

# 高精細画像を用いたひび割れ自動検出技術の PC箱桁内部点検への活用事例

あおやなぎりゅうじ さかきばらゆうじ  
青柳 竜二<sup>1</sup>・榊原 優士<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (株) 長大 上野オフィス (〒111-0041 東京都台東区元浅草2-6-6)

本稿では、近接目視が困難な橋梁を効率的に点検することを目的に、高精細画像からひび割れのみを識別し、ひび割れ幅と長さを測定する自動検出手法を実橋の点検で活用し、近接目視点検結果と比較した精度検証結果を示した。

PC箱桁内部を対象にひび割れ自動検出手法を適用した結果、ひび割れ長さはハンチ部を除いて幅0.1mm以上のひび割れを9割以上検出することができた。さらに、自動検出手法で検出されたひび割れ幅は、局所的な表面の欠け落ちなども検出されることから、ひび割れ幅の最大値だけではなく平均値を算定することで、誤差0.1mm程度の精度で検出できることを確認した。撮影写真から事後判断が可能であり、有効な手法の1つである。

**Key Words** : ひび割れ, 自動検出, 画像解析, 橋梁点検, コンクリート

## 1. はじめに

社会インフラの劣化・損傷が顕在化されている一方で、橋梁点検・診断を行う技術者は限られており、点検作業の効率化が急務となっている。特に、高所作業車や橋梁点検車を用いた近接目視が困難な、鉄道などと交差する橋梁や写真-1のような桁高が高いPC箱桁内部などの点検には、墜落等の安全面における危険性があることに加え、人手や作業の手間、コストがかかることが課題となっている。

本稿では、このような近接目視では条件が悪いPC箱桁内部を効率的に点検することを目的に、高精細画像からひび割れのみを識別し、ひび割れ幅と長さを測定する自動検出システム<sup>1) 2)</sup>を実橋の点検で活用し、近接目視点検と比較した精度検証結果を示す。



写真-1 桁高が高いPC箱桁内部の近接目視点検状況

## 2. ひび割れ自動検出手法の概要

ひび割れ自動検出手法の基本的な考え方としては、まず、使用する市販の一眼レフカメラのセンサー1画素単位をひび割れの抽出精度（例えば0.1mm）に設定し、センサーの画素数に応じて画像1枚の撮影範囲を設定した上で撮影する。撮影画像から抽出したひび割れを画素単位でカウントすることで、幅及び長さが自動的に算出されるものである。画像処理は主に以下の手順で行われる。

### (1) ラプラシアンフィルタの適用

コンクリートに生じるひび割れの断面は、三角形上で入射した光は入射方向には反射せず、境界線のコントラスト差が大きくシャープである。一方、コンクリート表面は微細なスポンジ状で、目地等の境界線は型枠等の表面と同様に細かい凹凸が生じており、ひび割れ部に比べてコントラスト差は小さくシャープではない（図-1 参照）。

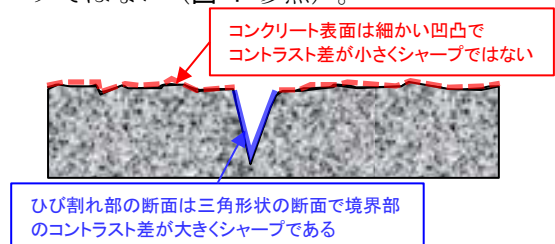


図-1 コンクリートの表面及びひび割れのイメージ図

ガウス型ラプラシアンフィルタを用いることで、**写真-2**のようにコントラストの明暗差をより強調した上で、周囲との明暗差が大きく、シャープな断面をひび割れとして検出する。

## (2) 2値画像変換

画像の明度の段階は256階調であるため、中間値の128以上をひび割れとし、128未満をひび割れではないものと設定することで、**写真-3**のようにひび割れを白色とコンクリート表面を黒色とした2値画像に変換する。

## (3) ノイズの除去

ひび割れは線分として現れるため、2値画像に残る孤立した点はノイズとして除去する。また、線分の近傍の点は線分の端点を膨張させて接合し、収縮して接合しない点は除去する。

## (4) ひび割れの幅別の色分け表示及び長さの算出

ひび割れとして認識された線分は、**写真-4**のように幅別に色分け表示され、幅別の長さが計算される。

## 3. 対象橋梁と精度検証位置・範囲

対象橋梁は、**図-2**及び**図-3**に示す橋長210.75m、支間長109.0m+98.75m、主桁の内空高が3.2mの2径間連続PCエクストラドーズド橋である。主桁内には**写真-5**のように外ケーブルや排水管、添架物が存在したため、ひび割れの精度検証位置は、比較的支障物が少ない**図-3**の着色位置とし、精度検証範囲は、**図-2**に示した主桁箱桁内の上床版下面の4.0m×9.4mを対象範囲とした。

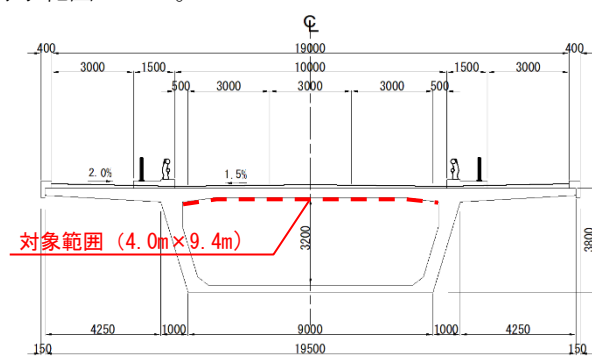


図-2 PC箱桁断面図及び点検対象範囲



写真-2 ラプラシアンフィルタ適用後

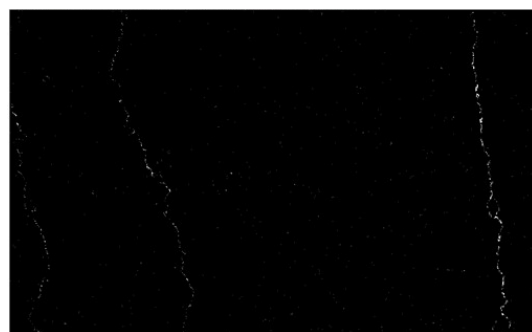


写真-3 2値画像変換後

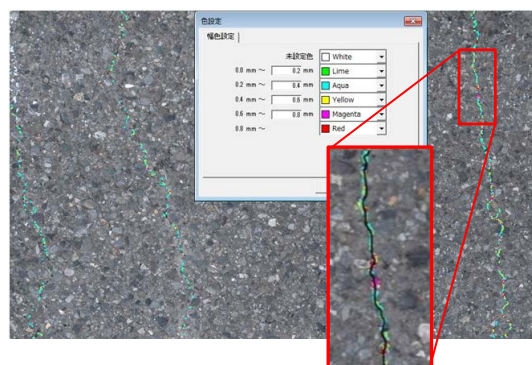


写真-4 ひび割れの幅別の色分け表示後

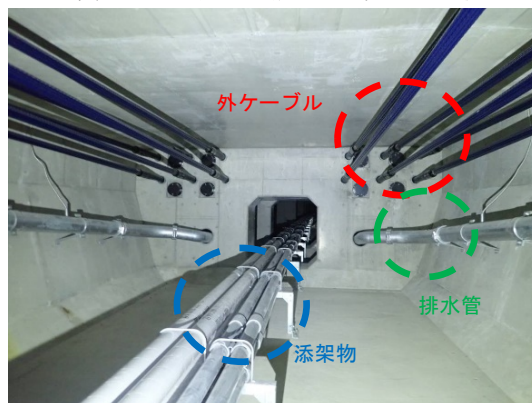


写真-5 PC箱桁内部の状況

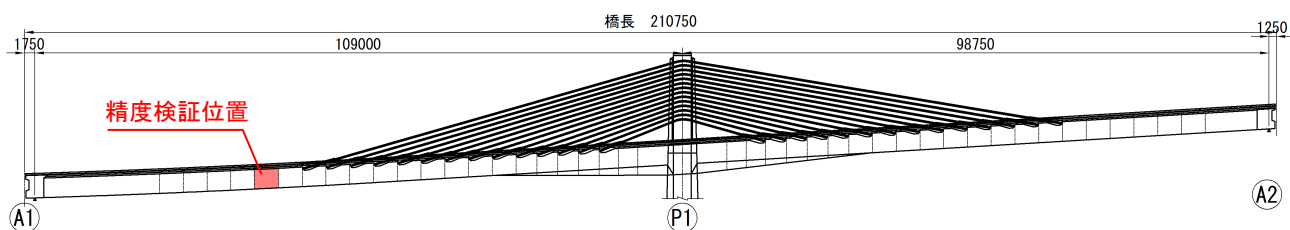


図-3 対象橋梁とひび割れ精度検証位置

### 3. PC箱桁内部点検への活用によるひび割れ計測精度検証方法

ひび割れの精度は、以下に示す近接目視による計測と高精細画像を用いたひび割れ自動検出手法のひび割れの長さとは幅に着目し、それぞれの計測値を比較することで検証した。

#### (1) 近接目視

近接目視による計測では、PC箱桁内に写真-1のように梯子を設置し、2人/組で近接目視にてひび割れを計測した。ひび割れが確認された箇所はクラックゲージを用いて寸法計測し、チョークで情報を記入後、損傷状況をデジタルカメラにて撮影した。なお、PC箱桁内は暗所であるため、同じ箇所を2人の点検者それぞれで合計2回実施し、見落としを防ぐ対応とした。

#### (2) 高精細画像を用いたひび割れ自動検出手法

ひび割れ自動検出手法に用いる高精度画像の撮影では、写真-6のように大型照明を使用して十分な光量確保した上で、一眼レフデジタルカメラ（4575万画素）で直上を撮影した。なお、ひび割れの抽出精度は0.1mmとして、画像一枚当たりの撮影範囲は800mm×550mm程度に設定した。撮影した画像は、画像接合プログラムを用いて、つなぎ合わせた上でひび割れの自動検出を実施した。

### 4. ひび割れ計測精度の検証結果

対象範囲における近接目視（クラックゲージによる計測）と自動検出手法により確認されたひび割れ状況を図-4に示す。なお、対象範囲のひび割れは、近接目視にて6箇所のひび割れが確認されたため各ひび割れに①～⑥の番号を付けて示す。

図-4の近接目視による計測結果は、点検者が主要なひび割れの長さとは幅を記載し、自動検出手法では検出された各ひび割れ幅の平均値（最大値）を記載した。なお、ひび割れは図-4の凡例のとおり、幅別

に色分け表示で示した。また、近接目視点検結果に対する、自動検出手法で確認されたひび割れ長さの合計値の比率（検出率）とひび割れの平均値及び最大値の差分〔誤差〕を表-1に整理した。

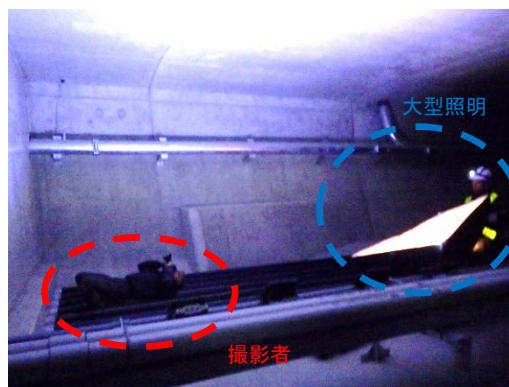


写真-6 PC箱桁内部の状況

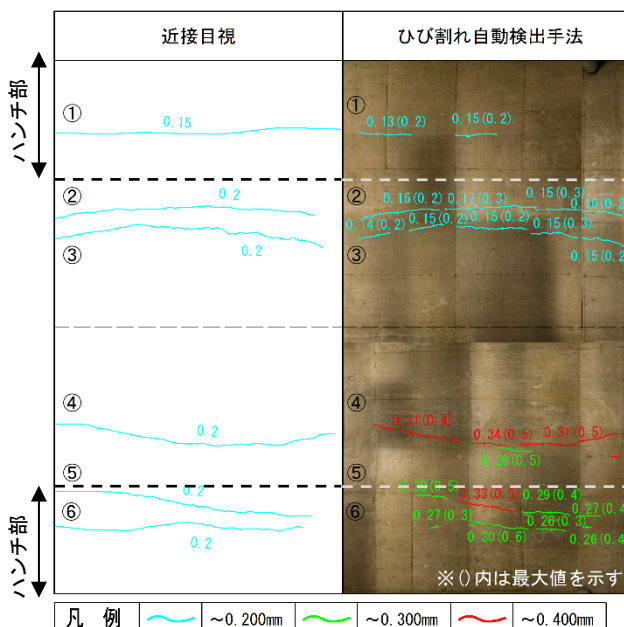


図-4 近接目視点検と自動検出手法で確認されたひび割れ状況

表-1 近接目視に対する自動検出手法で確認されたひび割れ長さの検出率とひび割れ幅の誤差

| ひび割れ番号 | 近接目視         |       |       | ひび割れ自動検出技術         |       |       |       |         |           |        |       |        |
|--------|--------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|---------|-----------|--------|-------|--------|
|        | ひび割れ幅別長さ(mm) |       |       | ひび割れ幅別(平均値)の長さ(mm) |       |       |       |         | ひび割れ幅(mm) |        |       |        |
|        | 0.15         | 0.2   | 合計    | ~0.2               | ~0.3  | ~0.4  | 合計    | (検出率※1) | 平均値       | [誤差※2] | 最大値   | [誤差※2] |
| ひび割れ①  | 3,994        |       | 3,994 | 1,309              |       |       | 1,309 | (32.8%) | 0.139     | [0.01] | 0.200 | [0.05] |
| ひび割れ②  |              | 3,681 | 3,681 | 3,455              |       |       | 3,455 | (93.9%) | 0.162     | [0.04] | 0.300 | [0.10] |
| ひび割れ③  |              | 3,866 | 3,866 | 3,327              |       |       | 3,327 | (86.1%) | 0.149     | [0.05] | 0.300 | [0.10] |
| ひび割れ④  |              | 3,979 | 3,979 |                    | 536   | 3,239 | 3,775 | (94.9%) | 0.311     | [0.11] | 0.500 | [0.30] |
| ひび割れ⑤  |              | 3,637 | 3,637 |                    | 1,479 | 1,030 | 2,509 | (69.0%) | 0.306     | [0.11] | 0.500 | [0.30] |
| ひび割れ⑥  |              | 3,507 | 3,507 |                    | 1,457 |       | 1,457 | (41.5%) | 0.282     | [0.08] | 0.600 | [0.40] |

※1 検出率は、近接目視のひび割れ長さの合計値に対する自動検出技術ひび割れ長さの合計値の比率である。

※2 誤差は、近接目視で確認したひび割れ幅に対する自動検出技術によるひび割れ幅の平均値(最大値)との差分(絶対値)である。



### (1) ひび割れ長さの検出率

自動検出手法で確認されたひび割れ長さの検出率は、最小32.8%、最大94.9%であった。ひび割れ①～⑥の全てのひび割れを検出しており、ひび割れ②、③、④は9割程度の検出率が確認された。一方、ひび割れ①、⑤、⑥の検出率は3割から7割程度で、ひび割れ②、③、④と比較して低い検出率であった。これは、ひび割れ①、⑤、⑥は上床版のハンチ部に存在していることから、撮影方向と上床版が垂直ではないため、撮影角度の影響によりひび割れを精度0.1mm未満と判断し、自動検出できなかったことが、一要因として考えられる。

### (2) ひび割れ幅の誤差

近接目視計測結果に対する自動検出手法で確認された各ひび割れ幅の「平均値」の誤差は、0.01mm～0.11mmで比較的高い精度である。一方で、各ひび割れ幅の「最大値」との誤差は、0.05mm～0.40mmであった。自動検出手法で確認されたひび割れ⑥の最大ひび割れ幅0.6mmの位置について、近接目視にてクラックゲージでひび割れ幅を確認した結果、写真-7のように局部的にひび割れの表面が欠け落ちて0.6mm程度になっていた。ひび割れ⑥は、写真-8のように0.2mm程度ひび割れ幅が生じており、自動検出手法で比較的高い精度で検出できていると思われる。ひび割れ幅を「最大値」で表示する場合、局部的な欠け落ち等も検出しているため、用途に応じた判断をするために、ひび割れ幅の「平均値」と「最大値」の両者を示す必要があると思われる。

## 5. まとめ・今後の展望

本稿では、内空高が高く近接目視では条件が悪いPC箱桁内部を対象に、高精細画像を用いたひび割れ自動検出手法を活用し、従来の近接目視によるひび割れ計測結果と比較することで、ひび割れ長さについてはハンチ部を除いて、幅0.1mm以上のひび割れを9割程度検出できることを確認した。



写真-7 自動検出手法で最大ひび割れ幅が確認された箇所（ひび割れ⑥）

自動検出手法では、ひび割れ幅の「平均値」で算定することで、近接目視による計測と誤差0.1mm程度の精度で検出できることを確認した。ひび割れ幅の「最大値」の算定では、局部的な表面の欠け落ちなどを検出していることがあることから、「平均値」と「最大値」の差分が大きい場合には、撮影した写真を確認することで高い精度でひび割れを検出することが可能である。

従来の近接目視点検は、「道路橋点検要領<sup>3)</sup>」に従い、野帳へのスケッチと損傷箇所のみを写真撮影する方法であるため、撮影していない箇所は事後判断ができないことが課題であった。本稿で示した自動検出手法では、対象箇所全てを撮影しているため、損傷の有無を撮影した写真から事後判断することが可能で、損傷確認漏れの防止対策としても期待できる。さらに、将来の点検時においても損傷や変状の発生時期を把握できるため、有効な維持管理資料となり得る。加えて、梯子等を用いた高所作業はないため、墜落等の安全面でのリスクも低減可能である。

一方で、以下の課題が確認されたので、今後の検討が必要である。

- ・一眼レフカメラによる撮影は人力のため、撮影の自動化など撮影方法の高度化・効率化
- ・撮影範囲は支障物がない範囲に限られるため、近接目視や新技術との併用の検討

謝辞：末筆ながら、本稿の執筆に当たり、多大なる御協力をいただきました発注担当課の皆様、また、関係各位に深く感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 原徹，小堀研一，牛島栄：画像からの高精度クラック自動検出技術，検査技術（日本工業出版），vol.24・No.3，pp.1-7，2019.3
- 2) 国土交通省：点検支援技術 性能カタログ（案），<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/pdf/11.pdf>，pp2-85～2-92
- 3) 国土交通省 道路局：道路橋定期点検要領，[https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo4\\_1.pdf](https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo4_1.pdf)



写真-8 ひび割れ⑥のひび割れ幅の状況