840×横2160pixel)</li> <li>・焦点距離(<math>f=9.3\sim 111.6\text{mm}</math>)</li> <li>・フレーム数(30fps)</li> <li>・覆工展開画像形式(オルソモザイク)</li> <li>・覆工展開画像1スパンあたり(2車線道路・10.5m/スパンを目安)のデータ容量: 約2GB(カメラ20台合計)</li> </ul> <p>ラインセンサカメラ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・画素数: 4096×3ライン</li> <li>・画素サイズ 10.56 <math>\mu\text{m}</math> × 10.56 <math>\mu\text{m}</math></li> </ul> |
|                             |                    | パン・チルト機構   | <p>4Kビデオカメラ、ラインセンサカメラ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水平 調整不可</li> <li>・鉛直 0° ~ 360°</li> </ul>   |
|                             |                    | 角度記録・制御機構機能  | <p>4Kビデオカメラ、ラインセンサカメラ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・鉛直方向のみ手動調整</li> </ul>   |
|                             |                    | 測位機構   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・レーザードップラー計</li> </ul>   |
|                             | 耐久性                | IP00 (防水・防塵等の保護なし)   |   |
|                             | 動力                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・充電されたバッテリーからの電源供給又は内蔵バッテリーからの電源供給。</li> </ul>  |   |
|                             | 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   | <p>4Kビデオカメラ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラに内蔵された記録装置を使用。</li> </ul> <p>ラインセンサカメラ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・フレーム内に固定。</li> </ul>  |
| 外形寸法・重量(分離構造の場合)            |                    | <p>4Kビデオカメラ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラに内蔵された記録装置を使用するため外形寸法なし。</li> </ul> <p>ラインセンサカメラ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・装置寸法 記録装置: 長さ274mm X 幅154mm X 高さ350mm、重さ7.93kg (開発中未定)</li> </ul>                        |   |
| データ収集・記録機能                  |                    | <p>4Kビデオカメラ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラに挿入されたSDカードに保存。</li> </ul> <p>ラインセンサカメラ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・有線接続されたパソコンに記録。</li> </ul>  |   |
| 通信規格(データを伝送し保存する場合)         |                    | <p>4Kビデオカメラ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・通信なし</li> </ul> <p>ラインセンサカメラ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・通信方法 有線による、CameraLink</li> <li>・通信規格 CameraLink</li> <li>・通信速度 255Mbps-850Mbps</li> <li>・通信距離 7m~15m</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>通信装置なし</li> </ul>   |   |
| 動力                          |                    | <p>4Kビデオカメラ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラに内蔵された記録装置を使用するためカメラの電源に依存する。</li> </ul> <p>ラインセンサカメラ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・車載した撮影装置専用バッテリーからの給電による。</li> <li>・外部電源等からの充電を行う。</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>・専用バッテリーからの給電により連続2時間以上(気温20°Cの場合)使用可能。</li> <li>・計測機器とは別に電源を確保することで無制限に連続使用が可能。</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 | 車両搭載の場合<br>・最小所要空間寸法 幅3000mm X 高さ4000mm程度<br>・道路幅員3000mm X 高さ4000mm<br><br>手押し台車の場合<br>・最小所要空間寸法 幅1500mm X 高さ1500mm程度<br>・道路幅員1500mm X 高さ1500mm | 断面形状に変化が無いこと。<br>(非常駐車帯等断面形状が異なる箇所がある場合は別設定で改めて撮影する) |
| 適用可能なトンネルの最大寸法 | ・車両との離隔が側方8m以上または上方8m以上となる場合は不可。  | 車両との離隔が大きいまたはトンネル内の環境が悪い等で撮影に必要な照度が得られないので場合は不可。     |

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   | 路面が未舗装などで車体が大きく揺れる場合は不可。   |
|                     |  |  | ・40km/h   |  |
|                     | 計測精度   | 性能確認シートの有無 ※   | 有   | 【撮影速度】40km/h以下(検証時:40km/h)<br>【被写体との距離】8m以内(検証時:1.5m)<br>【補助手段】断面方向の距離マーカー、進行方向の距離マーカー又はスパン長が必要<br>【天候】雨天時撮影不可(検証時:曇)<br>【路面状態】路面に不陸がある場合は撮影不可。<br>【日照条件】なし。(※白飛びしている場合は、屋外設定にて再度撮影) |
|                     |  | 【性能値】<br>未検証   |   |  |
|                     |  | 【標準試験値】<br>4Kビデオカメラ<br>最小ひび割れ幅0.2mm (0.2mmのひび割れを画像で確認できる)<br>計測精度0.46mm (0.1~3mmのひび割れを対象とした確認精度)<br>ひび割れ幅の最小単位:0.1mm<br>ひび割れ長さの最小単位:1mm<br><br>ラインセンサカメラ<br>最小ひび割れ幅0.1mm (0.1mmのひび割れを画像で確認できる)<br>計測精度0.19mm (0.1~5mmのひび割れを対象とした確認精度)<br>ひび割れ幅の最小単位:0.1mm<br>ひび割れ長さの最小単位:1mm |   |  |
| 長さ計測精度<br>(長さの相対誤差) | 性能確認シートの有無 ※   | 有  | 【補助手段】断面方向の距離マーカー、進行方向の距離マーカー又はスパン長が必要  |  |
|                     | 【性能値】<br>未検証   |  |   |  |
|                     | 【標準試験値】<br>4Kビデオカメラ<br>1.26%<br><br>ラインセンサカメラ<br>0.57%   |  |   |  |
| 位置精度                | 性能確認シートの有無 ※   | 有  | 【撮影速度】40km/h以下(検証時:40km/h)<br>【被写体との距離】8m以内(検証時:1.5m)<br>【補助手段】断面方向の距離マーカー、進行方向の距離マーカー又はスパン長が必要 |  |
|                     | 【性能値】<br>未検証<br><br>【標準試験値】<br>4Kビデオカメラ<br>進行方向: 11.5mm (6測線の平均値)<br>周方向: 35.8mm (6測線の平均値)<br><br>ラインセンサカメラ<br>進行方向: 8.5mm<br>周方向: 6.0mm |  |   |  |
| 色識別性能               | 性能確認シートの有無 ※   | 有  | 条件なし  |  |
|                     | 【性能値】<br>フルカラー識別可能   |  |   |  |
|                     | 【標準試験値】<br>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>4Kビデオカメラ<br/>①動画から静止画へ変換する。<br/>②静止画にオルソ補正を行う。</p> <p>ラインセンサカメラ<br/>①、②省略</p> <p>以下共通<br/>③スパン単位で画像の結合を行う。<br/>④ひび割れ作図ソフトにてひび割れを抽出すると共にひび割れ長さの計測を行う。<br/>⑤抽出したひび割れをDXFに変換し、CADソフトに読み込む。<br/>⑥CADソフトに展開画像を読み込み、ひび割れ以外の変状を手動で抽出する。</p> <p>延長500mのトンネル1本あたり9日</p> |   |   |
| <p>ソフトウェア情報</p>              | <p>ソフトウェア名</p>  | <p>・「動画変換」(自社開発ソフト、①動画から静止画変換用)<br/>・「連続変換」(自社開発ソフト、②オルソ補正用)<br/>・「TT画像合成処理」(自社開発ソフト、③画像結合用)<br/>・「ひび割れ作図システム」(自社開発ソフト、④ひび割れ抽出+⑤DXF変換用)</p>   |   |
|                              | <p>検出可能な変状</p>  | <p>【覆工】 ひび割れ(幅および長さ)、遊離石灰、はく落、鋼材腐食、漏水、豆板、土砂流出<br/>【内装板】 変形、破損、取付部材の腐食、脱落<br/>【路面】 ひび割れ、耐水、土砂堆積<br/>【付属物】 腐食、変形、破損</p>   |   |
|                              | <p>変状検出の原理・アルゴリズム</p>   | <p>ひび割れ</p>   | <p>ケース①【ノンチョーキング】<br/>・技術員による目視検出<br/>ケース②【チョーキングひび割れ】<br/>・AI(畳み込みニューラルネットワーク)によるチョーキングの自動検出<br/>・AI教師データは、ひび割れに関する写真に、技術者がチョーキング部分を学習させている。<br/>教師データ画像は、1万枚以上。<br/>・撮影条件・仕様<br/>1) ラインセンサカメラ、4Kビデオカメラ<br/>2) 画像フォーマット(カラー:JPEG、BMP)<br/>3) 正対した画像であること。(別途、あおり補正することも可能)</p> |
|                              | <p>ひび割れ幅および長さの計測方法</p>  | <p>ひび割れ幅および長さの計測方法</p>  | <p>・ひび割れ幅:校正用画像との比較により技術員が計測<br/>・長さ:ひび割れ作図ソフト上でトレース、作図した画像の長さを分割した直線長さで自動読み取り</p>  |
|                              | <p>ひび割れ以外</p>   | <p>ひび割れ以外</p>   | <p>【うき、剥離以外】<br/>・技術員による目視により検出<br/>【うき・剥離】<br/>・近接点検時に記入した変状箇所を示すチョークの画像を技術員が確認し記入する。</p>  |
|                              | <p>画像処理の精度(学習結果に対する性能評価)</p>  | <p>画像処理の精度(学習結果に対する性能評価)</p>  | <p>・ノンチョーキングひび割れの検出:人為による<br/>・チョーキングひび割れの検出:再現率90%以上・適合率80%以上・F値90%以上(別検検証用に正解データを準備し、AIより検出したチョーキング結果画像と比較)</p>   |
|                              | <p>変状の描画方法</p>  | <p>変状の描画方法</p>  | <p>・ひび割れ:ポリライン<br/>・ひび割れ以外:ポリゴン</p>   |
|                              | <p>取り扱い可能な画像データ</p>   | <p>ファイル形式<br/>ファイル容量<br/>カラー／白黒画像<br/>画素分解能<br/>その他留意事項</p>   | <p>JPEG<br/>1GB<br/>カラー<br/>・ひび割れ幅0.3mmを検出するためには0.5mm/Pixel以下であることが必要<br/>・漏水や結露で覆工面が光っている場合には損傷の検出が困難。</p>   |
|                              | <p>出力ファイル形式</p>   | <p>出力ファイル形式</p>   | <p>【画像】 JPEG<br/>【ひび割れ】 DXF<br/>【損傷展開図】 DXF、DWG</p>   |
|                              | <p>調書作成支援の手順</p>  | <p>①適応条件に記載の条件によりスパン単位の結合画像を取得する。<br/>②タッチパネルディスプレイ付きのパソコンで結合画像をひび割れ作図ソフトに読み込み、ひび割れを検出する。<br/>③ひび割れ以外の損傷も同時に検出する。<br/>④検出したひび割れやその他の損傷をCADデータとして出力する。<br/>⑤CADにより損傷図の追記、修正を行う。<br/>⑥点検調書の様式に損傷図を貼りこむ。<br/>⑦点検調書にスパン番号等の情報を手動入力する。<br/>⑧ひび割れ作図ソフト上で選択した損傷を写真台帳へ自動で取り込む。<br/>⑨点検調書をEXCELにより追記修正して完成させる。</p> |   |
| <p>調書作成支援の適用条件</p>           | <p>・以下の条件で撮影し、鮮明な画像データが得られるように撮影すること。<br/>1) 40km/h程度の一定速度で走行する。<br/>2) 撮影面との離隔を一定に保つ。<br/>3) 画像の解像度は0.5mm/pix以下となるよう撮影</p>   |   |   |
| <p>調書作成支援に活用する機器・ソフトウェア名</p> | <p>・ひび割れ記入のためのタッチパネルディスプレイ<br/>・画像処理用のパソコン:OS Windows10、CPU Core i7以上<br/>・「動画変換」(自社開発ソフト、動画から静止画変換用)<br/>・「連続変換」(自社開発ソフト、オルソ補正用)<br/>・「TT画像合成処理」(自社開発ソフト、画像結合用)<br/>・「ひび割れ作図システム」(自社開発ソフト、ひび割れ抽出+DXF変換用)<br/>・クラウドサービスの提供の有無:無</p>                               |   |   |



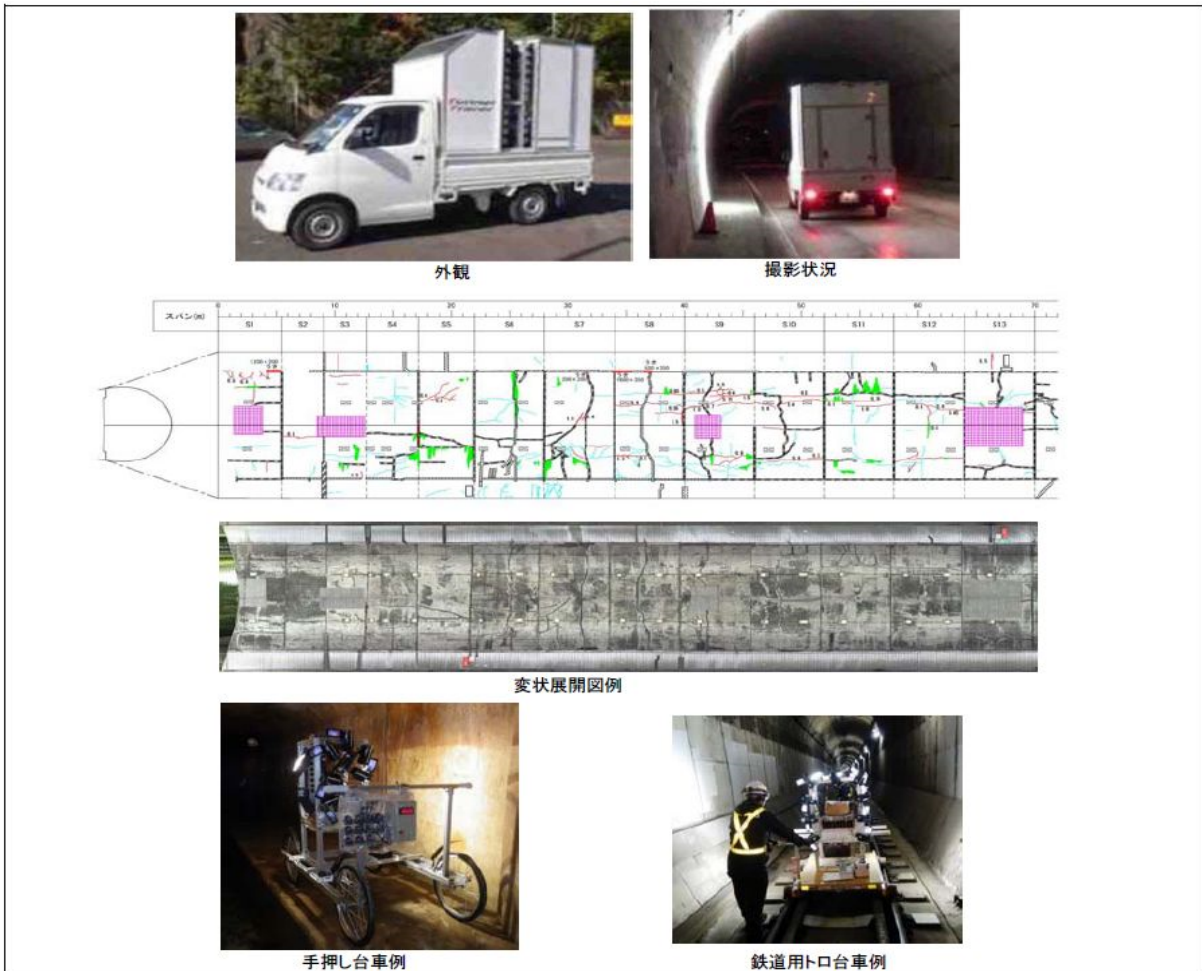
6. 留意事項(その1)

| 項目                              | 適用可否/適用条件      | 特記事項(適用条件)   |   |
|---------------------------------|----------------|--|---|
| 点<br>検<br>時<br>現<br>場<br>条<br>件 | 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 | ・無線の使用無し   |   |
|                                 | 交通規制の要否        | ・不要  | 照明を当てながら覆工面を撮影することから歩行者のいない状態での撮影が望ましい。 |
|                                 | 交通規制の範囲        | ・不要  |   |
|                                 | 現地への運搬方法       | ・自走による   |   |
|                                 | 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        | ・断面形状に変化が無いこと<br>(非常駐車帯等断面形状が異なる箇所がある場合は別設定で改めて撮影する) |   |
|                                 | その他            | ・すす汚れによる作業の可否:可                                      |   |

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            | ・特になし   |                          |
| 必要構成人員数             | ・点検員1人、車両運転員兼点検補助員1人 合計2名   |                          |
| 操作に必要な資格等の有無、フライト時間 | ・社内研修   |                          |
| 操作場所                | ・車両内および車両周辺   | カメラの調整や撮影画像確認のための駐車場所が必要 |
| 計測作業日数              | ・計測作業日数:2.5日(トンネル10本あたり)  | 移動日別                     |
| 点検費用                | ・800千円(延長500m×1本)<br>・3,700千円(延長500m×10本)   | 移動費・その他原価 一般管理別          |
| 保険の有無、保障範囲、費用       | ・加入なし(自動車保険のみ)  |                          |
| 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          | ・40km/h以下(高精細画像撮影時)<br>・60km/h以下(チョーキング撮影時)   |                          |
| 渋滞時の計測可否            | ・渋滞時計測不可  |                          |
| 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撮影不可  |                          |
| 車両から覆工表面までの距離条件     | ・8m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)          | ・小型の架台に取り付け可能。対象に合わせて架台寸法の変更可能。   |                          |
| 自動制御の有無             | ・自動制御無  |                          |
| 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   |                          |
| 解析ソフトの有無と必要作業及び費用等  | ・画像結合ソフト:「TT画像合成処理」(自社開発ソフト)<br>・解析ソフト:「ひび割れ作画システム」(自社開発ソフト)<br>・必要作業:担当者による解析作業<br>・費用:50000円/km |                          |
| 不具合時のサポート体制の有無及び条件  | ・サポート体制無し   |                          |
| センシングデバイスの点検        | ・必要なし   |                          |
| その他                 | ・特許状況:特になし<br>・気象条件:雨天時撮影不可<br>・作業条件:路面が未舗装などで車体が大きく揺れる場合は不可。                                     |                          |

7. 図面



1. 基本事項

|         |   |  |                             |
|---------|---|--|-----------------------------|
| 技術番号    | TN010004-V0221  |  |                             |
| 技術名     | 道路性状測定車両イーグル(L&Lシステム)   |  |                             |
| 技術バージョン | —   | 作成: 2021年10月   |                             |
| 開発者     | 西日本高速道路エンジニアリング四国㈱  |  |                             |
| 連絡先等    | TEL: 087-834-2404   | E-mail: tatsuya.yamamoto@w-e-shikoku.co.jp                                       | 土木事業本部 調査点検部 調査点検課<br>山本 達哉 |
| 現有台数・基地 | 1台  | 基地   | 香川県高松市花園町三丁目1番1号            |
| 技術概要    | カラーラインセンサーカメラによる高精細な可視画像撮像システムを用いて、ひび割れ、はく離、漏水等の外観変状を検出する技術である。 |  |                             |
| 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/照明/ケーブル類/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 |                             |
|         | 変状の種類   | 本體工における圧ざ/ひび割れ/はく離/漏水等による変状、ならびに附属物本體・取付部材等の破断/脱落/亀裂/腐食/欠損                       |                             |
|         | 物理原理  | 画像   |                             |

2. 基本諸元

|                      |   |   |   |
|----------------------|---|---|---|
| 計測機器の構成              |   | 【計測機器の構成】<br>本計測機器は、「カラーラインセンサーカメラとLED照明を固定した計測装置」と「各カメラのデータを保存するSSDと処理装置(PC)を組み合わせた記録装置」を「移動車両」に一体化させたものである。 |   |
| 移動装置                 | 移動原理  | 【車両型】<br>・内燃機関を搭載した車両にて移動する。<br>・車両にセンシング機器を設置し、交通流にそって走行しながら車道と撮影対象箇所の離隔の範囲内でアプローチするもの。                      |   |
|                      | 外形寸法・重量   | ・一体構造(移動装置+計測装置)<br>・最大外形寸法(長さ7020mm×幅2180mm×高さ3140mm)※測定車両寸法<br>・最大重量(6185kg)※測定車両重量                         |   |
|                      | 搭載可能容量<br>(分離構造の場合)   | -   |   |
|                      | 動力  | 計測機器を搭載した車両による移動<br>・動力源:内燃機関<br>・燃料:ディーゼル  |   |
|                      | 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合)  | -   |   |
| 計測装置                 | 設置方法  | ・移動装置と一体的な構造。   |   |
|                      | 外形寸法・重量<br>(分離構造の場合)  | -   |   |
|                      | センシングデバイス   | カメラ   | 【カラーラインセンサーカメラ】<br>・画素数(4096画素)<br>・覆工展開画像形式 : その他(Jpeg)<br>・覆工展開画像1スパンあたり(2車線道路・10.5m/スパンを目安)のデータ容量 : 約25MB(Jpegの場合) |
|                      |   | パン・チルト機構  | -   |
|                      |   | 角度記録・制御機構機能   | ・カメラの画角は固定  |
|                      |   | 測位機構  | ・車速センサー、覆工断面、カメラの位置・画角、レーザ距離計   |
|                      | 耐久性   | ・計測機器の防水・防塵性能無し   |   |
|                      | 動力  | ・動力源:電気式<br>・電源供給方法:発電機<br>・定格容量:AC100V、12KVA   |   |
|                      | 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合)  | 車両搭載の発電機による稼働<br>【カタログ掲載値】<br>・燃料タンク容量 … 62 L<br>・燃料消費量 … 3.2 L/h<br><br>・連続稼働時間 : 62 (L) / 3.2 (L/h) ≒ 約19時間 |   |
|                      | 設置方法  | ・移動装置と一体的な構造。   |   |
| 外形寸法・重量<br>(分離構造の場合) | -   |   |   |
| データ収集・記録機能           | ・カメラに付属した記録メディア(SSD)にてデータを保存する。保存データは、有線接続された計測用PCにて確認可能。現場作業完了後、SSDから記録用ハードディスクにデータをコピーする。 |   |   |
| データ収集・通信装置           | 通信規格<br>(データを伝送し保存する場合)   | -   |   |
|                      | セキュリティ<br>(データを伝送し保存する場合)   | -   |   |
|                      | 動力  | ・動力源:電気式<br>・電源供給方法:発電機<br>・定格容量:AC100V、12KVA   |   |
|                      | データ収集・通信可能時間<br>(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>・道路幅員2180mm×高さ3140mmよりも大きく、車両が走行できること</li> </ul> | —                    |
| 適用可能なトンネルの最大寸法 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・計測機器との離隔が3.5m～5.0m程度であること</li> </ul>            | —                    |

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 | —                    |
|       |  | 【性能値】<br>未検証<br>【標準試験値】<br>・100km/h以下<br>(検証時の走行速度:40~45km/h)   |   |                      |
|       | 計測精度   | 性能確認シートの有無 ※  | 有 | —                    |
|       |  | 【性能値】<br>未検証<br>【標準試験値】<br>・最小ひび割れ幅 : 0.3mm(0.3mmのひび割れを画像で視認できる)<br>・計測精度 : 0.42mm(0.3mmのひび割れのみを対象とした検出精度)<br>・ひび割れ幅の最小単位 : 0.1mm |   |                      |
|       | 長さ計測精度<br>(長さの相対誤差)  | 性能確認シートの有無 ※  | 有 | —                    |
|       | 【性能値】<br>未検証<br>【標準試験値】<br>・長さの相対誤差 : 1.8%<br>・ひび割れ長さの最小単位 : 1mm |   |   |                      |
| 位置精度  | 性能確認シートの有無 ※   | 有   | — |                      |
|       | 【性能値】<br>未検証<br>【標準試験値】<br>・進行方向 : 63.7mm<br>・周方向 : 28.7mm       |   |   |                      |
| 色識別性能 | 性能確認シートの有無 ※   | 有   | — |                      |
|       | 【性能値】<br>・フルカラー識別可能<br>【標準試験値】<br>・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半断面分の撮影データ(3枚分)を合成し、明度調整、トンネル目地(スパン区切り)設定を行い、画像出力を行う。<br/>                 ②出力したスパン毎のトンネル全周分(合計6枚分)の画像データを合成し、1スパン単位の覆工展開画像を作成する。<br/>                 ③1スパン毎の覆工展開画像を「トンネル診断システム」を用いて読み込み、トンネル毎に展開画像を表示する。<br/>                 ④上記覆工展開画像を目視で確認し、ひび割れ等の変状を手動で抽出する。</p> <p>※各作業①～④で使用するソフトウェアについては、次項「ソフトウェア名」を参照。</p> |   |  |
| ソフトウェア情報              | ソフトウェア名   | <p>①ひび割れ統合編集ソフトウェア(自社開発ソフト)<br/>                 ②覆工画像作成ソフト(自社開発ソフト)<br/>                 ③④トンネル診断システム(自社開発ソフト)</p>   |   |  |
|                       | 検出可能な変状   | <p>・ひび割れ(幅および長さ)、はく落跡、骨材露出(ジャンカ)、エフロレッセンス、漏水</p>  |   |  |
|                       | 変状検出の原理・アルゴリズム  | ひび割れ  | <p>・覆工展開画像を「トンネル診断システム」にて拡大表示し、システム内に実装されている疑似的なクラックスケールを画像上のひび割れ付近に設置して、目視にてひび割れ幅を人力で判定し、手動で抽出を行う。<br/>                 ※抽出のためのシステム操作を習得している者であれば、特別な技術は不要。</p>                        |  |
|                       |   | ひび割れ幅および長さの計測方法   | <p>・幅:画像上に疑似的なクラックスケールを設置して計測<br/>                 ・長さ:ひび割れ沿いの長さを自動計測<br/>                 上記項目については、「トンネル診断システム」により計測が可能。<br/>                 ※抽出のためのシステム操作を習得している者であれば、特別な技術は不要。</p> |  |
|                       |   | ひび割れ以外  | <p>・うき・はく離、鋼材腐食:変状箇所を示すチョークを含む画像を基に、目視確認し、手動抽出。<br/>                 ※抽出のためのシステム操作を習得している者であれば、特別な技術は不要。</p>  |  |
|                       |   | 画像処理の精度(学習結果に対する性能評価)   | <p>—</p>  |  |
|                       |   | 変状の描画方法   | <p>・ひび割れ:ポリライン<br/>                 ・ひび割れ以外:ポリゴン</p>  |  |
|                       | 取り扱い可能な画像データ  | ファイル形式  | <p>JPEG</p>   |  |
|                       |   | ファイル容量  | <p>約25MB</p>  |  |
|                       |   | カラー/白黒画像  | <p>カラー/白黒画像</p>   |  |
| 画素分解能                 |   | <p>・ひび割れ幅0.2mmを検出するためには1mm/Pixel以下であることが必要</p>  |   |  |
| その他留意事項               | <p>・覆工面に正対した画像であること<br/>                 ・覆工面が煤により汚れている場合は、ひび割れの検出が困難<br/>                 ・坑口部が白飛びしている場合は、変状の検出が困難<br/>                 ・漏水が多い(滴水)箇所はハレーションが生じやすく、変状の検出が困難</p> |   |   |  |
| 出力ファイル形式              | <p>・JPEG(画像データ)<br/>                 ・DXF(ひび割れ展開図)</p>  |   |   |  |
| 調書作成支援の手順             | <p>—</p>  |   |   |  |
| 調書作成支援の適用条件           | <p>—</p>  |   |   |  |
| 調書作成支援に活用する機器・ソフトウェア名 | <p>—</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        | ・回転灯の点灯<br>・電光表示パネルにて「調査中」表示                       | — |
|         | 無線等使用における混線等対策 | ・特に無し  | — |
|         | 交通規制の要否        | ・交通規制は必要ないが、覆工表面に照明を当てながら計測するため、歩行者がいない状態での計測が望ましい | — |
|         | 交通規制の範囲        | ・不要  | — |
|         | 現地への運搬方法       | ・測定機器が搭載された車両により自走運搬                               | — |
|         | トンネル延長の制約      | ・特に無し(記録媒体の上限まで)                                   | — |
|         | 車線数の制約         | ・特に無し  | — |
|         | 断面形状の制約        | ・道路幅員2180mm×高さ3140mmよりも大きく、車両が走行できること              | — |
| その他     | —              | —  |   |

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            | ・解析システムの操作方法を習得したもの<br>※システム操作は簡単で、短時間で習得可能(特別な技術は不要)                                    | —          |
| 必要構成人員数             | ・現場責任者1人、機器操作者1人、車両運転員1人<br>(合計3名)   | —          |
| 操作に必要な資格等の有無、フライト時間 | ・計測車両の運転 : 中型免許<br>・測定・解析システム : 特に無し(システム操作の習得)  | —          |
| 操作場所                | ・計測車両 後部座席PC設置場所   | —          |
| 計測作業日数              | 準備・片付けで約1時間程度<br>点検作業時間は、対象トンネル延長の往復走行時間   | —          |
| 点検費用                | 【概算費用】(外内業含む)<br>直接人件費 : 375,200円<br>直接経費 : 1,762,000円<br>(周長17m×延長500m×10トンネルの場合)       | —          |
| 保険の有無、保障範囲、費用       | ・無し  | —          |
| 時間帯(夜間作業の可否)        | ・坑口付近に直射日光が当たっている場合、坑口付近と坑内の輝度の差が大きくなるため、画像が白飛びしてしまう。<br>(晴天の昼間よりも、曇天・夕方～夜間の方が望ましい)      | —          |
| 計測時の走行速度条件          | ・100km/h以下   | —          |
| 渋滞時の計測可否            | ・渋滞による低速走行は計測可能<br>(ただし、車両が完全停止する場合は計測不可)  | —          |
| 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撮影不可   | —          |
| 車両から覆工表面までの距離条件     | ・計測機器との離隔が3.5～5.0m程度であること  | —          |
| 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)          | ・測定機器が搭載された車両による移動   | —          |
| 自動制御の有無             | ・可視画像撮影カメラにオートフォーカス機能有り<br>(事前に標準断面図から、計測機器と覆工表面までの距離を計算する必要有り)                          | —          |
| 利用形態:リース等の入手性       | ・請負業務<br>・計測車両および解析ソフトウェアの販売可能   | —          |
| 関係機関への手続きの必要性       | ・交通管理者との協議   | —          |
| 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<br>(ライセンス契約による販売可)<br>・必要作業 : 担当者による解析作業<br>(担当者: 解析ソフトの操作方法を習得したもの) | —          |
| 不具合時のサポート体制の有無及び条件  | ・測定機器、解析システムの購入に応じてサポート体制有り  | —          |
| センシングデバイスの点検        | ・測定機器は開始前に動作確認を行う<br>・年1回、機器メンテナンスを行う  | —          |
| その他                 | ・計測・解析システムの動作条件(※推奨値)<br>OS: Windows7、10<br>メモリ: 8GB以上<br>CPU: Intel Core i5             | —          |

作業条件・運用条件

7. 図面



7020mm



2180mm

1. 基本事項

|         |  |   |                            |
|---------|--|---|----------------------------|
| 技術番号    | TN010005-V0121   |   |                            |
| 技術名     | 社会インフラモニタリングシステム(MMSD II)  |   |                            |
| 技術バージョン | MMSD II  | 作成:   | 2021年10月                   |
| 開発者     | 三菱電機株式会社   |   |                            |
| 連絡先等    | TEL: 03-3218-1962  | E-mail: Nakata.Masafumi@ah.MitsubishiElectric.co.jp | 社会システム基盤技術部                |
| 現有台数・基地 | 2  | 基地  | 神戸市兵庫区和田崎町1-1-2 三菱電機 神戸製作所 |
| 技術概要    | <p>三菱インフラモニタリングシステム(MMSD II)は、8Kラインカメラ、高密度レーザーを搭載し、交通規制を行わずに走行しながらトンネル覆工面や路面を計測する技術である。</p> <p>計測した結果は、高解像画像データ・3次元点群データとして出力する。これらのデータを三菱電機が独自に開発したソフトウェアにより解析し、ひび割れ、遊離石灰、漏水等の変状を抽出する。抽出した変状は変状展開図や変状写真台帳として出力可能。</p> <p>注1)MMSDとは「Mitsubishi Mobile Monitoring System for Diagnosis」の略<br/>         注2)IMU(Inertial Measurement Unitの略):車のヨーイング、ピッチング、ローリングを検出する装置</p> |   |                            |
| 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/照明/ケーブル類/警報表示板/標識/その他附属物/はく落防止対策工/漏水対策工/排水施設/路肩及び路面  |   |                            |
| 変状の種類   | 本体工における圧ざ/ひび割れ/うき・はく離(チョーキングで示されたもの)/変形/移動/鋼材腐食/有効巻厚の減少/漏水、ならびに附属物の取付金具等の破断/緩み(合いマークで識別)/脱落/亀裂/腐食/変形/欠損  |   |                            |
| 物理原理    | 画像 / 3次元レーザー点群データ  |   |                            |

2. 基本諸元

|                        |   |   |   |
|------------------------|---|---|---|
| 計測機器の構成                |   | 6t貨物車両をベースとした車両に高密度レーザー、GNSS、IMU、8Kラインカメラ等のセンシング機器を搭載。<br>センシング機器のデータは車両に搭載した記録装置に保存する。 |   |
| 移動装置                   | 移動原理  | 車両型<br>・6t貨物車両をベースとした車両にセンシング機器を設置し、交通規制を行うことなく計測が可能。                                   |   |
|                        | 外形寸法・重量   | 計測車両寸法: 全高 3,340mm、幅 2,380mm、全長 8,410mm<br>総重量 : 10,705kg                               |   |
|                        | 搭載可能容量<br>(分離構造の場合)   | —   |   |
|                        | 動力  | ・動力源 : 内燃機関<br>・燃料 : ディーゼル<br>・定格出力: 13kVA<br>・バッテリーなどの仮設電源は不要                          |   |
|                        | 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合)  | —   |   |
| 計測装置                   | 設置方法  | 計測機器は、移動装置と一体的な構造   |   |
|                        | 外形寸法・重量<br>(分離構造の場合)  | —   |   |
|                        | センシングデバイス   | カメラ   | 8Kラインカメラ<br>・ピクセル数: 8,192pixel<br>・撮像範囲: 壁面全周+路面 ※路肩部については、撮影環境により制限あり                            |
|                        |   | パン・チルト機構  | —   |
|                        |   | 角度記録・制御機構機能   | ・GNSSによって車両自己位置を計測して記録<br>・IMUにより、3軸の角度と加速度を計測し記録   |
|                        |   | 測位機構  | 高密度レーザー、GPS、IMU、距離計を活用し、位置情報を取得する。取得した位置情報を元にレーザーデータに座標を付与する。高密度レーザーで取得した壁面の座標をラインカメラで撮像した画像に付与する |
|                        | 耐久性   | ・IP64 (高密度レーザー以外)<br>・IP54 (高密度レーザー)  |   |
|                        | 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<br>・バッテリーなどの仮設電源は不要   |   |
| 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合) | ・発電機とUPSから給電する機構を設けている。<br>・精度保持のため、8時間以内に一度シャットダウンを行い、再度セットアップを行うことで連続稼働が可能。<br>・ディスク容量、および発電機燃料は、計測前に容量確保・給油しておくことで連続稼働が可能。 |   |   |
| 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<br>(分離構造の場合)  | —   |   |
|                        | データ収集・記録機能  | ・計測装置内に、専用記録装置を備え、全ラインカメラの画像データ及び各種センシングデータを専用記録装置に記録<br>・データは、データセンターの大容量専用ストレージで保管    |   |
|                        | 通信規格<br>(データを伝送し保存する場合)   | ・通信方法 有線<br>・通信規格 USB3.0<br>・通信速度 -<br>・通信距離 -  |   |
|                        | セキュリティ<br>(データを伝送し保存する場合)   | ・専用記録装置から直接HDDへデータを転送<br>・HDDはボリューム全体を暗号化   |   |
|                        | 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<br>・バッテリーなどの仮設電源は不要   |   |
|                        | データ収集・通信可能時間<br>(データを伝送し保存する場合)   | ・計測機器とは別に電源を確保することで無制限に連続使用が可能  |   |

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 | 計測車両(全高:3.34m、幅:2.38m)が通過できるトンネル | 分合流部や非常駐車帯などでトンネル断面形状が大きく変化する場合は、断面形状の変化に合わせて別途計測を行う |
| 適用可能なトンネルの最大寸法 | 撮影するラインカメラの視点から7m                | 同上   |

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 | <p>■性能</p> <p>【画素分解能】</p> <p>1.0mm/pixel : 80km/h<br/>0.5mm/pixel : 60km/h<br/>0.25mm/pixel : 30km/h</p> <p>■環境</p> <p>【天候】荒天対応不可。雨天時は現場判断(検証時 晴れ)</p> <p>【路面状態】凍結・積雪対応不可。路面の段差や障害物などで車両走行に乱れが生じると画質に影響を及ぼす場合がある。</p> <p>【GNSS測位】</p> <p>GNSS測位不可時、計測精度に影響の出る場合がある</p> |
|      | 計測精度                | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | <p>■環境</p> <p>【日照条件】</p> <p>坑口付近は日光の影響を受ける場合があるため、坑口付近の照度差が安定する日没後の計測を推奨(検証時は昼間に計測)</p>  |
|      | 長さ計測精度<br>(長さの相対誤差) | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | <p>「撮影速度」「計測精度」に記載の環境条件に準拠</p> <p>【性能値】は良好なGPS受信を前提としたスペック</p>   |
|      | 位置精度                | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | <p>「撮影速度」「計測精度」に記載の環境条件に準拠</p> <p>【性能値】は良好なGPS受信を前提としたスペック</p>   |
|      | 色識別性能               | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | <p>「撮影速度」「計測精度」に記載の環境条件に準拠</p>   |

※「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>自社開発ソフトウェアを搭載した自社解析サーバーで、以下の処理を行うことで変状検出する。<br/>                 1)撮影した画像を自社開発のオリジナルソフトウェアにより3D実形状をもとに自動で貼り合わせる。(自動)<br/>                 2)変状(ひび割れ、遊離石灰・漏水)を自社開発のオリジナルソフトウェアにより抽出する。(自動)<br/>                 3)抽出した変状(ひび割れ、遊離石灰・漏水)をDXFに変換し、市販のCADソフト上で目視確認し、筋状の汚れ等ひび割れ以外の抽出結果を手動で削除する。(手動)<br/>                 4)手動編集したDXFを自社開発のオリジナルソフトウェアに登録し、ひび割れの長さ・幅、遊離石灰・漏水の大きさ(範囲)を自動計測する。(自動)<br/>                 5)うき、はく離、鋼材腐食については、手動により変状種別を判別する。(手動)</p> <p>【計測・解析作業日数】<br/>                 ①延長500mのトンネル1本の場合<br/>                 計測(外業) :1日 解析(内業) :1ヶ月程度<br/>                 ②延長500mのトンネル×10本を一括して計測する場合<br/>                 (対象トンネルは近隣地域にある想定)<br/>                 計測(外業) :5日程度 解析(内業) :2ヶ月程度</p> |  |  |
| <p>ソフトウェア情報</p>              | <p>ソフトウェア名</p>  | <p>三菱インフラモニタリングシステムⅡ(MMSDⅡ)オリジナルソフトウェア</p> |  |
|                              | <p>検出可能な変状</p>  | <p>ひび割れ(幅および長さ)、遊離石灰・漏水</p>                |  |
|                              | <p>変状検出の原理・アルゴリズム</p>   | <p>ひび割れ</p>                                | <p>画像の画素をソフトウェアで認識し、画素の輝度変化からひび割れ候補を抽出した後、特徴に基づきフィルタリングしひび割れを検出する</p>  |
|                              |   | <p>ひび割れ幅および長さの計測方法</p>                     | <p>・幅:ひび割れと自動検出した画素(pixel)数に、1pixelあたりの長さを乗ずることでひび割れ幅を算出する。ひび割れの境界部分の画素では、そのグレースケールに応じた値をひび割れ幅に加味する<br/>                 ・長さ:ひび割れをベクトル化して頂点数を減らしたうえで、その直線距離を計測する</p> |
|                              |   | <p>ひび割れ以外</p>                              | <p>人による解析の支援として、析出物、漏水の領域毎にディープラーニングにより検出・分類する。さらに、人手によりフィードバックを加え精度を向上する。</p>   |
|                              |   | <p>画像処理の精度<br/>(学習結果に対する性能評価)</p>          | <p>最小ひび割れ幅 0.3mm 計測精度 0.22mm<br/>                 最小ひび割れ幅の検証において撮影した画像から各模擬ひび割れ幅の計測結果と真値の誤差(mm)の二乗平均平方根を誤差として算出。</p>   |
|                              |   | <p>変状の描画方法</p>                             | <p>・ひび割れ :ポリライン<br/>                 ・ひび割れ以外:ポリゴン</p>  |
|                              |   | <p>取り扱い可能な画像データ</p>                        | <p>ファイル形式</p>  |
|                              | <p>ファイル容量</p>   |  | <p>覆工展開画像1スパンあたり(2車線道路・10.5m/スパンを目安)のデータ容量 :約250MB</p>   |
|                              | <p>カラー/白黒画像</p>   |  | <p>白黒</p>  |
| <p>画素分解能</p>                 | <p>ひび割れ幅0.3mmを検出するためには0.25mm/pixel以下であることが必要</p>  |  |  |
| <p>その他留意事項</p>               | <p>・覆工面に正対した画像であること<br/>                 ・ひび割れにチョークが重なっている場合は検出に影響することもある<br/>                 ・覆工面が煤により汚れている場合は、ひび割れの検出が困難な場合がある</p>   |  |  |
| <p>出力ファイル形式</p>              | <p>展開画像:JPEG 変状展開図:DXF 変状写真台帳:Excel</p>   |  |  |
| <p>調書作成支援の手順</p>             | <p>1) 点検調書の様式・既存データをシステムに取り込む<br/>                 2) 点検調書の様式に従い、新規入力項目を入力。既存データは、1)にてシステムに登録<br/>                 3) 現地撮影した画像データから展開画像を自動生成<br/>                 4) 展開画像をシステムで解析し、変状展開図を自動生成<br/>                 5) システムで自動生成した変状展開図を手動編集し、システムに登録<br/>                 6) 手動編集した変状展開図を基に、変状写真台帳を自動生成。必要に応じて変状写真台帳に追加項目を手動入力する。<br/>                 7) 点検調書としてとりまとめる</p>   |  |  |
| <p>調書作成支援の適用条件</p>           | <p>1) 被写体に対して正対して撮影<br/>                 2) ひび割れの計測精度が「最小ひび割れ幅0.2mm」となるように撮影</p>  |  |  |
| <p>調書作成支援に活用する機器・ソフトウェア名</p> | <p>三菱インフラモニタリングシステムⅡ(MMSDⅡ)オリジナルソフトウェア<br/>                 三菱多次元設備管理システム(MDMD)<br/>                 クラウドサービス提供については、今後サービス予定</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<br>検<br>時<br>現<br>場<br>条<br>件 | 安全面への配慮        | ・高密度レーザーは、クラス1であり人体への影響は無い。<br>・壁面および路面撮像用の赤外線レーザー照明はクラス3Rであるが、計測範囲への侵入検知、または走行速度が一定以下になることで、出力をクラス1に落とす安全装置を備える。 | —   |
|                                 | 無線等使用における混線等対策 | —   | —   |
|                                 | 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       | 車両による自走   | —   |
|                                 | トンネル延長の制約      | —   | —   |
|                                 | 車線数の制約         | —   | —   |
|                                 | 断面形状の制約        | 分合流部や非常駐車帯などでトンネル断面形状が大きく変化する場合は、断面形状の変化に合わせた別途計測を行う。   | 矩形断面やシェッドも計測可能  |
|                                 | その他            | すす汚れによる作業の可否 : 可  | 汚れやすす等でひび割れが見えづらい場合は、部分的にひび割れが確認できているエリアからひび割れの延長を想定する。 |

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                | 社内選定基準に基づく   | 計測の原理を理解し、機器操作・調整のスキルを習得した者  |
| 必要構成人員数                 | 現場責任者1名、点検員1名、点検補助員1名、車両運転員1名<br>合計4名  |  |
| 操作に必要な資格等の有無、<br>フライト時間 | 社内資格基準   | 計測の原理を理解し、機器操作・調整のスキルを習得した者  |
| 操作場所                    | 車両内  | トンネル周辺に作業ヤードは不要  |
| 計測作業日数                  | 8時間/日<br>【計測・解析作業日数】<br>①延長500mのトンネル1本の場合<br>計測(外業) : 1日 解析(内業) : 1ヶ月程度<br>②延長500mのトンネル×10本を一括して計測する場合<br>(対象トンネルは近隣地域にある想定)<br>計測(外業) : 5日程度 解析(内業) : 2ヶ月程度 |  |
| 点検費用                    | (各種条件により変動するため、個別にお問合せください)  |  |
| 保険の有無、保障範囲、費用           | 加入済み<br>保証範囲 : 対人、対物<br>保証金額 : 無制限   |  |
| 時間帯(夜間作業の可否)            | -(夜間作業は可)  | 坑口付近の照度差が安定する夜間作業を推奨   |
| 計測時の走行速度条件              | 最大80km/h   | 【画素分解能】<br>0.7mm/pixel : 80km/h<br>0.5mm/pixel : 60km/h<br>0.25mm/pixel : 30km/h |
| 渋滞時の計測可否                | 停止を伴わない範囲であれば渋滞でも計測は可能   |  |
| 設備等による死角条件              | ジェットファン・照明等の附属物、内装板の背面は撮影不可  |  |
| 車両から覆工表面までの 距離<br>条件    | 2m~7m  |  |
| トンネル内照明の消灯の必要性          | なし   |  |
| 可搬性(寸法・重量)              | 自走   |  |
| 自動制御の有無                 | 無  |  |
| 利用形態:リース等の入手性           | 計測解析サービス・業務請負  |  |
| 関係機関への手続きの必要性           | 必要なし<br>(交通規制不要・緩和申請不要)  |  |
| 解析ソフトの有無と必要作業及<br>び費用等  | 解析ソフト: 自社開発ソフト(三菱インフラモニタリングシステム<br>II (MMSD II)オリジナルソフトウェア)を使用   |  |
| 不具合時のサポート体制の有<br>無及び条件  | 三菱電機 神戸製作所内にサポート体制を構築  |  |
| センシングデバイスの点検            | 年に1回、精度調整を実施   |  |
| その他                     | 【特許状況】車両搭載機器の設置に関する特許、車両仕様、<br>画像解析、3次元点群解析等に関する各種特許を取得済み<br>【気象条件】荒天対応不可、雨天時は現場判断。<br>【作業条件】未舗装路や凹凸の激しい路面での計測は非推奨   |  |

作業条件・運用条件

7. 図面

機器配置

**CCDカメラ**

- 道路周辺状況を確認するため、前方2台、左側方1台のCCDカメラを配置。  
(往復運転を考え、側方撮影カメラは、左側方のみ設置)

**IMU(Inertial Measurement Unit)**

- 慣性計測装置。車両の角度と角速度、加速度を検出する。
- GPS不可視区間でも高精度な位置情報を取得できる。

**GPS**

- 3台のGPSアンテナをトライアングル配置×2系統。(計6台)
- 2系統装備することで、故障時も片系統で継続運用が可能。

**路面撮像用ラインカメラ**

- 8192画素(8K相当)ラインカメラを2台配置

**高精度・高密度レーザー**

- 100万点/秒の高精度レーザーを2台配置

**壁面撮像用ラインカメラ(車体内部)**

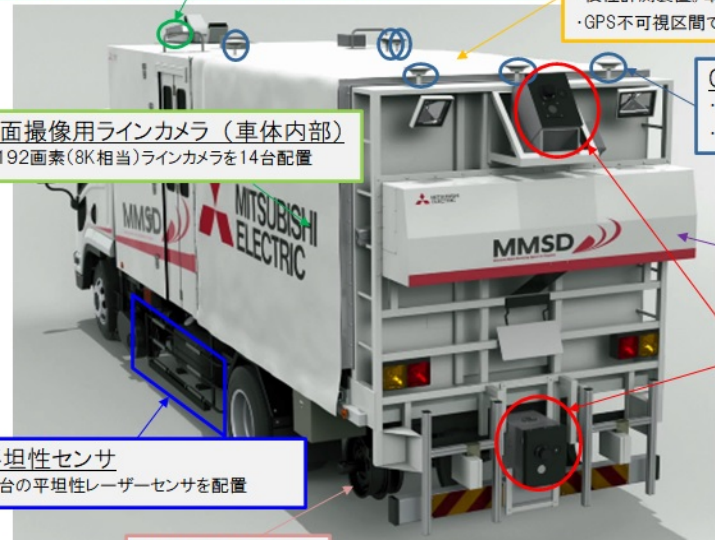
- 8192画素(8K相当)ラインカメラを14台配置

**平坦性センサ**

- 3台の平坦性レーザーセンサを配置

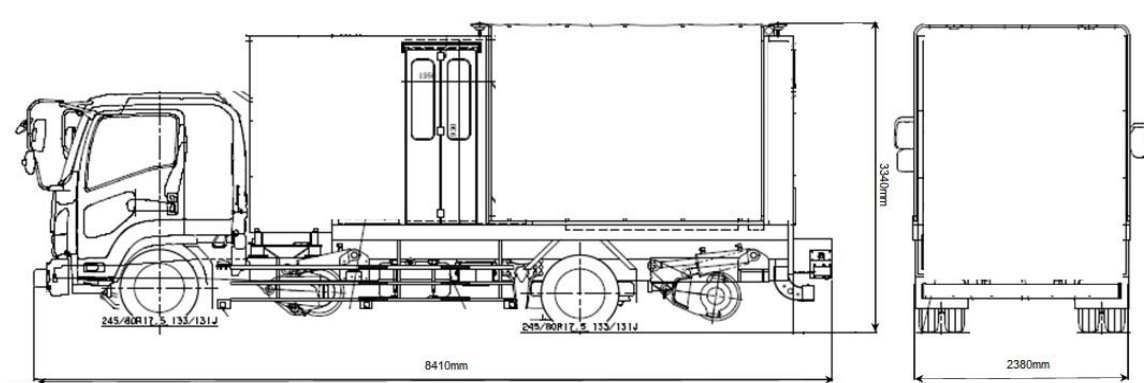
**鉄道計測用車輪**

- レール走行時に使用



MMSD紹介HP (<https://www.mitsubishielectric.co.jp/mmsd>) 特徴や解析事例などをご覧になれます

車両寸法



1. 基本事項

|         |  |                                  |                      |
|---------|--|----------------------------------|----------------------|
| 技術番号    | TN010006-V0221                             |                                  |                      |
| 技術名     | 走行型高速3Dトンネル点検システムMIMM-R(ミーム・アール)/MIMM(ミーム) |                                  |                      |
| 技術バージョン | ver.4                                      | 作成:                              | 2021年10月             |
| 開発者     | パシフィックコンサルタンツ(株)<br>計測検査棟                  |                                  |                      |
| 連絡先等    | TEL: 03-6777-4763                          | E-mail: tn-mimm@ss.pacific.co.jp | 交通基盤事業本部 インフラマネジメント部 |
| 現有台数・基地 | 3台   | 基地                               | 茨城県つくば市              |

トンネル覆工壁面の連続画像撮影システム、高精度3次元レーザー計測システム、非接触レーザー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。  
 走行型計測結果により覆工壁面展開画像および変状展開図を作成することで、変状位置を正確に把握することが可能となることから、高品質な変状展開図を作成することが可能となる。  
 MIMM-Rに搭載された3次元レーザー計測システムを併用することで、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、外力性変状の評価するための定量的なデータを得ることができる。  
 MIMM-Rに搭載された覆工巻厚・背面空洞調査レーザーシステムを併用することで、巻厚不足の判定や背面空洞の有無、突発性崩壊の危険性評価を行うための定量的なデータを得ることができる。  
 カメラシステムとして別車両のMIMMがあり、画像計測はMIMM-Rと同等の機能、性能であるため、表題に併記した。


### 走行型計測車両 MIMM-R

高密度レーザ(100万点/秒)




Pegasus II U  
(IMU,GNSS,12M カメラ)

非接触内部欠陥レーダ



TYPE2:内部欠陥ジャンカ

高密度レーザ(100万点/秒)



覆工の3次元形状計測

非接触空洞探査レーダ



TYPE1:巻厚と背面空洞

全周 18 台ビデオカメラ  
(Full HD 200 万画素)



画像撮影装置

ひび割れ、変状を連続撮影

図-1 技術概要

|      |       |   |
|------|-------|---|
| 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) |
|      | 変状の種類 | 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)/鋼材腐食/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) |
|      | 物理原理  | 画像<br>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。   |

2. 基本諸元

|                             |  |  |  |
|-----------------------------|--|--|--|
| 計測機器の構成                     |  | <p><b>【計測装置の構成】</b><br/>                 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種類のレーザ計測部(覆工巻厚・背面空洞探査用レーザ、うきなど内部欠陥探査レーザ)からなる。高精度レーザー・スキャナはPegasus II U(Z+FL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+FLレーザは車両後方に75~90°で設置し、2台のレーザー・スキャナーは、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<br/>                 ・内燃機関を搭載した車両にて移動する。<br/>                 ・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。<br/>                 ・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。</p>  |  |
|                             | 外形寸法・重量  | <p>・車両+計測室一体構造(ただし分離可能)<br/>                 ・長さ:5.99m 幅:2.08m 高さ:3.63m<br/>                 ・車両総重量7.22t</p>   |  |
|                             | 搭載可能容量(分離構造の場合)  | <p>・計測室(分離可能)<br/>                 ・長さ:4.24m 幅:2.02m 高さ:2.21m 重量:2,600kg</p>   |  |
|                             | 動力   | <p>・動力源:内燃機関<br/>                 ・燃料:ディーゼル<br/>                 ・定格出力:13kW<br/>                 ・仮設備は不要</p>   |  |
|                             | 連続稼働時間(バッテリー給電の場合)   | <p>・移動装置としては連続稼働時間の制限は特になし</p>   |  |
| 計測装置                        | 設置方法   | <p>・分離可能構造。<br/>                 ・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。</p>   |  |
|                             | 外形寸法・重量(分離構造の場合)   | <p>・計測室(分離可能)<br/>                 長さ:4.24m 幅:2.02m 高さ:2.21m 重量:2,600kg</p>  |  |
|                             | センシングデバイス  | カメラ  | <p><b>【ビデオカメラ】</b><br/>                 ・Full-HDカメラ 18台 (有効画素数 200万画素:1920×1080、MIMM-R搭載)<br/>                 ・画像分解能の設定 0.75~1.5mm/pixに対応可能<br/>                 ・エリアカメラ、グローバルシャッター<br/>                 ・SS:標準は1/2000、50km/hの場合SS:1/3,000以上<br/>                 ・動画フレームレート 30 fps<br/>                 ・照明 LED照明48台 3m離隔での照度は5,000lx程度<br/>                 ・覆工展開画像形式 : その他(覆工壁面正対画像(jpeg/AutoCAD外部参照反映可能)。必要に応じて、3次元テクスチャー作成も可能)<br/>                 ・覆工展開画像1スパンあたり(2車線道路・10.5m/スパンを目安)のデータ容量 : 100~200MB程度(3次元テクスチャー含まず)</p> |
|                             |  | パン・チルト機構   | <p>・鉛直0° ~360°</p>   |
|                             |  | 角度記録・制御機構機能  | <p>カメラの画角は対象トンネルの形状および撮影画像精度(解像度)に応じて都度設定する可動式。</p>  |
|                             |  | 測位機構   | <p>レーザー計測、GNSS、IMU、オドメータ距離計</p>  |
|                             | 耐久性  | <p>・デジタル・ビデオカメラ:公式な防塵、防水等級は無し、但しケーシングによりIP51相当、LED照明:IP65<br/>                 ・測位のためのレーザ計測装置:Pegasus II U IP52、レーザー・スキャナー部 IP54</p>   |  |
|                             | 動力   | <p>・カメラ計測装置は、移動装置の内燃機関によって発電された電力を用いる。<br/>                 ・測位のためのレーザ計測装置はバッテリーを使用(バッテリーは専用装置を車両搭載済みであり、仮設備は不要)</p>   |  |
| 連続稼働時間(バッテリー給電の場合)          | <p>・カメラ計測装置は、8時間程度(内燃機関によって発電した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。)(外気温:0~40°C、連続計測の場合:カメラはトンネル通過時のみ稼働させる)<br/>                 ・測位のためのレーザー・スキャナー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°C)</p> |  |  |
| データ収集・通信装置                  | 設置方法   | <p>・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。</p>  |  |
|                             | 外形寸法・重量(分離構造の場合)   | <p>計測室(分離可能) 長さ:4.24m 幅:2.02m 高さ:2.21m 重量:2,600kg</p>  |  |
|                             | データ収集・記録機能   | <p>・カメラから有線接続されたレコーダに記録し、データを保存する。</p>   |  |
|                             | 通信規格(データを伝送し保存する場合)  | <p>—</p>   |  |
|                             | セキュリティ(データを伝送し保存する場合)  | <p>—</p>   |  |
|                             | 動力   | <p>・移動装置の内燃機関によって発電された電力を用いる。</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>—</p>   |  |  |

### 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> |

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 | <p>【条件は下記の各性能も共通】</p> <p>【天候】<br/>降雨時はレンズに付いた水滴により鮮明な画像が撮影できないため不可。</p> <p>【路面状態】<br/>舗装状態が望ましい。整地されていれば未舗装でも対応可能(車両揺れが激しい(大きい)場合、覆工壁面に対する被写体距離と角度が大きく変化するため画質が劣る可能性があるため)。</p> <p>【GNSS測位】<br/>GNSS測位可能な坑外から計測を開始できれば、坑内でのGNSS測位不可状態での計測が可能。</p> <p>【日照条件】<br/>1000 lx 以上の照度から 70 lx 以下の環境照度に連続的に計測する場合は白飛びに注意(絞り等の設定変更により解消可能)。</p>  |
|      | 計測精度                | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | <p>【性能値】<br/>・最小ひび割れ幅の検出分解能は0.3mm程度<br/>・ひび割れ幅の検出は0.5mm刻み程度で運用</p> <p>【標準試験値】<br/>・最小ひび割れ幅0.2mm (0.2mmのひび割れを画像で視認できる)<br/>・計測精度0.43mm (0.2mmのひび割れのみを対象とした検出性能)<br/>・吹付けコンクリート面での計測も可</p> <p>【性能値】<br/>画像によるひび割れ検出の最小検出分解能は0.3mm程度で、閉合ひび割れ、クロスひび割れ、変状の進行性、新規ひび割れ、ひび割れ密度の変化などを画像から確認できる。ひび割れ幅の検出は検出手法上0.1mm刻みの検出は可能であるが、実務上0.5mm刻み程度で運用している。</p> <p>【標準試験値】<br/>計測精度の0.43mmは、模擬供試体の0.2mmのひび割れに対し、ひび割れ幅を0.3mm刻み程度で検出したときの計測精度。【標準試験の計測精度は、確認シートを参照】</p> |
|      | 長さ計測精度<br>(長さの相対誤差) | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | <p>【性能値】<br/>・画像とレーザ点群を重畳させ変状長さ精度を向上(点群の坑口位置補正を実施)</p> <p>【標準試験値】<br/>・標準試験の長さ計測精度は、確認シートを参照</p>   |
|      | 位置精度                | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | <p>【性能値】<br/>・50mm程度以下(補正後)</p> <p>【標準試験値】<br/>・進行方向: 59.0mm (5測線の平均値)<br/>・周方向: 19.7mm (4測線の平均値)</p> <p>【性能値】<br/>・画像とレーザ点群を重畳させ変状位置精度を向上(点群の坑口位置補正を実施)</p> <p>【標準試験値】<br/>・標準試験の位置精度は、確認シートを参照</p>   |
|      | 色識別性能               | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | <p>【性能値】<br/>・フルカラー識別可能</p> <p>【標準試験値】<br/>・フルカラー識別可能</p> <p>【標準試験値】<br/>・標準試験の色識別性能は、確認シートを参照</p>   |

※「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>手法1)<br/>                 ①撮影した画像を覆工1スパンごとに合成する。位置同期はレーザー点群座標による。(自動・調整は一部手動)<br/>                 ②ひび割れの自動抽出機能により、画像からひび割れ(幅、位置)を抽出する。(自動・事前作業は手動)<br/>                 ③最大ひび割れ幅によるひび割れ展開図に変換し、DXF出力する。(自動)<br/>                 ④ひび割れ以外の変状については、画像から手動で抽出する。(手動)</p> <p>手法2)<br/>                 ①撮影した画像を覆工1スパンごとに合成する。位置同期はレーザー点群座標による。(自動・調整は一部手動)<br/>                 ②ひび割れ、漏水などの自動抽出機能により、画像からひび割れなどの変状を抽出する(ラスターデータ)。(自動・ノイズ調整は手動)<br/>                 ③ひび割れ幅、長さを求め、対策工区分の判定を行う。(自動・判定は一部手動)<br/>                 ④ひび割れ、漏水などをベクターデータとして展開図に変換し、DXF出力する。(自動)</p> <p>【解析作業日数】<br/>                 以下の条件の場合の標準的な作業日数<br/>                 [トンネル条件]<br/>                 ・延長500m<br/>                 ・ひび割れ密度0.3m/m<sup>2</sup> 等<br/>                 ・2車線断面<br/>                 [作業日数]<br/>                 ・画像合成 2日<br/>                 ・変状抽出 2日 等</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="523 763 906 972"> <p>走行型計測車両MIMM-Rの走行イメージ (画像計測状況)</p> </div> <div data-bbox="970 763 1369 972"> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="544 1003 852 1126"> <p>①レーザー点群</p> </div> <div data-bbox="948 1016 1362 1205"> <p>画像と点群の位置同期による画像補正と合成</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="533 1155 839 1279"> <p>②カメラ配置</p> </div> <div data-bbox="935 1245 1350 1368"> <p>ひび割れ抽出</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="533 1317 839 1440"> <p>③合成 (カメラ色分け)</p> </div> <div data-bbox="935 1391 1350 1514"> <p>ひび割れ最大幅変換</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="533 1480 839 1581"> <p>④出力合成画像</p> </div> <div data-bbox="935 1536 1350 1659"> <p>DXF出力</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">ひび割れ抽出の手順 (手法1)</p> <p style="text-align: center;">図-2 変状検出手順</p> |
|               | <p>ソフトウェア情報</p>   |



|          |                |                           |   |
|----------|----------------|---------------------------|---|
| ソフトウェア情報 | 変状検出の原理・アルゴリズム | ひび割れ                      | <p>手法1) 自社開発ひび割れ自動抽出ソフト HALCON</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れ自動抽出ソフト(HALCON)により、コンクリート面とひび割れのピクセルの輝度値から、ひび割れを自動抽出し、ひび割れ幅を検出する。(ひび割れ以外は、手動検出)</li> </ul> <p>手法2) AIによる変状抽出ソフト セマンティックセグメンテーションによるディープラーニング</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れをピクセル単位でセマンティックセグメンテーションにより抽出する。</li> <li>・使用する画像は、1.5mm/pix以上の画質(低圧縮JPEG画像)を用い、高精細化手法を併用。</li> <li>・教師データは、100スパン以上、1タイル256×256pix(or 512×512pix)、ひび割れをピクセル単位で作成。</li> <li>・近接目視点検前に計測した画像により画像と位置同期した展開図を作成する。近接目視時に修正した点検結果としてのひび割れ判定を教師データ作成の基本とし、画像上のひび割れを技術者が判断したうえで教師データを作成する。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・撮影条件・仕様等(手法1)2)共通)             <ol style="list-style-type: none"> <li>1) カメラ:ビデオカメラ</li> <li>2) 撮影設定:絞り優先設定</li> <li>3) ラップ率:オーバーラップ 30%、サイドラップ 30%</li> <li>4) 画質:1.5mm/pix以上</li> <li>5) 画質フォーマット:JPEG、TIFF、PNG、BMPなど</li> <li>6) 注意事項:</li> </ol> </li> <li>・画像から作成した変状展開図を近接目視時に確認し修正すること⇒教師データ作成は修正後の最終展開図を使用する。展開図は画像と位置情報が一致している必要あり</li> </ul> |
|          |                | ひび割れ幅および長さの計測方法           | <p>手法1)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れ幅: HALCONによりピクセルの輝度値から、ひび割れ幅を検出する(1.5mm/pixの分解能であるが、輝度使用により0.3mm程度以上のひび割れ幅の検出が可能)</li> <li>・ひび割れの検出レイヤ(0.3mm未満、0.3~0.5、0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0以上を基本としたレイヤカスタマイズ可能)</li> <li>ひび割れ長さ: ひび割れをポリラインに変換し、長さを確認する。ひび割れ位置、長さはレーザーによる位置座標から算出している。</li> </ul> <p>手法2)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れ幅:セマンティックセグメンテーションにより、ピクセル毎のひび割れ存在可能性を算出する「ひび割れ検出アルゴリズム」により自動抽出する。具体的には2倍の高精細化技術により、1.5mm/pixの分解能を0.75mm/pixに改善し、ピクセル以下のひび割れ幅については、周辺のピクセルを使って補間し、輝度による重み付けを行うことで、ひび割れの存在可能性の分布を求めることによって、0.3mm程度以上のひび割れ検出が可能。</li> <li>・ひび割れ長さ: セマンティックセグメンテーションにより抽出したひび割れをベクター化し、ポリラインでのひび割れ長さを検出する。</li> </ul>   |
|          |                | ひび割れ以外                    | <p>手法1)</p> <p>【漏水、遊離石灰、はく落跡、鉄筋露出、ジャンカ、コールドジョイント、照明、JFなど】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・画像から手動にて抽出する。うきについては、近接目視、打音検査の結果を踏まえて修正する。</li> </ul> <p>手法2)</p> <p>【漏水、遊離石灰、はく落跡】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れ同様、セマンティックセグメンテーションのアルゴリズムにより、ピクセル単位で、漏水、遊離石灰、はく落跡を抽出する。ピクセル集合体の面データ(ラスターデータ)として自動抽出する。</li> <li>・教師データは、100スパン以上、漏水など面データとしてピクセル単位で作成する。</li> <li>教師データは、画像のみの判断で作成せず、近接目視、打音検査の点検結果を反映させて作成する。</li> </ul>  |
|          |                | 画像処理の精度<br>(学習結果に対する性能評価) | <p>手法2)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れの検出:再現率80%程度(漏水、遊離石灰、チョーク、壁面汚れがひび割れに重なっておらず、明瞭なひび割れであった場合)</li> <li>・漏水、遊離石灰、チョーク、壁面汚れなどがひび割れと重なっており、画像上ひび割れが分類できない状態の場合は、検出不能。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・漏水、遊離石灰については、再現率80%~90%程度。</li> </ul>  |
|          |                | 変状の描画方法                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れ:ポリライン</li> <li>・ひび割れ以外:ポリゴン</li> </ul>   |
|          | 取り扱い可能な画像データ   | ファイル形式                    | 手法1)2)共通 JPEG、TIFF、PNG、BMPなど  |
|          |                | ファイル容量                    | 手法1)2)共通 50MB~200MB程度/1スパン (1.5mm/pixの場合、50~80MB程度/スパン)   |
|          |                | カラー/白黒画像                  | 手法1)2)共通 カラー  |
|          |                | 画素分解能                     | 手法1)2)共通<br>・ひび割れ幅0.3mmを検出するためには1.5mm/Pixel以下であることが必要   |
|          |                | その他留意事項                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・基本的にはトンネル覆工表面全周画像を対象とし、スパン単位で合成した見下げの展開画像とする</li> <li>・画像の縦横比が実際のトンネル周長とスパン長の比率に等しいこと(正確なアスペクト比であること)</li> <li>・画像の歪み、あおり台形などを補正し、壁面に正対した画像とする</li> <li>・ひび割れにチョークが重なっている場合は検出が困難</li> <li>・覆工面の煤、漏水、遊離石灰によりひび割れが不可視の場合は、ひび割れの検出が困難</li> </ul>  |

|                              |   |  |
|------------------------------|---|--|
| <p>ソフトウェア情報</p>              | <p>出力ファイル形式</p>   | <p>【汎用ファイル形式の場合】<br/>JPEG/DXF等</p> <p>【クラウドサービス提供の有無】<br/>無し</p> |
| <p>調書作成支援の手順</p>             | <p>手法1)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①適応条件に記載の条件により画像データを取得する。</li> <li>②画像データおよび同時に計測したレーザ点群データを下記支援ソフトiTAMSに取り込む。</li> <li>③iTAMSのドロー編集画面にて、ひび割れ抽出、その他の変状抽出作業を行い、変状展開図を作成する。</li> <li>④近接目視、打音検査を実施。事前に作成した変状展開図をタブレットに取り込み、現地で修正作業を行う。</li> <li>⑤iTAMSのドロー編集画面にて、変状箇所の抽出、対策工区分の判定などを行う。</li> <li>⑥画像の他、レーザ、レーダの結果を一元化して3D可視化し、統合型評価診断システムにより診断する。</li> <li>⑦抽出した変状箇所に応じた写真を帳票用に自動作成。</li> <li>⑧点検帳票を所定のフォーマットに自動出力する。記録はデータベースで一元管理する。</li> </ol> <p>手法2)の場合は、上記③の部分をAIにて抽出する。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="491 645 914 907"> <p>iTAMSのドロー編集画面</p> </div> <div data-bbox="1002 636 1430 907"> <p>点検帳票をを所定フォーマットに自動出力</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>統合型評価診断システムの概要 (3次元可視化、オンサイトシステム、データベース)</p> </div> |  |
| <p>調書作成支援の適用条件</p>           | <p>手法1)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・基本的にはトンネル覆工表面全周画像を対象とし、スパン単位で合成した見下げの展開画像とする</li> <li>・画像の縦横比が実際のトンネル周長とスパン長の比率に等しいこと(正確なアスペクト比であること)</li> <li>・画像の歪み、あおり、台形などを補正し、壁面に正対した画像とする</li> <li>・ひび割れにチョークが重なっている場合は検出が困難</li> <li>・覆工面の煤、漏水、遊離石灰によりひび割れが不可視の場合は、ひび割れの検出が困難</li> <li>・画像から作成した変状展開図を近接目視時に確認し修正すること</li> </ul> <p>手法2)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・上記の手法1)の適用条件と同じ</li> </ul>  |  |
| <p>調書作成支援に活用する機器・ソフトウェア名</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・現地での入力: タブレット (iPad)</li> <li>・点検調書作成OS Windows8.1以降</li> <li>・帳票作成、DBシステム : iTAMS (自社開発ソフト)</li> <li>・クラウドサービス提供: なし</li> </ul>  |  |

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<br>検<br>時<br>現<br>場<br>条<br>件 | 安全面への配慮  | ・特になし<br>・測位に使用するレーザはクラス1であり、人体に影響はない。  | —          |
|                                 | 無線等使用における混線等対策   | —   | —          |
|                                 | 交通規制の要否  | 不要<br>(陸運局許可取得済)  | —          |
|                                 | 交通規制の範囲  | —   | —          |
|                                 | 現地への運搬方法   | ・車両に搭載して運搬 等  | —          |
|                                 | 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                             | <p>【汚れ、すす等がある場合の作業の可否】</p> <p>・すす汚れ等がある場合は、一般的な場合は、照明が透過し撮影することは可能。すすが固着して非透過の場合は撮影不能。</p> | <p>【作業条件・運用条件】</p> <p>・交通規制が不要であるため、原則として事前の関係機関への申請等手続きは不要。</p> <p>・照明設備やジェットファン、内装板の背面など計測車両から物理的に視野が確保できない覆工表面の走行型画像計測はできない。</p> |            |

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            | ・社内基準   | —  |   |
| 必要構成人員数             | ・車両運転員1人、計測機器操作1人、合計2名  | —  |   |
| 操作に必要な資格等の有無、フライト時間 | ・社内講習必要   | —  |   |
| 操作場所                | ・車両内<br>(作業ヤード不要)   | —  |   |
| 計測作業日数              | ・計測作業日数:1日で500m程度のトンネル3本~10本程度可能<br>同一路線の連続するトンネルの場合、10本程度可能。<br>・平均作業時間:8時間/日 等  | —  |   |
| 点検費用                | <ul style="list-style-type: none"> <li>・計測サービスを提供</li> <li>・計測費用</li> </ul> 人力による従来点検業務費用に比べ、条件により、ほぼ同等から3割程度縮減可能<br>費用は、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。   | 近畿地整実績は、統括システム全体の費用<br><br>一般的には、例えば、<br>・トンネル500m程度 10本計測の場合<br>直接人件費<br>外業 3,500,000円<br>内業 11,000,000円<br>直接経費 3,500,000円<br>その他費 22,000,000円<br>業務価格 40,000,000円<br>(従来点検に比べ、30%程度縮減)<br>・トンネル500m 1本のみ<br>(従来点検とほぼ同等) |   |
| 作業条件・運用条件           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・近接目視点検、打音検査含む</li> <li>・画像合成、展開図作成、点検帳票作成含む</li> </ul> 【実績】<br>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<br>国土省近畿地整道路メンテナンスセンター<br>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<br><br>【近畿地整実績の条件】<br>・トンネル数:6本<br>・2車線断面、照明灯具あり<br>・2回目以降点検<br>・延長:短いトンネルから順に 38,330,389,740,1420,2810m<br>・ひび割れ密度:同上順に 0.55,0.14,0.19,0.08,0.14,0.14<br>・画像計測、変形モード解析、レーダ解析実施<br>・スクリーニング後、近接目視、打音検査実施<br>・交通規制含む |  |   |
|                     | 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(夜間作業も可)  | —   |
|                     | 計測時の走行速度条件  | ・70km/h程度以下  | —   |
|                     | 渋滞時の計測可否  | ・特になし  | —   |
|                     | 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撮影不可 等   | —   |
|                     | 車両から覆工表面までの 距離条件  | 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)  | ・特になし  | —   |
|                     | 自動制御の有無   | 無  | —   |
|                     | 利用形態:リース等の入手性   | ・業務委託にて対応  | —   |
|                     | 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  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・解析ソフト:自社開発ソフト</li> <li>・必要作業:担当者による解析作業</li> <li>・上記計測費に含む</li> </ul>  | —   |
|                     | 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  | ・日常点検、年/1回定期点検   | —   |
|                     | その他   | 【特許状況】<br>・特になし<br>【気象条件】<br>・1mm/h以上の降雨時の計測は不可<br>【作業条件】<br>・特になし   | 本システムは、カメラ、レーザの他に、2種類のレーダ計測部(覆工巻厚、背面空洞探査用レーダ、うきなど内部欠陥探査レーダ)を搭載しているため、レーダ技術については別途性能カタログを作成する。<br>カメラシステムとして別車両のMIMMがあり、画像計測はMIMM-Rと同等の機能、性能であるため、表題に併記した。 |

7. 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ザ

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) 非接触空洞探索レーザ 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

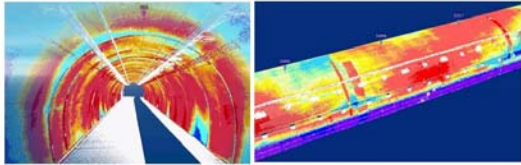
アンテナと壁面離隔: 3m

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。

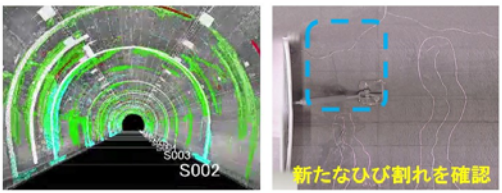
地形測量対応MMS (3Dマッピング)  
・高精度地形測量、地物認識  
⇒道路管理の電子化、CIM導入への対応



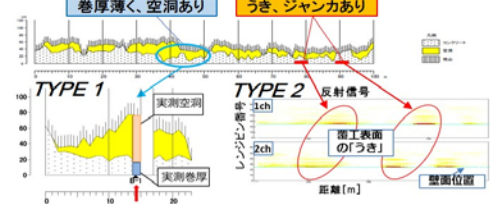
MMS:3次元形状計測: 高精度レーザ(100万点/秒)  
・トンネル形状、変形モード解析、段差検出  
⇒ひび割れ変状原因、進行性が推定可能



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・空洞探索 & 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    | TN010007-V0121  |   |   |
| 技術名     | 一般車両搭載型トンネル点検システム   |   |   |
| 技術バージョン | 1.2   | 作成: 2021年10月  |   |
| 開発者     | 株式会社リコー   |   |   |
| 連絡先等    | TEL: 050-3817-4056  | E-mail: taroh.kikuchi@jp.ricoh.com  | リコーフューチャーズビジネスユニット<br>社会インフラ事業センター<br>菊地 太郎 |
| 現有台数・基地 | 2台  | 基地  | 神奈川県海老名市                                    |
| 技術概要    | <p>本技術は、一般車両に搭載したトンネル壁面計測装置とその展開画像を利用した調書作成支援のソフトである。計測装置は、複数のモノクロの被写界深度拡大ラインカメラ(※)と単色光のライン照明で構成され、40km/h程度で走行しながらトンネルの覆工部の画像を撮影する。画像処理技術により作成した(覆工面の)展開画像では、本体内における最小幅0.3mmのひび割れや漏水・チョーキング等の変状や附属物のねじの緩み等(合いマーク)を判別可能である。従来のトンネル点検では、人手によるスケッチやデジカメ撮影の情報を基に、点検調書を作成していた。しかし、点検調書作成支援ソフトにより、撮影した高精細な展開画像を基に手動もしくは半自動で変状を抽出・記録することで、変状図(CAD)や写真台帳などの点検調書(エクセル)が自動で作成される。</p> <p>※被写界深度拡大カメラは通常のレンズと比べ、明るさを維持したままピントの合う範囲を4-5倍近く広げることができる、「ピンボケしにくい」カメラであり、リコー独自の技術である。</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/内装版/吸音板/照明/ケーブル類/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                                |   |
|         | 変状の種類   | 本体内における圧ざ/ひび割れ/うき・はく離/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/緩み/脱落/亀裂/腐食/変形/欠損<br>(うき・はく離・腐食等はチョーク情報より判別、緩みはマジック等のマークで判別) |   |
|         | 物理原理  | 画像  |   |

2. 基本諸元

|                                 |  |  |  |
|---------------------------------|--|--|--|
| 計測機器の構成                         |  | <p>本計測機器は「複数のモノクロの被写界深度ラインカメラ(※)及びライン照明を固定した計測装置」と「各カメラのデータを保存するSSDと処理装置を組み合わせた制御装置」と「制御装置とネットワークでつながっているオペレータが使用するノートPC」の構成であり、「移動車両」のルーフ部に計測装置を固定し、移動車両の中に制御装置が設置され、ノートPCにてオペレーションする。</p> <p>※ 被写界深度拡大カメラは、通常のレンズと比べ明るさを維持したままピントの合う範囲を4-5倍近く広げることができる、「ピンボケしにくい」カメラであり、リコー独自の技術である。明るいレンズであるため、照明を省電力化でき、高解像度の画像にも関わらず一般車両に搭載できるサイズを実現している。</p> |  |
| 移動装置                            | 移動原理   | <p>【車両型】<br/>メインは内燃機関を搭載した車両。(電気モータを搭載した車両も可能)</p>   |  |
|                                 | 外形寸法・重量  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・分離構造(移動装置)</li> <li>・最大外形寸法(長さ4245mm×幅1690mm×高さ1530mm)</li> <li>・最大重量(1090-1170kgf)</li> </ul>   |  |
|                                 | 搭載可能容量<br>(分離構造の場合)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・最大外形寸法 (長さ1880mm×幅1230mm×高さ1050mm)</li> <li>・最大重量(約96kgf)</li> </ul>   |  |
|                                 | 動力   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・動力源: 内燃機関</li> <li>・燃料: レギュラーガソリン(電気モータでも可)</li> <li>・定格出力: 70-80kW</li> </ul>   |  |
|                                 | 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合)   | -  |  |
| 計測装置                            | 設置方法   | 一般車両のルーフ部にキャリア用のバーとアルミフレームでできたアタッチメントを取り付け、その上に計測装置を固定する。全てネジ止め。   |  |
|                                 | 外形寸法・重量<br>(分離構造の場合)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・最大外形寸法 (長さ1380mm×幅1230mm×高さ1050mm)</li> <li>・最大重量(約96kgf)</li> </ul>   |  |
|                                 | センシングデバイス  | カメラ  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・被写界深度拡大モノクロラインカメラ</li> <li>・センサーサイズ(縦820mm×横0.2mm)、焦点距離(50mm以上)</li> </ul> |
|                                 |  | パン・チルト機構   | 無し   |
|                                 | 角度記録・制御機構機能  | 制御機構無し   |  |
|                                 | 測位機構   | ・IMU、レーザードップラー計、TOFセンサ(Lidar含む)  |  |
|                                 | 耐久性  | IP54準拠   |  |
|                                 | 動力   | バッテリー(1112Wh(22Ah) 公称電圧 DC50.6V)を利用  |  |
| 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合)          | バッテリー1ユニットにつき、約50分間連続稼働可能(照明連続点灯)<br>バッテリーを追加することにより、更なる連続稼働可能 |  |  |
| データ収集・通信装置                      | 設置方法   | 車内に設置  |  |
|                                 | 外形寸法・重量<br>(分離構造の場合)   | 制御装置: 幅1100mm×長さ550mm×高さ800mm  |  |
|                                 | データ収集・記録機能   | カメラを制御する制御装置のSSDにデータを保存する。保存データは、USB-SSDにコピーすることで外部に持ち出す。  |  |
|                                 | 通信規格<br>(データを伝送し保存する場合)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・通信方法 有線</li> <li>・通信規格 USB3.0</li> </ul>   |  |
|                                 | セキュリティ<br>(データを伝送し保存する場合)                                      | 無線を使用しない   |  |
|                                 | 動力   | バッテリー(1.9kW(74Ah) 定格電圧25.9V) x2(並列)を利用   |  |
| データ収集・通信可能時間<br>(データを伝送し保存する場合) | (2並列の)バッテリーからの給電により連続約11時間 使用可能<br>バッテリーを追加することで、更なる連続使用が可能    |  |  |

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 | 道路幅員3000mm × 高さ3350mm            | トヨタ プロボックス/サクシードを車両とした場合○ |
| 適用可能なトンネルの最大寸法 | 道路幅員15000mm以下、高さ8500mm以下であれば撮影可能 | -                         |



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 | -   |
|      | 計測精度                | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | 【撮影速度】<br>40km/h以下<br>【被写体との距離】<br>最小ひび割れ幅に関しては、1.0-7.5m<br>計測精度に関しては、5.0m以下<br>【被写体の制約】<br>煤やコケが著しく付着している箇所は対象外。(検証時は汚れなし) |
|      | 長さ計測精度<br>(長さの相対誤差) | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | 【撮影速度】<br>40km/h以下<br>【被写体との距離】<br>1.0-7.5m   |
|      | 位置精度                | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | 【撮影速度】<br>40km/h以下<br>【被写体との距離】<br>1.0-7.5m   |
|      | 色識別性能               | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | 【撮影速度】<br>40km/h以下<br>【被写体との距離】<br>1.0-7.5m   |

※「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>①3DLidarなどの三次元計測情報を基にして、壁面の形状・計測装置の姿勢を算出し、縦横比が正確なオルソ画像に変形する(自動)<br/>                 ②変形後の画像を覆工1スパンごとにつなぎ合わせる。つなぎ合わせでは、カメラのオーバーラップ部の画像の特徴量を基にする(自動)<br/>                 ③ひび割れの自動抽出機能(下記アルゴリズム参照)により、ひび割れを抽出する(自動)<br/>                 ④抽出したひび割れを目視で確認し、筋状の汚れ等ひび割れ以外の抽出結果を手動で削除する<br/>                 また、ひび割れの未検出箇所は変状を書き込む(手動)<br/>                 ⑤ひび割れ幅・ひび割れの長さを計測する(自動/手動)(ひび割れ幅に関しては、下記アルゴリズム参照)<br/>                 ※ ひび割れ幅計測を高精度で行う場合には、手動で計測したいエリアを設定する。<br/>                 特に、大きいひび割れの経時変化(進行性の有無)を計測したい場合は、ひび割れ全体よりも同じポイントで計測することを推奨している。</p> <p>解析作業日数:画像合成7日、変状抽出 5日 (トンネル条件:延長1km, 2車線断面)</p>  |   |                  |  |         |              |  |                |      |  |                 |  |        |   |                       |   |         |                             |  |              |        |          |        |      |  |          |          |  |       |                                      |  |          |   |   |         |  |
| <p>ソフトウェア情報</p>       | <table border="1"> <tr> <td data-bbox="220 521 475 568">ソフトウェア名</td> <td colspan="2" data-bbox="475 521 1457 568">点検調書作成支援ソフト v1.1</td> </tr> <tr> <td data-bbox="220 568 475 616">検出可能な変状</td> <td colspan="2" data-bbox="475 568 1457 616">ひび割れ(幅および長さ)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="220 616 475 1131" rowspan="5">変状検出の原理・アルゴリズム</td> <td data-bbox="475 616 724 792">ひび割れ</td> <td data-bbox="724 616 1457 792">                     ・AI(畳み込みニューラルネットワーク)によるひび割れ画素の自動検出(1画素ごとに検出)<br/>                     ・AI教師データは覆工コンクリートにおけるひび割れに関する写真の上から開発者がひび割れをトレースしてラベリングしたデータ。(ひび割れデータ数:約130万個、ひび割れ無データ数:約10億個)。<br/>                     ・撮影条件・仕様等<br/>                     - コンクリート壁面が白とび・黒つぶれ無き事<br/>                     - 煤やコケなど著しくひび割れとのコントラストが低い箇所は対象外                 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 792 724 869">ひび割れ幅および長さの計測方法</td> <td data-bbox="724 792 1457 869">                     ・幅:画像に対して二次微分フィルタを畳み込み、ひび割れの方向と垂直な方向に沿ってゼロクロス点間の画素数を計算する。そのため、サブピクセルレベルの計測が可能。<br/>                     ・長さ:ソフトによりひび割れ沿いの長さを自動計測                 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 869 724 945">ひび割れ以外</td> <td data-bbox="724 869 1457 945">現時点では未対応。<br/>(漏水・チョーキング箇所をAI(畳み込みニューラルネットワーク)にて自動抽出できるように開発中)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 945 724 1086">画像処理の精度(学習結果に対する性能評価)</td> <td data-bbox="724 945 1457 1086">                     ひび割れの検出:正解率98.2%,精度90.6%,再現率87.8%<br/>                     (上記教師データのうち、9割を学習、1割をテストに用いて評価した結果)<br/>                     各数値は以下の数式により算出したものである。<br/>                     正解率[%] = 正解した総画素数 / テストした総画素数 x 100<br/>                     精度[%] = 正解したひび割れの総画素数 / ひび割れ画素に識別した総画素数 x 100<br/>                     再現率[%] = 正解したひび割れの総画素数 / テストしたひび割れの総画素数 x 100                 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1086 724 1131">変状の描画方法</td> <td colspan="2" data-bbox="724 1086 1457 1131">                     ・ひび割れ:ポリライン<br/>                     ・ひび割れ以外:ポリゴン                 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="220 1131 475 1330" rowspan="4">取り扱い可能な画像データ</td> <td data-bbox="475 1131 724 1164">ファイル形式</td> <td data-bbox="724 1131 1457 1164">PNG、JPEG</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1164 724 1198">ファイル容量</td> <td colspan="2" data-bbox="724 1164 1457 1198">上限無し</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1198 724 1232">カラー/白黒画像</td> <td colspan="2" data-bbox="724 1198 1457 1232">カラー/白黒画像</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1232 724 1265">画素分解能</td> <td colspan="2" data-bbox="724 1232 1457 1265">0.3mmを抽出するのであれば、最低0.6mm/pix程度の分解能が必要</td> </tr> <tr> <td data-bbox="220 1330 475 1406" rowspan="2">出力ファイル形式</td> <td data-bbox="475 1330 724 1406" rowspan="2">DXF、PNG、JPEG(※)<br/>※ 画像サイズが65536画素以上の場合は、JPEG不可でPNGのみでのご提供(弊社開発のクラウドソフトを利用することで画像も閲覧可能)</td> <td data-bbox="724 1330 1457 1406" rowspan="2">                     ・画像の縦横比が実寸と同じであり、1画素あたりのサイズが既知であること<br/>                     ・ひび割れにチョークが重なっている箇所のみ検出が困難<br/>                     ・周辺が煤で汚れているひび割れのみ検出が困難                 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1406 724 1473">その他留意事項</td> <td data-bbox="724 1406 1457 1473"></td> </tr> </table> | ソフトウェア名   | 点検調書作成支援ソフト v1.1 |  | 検出可能な変状 | ひび割れ(幅および長さ) |  | 変状検出の原理・アルゴリズム | ひび割れ | ・AI(畳み込みニューラルネットワーク)によるひび割れ画素の自動検出(1画素ごとに検出)<br>・AI教師データは覆工コンクリートにおけるひび割れに関する写真の上から開発者がひび割れをトレースしてラベリングしたデータ。(ひび割れデータ数:約130万個、ひび割れ無データ数:約10億個)。<br>・撮影条件・仕様等<br>- コンクリート壁面が白とび・黒つぶれ無き事<br>- 煤やコケなど著しくひび割れとのコントラストが低い箇所は対象外 | ひび割れ幅および長さの計測方法 | ・幅:画像に対して二次微分フィルタを畳み込み、ひび割れの方向と垂直な方向に沿ってゼロクロス点間の画素数を計算する。そのため、サブピクセルレベルの計測が可能。<br>・長さ:ソフトによりひび割れ沿いの長さを自動計測 | ひび割れ以外 | 現時点では未対応。<br>(漏水・チョーキング箇所をAI(畳み込みニューラルネットワーク)にて自動抽出できるように開発中) | 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:正解率98.2%,精度90.6%,再現率87.8%<br>(上記教師データのうち、9割を学習、1割をテストに用いて評価した結果)<br>各数値は以下の数式により算出したものである。<br>正解率[%] = 正解した総画素数 / テストした総画素数 x 100<br>精度[%] = 正解したひび割れの総画素数 / ひび割れ画素に識別した総画素数 x 100<br>再現率[%] = 正解したひび割れの総画素数 / テストしたひび割れの総画素数 x 100 | 変状の描画方法 | ・ひび割れ:ポリライン<br>・ひび割れ以外:ポリゴン |  | 取り扱い可能な画像データ | ファイル形式 | PNG、JPEG | ファイル容量 | 上限無し |  | カラー/白黒画像 | カラー/白黒画像 |  | 画素分解能 | 0.3mmを抽出するのであれば、最低0.6mm/pix程度の分解能が必要 |  | 出力ファイル形式 | DXF、PNG、JPEG(※)<br>※ 画像サイズが65536画素以上の場合は、JPEG不可でPNGのみでのご提供(弊社開発のクラウドソフトを利用することで画像も閲覧可能) | ・画像の縦横比が実寸と同じであり、1画素あたりのサイズが既知であること<br>・ひび割れにチョークが重なっている箇所のみ検出が困難<br>・周辺が煤で汚れているひび割れのみ検出が困難 | その他留意事項 |  |
| ソフトウェア名               | 点検調書作成支援ソフト v1.1   |   |                  |  |         |              |  |                |      |  |                 |  |        |   |                       |   |         |                             |  |              |        |          |        |      |  |          |          |  |       |                                      |  |          |   |   |         |  |
| 検出可能な変状               | ひび割れ(幅および長さ)   |   |                  |  |         |              |  |                |      |  |                 |  |        |   |                       |   |         |                             |  |              |        |          |        |      |  |          |          |  |       |                                      |  |          |   |   |         |  |
| 変状検出の原理・アルゴリズム        | ひび割れ   | ・AI(畳み込みニューラルネットワーク)によるひび割れ画素の自動検出(1画素ごとに検出)<br>・AI教師データは覆工コンクリートにおけるひび割れに関する写真の上から開発者がひび割れをトレースしてラベリングしたデータ。(ひび割れデータ数:約130万個、ひび割れ無データ数:約10億個)。<br>・撮影条件・仕様等<br>- コンクリート壁面が白とび・黒つぶれ無き事<br>- 煤やコケなど著しくひび割れとのコントラストが低い箇所は対象外                  |                  |  |         |              |  |                |      |  |                 |  |        |   |                       |   |         |                             |  |              |        |          |        |      |  |          |          |  |       |                                      |  |          |   |   |         |  |
|                       | ひび割れ幅および長さの計測方法  | ・幅:画像に対して二次微分フィルタを畳み込み、ひび割れの方向と垂直な方向に沿ってゼロクロス点間の画素数を計算する。そのため、サブピクセルレベルの計測が可能。<br>・長さ:ソフトによりひび割れ沿いの長さを自動計測  |                  |  |         |              |  |                |      |  |                 |  |        |   |                       |   |         |                             |  |              |        |          |        |      |  |          |          |  |       |                                      |  |          |   |   |         |  |
|                       | ひび割れ以外   | 現時点では未対応。<br>(漏水・チョーキング箇所をAI(畳み込みニューラルネットワーク)にて自動抽出できるように開発中)   |                  |  |         |              |  |                |      |  |                 |  |        |   |                       |   |         |                             |  |              |        |          |        |      |  |          |          |  |       |                                      |  |          |   |   |         |  |
|                       | 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:正解率98.2%,精度90.6%,再現率87.8%<br>(上記教師データのうち、9割を学習、1割をテストに用いて評価した結果)<br>各数値は以下の数式により算出したものである。<br>正解率[%] = 正解した総画素数 / テストした総画素数 x 100<br>精度[%] = 正解したひび割れの総画素数 / ひび割れ画素に識別した総画素数 x 100<br>再現率[%] = 正解したひび割れの総画素数 / テストしたひび割れの総画素数 x 100 |                  |  |         |              |  |                |      |  |                 |  |        |   |                       |   |         |                             |  |              |        |          |        |      |  |          |          |  |       |                                      |  |          |   |   |         |  |
|                       | 変状の描画方法  | ・ひび割れ:ポリライン<br>・ひび割れ以外:ポリゴン   |                  |  |         |              |  |                |      |  |                 |  |        |   |                       |   |         |                             |  |              |        |          |        |      |  |          |          |  |       |                                      |  |          |   |   |         |  |
| 取り扱い可能な画像データ          | ファイル形式   | PNG、JPEG  |                  |  |         |              |  |                |      |  |                 |  |        |   |                       |   |         |                             |  |              |        |          |        |      |  |          |          |  |       |                                      |  |          |   |   |         |  |
|                       | ファイル容量   | 上限無し  |                  |  |         |              |  |                |      |  |                 |  |        |   |                       |   |         |                             |  |              |        |          |        |      |  |          |          |  |       |                                      |  |          |   |   |         |  |
|                       | カラー/白黒画像   | カラー/白黒画像  |                  |  |         |              |  |                |      |  |                 |  |        |   |                       |   |         |                             |  |              |        |          |        |      |  |          |          |  |       |                                      |  |          |   |   |         |  |
|                       | 画素分解能  | 0.3mmを抽出するのであれば、最低0.6mm/pix程度の分解能が必要  |                  |  |         |              |  |                |      |  |                 |  |        |   |                       |   |         |                             |  |              |        |          |        |      |  |          |          |  |       |                                      |  |          |   |   |         |  |
| 出力ファイル形式              | DXF、PNG、JPEG(※)<br>※ 画像サイズが65536画素以上の場合は、JPEG不可でPNGのみでのご提供(弊社開発のクラウドソフトを利用することで画像も閲覧可能)  | ・画像の縦横比が実寸と同じであり、1画素あたりのサイズが既知であること<br>・ひび割れにチョークが重なっている箇所のみ検出が困難<br>・周辺が煤で汚れているひび割れのみ検出が困難   |                  |  |         |              |  |                |      |  |                 |  |        |   |                       |   |         |                             |  |              |        |          |        |      |  |          |          |  |       |                                      |  |          |   |   |         |  |
|                       |  |   | その他留意事項          |  |         |              |  |                |      |  |                 |  |        |   |                       |   |         |                             |  |              |        |          |        |      |  |          |          |  |       |                                      |  |          |   |   |         |  |
| 調書作成支援の手順             | <p>①トンネル壁面画像を弊社クラウドソフトに取り込み、閲覧可能状態にする<br/>                 ②ひび割れは、画像処理ソフトもしくは手作業により展開画像上に変状情報を登録する。<br/>                 ③ひび割れ以外の変状は、手作業にて展開画像上に変状情報を登録する<br/>                 ④クラウドソフトより以下の点検調書データをダウンロードし、出力する<br/>                 - 写真台帳<br/>                 - 変状図(DXF)<br/>                 - トンネル点検結果総括表</p>  |   |                  |  |         |              |  |                |      |  |                 |  |        |   |                       |   |         |                             |  |              |        |          |        |      |  |          |          |  |       |                                      |  |          |   |   |         |  |
| 調書作成支援の適用条件           | <p>・弊社の走行撮影結果を用いない場合は、以下の条件の画像データが必要となる<br/>                 1)被写体に対して正対している<br/>                 2)各スパンで分離している<br/>                 ・ブラウザが動作する環境であること</p>   |   |                  |  |         |              |  |                |      |  |                 |  |        |   |                       |   |         |                             |  |              |        |          |        |      |  |          |          |  |       |                                      |  |          |   |   |         |  |
| 調書作成支援に活用する機器・ソフトウェア名 | <p>・点検調書データのダウンロード:OS Windows10以降、ブラウザ Chrome<br/>                 ・リコー製点検調書作成支援ソフト v1.1<br/>                 ・クラウドサービス提供:有</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        | 特に無し(交通規制なし)   | - |
|         | 無線等使用における混線等対策 | 特に無し   | - |
|         | 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       | 計測装置を一般車両へ取付後、自走   | - |
|         | トンネル延長の制約      | 特に無し   | - |
|         | 車線数の制約         | 特に無し   | - |
|         | 断面形状の制約        | ・道路幅員3.0m~15m、高さ3.35m~8.5m<br>・非常駐車帯等により断面寸法変化のある区画では再計測が必要になる | - |
|         | その他            | 煤・汚れが著しく付着している箇所はひび割れの計測制度や検出精度が低下する。                          | - |

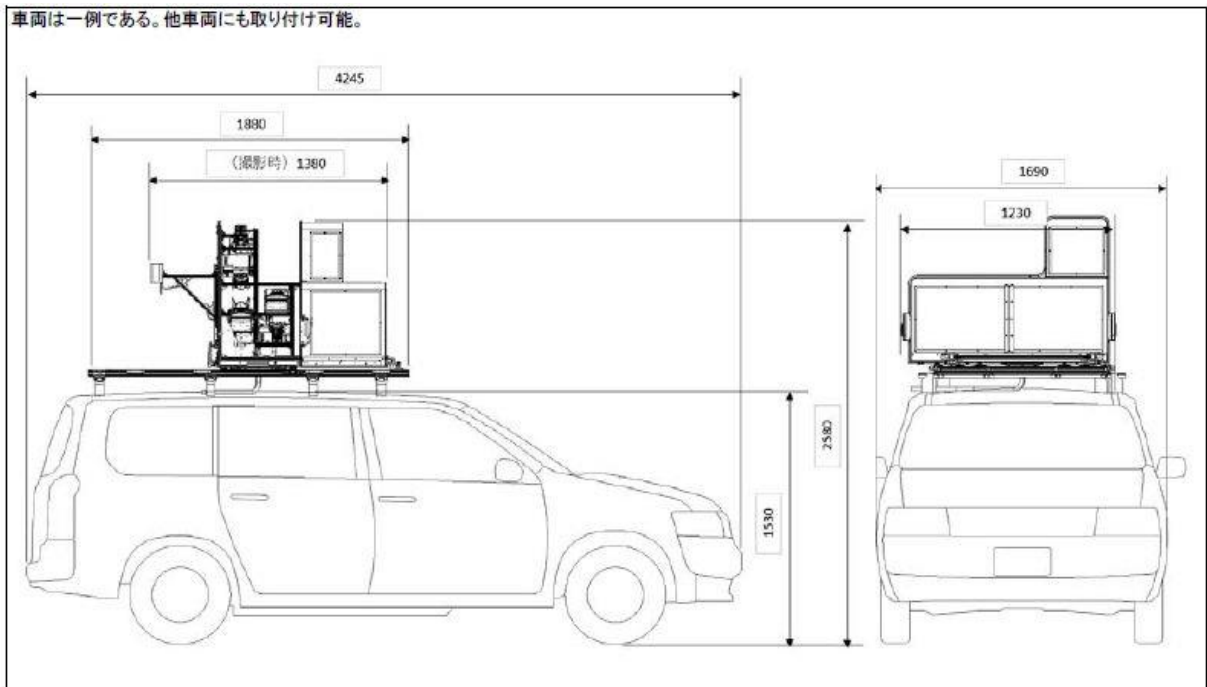
6. 留意事項(その2)

| 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            | 取り扱いのための簡単な社内講習を受講していただく必要あり   | -                              |
| 必要構成人員数             | 車両運転員1人、オペレーター1人 合計2人  | -                              |
| 操作に必要な資格等の有無、フライト時間 | ・車両の運転:普通自動車免許<br>・計測装置の操作:簡単な事前講習を受講済であること  | -                              |
| 操作場所                | 操作場所:車両内<br>作業ヤード:坑口付近の作業ヤードは不要  | -                              |
| 計測作業日数              | ・約0.25日/本<br>(トンネル延長:500m程度。準備・片付け時間含む)  | -                              |
| 点検費用                | [トンネル条件]<br>・延長500m(1本及び10本計測時)<br>・ひび割れ密度0.3m/m <sup>2</sup><br>・2車線断面、歩道なし、照明有り、<br>[費用]<br>・新技術活用による費用<br>トンネル1本の場合:500,000円<br>トンネル10本の場合:4,500,000円<br>輸送費等含む(東京都内への移動の場合)<br>[日数・費用算定上の条件]<br>・画像撮影・展開画像作成<br>・附属物の背面などの不可視部なし<br>[日数]<br>・トンネル1本の場合<br>外業作業:1日、内業作業:4日<br>・トンネル10本の場合<br>外業作業:2.5日程度、内業作業:16日程度 | -                              |
| 保険の有無、保障範囲、費用       | ・車両:計測装置を搭載する車両の保険内容による<br>(当社にて車両を準備する場合は任意保険加入済)<br>・計測装置:動産保険加入済  | -                              |
| 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          | 40km/h程度   | -                              |
| 渋滞時の計測可否            | 車が停止しなければ計測可能  | ただし、10km/h以上を推奨                |
| 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撮影不可  | -                              |
| 車両から覆工表面までの距離条件     | 1000mm~7500mmの範囲内  | -                              |
| トンネル内照明の消灯の必要性      | 無し   | -                              |
| 可搬性(寸法・重量)          | 分離型のため、計測装置のみ運搬可能  | -                              |
| 自動制御の有無             | 有  | 自動露光制御・自動成否判定等あり               |
| 利用形態:リース等の入手性       | 以下のいずれかによる<br>・業務委託<br>・計測装置のレンタル  | -                              |
| 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  | ・展開画像作成ソフト:自社開発ツール使用。担当者による解析作業<br>・変状図作成支援ソフト:自社開発ツール(クラウドサービス)。利用者による解析作業(+AIによる補助機能)<br>・ソフト費用:上記計測作業費用に含む  | -                              |
| 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        | 計測事前点検:カメラと照明の調整確認<br>機材全体点検:1年に1度、撮影システム全体の点検   | -                              |
| その他                 | ・特許状況:性能達成のための特徴的な技術(被写界深度拡大カメラ、クラウドサービス等)について、国内海外で特許出願済(登録済含む)<br>・気象条件:降雨時の計測は不可<br>・作業条件:特になし  | 車両:トヨタ プロボックス/サクシード 推奨 他車種 要相談 |

作業条件・運用条件

7. 図面

計測装置・車両の寸法



計測装置の写真



トンネル計測の様子



1. 基本事項

|         |  |   |                   |
|---------|--|---|-------------------|
| 技術番号    | TN010008-V0221   |   |                   |
| 技術名     | トンネル覆工表面撮影システム   |   |                   |
| 技術バージョン | なし   | 作成: 2021年10月  |                   |
| 開発者     | (株)三井E&Sマシナリー<br>(株)トノックス  |   |                   |
| 連絡先等    | TEL: 03-3544-3221<br>0863-23-3200  | E-mail: morishih@mes.co.jp<br>hatada@mes.co.jp  | 事業開発センター<br>森島 弘吉 |
| 現有台数・基地 | 1台   | 基地  | 岡山県玉野市            |
| 技術概要    | トンネル覆工表面撮影システムは、カラーラインセンサカメラを搭載した専用車両で覆工表面を撮影しトンネル全体の展開図を作成する技術で、従来は近接目視点検時(目視検査)結果のスケッチで対応していた。 |   |                   |
| 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<br>※トンネル附属物の裏側は除く<br>※坑門部は除く  |                   |
|         | 変状の種類  | ・ひび割れ(幅および長さ)、目地切れ、コールドジョイント、ジャンカ、漏水、エフロレッセンス、<br>うき・はく離(範囲を示すチョーキングがあるもの)、補修工、鋼材腐食など(目視で確認できる変状) |                   |
|         | 物理原理   | 画像  |                   |

2. 基本諸元

|                                 |   |   |   |
|---------------------------------|---|---|---|
| 計測機器の構成                         |   | 本計測機器はカラーラインセンサーカメラ13台と高照度LEDを搭載した「カメラユニット」と「撮影画像処理装置」を「移動車両」に一体化させたものである。  |   |
| 移動装置                            | 移動原理  | 【車両型】<br>・内燃機関を搭載した車両にて移動する。(車両一体型)   |   |
|                                 | 外形寸法・重量   | ・一体構造(移動装置+計測装置)<br>・外形寸法(長さ659cm×幅240cm×高さ350cm)<br>・重量(7080kgf)           |   |
|                                 | 搭載可能容量<br>(分離構造の場合)   |   |   |
|                                 | 動力  | ・動力源:内燃機関<br>・燃料:ディーゼル<br>・定格出力:2.99kW                                      |   |
|                                 | 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合)  | ・走行車両内燃機関:約13時間(燃費5km/?、計測時平均時速40km/h想定、連続走行距離500km)                        |   |
| 計測装置                            | 設置方法  | ・移動装置と一体的な構造。   |   |
|                                 | 外形寸法・重量<br>(分離構造の場合)  | —   |   |
|                                 | センシングデバイス   | カメラ   | ピクセルサイズ (5μm×10μm):10μmピッチ<br>波長感度 : 350~1050nm(ピーク 660nm)<br>ピクセル数 : 4080 列配置<br>ライン転送速度 : 14.1kHz(データ転送速度56Mピクセル/s)<br>レンズ焦点距離 : 200mm(電動フォーカス、電動絞り機能付き)<br>覆工展開画像形式 : オールソ<br>覆工展開画像1スパンあたり(2車線道路・10.5m/スパンを目安)のデータ容量 : 約2GB |
|                                 |   | パン・チルト機構  | ・水平稼働範囲 360°  |
|                                 |   | 角度記録・制御機構機能   | 該当なし  |
|                                 |   | 測位機構  | ・レーザースキャナ搭載:計測画像の歪補正用(スキャナ中心から覆工表面までの距離を所定角度で計測)<br>計測範囲 0.7m~80m、角度分解能 0.25° ~1.0°<br>・距離計:レーザードップラー式距離計、距離分解能:1mm   |
|                                 | 耐久性   | ・IP51程度   |   |
|                                 | 動力  | ・撮影ユニットに搭載された発電機により発電された電力を用いる。   |   |
| 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合)          | ・発電機:約8時間(実績による。全システム連続稼働時。計測時平均時速40km/h想定、連続走行距離320km)<br>※計測装置(PC)の保存装置SSDの容量制限(1TB)により、40km毎にSSD内のバックアップ(PC内データ消去)が必要。 |   |   |
| 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<br>(分離構造の場合)  | —   |   |
|                                 | データ収集・記録機能  | ・各カメラに接続された記録用PC内の記録メディア(ハードディスク)にデータを保存する。<br>・保存データは、各記録用PCおよび操作PCにて確認可能。 |   |
|                                 | 通信規格<br>(データを伝送し保存する場合)   | —   |   |
|                                 | セキュリティ<br>(データを伝送し保存する場合)   | —   |   |
|                                 | 動力  | ・撮影ユニットに搭載された発電機により発電された電力を用いる。   |   |
| データ収集・通信可能時間<br>(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>被写体(トンネル覆工面)までの距離</li> <li>車両中心から2,500mm以上</li> </ul> | —                    |
| 適用可能なトンネルの最大寸法 | <ul style="list-style-type: none"> <li>被写体(トンネル覆工面)までの距離</li> <li>車両中心から7,500mm以下</li> </ul> | —                    |



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 | 【動作条件】<br>周方向計測ピッチ:0.2mm<br>進行方向ピッチ:0.5mm   |
|      | 計測精度                | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | 【天候】<br>悪天候時は不可。トンネル内では天候に関わらず調査は可能であるが、トンネルまでの移動中、レンズへの水滴付着などにより撮影画像に影響を及ぼす可能性がある。<br>【路面状態】<br>特になし(冬用タイヤ等により対処)。ただし悪路は不可。<br>【トンネル覆工状況】<br>・トンネル覆工表面に結露なきこと。水分が反射して表面状況を正しく捉えられない可能性がある。<br>・トンネル覆工表面に煤等汚れがなきこと。表面状況を正しく捉えられない可能性がある。<br>・ひび割れとチョークが重なっていないこと。ひび割れにチョークが重なっていると、画像からひび割れが確認できない可能性がある。 |
|      | 長さ計測精度<br>(長さの相対誤差) | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | 同上  |
|      | 位置精度                | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | 同上<br>【GNSS測位】<br>特になし  |
|      | 色識別性能               | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | 【日照条件】<br>10,000LUX以上の照度(機械のLED照明から壁面までの距離:4m~8m)以上の太陽光が、坑口付近に「直接照らされている状態」で、「坑内(暗)」から「坑口(明)」に向かって計測した場合、感度調整が間に合わないため、坑口付近は白飛びする。  |

※「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>[手順]<br/>                 ①撮影した画像をレーザスキャナで取得したトンネル断面形状データで幾何補正し歪の無い画像に変換<br/>                 ②スパン継ぎ目を参考に1枚のスパン毎の画像に合成する。合成された画像を1000×800/1ファイルの画像にタイル化する。<br/>                 ③画面上に表示される展開図用スパン枠に②で作成した画像をはめ込む。この時、スパン継ぎ目およびFL部がスパン枠に一致するよう画像サイズを変更・調整する。<br/>                 ④画像上で変状部をトレースして展開図のベースとなるデータを作成する。<br/>                 ひび割れ幅は疑似的なクラックスケールをポップアップ画面に表示、比較して入力する。<br/>                 ⑤抽出した変状はDXFに変換し、CADソフトで展開図にする。<br/>                 [解析日数]<br/>                 ・500m×1トンネルの場合 : 最短6日</p> |   |   |
| <p>ソフトウェア情報</p>              | <p>ソフトウェア名</p>  | <p>・「新トンネル解析ソフト ver1.0.0.7」(自社開発ソフト)</p>  |   |
|                              | <p>検出可能な変状</p>  | <p>・ひび割れ(幅および長さ)、目地切れ、コールドジョイント、ジャンカ、材料劣化、漏水、エフロッセンス<br/>                 材料劣化、補修、鋼材腐食など(目視で確認できる変状)</p>  |   |
|                              | <p>変状検出の原理・アルゴリズム</p>   | <p>ひび割れ</p>   | <p>・人が画像を確認(技術者による目視確認)して、ひび割れを人力でトレース</p>  |
|                              |   | <p>ひび割れ幅および長さの計測方法</p>  | <p>・幅:画像上に疑似的なクラックスケール表示して入力する<br/>                 ・長さ:起終点を人力で指定し、CAD上で直線距離を計測</p> |
|                              |   | <p>ひび割れ以外</p>   | <p>・人が画像を確認(技術者による目視確認)して、変状を人力でトレース</p>  |
|                              |   | <p>画像処理の精度(学習結果に対する性能評価)</p>  | <p>—</p>  |
|                              |   | <p>変状の描画方法</p>  | <p>・ひび割れ:ポリライン<br/>                 ・ひび割れ以外:ポリゴン</p>                                |
|                              | <p>取り扱い可能な画像データ</p>   | <p>ファイル形式</p>   | <p>・カラービットマップ</p>   |
|                              |   | <p>ファイル容量</p>   | <p>・1000画素×800画素/1ファイルのタイル化された画像(1スパンあたり8000~10000ファイル程度)</p>                       |
|                              |   | <p>カラー/白黒画像</p>   | <p>・カラー画像</p>   |
| <p>画素分解能</p>                 |   | <p>・0.2mm/1画素</p>   |   |
| <p>その他留意事項</p>               |   | <p>・覆工面に正対した画像であること<br/>                 ・ひび割れにチョークが重なっている場合は検出が困難<br/>                 ・覆工面が煤により汚れている場合は、ひび割れの検出が困難<br/>                 ・撮影時された画像は十分な明るさ調整とフォーカス調整された画像であること<br/>                 ・撮影時の不陸による揺れのある画像の補正は不可</p> |   |
| <p>出力ファイル形式</p>              | <p>【汎用ファイル形式の場合】<br/>                 ・DWG形式<br/>                 【専用ファイル形式の場合】<br/>                 ・新トンネル解析ソフトの編集機能(作図機能)を無しにしたものでスパン毎の画像と作図内容の閲覧が可能</p>  |   |   |
| <p>調書作成支援の手順</p>             | <p>【変状展開図作成手順】<br/>                 ①撮影した画像をレーザスキャナで取得したトンネル断面形状データで幾何補正し歪の無い画像に変換<br/>                 ②スパン継ぎ目を参考に1枚のスパン毎の画像に合成する。合成された画像を1000×800/1ファイルの画像にタイル化する。<br/>                 ③画面上に展開図用スパン枠が表示され、そのスパン枠に②で作成した画像をはめ込む。この時、スパン継ぎ目およびFL部がスパン枠に一致するよう画像サイズを変更・調整する。<br/>                 ④画像上で変状部をトレースして展開図のベースとなるデータを作成する。<br/>                 ひび割れ幅は、画面上に表示される疑似的なクラックスケールと比較して入力する。<br/>                 ⑤抽出した変状はDXFに変換し、CADソフトで展開図にする。</p>  |   |   |
| <p>調書作成支援の適用条件</p>           | <p>・覆工面に正対した画像であること<br/>                 ・ひび割れにチョークが重なっている場合は検出が困難<br/>                 ・覆工面が煤により汚れている場合は、ひび割れの検出が困難<br/>                 ・撮影時された画像は十分な明るさ調整とフォーカス調整された画像であること<br/>                 ・撮影時の不陸による揺れのある画像の補正は不可</p>   |   |   |
| <p>調書作成支援に活用する機器・ソフトウェア名</p> | <p>・「新トンネル解析ソフト ver1.0.0.7」(自社開発ソフト)</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<br>検<br>時<br>現<br>場<br>条<br>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        | ・不要   | —  |
|                                 | 交通規制の範囲        | ・不要   | —  |
|                                 | 現地への運搬方法       | ・自走式  | —  |
|                                 | トンネル延長の制約      | ・制約なし   | —  |
|                                 | 車線数の制約         | ・制約なし   | —  |
|                                 | 断面形状の制約        | ・被写体(トンネル覆工面)までの距離<br>車両中心から2,500mm以上、7,500mm以下 | —  |
|                                 | その他            | ・すす汚れによる作業の可否 : 可                               | 覆工面の状況:すす汚れ等でひび割れ等変状が目視できない場合、検出精度が低下または検出不可 |

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            | ・特になし  | —  |
| 必要構成人員数             | ・現場責任者1人、点検員1人、車両運転員1人、合計3名  | —  |
| 操作に必要な資格等の有無、フライト時間 | ・車両運転員 中型自動車免許(8t以下限定免許含む)   | —  |
| 操作場所                | ・車両内   | —  |
| 計測作業日数              | <p>【参考】新技術活用による作業日数</p> <p>[トンネル条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れ密度0.3m/m<sup>2</sup></li> <li>・2車線断面、歩道なし</li> <li>・2回目以降の点検</li> <li>・補修箇所なし</li> </ul> <p>[作業日数]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>条件1) 延長500m×1トンネル 外業:1日、内業:最短6日</li> <li>条件2) 延長500m×10トンネル 外業:1日、内業:最短20日</li> </ul> <p>[日数算定上の条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・条件2) 50km以内に10トンネルが連続する場合を想定。</li> </ul>   | —  |
| 点検費用                | <p>【参考】新技術活用による計測費用</p> <p>[トンネル条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れ密度0.3m/m<sup>2</sup></li> <li>・2車線断面、歩道なし</li> <li>・2回目以降の点検</li> <li>・補修箇所なし</li> </ul> <p>[費用]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>条件1) 延長500m×1トンネル<br/>外業705千円、内業895千円 合計1,600千円</li> <li>条件2) 延長500m×10トンネル<br/>外業650千円、内業5,350千円 合計6,000千円</li> </ul> <p>[費用算定上の条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・条件2) 50km以内に10トンネルが連続する場合を想定。</li> <li>・現地1日(8h)を想定した場合。</li> <li>・旅費交通費、移動経費は別途計上とする。</li> </ul> | —  |
| 保険の有無、保障範囲、費用       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・加入済み</li> <li>保証範囲: 対物・対人、保証金額: 無制限</li> <li>保証範囲: 人身傷害、保証金額: 3,000万円</li> <li>保証範囲: 搭乗者傷害、保証金額: 1,000万円</li> <li>保証範囲: 車両、保証金額: 7,000万円</li> </ul>  | —  |
| 時間帯(夜間作業の可否)        | ・制約なし(夜間作業は可)  | —  |
| 計測時の走行速度条件          | ・80km/h以下  | —  |
| 渋滞時の計測可否            | ・計測可能  | —  |
| 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撮影不可   | —  |
| 車両から覆工表面までの距離条件     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・被写体(トンネル覆工面)までの距離</li> <li>・車両中心から2,500mm以上、7,500mm以下</li> </ul>   | —  |
| トンネル内照明の消灯の必要性      | ・必要なし  | —  |
| 可搬性(寸法・重量)          | ・自走式   | —  |
| 自動制御の有無             | ・無   | —  |
| 利用形態:リース等の入手性       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・委託業務(解析サービス、計測技術者派遣のみも対応可)</li> <li>・リース(21年度～予定)</li> </ul>   | —  |
| 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: 有</li> <li>「新トンネル解析ソフト ver1.0.0.7」(自社開発ソフト)</li> <li>・必要作業: 担当者による画像データ、展開図作成</li> <li>・費用: トンネル延長1km当たり 1,389,700円</li> <li>(諸経費は別途/平成30年度設計業務委託等技術者単価)</li> </ul>   | —  |
| 不具合時のサポート体制の有無及び条件  | ・有、条件: 車両持込  | —  |
| センシングデバイスの点検        | ・年に1回、機器の定期点検を行い性能を確認する。   | —  |
| その他                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・特許状況 : 特になし</li> <li>・気象条件 : 特になし</li> <li>・作業条件 : 特になし</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・気象条件 : 雨天時はトンネル外の計測走行は不可。(計測機器故障に繋がるため)</li> </ul> |

作業条件・運用条件

7. 図面



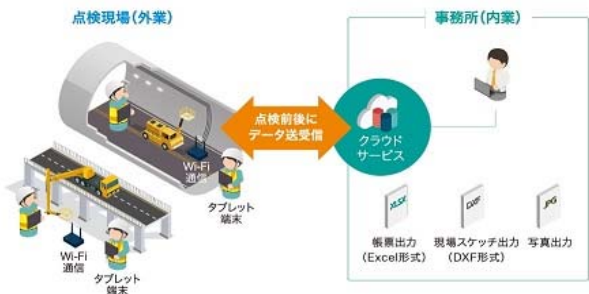
計測時は後部シャッターが開いて照明ユニット、撮影ユニットが後方に張出す(600mm程度)



1. 基本事項

|         |   |                                |   |
|---------|---|--------------------------------|---|
| 技術番号    | TN010009-V0021  |                                |   |
| 技術名     | トンネルの点検業務における調書作成を補助するインフラ点検レポートサービス  |                                |   |
| 技術バージョン | V1  | 作成: 2021年10月                   |   |
| 開発者     | 沖電気工業株式会社   |                                |   |
| 連絡先等    | TEL: 03-3454-2111   | E-mail: ifrmt-websales@oki.com | ソリューションシステム事業本部 社会インフラソリューション事業部 ビジネス開発部<br>岩井 康宏 |
| 現有台数・基地 | クラウドサービス1環境   | 基地                             | 東京都港区芝浦4-10-16                                    |
| 技術概要    | <p>本技術は道路トンネルの定期点検業務で点検結果を記録する作業をタブレット端末により実施し、点検調書を作成する技術。</p> <p>本技術は、市販のタブレット端末にソフトウェアをインストールすることで利用可能。</p> <p>点検現場でタブレット端末を用いて点検結果を入力し、そのデータを調書形式で取得できる。これにより図面作成や写真整理などの調書作成作業が可能。</p> |                                |   |
| 技術区分    | 対象部位  | トンネルのコンクリート表面                  |   |
|         | 変状の種類   | -                              |   |
|         | 物理原理  | -                              |   |

2. 基本諸元

|                                 |                           |   |   |
|---------------------------------|---------------------------|---|---|
| 計測機器の構成                         |                           | <p>①タブレット端末<br/>②Wi-Fiルーター<br/>③クラウドサービス<br/>④作業用パソコン</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>●タブレット端末は最大9台まで同時に利用可能</li> <li>●Excel, CAD (DXF) など編集可能なデータ出力</li> <li>●公共回線との接続なしで点検作業が実施可能</li> <li>●国土交通省の定める各種帳票に対応</li> <li>●タブレット端末間はWi-Fi通信でデータ共有可能</li> <li>●地方自治体が定める様式に対応可能(有償)</li> </ul> |   |
| 移動装置                            | 移動原理                      | -   |   |
|                                 | 外形寸法・重量                   | -   |   |
|                                 | 搭載可能容量<br>(分離構造の場合)       | -   |   |
|                                 | 動力                        | -   |   |
|                                 | 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合)    | -   |   |
| 計測装置                            | 設置方法                      | -   |   |
|                                 | 外形寸法・重量<br>(分離構造の場合)      | -   |   |
|                                 | センシングデバイス                 | カメラ   | - |
|                                 |                           | 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<br>(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<br>(分離構造の場合)      | 使用するタブレット端末に順ずる。  |   |
|                                 | データ収集・記録機能                | ・点検記録時はタブレット端末のハードディスクに保存。<br>・点検終了後、タブレット端末よりクラウドサービスにアップロードする際はインターネット回線を経由してクラウドサービス側のDBに保存  |   |
|                                 | 通信規格<br>(データを伝送し保存する場合)   | タブレット端末の無線LANインターフェースに準ずる<br>(IEEE802.11a/b/g/n準拠)  |   |
|                                 | セキュリティ<br>(データを伝送し保存する場合) | TLSで通信路を暗号化   |   |
|                                 | 動力                        | バッテリー駆動(使用するタブレット端末に順ずる。)   |   |
| データ収集・通信可能時間<br>(データを伝送し保存する場合) | 通信時間はトンネル延長や変状記録量に応じて変化   |   |   |

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 ※ | 無 | —                    |
|      | 計測精度                | 性能確認シートの有無 ※ | 無 | —                    |
|      | 長さ計測精度<br>(長さの相対誤差) | 性能確認シートの有無 ※ | 無 | —                    |
|      | 位置精度                | 性能確認シートの有無 ※ | 無 | —                    |
|      | 色識別性能               | 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. 画像処理・調書作成支援

|                       |   |                           |   |
|-----------------------|---|---------------------------|---|
| 変状検出手順                | -   |                           |   |
| ソフトウェア情報              | ソフトウェア名   | -                         |   |
|                       | 検出可能な変状   | -                         |   |
|                       | 変状検出の原理・アルゴリズム  | ひび割れ                      | - |
|                       |   | ひび割れ幅および長さの計測方法           | - |
|                       |   | ひび割れ以外                    | - |
|                       |   | 画像処理の精度<br>(学習結果に対する性能評価) | - |
|                       |   | 変状の描画方法                   | - |
|                       | 取り扱い可能な画像データ  | ファイル形式                    | - |
|                       |   | ファイル容量                    | - |
|                       |   | カラー／白黒画像                  | - |
| 画素分解能                 |   | -                         |   |
| その他留意事項               |   | -                         |   |
| 出力ファイル形式              | -   |                           |   |
| 調書作成支援の手順             | <p><b>【使用方法】</b><br/>                     1.点検実施前(事務所作業)<br/>                     トンネルの諸元情報等をクラウドサーバに登録し、点検前データを作成。タブレット端末で点検前データを取得。<br/>                     2.点検実施時(現場作業)<br/>                     1)タブレット端末で変状をスケッチ<br/>                     2)タブレット端末で写真撮影・変状内容を入力<br/>                     3)変状内容は、タブレット端末の画面に表示される候補から選択し入力<br/>                     3.点検実施後(事務所作業)<br/>                     1)タブレット端末から点検結果をクラウドサーバへアップロード。その後、写真番号や健全性などを登録・編集。複数の調書に記載する項目は、クラウドサーバが各調書の該当箇所に反映。<br/>                     2)クラウドサーバの画面の流れに沿って調書形式のファイル(.xlsx)・CAD形式のファイル(.dxf)で取得。必要に応じ、修正や清書を実施。</p>   |                           |   |
| 調書作成支援の適用条件           | <p>(利用者にて各種準備が必要)<br/>                     ①作業用パソコン<br/>                     ハードウェア:プロセッサIntel Core M または Core i3以上<br/>                     メモリー:2GB以上<br/>                     ディスプレイ:1280×1024以上を推奨<br/>                     ソフトウェア:OS Windows 10 32/64-bit OS 日本語版<br/>                     ブラウザー:Internet Explorer 11、Google Chrome 49以降<br/>                     Office:Microsoft Excel 2010 以降<br/>                     CAD:AutoCAD 2000以降<br/>                     ②タブレット端末<br/>                     ハードウェア:プロセッサIntel Core M または Core i3以上<br/>                     メモリー:4GB以上<br/>                     記憶容量:2GB以上の空き容量<br/>                     ディスプレイ:タッチパネル付きカラー液晶ディスプレイ 1280×1024以上 10.1型以上を推奨<br/>                     無線LANインターフェース:IEEE802.11a/b/g/n準拠<br/>                     内蔵カメラ:有効画素数 120万画素以上<br/>                     入力デバイス:タッチペン<br/>                     電源:バッテリー駆動時間 7時間以上<br/>                     ソフトウェア:OSWindows 10 64-bit OS 日本語版<br/>                     ブラウザー:Google Chrome 49以降<br/>                     (その他 防水、防塵、耐衝撃仕様が望ましい)<br/>                     ③Wi-Fiルーター(タブレット端末間の通信利用時)<br/>                     ハードウェア:無線LANインターフェースIEEE802.11a/b/g/n準拠<br/>                     電源:バッテリー内蔵</p> |                           |   |
| 調書作成支援に活用する機器・ソフトウェア名 | <p>・「インフラ点検レポートサービス」(自社開発ソフト クラウドサービス提供)<br/>                     その他は調書作成支援の適用条件の記載の通り</p>   |                           |   |

6. 留意事項(その1)

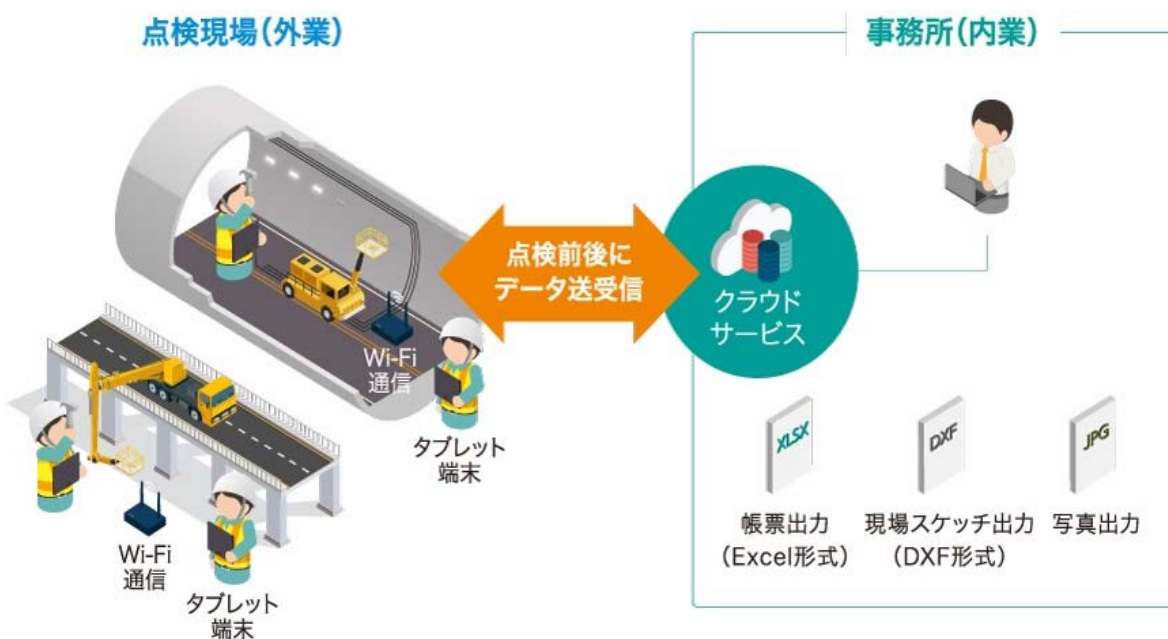
| 項目      | 適用可否/適用条件      | 特記事項(適用条件)   |  |
|---------|----------------|--|--|
| 点検時現場条件 | 安全面への配慮        | 特になし(定期点検に必要な配慮をしていただく)  |  |
|         | 無線等使用における混線等対策 | タブレット端末間通信を行う場合は現場にて親端末、子端末を設定する。<br>混線に関しては使用するWi-Fiルータの性能による |  |
|         | 交通規制の要否        | 特になし(定期点検に必要な交通規制をしていただく)                                      |  |
|         | 交通規制の範囲        | 特になし(定期点検に必要な交通規制をしていただく)                                      |  |
|         | 現地への運搬方法       | タブレット端末を人による運搬する   |  |
|         | トンネル延長の制約      | 3km以上は相談   |  |
|         | 車線数の制約         | 2車線の表現固定   |  |
|         | 断面形状の制約        | 円形のトンネルは対応可能で、それ以外の形状は下絵挿入機能を使うなど工夫が必要                         |  |
|         | その他            | 汚れ、すず等がある場合の作業:可   |  |

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            | 現場操作作業:現場の規制時間も限られるため事前にタブレット端末の基本操作知識が必要。<br>事務所作業:マニュアル見ながら操作するため特に不要  |   |
| 必要構成人員数             | ・現場入力操作(点検)員:1人~9名(9台まで同時に利用可能)<br>・事務所作業捜査員:1名(上記入力操作員と同じでよい)   | 現場作業と事務所作業のリアルタイムに連携しての作業はない  |
| 操作に必要な資格等の有無、フライト時間 | 特になし   |   |
| 操作場所                | 作業ヤード:否  | 現場にて地上でも高所作業車でも操作する上で現場入力操作(点検)員の安全が確保できる場所   |
| 計測作業日数              | 計測作業日数(想定):5日(延長500m)<br>計測作業日数(想定):50日(延長500m×10本)  | ・操作習熟すれば、従来点検作業と同等の日数<br>想定トンネル条件<br>・延長500mのトンネル<br>・ひび割れ密度0.3m/m <sup>2</sup><br>・2車線断面、歩道なし<br>・2回目以降の点検<br>・補修箇所なし<br>・照明灯具がある<br>・トンネル半円の弧の長さ20m       |
| 点検費用                | サービス利用料<br>トンネル1本あたりの延長500m以上1000m未満/利用期間6カ月/¥330,000(トンネル1本あたりの費用)<br>延長500mのトンネルで10本利用する場合は下記になる。<br>利用期間6カ月/¥3,300,000(トンネル10本分の費用) | 複数本利用する場合、トンネル延長は合算しません。事例にある500mのトンネル延長10本の場合、合算して5000mという計算ではなく、トンネル1本毎の延長で(事例ですと500mのトンネル10本として)サービス利用料を頂戴いたします。その他のトンネル延長での料金に関しては問い合わせ窓口よりお問い合わせください。  |
| 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   |   |
| 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      | タブレット端末のカメラを使用する場合は照明の必要あり(消灯は不要)  |   |
| 可搬性(寸法・重量)          | —  |   |
| 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       | サービス利用(クラウドサービスとタブレット端末アプリケーションが提供される、タブレット端末自体は利用者側の準備になる)  |   |
| 関係機関への手続きの必要性       | 特になし<br>(必要があれば発注者に使用する許諾をいただく。)   |   |
| 解析ソフトの有無と必要作業及び費用等  | 解析ソフト無   |   |
| 不具合時のサポート体制の有無及び条件  | ・ソフトに関するサポート体制「有、サポートの問い合わせは平日9-17時 サポート専用メールアドレスから受付」<br>・タブレット端末などハードに関してはサポート無し   |   |
| センシングデバイスの点検        | —  |   |
| その他                 | 特許状況:特開2018-116592<br>気象条件:特になし<br>作業条件:特になし   | ・タブレット端末操作を1~2時間程度を1週間操作練習するとある程度不安なく現場操作はできると考える。<br>・道路トンネル定期点検要領 平成31年3月 道路トンネル定期点検記録様式(13種)および道路トンネル定期点検要領 平成31年2月 道路トンネル記録様式(様式A-1,A-2)に対応。平成26年様式も対応。 |

7. 図面

構成図



- タブレット端末は最大9台まで同時に利用可能
- Excel、CAD (DXF) など編集可能なデータ出力
- 公衆回線との接続なしで点検作業が実施可能
- 国土交通省の定める各種帳票に対応
- タブレット端末間はWi-Fi通信でデータ共有可能
- 地方自治体が定める様式に対応可能 (有償)

インフラ点検レポートサービスの構成図

フロー図



インフラ点検レポートサービスのフロー図

1. 基本事項

|         |  |   |                               |
|---------|--|---|-------------------------------|
| 技術番号    | TN010010-V0021   |   |                               |
| 技術名     | AIを用いたチョーキングひび割れ自動検出   |   |                               |
| 技術バージョン | Ver.1.0.0  | 作成: 2021年10月  |                               |
| 開発者     | 中外テクノス株式会社   |   |                               |
| 連絡先等    | 082-532-1624<br>TEL: 082-532-1623<br>082-532-1623  | E-mail: n.okui@chugai-tec.co.jp<br>t.kojihara@chugai-tec.co.jp<br>yu.fujii@chugai-tec.co.jp | 工業エンジニアリング事業本部<br>技術部 奥井 憲昭   |
| 現有台数・基地 | 2台   | 基地  | 広島県広島市西区横川新町10-21<br>研究技術センター |
| 技術概要    | トンネルの連続画像からチョーキングひび割れをAIで自動検出し、CAD図(DXF)に変換する技術である。チョーキングひび割れの検出を行った後、ソフト上でひび割れ以外のチョーク(数値や文字)を排除することで、変状展開図作成作業の省力化が図れる。対象はコンクリート面のチョーキングひび割れであり、撮影した画像はコンクリート面に正対して撮影したもの、もしくはあおり補正後の1スパン画像を対象とする。なお、検出したひび割れについては、ソフトで幅情報(レイヤー)などの編集が可能であり、画像に距離情報を与えることで、ひび割れ長さの集計もできる。 |   |                               |
| 技術区分    | 対象部位   | 覆工の横断目地/覆工天端/その他覆工面/その他補修箇所/坑門  |                               |
|         | 変状の種類  | チョーキングひび割れ  |                               |
|         | 物理原理   | 画像解析  |                               |

2. 基本諸元

|                                 |                           |             |   |
|---------------------------------|---------------------------|-------------|---|
| 計測機器の構成                         |                           | —           |   |
| 移動装置                            | 移動原理                      | —           |   |
|                                 | 外形寸法・重量                   | —           |   |
|                                 | 搭載可能容量<br>(分離構造の場合)       | —           |   |
|                                 | 動力                        | —           |   |
|                                 | 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合)    | —           |   |
| 計測装置                            | 設置方法                      | —           |   |
|                                 | 外形寸法・重量<br>(分離構造の場合)      | —           |   |
|                                 | センシングデバイス                 | カメラ         | — |
|                                 |                           | 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<br>(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<br>(分離構造の場合)      | —           |   |
|                                 | データ収集・記録機能                | —           |   |
|                                 | 通信規格<br>(データを伝送し保存する場合)   | —           |   |
|                                 | セキュリティ<br>(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<br>(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<br>最小寸法 | -  |                      |
| 適用可能なトンネルの<br>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 ※ | <input type="checkbox"/> |                      |
|      |                     | —            |                          |                      |
|      | 計測精度                | 性能確認シートの有無 ※ | <input type="checkbox"/> |                      |
|      |                     | —            |                          |                      |
|      | 長さ計測精度<br>(長さの相対誤差) | 性能確認シートの有無 ※ | <input type="checkbox"/> |                      |
|      | —                   |              |                          |                      |
|      | 位置精度                | 性能確認シートの有無 ※ | <input type="checkbox"/> |                      |
|      | —                   |              |                          |                      |
|      | 色識別性能               | 性能確認シートの有無 ※ | <input type="checkbox"/> |                      |
|      | —                   |              |                          |                      |

※「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撮影した画像をソフトに取り込む<br/>                 ②チョーキングひび割れの自動検出機能(AI)により、ひび割れを検出する(自動)<br/>                 ③検出したチョーキングひび割れをソフト上で確認し、不要な文字や数値などを削除する。また、途切れているひび割れがあれば結合させる(手動)<br/>                 ④ひび割れ幅のレイヤー分けを行う(必要に応じて)(手動)<br/>                 ⑤その他の変状を作図する(手動)<br/>                 ⑥画像内に基準長さを指定した後、作図された損傷をDXFに変換して出力する<br/>                 解析作業日数 200m/日(チョーキングひび割れのみ)</p> |  |  |
| <p>ソフトウェア情報</p>              | <p>ソフトウェア名</p>   | <p>「インフラ点検 AI画像診断システム Ver1.0.0」(自社開発ソフト)</p> |  |
|                              | <p>検出可能な変状</p>   | <p>チョーキングひび割れ(画像に基準長さを与えることで、長さも測定可能)</p>    |  |
|                              | <p>変状検出の原理・アルゴリズム</p>  | <p>ひび割れ</p>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・AI(畳み込みニューラルネットワーク)によるチョーキングの自動検出</li> <li>・AI教師データは、ひび割れに関する写真に技術者がチョーキング部分を学習教師データ画像は1万枚以上</li> <li>・撮影条件・仕様                         <ol style="list-style-type: none"> <li>1) デジタルカメラ、ラインカメラ(4K)、ビデオカメラ(4K)</li> <li>2) 画像フォーマット(カラー:JPEG、BMP)</li> <li>3) 正対した画像であること。(あおり補正後の画像でも適用可能)</li> </ol> </li> </ul> |
|                              |  | <p>ひび割れ幅および長さの計測方法</p>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・幅:撮影画像にチョーキングされたひび割れ幅(文字)を確認し、システムで手動設定する。</li> <li>・長さ:チョーキングのひび割れ形状と、1pixelあたりの長さを乗することにより算出している。</li> </ul>   |
|                              |  | <p>ひび割れ以外</p>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>・変状種別を手動で描画(システム上orCAD操作)</li> </ul>  |
|                              |  | <p>画像処理の精度<br/>(学習結果に対する性能評価)</p>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・チョーキングひび割れの検出:再現率90%以上・適合率80%以上・F値90%以上<br/>(別途検証用に正解データを準備し、AIより検出したチョーキング結果画像と比較)</li> </ul>   |
|                              |  | <p>変状の描画方法</p>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れ:ポリライン</li> <li>・ひび割れ以外:ポリライン</li> </ul>   |
|                              |  | <p>取り扱い可能な画像データ</p>                          | <p>ファイル形式</p>  |
|                              | <p>ファイル容量</p>  |  | <p>画像1枚あたり 最小256×256Pixel(約1m×1m)、最大30000×20000Pixel(約15m×10m)</p>   |
|                              | <p>カラー/白黒画像</p>  |  | <p>カラー(RGB8bit)</p>  |
| <p>画素分解能</p>                 | <p>・画像内のチョーク幅、3Pixel以上、10Pixel以下</p>   |  |  |
| <p>その他留意事項</p>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・覆工面に正対した画像であること</li> <li>・白以外のチョークは検出対象外</li> <li>・JPEGの「圧縮ビット/ピクセル」等の設定によっては、別途変換作業が必要</li> </ul>   |  |  |
| <p>調書作成支援の手順</p>             | <p>①画像データからチョーキングひび割れを検出し、ソフト上でひび割れ以外の損傷を描画しCAD(dx)データに出力する。<br/>                 ②作成したCADデータをスパン毎につなぎ併せ、変状展開図を作成する。</p>   |  |  |
| <p>調書作成支援の適用条件</p>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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                         <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 被写体に対して正対して撮影(あおり補正後の1スパン画像でも可)</li> <li>2) 画像の解像度はとして、チョーク幅が3Pixel以上、10Pixel以下</li> </ol> </li> <li>・0.4m/m<sup>2</sup>以上のひび割れ密度の場合に適用の優位性が生じる</li> </ul>   |  |  |
| <p>調書作成支援に活用する機器・ソフトウェア名</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・Matrox社製「MatroxImagingLibrary(MIL)」(市販ソフト)</li> <li>・「インフラ点検 AI画像診断システム Ver1.0.0」(自社開発ソフト)</li> <li>・CADソフト(市販ソフト)</li> <li>※クラウドサービスの提供なし</li> </ul>  |  |  |

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<br>検<br>時<br>現<br>場<br>条<br>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      | —   |            |
|                                 | 車線数の制約         | —   |            |
|                                 | 断面形状の制約        | —   |            |
|                                 | その他            | 以下の場合、チョーキングひび割れの検出精度が低下する。<br>1)すず汚れがある。<br>2)チヨークが薄い。 |            |

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           | —   |   |
| 必要構成人員数            | —   |   |
| 操作に必要な資格等の有無       | —   |   |
| 操作場所               | 所内作業のため、作業ヤード等は不要   |   |
| 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      | 受託サービス  | 解析条件ごと、都度見積もりとなります。   |
| 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: 自社開発ソフト(インフラ点検 AI画像診断システム Ver1.0.0j)を使用<br>: Matrox社製「MatroxImagingLibrary (MIL)」<br>(市販ソフト)<br>・必要作業: 担当者による解析作業およびCADによる変状展開図作成 |   |
| 不具合時のサポート体制の有無及び条件 | 受託範囲内での対応   |   |
| センシングデバイスの点検       | —   |   |
| その他                | 特許状況: 特になし<br>気象条件: 特になし<br>作業条件: 特になし  | 適用できない条件<br>・白色以外のチョークを使用している場合<br>・コンクリート表面が著しく汚れている、もしくはチョーキングの色、線が薄い、または太すぎる場合など |

7. 図面

トンネルスパン画像



ソフトでチョーキング検出後の画像

トンネル覆工



ソフトでチョーキング検出後の画像

1. 基本事項

|         |   |                                  |                      |
|---------|---|----------------------------------|----------------------|
| 技術番号    | TN010011-V0021                                  |                                  |                      |
| 技術名     | 統合型トンネル点検・診断支援システム-iTAMS: データベースシステム、オンサイトシステム- |                                  |                      |
| 技術バージョン | ver.1   | 作成:                              | 2021年10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 インフラマネジメント部 |
| 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、画像処理系の技術を取り纏めた。

- ・【iTAMS:データベースシステム】 MIMM-Rにより点検前に取得した画像を処理しスパン合成画像の作成、画像による変状抽出、客観的・正確な位置での変状展開図の作成、近接目視点検結果の反映などをPC画面で一連の作業を行い、一括処理により帳票を自動出力するとともに、経年データを一元管理するデータベースシステム
- ・【オンサイトシステム】 MIMM-Rにより点検前に取得した画像・レーザ・レーダにより変状展開図を作成し、タブレットに入れ現場でのスケッチ作業を効率化する技術
- ・【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処理などを行うことで点検結果を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  
 TN030007-V0021\_統合型トンネル点検・診断支援システムのうち、レーザを活用した技術  
 TN010006-V0221\_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-V0121\_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-V0121\_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

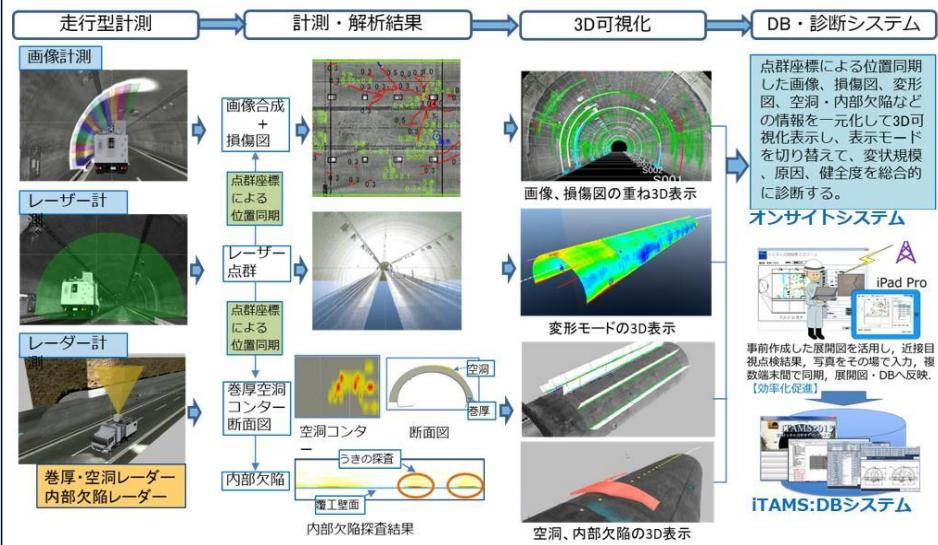


図-1 技術概要図

|       |   |
|-------|---|
| 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)                 |
| 変状の種類 | 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)/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) |
| 物理原理  | 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。<br>レーダ:電磁波   |



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種類のレーザ計測部(TYPE1:覆工巻厚・背面空洞探査用レーザ、TYPE2:うきなど内部欠陥探査レーザ)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 UI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>   |   |
|                             | 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) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・移動装置としては連続稼働時間の制限は特になし</li> </ul>  |   |
| 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          | カメラ  | <p>【ビデオカメラ】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・Full-HDカメラ 18台 (有効画素数 200万画素:1920×1080、MIMM-R搭載)</li> <li>・画像分解能の設定 0.75~1.5mm/pixに対応可能</li> <li>・エリアカメラ、グローバルシャッター</li> <li>・SS:標準は1/2000、50km/hの場合SS:1/3,000以上</li> <li>・動画フレームレート 30 fps</li> <li>・照明 LED照明48台 3m離隔での照度は5,000lx程度</li> <li>・覆工展開画像形式:その他(覆工壁面正対画像(peg/AutoCAD外部参照反映可能)。必要に応じて、3次元テクスチャー作成も可能)</li> <li>・覆工展開画像1スパンあたり(2車線道路・10.5m/スパンを目安)のデータ容量:100~200MB程度(3次元テクスチャー含まず)</li> </ul> |
|                             |                    | パン・チルト機構   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・鉛直0°~360°</li> </ul>  |
|                             |                    | 角度記録・制御機構機能  | <ul style="list-style-type: none"> <li>カメラの画角は対象トンネルの形状および撮影画像精度(解像度)に応じて都度設定する可動式。</li> </ul>  |
|                             |                    | 測位機構   | <ul style="list-style-type: none"> <li>レーザー計測、GNSS、IMU、オドメータ距離計</li> </ul>  |
|                             | 耐久性                | <ul style="list-style-type: none"> <li>・デジタル・ビデオカメラ:公式な防塵、防水等級は無し、但しケーシングによりIP51相当、LED照明:IP65</li> <li>・測位のためのレーザ計測装置:Pegasus II U IP52、レーザー・スキャナ部 IP54</li> </ul>   |   |
|                             | 動力                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラ計測装置は、移動装置の内燃機関によって発電された電力を用いる。</li> <li>・測位のためのレーザ計測装置はバッテリーを使用(バッテリーは専用装置を車両搭載済みであり、仮設備は不要)</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>・カメラ計測装置は、8時間程度(内燃機関によって発電した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。)(外気温:0~40°C、連続計測の場合:カメラはトンネル通過時のみ稼働させる)</li> <li>・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ため、通常1日:8時間程度の使用が可能。(外気温:0~40°C)</li> </ul>   |   |
|                             | 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。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) 長さ:4.24m 幅:2.02m 高さ:2.21m 重量:2,600kg</li> </ul>   |   |
| データ収集・記録機能                  |                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・画像:カメラから有線接続されたレコーダに記録し、データを保存する。</li> <li>・レーザ: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</li> <li>・レーダ:計測中は、PCのハードディスクに保存。計測終了後、別記録媒体(CD、DVD、HDD等)に出力保存</li> </ul>   |   |
| 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>・移動装置の内燃機関によって発電された電力を用いる。</li> <li>・レーザ計測装置の動力はバッテリーを使用</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 | <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> |

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 | <p>【条件は下記の各性能も共通】</p> <p>【天候】<br/>降雨時はレンズに付いた水滴により鮮明な画像が撮影できないため不可。</p> <p>【路面状態】<br/>舗装状態が望ましい。整地されていれば未舗装でも対応可能(車両揺れが激しい(大きい)場合、覆工壁面に対する被写体距離と角度が大きく変化するため画質が劣る可能性があるため)。</p> <p>【GNSS測位】<br/>GNSS測位可能な坑外から計測を開始できれば、坑内でのGNSS測位不可状態での計測が可能。</p> <p>【日照条件】<br/>1000 lx以上の照度から 70 lx以下の環境照度に連続的に計測する場合は白飛びに注意(絞り等の設定変更により解消可能)。</p>   |
|      | 計測精度                | 性能確認シートの有無 ※ | 無 | <p>【性能値】<br/>・最小ひび割れ幅の検出分解能は0.3mm程度<br/>・ひび割れ幅の検出は0.5mm刻み程度で運用</p> <p>【標準試験値】<br/>・最小ひび割れ幅0.2mm<br/>(0.2mmのひび割れを画像で視認できる)<br/>・計測精度0.43mm<br/>(0.2mmのひび割れのみを対象とした検出性能)</p> <p>・吹付けコンクリート面での計測も可</p> <p>【性能値】<br/>画像によるひび割れ検出の最小検出分解能は0.3mm程度で、閉合ひび割れ、クロスひび割れ、変状の進行性、新規ひび割れ、ひび割れ密度の変化などを画像から確認できる。ひび割れ幅の検出は検出手法上0.1mm刻みの検出は可能であるが、実務上0.5mm刻み程度で運用している。</p> <p>【標準試験値】<br/>計測精度の0.43mmは、模擬供試体の0.2mmのひび割れに対し、ひび割れ幅を0.3mm刻み程度で検出したときの計測精度。【標準試験の計測精度は、TN010006-V0221確認シートを参照】</p> |
|      | 長さ計測精度<br>(長さの相対誤差) | 性能確認シートの有無 ※ | 無 | <p>【性能値】<br/>・1%以下(補正後50mm程度)</p> <p>【標準試験値】<br/>・1.23%</p> <p>【性能値】<br/>・画像とレーザ点群を重畳させ変状長さ精度を向上(点群の坑口位置補正を実施)</p> <p>【標準試験値】<br/>・標準試験の長さ計測精度は、TN010006-V0221 確認シートを参照</p>   |
|      | 位置精度                | 性能確認シートの有無 ※ | 無 | <p>【性能値】<br/>・50mm程度以下(補正後)</p> <p>【標準試験値】<br/>・進行方向: 59.0mm ( 5測線の平均値)<br/>・周方向: 19.7mm ( 4測線の平均値)</p> <p>【性能値】<br/>・画像とレーザ点群を重畳させ変状位置精度を向上(点群の坑口位置補正を実施)</p> <p>【標準試験値】<br/>・標準試験の位置精度は、TN010006-V0221 確認シートを参照</p>   |
|      | 色識別性能               | 性能確認シートの有無 ※ | 無 | <p>【性能値】<br/>・フルカラー識別可能</p> <p>【標準試験値】<br/>・フルカラー識別可能</p> <p>【標準試験値】<br/>・標準試験の色識別性能は、TN010006-V0221 確認シートを参照</p>   |

※「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

- 【統合型トンネル点検・診断支援システムの手順】
- 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
  - ②iTAMS:データベースシステムにより、画像合成、画像による変状検出、展開図作成を実施
  - ③展開図、画像をオンサイトシステム(iPAD)に出力
  - ④近接目視、打音検査時にオンサイトシステムを活用して効率化を図るとともに、点検結果をオンサイトシステムに反映
  - ⑤オンサイトシステムからiTAMS:データベースシステムに点検結果を反映した展開図を作成し、点検・診断結果をPC上で整理し、帳票に自動出力
  - ⑥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

- 【iTAMS:データベースシステムの機能】
- ①画像により変状検出・解析システム(画像合成、ひび割れ自動抽出等)
  - ②Drawingシステム(点検展開図等)
  - ③データベースシステム(点検帳票自動作成、経年データの一元管理)
  - ④Viewerシステム(点検帳票、画像、3D)
  - ⑤iPAD連携

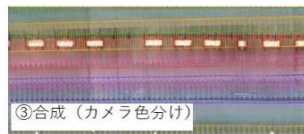
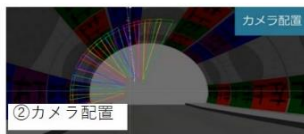
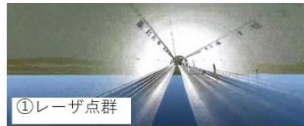
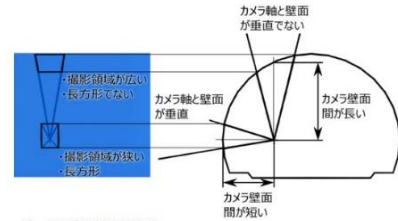
【画像による変状検出手順】(iTAMS:データベースシステムの機能の一部)

手法1)

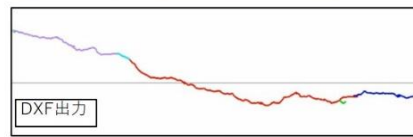
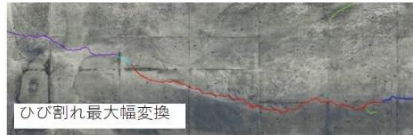
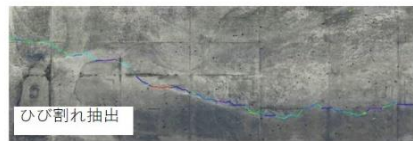
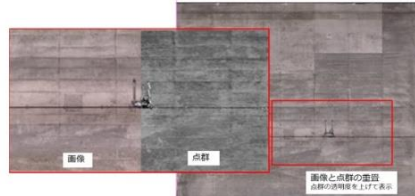
- ①撮影した画像を覆工1スパンごとに合成する。位置同期はレーザ一点群座標による。(自動・調整は一部手動)
- ②ひび割れの自動抽出機能により、画像からひび割れ(幅、位置)を抽出する。(自動・事前作業は手動)
- ③最大ひび割れ幅によるひび割れ展開図に変換し、DXF出力する。(自動)
- ④ひび割れ以外の変状については、画像から手動で抽出する。(手動)

手法2)

- ①撮影した画像を覆工1スパンごとに合成する。位置同期はレーザ一点群座標による。(自動・調整は一部手動)
- ②ひび割れ、漏水などの自動抽出機能により、画像からひび割れなどの変状を抽出する(ラスターデータ)。(自動・ノイズ調整は手動)
- ③ひび割れ幅、長さを求め、対策工区分の判定を行う。(自動・判定は一部手動)
- ④ひび割れ、漏水などをベクターデータとして展開図に変換し、DXF出力する。(自動)



画像とレーザ点群の位置同期による  
画像補正と合成


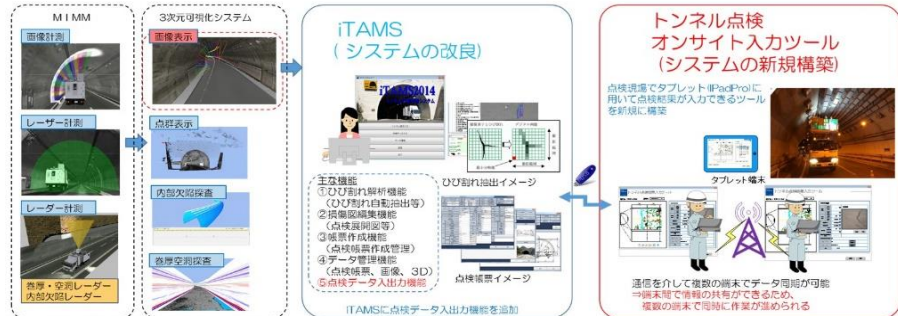
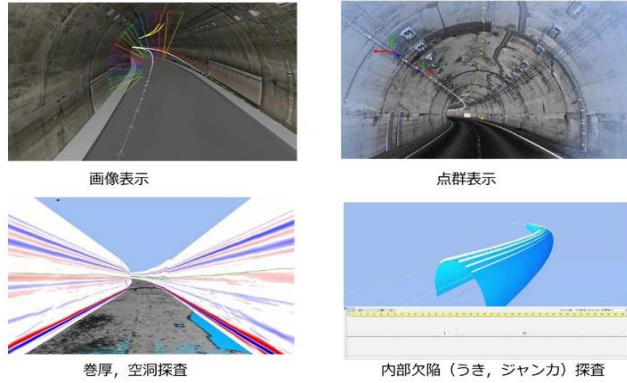


ひび割れ抽出の手順 (手法1)

図-2 変状検出手順

|          |                |  |
|----------|----------------|--|
| ソフトウェア情報 | ソフトウェア名        | <p>【iTAMS: データベースシステム】 自社開発<br/>【オンサイトシステム】 自社開発</p> <p>【画像による変状検出】(iTAMS: データベースシステムの機能の一部)<br/>手法1) ひび割れ自動抽出ソフト HALCON<br/>(ライブラリ使用での自社開発)<br/>手法2) AIによる変状抽出ソフト(自社開発)<br/>ディープラーニング(CNN)、セマンティックセグメンテーション</p>   |
|          | 検出可能な変状        | <p>【画像による変状検出】(iTAMS: データベースシステムの機能の一部)<br/>手法1) ひび割れ(幅、長さ)<br/>手法2) ひび割れ(幅、長さ)、漏水、遊離石灰、はく落跡、その他目視により確認できるもの</p>   |
|          | ひび割れ           | <p>【画像による変状検出】<br/>手法1) 自社開発ひび割れ自動抽出ソフト HALCON<br/>・ひび割れ自動抽出ソフト(HALCON)により、コンクリート面とひび割れのピクセルの輝度値から、ひび割れを自動抽出し、ひび割れ幅を検出する。(ひび割れ以外は、手動検出)</p> <p>手法2) AIによる変状抽出ソフト セマンティックセグメンテーションによるディープラーニング<br/>・ひび割れをピクセル単位でセマンティックセグメンテーションにより抽出する。<br/>・使用する画像は、1.5mm/pix以上の画質(低圧縮JPEG画像)を用い、高精細化手法を併用。<br/>・教師データは、100スパン以上、1タイル256×256pix(or 512×512pix)、ひび割れをピクセル単位で作成。<br/>近接目視点検前に計測した画像により画像と位置同期した展開図を作成する。近接目視時に修正した点検結果としてのひび割れ判定を教師データ作成の基本とし、画像上のひび割れを技術者が判断したうえで教師データを作成する。</p> <p>・撮影条件・仕様等(手法1)2)共通)<br/>1) カメラ:ビデオカメラ<br/>2) 撮影設定:絞り優先設定<br/>3) ラップ率:オーバーラップ 30%、サイドラップ 30%<br/>4) 画質:1.5mm/pix以上<br/>5) 画質フォーマット: JPEG、TIFF、PNG、BMPなど<br/>6) 注意事項:<br/>・画像から作成した変状展開図を近接目視時に確認し修正すること⇒教師データ作成は修正後の最終展開図を使用する。展開図は画像と位置情報が一致している必要あり</p> |
|          | 変状検出の原理・アルゴリズム | <p>ひび割れ幅および長さの計測方法</p> <p>【画像による変状検出】<br/>手法1)<br/>・ひび割れ幅: HALCONによりピクセルの輝度値から、ひび割れ幅を検出する(1.5mm/pixの分解能であるが、輝度使用により0.3mm程度以上のひび割れ幅の検出が可能)<br/>・ひび割れの検出レイヤ(0.3mm未満、0.3~0.5、0.5~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0以上を基本としたレイヤカスタマイズ可能)<br/>ひび割れ長さ: ひび割れをポリラインに変換し、長さを確認する。ひび割れ位置、長さはレーザによる位置座標から算出している。<br/>手法2)<br/>・ひび割れ幅:セマンティックセグメンテーションにより、ピクセル毎のひび割れ存在可能性を算出する「ひび割れ検出アルゴリズム」により自動抽出する。具体的には2倍の高精細化技術により、1.5mm/pixの分解能を0.75mm/pixに改善し、ピクセル以下のひび割れ幅については、周辺のピクセルを使って補間し、輝度による重み付けを行うことで、ひび割れの存在可能性の分布を求めることによって、0.3mm程度以上のひび割れ検出が可能。<br/>・ひび割れ長さ: セマンティックセグメンテーションにより抽出したひび割れをベクター化し、ポリラインでのひび割れ長さを検出する。</p>  |
|          | ひび割れ以外         | <p>【画像による変状検出】<br/>手法1)<br/>【漏水、遊離石灰、はく落跡、鉄筋露出、ジャンカ、コールドジョイント、照明、JFなど】<br/>・画像から手動にて抽出する。うきについては、近接目視、打音検査の結果を踏まえて修正する。<br/>手法2)<br/>【漏水、遊離石灰、はく落跡】<br/>・ひび割れ同様、セマンティックセグメンテーションのアルゴリズムにより、ピクセル単位で、漏水、遊離石灰、はく落跡を抽出する。ピクセル集合体の面データ(ラスターデータ)として自動抽出する。<br/>・教師データは、100スパン以上、漏水など面データとしてピクセル単位で作成する。<br/>教師データは、画像のみの判断で作成せず、近接目視、打音検査の点検結果を反映させて作成する。</p>  |

|           |  |  |   |
|-----------|--|--|---|
| ソフトウェア情報  | 取り扱い可能な画像データ   | ファイル形式                                       | iTAMS: データベースシステム全般共通 変状検出手法1)2)共通 JPEG、TIFF、PNG、BMP など   |
|           |  | ファイル容量                                       | 変状検出手法1)2)共通 50MB~200MB程度/1スパン (1.5mm/pixの場合、50~80MB程度/スパン)   |
|           |  | カラー/白黒画像                                     | 変状検出手法1)2)共通 カラー  |
|           |  | 画素分解能  | 変状検出手法1)2)共通<br>・ひび割れ幅0.3mmを検出するためには1.5mm/Pixel以下であることが必要   |
|           |  | その他留意事項                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・基本的にはトンネル覆工表面全周画像を対象とし、スパン単位で合成した見下げの展開画像とする</li> <li>・画像の縦横比が実際のトンネル周長とスパン長の比率に等しいこと(正確なアスペクト比であること)</li> <li>・画像の歪み、あおり、台形などを補正し、壁面に正対した画像とする</li> <li>・ひび割れにチョークが重なっている場合は検出が困難</li> <li>・覆工面の煤、漏水、遊離石灰によりひび割れが不可視の場合は、ひび割れの検出が困難</li> </ul> |
|           | 出力ファイル形式   | 【汎用ファイル形式の場合】iTAMS: データベースシステム全般共通 JPEG/DXF等 |   |
| 調書作成支援の手順 | <p>【統合型トンネル点検・診断支援システムによる調書作成手順】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①近接目視点検前に交通規制なしで走行型計測車両MIMM-RIにより、画像、レーザ、レーダの計測を実施</li> <li>②iTAMS: データベースシステムにより、画像合成、画像による変状検出、展開図作成を実施</li> <li>③展開図、画像をオンサイトシステム(iPAD)に出力</li> <li>④近接目視、打音検査時にオンサイトシステムを活用して効率化を図るとともに、点検結果をオンサイトシステムに反映</li> <li>⑤オンサイトシステムからiTAMS: データベースシステムに点検結果を反映した展開図を作成し、点検・診断結果をPC上で整理し、帳票に自動出力</li> <li>⑥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</li> </ol> <p>iTAMS: データベースシステムによる調書作成手順<br/>手法1)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①適応条件に記載の条件により画像データを取得する。</li> <li>②画像データおよび同時に計測したレーザ点群データを下記支援ソフトiTAMSに取り込む。</li> <li>③iTAMSのドロー編集画面にて、ひび割れ抽出、その他の変状抽出作業を行い、変状展開図を作成する。</li> <li>④近接目視、打音検査を実施。事前に作成した変状展開図をタブレットに取り込み、現地にて修正作業を行う。</li> <li>⑤iTAMSのドロー編集画面にて、変状箇所の抽出、対策工区分の判定などを行う。</li> <li>⑥画像の他、レーザ、レーダの結果を一元化して3D可視化し、統合型評価診断システムにより診断する。</li> <li>⑦抽出した変状箇所に応じた写真を帳票用に自動作成。</li> <li>⑧点検帳票を所定のフォーマットに自動出力する。記録はデータベースで一元管理する。</li> </ol> |  |   |

|                    |   |
|--------------------|---|
|                    |  <p>iTAMSのドロー編集画面</p>  <p>点検帳票例</p> <p>点検帳票をを所定フォーマットに自動出力</p>  |
| <p>調書作成支援の手順</p>   |  <p>点検入力ツールの主な機能(上記以外)</p> <p>変状写真入力機能</p> <p>変状結果集計機能</p> <p>オンサイトシステムの概要</p>  <p>3次元可視化システムの事例 (3次元可視化により診断を支援)</p>   |
| <p>調書作成支援の適用条件</p> | <p>【画像による変状検出】<br/>手法1)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>基本的にはトンネル覆工表面全周画像を対象とし、スパン単位で合成した見下げの展開画像とする</li> <li>画像の縦横比が実際のトンネル周長とスパン長の比率に等しいこと(正確なアスペクト比であること)</li> <li>画像の歪み、あおり、台形などを補正し、壁面に正対した画像とする</li> <li>ひび割れにチョークが重なっている場合は検出が困難</li> <li>覆工面の煤、漏水、遊離石灰によりひび割れが不可視の場合は、ひび割れの検出が困難</li> <li>画像から作成した変状展開図を近接目視時に確認し修正すること</li> </ul> <p>手法2)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>上記の手法1)の適用条件と同じ</li> </ul> <p>調書作成支援に活用する機器・ソフトウェア名</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・帳票作成、DBシステム : iTAMS (自社開発ソフト)</li> <li>・現地での入力: タブレット (iPad)</li> <li>・点検調書作成OS Windows8.1以降</li> <li>・クラウドサービス提供: なし</li> </ul> |

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<br>検<br>時<br>現<br>場<br>条<br>件 | 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 | —                     | —  |
|                                 | 交通規制の要否        | 不要                    | —  |
|                                 | 交通規制の範囲        | —                     | —  |
|                                 | 現地への運搬方法       | ・車両に搭載して運搬 等          | —  |
|                                 | 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            | 【汚れ、すす等がある場合の作業の可否】:可 | <p>【作業条件・運用条件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・交通規制が不要であるため、原則として事前の関係機関への申請等手続きは不要。</li> <li>・照明設備やジェットファン、内装板の背面など計測車両から物理的に視野が確保できない覆工表面の走行型画像計測はできない。</li> <li>・すす汚れ等がある場合は、一般的には、照明が透過し撮影することは可能。すすが固着して非透過の場合は撮影不能。</li> </ul> |



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            | ・社内基準  |   |
| 必要構成人員数             | ・車両運転員1人、計測機器操作1人、合計2名   |   |
| 操作に必要な資格等の有無、フライト時間 | ・社内講習必要  |   |
| 操作場所                | ・車両内<br>(作業ヤード不要)  |   |
| 計測作業日数              | ・平均作業日数(計測作業):1日で500m程度のトンネル3本~10本/日可能<br>同一路線の連続するトンネルの場合、10本程度可能。<br>・平均作業時間:8時間/日 等   |   |
| 点検費用                | <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】<br/>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<br/>国土省近畿地整道路メンテナンスセンター<br/>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、統合型システム全体の費用</p> <p>一般的には、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<br/>(従来点検に比べ、30%程度縮減)</li> <li>・トンネル500m 1本のみ<br/>(従来点検とほぼ同等)</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不可   |   |
| 渋滞時の計測可否            | ・特になし  |   |
| 設備等による死角条件          | ・ジェットファン、照明等の付属物の背面は撮影不可   |   |
| 車両から覆工表面までの距離条件     | 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)          | ・特になし  |   |
| 自動制御の有無             | 無  |   |
| 利用形態:リース等の入手性       | ・業務委託にて対応  |   |
| 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  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・解析ソフト:自社開発ソフト</li> <li>・必要作業:担当者による解析作業</li> <li>・上記計測費に含む</li> </ul>  |   |
| 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        | ・日常点検、年/1回定期点検   |   |

| 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>【計測作業日数の実績】</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<br/>         国交省近畿地整道路メンテナンスセンター<br/>         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><br><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>【特許条件】:</b> 特になし</p> <p><b>【気象条件】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・現地計測は、1mm/h以上の降雨時の計測は不可</li> </ul> <p><b>【作業条件】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・特になし</li> </ul> | 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%  |        |           |      |     |     |    |     |     |    |          |          |  |     |     |  |     |     |

7. 図面



1. 基本事項

|         |   |   |                |
|---------|---|---|----------------|
| 技術番号    | TN010012-V0021  |   |                |
| 技術名     | トンネル点検システム「ロードビューワ」(覆工撮影～調書作成)  |   |                |
| 技術バージョン | 1   | 作成: 2021年10月  |                |
| 開発者     | 株式会社構研エンジニアリング  |   |                |
| 連絡先等    | TEL: 011-780-2813   | E-mail: m.sakou@koken-e.co.jp   | 防災施設部<br>佐光 正和 |
| 現有台数・基地 | 2台  | 基地  | 北海道札幌市東区       |
| 技術概要    | トンネル点検システム「ロードビューワ」(覆工撮影～調書作成)は、高解像度の覆工面画像を撮影できるシステムである。交通規制なしでの撮影が可能である。時速40km程度の速度であれば0.2mmのひび割れ幅を認識する能力を有し、撮影した画像を用いて3次元成果納品マニュアル(案)に準拠した成果品の提出が可能である。民生機を使用することにより、装置全体をコンパクト化し、車両に収めている。 |   |                |
| 技術区分    | 対象部位  | 覆工の横断目地/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/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 |                |
|         | 変状の種類   | 本体内における圧ざ/ひび割れ/うき・はく離(範囲を示すチョーキングがあるもの)/鋼材腐食/内装板の変形/漏水等による変状/附属物の取付部材等の破断/脱落/腐食/変形/欠損                           |                |
|         | 物理原理  | 画像  |                |

2. 基本諸元

|                                 |   |   |  |
|---------------------------------|---|---|--|
| 計測機器の構成                         |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・荷台にカメラとLED照明および制御装置(PC、発電機等)を積載した分離構造としている</li> <li>・複数台のカメラ及びLED照明を使用し、車内からタブレットPCを用いた遠隔操作にて動画撮影を行う</li> </ul> |  |
| 移動装置                            | 移動原理  | <ul style="list-style-type: none"> <li>【車両型】</li> <li>・内燃機関を搭載した車両に搭載して移動する</li> </ul>  |  |
|                                 | 外形寸法・重量   | <ul style="list-style-type: none"> <li>【車両】</li> <li>・分離構造(移動装置)</li> <li>・最大外形寸法(長さ4275mm×幅1675mm×高さ1890mm)</li> </ul>                                 |  |
|                                 | 搭載可能容量<br>(分離構造の場合)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・最大外形寸法(長さ2430mm×幅1585mm×高さ3060mm)</li> <li>・最大重量(750kg)</li> </ul>  |  |
|                                 | 動力  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・動力源: 内燃機関</li> <li>・燃料: 無鉛レギュラーガソリン</li> <li>・定格出力: 71kW</li> </ul>   |  |
|                                 | 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・内燃機関のため対象外</li> </ul>   |  |
| 計測装置                            | 設置方法  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・分離構造、車両の荷台枠内に設置</li> </ul>  |  |
|                                 | 外形寸法・重量<br>(分離構造の場合)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・最大外形寸法(長さ2310mm×幅1555mm×高さ2070mm)</li> <li>・最大重量(700kg)</li> </ul>  |  |
|                                 | センシングデバイス   | カメラ   | <ul style="list-style-type: none"> <li>【デジタルカメラ】</li> <li>・SONY製ミラーレス一眼カメラ</li> <li>・センサーサイズ 35mmフルサイズ(35.6mm×23.8mm)</li> <li>・ピクセル数(横2160pixel×縦3840pixel)</li> <li>・焦点距離(f=28mm-70mm)</li> <li>・フレーム数(30fps)</li> <li>・移動方向に垂直な方向の視野: カメラ1台あたり2m</li> <li>・覆工展開画像形式: オルソモザイク</li> <li>・覆工展開画像1スパンあたり(2車線道路・10.5m/スパンを目安)のデータ容量: 80MB</li> </ul> |
|                                 |   | パン・チルト機構  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・鉛直0° ~ 360°</li> </ul>   |
|                                 |   | 角度記録・制御機構機能   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・角度は雲台の回転角メモリを目視により調整し、制御する</li> </ul>  |
|                                 |   | 測位機構  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・画像内情報(型枠の寸法、チョーキングによる周長寸法)</li> </ul>  |
|                                 | 耐久性   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラ: 防塵防水等級なし</li> <li>・LED照明: IP65</li> </ul>  |  |
|                                 | 動力  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・荷室に搭載された発電機によって発電された電力を用いる</li> <li>・動力源: 内燃機関</li> <li>・燃料: 無鉛レギュラーガソリン</li> <li>・定格出力: 2.6kVA</li> </ul>      |  |
|                                 | 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・内燃機関を使用するため対象外</li> </ul>   |  |
|                                 | データ収集・通信装置  | 設置方法  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラに内蔵された記録装置を使用</li> </ul>  |
| 外形寸法・重量<br>(分離構造の場合)            |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラに内蔵された記録装置を使用するため外形寸法なし</li> </ul>   |  |
| データ収集・記録機能                      |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラに挿入したSDカードに保存</li> </ul>   |  |
| 通信規格<br>(データを伝送し保存する場合)         |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・通信装置なし</li> </ul>   |  |
| セキュリティ<br>(データを伝送し保存する場合)       |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・通信装置なし</li> </ul>   |  |
| 動力                              |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラの電源を使用</li> </ul>  |  |
| データ収集・通信可能時間<br>(データを伝送し保存する場合) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・データの伝送機能なし</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 | ・幅3.0m×高さ4.0m程度     | 断面形状に変化が無いこと。<br>(断面形状が異なる箇所がある場合は、別設定で改めて撮影が必要) |
| 適用可能なトンネルの最大寸法 | ・カメラと覆工表面までの距離が5m程度 | LED照明の照度を確保する必要がある(5.000lx程度)                    |

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 | 撮影速度に違いがあると展開画像の画質にばらつき発生の可能性があるため、一定の速度で走行する   |
|      | 計測精度                | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | 計測性能試験時の条件 / 性能を確保するための条件<br>【性能値】<br>・未検証<br>【標準試験値】<br>・最小ひび割れ幅:0.1mm(0.1mmのひび割れを画像で視認できる)<br>・計測精度:0.12mm(0.1~3.0mmのひび割れのみを対象とした検出精度)<br>・ひび割れ幅の最小単位:0.1mm<br>・ひび割れ長さの最小単位:1mm |
|      | 長さ計測精度<br>(長さの相対誤差) | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | 計測性能試験時の条件 / 性能を確保するための条件<br>【性能値】<br>・未検証<br>【標準試験値】<br>・周方向:0.963%<br>・進行方向:0.200%  |
|      | 位置精度                | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | 計測性能試験時の条件 / 性能を確保するための条件<br>【性能値】<br>・未検証<br>【標準試験値】<br>・周方向:38mm<br>・進行方向:15mm  |
|      | 色識別性能               | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | 計測性能試験時の条件 / 性能を確保するための条件<br>【性能値】<br>・モノクロ:グレースケール識別可能<br>・カラー:フルカラー(24色)識別可能<br>【標準試験値】<br>・モノクロ:グレースケール識別可能<br>・カラー:フルカラー(24色)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                | ①動画からオルソ補正を行い静止画へ変換する。(自動・手動)<br>②スパン単位で画像の結合を行う。(手動)<br>・解析作業日数:7日程度(延長500mの場合。画質により変動有り)  |   |  |
| ソフトウェア情報              | ソフトウェア名   | ・ロードビューワ(自社開発ソフト)<br>動画静止画変換、オルソ補正、オルソモザイク合成などを行う。                                      |  |
|                       | 検出可能な変状   | ・【覆工面】ひび割れ(幅および長さ)、はく離、豆板、鋼材腐食、漏水、遊離石灰、土砂流出<br>・【内装板】変形、破損、取付部材の腐食、脱落<br>・【附属物】腐食、変形、破損 |  |
|                       | 変状検出の原理・アルゴリズム  | ひび割れ  | ・技術員の目視により検出                             |
|                       |   | ひび割れ幅および長さの計測方法   | ・疑似クラックスケール画像との比較により技術員が計測               |
|                       |   | ひび割れ以外  | ・技術員の目視により検出                             |
|                       |   | 画像処理の精度(学習結果に対する性能評価)   | —  |
|                       |   | 変状の描画方法   | —  |
|                       | 取り扱い可能な画像データ  | ファイル形式  | ・【展開画像】Jpeg、【動画】XAVC S: MPEG-4 AVC/H.264 |
|                       |   | ファイル容量  | ・対象外                                     |
|                       |   | カラー／白黒画像  | ・カラー                                     |
| 画素分解能                 |   | ・ひび割れ幅0.3mmを検出するためには0.5mm/Pixel以下であることが必要   |  |
| その他留意事項               |   | —   |  |
| 出力ファイル形式              | ・画像、変状展開図: Jpeg<br>・点検調書: Excel<br>・変状図: DXF, DWG   |   |  |
| 調書作成支援の手順             | ①変状管理図に変状情報(位置、寸法、種類、判定、近接写真)を入力<br>②現地撮影した動画から覆工展開画像を作成<br>③変状情報や展開画像から損傷図を作成<br>④点検調書出力ソフトにより点検調書を自動出力  |   |  |
| 調書作成支援の適用条件           | ・ひび割れにチョークが重なっている場合は検出が検出精度が低下する<br>・漏水や結露で覆工面が光っている場合には変状の検出精度が低下する<br>・覆工面に汚れ、すず等がある場合はひび割れの検出精度が低下する<br>・ジェットファン、照明、内装板の背面など、撮影車両からの視野が確保できない位置の計測は不可                                    |   |  |
| 調書作成支援に活用する機器・ソフトウェア名 | ・トンネルマネジメントシステム(自社開発ソフト)<br>タッチスケッチ(タブレット端末)を用いた変状管理と現場管理<br>ロードビューワ(動画撮影と再生および連続展開画像作成)<br>ロードスコープ(疑似3D展開画像の表示)<br>点検調書作成アプリ(国交省直轄様式、公表用様式ほか)<br>変状管理アプリ(変状検索、写真帳作成ほか)<br>※クラウドサービスの提供は、無い |   |  |



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<br>検<br>時<br>現<br>場<br>条<br>件 | 安全面への配慮        | ・歩行者がいる場合は注意が必要(撮影時間の配慮や一時的な規制が必要となる場合がある)                                   |  |
|                                 | 無線等使用における混線等対策 | —  |  |
|                                 | 交通規制の要否        | —  | ・歩行者がいる場合は、撮影のタイミングをずらしたり、一時的な規制が必要となる場合がある                        |
|                                 | 交通規制の範囲        | —  | ・歩行者がいる場合は、歩道への立ち入り規制を行う場合がある                                      |
|                                 | 現地への運搬方法       | ・車両による自走   |  |
|                                 | トンネル延長の制約      | —  |  |
|                                 | 車線数の制約         | —  | ・左右および上面にカメラを設置可能である。よって例えば片側2車線一方通行トンネルの右側撮影時は、右側のスライドドアを開けて撮影を行う |
|                                 | 断面形状の制約        | ・非常駐車帯により断面寸法変化のある区画では、再計測が必要になる<br>・矩形断面では詳細計測不可<br>※モニタリングでの使用等、用途によっては対応可 |  |
|                                 | その他            | ・覆工面に汚れ、すす等がある場合は、ひび割れの検出精度が低下する   |  |

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            | ・社内基準による   | カメラ設置、撮影PC操作、画像結合等   |
| 必要構成人員数             | ・調査技術者1人、車両運転員1人 合計2人  |  |
| 操作に必要な資格等の有無、フライト時間 | ・社内研修  |  |
| 操作場所                | ・作業ヤード不要   | 撮影準備を行うための、作業ヤードなどは不要。小型乗用車(5ナンバー)であるため一般的な駐車場などで準備可能  |
| 計測作業日数              | ・4トンネル/日(2車線、トンネル延長500m程度)<br>・作業実働日:外業1日、内業7日   | 立地条件により変動する  |
| 点検費用                | [トンネル条件]<br>・①延長500m×1本 ②延長500m×10本<br>[点検条件]<br>・ひび割れ密度0.3m/m2 ・2車線断面、歩道なし<br>・2回目以降の点検 ・補修箇所なし<br>[費用(実働日)]<br>・従来の人力点検による費用(外業実働日) ①約6,500千円(3日) ②約65,000千円(30日)<br>・新技術活用による費用 ①約4,500千円(8日):外業800千円(1日)内業3,700千円(7日) ②約26,000千円(73日):外業2,500千円(3日)内業23,500千円(70日)<br>・機械の輸送費 約150千円/回(東京都内への移動の場合)<br>[費用算定上の条件]<br>・変状はチョーキングの判読可能<br>・附属物背面等の不可視部の確認は別途必要 | トンネル規模、変状数、立地条件等により大きく変動する。とくに機械の輸送費は、陸送、海上輸送などの移動手段により大きく異なる(単純に距離に比例しないので注意が必要)<br>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、含まない |
| 保険の有無、保障範囲、費用       | ・自動車保険   |  |
| 時間帯(夜間作業の可否)        | —(夜間作業は可)  |  |
| 計測時の走行速度条件          | ・50km/h程度以下  |  |
| 渋滞時の計測可否            | ・渋滞時計測不可   |  |
| 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撮影不可   |  |
| 車両から覆工表面までの 距離条件    | ・5m程度  |  |
| トンネル内照明の消灯の必要性      | —  |  |
| 可搬性(寸法・重量)          | —  | ・自走での移動  |
| 自動制御の有無             | —  |  |
| 利用形態:リース等の入手性       | 自社機材<br>・車両のみ、長期リース契約  |  |
| 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:自社開発ソフト(ロードビューワ)を使用   |  |
| 不具合時のサポート体制の有無及び条件  | —  | ・自社スタッフが撮影、動画編集を対応(直営対応)   |
| センシングデバイスの点検        | ・カメラとLED照明の調整確認  |  |
| その他                 | ・特許状況:なし<br>・気象条件:降雨時の計測は、極力避ける<br>・作業条件:なし  | ※カメラを変更することで、用途に合わせた画質を選択可能(高画質4K版、中画質2K版、軽画質版等)   |

作業条件・運用条件

7. 図面

外観 1



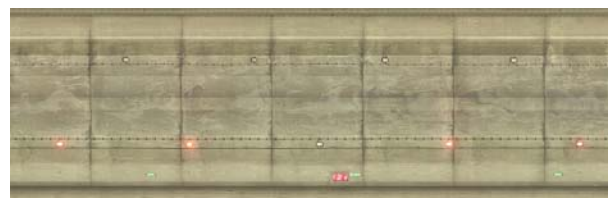
外観 2





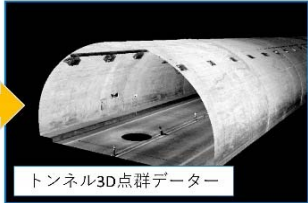
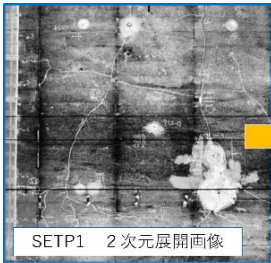
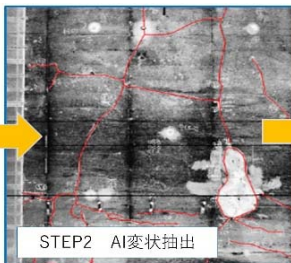

撮影状況



展開画像イメージ



1. 基本事項

|         |  |  |                     |
|---------|--|--|---------------------|
| 技術番号    | TN010013-V0021   |  |                     |
| 技術名     | トンネルレーザー計測   |  |                     |
| 技術バージョン | 1  | 作成: 2021年10月                               |                     |
| 開発者     | 応用地質株式会社 メンテナンス事業部<br>株式会社Proxima Technology   |  |                     |
| 連絡先等    | TEL: 048-652-4956  | E-mail: oyo-mainte-tn2021@oyonet.oyo.co.jp | 技術部/事業企画部           |
| 現有台数・基地 | 1  | 基地   | 埼玉県さいたま市北区土呂町2-61-5 |
| 技術概要    | <p>3Dレーザーキャナーを用いて3次元点群データの計測を行うことで、従来は人手に頼っていた覆工スケッチを省力化でき、かつ覆工の変状(マーキング済み)や、補修対策工の範囲・附属物の位置を正確に把握できる。さらにAIで変状を自動抽出することで、変状展開図や点検調書作成の効率化を図ることが可能となる。</p> <p><b>特徴①:</b>スケッチ時間が短縮でき、チョーキングされた変状等を全て記録できる。トンネル点検車に追隨して、小型軽量の設置型3Dレーザーキャナーを移動させながら3次元点群データを計測する。このため特別な計測のための作業工程が不要となるとともに、従来の人力による覆工スケッチのための作業時間が大幅に短縮でき、トータル点検作業時間(通行規制時間)が短縮できる。また覆工全局の3次元点群データを取得することで、変状の見逃し・記録漏れは生じない。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div> <p><b>特徴②:</b>高精度の変状展開図の作成が可能で、室内作業も省力化できる。得られた3次元点群データから覆工スパン毎に2次元の覆工展開画像を自動生成した上で、変状をAIで自動抽出し、CADデータに変換することが可能である。また補修対策工の範囲・附属物の位置を正確にCADに反映できる。これにより従来人力で行っていたCADトレース作業が自動化・省力化でき、かつ高精度の変状展開図の作成が可能となる。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div> |  |                     |
| 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  |                     |
|         | 変状の種類  | 本体工における圧ざ/ひび割れ/うき/はく離                      |                     |
|         | 物理原理   | 赤外線レーザー/画像                                 |                     |

2. 基本諸元

|                                 |  |  |  |
|---------------------------------|--|--|--|
| 計測機器の構成                         | <p>本計測機器は可搬型「2軸回転型レーザースキャナー」を「三脚」に固定して、徒歩で持ち運びできる軽量な構成である。<br/>計測結果はSDカードに記録される。</p> |  |  |
|                                 |    |  |  |
| 移動装置                            | 移動原理   | オペレーターが計測装置を持ち運んで移動・設置して、取得範囲を重複させるように設置箇所を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<br>(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<br>(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   | ・計測機器は三脚に固定し、トンネル坑内に設置する   |  |
|                                 | 外形寸法・重量<br>(分離構造の場合)   | ・外形寸法(幅1200mm×奥行き1100mm×高さ1750mm)、総重量7.2kg<br>・計測機器本体：外形寸法(幅232.5mm×奥行き95.8mm×高さ192.7mm)、重量(5.2kg)<br>・三脚：最大外形寸法(幅1200mm×奥行き1100mm×高さ1550mm)、重量(2.0kg) |  |
|                                 | 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ー(赤外線レーザー)<br>・照射時の角度情報と反射光の距離測定で3次元点群データを構成する<br>・赤外線レーザーを対象物に照射して反射輝度を計測する(グレイスケール256階調)<br>・覆工展開画像1スパンあたりのデータ容量:約300MB<br>・おおよそ全天球40000×40000画素に相当(機器直下は死角となる) |
|                                 |  | パン・チルト機構   | ・水平0°~360°<br>(チルト機構無し)  |
|                                 |  | 角度記録・制御機構機能  | ・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<br>垂直軸:回転鏡をサーボモーターで駆動し、角度情報をロータリーエンコーダーから得る<br>水平軸:本体をステッピングモーターで駆動し、角度情報を得る<br>・2軸傾斜計による傾き補正  |
|                                 |  | 測位機構   | ・なし  |
|                                 | 耐久性  | ・防水・防塵性能なし   |  |
|                                 | 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<br>(バッテリー給電の場合)          | ・約3時間(外気温5~40℃、湿度・結露なし)  |  |  |
| 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<br>(分離構造の場合)   | (計測機器に含む)  |  |
|                                 | データ収集・記録機能   | ・SDカードに保存する  |  |
|                                 | 通信規格<br>(データを伝送し保存する場合)  | (伝送なし)   |  |
|                                 | セキュリティ<br>(データを伝送し保存する場合)  | (伝送なし)   |  |
|                                 | 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<br>(データを伝送し保存する場合) | (伝送なし)   |  |  |

3. 運動性能

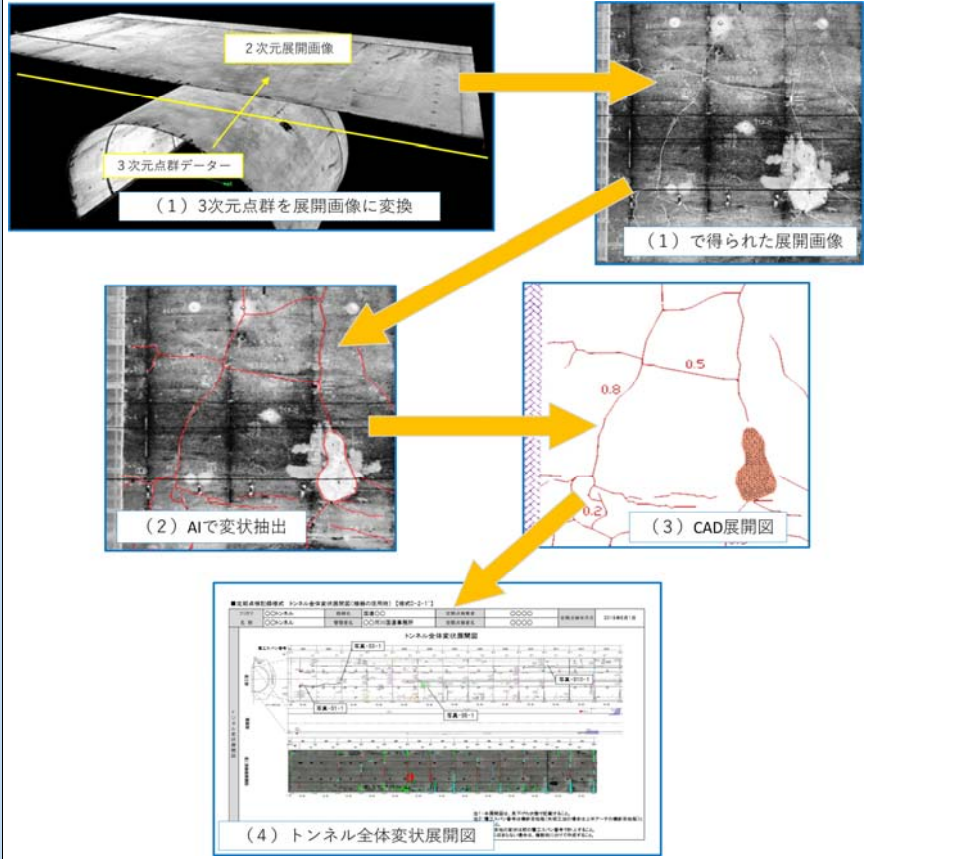
| 項目             | 性能   | 性能(精度・信頼性)を確保するための条件   |
|----------------|--|--|
| 適用可能なトンネルの最小寸法 | <ul style="list-style-type: none"> <li>トンネル幅5m×高さ5m、作業車両等との離隔を計測器前後に20m程度を確保。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>最小寸法を下回る場合は計測不可(計測器設置の物理的限界)</li> </ul>                           |
| 適用可能なトンネルの最大寸法 | <ul style="list-style-type: none"> <li>計測機器からの覆工の離隔が15m以上となる場合は不可。</li> </ul>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>最大寸法を越える場合、点群密度が低下する</li> <li>離隔間に存在する粉塵等によるノイズが影響が大きい</li> </ul> |

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           | 標準的な道路トンネルの場合(幅員10m、高さ7m程度) |
|       |  | 【性能値】<br>・未検証<br>【標準試験値】<br>・トンネル延長10mあたり5分 |             |                             |
|       | 計測精度   | 性能確認シートの有無 ※                                | 無           | —                           |
|       |  | 【性能値】<br>・該当なし<br>【標準試験値】<br>・該当なし          |             |                             |
|       | 長さ計測精度<br>(長さの相対誤差)  | 性能確認シートの有無 ※                                | 有           | —                           |
|       | 【性能値】<br>・未検証<br>【標準試験値】<br>延長方向 0.2%(最大)<br>周方向 20%(最大)   |   |             |                             |
| 位置精度  | 性能確認シートの有無 ※   | 有   | —           |                             |
|       | 【性能値】<br>・未検証<br>【標準試験値】<br>延長方向 23mm(最大)<br>周方向 253mm(最大) |   |             |                             |
| 色識別性能 | 性能確認シートの有無 ※   | 有   | ・カラー点群対応検討中 |                             |
|       | 【性能値】<br>・グレースケール256階調<br>【標準試験値】<br>・グレースケール256階調         |   |             |                             |

※「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)3Dレーザーキャナーで得られた3次元点群データを解析して2次元展開画像を得る(覆工スパン毎)。<br/>                 (2)展開画像からチョークでマーキングした変状をAIで抽出し、線分データを得る。<br/>                 (3)線分データをCAD展開図に変換する。<br/>                 (4)調書作成(トンネル全体変状展開図)</p> <p>[解析日数]<br/>                 ・3日</p>  <p>(1) 3次元点群を展開画像に変換</p> <p>(2) AIで変状抽出</p> <p>(3) CAD展開図</p> <p>(4) トンネル全体変状展開図</p> |   |  |         |                                    |  |         |                         |  |                |      |  |                 |  |        |  |                       |         |  |         |              |  |              |        |      |  |        |          |  |          |                 |  |       |              |  |         |   |  |          |      |
|                | <p>ソフトウェア情報</p>  | <table border="1"> <tr> <td>ソフトウェア名</td> <td colspan="2">                     ・3次元点群データ展開ソフトウェア<br/>                     ・変状自動抽出ソフトウェア                 </td> </tr> <tr> <td>検出可能な変状</td> <td colspan="2">                     ・近接目視により、チョークでマーキングした変状                 </td> </tr> <tr> <td rowspan="5">変状検出の原理・アルゴリズム</td> <td>ひび割れ</td> <td>                     ・AI(畳み込みニューラルネットワーク)による自動検出<br/>                     ・教師データは覆工面のひび割れに関する写真に、技術者による点検成果を重ね合わせ、寸法等の情報を付与したデータ(約150スパン分)。<br/>                     ・撮影条件・仕様等：レーザーキャナー計測をもとに解析した展開画像<br/>                     ・コンクリート部分とマーキング部分の輝度の比(コントラスト)をセマンティック・セグメンテーションを用いることで自動検出する。                 </td> </tr> <tr> <td>ひび割れ幅および長さの計測方法</td> <td>                     ・幅：ひび割れのマーキングと同時に覆工に記録したひび割れ幅を読み取る(手動)<br/>                     ・長さ：CADソフト上で起終点を指定し、CAD上で直線距離を計測(手動)                 </td> </tr> <tr> <td>ひび割れ以外</td> <td>                     ・解析した覆工展開画像から目視による検出(手動)<br/>                     【漏水・うき・はく離、鋼材腐食】<br/>                     ・変状種別を手動で検出したうえで、チョークでマーキングした変状箇所の画像より、変状範囲の輪郭を目視で検出(手動)                 </td> </tr> <tr> <td>画像処理の精度(学習結果に対する性能評価)</td> <td colspan="2">(今後の課題)</td> </tr> <tr> <td>変状の描画方法</td> <td colspan="2">・マーキング・ポリライン</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">取り扱い可能な画像データ</td> <td>ファイル形式</td> <td colspan="2">・PNG</td> </tr> <tr> <td>ファイル容量</td> <td colspan="2">・30Mbyte</td> </tr> <tr> <td>カラー／白黒画像</td> <td colspan="2">・グレースケール(256階調)</td> </tr> <tr> <td>画素分解能</td> <td colspan="2">・マーキング幅3mm以上</td> </tr> <tr> <td>その他留意事項</td> <td colspan="2">                     ・覆工面に凹凸がないこと(凹凸の程度は検証中)<br/>                     ・変状の検出精度は検証中                 </td> </tr> <tr> <td>出力ファイル形式</td> <td colspan="2">・DXF</td> </tr> </table> |  | ソフトウェア名 | ・3次元点群データ展開ソフトウェア<br>・変状自動抽出ソフトウェア |  | 検出可能な変状 | ・近接目視により、チョークでマーキングした変状 |  | 変状検出の原理・アルゴリズム | ひび割れ | ・AI(畳み込みニューラルネットワーク)による自動検出<br>・教師データは覆工面のひび割れに関する写真に、技術者による点検成果を重ね合わせ、寸法等の情報を付与したデータ(約150スパン分)。<br>・撮影条件・仕様等：レーザーキャナー計測をもとに解析した展開画像<br>・コンクリート部分とマーキング部分の輝度の比(コントラスト)をセマンティック・セグメンテーションを用いることで自動検出する。 | ひび割れ幅および長さの計測方法 | ・幅：ひび割れのマーキングと同時に覆工に記録したひび割れ幅を読み取る(手動)<br>・長さ：CADソフト上で起終点を指定し、CAD上で直線距離を計測(手動) | ひび割れ以外 | ・解析した覆工展開画像から目視による検出(手動)<br>【漏水・うき・はく離、鋼材腐食】<br>・変状種別を手動で検出したうえで、チョークでマーキングした変状箇所の画像より、変状範囲の輪郭を目視で検出(手動) | 画像処理の精度(学習結果に対する性能評価) | (今後の課題) |  | 変状の描画方法 | ・マーキング・ポリライン |  | 取り扱い可能な画像データ | ファイル形式 | ・PNG |  | ファイル容量 | ・30Mbyte |  | カラー／白黒画像 | ・グレースケール(256階調) |  | 画素分解能 | ・マーキング幅3mm以上 |  | その他留意事項 | ・覆工面に凹凸がないこと(凹凸の程度は検証中)<br>・変状の検出精度は検証中 |  | 出力ファイル形式 | ・DXF |
| ソフトウェア名        | ・3次元点群データ展開ソフトウェア<br>・変状自動抽出ソフトウェア   |   |  |         |                                    |  |         |                         |  |                |      |  |                 |  |        |  |                       |         |  |         |              |  |              |        |      |  |        |          |  |          |                 |  |       |              |  |         |   |  |          |      |
| 検出可能な変状        | ・近接目視により、チョークでマーキングした変状  |   |  |         |                                    |  |         |                         |  |                |      |  |                 |  |        |  |                       |         |  |         |              |  |              |        |      |  |        |          |  |          |                 |  |       |              |  |         |   |  |          |      |
| 変状検出の原理・アルゴリズム | ひび割れ   | ・AI(畳み込みニューラルネットワーク)による自動検出<br>・教師データは覆工面のひび割れに関する写真に、技術者による点検成果を重ね合わせ、寸法等の情報を付与したデータ(約150スパン分)。<br>・撮影条件・仕様等：レーザーキャナー計測をもとに解析した展開画像<br>・コンクリート部分とマーキング部分の輝度の比(コントラスト)をセマンティック・セグメンテーションを用いることで自動検出する。  |  |         |                                    |  |         |                         |  |                |      |  |                 |  |        |  |                       |         |  |         |              |  |              |        |      |  |        |          |  |          |                 |  |       |              |  |         |   |  |          |      |
|                | ひび割れ幅および長さの計測方法  | ・幅：ひび割れのマーキングと同時に覆工に記録したひび割れ幅を読み取る(手動)<br>・長さ：CADソフト上で起終点を指定し、CAD上で直線距離を計測(手動)  |  |         |                                    |  |         |                         |  |                |      |  |                 |  |        |  |                       |         |  |         |              |  |              |        |      |  |        |          |  |          |                 |  |       |              |  |         |   |  |          |      |
|                | ひび割れ以外   | ・解析した覆工展開画像から目視による検出(手動)<br>【漏水・うき・はく離、鋼材腐食】<br>・変状種別を手動で検出したうえで、チョークでマーキングした変状箇所の画像より、変状範囲の輪郭を目視で検出(手動)  |  |         |                                    |  |         |                         |  |                |      |  |                 |  |        |  |                       |         |  |         |              |  |              |        |      |  |        |          |  |          |                 |  |       |              |  |         |   |  |          |      |
|                | 画像処理の精度(学習結果に対する性能評価)  | (今後の課題)   |  |         |                                    |  |         |                         |  |                |      |  |                 |  |        |  |                       |         |  |         |              |  |              |        |      |  |        |          |  |          |                 |  |       |              |  |         |   |  |          |      |
|                | 変状の描画方法  | ・マーキング・ポリライン  |  |         |                                    |  |         |                         |  |                |      |  |                 |  |        |  |                       |         |  |         |              |  |              |        |      |  |        |          |  |          |                 |  |       |              |  |         |   |  |          |      |
| 取り扱い可能な画像データ   | ファイル形式   | ・PNG  |  |         |                                    |  |         |                         |  |                |      |  |                 |  |        |  |                       |         |  |         |              |  |              |        |      |  |        |          |  |          |                 |  |       |              |  |         |   |  |          |      |
|                | ファイル容量   | ・30Mbyte  |  |         |                                    |  |         |                         |  |                |      |  |                 |  |        |  |                       |         |  |         |              |  |              |        |      |  |        |          |  |          |                 |  |       |              |  |         |   |  |          |      |
|                | カラー／白黒画像   | ・グレースケール(256階調)   |  |         |                                    |  |         |                         |  |                |      |  |                 |  |        |  |                       |         |  |         |              |  |              |        |      |  |        |          |  |          |                 |  |       |              |  |         |   |  |          |      |
|                | 画素分解能  | ・マーキング幅3mm以上  |  |         |                                    |  |         |                         |  |                |      |  |                 |  |        |  |                       |         |  |         |              |  |              |        |      |  |        |          |  |          |                 |  |       |              |  |         |   |  |          |      |
|                | その他留意事項  | ・覆工面に凹凸がないこと(凹凸の程度は検証中)<br>・変状の検出精度は検証中   |  |         |                                    |  |         |                         |  |                |      |  |                 |  |        |  |                       |         |  |         |              |  |              |        |      |  |        |          |  |          |                 |  |       |              |  |         |   |  |          |      |
| 出力ファイル形式       | ・DXF   |   |  |         |                                    |  |         |                         |  |                |      |  |                 |  |        |  |                       |         |  |         |              |  |              |        |      |  |        |          |  |          |                 |  |       |              |  |         |   |  |          |      |



|                              |   |
|------------------------------|---|
| <p>調書作成支援の手順</p>             | <p>①2次元覆工展開画像からAIで抽出した変状情報をもとに、適応条件に記載の条件から変状写真(近接目視・遠望目視で撮影した写真)をラベリングする。<br/>                 ②点検調書の様式をPCに取り込み、PC上で変状写真の確認、操作が可能となるように調整する。<br/>                 ③変状写真をPCに取り込み、変状番号を割り当てる。<br/>                 ④点検調書の様式に従い、覆工スパン番号、変状部位等を入力する。<br/>                 ⑤変状写真を検索し、最も変状を表しているものを手動で抽出し、点検調書の所定の項目に張り付けるとともに、変状の種類、その状況を旗揚げする。</p> |
| <p>調書作成支援の適用条件</p>           | <p>—</p>  |
| <p>調書作成支援に活用する機器・ソフトウェア名</p> | <p>(自社開発ソフト)<br/>                 ・レーザースキャナー トンネル変状管理システム<br/><br/>                 (クラウドサービス)<br/>                 ・提供無し<br/><br/>                 (市販ソフト)<br/>                 ・Excel (2016 ~ Office365)<br/>                 ・AutoCAD 2014~2021</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)   |
|-------------------------------|---|--|
| <p>安全面への配慮</p> <p>点検時現場条件</p> | <p>・特になし</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;">                     赤外線レーザー(クラス1)による高速スキャン(976,000点/秒)                 </div>  | <p>・使用するレーザーは、「直接ビーム内観察を長時間行っても、またそのとき、観察用光学器具(ルーペ又は双眼鏡)を用いても安全であるレーザー製品(クラス1)」であり、このような条件下で使用しているため問題ない。</p> <p>・使用している赤外線レーザーは視認できないため、道路利用者(対向車線走行車両、歩行者、自転車等)の妨げにならない。</p> |
| 無線等使用における混線等対策                | —   | —  |
| 交通規制の要否                       | ・必要   | ・点検作業(交通規制を伴う)と並行して実施  |
| 交通規制の範囲                       | ・片側交互通行規制<br>・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                     | ・特になし   | (参考)バッテリー駆動時間3時間(1個あたり)  |
| 車線数の制約                        | ・特になし   | ・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15m)を越えない事   |
| 断面形状の制約                       | ・トンネル内空幅5m未満または内空高さ5m未満は計測不可<br>・計測装置から覆工面までの離隔が15m以上となる断面形状の箇所では計測不可   | —  |
| その他                           | ・汚れ、すず等がある場合:作業可能<br>・トンネル坑内作業で作業車両等との離隔は20m以上必要<br>・片側交互通行規制の場合、反対車線を走行する車両が写り込むため、往復で計測することが望ましい  | ・汚れ等を遊離石灰として誤検出する可能性がある<br>・一般的な3Dレーザーキャナーを使用した場合、レーザー光進行方向に±2mm程度の制度がある   |

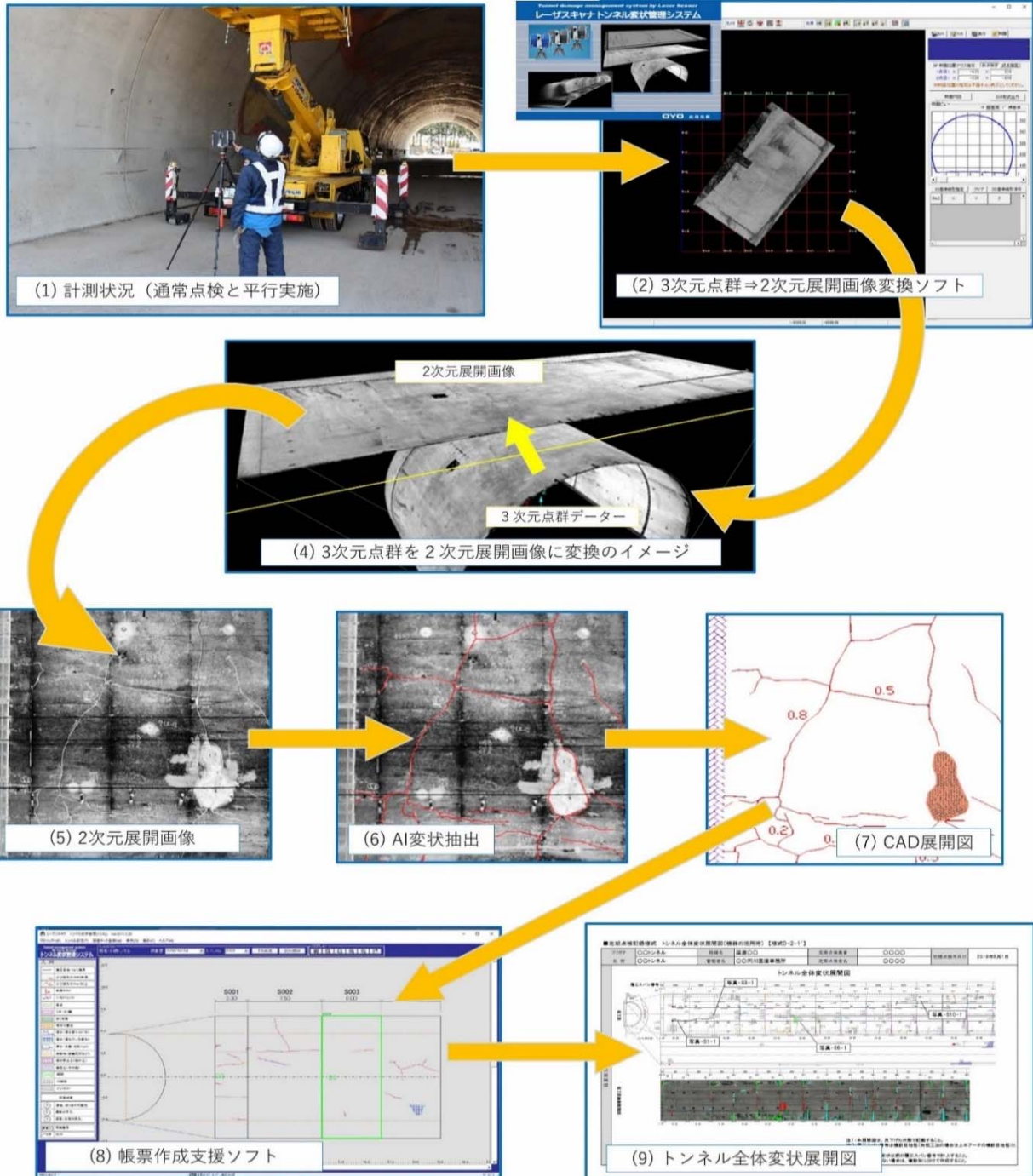
6. 留意事項(その2)

| 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            | ・現場計測においてはレーザースキャナーを操作ができること  | ・事前に講習を行うことで作業可能   |
| 必要構成人員数             | ・レーザースキャナー計測機器オペレーター 1人<br>・助手兼保安員 1人<br>・計2人   | ・最小遂行人数 1人   |
| 操作に必要な資格等の有無、フライト時間 | ・特になし<br>(フライトは対象外)   | フライトは対象外   |
| 操作場所                | ・トンネル坑内<br>・作業ヤード不要   | ・坑口付近を計測する場合、トンネル坑外まで通行規制帯を伸ばし離隔を取る必要がある(標識や車両から20m程度)   |
| 計測作業日数              | [トンネル条件]<br>・延長500mのトンネル1本のみ(上下車線往復1000m計測)<br>・2車線断面、歩道なし<br><br>[作業日数]<br>・計測作業日数: 2日 | [計測作業日数算定上の条件]<br>・通常点検作業と同時に実施すること<br>・変状がマーキング済みであること<br>・片側交互通行規制の場合、反対側車線に走行車両が写り込むため、上下線を往復して計測を実施する<br><br>[トンネル条件補足]<br>・ひび割れ密度は作業に影響しない<br>・補修箇所の有無は作業に影響しない<br>・1回目の点検および2回目以降の点検ともに同じ作業日に影響しない<br>・照明等、付属設備の有無に影響しない |
| 点検費用                | [現場点検費用]<br>・外業費用: 30万円<br><br>[内業費用]<br>・解析費用: 20万円                                    | ・外業費用には機器損料を含む   |
| 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)        | ・特になし(夜間作業可能)   | —  |
| 計測時の走行速度条件          | —   | —  |
| 渋滞時の計測可否            | ・計測可能   | ・反対側車線を通行する車両の写り込みが著しい   |
| 設備等による死角条件          | ・照明、ジェットファン、隔壁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 計測器: 最大外形寸法(長さ232.5mm×幅95.8mm×高さ192.7mm)<br>・最大重量(5.2kgf)                         | ・最初遂行人数1人で移動、設置可能  |
| 自動制御の有無             | —   | —  |
| 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       | ・交通規制が必要となる場合は、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  | ・解析ソフト: 自社開発ソフト<br>・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  | ・なし   | —  |
| センシングデバイスの点検        | ・日常点検<br>・年1回の校正が望ましい   | —  |
| その他                 | ・気象条件: 特になし<br>・作業条件: 特になし<br>・特許状況: 申請中  | ・降雨等で作業可能。ただし坑口付近では坑内に吹き込む雨滴がノイズになることがある   |

作業条件・運用条件

7. 図面

計測から調査作成までの流れ



1. 基本事項

|         |   |   |                     |
|---------|---|---|---------------------|
| 技術番号    | TN010014-V0021  |   |                     |
| 技術名     | 走行型近赤外線撮影によるSfM三次元画像解析システム  |   |                     |
| 技術バージョン | 1   | 作成: 2021年10月  |                     |
| 開発者     | 国際航業株式会社  |   |                     |
| 連絡先等    | TEL: 042-307-7435   | E-mail: takashi_hirayama@kk-grp.jp  | インフラマネジメント部<br>平山貴司 |
| 現有台数・基地 | 1   | 基地  | 東京都府中市              |
| 技術概要    | <p>本システムは、煤けたトンネルでも透過性の良い高解像度近赤外線カメラと近赤外線LED照明を自走車両に搭載し、コンクリート覆工の画像を取得する。可視光の照明でないため、交通規制なしで撮影が可能である。取得したRAW画像は、SfM解析(Structure from Motion: 複数の画像からカメラの位置・姿勢を推定し対象物を3次元的に復元する写真測量の技術)によりシームレスに接合し、オルソフォトの3Dモデルを作成する。これを平面的な展開画像に加工し、CAD上で変状を抽出し変状展開図を作成する一連のシステムである。</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/照明/ケーブル類/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/監査歩廊 |                     |
|         | 変状の種類   | 本体工における圧ざ/ひび割れ/うき・はく離(ひび割れが伴うものやチョーキングがあるもの)/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の破断/脱落/変形/欠損/がたつき              |                     |
|         | 物理原理  | 画像  |                     |

2. 基本諸元

|                                 |  |  |   |
|---------------------------------|--|--|---|
| 計測機器の構成                         |  | 本計測機器は、「エリアカメラと近赤外線LED照明」と「各カメラのデータを保存する処理装置(PC)を組み合わせた記録装置」を「移動車両」に一体化させたものである。         |   |
| 移動装置                            | 移動原理   | 【車両型】<br>・内燃機関を搭載した車両にて移動する。<br>・車両にセンシング機器を設置し、交通流にそって走行しながら車道と撮影対象箇所の離隔の範囲内でアプローチするもの。 |   |
|                                 | 外形寸法・重量  | ・一体構造(移動装置+計測装置)<br>・最大外形寸法(長さ5190mm×幅1780mm×高さ3000mm)<br>・最大重量 3650kg                   |   |
|                                 | 搭載可能容量<br>(分離構造の場合)  | —  |   |
|                                 | 動力   | ・3トラック<br>・動力源:内燃機関<br>・燃料:ディーゼル   |   |
|                                 | 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合)                                       | —  |   |
| 計測装置                            | 設置方法   | ・移動装置と一体的な構造。  |   |
|                                 | 外形寸法・重量<br>(分離構造の場合)   | —  |   |
|                                 | センシングデバイス  | カメラ  | 【モノクロエリアカメラ】<br>・ピクセル数(縦2048pixel×横2048pixel) 8台<br>・フレームレート 90FPS<br>【照明】<br>・近赤外線LED照明 8台 |
|                                 |  | パン・チルト機構   | ・水平 ±10°<br>・鉛直 ±10°  |
|                                 |  | 角度記録・制御機構機能  | ・カメラの画角は対象トンネルの形状および撮影画像精度に応じて都度設定する可動式   |
|                                 |  | 測位機構   | ・非接触距離計   |
|                                 | 耐久性  | ・計測機器の防水・防塵等級はなし   |   |
|                                 | 動力   | ・移動装置に搭載した発電機の電力を用いる。<br>・定格容量:AC100V 10kVA  |   |
| 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合)          | ・8時間程度(内燃機関によって発電した電力を使用しており、特に制約なく、通常1日使用可能)<br>(外気温:0~40℃) |  |   |
| 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<br>(分離構造の場合)   | —  |   |
|                                 | データ収集・記録機能   | ・カメラから有線接続されたレコーダ(PC)に記録し、データ保存する  |   |
|                                 | 通信規格<br>(データを伝送し保存する場合)                                      | —  |   |
|                                 | セキュリティ<br>(データを伝送し保存する場合)                                    | —  |   |
|                                 | 動力   | ・移動装置に搭載した発電機の電力を用いる。<br>・定格容量:AC100V 10kVA  |   |
| データ収集・通信可能時間<br>(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>・最小所要空間寸法 幅1.8m×高さ3.0mの計測車両が通過できるトンネル</li> </ul>          |                      |
| 適用可能なトンネルの最大寸法 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネル内空高さ8m程度<br/>(照明との離隔が側方、上方とも5m以上となる場合は不可)</li> </ul> |                      |

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   |   |
|       |   | 【性能値】<br>・50km/h<br>【標準試験値】<br>・40km/h   |   |   |
|       | 計測精度  | 性能確認シートの有無 ※   | 有   |   |
|       |   | 【性能値】<br>・最小ひび割れ幅:0.3mm<br>(0.3mmひび割れを画像で確認できる)<br>【標準試験値】<br>・最小ひび割れ幅:0.3mm<br>(0.3mmひび割れを画像で確認できる)<br>・計測精度:0.14mm<br>(0.3mmのひび割れのみを対象とした検出精度)<br>・ひび割れ幅の最小単位:0.1mm<br>(0.3mm以上のひび割れを0.1mm単位で評価可能)<br>・ひび割れ長さの最小単位:1.0mm |   | 【走行速度】30km/h~60km/h(検証時:40km/h)<br>【路面状態】凹凸や凍結があっても、上記速度で走行可能であれば撮影可能(検証時:凹凸や凍結無し)<br>【走行回数】複数回走行可能なこと(検証時:複数回走行)<br>【天候】雨天時は現場条件により判断が必要(検証時:晴れ) |
|       | 長さ計測精度<br>(長さの相対誤差)                                     | 性能確認シートの有無 ※   | 有   |   |
|       | 【性能値】<br>・未検証<br>【標準試験値】<br>・0.91%                      |  | 【走行速度】30km/h~60km/h(検証時:40km/h)<br>【路面状態】凹凸や凍結があっても、上記速度で走行可能であれば撮影可能(検証時:凹凸や凍結無し)<br>【走行回数】複数回走行可能なこと(検証時:複数回走行)<br>【天候】雨天時は現場条件により判断が必要(検証時:晴れ) |   |
| 位置精度  | 性能確認シートの有無 ※  | 有  |   |   |
|       | 【性能値】<br>・未検証<br>【標準試験値】<br>・進行方向:55.3mm<br>・周方向:81.9mm |  | 【走行速度】30km/h~60km/h(検証時:40km/h)<br>【路面状態】凹凸や凍結があっても、上記速度で走行可能であれば撮影可能(検証時:凹凸や凍結無し)<br>【走行回数】複数回走行可能なこと(検証時:複数回走行)<br>【天候】雨天時は現場条件により判断が必要(検証時:晴れ) |   |
| 色識別性能 | 性能確認シートの有無 ※  | 有  |   |   |
|       | 【性能値】<br>・グレースケール識別可能<br>【標準試験値】<br>・グレースケール識別可能        |  | 【走行速度】30km/h~60km/h(検証時:40km/h)<br>【路面状態】凹凸や凍結があっても、上記速度で走行可能であれば撮影可能(検証時:凹凸や凍結無し)<br>【走行回数】複数回走行可能なこと(検証時:複数回走行)<br>【天候】雨天時は現場条件により判断が必要(検証時:晴れ) |   |

※「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                |                | ①撮影した画像を覆工1スパンごとに自動合成ソフトウェアでつなぎ合わせる。(自動)<br>②ひび割れの自動抽出機能(下記アルゴリズム参照)により、ひび割れを抽出する。(自動)<br>③抽出したひび割れを目視で確認し、筋状の汚れ等ひび割れ以外の抽出結果を手動で削除する。(手動)<br>④ひび割れ幅を自動抽出する(下記アルゴリズム参照)。(自動)<br>⑤抽出したひび割れをDXFに変換し、CADソフトにてひび割れの起終点を指定し、その直線長さをひび割れの長さとする。(手動)<br>⑥その他変状の自動抽出機能(下記アルゴリズム参照)により、ひび割れ以外の変状を抽出する。うき、はく離、鋼材腐食については、手動により変状種別を判別する。(手動)<br>※解析作業日数:5日/100m |  |  |
| ソフトウェア情報              | ソフトウェア名        | 【画像合成】<br>・Agisoft社製「Metashape」(市販ソフト)<br>【変状検出】<br>・国際航業社製「CrackReader」  |  |  |
|                       | 検出可能な変状        | 手法1)ひび割れ(幅、長さ)<br>手法2)ひび割れ(幅、長さ)、漏水、遊離石灰、はく落跡、その他目視により確認できるもの   |  |  |
|                       | 変状検出の原理・アルゴリズム | ひび割れ  | 手法1)ひび割れ(幅、長さ)<br>ひび割れ自動抽出ソフトウェアを使用し、独自の画像処理をしてひび割れを検出する。<br><br>手法2)ひび割れ(幅、長さ)、漏水、遊離石灰、はく落跡、その他<br>手動でトレースする機能があり、画像を見てトレースする |  |
|                       |                | ひび割れ幅および長さの計測方法   | ・画素分解能を算出し(mm/pixel)、1pixelあたりの長さを乗することでひび割れ幅および長さを算出する。   |  |
|                       |                | ひび割れ以外  | ・ひび割れ(幅、長さ)、漏水、遊離石灰、はく落跡、その他<br>・手動でトレースする機能があり、画像を見てトレースする  |  |
|                       |                | 画像処理の精度<br>(学習結果に対する性能評価)   | -  |  |
|                       |                | 変状の描画方法   | ・ひび割れ:ポリライン<br>・ひび割れ以外:ポリゴン  |  |
|                       | 取り扱い可能な画像データ   | ファイル形式  | RAW,BMP  |  |
|                       |                | ファイル容量  | 約130MB程度   |  |
|                       |                | カラー／白黒画像  | 白黒画像   |  |
| 画素分解能                 |                | ・ひび割れ幅0.3mmを検出するためには1mm/Pixel以下であることが必要   |  |  |
| その他留意事項               |                | ・基本的にはトンネル覆工表面全周を対象とし、スパン単位で合成した見下げの展開画像を作成する。<br>・ひび割れにチョークが重なっている場合は検出が困難<br>・覆工面の漏水、遊離石灰によりひび割れが不可視の場合は、ひび割れの検出が困難<br>・SfM解析技術を利用  |  |  |
| 出力ファイル形式              | JPEG/BMP/DXF等  |   |  |  |
| 調書作成支援の手順             | -              |   |  |  |
| 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 | -              |   |  |  |

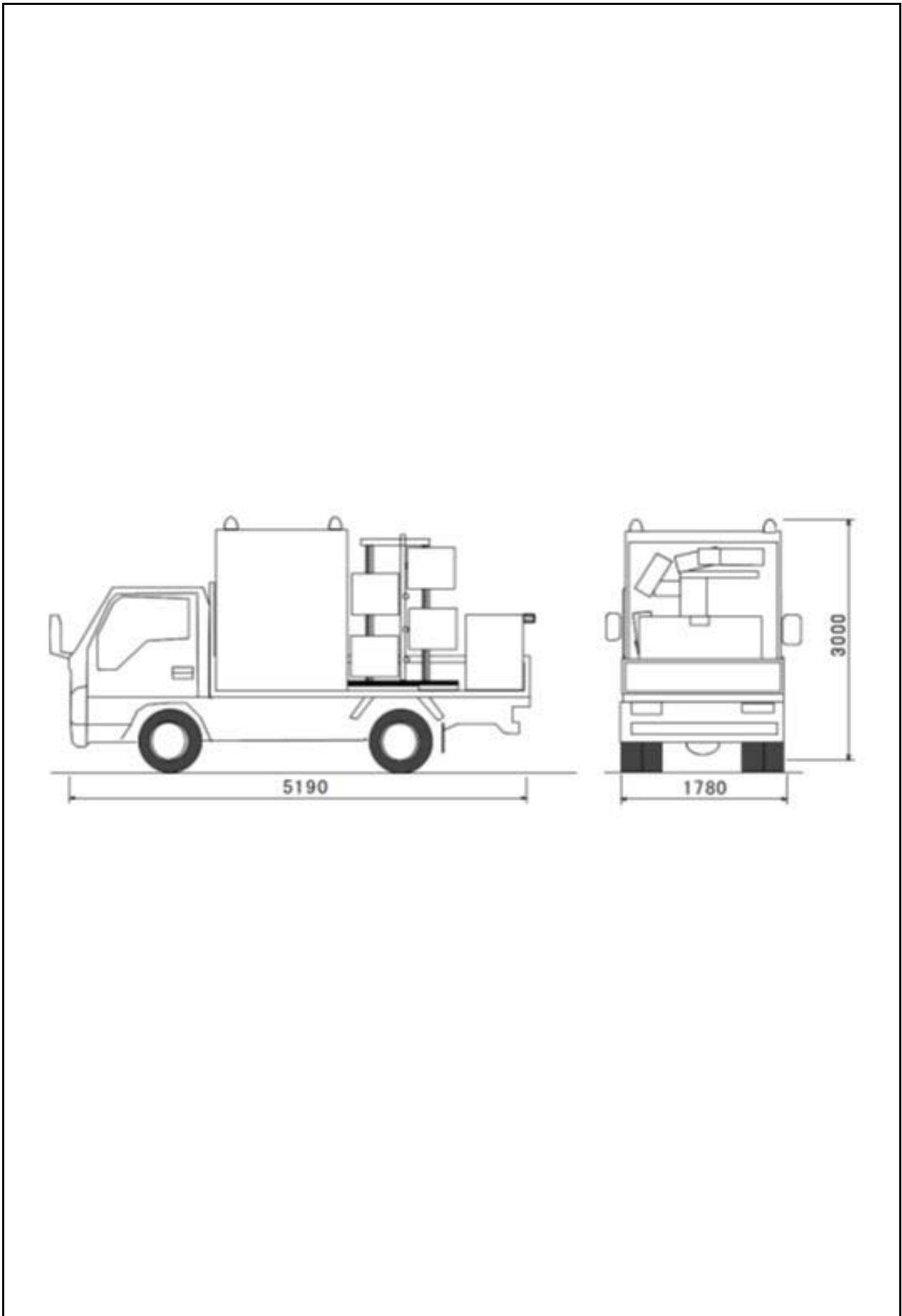
6. 留意事項(その1)

| 項目                              |                | 適用可否/適用条件                                 | 特記事項(適用条件)   |
|---------------------------------|----------------|---|--|
| 点<br>検<br>時<br>現<br>場<br>条<br>件 | 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                                       | ・降雨時は、トンネル内で格納箱から計測装置を出し入れするため、片側通行規制が望ましい<br>・撮影精度を上げるため、歩行者がいない、支障物がない方が望ましい<br>・撮影位置に白い物体があると白飛びしてしまう |
|                                 | 交通規制の範囲        | ・不要                                       | ・交通規制を行う場合は「片側車線」  |
|                                 | 現地への運搬方法       | ・計測装置を搭載した車両により自走                         |  |
|                                 | トンネル延長の制約      | ・特になし                                     |  |
|                                 | 車線数の制約         | ・交通規制をしない場合、カメラの固定位置から2車線対面通行トンネルに特化している。 | ・走行方向に対して左側のみ撮影可能  |
|                                 | 断面形状の制約        | ・非常駐車帯等により断面寸法変化のある区画では再計測(調整)が必要になる。     |  |
|                                 | その他            | ・煤汚れによる作業の可否:可                            |  |

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            | ・社内の取扱い講習受講者  |   |
| 必要構成人員数             | ・現場責任者1人、点検員1人、車両運転員1人、合計3名   |   |
| 操作に必要な資格等の有無、フライト時間 | ・社内講習   |   |
| 操作場所                | ・トンネル入り口付近に準備用の作業ヤードが必要(2.5m×5.0m程度)  |   |
| 計測作業日数              | ・計測作業日数:0.5日(トンネル延長500m)  | ・平均点検量:500m程度のトンネル2~3本<br>・平均作業時間:8時間/日 |
| 点検費用                | <p>[トンネル条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・延長500mのトンネル1本のみ計測の場合、延長500mのトンネル10本を一括して計測する場合の両者について記載</li> <li>・ひび割れ密度0.3m/m<sup>2</sup></li> <li>・2車線断面、歩道なし</li> <li>・2回目以降の点検</li> <li>・補修箇所なし</li> </ul> <p>[費用]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・支援技術による計測作業にかかる費用<br/>⇒1本:200万円 10本:1000万円</li> <li>・支援技術を用いて一連の定期点検作業を実施する場合の費用<br/>⇒1本:400万円 10本:4000万円</li> <li>・支援技術利用における点検作業全体のカバー率:20%</li> <li>・機械の輸送費<br/>⇒5,000円(東京都内への移動の場合)<br/>300,000円(離島への運搬のため船舶利用の場合)</li> </ul> <p>[費用算定上の条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・支援技術では対応できない部分や、従来点検との併用によって生じる、「人力による点検」部分は費用に含めない</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、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   |   |
| 計測時の走行速度条件          | ・60km/h以下   |   |
| 渋滞時の計測可否            | ・可能   |   |
| 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撮影不可  |   |
| 車両から覆工表面までの距離条件     | ・距離の条件がある場合は「10m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)          | ・特になし   |   |
| 自動制御の有無             | ・無  |   |
| 利用形態:リース等の入手性       | ・すべて自社器材  |   |
| 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  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・解析ソフト:PhotoScanを使用</li> <li>・必要作業:担当者による解析作業</li> <li>・費用:20万円(500mあたり)</li> </ul>  |   |
| 不具合時のサポート体制の有無及び条件  | ・サポート体制なし   |   |
| センシングデバイスの点検        | ・特になし   |   |
| その他                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・特許状況:特願2017-032864</li> <li>・気象条件:特になし</li> <li>・作業条件:特になし</li> </ul>   |   |

7. 図面





1. 基本事項

|         |   |   |                    |
|---------|---|---|--------------------|
| 技術番号    | TN010015-V0021  |   |                    |
| 技術名     | モービルインスペクションシステムGT-8K   |   |                    |
| 技術バージョン | GT-8K   | 作成: 2021年10月  |                    |
| 開発者     | 朝日航洋株式会社  |   |                    |
| 連絡先等    | TEL: 049-244-4155   | E-mail: kiyoshi-suzuki@aeroasahi.co.jp  | モビリティ空間技術部<br>鈴木 清 |
| 現有台数・基地 | 1   | 基地  | 埼玉県川越市南台3丁目14番地4   |
| 技術概要    | <p>高精細画像を連続的かつ面的に取得する8Kエリアセンサカメラ、および、高精度レーザ測距装置を車両に搭載し、通常走行でトンネル覆工面や道路周辺等を計測を行う技術である。</p> <p>取得した高精細カメラ画像と、3次元レーザ点群データからトンネル覆工面の展開画像を作成し、変状を検出することで、近接目視点検や打音検査を支援するデータ資料を作成する。</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/照明/ケーブル類/警報表示板/標識/その他附属物/はく落防止対策工/漏水対策工/排水施設/路肩及び路面 |                    |
|         | 変状の種類   | 本土工における圧ざ/ひび割れ/うき・はく離(チョーキングで示されたもの)/変形/移動/鋼材腐食/有効巻厚の減少/漏水、ならびに附属物の取付金具等の破断/緩み/脱落/亀裂/腐食/変形/欠損 |                    |
|         | 物理原理  | 画像/動画/3次元点群データ  |                    |

2. 基本諸元

|                        |  |  |  |
|------------------------|--|--|--|
| 計測機器の構成                |  | 画像撮影部(8Kエリアセンサカメラ・照明)と、レーザ計測部(高精度レーザ測距装置・GNSS/IMU)を移動車両と一体化させたもの         |  |
| 移動装置                   | 移動原理                                   | 【車両型】<br>・内部機関を搭載した車両にて移動する<br>・交通規制を行うことなく計測可能                          |  |
|                        | 外形寸法・重量                                | 【一体構造(移動装置+計測装置)】<br>・長さ:5.33m<br>・幅:1.95m<br>・高さ:2.7m<br>・車両総重量:3,005kg |  |
|                        | 搭載可能容量<br>(分離構造の場合)                    | —  |  |
|                        | 動力                                     | ・動力源:内燃機関<br>・燃料:ディーゼル<br>・定格出力:0.18kW                                   |  |
|                        | 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合)                 | —  |  |
| 計測装置                   | 設置方法                                   | 移動装置と一体的な構造  |  |
|                        | 外形寸法・重量<br>(分離構造の場合)                   | —  |  |
|                        | センシングデバイス                              | カメラ  | 【8Kエリアセンサカメラ】<br>・センササイズ:スーパー35mm相当 単板CMOSイメージセンサ 24.546mm×13.824mm<br>・ピクセル数:7,680×4,320(33,177,600画素)<br>・焦点距離:使用レンズによる<br>・シャッタースピード:1/24~1/10,000<br>・フレームレート:最大120fps |
|                        |  | パン・チルト機構   | ・水平:360°<br>・鉛直±60°  |
|                        |  | 角度記録・制御機構機能  | 【可動式】<br>任意角度に設定可能   |
|                        |  | 測位機構   | GNSS/IMU、オドメータ、レーザ計測   |
|                        | 耐久性                                    | ・画像撮影部:IP24(照明、8Kエリアセンサカメラには公式な防塵、防水等級なし)<br>・レーザ計測部:IP54(高精度レーザ測距装置)    |  |
|                        | 動力                                     | 計測車両に搭載している発電機とUPSより給電   |  |
| 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合) | 5時間程度(車両に搭載している発電機の定格負荷時・外気温:0°C~40°C) |  |  |
| 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<br>(分離構造の場合)                   | —  |  |
|                        | データ収集・記録機能                             | レーザ計測部:計測装置内部に保存<br>画像撮影部:車載しているデータ収録PCIに保存                              |  |
|                        | 通信規格<br>(データを伝送し保存する場合)                | レーザ計測部:計測装置内部に保存<br>画像撮影部:通信方法…有線、通信規格…SDI12G×4本                         |  |
|                        | セキュリティ<br>(データを伝送し保存する場合)              | 専用記録装置から直接HDDへ保存<br>HDDはボリューム全体を暗号化                                      |  |
|                        | 動力                                     | 発電機とUPSから給電  |  |
|                        | データ収集・通信可能時間<br>(データを伝送し保存する場合)        | 5時間程度(車両に搭載している発電機の定格負荷時・外気温:0°C~40°C)                                   |  |

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 | 計測車両(長さ:5.33m、幅:1.95m、高さ:2.7m)が通過できるトンネル | <ul style="list-style-type: none"> <li>・車線数に応じ複数回の走行が必要</li> <li>・道路付帯物が車両の走行に影響がないことを確認する必要あり</li> <li>・トンネル断面形状が大きく変動する場合には、別途計測が必要</li> <li>・要求精度に合わせた車両速度にて計測する必要あり</li> </ul> |
| 適用可能なトンネルの最大寸法 | 車両から覆工表面まで10m程度以下                        | 上記同様   |



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 | 【天候】<br>・荒天対応不可、雨天時は現場判断<br>【トンネル内状態】<br>・路面凍結・積雪対応不可<br>・トンネル覆工面の凍結、過剰な漏水対応不可<br>・走行経路が悪路(不陸が激しい等)などで、車両走行(ハンドル操作)が困難な場合、計測機器の測定値に影響が及ぶ可能性がある<br>・トンネル覆工面の形状が大きく変動する場合には、適切なレンズの選定・付け替えなどの作業が必要<br>【GNSS測位】<br>・GNSS測位(計測開始・終了時)必須<br>【日照条件】<br>・坑口付近等における日光により、画像の域飛び等が発生した場合、変状検出率が低下する |
|      | 計測精度                | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | 上記同様   |
|      | 長さ計測精度<br>(長さの相対誤差) | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | 上記同様   |
|      | 位置精度                | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | 上記同様   |
|      | 色識別性能               | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | 上記同様   |

※「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>自社開発ソフトウェアを組み込んだ解析用PCにて、以下の処理を行う。<br/>                 ① 3次元点群データから覆工面の形状を考慮し、撮影した画像をつなぎ合わせる。(自動)<br/>                 ② 8K画像の色や形状と、3次元点群情報から各変状を抽出する。(自動)<br/>                 ③ 抽出した変状をベクトルデータに変換する。(自動)<br/>                 ④ ベクトルデータを目視にて編集する。(手動)</p> <p>【トンネル条件】<br/>                 ・延長500mトンネル<br/>                 ・2車線断面、歩道なし、附属物なし</p> <p>【作業日数】<br/>                 ・1次解析 約1日<br/>                 ・画像合成 約4.5日<br/>                 ・変状抽出 約6.5日</p> <p>【算定条件】<br/>                 ・変状はひび割れ・遊離石灰・漏水・うき・はく離とする<br/>                 ・附属物の背面等の不可視部対象外</p> |  |  |
| <p>ソフトウェア情報</p>              | <p>ソフトウェア名</p>  | <p>モービルインスペクションシステムGT-8K オリジナルソフトウェア</p> |  |
|                              | <p>検出可能な変状</p>  | <p>ひび割れ、遊離石灰、漏水、うき・はく離、附属物</p>           |  |
|                              | <p>変状検出の原理・アルゴリズム</p>   | <p>ひび割れ</p>                              | <p>8K画像の色や形状からひび割れ候補箇所を抽出する。さらに、検出された候補箇所を目視により編集することで精度を向上する。</p>     |
|                              |   | <p>ひび割れ幅および長さの計測方法</p>                   | <p>任意の画素分解能に変換した投影画像から、抽出したひび割れの画素数×画素分解能により、幅、長さを計測する。</p>            |
|                              |   | <p>ひび割れ以外</p>                            | <p>8K画像、3次元点群データの情報から、遊離石灰・漏水、うき・剥離、附属物を抽出する。さらに、目視検出により検出精度を向上する。</p> |
|                              |   | <p>画像処理の精度<br/>(学習結果に対する性能評価)</p>        | <p>—</p>   |
|                              | <p>取り扱い可能な画像データ</p>   | <p>変状の描画方法</p>                           | <p>ラスタ、ベクトルデータ</p>   |
|                              |   | <p>ファイル形式</p>                            | <p>TIFF、JPEG</p>   |
|                              |   | <p>ファイル容量</p>                            | <p>1スパン(10mを想定)当たり約10GB※<br/>※画素分解能:0.1mm、カメラ台数計:6台時(片道3台×往復)</p>      |
|                              |   | <p>カラー／白黒画像</p>                          | <p>カラー</p>   |
| <p>画素分解能</p>                 | <p>ひび割れ幅0.1mmを検出するには1mm/Pixel以下であることが必要</p>   |  |  |
| <p>その他留意事項</p>               | <p>・ひび割れにチョークが重なっている場合は検出が困難<br/>                 ・日光の影響を受ける可能性のある坑口付近等は、場合によって変状検出率が低下する<br/>                 ・画像がぼやけている等、変状が明瞭ではない場合、変状検出率が低下する</p>   |  |  |
| <p>出力ファイル形式</p>              | <p>TIFF、JPEG、SHP、DXF</p>  |  |  |
| <p>調書作成支援の手順</p>             | <p>車載のカメラ収録PC上で下記の操作を行う。<br/>                 ① 適応条件に記載の条件により画像データを取得する。<br/>                 ② 点検調書の様式を自動作成し、覆工スパン番号、変状部位等を手動入力する。<br/>                 ③ 変状位置に該当する画像を抽出し、点検調書の所定の項目に張り付けると共に、変状の種類、状況を記載する。<br/>                 ④ 入力したデータを調書として保存する。</p>   |  |  |
| <p>調書作成支援の適用条件</p>           | <p>・画像の解像度は0.3mm/Pixel以下となるように撮影する<br/>                 ・ひび割れの計測精度が「4. 計測性能-計測精度」と同等となるように撮影</p>  |  |  |
| <p>調書作成支援に活用する機器・ソフトウェア名</p> | <p>・使用する機器:カメラ収録用PC<br/>                 ・自社開発ソフトウェア<br/>                 ・クラウドサービス提供の有無:無</p>  |  |  |

6. 留意事項(その1)

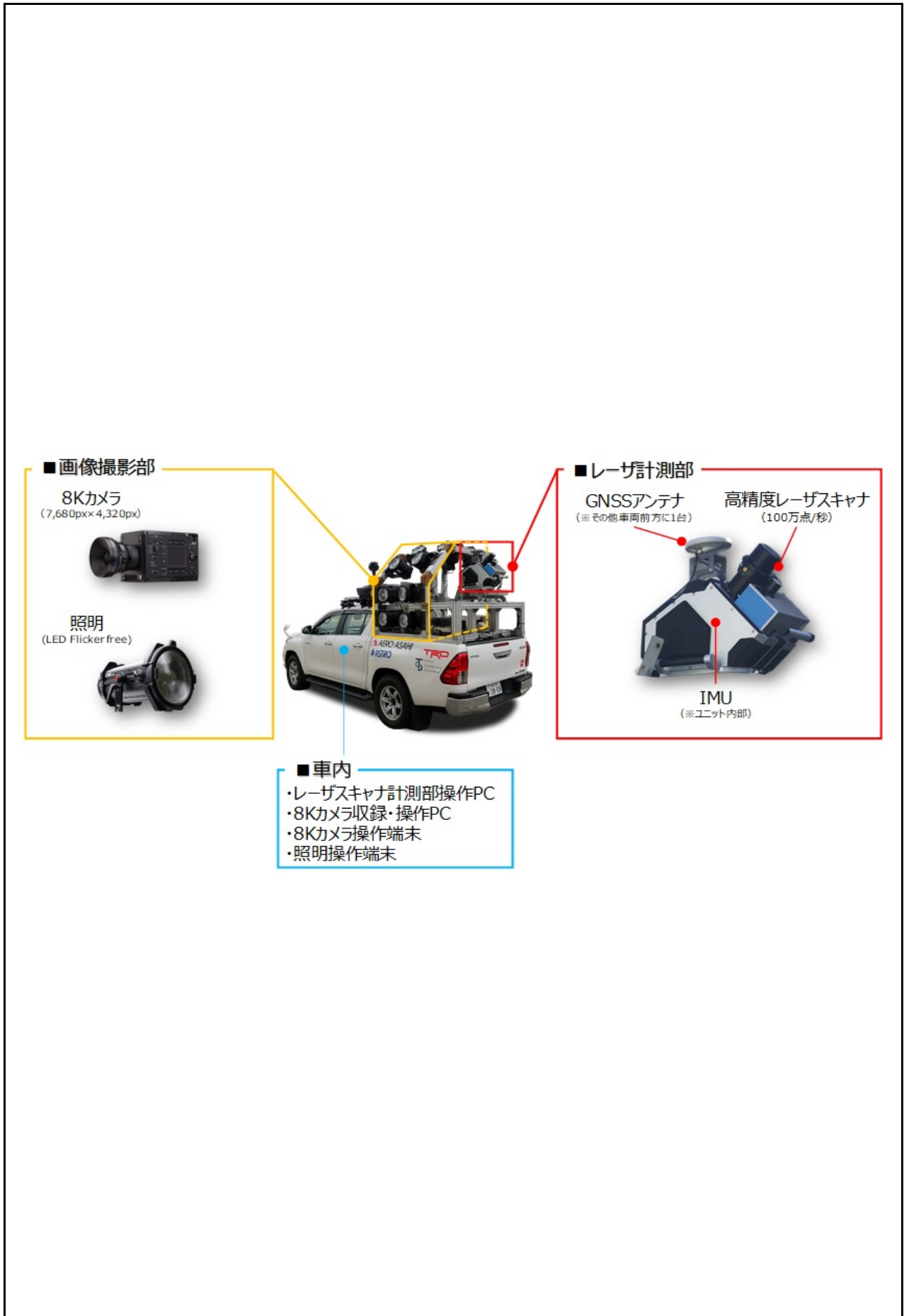
| 項目      | 適用可否/適用条件   | 特記事項(適用条件)                             |   |
|---------|---|--|---|
| 点検時現場条件 | 安全面への配慮   | 特になし                                   | レーザはクラス1のものを使用しており、人体に影響はない。  |
|         | 無線等使用における混線等対策  | 特になし                                   | —   |
|         | 交通規制の要否   | 不要                                     | 交通規制は必要ないが、覆工表面に照明を当てながら計測するため、歩行者がいない状態での計測が望ましい。<br>また、計測途中に歩行者が通る場合は、車内の計測制御装置により照明装置のON/OFFを切り替え、影響が及ばないよう操作する。 |
|         | 交通規制の範囲   | 不要                                     | —   |
|         | 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   | 特になし                                   | —   |
|         | 車線数の制約  | 特になし                                   | —   |
|         | 断面形状の制約   | 断面寸法変化のある区画では再計測が必要になる場合がある(非常駐車帯等により) | —   |
| その他     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラやレーザによる計測が不可能な箇所(照明設備やジェットファンの背面等)は点検対象外</li> <li>・計測、解析日数・金額はトンネルの状態(断面寸法の変化の有り無し等)や車線数等により変動する</li> <li>・汚れや、すす等により変状が見えない場合、変状検出精度が低下する。</li> </ul> | —                                      |   |

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                | 社内基準   | ・社内におけるOJTを実施する  |
| 必要構成人員数                 | 車両運転者1名<br>作業オペレータ1名   | —  |
| 操作に必要な資格等の有無、<br>フライト時間 | 社内講習5日以上   | —  |
| 操作場所                    | トンネルの近場にGNSS衛星が十分に受信できるエリアが必要<br>車両内   | —  |
| 計測作業日数                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>■トンネル1本計測:2日</li> <li>■トンネル10本計測:6日</li> </ul>  | <p>【トンネル条件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れ密度0.3m/m<sup>2</sup></li> <li>・延長500mトンネル往復計測</li> <li>・2車線断面、歩道なし、附属物なし</li> </ul> <p>【算定条件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・変状はひび割れ・遊離石灰・漏水・うき・はく離とする</li> <li>・附属物の背面等の不可視部は対象外</li> <li>・近接目視点検、打音検査は含まない</li> </ul> <p>【その他】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネル断面が大きく変動する、比較的類似しているトンネルを連続して撮影する等の状況により、計測・解析日数が変動する</li> <li>・トンネルは関東周辺を想定。長距離移動を伴う場合、移動費(車両費、人件費、船舶による郵送費約20万等)を追加</li> </ul> |
| 点検費用                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>■トンネル1本点検</li> <li>・外業: 520,000円</li> <li>・内業: 780,000円</li> <li>・直接経費: 350,000円</li> <li>・総計: 1,650,000円</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>■トンネル10本点検</li> <li>・外業: 3,250,000円</li> <li>・内業: 10,000,000円</li> <li>・直接経費: 4,500,000円</li> <li>・総計: 17,750,000円</li> </ul> | 上記と同様  |
| 保険の有無、保障範囲、費用           | 加入済み<br>保障範囲: 対人、対物、車両、計測機器  | —  |
| 時間帯(夜間作業の可否)            | 特になし   | —  |
| 計測時の走行速度条件              | 80km/h以下   | —  |
| 渋滞時の計測可否                | 特になし   | —  |
| 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撮影不可  | —  |
| 車両から覆工表面までの距離<br>条件     | 車両から覆工表面まで2m~10m程度   | —  |
| トンネル内照明の消灯の必要性          | 必要なし   | —  |
| 可搬性(寸法・重量)              | 自走   | —  |
| 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<br>点検サービス、業務請負   | —  |
| 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<br>び費用等  | ・解析ソフト: 自社開発ソフトを使用<br>・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<br>無及び条件  | 有(各センサーメーカーによる原状復帰サポート)  | —  |
| センシングデバイスの点検            | 日常点検、1年に一回のセンサーメーカー点検  | —  |
| その他                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネル入り口付近がGNSS衛星不感地帯となっている場合は計測困難</li> <li>・特許状況: 取得中</li> <li>・気象条件: 強雨、応接時の計測は不可</li> </ul>  | —  |

作業条件・運用条件

7. 図面



1. 基本事項

|         |   |  |                       |
|---------|---|--|-----------------------|
| 技術番号    | TN010016-V0021  |  |                       |
| 技術名     | 光波測量機「KUMONOS」及びレーザースキャナを用いたトンネル調査技術  |  |                       |
| 技術バージョン | Ver.1   | 作成: 2021年10月   |                       |
| 開発者     | クモノスコポーレーション株式会社  |  |                       |
| 連絡先等    | TEL: 072-749-1188   | E-mail: miyamoto@kankou.co.jp                        | 社長特命室<br>宮本 彬彦        |
| 現有台数・基地 | KUMONOS:10台<br>TLS:10台  | 基地   | 大阪府箕面市、神奈川県川崎市、福岡県福岡市 |
| 技術概要    | <p>①当該技術の特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本技術は、遠方より対象物の変状の形状・ひび割れの幅を計測できる光波測量機「KUMONOS」(※1)と遠方より形状を計測できる地上型レーザースキャナ(以降TLS)計測を組み合わせることで、従来の目視点検に必要な仮設足場が不要となり、現場における点検とデータ解析が可能な技術である。</li> <li>※1. 光波測量機にクラックゲージを内蔵し、対象物及び損傷の形状・幅を遠方より非接触で計測し、自動図化(CAD化)できるシステム。</li> <li>・KUMONOS:コンクリート表面の損傷位置・寸法の計測、計測可能なひび割れ幅は0.1mm</li> <li>・TLS:コンクリート表面の形状位置・寸法の計測、計測可能な形状位置・寸法は3mm</li> </ul> <p>②計測結果の活用</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・現場ではまず、KUMONOS及びTLSで共通となる基準点を設置する。その後、KUMONOSでは変状箇所を1か所ずつ詳細に計測し、TLSは構造物の形状を計測する。</li> <li>・KUMONOSの計測結果は、専用ソフトで解析することで、トンネルの損傷を2次元及び3次元で自動的に図化することができる。TLSの計測結果は点群処理ソフトを用いることでトンネルの3次元形状が点群データとして取得できる他、点群データを設計値や過去の計測データと比較することで、トンネルの変位などの変状も計測することができる。</li> <li>・それぞれの計測データは同一の基準点をもとに計測していることから、TLSで計測した形状のデータとKUMONOSで計測した変状のデータを、3次元データ及び2次元の展開図として表現することができ、変状と変位を一つの図面として、一元的に把握することができるようになる。</li> </ul> |  |                       |
| 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/その他補修箇所/路肩及び路面/監査歩廊/坑門 |                       |
|         | 変状の種類   | 圧ざ/ひび割れ/はく離/沈下/鋼材腐食/漏水等による変状                         |                       |
|         | 物理原理  | 画像(TLS)<br>その他(レーザーによる3次元座標)                         |                       |

2. 基本諸元

|                                 |                        |   |  |
|---------------------------------|------------------------|---|--|
| 計測機器の構成                         |                        | <p>・本計測機器は、地上部に設置した計測装置のKUMONOS及びTLSを人力で移動し、レーザーで計測したデータを機械本体のSDカードに記録する。<br/>使用しデータ収集装置は本体に行う</p> <p>計測装置とデータ収集装置が一体化されている。移動は人力にて行うため一体化されていない。</p>                 |  |
| 移動装置                            | 移動原理                   | [人力]KUMONOS・TLS共に三脚に計測装置を設置し、人力にて計測箇所へ移動する。   |  |
|                                 | 外形寸法・重量                | -   |  |
|                                 | 搭載可能容量<br>(分離構造の場合)    | -   |  |
|                                 | 動力                     | -   |  |
| 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合)          |                        | -   |  |
| 計測装置                            | 設置方法                   | 対象物及び損傷が直接目視確認できる地上部分に三脚を用いて機器(KUMONOS及びTLS)を設置する。  |  |
|                                 | 外形寸法・重量<br>(分離構造の場合)   | <p>・KUMONOS<br/>最大外形寸法(高さ32.5cm×幅22.6cm×奥行20.3cm)<br/>最大重量(4.8kg)<br/>※設置用三脚を除く寸法</p> <p>・TLS<br/>最大外形寸法(高さ10.3cm×幅23cm×奥行18.3cm)<br/>最大重量(4.2kg)<br/>※設置用三脚を除く寸法</p> |  |
|                                 | センシングデバイス              | カメラ   | [KUMONOS]なし<br>[TLS]内蔵カメラ 約800万画素 によるパノラマ撮影  |
|                                 |                        | パン・チルト機構  | [KUMONOS]<br>・水平0° ~360°<br>・鉛直-30° ~90°<br>[TLS]<br>・水平0° ~360°<br>・鉛直-60° ~240°  |
|                                 |                        | 角度記録・制御機構機能   | [KUMONOS]<br>・Laser Class 2A光波測量機(5")の性能に準ずる精度。<br>・計測者が調整ねじを利用して直接制御をおこなう。<br>[TLS]<br>・Laser Class 1の性能に±2° 内で精度19秒角。<br>・本体プログラムにて計測エリアを指定し、駆動モーターによる自動制御 |
|                                 |                        | 測位機構  | [KUMONOS]<br>・KUMONOSにより基準点観測を行うことで任意の座標系における測位を行う。<br>[TLS]<br>・基準点上に基準球を設置し観測を行うことで任意の座標系における測位を行う。  |
|                                 | 耐久性                    | [KUMONOS]<br>・IP66<br>[TLS]<br>・IP54  |  |
|                                 | 動力                     | ・動力源:電気式<br>・電源供給容量:バッテリー<br>・定格容量:11.1V、5.9Ah(KUMONOS)、25W(TLS)  |  |
|                                 | 連続稼働時間<br>(バッテリー給電の場合) | [KUMONOS]<br>・連続稼働時間8時間(外気温:-20度~55度)<br>[TLS]<br>・連続稼働時間4.5時間(外気温:-20度~55度)  |  |
|                                 | データ収集・通信装置             | 設置方法  | -  |
| 外形寸法・重量<br>(分離構造の場合)            |                        | -   |  |
| データ収集・記録機能                      |                        | 記録メディア(SDカード)に保存する  |  |
| 通信規格<br>(データを伝送し保存する場合)         |                        | -   |  |
| セキュリティ<br>(データを伝送し保存する場合)       |                        | -   |  |
| 動力                              |                        | バッテリーより供給   |  |
| データ収集・通信可能時間<br>(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 | KUMONOS及びTLSが設置可能な範囲<br>・最小所要空間寸法 幅1500mm × 高さ1500mm程度(上記装置及び必要離隔を含んだ数値)<br>・道路幅員1500mm × 高さ1500mm | 機材が三脚にて設置できる高さ。<br>計測時に歩行者や車両が通行する場合は計測を中断する。<br>KUMONOSで直接ひび割れ幅を確認する場合は対象面から1500mm程度の離隔が必要。 |
| 適用可能なトンネルの最大寸法 | KUMONOSとの離隔が45m以上になる場合は不可  | 0.2mmのひび割れを計測する場合、対象物までの距離が45m未満に設定  |



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 |   |
|      | 計測精度                | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | <p>【性能値】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・最小ひび割れ幅0.007mm(器械から対象物までの距離が1.5mの場合)</li> </ul> <p>【標準試験値】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・最小ひび割れ幅0.2mm(0.1mmのひび割れ幅をKUMONOSから目視で視認できる)</li> <li>・誤差0.093mm(0.2mmのひび割れのみを対象とした検出精度)</li> <li>・ひび割れ長さの最小単位:1mm</li> <li>・ひび割れ幅の最小単位:0.1mm</li> </ul> <p>【性能値】</p> <p>デモクラックパネルを使用</p> <p>【標準試験値】</p> <p>照明により100ルクス以上を確保(検証時:100ルクス)</p> <p>計測覆工面の状況:すす等でひび割れがおおわれていると、検出精度が低下する(検証時:汚れなし)</p> |
|      | 長さ計測精度<br>(長さの相対誤差) | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | <p>【性能値】</p> <p>未検証</p> <p>【標準試験値】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・周方向:0.14%</li> <li>・進行方向:0.03%</li> </ul>  |
|      | 位置精度                | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | <p>【性能値】</p> <p>未検証</p> <p>【標準試験値】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・周方向:1mm</li> <li>・進行方向:5mm</li> </ul>  |
|      | 色識別性能               | 性能確認シートの有無 ※ | 有 | <p>【性能値】</p> <p>フルカラー識別可能</p> <p>【標準試験値】</p> <p>フルカラー識別可能</p>   |

※「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>[KUMONOS]<br/>                     1. KUMONOS及びTLS設置個所に必要な座標点を設置し測量プログラムで計測する。(手動)<br/>                     2. 損傷及び形状を直視できる箇所にKUMONOSを設置する。(手動)<br/>                     3. 目視にて形状を確認し、KUMONOS内蔵プログラムを用いて変化点を計測する。(手動)<br/>                     4. 目視にてひび割れ・損傷を確認し、KUMONOS内蔵プログラムを用いて幅・形状を計測する。(手動)<br/>                     5. 計測したデータをパソコンに保存し、KUMONOS専用解析ソフトを用いてCAD図化する。(自動)</p> <p>[TLS]<br/>                     1. 損傷及び形状を直視できる箇所にTLSを設置する。(手動)I<br/>                     2. 基準球を座標点上に設置し、対象物の形状を計測する。(自動)<br/>                     3. 計測データを点群処理ソフトにて処理し、3次元座標化する。(手動)<br/>                     4. TLSデータの損傷位置座標を目視で確認し、座標値を抽出する。(手動)<br/>                     5. KUMONOS専用解析ソフトを用いて図化する。(自動)</p> <p>解析作業日数<br/>                     [トンネル条件]<br/>                     ・延長500m<br/>                     ・ひび割れ密度0.3m/m<sup>2</sup><br/>                     ・2車線断面<br/>                     [作業日数]<br/>                     ・画像合成(点群合成・サブリンク) 2日<br/>                     ・変状抽出 KUMONOS 5日<br/>                     ・変状抽出 TLS 2日<br/>                     ・CAD図化 2日</p> |   |  |
| <p>ソフトウェア情報</p>              | <p>ソフトウェア名</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・自社開発KUMONOS解析図化ソフト</li> <li>・市販CADソフト</li> <li>・自社開発数量抽出ソフト</li> <li>・市販点群処理ソフト</li> </ul>                    |  |
|                              | <p>検出可能な変状</p>   | <p>[KUMONOS]<br/>                     ・ひび割れ(幅および長さ)/はく落/漏水/遊離石灰/鉄筋露出<br/>                     [TLS]<br/>                     ・段差/圧さ/はく落/遊離石灰/鉄筋露出</p> |  |
|                              | <p>変状検出の原理・アルゴリズム</p>  | <p>ひび割れ</p>   | <p>-(目視による確認)</p>  |
|                              |  | <p>ひび割れ幅および長さの計測方法</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・幅: KUMONOSで直接計測した幅</li> <li>・長さ: CAD上起終点及び変化点を人力で指定する</li> <li>・長さ: 数量抽出ソフトによりひび割れ長さを集計</li> </ul> |
|                              |  | <p>ひび割れ以外</p>   | <p>-(目視による確認)</p>  |
|                              |  | <p>画像処理の精度<br/>(学習結果に対する性能評価)</p>   | <p>AI処理は行っていない</p>   |
|                              | <p>取り扱い可能な画像データ</p>  | <p>ファイル形式</p>   | <p>KUMONOS:なし<br/>                     TLS:FLS(点群生データ)</p>   |
|                              |  | <p>ファイル容量</p>   | <p>FLS ファイル1個当たり200MB程度(約4,200万点、分解能1/4、品質4Xの場合)</p>   |
| <p>カラー／白黒画像</p>              |  | <p>カラー</p>  |  |
| <p>画素分解能</p>                 |  | <p>カラー点群</p>  |  |
| <p>その他留意事項</p>               |  | <p>(TLSデータ確認に関する留意事項)<br/>                     ・PCスペック Windows10 メモリ16GB以上が必要(メモリ32GB以上を推奨)<br/>                     ・専用解析ソフトまたはビューワーが必要</p>          |  |
| <p>出力ファイル形式</p>              | <p>三次元点群座標(ASCII e57 LAS)<br/>                     図面情報(DXF DWG)</p>   |   |  |
| <p>調書作成支援の手順</p>             | <p>本システムより出力した成果を活用し、調書作成を目的として、調書に貼り付けるために損傷図等を作成することができる。<br/>                     &lt;手順&gt;<br/>                     ①適応条件に記載の条件により図面データを取得する。<br/>                     ②調書の様式をパソコンに取り込み、パソコン上でCADデータの確認、操作が可能となるように調整する。<br/>                     ③図面データをパソコンに取り込み、各編集ソフトを起動する。<br/>                     ④調書の様式に従い、径間番号、部材名、要素番号を手動入力する。<br/>                     ⑤損傷が映っている箇所を手動で抽出し、調書の所定の項目に張り付けるとともに、損傷の種類、その状況を旗揚げする。<br/>                     ⑥調書に使用できる形式(JPEG等)で損傷図を変更し、保存する。</p>   |   |  |
| <p>調書作成支援の適用条件</p>           | <p>適応条件に記載の条件により取得した図面データ及び点群データであること。</p>   |   |  |
| <p>調書作成支援に活用する機器・ソフトウェア名</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・CADデータ編集用/パソコン:OS Windows10 Pro</li> <li>・CADソフト(市販ソフト)</li> <li>・点群処理ソフト(市販ソフト)</li> </ul> <p>クラウドサービス提供の有無:無</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<br>検<br>時<br>現<br>場<br>条<br>件 | 安全面への配慮        | ・光波測量機が発射するレーザーを車・人等に向けない。<br>・機材設置場所をカラーコーン等で明示する。 |  |
|                                 | 無線等使用における混線等対策 | -   |  |
|                                 | 交通規制の要否        | ・歩行者等の立入禁止措置は不要。                                    |  |
|                                 | 交通規制の範囲        | -   |  |
|                                 | 現地への運搬方法       | ・人による運搬<br>・車両に搭載して運搬                               |  |
|                                 | トンネル延長の制約      | 特になし  |  |
|                                 | 車線数の制約         | 運搬車両で調査場所に乗り込む場合は規制が必要                              |  |
|                                 | 断面形状の制約        | 機材が設置できるサイズ   |  |
|                                 | その他            | 汚れ、すず等がある場合の作業の可否:可                                 | 汚れ、すず等の下にひび割れ等の損傷が確認できる場合は計測可<br>ノンプリズムレーザーが反射する場合は計測可 |

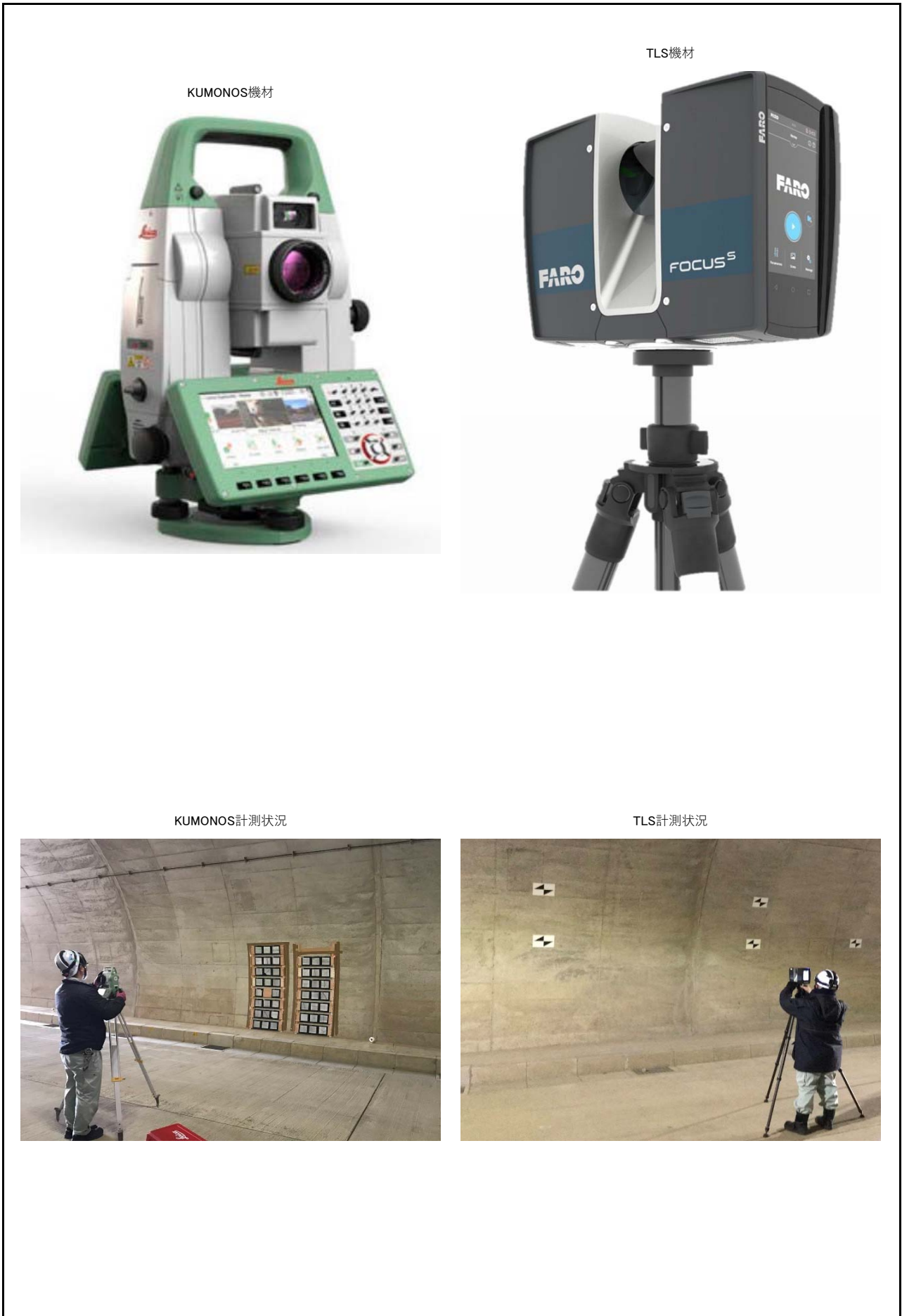
6. 留意事項(その2)

| 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                | TLS及びKUMONOSの操作技術<br>クモノス技術者検定(レベル1)の受講<br>クモノス技術者検定(レベル2)の受講   |   |
| 必要構成人員数                 | 最低必要人員は1名。<br>KUMONOSとTLSを同時に使用する場合は2名。   |   |
| 操作に必要な資格等の有無、<br>フライト時間 | クモノス技術者検定(レベル1)の受講<br>クモノス技術者検定(レベル2)の受講  |   |
| 操作場所                    | 作業ヤードは不要。車両にて機材を運搬する場合は運搬車両の<br>駐車スペースが必要。  |   |
| 計測作業日数                  | 計測作業日数<br>[トンネル条件]<br>・延長500m<br>・ひび割れ密度0.3m/m <sup>2</sup><br>・2車線断面、歩道なし、照明あり<br>・2車線断面<br>[作業日数]<br>・計測作業8日/本<br>・計測作業80日/10本<br>[日数算定上の条件]<br>・変状はひび割れのみ<br>・附属物の背面などの不可視部なし<br>・本技術を単独で利用した場合<br>※現場状況により作業日数が変化します。                   | 【参考】新技術活用による作業日数 1日(延長100mの場合)<br>[トンネル条件]<br>・延長100m<br>・ひび割れ密度0.3m/m <sup>2</sup><br>・2車線断面、歩道あり、照明あり<br>・2回目以降の点検<br>・補修箇所なし<br>[作業日数]<br>・計測作業2日/本<br>[日数算定上の条件]<br>・変状はひび割れのみ<br>・附属物の背面などの不可視部なし<br>・本技術を単独で利用した場合<br>※現場状況により作業日数が変化します。                             |
| 点検費用                    | [トンネル条件]<br>・延長500m<br>・ひび割れ密度0.3m/m <sup>2</sup><br>・2車線断面、歩道なし、照明あり<br>・2回目以降の点検<br>・補修箇所なし<br>[費用]<br>・新技術活用による費用 外業約120万円 内業130万円<br>[費用算定上の条件]<br>・変状はひび割れのみ<br>・附属物の背面などの不可視部なし<br>・本技術を単独で利用した場合<br>・諸経費・交通費は別途<br>※現場状況により費用が変化します。 | 【参考】新技術活用による作業日数 1日(延長100mの場合)<br>[トンネル条件]<br>・延長100m<br>・ひび割れ密度0.3m/m <sup>2</sup><br>・2車線断面、歩道あり、照明あり<br>・2回目以降の点検<br>・補修箇所なし<br>[費用]<br>・新技術活用による費用 外業約26万円 内業19万円<br>[費用算定上の条件]<br>・変状はひび割れのみ<br>・附属物の背面などの不可視部なし<br>・本技術を単独で利用した場合<br>・諸経費・交通費は別途<br>※現場状況により費用が変化します。 |
| 保険の有無、保障範囲、費用           | ・任意で加入する。   |   |
| 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              | 人力のため走行しない。   |   |
| 渋滞時の計測可否                | 車両が計測の妨げになる場合は計測不可  |   |
| 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計測不可   |   |
| 車両から覆工表面までの 距離<br>条件    | -   |   |
| トンネル内照明の消灯の必要<br>性      | 照明の強さにより消灯の必要あり   |   |
| 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           | 1. KUMONOS技術者が現地計測<br>2. 購入<br>3. レンタル(自社にて対応)  |   |
| 関係機関への手続きの必要性           | ・必要なし<br>・交通規制を行う場合、トンネル管理者及び警察との協議を要<br>する。  |   |

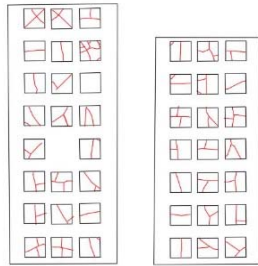
作業  
条件・  
運用  
条件

|           |                    |   |  |
|-----------|--------------------|---|--|
| 作業条件・運用条件 | 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KUMONOS解析・市販点群処理ソフト・市販図化ソフトを使用</li> <li>・必要作業: 担当者による解析作業</li> <li>・費用: 購入の場合、市販点群処理ソフト約150万円、市販図化ソフト約40万円が必要。</li> <li>※年間保守料、技術指導料等を除く。</li> </ul>   |  |
|           | 不具合時のサポート体制の有無及び条件 | <ul style="list-style-type: none"> <li>サポート体制有。</li> <li>計測サポート・成果作成サポート体制を社内にて構築している。但し、弊社から購入・レンタルした企業に限る。</li> </ul>   |  |
|           | センシングデバイスの点検       | <ul style="list-style-type: none"> <li>測量機器の校正点検を1回/年実施する</li> </ul>  |  |
|           | その他                | <ul style="list-style-type: none"> <li>特許状況</li> <li>・特許第3996946号</li> <li>気象条件</li> <li>・降雨・降雪により対象面が直接目視できない場合は計測不可</li> <li>・漏水・湧水等により対象面からレーザーが反射できない場合は計測不可。</li> <li>作業条件</li> <li>・振動のない地面に機材に設置が必要。</li> <li>・足場や高所作業車への機材設置は不可。</li> </ul> |  |

7. 図面



KUMONOS計測結果



TLS計測結果

