

平成 21 年 6 月 11 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19700180

研究課題名（和文） 画像処理によるコンクリート構造物のひび割れ自動検査

研究課題名（英文） Image-based crack inspection for concrete structures

研究代表者

山口 友之（YAMAGUCHI, Tomoyuki）

早稲田大学・理工学術院・助手

研究者番号：50424825

研究成果の概要：

構造物に最も幅広く使用される材料である鉄筋コンクリートの表面には、構造物の耐震性や材料劣化の進展を推定する上で極めて重要となるひび割れが生じる。従来は人間による目視・スケッチによりひび割れの検査が行われてきたのに対し、本研究課題は検査の効率化・省力化を実現するために、雑音環境下に口バストでかつ、高精度なひび割れ検出を実現する画像処理手法の確立、実応用に適用可能な効率的な画像処理手法の確立、及び実構造物のコンクリート壁面を対象とした高精度なひび割れ計測手法の確立を実現した。

交付額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2007年度 | 1,000,000 | 0 | 1,000,000 |
| 2008年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 1,900,000 | 270,000 | 2,170,000 |

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：画像情報処理

1. 研究開始当初の背景

近年、土木・建築分野において、構造物の安全性を検討し維持するために画像処理による外観検査が強く求められている。構造物に最も幅広く使用される材料である鉄筋コンクリートの表面には、構造物の耐震性や材料劣化の進展を推定する上で極めて重要となる「ひび割れ」が発生する。従来のコンクリート表面のひび割れ検査では、人間による目視・スケッチによりひび割れの分布図を作成、ルーペ等を用いたひび割れ計測、そして検出・計測結果を基にひび割れの発生パターン推定し、各ひび割れの補修の有無を診断していた。これに対し、近年の情報処理技術の進歩に伴い、ひび割れ検出・計測に関しては画像処理技術を用いることにより、検査の効率化・省力化を実現する手法が検討されている。ひび割れ検査の過程で、ひび割れ検出は最初の処理であり、その検出精度は後のひび割れ計測、パターン推定などの工程に影響する。従って、特にひび割れ検出に関する研究事例が多い。しかし、実構造物のコンクリート表面像には、光ムラ、シミ等の多くの雑音を含み、従来の画像処理手法では自動的なひび割れ検出の実現は困難である。そのため、自動的なひび割れ検出を行うと、検出精度に難があり、現在でも課題は多く残されている。また、ひび割れ計測に関する研究では、高い計測精度を実現する必要性から、ひび割れの検出過程に人間が介入するものが多く、結果的に半自動的な手法となる。そのため、完全自動のひび割れ計測を実現するには課題がある。

2. 研究の目的

本研究は、上述の課題を解決し、自動的なひび割れ検出・計測を実現し、さらにはひび割れパターン分類及びひび割れ診断に至るまでの全ての処理を自動的に行うことが可能な、「完全自動ひび割れ検査」を実現することが主たる目的である。そのために、本研究課題では、次の3つの研究を進展させる。(1) 雑音環境下にロバストでかつ、高精度なひび割れ検出を実現する画像処理手法の確立する、(2) 実应用到に適用可能な効率的な画像処理手法の実現する、(3) 実構造物のコンクリート壁面を対象とした高精度なひび割れ計測の考案する。また、これらの研究課題に加え、実現場での評価試験を行うことも達成目標に含めた。

3. 研究の方法

(1) 雑音環境下にロバストでかつ、高精度なひび割れ検出を実現する画像処理手法の確立

近傍画素間の濃度の連続性を考慮した画像処

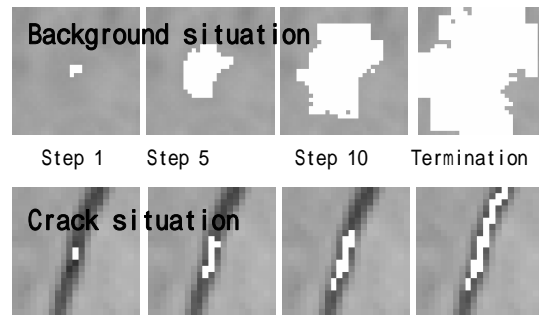


図1 パーコレーション処理の過程

理手法として、パーコレーションモデルを用いたひび割れ検出の自動化手法を既に提案している。パーコレーションモデルによるひび割れ検出は、注目画素と近傍画素との連続性により、図1に示すように形成されるクラスタの形状に差が生まれる。このクラスタ形状を用いて、クラスタの「非円形度」を算出する。非円形度が閾値より大きい場合（直線的）をひび割れ画素とすることで、ひび割れ検出を行う。しかし、この手法では、ひび割れ領域の濃度が明るい場合に、クラスタ形状が全方向に広がる場合があり、濃度が明るい場合でもクラスタ形状を細く保つ処理に改良する必要がある。

そこで、本研究の対象とする、画像中のひび割れの特徴には以下の2つがあると考えた。

- 1) ひび割れに相当する画素の近傍において、濃度値が連続的に類似する点（連続性）
- 2) ひび割れの形状特徴は、細い直線的な形状である点（直線性）

従来は、上記の1)のみを用いたクラスタ形成手法であり、2)の特徴を用いて形成したクラスタを評価した。これに対し、新しい提案手法は、クラスタを形成する際に、上記の2つの特徴を用い、さらに2)の特徴を用いて形成したクラスタを評価する。提案手法は、近傍画素間の連続性と直線性を考慮したパーコレーションモデルによる画像処理手法となる。

このひび割れ検出手法を実構造物のコンクリート表面像に適用し、提案手法の検出精度の検証を行う。

(2) 実应用到に適用可能な効率的な画像処理手法の実現

画像中のひび割れに相当する画素は、画像の総画素数に比べて非常に少ない。まず、500×500[pixels]で実寸250×250mmの画像30枚を用いて、ひび割れに相当する画素数と、画像の総画素数に対する割合を解析すると、平均約0.96%（最大4.77%、最小0.40%）となった。従って、前処理の段階である程度ひび割れ領域

を推定することが可能となれば、パーコレーション処理を適用する範囲が飛躍的に減少する。

提案手法では、Sequential similarity detection algorithm (SSDA)法と Active search 法の考え方を利用する。SSDA 法概念を利用することで、浸透処理を行う途中で円形度を算出し、円形度が閾値より大きい場合、つまり明らかにひび割れではなく、背景となる場合には、パーコレーションの処理を途中で終了する。また、近傍画素におけるすでに算出された円形度を用いることにより、新しい画素のパーコレーション処理を省略する手法を提案する。この手法は、ある画素のパーコレーション処理において、背景と判定された画素を浸透領域に含む場合には、その画素も背景とする処理となる。さらに、これらの計算コストを算出する式を導出し、人工画像を用いて評価を行う。ひび割れのような線状の特徴が、画像中に含まれる比率が少ないほど、計算コストが削減できることを確認する。

3)実構造物のコンクリート壁面を対象とした高精度なひび割れ計測の考案

実現場で求められているひび割れ幅の検出精度が実寸で 0.1mm である。提案手法では、まずひび割れ検出では、パーコレーションモデルを用い、ひび割れ幅計測可能な画像を生成することが可能である。次にひび割れ幅の実寸計測では、人間がクラックスケールを利用してひび割れ幅の計測を行うことに注目し、クラックスケールを画像中に写りこませ、クラックスケールの目盛り幅毎に、輝度値を算出することによって、キャリブレーション直線を生成し、画像内のひび割れ幅を実寸で計測する手法を提案する。また、輝度情報は特に照明の条件に影響があると考えられるため、その影響について評価を行う。評価実験を通して、提案手法のキャリブレーション直線を用いたひび割れ幅の計測手法の有効性を検討する。

4. 研究成果

(1) 雑音環境下にロバストでかつ、高精度なひび割れ検出を実現する画像処理手法の確立

基礎モデルのパーコレーションを用いたひび割れ検出手法において、形状情報と輝度情報を付加することで、ひび割れ領域の濃度が明るい場合でも、途中までは細い線状の形状を保つため、ステップ毎にクラスタ形状の評価を行い、細い線状の形状、つまり非円形度が高い場合には、全方向にクラスタが広がらないようにパーコレーション処理を制御することで、濃度が明

る場合でもロバストにひび割れ検出が行えることを確認した。これにより、微細なひび割れを見落としなく検出可能となった。また、評価手法として、ROC 解析と Precision-Recall 解析の二つの観点から定量的な評価を行い、提案したパーコレーション処理の高精度化手法が有効であることを示した。

(2) 実応用に適用可能な効率的な画像処理手法の実現

基礎モデルのパーコレーション処理よりも、平均して 58 倍の速度向上ができることを確認した。1000 万画素を超える解像度の画像に適用した結果、従来手法が約 1 時間かかるのに対し、高速化手法は 1 分で処理をひび割れ検出の処理を行うことができることを確認した。また、提案手法の特徴として、ひび割れが画像中に含まれる比率が少ないほど、計算コストを削減できることを実験においても確認した。



図2 テスト画像(計測箇)



図3 ひび割れ検出結果

さらに、(1)と(2)の結果を通して、高精度化と

高速化を混合した手法は、精度と速度はそれぞれ単独で実装したアルゴリズムには劣るが、基礎モデルのパーコレーション処理より、混合手法の方が精度と速度の両方においても優れた結果となった。図2に評価実験に用いたテスト画像を示し、図3に混合手法によるひび割れ検出の結果画像を示す。

(3)実構造物のコンクリート壁面を対象とした高精度なひび割れ計測の考案

0.06 mm ~ 0.3 mm 程度の細かいひび割れ幅が存在する既設コンクリート構造物の壁面像を用いて、ひび割れ幅の実寸計測を行った。ひび割れ幅の計測精度は約 0.05mm 未満を実現し、計測対象が細かいひび割れに対しては提案手法を適用することが可能であることが確認できた。特に照明条件に関しては、計測する対象の幅が太くなるに連れて計測精度が減少するが、計測対象の幅が細かい場合には、照明条件が均一でない場合においても、サブピクセル精度である 0.1mm 未満で計測できることを確認した。

今後の課題として、統合アプリケーションを作成し、実現場での実験機会を増やし、産業応用への拡大を試みる予定である。また、検査ロボットの開発も検討している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

- [1] T. Yamaguchi, S. Nakamura, R. Saegusa, S. Hashimoto, "Image-based crack detection for real concrete surface", IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol.3, No.1, pp.128-135, Jan. 2008. 査読有
- [2] 山口友之, 橋本周司, "既設コンクリート構造物におけるひび割れ幅の実画像計測", 電気学会論文誌C, Vol.127, No.4, pp.605-614, Jul. 2007. 査読有
- [3] 山口友之, 橋本周司, "画像処理によるコンクリート構造物のひび割れ幅計測", 画像ラボ, 日本工業出版, vol.18, no.11, pp.25-30, Nov. 2007 査読無

[学会発表](計6件)

- [1] Y. Sorioka, T. Yamaguchi, S. Hashimoto, "Development of a Telescopic-Arm Type, Climbing Support Robot," Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2008), pp.1818-1823, Thailand, Dec. 2008.

- [2] T. Yamaguchi, S. Hashimoto, "Improved Percolation-based Method for Crack Detection in Concrete Surface Images," Proc. of the 19th International Conference on Pattern Recognition (ICPR2008), CD-Proc., pp.1-4, USA, Dec. 2008.
- [3] T. Yamaguchi, S. Nakamura, S. Hashimoto, "An efficient crack detection method using percolation-based image processing," Proc. of IEEE Conf. on Industrial Electronics and Applications (ICIEA2008), Vol.3, pp.1875-1880, Singapore, Jun. 2008.
- [4] 反岡義明, 山口友之, 橋本周司, "伸縮アーム型壁面移動支援ロボットの開発," 日本機械学会情報・知能・精密機器部門講演会論文集(IIP2008), pp.330-335, Mar. 2008.
- [5] 山口友之, 橋本周司, "パーコレーション処理によるコンクリート表面像のひび割れ検出," 動的画像処理実利用化ワークショップ(DIA2008), pp.143-148, Mar. 2008.
- [6] 山口友之, 橋本周司, 田中秀樹, "画像処理を用いた実構造物のコンクリート表面のひび割れ検出と計測", 第6回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム JCROSSAR2007, pp.75-80, Japan, Jun. 2007

6. 研究組織

(1)研究代表者

山口 友之 (YAMAGUCHI TOMOYUKI)

早稲田大学・理工学術院・助手

研究者番号: 50424825