

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2報）

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

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

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

本研究では、橋梁などの社会インフラ構造物の点検作業の省力化や点検記録の信頼性向上を目的とし、画像処理技術を活用した点検支援システムの開発を行っている。今年度は昨年度開発した撮影装置や画像統合技術を改良することで、システム全体の使用性や画像統合精度の向上を図った。また、統合画像から壁面のひび割れを抽出し、ひび割れ幅の区分を推定する処理を新たに実装した。本稿では、点検支援システムに実装した画像処理技術の詳細について述べるとともに、統合やひび割れ計測の精度に関する検証結果について報告する。

1. はじめに

全国の約72万橋の橋梁のうち、建設後50年を経過する橋梁の割合が2029年には50%を超えるなど、社会インフラ構造物の多くで老朽化が進行している¹⁾。そのため、これらの構造物の維持管理を継続的かつ効率的に行うための仕組みが必要不可欠であるが、メンテナンスにかかるコストの増加や人材の不足などが社会的な問題となっている。特に、構造物の点検業務では、近接目視による5年ごとの定期点検が義務付けられており、作業の多くは点検作業員による手作業で行われるため負担が大きい。また、作業員ごとの判断基準のバラツキや、作業環境によっては安全性の確保なども課題となっている。

このような状況から、国土交通省は、定期点検の質を確保しつつ実施内容を合理化するため、具体的な点検方法等を定めた定期点検要領を2019年3月に改定し²⁾、近接目視を補完・代替・充実するためのドローンなどを用いた点検支援技術の活用を先行的に進めている。また、人工知能(AI)を活用した点検や計測、モニタリングに関する技術開発も進められており、近接目視によらない点検手法のベストミックスにも取り組んでいる。

そこで本研究でも、県内土木建築業の企業と共同で、橋梁などのコンクリート構造物を対象に、点検業務の省力化や効率化のための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³⁾。昨年度は、構造物の壁面を撮影するための撮影装置の開発や、撮影した壁面画像から統合画像を生成するための画像処理技術の開発を行った。また、開発した画像処理技術をコアエンジンとし、Web上でデータの管理や統合画像の生成、編集などを行うことが可能なWebアプリケーションのプロトタイプも製作した。

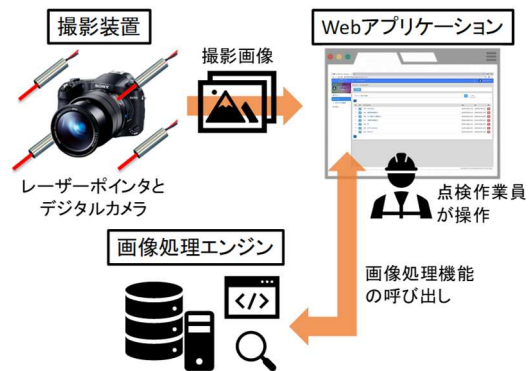


図1 点検支援システムの構成

今年度は、昨年度までに開発した撮影装置や画像処理技術、Webアプリケーションをさらに改良し、点検支援システム全体の汎用性や使用性を向上させるとともに、壁面に生じるひび割れの自動抽出や、ひび割れ幅の計測に関する処理を実装したので報告する。また、実際の点検現場で撮影された画像を用いて、壁面画像の統合精度やひび割れ計測精度について検証した結果についても合わせて報告する。

2. 点検支援システムの開発

本研究で開発を行っている点検支援システムは、図1に示すように、構造物壁面の画像を撮影するための撮影装置、撮影された画像を処理する画像処理エンジン、処理された画像を用いて点検作業を行うためのWebアプリケーションで構成されている。本章では点検支援システムの各構成の概要について説明する。

2.1 壁面撮影装置

図2に本研究で用いる撮影装置の外観を示す。デジタルカメラと4つのレーザーポインタを一体的に組み合わせた装置となっており、このレーザーポインタの輝点位置を画像から検出することで、壁面との距離や、壁面に対するカメラ姿勢を推定可能な構造となっている。

* 情報技術部

† 株式会社市川工務店

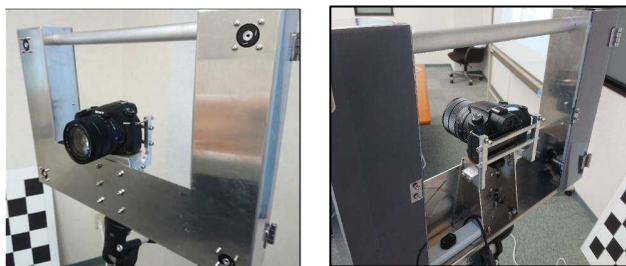


図2 撮影装置の外観

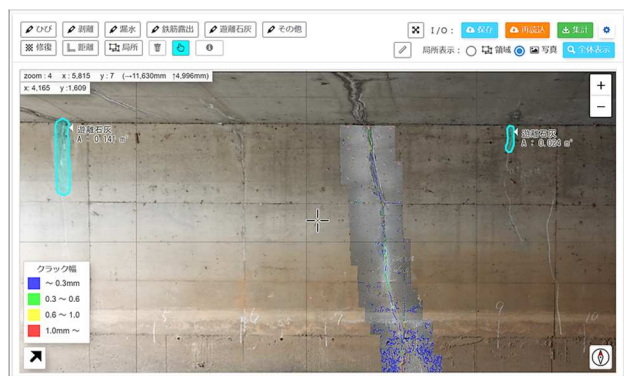


図3 Webアプリケーションのエディタ機能

カメラ位置姿勢の推定手法の原理上、撮影中にカメラとレーザーポインタの位置関係が変化すると推定が正しく行われず。そのため、カメラ背面に新たに固定具を追加することで、装置を移動させた際のカメラの振動やズレを抑える改良を加えた。

2.2 画像処理エンジン

開発した画像処理エンジンは、現場における点検作業の工程に合わせ、基準パラメータの抽出処理、大域画像の統合処理、局所画像の統合処理、ひび割れ抽出処理の4つの処理で構成されており、Webアプリケーション側からの呼び出しに応じて処理が実行される。各処理の詳細は3章で説明するが、各処理の実行に必要な画像はそれぞれ撮影方法が異なるため、現場の作業者は撮影装置を用いて各処理に適した画像を収集する必要がある。

2.3 Webアプリケーション

画像等のデジタルデータを活用した点検作業を行うためのツールとして、本研究ではWebブラウザ上で操作可能なWebアプリケーションの開発も行っている。点検作業員はPCやタブレット等のインターネットに接続された端末を用いることで、アプリケーションの各種機能や、サーバに保存されたデータを現場や事務所などから利用することができる。

また、アプリケーションに搭載されているエディタ機能を用いることで、統合画像に対して、図3に示すような画面でスケッチ作業を行うことができる。この機能により、従来の紙図面への手書きスケッチと比較してより正確な損傷の記録が可能であり、昨年度からの改良により追加された計測ツールや、損傷の記録と集計機能などにより、操作性や使用性が大きく向上した。

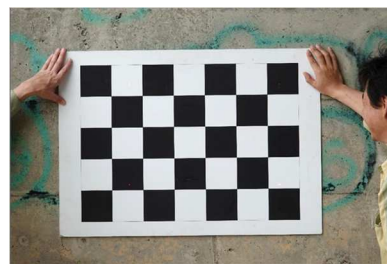


図4 基準画像の撮影の様子



図5 大域画像と局所画像



図6 大域統合画像

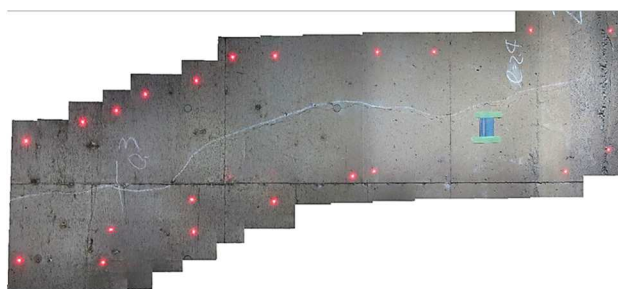


図7 局所統合画像（縦方向の画像を横向きで表示）

3. 画像処理エンジンの処理

3.1 基準パラメータの抽出処理

基準パラメータの抽出処理では、図4に示すようなキャリブレーションボードを写した基準画像を用いて、撮影画像からカメラの位置姿勢を推定するために必要なパラメータを抽出する。基準画像は点検開始時に1枚だけ撮影するが、撮影の際にはできるだけキャリブレーションボードに対して正対し、カメラ本体の光学中心のズレを考慮して、ズームする際の倍率は実際の壁面を撮影する倍率と近い値で撮影することが望ましい。

3.2 大域画像と局所画像の統合処理

統合処理では、壁面の広範囲を一度に撮影した大域画像（図5左）と、損傷箇所付近のみを撮影した局所画像（図5右）を使用し、大域と局所で異なる統合画像を生成する。大域同士の統合結果（図6）は壁面全体の状態や特徴の把握に使用し、局所同士の統合結果（図7）はひび割れなどの損傷形状の抽出や計測処理に使用する。

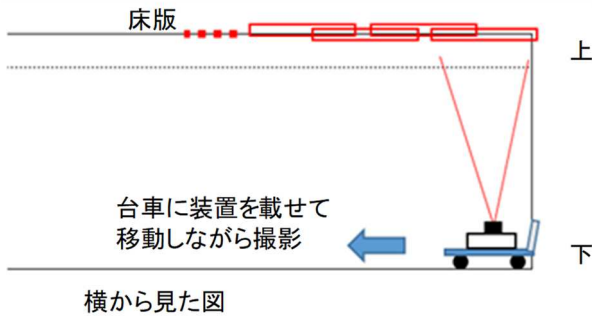


図8 床版部分の撮影イメージ



図9 床版部分の大域統合画像

統合処理では、壁面や損傷箇所を正面から捉えたような歪みのない画像を生成することが目標であり、各画像から抽出した局所特徴量をもとに画像間の対応付けや画像変換を行う。しかし、壁面の汚れなどの影響で特徴抽出箇所に偏りが生じると正しく位置合わせできない問題があった。そこで、特徴抽出の際に画像を分割して各領域で一定数の特徴を抽出するよう改良することで統合画像に生じる歪みを軽減した。

3.3 床版部分の統合処理

大域や局所の統合で使用する画像を撮影する場合、対象となる壁面や損傷箇所のおおよそ正面に撮影装置を設置し、装置の雲台でカメラ角度を変えながら撮影を行う。しかし、橋梁等の床版を撮影する場合、撮影装置を真上に向けて撮影する必要があるため、雲台での首振り撮影ではなく、図8のように装置を上向きに固定して台車等に乗せて移動しながら撮影する方法を採用した。図9に実際の床版を撮影した画像の統合結果を示す。

従来の装置位置を固定して回転のみで撮影された画像同士の統合と、新たな装置向きを固定して平行移動のみで撮影された画像同士の統合とでは、統合の際のカメラパラメータの算出手法が異なる。そのため、それぞれに適した統合処理を実行できるよう、Webアプリケーション上でどちらの方法で撮影したのかを選択できる仕組みを追加し、処理を切り替えられるよう改良した。

3.4 ひび割れの抽出と計測処理

ひび割れ抽出処理では、統合処理で生成した局所統合画像から図10に示す流れでひび割れ候補の抽出を行う。

最初のひび割れ強調処理では、ヘッセ行列を用いた多重スケール線強調処理と確率的弛緩法⁴⁾を用いて、ひび割れである確率の高い部分を自動的に抽出する。次に、Hilditchの細線化処理⁵⁾によりひび割れを線分へと変換

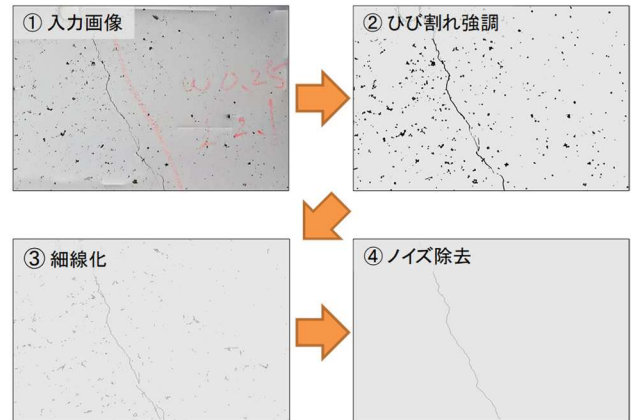


図10 ひび割れ抽出処理の流れ

する。最後に、細線化した結果からひび割れ以外のノイズを除去するため、線分同士の連結箇所ですらに線分を分割する。分割された線分の長さや方向の情報から、線分の除去や連結によりひび割れ候補の絞り込みを繰り返すことにより、最終的なひび割れ位置を確定する。

ひび割れ抽出に使用する局所統合画像は、レーザーポインタを用いることで位置や姿勢が推定された画像から生成されている。そのため、統合画像のスケールは既知であり、ひび割れ抽出処理により検出されたひび割れの幅や長さを画像から計測することができる。

ひび割れ幅の計測では、ひび割れ抽出の際の多重スケール線強調処理で行った、標準偏差の異なる複数のガウシアン関数の2階微分との畳み込みの結果を利用して幅を推定する。ガウシアン関数の標準偏差を変えることで、畳み込んだ際に強調される線幅のスケールも変化するため、強調度合が最大となったスケールを記録しておくことで、最終的に確定したひび割れ位置と合わせて幅を決定する。ただし、標準偏差の値や畳み込んだ回数によって判別できる幅のスケールが異なるため、本手法では具体的なひび割れ幅の数値を算出するのではなく、0.3mmから0.6mmの間などと幅の大きさを区分で推定する。

ひび割れ長さの計測については、抽出したひび割れを直線近似した線分ごとに長さを足し合わせることで容易に算出可能である。

また、本手法により、画像中のひび割れの自動抽出が可能となったが、ひび割れのみを正確にすべて抽出することは困難である。そのため、画像処理で抽出した結果をもとに、Webアプリケーションのエディタ機能を用いて、残ったノイズの除去や抽出できなかったひび割れの追加を手動で行い、より正確な損傷記録を作成する。

4. 実験と結果

4.1 壁面画像の統合精度の検証

図11、12は実際の点検現場で撮影した大域と局所それぞれの統合処理の結果であり、壁面から約6.5m離れた位置に装置を設置し、装置の回転のみで撮影した画像

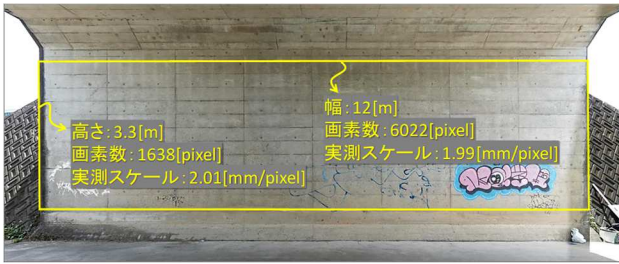


図 1.1 大域統合画像の精度検証結果

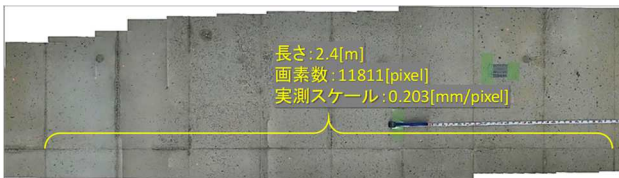


図 1.2 局所統合画像の精度検証結果
(縦方向の画像を横向きで表示)

を大域は 6 枚、局所は 13 枚使用している。なお、撮影に使用したカメラの解像度は 5472×3648 である。

本研究では、大域統合画像は 2.0mm/pixel、局所統合画像は 0.2mm/pixel のスケールでそれぞれ統合を行うよう設定しており、図 11、12 の寸法が既知な部分と生成画像の画素数を用いて実測スケールを算出したところ、設定スケールとほぼ等しい値となった。よって、開発した画像処理エンジンにより正確に統合処理が行えていることが確認できた。

4. 2 ひび割れ計測精度の検証

図 13 は、精度検証のために 0.2mm/pixel のスケールで生成された局所統合画像から一部切出したひび割れを含む画像と、ひび割れ抽出と幅の計測を自動で行った結果である。本研究では、ひび割れ抽出処理により検出されたひび割れの幅を 0.3mm、0.6mm、1.0mm の 3 つの値を閾値として 4 つの区分へと分類を行っており、図 13 の結果画像では、幅の小さな区分から順に濃淡値を濃くしながらひび割れ箇所には線分を描画している。

図 13 の各画像中には目視点検により計測されたひび割れ幅を壁面にチョークで記録した箇所が写り込んでおり、この実測値と画像処理により推定された幅の区分とを比較すると、実測値を含む区分に分類されていることから、幅の計測が正しく行えていることが確認できた。

5. まとめ

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に向け、撮影装置や画像処理エンジン、Web アプリケーションの改良を行った。画像からの損傷計測技術として、ひび割れ抽出処理を新たに実装することで、統合画像からのひび割れ候補の抽出やひび割れ幅の推定を自動で行うことが可能となった。

また、画像の統合やひび割れ計測に関する精度検証を行い、実用上問題のない精度で処理が行えていることを確認した。ただし、撮影条件や壁面の状態によっては、

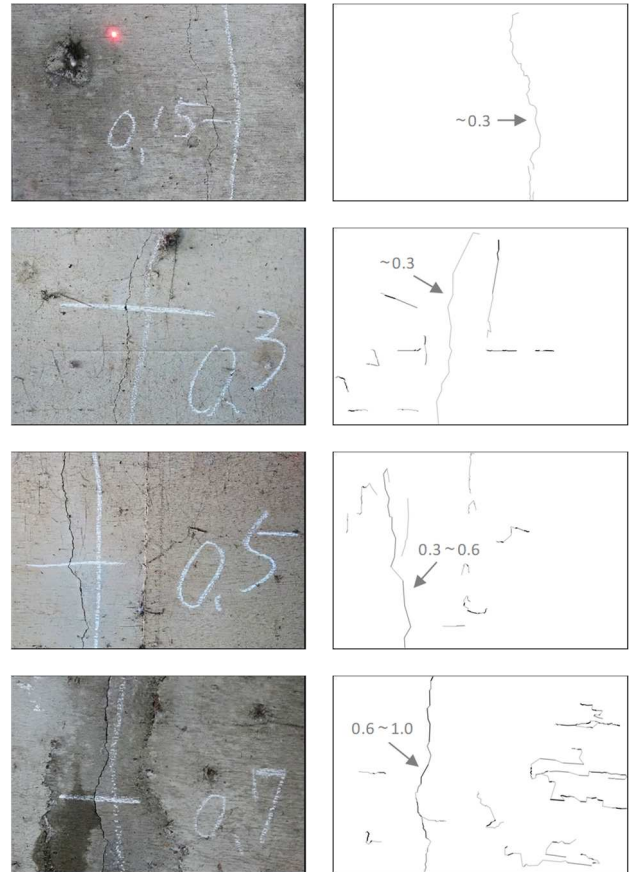


図 1.3 ひび割れ抽出と幅区分の分類結果
(左：入力画像、右：結果画像)

統合画像に歪みが生じることや、設定したスケール通りに統合できず、ひび割れ抽出や計測精度が悪化することがある。そのため、今後も様々な点検現場での検証を重ねながらシステムの改良を行い、点検支援システムの実用化に向けた研究開発を実施する。

【謝 辞】

本研究の遂行にあたり、Web 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、公益財団法人岐阜県産業経済振興センターの令和元年度産学官共同研究助成事業の補助を受けたものである。

【参考文献】

- 1) 国土交通省, 道路メンテナンス年報, 2019
- 2) 国土交通省, 道路橋定期点検要領, 2019
- 3) 生駒ら, 岐阜県情報技術研究所研究報告第 20 号, pp.52-57, 2019
- 4) 藤田ら, 土木学会論文集 F, vol.66, no.3, pp.459-470, 2010
- 5) C. J. Hilditch, Machine Intelligence, vol.6, pp.403-420, 1969