

2次元覆工画像展開図の作成によるトンネル点検業務の高度化

第一コンサルタント 正会員 ○公文海斗 正会員 西村修 正会員 尾崎 勝彦

高知工業高等専門学校 正会員 岡田将治 学生会員 井ノ上青虎

1. はじめに

現在のトンネル点検業務では、ひび割れの変状状況を5年に一度確認し、健全性の診断を行っている。点検車等により近接することで、ひび割れ等の変状をチョーキングし、その都度、スケッチにより変状情報を書き込み、ひび割れ等の変状を記録した変状展開図を作成している。そのため、現場で変状をスケッチする作業に時間を要している。また、路面からのスケッチのため、変状箇所が数十cm違う場合もある。また、ヒューマンエラーにより左右逆に記載するミスも発生する。また、ひび割れの進行性などの把握には前述のとおり、変状点検技術者のスケッチ能力による変状展開図の精度の低下や、経験等の個人差による人為的判断差の点においても課題がある。そのため国土交通省では、「インフラ分野のDX(デジタルトランスフォーメーション)の推進」と題して、従来のアナログな点検業務をデジタル化することで、業務内容の改善を促している。また、建設コンサルタント協会近畿支部公共土木施設の維持管理に関する研究会は、建設後50年が経過するトンネル数の増加が確認されており、DX化を検討する必要性があると考えている。「点検支援 性能カタログ」の画像計測技術では、レーザー測量や専用のソフトを用いて覆工画像展開図を作成することで、点検時間の短縮、変状展開図の精度向上に成功している²⁾。この技術は、従来の点検方法に比べて、点検員による判断誤差や、点検時間の短縮が見込めるが、レーザーや専用のソフトのため使用コストが高くなっている。また、測定したデータ、撮影画像から3D点群データ、3Dカラー画像を作成するため、対象とする構造物以外のものが写り込む場合があり、人力でノイズ処理(ゴミ処理)を施すといった手間がかかる。そこで本研究では、トンネル点検業務の高度化を目的として、3Dモデリング技術や、画像処理技術を適用し覆工画像展開図を作成することで、効率化、省人化、変状展開図の精度の向上を行った。さらに既往の技術や、実際のトンネル点検業務とで比較することで、本研究の有益性を検討した。

2. 研究方法

本研究では、変状展開図を作成するために、覆工画像展開図と呼ばれるものを作成している。作成方法として3Dモデリング法(以下、手法1)と画像の貼り合わせ法(以下、手法2)を考えた。手法1では、はじめに、中筋川樋管を対象とし樋管をデジタルカメラで撮影した。3Dモデルの作成、展開には、それぞれPix4D, 3DCGアニメーションを制作するBlenderの展開機能を使用した。Pix4Dのデータ解析は写真測量を行うため、オーバーラップは75%、サイドラップは55%を確保して計217枚取得した。

手法2では、八郎越トンネルを対象とし、写真撮影を行った。その後、撮影した画像に対して画像処理を行うことで、覆工画像展開図を作成した。写真撮影では画像処理を簡単にするために、図-1のように、三脚を用いてカメラレンズをSL高さに据え付けた。これを、1スパンあたり-15度~195度まで回転させて撮影し、45スパンあたり675枚の画像を取得した。また角度調整には、株式会社Keiganの回転モーターを使用しており、GUI操作で調節を行うマクロを組み、モーターを制御している。次に、撮影した画像はカメラレンズによる歪みが生じているため、プログラムで歪み補正を行った。具体的な補正方法は、カメラで平面上のチェスボード画像を様々な角度から撮影し、計35枚で歪み補正係数を決定し、トンネル画像に適用した³⁾。加えて、覆工面が曲面であるため、撮影画像と曲率誤差が生じている。そのため、画角と撮影距離の関係から、許容曲率誤差を算出し、プログラムでの連続トリミングを行った。最後に、画像同士の貼り合わせを行うことで覆工画像展開図を作成した。また広角レンズを用いて、画角を広げて撮影し更なる時間の短縮を考えた。

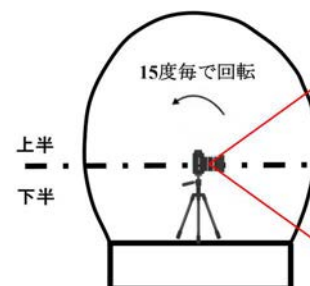


図-1 八郎越トンネル撮影方法

3. 研究結果

手法1では、図-2のようなPix4Dによる3Dモデルを作成した。

しかしBlenderの展開機能は、壁面の凹凸まで再現してしまうため、壁面を1つの面としてとらえることができず、私の現状の技術力では展開図を作成できないことが分かった。手法2で撮影した画像に対し、歪み補正を行った結果、たる型に歪みが生じている画像が補正されるのが確認できた。また、曲率誤差を算出した結果、画像の中心から、上下方向に0.5mの場所が誤差2cmと明らかになったため、図-3のように画像を4分割し中心のみ画像をトリミングした(以下、トリミング画像)、次に作成した1スパンあたりの覆工画像展開図を図-4に示す



図-2 Pix4Dで作成した3Dモデル

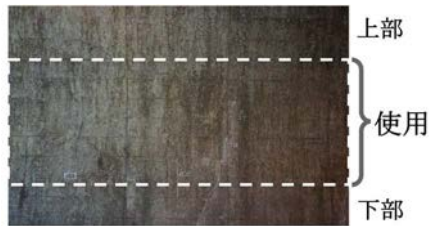


図-3 画像のトリミングエリア



図-4 1スパンの覆工画像展開図(13枚使用)

表-1 八郎越トンネル点検業務の比較

八郎越トンネル	作業時間 (現場)	作業人数 (現場)
従来の点検方法	5h	1人
ノーマルレンズ	6h	1人
広角レンズ	3h	1人



図-5 広角レンズの歪み補正前(左)と補正後(右)画像

作成したトリミング画像13枚を貼り合わせて、1スパンごとの展開画像を作成した。画像1枚目と13枚目については、平坦画像にした時の曲率誤差が0.6cmであったため、歪み補正のみを適用している。これは、撮影する覆工面が楕円形であるためと考えている。また、表-1のように従来の点検方法と、現場の作業時間、人数を比較した結果、手法2の広角レンズの場合が、それぞれの作業時間を短縮できると分かった。現場においては、進行距離が2倍になり、1スパンあたりの撮影範囲が拡大したからだと考える。また、覆工面の再現性が高く、人為的判断差をなくすことができたと言える。しかし、ノーマルレンズでは、三脚の据え付けや、GUI操作での角度変更、進行距離が3mといった点から、現場での作業時間は6時間かかった。従来の作業時間が5時間であるため改善する必要があると考えている。また広角レンズについても同様に、チェスボード画像を撮影する補正方法を適用したが、レンズによる歪み率が大きく、従来のカメラ歪み補正方法を改善する必要があると分かった。補正係数の精度を上げるために、チェスボード画像を曲面に変更し、平行になるようにカメラを移動させ、撮影した。また、補正係数を決定していく中で、図-5のように、曲率が生じている方向に画角を広く撮影すると補正の精度が向上することが分かった。しかし、チェスボード画像の縦方向に関して、元画像より直線から曲線になっているため精度の低下がみられている。

4. おわりに

本研究の結論としては、手法2で従来の点検方法と比較した結果、覆工面の再現精度、作業時間の点で高度化を行うことができた。しかし、通常のレンズを使用した場合、撮影枚数が多く現場での作業時間がかかっている。また、三脚の据え付けを手作業で行うため、覆工面に対しカメラが水平に撮影できていない点から、スパン同士の覆工展開画像の、貼り合わせ精度が落ちることが確認できた。広角レンズを使用した場合、1スパンごとの撮影枚数の減少、作業時間を1/2に短縮できるが、通常のレンズより歪み率が大きいため、作成した歪み補正プログラムでは補正できないことが明らかになった。また、曲面方向に画角を広く取る方法が、従来の補正方法より精度が向上することが明らかになったが、補正画像の縦方向の補正精度が低下している。これは、チェスボード画像の上部分を平行にして撮影する際に、下部分や横方向が曲面になっているためと考える。同様に、横方向に合わせると上部分が曲面になっており、それらを使って補正係数を決定しているため、精度が低下していると考えられる。

今後の展望としては、レーザー距離計等を活用し、覆工面とカメラレンズの水平性を保つ技術を開発し、現場での作業時間を短縮する必要がある。水平性を保つことができれば、スパン同士の貼り合わせを連続処理化できるため、画像処理工程を自動化することが可能になる。また、広角レンズの歪み補正に関して、横方向、縦方向用の画像を分けて補正係数を算出し、2回に分けて補正を行う。広角レンズの利点として、1スパンあたりの撮影枚数を0度、90度、180度の3枚に抑えることができると考える。加えて、カメラの角度確認機能を用いて、撮影できるため、三脚を設置する必要がなくなり、さらに現場の作業時間を短縮できると考える。これらの技術を合わせて、作業時間の短縮、覆工画像展開図の精度向上を行い、トンネル点検業務の高度化を実現する。

参考文献

- 1) 建設コンサルタンツ協会近畿支部公共土木施設の維持管理に関する研究委員会：公共土木施設の維持管理に関する報告書、道路トンネル維持管理の現状と課題、p.17,18, 2015
- 2) 点検支援 性能カタログ：国土交通省、2022.9
- 3) みやしんのプログラミングスキル通信：カメラキャリブレーション、2022