

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

生駒 晃大 渡辺 博己 浅井 博次 棚橋 英樹

鈴村 真宏* 林 忍* 加藤 光章* 江口 真澄* 原田 宣男*

Development of Image Stitching Techniques and Inspection Support System using Wall Surface Image Capturing Device

Akihiro IKOMA Hiroki WATANABE Hirotsugu ASAI Hideki TANAHASHI
Masahiro SUZUMURA* Shinobu HAYASHI* Mitsuaki KATO* Masumi EGUCHI* Nobuo HARATA*

あらまし 老朽化が進行する社会インフラ構造物の維持管理手法が様々検討される中、我々は橋梁等のコンクリート構造物の点検業務を支援するため、カメラを用いた点検支援システムの開発に取り組んでいる。

本研究では、昨年度開発したカメラとレーザーポインタを組み合わせた撮影装置により得られた画像を処理することで、壁面広域の統合画像を生成する技術の開発を行った。また、生成された統合画像を用いた点検業務を支援するためのソフトウェアの開発も行った。本稿では、統合画像生成までの流れについて述べるとともに、製作したソフトウェアについて報告する。

キーワード 社会インフラ、点検支援システム、画像統合

1. はじめに

道路や橋梁、トンネル等の社会インフラ構造物において、構造物の老朽化に伴う維持管理への対応が社会的な問題となっている。特に構造物の点検業務においては、平成26年の道路法施行規則の改正により、近接目視での損傷箇所の定期的な点検が義務化された^[1]。これら損傷箇所の目視確認やマーキング、記録作業は全て点検作業員による現場での作業となるため、作業者への負担も大きく、高所等の点検の場合には、安全性の確保にも注意が必要となる。さらに、現場での記録作業は手書きでのスケッチが基本となるため、作業者ごとの判断基準のバラツキも問題となっている。

そこで我々は昨年度より、県内土木建築業の企業と共同で、橋梁をはじめとするコンクリート構造物の点検業務を支援するためのシステムの開発に向けた研究に取り組んでいる^[2]。本研究では、一般的なカメラとレーザーポインタを用いた比較的安価で高度な技量を必要としない簡易な構成での壁面撮影装置を開発する。そして、本装置により得られた画像を処理することで、現場や事務所での点検作業の効率化や、画像からの定量的な点検が可能なシステムの開発を目標としている。

今年度は、昨年度開発した撮影装置の改良を進めるとともに、撮影した画像から点検に使用可能な壁面広域の統合画像を生成する画像処理技術の開発を行ったので報告する。また、生成された統合画像を用いた点検業務を支援するためのソフトウェアの開発についても合わせて報告する。

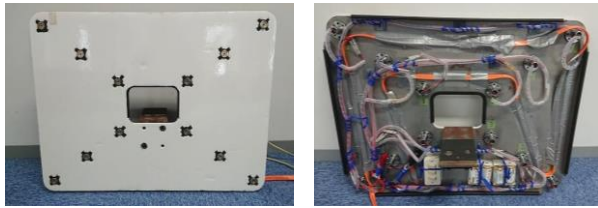
2. 壁面撮影装置

2. 1 装置概要

本研究における点検支援システムでは、比較的小規模な橋梁等のコンクリート構造物の壁面を点検対象としている。そのため、特殊な計測装置や点検車両を用いない装置として、カメラと複数のレーザーポインタ、それらを一体的に固定するための固定装置から構成される壁面撮影装置を開発した。

装置で使用するカメラは一般的なデジタルカメラ等で問題ないが、カメラの総画素数や最大ズーム倍率が大いほど、撮影の際の壁面との距離や一度に撮影可能な範囲をより大きく確保できる。またレーザーポインタは、撮影された画像中の壁面を捉えるために3個以上取り付ける必要があり、本研究では4個のレーザーポインタをカメラを取り囲むような四隅にそれぞれ配置した。

* 株式会社 市川工務店



(a) 昨年度製作した装置



(b) (a)の改良版



(c) (b)の改良版

図1 固定装置の外観(正面と背面)

2. 2 装置構成の改良

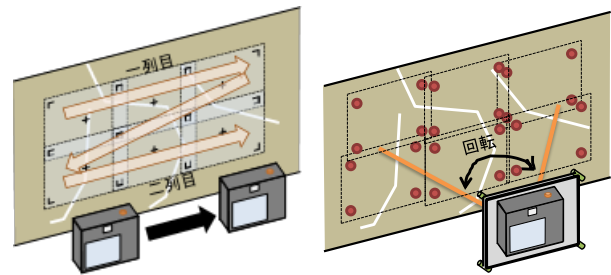
本撮影装置は、点検現場において人手での持ち運びや撮影が容易に行えることを特徴の一つとしている。しかし、昨年度製作した装置(図1(a))は、スチール製の固定具によりカメラやレーザーを固定した際の剛性を重視した作りであったため、人手での使用には適さない重さやサイズであった。そこで、装置構成の見直しや固定具の改良を行った。

図1(b)が改良後の撮影装置の外観である。剛性を保ちつつ、固定具の素材をアルミ製へと変更することで軽量化を実現した。さらに、昨年度は実験的に3枠合計で12個設置していたレーザーポインタは、精度上必要のない枠を取り除いた2枠の8個とすることで小型化した。また、使用するレーザーの色は昨年の緑色から赤色へと変更し、取付けには専用のアダプタを使用することで、固定後にレーザーの微細な傾きを手動で調整可能な構成とした。レーザーの色を変更することで、現場での使用の際に問題となっていたレーザーの動作温度範囲を、15～35℃から-10～50℃へと拡張した。

図1(c)の装置は、図1(b)の装置による現場での検証実験の結果をもとにさらに改良を加えたものである。固定具部分の形状は撮影の際に扱いやすいように改良され、レーザーポインタも最終的に使用する枠のみの4個とした。

2. 3 撮影方法

実際の現場でカメラを用いて壁面を撮影する際には、壁面全体を複数の領域に分割し、分割した領域ごとに撮影を行うのが一般的である。そのため、分割して撮影された画



(a) 従来の撮影

(b) 提案装置での撮影

図2 撮影方法の比較



図3 大域画像(左側)と局所画像(右側)

像を点検作業で利用できるようにするためには、統合処理等の画像処理を適用することで、壁面全体の統合画像に変換する必要がある。

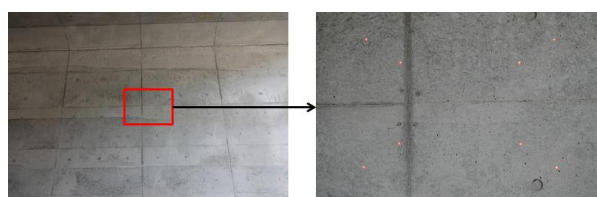
統合処理を容易に行うための撮影方法として、図2(a)に示すような、壁面に対して正対した状態を保ちつつ、上下左右に平行移動して撮影する手法が有効である。一方、本装置を用いた場合には、レーザーポインタがあることにより、撮影した画像からのカメラの位置姿勢推定と、その推定結果を用いて撮影画像を正面から撮影したような画像へと補正可能なため、図2(b)に示すように固定位置からの回転による撮影が可能となる。そのため、従来の撮影方法と比較し、撮影ごとに装置を移動させる必要がないため、より手間なく容易に撮影が可能である。

2. 4 大域画像と局所画像

壁面に発生するひび割れや剥離等の損傷をカメラを用いて点検する場合、その損傷状態を正確に捉えた画像を撮影する必要がある。例えば、0.2mm程度の幅のひび割れを画像から捉えたい場合、撮影する画像の分解能も0.2mm/pix程度は必要となる。そのため、それだけ細かく壁面を撮影していかなければならず、広域な壁面全体を高分解能で撮影し続けることは、本装置を用いた場合であっても負担の大きい作業となる。

そこで本研究では、図3に示すように、壁面の広範囲を一度に撮影する大域的な撮影と、損傷箇所付近のみピンポイントに高分解能で撮影する局所的な撮影の二通りでの撮影を行った。本撮影方法により、損傷箇所のみ高分解能で記録していくことで、損傷の有無に関わらず壁面全体を細かく撮影する場合よりも撮影回数を大幅に削減した。これ以降は前者の撮影で得られた画像を大域画像、後者の撮影で得られた画像を局所画像と呼ぶ。

大域画像と局所画像の利用用途として、大域画像は壁面全体の状態や特徴を把握する際に使用でき、従来の点検作業における手書きスケッチの代わりとして利用可能であ



(a) 壁面大域を撮影 (b) ズームして照射点を撮影

図4 大域画像の2枚セットでの撮影

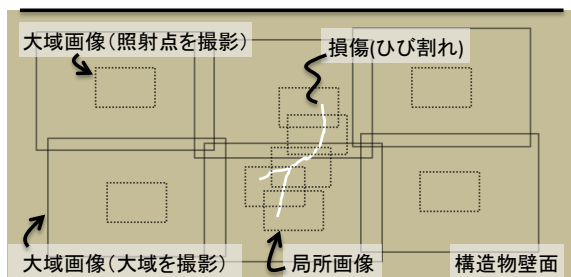


図5 撮影画像のイメージ

る。局所画像は個々の損傷状態を細かく把握する際に使用でき、正確な損傷形状の抽出や計測等を行いたい場合などに利用可能である。

2. 5 大域画像の統合における問題

大域画像の撮影では、壁面の広範囲を一度に捉えるため、レーザーポインタの照射位置を画像中より抽出することが困難となる。輝点座標が抽出できない場合、カメラの位置姿勢も推定できないため、撮影画像の正面補正やその後の統合処理も行うことができない。

そこで大域画像を撮影する際には、図4に示すように、大域画像(図4(a))を撮影後に、同位置よりカメラの位置姿勢を変えないまま照射点が画像中に大きく写るようズームした画像(図4(b))も合わせて撮影した。これにより、照射点をズームして撮影した画像の輝点座標を利用して位置姿勢の推定を行い、その推定値を壁面大域の画像に適用することで、大域画像における正面補正を可能とした。

3. 撮影画像の処理

図5に2章で述べた大域及び局所での最終的な撮影画像のイメージを示す。本章では、これらの撮影画像を用いて統合画像を生成するまでの画像処理について述べる。

図6に撮影画像の処理フローを示す。まずはじめの基準画像と較正用画像は、壁面の撮影を開始する前の撮影であり、後の統合処理の際に必要なパラメータを抽出する。次に実際の壁面を撮影する際には、まず大域画像から撮影を行う。大域画像の撮影とその統合処理により壁面全体を写した統合画像が生成できれば、その後は生成した画像と実際の壁面を照らし合わせながら作業を進めることが可能である。局所画像は損傷箇所ごとに撮影を行うため、損傷の数や形状により撮影回数は変化する。また、大域及び局所の統合処理では、図6右側のフローに示すように、撮影した画像ごとにカメラ位置姿勢推定を行い、推定された値を

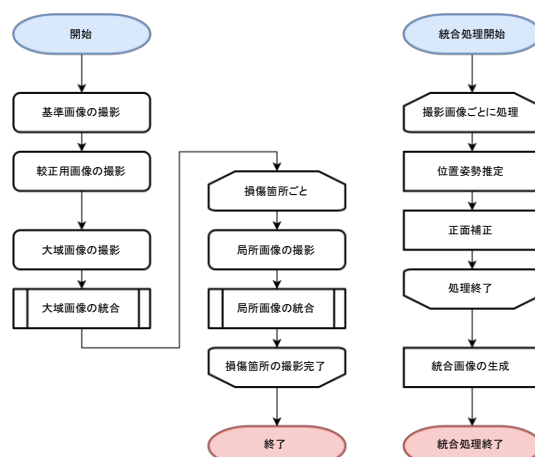


図6 撮影画像の処理フロー

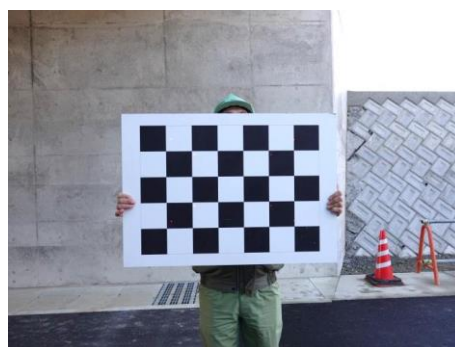


図7 キャリブレーションボードを使用した撮影

用いた正面補正により画像を変換後に統合処理を行う。

以降各処理の詳細について順に述べる。

3. 1 基準画像の撮影

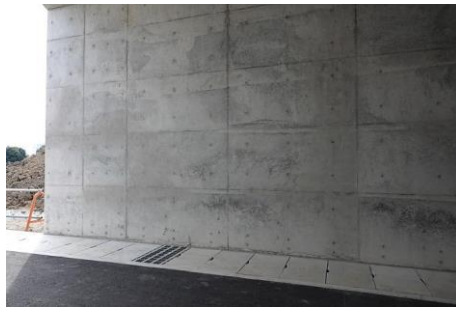
本装置により撮影された画像からカメラの位置姿勢を推定し、正面向きの画像へと補正するためには、装置が壁面に対して正対している状態での各レーザーポインタの基準となる照射位置を予め取得する必要がある。また、その際の壁面に対する距離情報も合わせて必要となる。

そこで、点検対象となる壁面の撮影開始前に、図7のようにキャリブレーションボードを装置に対して正対させた状態の基準画像を1枚撮影する。キャリブレーションボードを用いることで、画像中の各照射点の座標値と撮影距離の情報を同時に取得することが可能である。

3. 2 較正用画像の撮影

本装置に固定された各レーザーポインタの光線はカメラ光軸と平行となることが理想である。しかし、実際には微細な角度のズレが発生してしまうため、撮影装置と壁面との距離が大きくなるにつれ、ズレの影響により位置姿勢推定精度が悪化する。

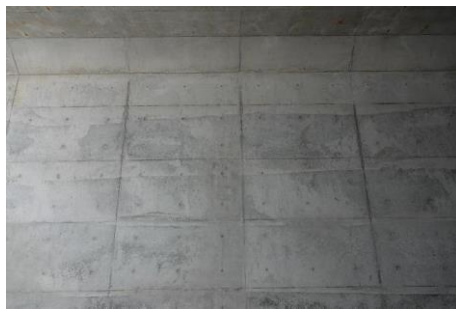
そこで、基準画像と同様の方法で撮影を行うことで、各レーザーポインタの微細な傾きを予め算出し、位置姿勢推定の際に補正値として使用する。較正用画像には撮影距離の異なる画像が2枚以上必要となるため、撮影装置やボードの位置を前後に変化させながら撮影を行う。



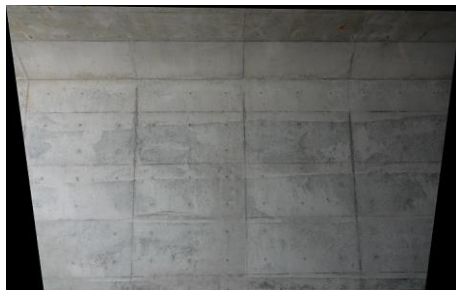
(a) 壁面に対して左に傾けて撮影



(b) (a)の画像の正面補正後



(c) 壁面に対して上に傾けて撮影



(d) (c)の画像の正面補正後

図8 撮影画像(大域画像)と正面補正後の画像

3. 3 カメラ位置姿勢推定と正面補正

壁面の撮影開始前に準備した基準画像と較正用画像から求めたパラメータと、実際に壁面を撮影した画像から求めたレーザーポイントの照射点の座標値を用いてカメラの位置姿勢推定を行う。推定処理の結果として、壁面に対して正対した状態からのカメラの鉛直方向と水平方向の回転角度、カメラの光軸方向での壁面との距離の3つのパラメータを得ることができる。

次に正面補正処理では、推定処理で算出したパラメータ

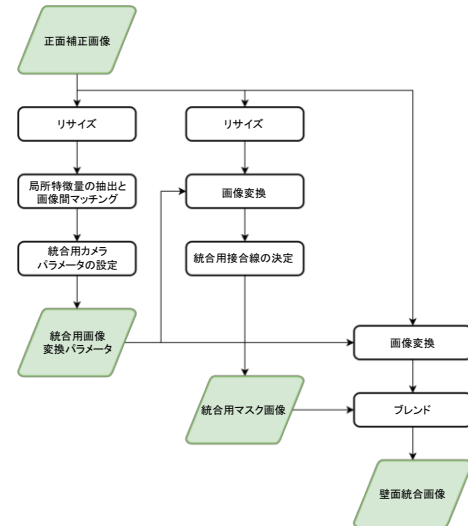


図9 壁面統合画像の生成処理フロー

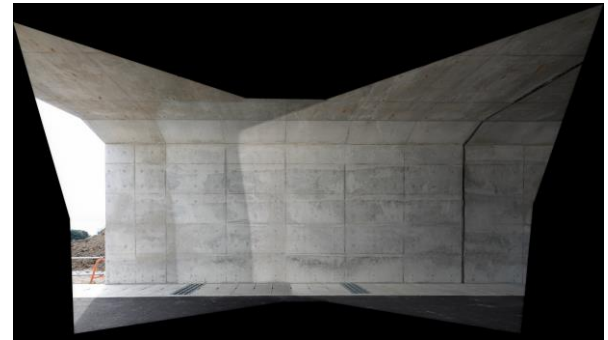


図10 大域統合画像

を使用することで、壁面に対して正面から撮影したような画像へと変換を行う。変換の際には、推定された角度の分だけ画像を逆回転させることで正面向きへと変形可能である(図8)。また、撮影距離も同時に推定できているため、画像を撮影した際のズーム率の情報と合わせることで、正面変換後の画像のスケールも既知となる。

3. 4 壁面画像の統合

最後に、正面補正された複数枚の画像を統合することで実際の点検作業で利用可能な壁面統合画像を生成する。統合画像の生成処理フローを図9に示す。

統合処理は3つのフェーズで構成されている。一つ目のフェーズでは、正面補正した画像から局所特徴量を抽出し、他の統合用画像とのマッチングにより、統合の際の各画像配置や変換用パラメータを決定する。本研究では局所特徴量としてBRISK^[3]を使用し、統合に使用する画像は、同一のカメラ位置から回転変化のみで撮影された画像であることを前提としパラメータを算出した。二つ目のフェーズでは、画像を統合する際の接合線を決定し接合用マスク画像を生成する。最後に、三つ目のフェーズでは、ブレンド処理により実際に合成処理を行うことで統合画像を生成する。統合処理は大域画像と局所画像で別々に処理し、大域同士の統合結果を大域統合画像、局所同士の統合結果を局所統合画像と呼ぶ。図10に生成した大域統合画像の例を示す。

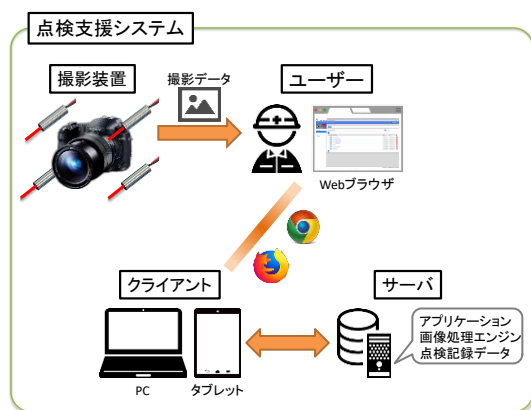


図11 点検支援システムの構成

4. 点検支援システム

4. 1 システム概要

本研究で開発した点検支援システムは、図11に示すように、2章で述べた壁面撮影装置と、3章で述べた壁面統合画像を生成するための画像処理エンジン、撮影画像や統合画像を用いて点検作業を行うためのアプリケーションソフトウェアから構成される。

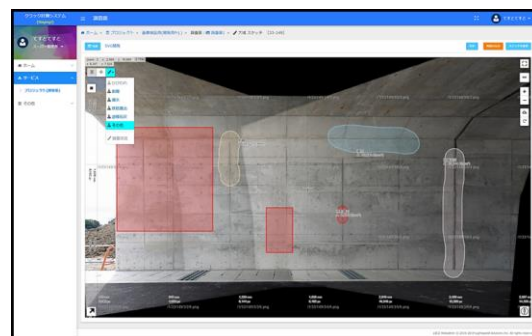
本ソフトウェアはWebブラウザ上で動作するウェブアプリケーションであり、ユーザーはPCやタブレット等のインターネットに接続されたクライアント端末からサーバへアクセスすることで、ソフトウェアの各種機能やサーバ内のデータを利用できる。そのため、点検作業者は撮影装置と合わせてタブレット等の端末を現場に持ち込むことで、現場で撮影した画像をその場でサーバにアップロードし、事務所に戻ることなく画像処理エンジンによる処理結果の確認や編集が可能となる。

4. 2 アプリケーションによる点検支援機能

サーバ上の本アプリケーションには、画像を用いた現場や事務所での点検作業を支援するための機能が含まれている。その一つとして、図12に示すように、画像処理により生成された統合画像へのスケッチ機能がある。

図12(a)は大域統合画像へのスケッチの例であり、従来の点検作業における損傷位置の全体マップへのスケッチを紙ではなく、統合した画像上に直接書き込むことができる。本機能により、従来の手書きスケッチによるあいまいな記録作業に対し、画像を参考にしながらより正確に損傷位置を書き込むことが可能である。また、現場での作業を終え、事務所に戻ってからの点検記録の電子データ化の作業は必要なくなるため、作業時間の短縮も可能である。

図12(b)は局所統合画像へのスケッチの例である。損傷箇所を詳細に確認できるため、ひび割れ位置を正確にトレースし、現場での計測結果を記録する際になどに有効である。また、画像のスケールは既知なため、画像中の損傷位置を指定すれば、損傷形状や大きさを画像から計測することも可能である。



(a) 大域統合画像へのエディット



(b) 局所統合画像へのエディット

図12 スケッチ機能による統合画像編集画面

5. まとめ

本研究では、社会インフラ構造物の維持管理に関する問題解決に向け、コンクリート構造物の壁面の点検作業を対象とした点検支援システムの開発を行った。本システムは、カメラとレーザーポインタを用いた壁面撮影装置と、本装置により撮影された画像から壁面統合画像を生成するための画像処理、生成された画像を用いて点検を行うためのウェブアプリケーションで構成されている。

壁面撮影装置は、昨年度製作した装置の改良により小型化と軽量化を実現した。壁面の統合画像の生成では、二通りの撮影方法により撮影された大域画像と局所画像に対し、使用用途の異なる統合画像をそれぞれ生成することで、壁面全体を詳細に撮影することなく点検作業に使用可能な統合画像の生成を実現した。ウェブアプリケーションでは、生成された統合画像を活用した点検作業を行うための点検支援機能を実装することで、現場や事務所での作業の効率化を実現した。

今後は、本点検支援システムの有効性を検証するため、従来の点検作業に本システムを導入した場合の効率的な作業方法や、その際に作業負担がどの程度軽減されたかを検証する必要がある。また、点検支援システム全体の汎用性や使い勝手を向上させるため、画像処理による統合精度の向上やアプリケーション機能の改良を行う。特に、画像処理による統合された画像からの損傷候補の自動抽出や、その損傷形状の自動計測を実現するための技術について検討する。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、壁面撮影装置の製作にご協力いただきましたTMDテクノジャパン株式会社の皆様に深く感謝致します。また、ウェブ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、岐阜市の産官学連携事業の補助を受けたものである。

文 献

- [1] 国土交通省, “道路橋定期点検要領”, 2014.
- [2] 生駒晃大, 渡辺博己, 浅井博次, 棚橋英樹, 鈴木真宏, 林忍, 加藤光章, 江口真澄, 原田宣男, “レーザーポインタを用いたカメラ位置姿勢推定技術の研究開発”, 岐阜県情報技術研究所研究報告, No.19, pp.51-56, 2018.
- [3] S. Leutenegger, M. Chli, R. Siegwart, “BRISK: Binary robust invariant scalable keypoints”, In Proc. of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2011.