

壁面撮影装置を用いた画像統合技術と点検支援システムの研究開発（第3報）

生駒晃大*、渡辺博己*、松原早苗*、加藤光章†、鈴木真宏†、原田宣男†、宮口祐哉†、江口真澄†、斉藤富士夫†

Development of inspection support system and image stitching techniques using wall surface image capturing device (Ⅲ)

IKOMA Akihiro*, WATANABE Hiroki*, MATSUBARA Sanae*, KATO Mitsuaki†, SUZUMURA Masahiro†,
HARATA Nobuo†, MIYAGUCHI Yuya†, EGUCHI Masumi† and SAITO Fujio†

本研究では、橋梁などのコンクリート構造物の壁面に発生するひび割れ等の点検作業の効率化を目的として、画像処理技術を活用した点検支援システムの研究開発に取り組んでいる。今年度は、これまでに開発を行ってきたシステムの実用化に向け、様々な点検現場において実証実験を行うことで、システムの性能評価や実用化にあたっての課題の抽出とその解決に取り組んだので報告する。

1. はじめに

平成 26 年の道路法施行規則の改正により、全国の約 72 万橋の橋梁や、約 1 万本のトンネルなどの道路インフラすべてに対して、5 年に 1 回の頻度で、知識と技能を有する者が、近接目視により点検を実施することが義務化された。これにより、構造物の老朽化への対策や健全性を保つためのメンテナンスサイクルが確立されることとなった。しかし、点検作業は原則目視検査で行われるため、点検を行う現場環境によっては技術者にかかる作業負担は大きく、技術者ごとの損傷状態の判断基準のバラツキや、点検記録の正確性などが問題となっている。さらに、構造物の維持管理に必要となる人員や費用などのコストは年々増加傾向にあり、メンテナンスサイクルを持続的に回すためにも、より戦略的な維持管理の手法が必要とされている。

そこで、定期点検の義務化から 5 年が経過し、一巡目の点検が終了した平成 31 年には、これまでの点検結果や、点検に利用可能な技術開発の進展を踏まえ、点検手法の見直しが行われた。これにより、点検の際の具体的な手法等を定めた定期点検要領¹⁾が改定され、画像処理などの点検支援技術を活用した近接目視によらない手法でも点検を行うことが可能となった。

このような背景のもと、本研究では、平成 29 年度から県内土木建築業の企業と共同で、現場における点検作業の効率化を目的に、画像処理技術を活用した点検支援システムの開発に取り組んでいる²⁾。本システムは、橋長（橋の全長）が 15m 未満の小規模な橋梁を対象に、構造物の壁面をカメラで撮影することで、ひび割れなどの点検を効率的に行うとともに、安価に利用可能かつ現場の技術者が簡単に扱うことができるシステムを目標に開発を行っている。

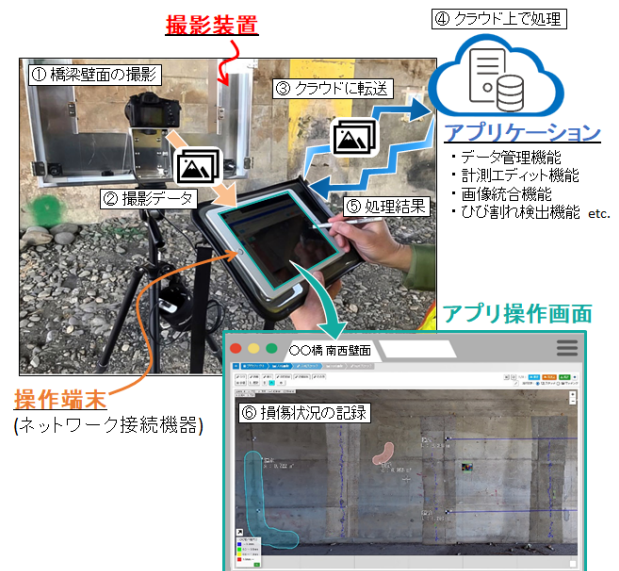


図1 点検支援システムの構成

今年度は、昨年度までに構築した点検支援システムを用いて、様々な点検現場で実証実験を行うことで、システムの性能評価や、実用化に向けた課題の抽出とその解決に取り組んだのでその内容を報告する。

2. 点検支援システム

本研究で開発を行っている点検支援システムの構成を図1に示す。本システムは、構造物壁面の状態を画像で捉えるための撮影装置と、撮影画像を用いた画像処理や点検記録の作成などを行うためのアプリケーション、カメラやアプリケーションの操作を行うための操作端末で構成されている。

2.1 撮影装置

撮影装置の外観を図2に示す。撮影に使用するカメラを装置の中央に取り付け、現場では三脚等に装置を固定して使用する。

* 情報技術部

† 株式会社市川工務店

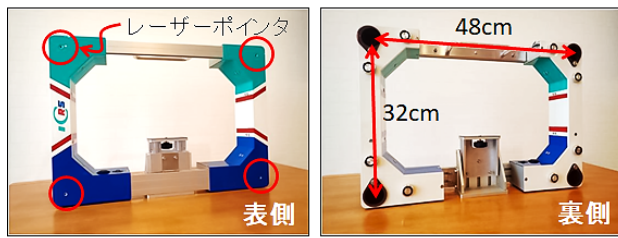


図2 撮影装置の外観

図2に示すとおり、装置の四隅には、4つのレーザーポインタが、レーザーの照射方向がすべて平行になるように固定されている。そのため、レーザーの照射方向に合わせてカメラを取り付けることで、レーザーによって照射された4つの輝点が写り込んだ壁面の画像を撮影することができる。本システムでは、このようにして撮影した壁面画像に対して、これまでに開発した位置姿勢推定処理を適用することで、装置と壁面との距離や、壁面に対する装置の傾きを算出することが可能である。本技術を活用することで、撮影画像のスケールの把握や、画像同士の統合処理などを行っている。

撮影装置の操作性を向上させるため、装置の小型化や軽量化が課題となっている。しかし、小型化のために4つのレーザーポインタの間隔を狭めた場合、位置姿勢推定精度が悪化することが実験により確認されている。そのため、今回新たに改良した装置では、間隔を狭めることなく、使用する各パーツの構成や部材を見直すことで、装置の剛性を保ちつつ約600gの軽量化を実現した。これにより装置重量は、カメラを含まない状態で5.2kgとなった。

2.2 アプリケーション

本システムで用いるアプリケーションは、図1に示すように、クラウド環境上で動作するサービス(SaaS: Software as a Service)として開発を行っている。そのため、インターネットに接続された端末からであれば場所を問わず、いつでもクラウド上のデータへのアクセスやアプリケーションの各種機能を利用することができる。

本アプリケーション上には、これまでに開発を行ってきた、画像統合処理やひび割れ抽出処理などの画像処理技術を活用した機能が組み込まれており、撮影装置により取得した画像をその場で素早く処理することで、現場における点検作業の効率化を図ることができる。また、デジタルデータの活用による正確かつ客観的な点検記録の作成を支援するためのツールとしても活用できる。

図3は撮影画像の統合処理を行うためのアプリケーションの操作画面の一例である。アプリケーションの操作画面は、専門的な知識がなくとも簡易な操作で画像処理等を実行できるよう、シンプルなレイアウトとなるように開発を行っており、現場での実証実験をもとに得られた課題に対して、機能や操作性などの改善を繰り返し行っている。



図3 アプリケーションの操作画面の例

3. 実証実験によるシステムの性能評価

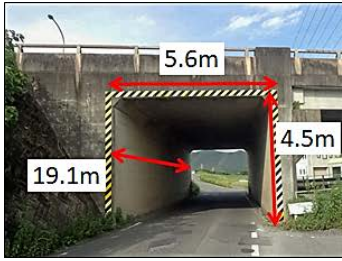
国土交通省は、技術者による目視検査の代替手段として、本システムのような点検支援技術を活用する場合のガイドライン³⁾を示しており、使用する点検支援技術の誤差特性や原理上の適用限界等を把握した上で、機器等が保証する性能の範囲内で適切に利用するように記載している。また、岐阜県においても、上記のガイドラインのように今後の点検支援技術の活用に備え、点検支援技術活用の手引き⁴⁾を公開している。

そこで本研究では、上記のガイドラインや手引に記載されている点検支援技術の性能評価方法などを参考に、約30橋の小規模橋梁を対象に実証実験を行い、本システムの性能や適用限度について検証を行った。

3.1 点検支援システムの適用条件

図4は本システムによる実証実験を行った橋梁の外観写真と、橋梁の側面を撮影した画像を統合した結果の一部である。図4の(a)と(b)の橋梁では地面から床版(橋梁上面の床板部分)までの高さが大きく異なり、(a)の橋梁は4.5mの高さがある一方、(b)の橋梁は1.6mほどしかないため、点検を行う際には屈んだ状態で作業を行わなければならない。このような橋梁ごとの高さの違いに対しては、三脚などで装置の設置高さを調整することで対応可能である。しかし、小規模橋梁の中には、高さが1mに満たないような低い橋梁も存在するが、その場合、現状の装置では橋梁内での取り扱いが困難となるため、本システムの適用対象外とした。

また、本システムでは、三脚に固定した撮影装置を上下左右に傾け、角度を付けながら壁面や損傷箇所の撮影を行うため、撮影された画像中の壁面のスケールが様々ではない。そのため、位置姿勢推定処理により算出したカメラの姿勢情報をもとに正面から撮影したような画像へと変換を行うが、傾きが大きな画像ほど、正面画像への変換の際に引き伸ばし等により画像の質が低下してしまう。そのため、本システムの適用範囲として、撮影時の壁面に対するカメラの角度はおおよそ40度程度を限度とし、それよりも小さな角度で撮影を行った。



(a) 床版までの高さが高い橋梁



(b) 床版までの高さが低いため屈みながらの点検が必要な橋梁

図4 実証実験を行った小規模橋梁の外観と側面の統合画像の例

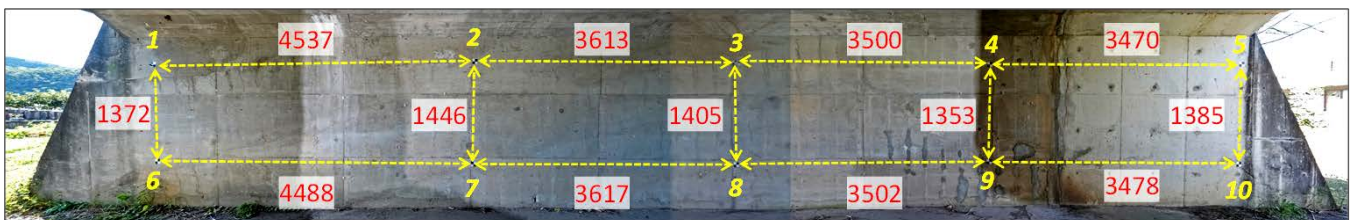


図5 距離計測精度の検証のためにマーカーを貼り付けた壁面の統合画像とマーカー間の距離の真値（単位はmm）

表1 距離計測精度の検証に使用したカメラと検証結果

	画像サイズ[pixel]	センササイズ[mm]	焦点距離[mm]	相対誤差(平均)[%]	相対誤差(標準偏差)[%]	相対誤差(最大)[%]
1	5472×3648	1型 (13.2×8.8)	8.8～220	1.3	1.0	4.7
2			8.8～132	4.2	1.5	7.4
3	5184×3888	1/2.3型 (6.2×4.6)	4.3～172	1.8	1.4	6.2
4			4.5～54	2.4	1.8	8.7

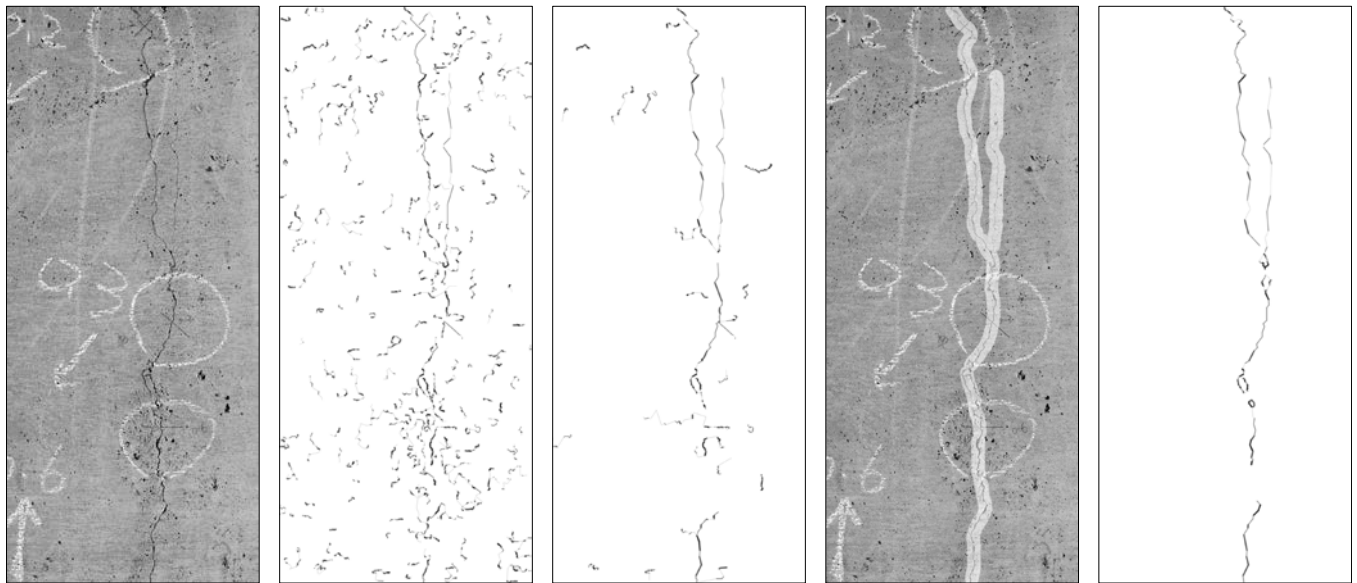
3. 2 統合画像上での距離計測精度の検証

本システムにより点検現場で撮影される画像には、図4で示したような壁面の大きな状態や損傷箇所を把握するための画像と、ひび割れなどの損傷箇所を詳細に記録するための画像の2種類あり、それぞれ撮影される画像や統合後の画像の分解能（1pixelあたりの実サイズ）が異なっている。本研究では、前者を大域画像、後者を局所画像と表現しており、大域画像の分解能は約2mm/pixel、局所画像は約0.2mm/pixelとなるよう、統合処理により画像を生成している。このように、統合処理で生成される画像の分解能が設定通りであれば、画像上のピクセル数をカウントすることで、実際に計測を行わなくても壁面上での距離やひび割れの幅と長さの計測が可能である。

そこで、本システムの統合処理の性能を検証するため、図5に示すように壁面上に複数のマーカーを貼り付けた状態で画像の撮影と統合を行い、生成された統合画像上のマーカー間の距離と、実際に現地で計測した真値との

相対誤差（ $100 \times \text{計測値の差} \div \text{真値}$ ）を評価した。また、本システムでは、使用するカメラを現場の状況や壁面との距離などに応じて切り替えて使用することも可能なため、今回の検証では、表1に示す4つの異なるスペックのカメラを用いて比較を行った。

表1に本検証で得られた相対誤差の平均、標準偏差、最大誤差をそれぞれ示す。使用するカメラによって多少バラツキのある結果となったが、誤差の平均が最も大きいものでも約4%となり、壁面の大きな状態を把握する上では問題のない誤差であることが確認できた。誤差が生じる要因としては、統合を行う際の画像間の位置合わせのズレや、位置姿勢推定の誤差により生成される統合画像の分解能が設定値からズレてしまうことが考えられる。また、統合処理で生成される画像中の壁面が正面向きではなく斜めの状態のままというケースもあった。そのため、上記のように統合結果が好ましくない場合は、手動で傾きを補正することで正面向きの画像が生成できるよう、アプリケーションに改良を加えた。



(a) 元画像 (b) ひび割れ抽出結果 (c) ノイズ除去結果 (d) ひび割れ抽出領域の指定 (e) 指定領域からの抽出結果

図6 ひび割れ抽出処理の改良による抽出結果の変化の様子

3.3 ひび割れ抽出処理の改良

本システムでは、壁面上のひび割れを撮影した画像同士を統合した局所画像から、ひび割れの自動抽出と幅の計測を行うことが可能である。ひび割れの発生状況は構造物の健全性を判断する上でも重要な指標となるため、画像から正確にひび割れ箇所を抽出し、幅や長さを計測する必要がある。そこで、本システムのひび割れ抽出処理の精度を向上させるため、実証実験により得られたデータを元に処理の改良を行った。

図6 (a) はひび割れを撮影した画像の統合結果の一部であり、この画像に対して、ひび割れ抽出処理を適用した結果が (b) である。本処理では抽出したひび割れの幅に応じて4つの区分に分けて結果を表示しており、幅が大きいほど濃く太い線で結果を描画している。

(c) は (b) の結果に対してひび割れ以外のノイズ成分を線分の長さを元に除去した結果である。ノイズ除去により概ねひび割れ箇所を抽出できているが、除去しきれなかったノイズに関してはアプリケーションのエディタ機能を用いて手動で除去する必要があるため、余分な手間がかかっていた。

そのため、(d) に示すように、ひび割れ抽出領域をエディタ機能で指定してひび割れ抽出を行うことで、

(e) のようにひび割れのみを正確に抽出できるよう改良を加えた。これにより、ひび割れ領域を指定する手間はあがるが、ノイズ除去作業を短縮でき、ひび割れ抽出処理も画像全体ではなく指定範囲のみに適用すれば良いため、処理速度も大幅に向上する結果となった。

4. まとめ

本研究では、点検技術者による現場での点検作業の効率化や、点検記録の正確さを向上させるため、画像処理

技術を活用したインフラ点検支援システムの開発を行った。本年度は、システムの実用化に向け、様々な橋梁を対象にした実証実験を行うことで、これまでに開発を行ってきた撮影装置やアプリケーション、画像処理機能の改良を行うとともに、本システムのような点検支援技術を従来の目視検査の代わりとして使用するために必要となる性能について、国や県が示すガイドラインを参考に検証を行った。

実証実験の結果より、本システムの適用範囲についてより明確な条件を示すことや、統合処理により生成された画像からの距離計測精度の評価、ひび割れ抽出処理の性能向上を実現することができた。

今後は、本システムを実際の点検業務で活用しながら、実用性をさらに高めていくとともに、より広い範囲で本システムを活用できるよう実績を積み重ねていく予定である。

【謝 辞】

本研究の遂行にあたり、アプリケーションの開発にご協力頂きました株式会社ライトスピードソリューションズの皆様に深く感謝致します。

本研究の一部は、岐阜県 IoT コンソーシアムワーキンググループ事業費補助金の補助を受けたものである。

【参考文献】

- 1) 国土交通省, 道路橋定期点検要領, 2019
- 2) 生駒ら, 岐阜県産業技術総合センター研究報告, No.1, pp.99-102, 2020
- 3) 国土交通省, 新技術利用のガイドライン (案), 2019
- 4) 岐阜県, 点検支援技術活用の手引き (案), 2020