

◇技術紹介 Technical Report

画像処理によるコンクリート構造物の ひび割れ計測

Measurement of Cracks in Concrete Structure Using Image Processing

竹田 宣典
石関 嘉一
山田 守

Nobufumi Takeda
Yoshikazu Ishizeki
Mamoru Yamada

(本社技術本部)

1. はじめに

近年、社会インフラの供用年数の増加に伴い、老朽化構造物が増加する傾向にあり、これらの構造物を簡易に点検する維持管理技術が求められている。これに対して、国も「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)」¹⁾などの施策として、社会インフラの維持管理に関する技術開発を重要課題として掲げ、研究開発を推進している。具体的には、橋梁やトンネルなどの社会インフラを構成するコンクリート構造物の老朽化対策として、定期的な点検を行い、健全性を診断する技術が必要となる。コンクリート構造物にひび割れが発生している場合、何らかの変状が構造物に起こっている可能性があり、ひび割れは構造物の健全性を評価する指標となる。

このような背景から、コンクリート構造物に近接することなく、遠方からひび割れを計測できる技術の開発を行った。本技術は、コンクリート構造物のひび割れをデジタルカメラで撮影し、コンピュータによる画像解析を行い、ひび割れを計測する方法である。

本報告では、デジタルカメラを用いた画像解析によるひび割れ計測方法の概要と供用中の道路の箱式擁壁に本技術を適用した結果について紹介する。

2. ひび割れ計測方法の概要

デジタルカメラを用いたコンクリート構造物のひび割れ計測は、下記の手順で行う。

- 1) クラックスケールの構造物への貼付け
- 2) コンクリート表面の撮影
- 3) パソコンによる画像解析
- 4) ひび割れデータ(位置、長さ、幅、パターン)の抽出、記録、統計的処理

コンクリート構造物のひび割れの撮影には、市販のデジタル一眼カメラと望遠レンズを用いる。撮影の際には、コンクリート構造物の表面にクラックスケールを貼り付け、画像中に写りこませるように撮影を行う。大きな面積の構造物を撮影する時は、複数の区画に分けて撮影を行い、それぞれの画像について画像解析を行う。

画像解析では、当社開発の画像処理プログラムを用い、コンクリート表面の汚れやあばたなどの不要な情報を自動的に除去し、ひび割れのみを検出する。解析結果として、ひび割れの位置、任意位置のひび割れ幅、幅のクラ

ス分けなどを行うことが出来る^{2), 3)}。

このような手順によって処理された画像の例を Fig. 1 に示す。デジタルカメラで撮影した元画像(a)から、不要情報の除去や二値化処理を行い、ひび割れを抽出した画像(b)、細線化処理などのひび割れ幅の解析を行った後の画像(c)、ひび割れ幅のクラス分けなどの処理を行った画像(d)の順に処理を行う。

撮影画像の画像処理は、以下の手順で行う。

- 1) ひび割れ検出：パーコーレーション法を用いた二値化処理によるひび割れ検出⁴⁾
- 2) ひび割れ位置の確定：細線化処理によるひび割れ位置の確定
- 3) ひび割れ幅の解析：輝度勾配等の情報を利用したサブピクセルを用いたひび割れ幅の解析とひび割れ幅のクラス分け(クラックスケール画像を用いたキャリブレーション)

上記のような処理を行い、ひび割れに関する様々なデータを集積することが出来る。また、画像解析後に、それぞれの処理画像を合成し、構造物の全体図におけるひび割れマップを作成することが可能である。

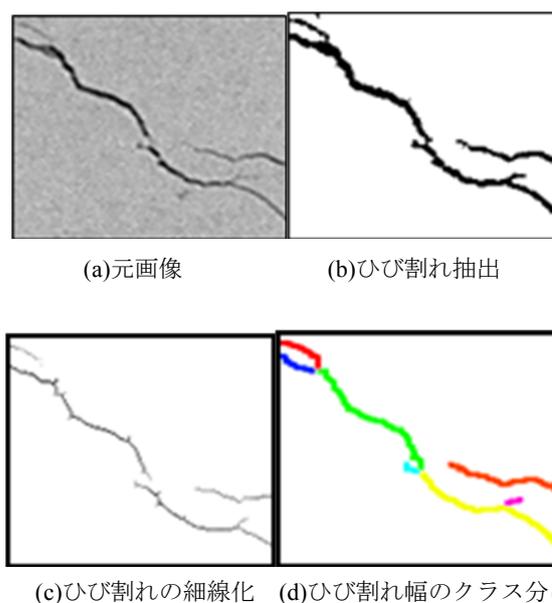


Fig. 1 ひび割れの画像処理の例
Process of Image Processing for Cracks

3. 適用事例

3.1 対象構造物

平成 25 年度の国土交通省の「コンクリートのひび割れについて遠方から検出が可能な技術」に関する技術公募に採択され、羽田空港に隣接する道路の箱式擁壁に発生しているひび割れを対象として計測を行った。

調査対象は Photo 2 に示す擁壁である。測定範囲は幅 15.3m、高さ 3.4m～5.0m（高欄部を含む）、測定面積は約 64 m²である。擁壁のコンクリート表面には、ひび割れの他に汚れによる色の違い、型枠の跡などが多数あった。

擁壁のひび割れの撮影状況を Photo 3 に示す。カメラ設置位置から擁壁までの距離は約 19m であり、擁壁と道路を挟んだ事務所駐車場から撮影を行った。



Photo 2 対象構造物
Target Structure

3.2 使用機材

使用したデジタルカメラは画素数 2400 万程度の一眼レフデジタルカメラを使用し、望遠レンズ（AF-S 80-400mm）を使用した。カメラの撮像素子は、35.9×24.0mm CMOS であり、ISO 感度は 400 とし、画像の有効画素数は 6016×4016 pixel とした。なお、撮影には、三脚およびリモートシャッターを用いた。

3.3 撮影方法

撮影仕様を Table 1 に示す。撮影画像の解像度は 0.35mm/pixel とした。画像は BMP 形式とし、256 階調のグレースケール画像を用いた。コンクリート表面上にクラックスケールを配置し、画像中に写りこませるようにして撮影を行った。構造物へのクラックスケールの貼付け状況を Photo 4 に示す。

撮影は 0.35mm/pixel 以上の解像度を得るために、Fig. 2 に示すように、撮影対象を 46 分割した。このため、撮影画角が約 2.0m 程度となるようにズーム倍率を調整（ズーム倍率 350-400mm）し、全ての画角で事前に貼り付けたクラックスケールが 1 枚以上写り込むように撮影アングルを微調整して撮影を行った。

参照用の擁壁全景画像は、擁壁全景を 3 分割で撮影し 3 枚の広角画像を個々に幾何補正して合成し作成した。これを参照画像として、46 分割撮影した望遠画像を個々に幾何補正し、合成して解像度 1mm/pixel の詳細全景画像を作成した。厳密な幾何補正を行う場合は、レンズの歪曲収差補正と撮影アングルを一定倍率で構造物に正対させるあおり補正を行うべきであるが、全景画像の使用目的を考慮しあおり補正のみを行った。また、全景画像を合成する前に、色調を統一するための補正を行った。

全景画像作成には、画像処理ソフトとして「GS-1」、 「Photoshop」を使用した。

3.4 測定結果

撮影画像と画像処理後のひび割れ検出図の例を Fig. 3, Fig. 4 に示す。撮影対象範囲全体のひび割れマップを



Photo 3 撮影状況
Situation of Shooting

Table 1 撮影仕様
Specification of Shooting

解像度	0.35mm/pixel 以上
画像フォーマット	BMP で記録後、256 階調のグレースケール画像へ変換
撮影の注意点	クラックスケールを画像中に写りこませるようにする。

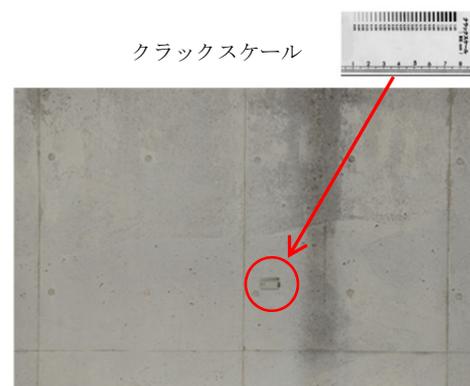


Photo 4 クラックスケールの貼付け状況
Situation of Attaching Crack-Scale

Fig. 5 に示す。

これらの結果より、構造物より約 19m 離れた位置から撮影して得られた 0.35mm/pixel 程度の解像度の画像から、汚れや地面の草などの不要情報を除去でき、幅 0.1mm 以上のひび割れを検出することができた。

一般に、目視観察によるひび割れの測定では、ひび割れを目視し、代表的な幅の位置においてクラックスケールを用いてひび割れ幅を計測し、その値をある区画におけるひび割れ幅とすることが多い。本システムでは、任意の点におけるひび割れ幅を把握することができ、必要に応じて、任意の区間のひび割れの平均値、最大値などを統計的に求めることが可能である。

国土交通省による本技術のひび割れ検出の評価では、「ひび割れの検出率は 86%であり、ひび割れは概ね発見され、ひび割れ長さ、ひび割れ幅ともに精度良く検出された。」とされ、良好な測定結果が得られた。

撮影に要した時間は約 50 分間であり、画像解析に要した時間は、1 画面当たり 10 分程度であった。計測を行った本構造物について、目視観察によるひび割れの計測は実施していないが、従来の目視観察により、チョークによってひび割れをマーキングする方法では、これまでの他の構造物での実績から、1~2 日程度必要であることから、極めて大幅に測定時間の短縮を図ることができた。

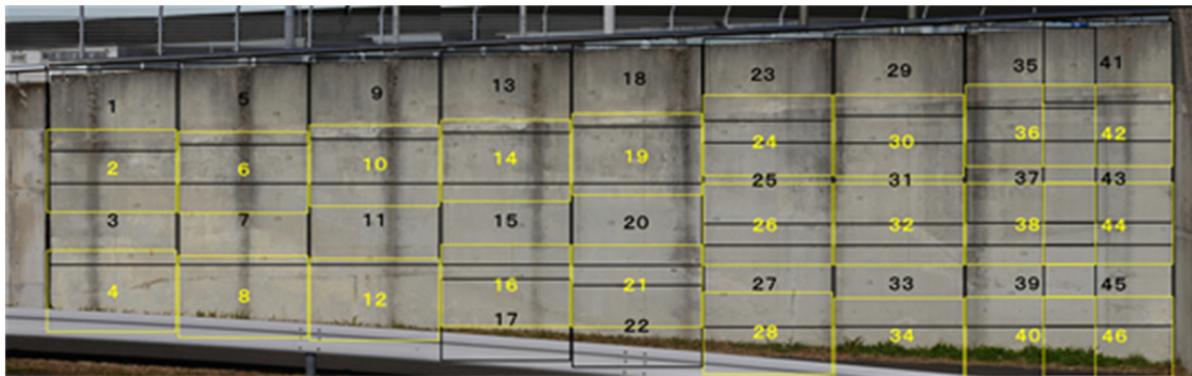


Fig. 2 対象構造物と撮影区画
Sections of Shooting for Target Structure

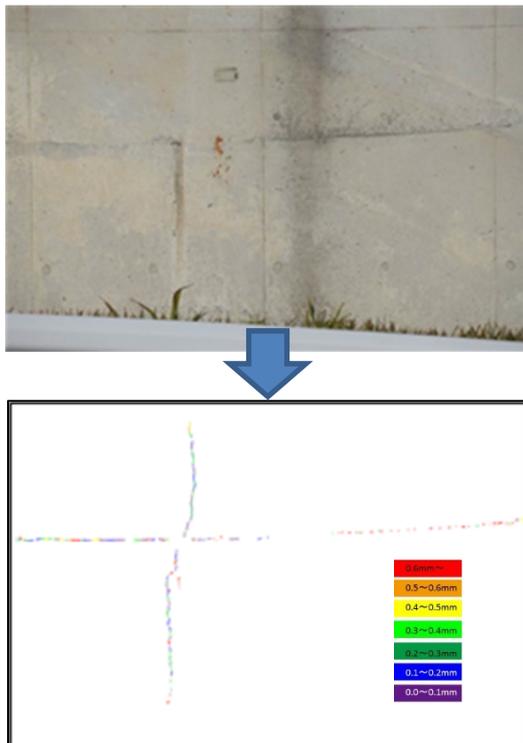


Fig. 3 撮影画像とひび割れ抽出図の例 (1)
Shooting Image and Image Processing
for Cracks (Sample No.1)

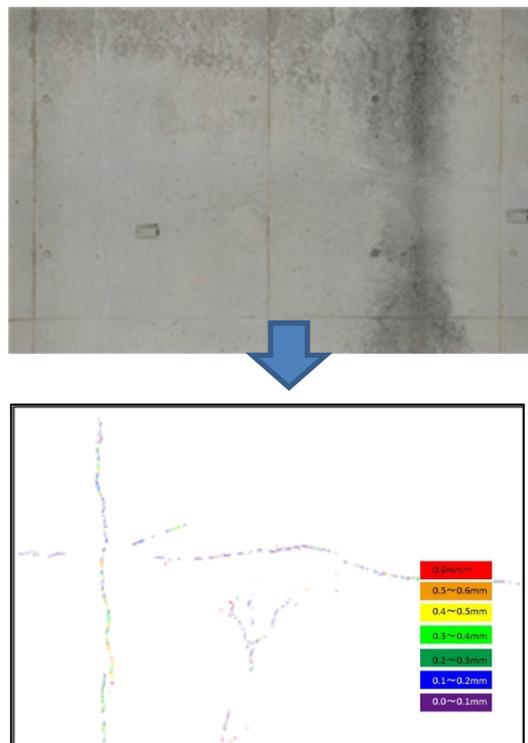


Fig. 4 撮影画像とひび割れ抽出図の例 (2)
Shooting Image and Image Processing
for Cracks (Sample No.2)

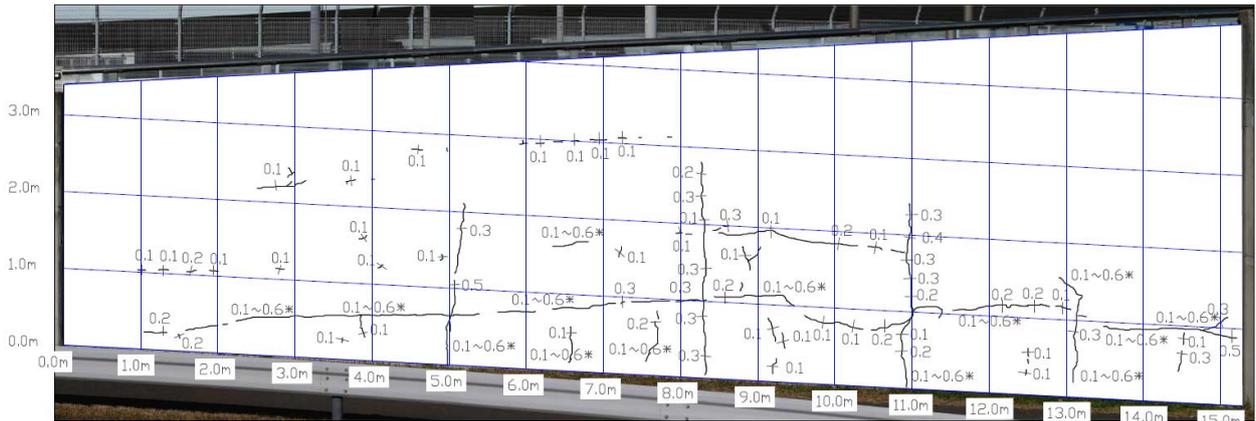


Fig. 5 構造物全体のひび割れマップ
Map of Cracks on Wall Structure

4. まとめ

コンクリート構造物のひび割れ調査の省力化を目的として、大林組開発のデジタルカメラ画像処理システムを用いたひび割れ計測技術を国土交通省の技術公募における現場試行試験に適用した。

その結果、以下のことが確認された。

- 1) 約 2400 万画素のデジタルカメラと望遠レンズを用いることにより、約 19m 離れた位置から、幅 0.1mm のひび割れを検出できた。
- 2) コンクリート表面の汚れやあばたなどの不要な情報を削除でき、ひび割れのみを検出することができた。
- 3) 従来の目視観察によるひび割れ調査に比べて、大幅に調査時間を短縮することができた。
- 4) クラックスケールを構造物に貼り付けて撮影することにより、ひび割れ幅の測定精度を十分に確保できることが確認された。

今後の課題として下記が挙げられる。

- 1) クラックスケールを貼らなくても、精度よくひび割れ幅を検出できる方法
- 2) 計測後、現場においてひび割れの検出結果を、確認できる方法

謝辞

本技術の開発に当たり、早稲田大学 橋本周司教授、筑波大学 山口友之助教より、多大なご指導を賜りましたことを深謝致します。

参考文献

- 1) 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) HP ; <http://www.jst.go.jp/sip/k07.html>
- 2) 武田篤史, 山田守, 大内一: RC 構造実験におけるひび割れ計測の適用, コンクリート工学年次論文報告集 23-3, pp1177-1182, 2001.6
- 3) 山田 守, 武田篤史, 大内一, 橋本周司: RC 構造物のデジタル画像を用いたひび割れ計測 (その 4), 第 5 回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集, RC 構造物のデジタル画像を用いたひび割れ計測 (その 4), 2004
- 4) Tomoyuki Yamaguchi, Shuji Hashimoto, "Fast crack detection method for large-size concrete surface images using percolation-based image processing," Machine Vision and Applications, Vol.21, Iss.5, pp.797-809, Aug. 2010.