

(65) 分光特性を利用したひび割れ自動抽出に関する 基礎研究

中村 隆史¹・右山 剛²・塩崎 正人¹

¹正会員 三井住友建設株式会社 技術本部 (〒104-0051 東京都中央区佃二丁目 1-6)

E-mail: t-nakamura @smcon.co.jp

²非会員 三井住友建設株式会社 技術本部 (〒104-0051 東京都中央区佃二丁目 1-6)

E-mail: g-migiyama @smcon.co.jp

コンクリート構造物におけるひび割れは、その劣化変状を把握する上で重要な計測対象にあたり、ひび割れの発生および進展を経年的に把握する必要がある。一般的に近接目視点検での結果をスケッチして記録する方法が採られているが、デジタル技術の発展に伴い、デジタルカメラ等で撮影したひび割れ画像を記録する方法が登場し、現在では広く導入されている。一方、抽出手法についても画像解析からひび割れ位置・長さおよび幅を求める手法が考案されているが、発生位置や撮影条件によって抽出精度に差が出る場合もある。筆者らは、この自動抽出の手法として分光法に着目し、特徴のある波長の違いからひび割れを自動抽出する手法の研究を進めており、現時点までの研究成果を報告する。

Key Words: crack detection, inspection, spectroscopy, water leakage

1. 研究の背景

土木構造物では維持管理の観点から、構造部材の劣化変状を把握することが求められている。このうち、コンクリート構造物におけるひび割れは、その劣化変状を把握する上で重要な計測対象にあたり、その後の変状進展への影響も大きいことから、ひび割れの発生および進展といった状態を的確に把握する必要がある。一般的に近接目視点検を行い、ひび割れ近傍にチョークで記録する方法や、手書きあるいはコンピュータ上で電磁的にひび割れスケッチとして記録する方法が採られている。また、デジタル技術の発展に伴い、デジタルカメラ等で撮影したひび割れ画像を記録する方法¹⁾が登場し、現在では広く導入されている。近年、導入が進んでいる計測専用車両²⁾やドローン³⁾にデジタルビデオカメラを搭載して対象を動画撮影し、静止画キャプチャーからパノラマ化する方法は、ひび割れを見つけて撮影するのではなく、撮影した画像からひび割れを見つけるものであり、現場での省力化が図れることに加え、対象範囲全ての画像を記録・保存できる利点もあり、維持管理における経時変化を捉える上で有効なデータとなっている。

一方、ひび割れ抽出の自動化手法についても画像を解析することで位置・長さおよび幅を求める手法が考案さ

れているが⁴⁾⁵⁾、発生位置や撮影条件によって抽出精度にバラツキがある。これは暗所で撮影した場合や、図-1のような煤・漏水・エフロレッセンス等によりひび割れを視認しにくい状況で抽出精度が低下するためである。

そこで、筆者らは、対象物からの反射光を波長ごとに分割し解析を行うことで、その構成成分を評価する分光法に着目した。複数の波長を同時に計測可能なスペクトルカメラを使ったひび割れ撮影を行い、視認しにくい状況でのひび割れ抽出を試みた。併せて、細分化した波長のスペクトル分類解析からひび割れ箇所を特定する自動



図-1 漏水したコンクリート

抽出手法の研究を行っており、現時点までの研究成果を報告する。

2. 分光法

分光法は、照射した光が対象物を透過・反射あるいは吸収した際の波長を分割して測定し、対象物の成分を分析する手法である（図-2）。代表的な分光分析法としては吸収分光法・蛍光分光法およびラマン分光法が挙げられる⁹⁾。分光器で測定した波長の強さをスペクトルグラフで表示することで（図-3）、特徴となる波長の強度から成分を特定することができ、現在では製造・食品・医療など幅広い分野で活用されている。土木分野においても 2000 年代からコンクリートの塩分量測定として研究が行われているが、当時は供試体を屋内で測定するものであった。しかし、屋外で使用可能なスペクトルカメラが登場したことで、現場での適用も始まっている⁹⁾。

本研究では、この屋外で使用可能なスペクトルカメラを使うことで、実構造物のコンクリートを計測し、煤や漏水といった視認困難な箇所が発生したひび割れの可視化を目的としている。

3. スペクトルカメラを用いたひび割れ計測

視認困難なひび割れのひとつである漏水箇所に発生し

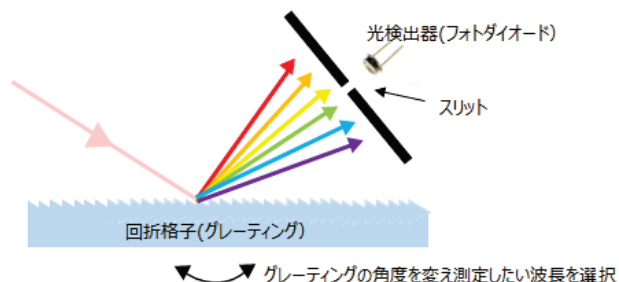


図-2 分光器の原理⁹⁾

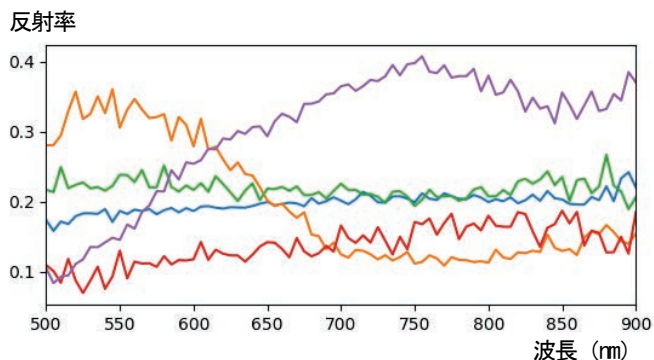


図-3 スペクトルグラフの例

たひび割れの抽出を実施した。今回は予備実験として、屋外に保管中のコンクリート実験供試体を使用し、これに発生したひび割れをスペクトルカメラで計測した。

計測機器については、実際に現場で適用にするにあたって、電源を確保することが必要であることから、スペクトルカメラはバッテリーで駆動するものが必要であり、併せて、スペクトルカメラを操作するためのコンピュータもバッテリーで駆動できるものが必要となるため、バッテリー駆動を前提として機種選定を行った。

実験は、漏水と同条件での計測が必要であることから、降雨後のひび割れ発生箇所が濡れている状態で計測を行った（図-4、5）。計測では、スペクトル放射輝度を白板で補正したスペクトル反射率として数値化する。また、直射日光による影の発生を軽減させるため、晴天時を避ける形で計測を行った。

4. 実験結果

今回はスペクトル解析に SAM 解析（Spectral Angle Mapper 解析）を適用した。この解析手法は、画像上の各画素のスペクトルと、比較対象となる基準スペクトルを比較する古典的なスペクトル分類解析手法である。基準ス

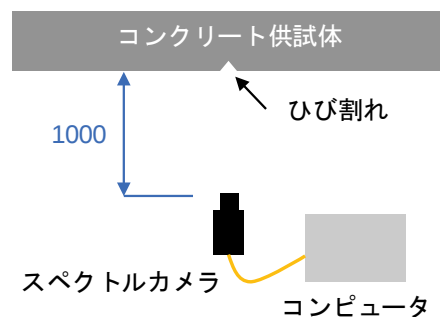


図-4 実験模式図



図-5 実験状況

ベクトルと比較対象となるスペクトルをベクトルで表し、ベクトル間の角度からクラス分類を行う。また、数値の大小ではなく、ベクトルの方向で評価を行うため、照明や陰の影響を受けにくいという特徴を有しており、基本的に屋外となる現場計測の分類解析に適している。

解析では、コンクリート供試体の「乾いたコンクリート箇所」「濡れたコンクリート箇所」「ひび割れ箇所」の3箇所から、枠内の範囲にある画素を平均化したものを基準ベクトルとした(図-6)。図-7は、SAM解析の概念図である。各画素において3種類の基準スペクトルとの角度 θ_c を式(1)より導出する。この θ_c のベクトルから式(2)を用いて、最も角度が小さくなったクラス C_n に分類することが可能である¹⁰⁾。

$$\theta_c = \cos^{-1} \left(\frac{\mathbf{t}_n \cdot \mathbf{r}_c}{\|\mathbf{t}_n\| \cdot \|\mathbf{r}_c\|} \right) \quad (1)$$

$\mathbf{t}_n$: n 番目の画素で 425-900 nm までの反射率の値を成分もつ

$\mathbf{r}_c$: c 番目の基準スペクトルで 425-900 nm までの反射率を成分もつ

$$C_n = \underset{c}{\operatorname{argmin}}(\theta_c) \quad (2)$$

今回使用したスペクトルカメラは、350-1100nmの範囲

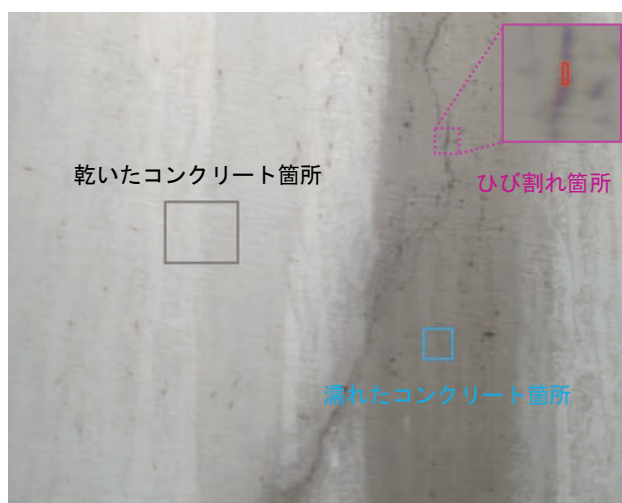


図-6 基準スペクトルの測定範囲

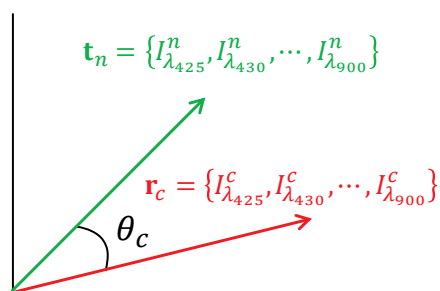


図-7 SAM解析の概念図

で計測が可能であるが、波長 425-900 nm の範囲のデータを使用してクラス分類を行っている。これは、425 nm より短い波長と 900 nm より長い波長では、反射率のバラツキが大きく、特徴のある波長を捉えることが困難となったためである。特に、425 nm より短い波長では S/N 比が低く、ノイズの影響を受けて、光源のスペクトル分布をもとに補正した反射率の数値が 1.0 を超える値となっており、波長域を狭める形で解析を行った(図-8)。

3種類のクラス分類結果を図-9に示す。また、そこからひび割れ箇所のみ抽出した結果を図-10に示す。

5. まとめ

SAM 解析手法では、乾いたコンクリート・濡れたコンクリートを正確に分類することができ、ひび割れ箇所を抽出することができた。しかし、ひび割れ箇所として分類された箇所には表面にある凹みも含まれており、これは可視光が届きにくい箇所をひび割れとして誤抽出したものと考えられる。ひび割れ箇所も溝として存在するため陰が発生する箇所であることから、本手法においては同じクラスに分類されたと判断できる。

6. 今後の展開

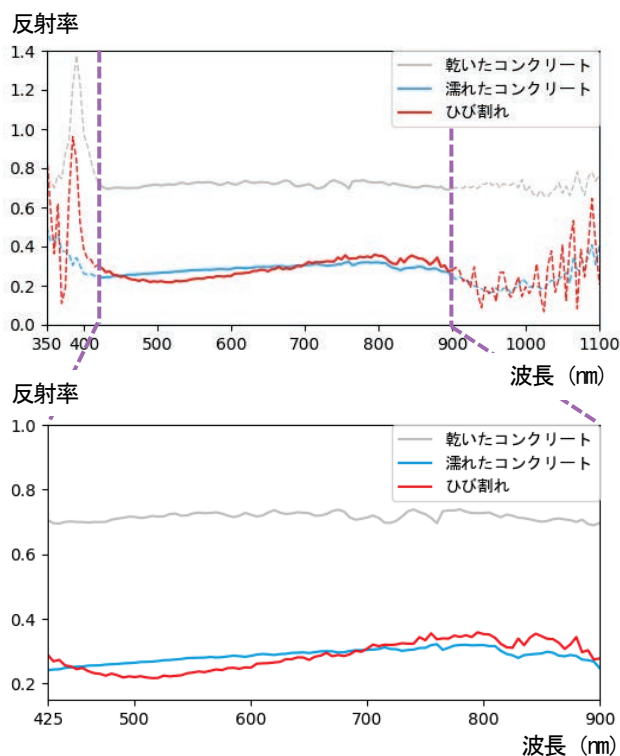


図-8 解析範囲変更による分類の平準化

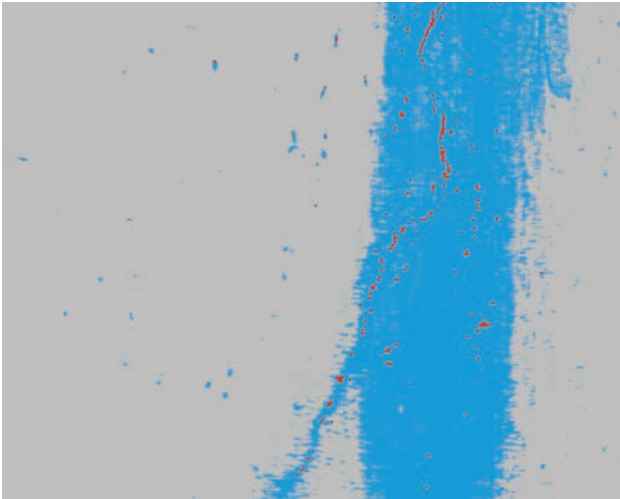


図-9 クラス分類結果

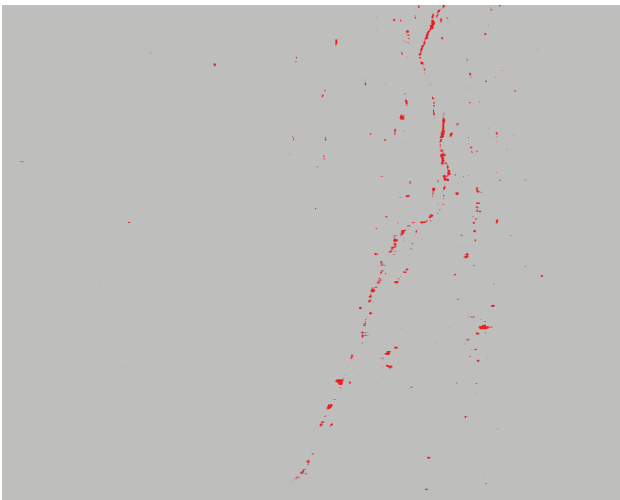


図-10 ひび割れ抽出結果

今回の実験では、SAM 解析という古典的なスペクトル分類解析手法を用いて、ひび割れの抽出を試みた。その結果、ひび割れの一部を抽出できたが、断片的な抽出に止まっている。また凹み部をひび割れとして誤抽出した箇所もあった。抽出精度を向上させるためには、既存の分類解析手法ではなく、深層学習などの手法を適用す

る必要があると考えており、現在は手法の検討と実験による抽出精度の検証を行っている。さらに研究を進め、今後成果を報告したい。

参考文献

- 1) 塩崎正人, 佐田達典, 斯波明宏, 樋口正典 : 高倍率 W E B カメラを用いたひび割れ計測, 2004 年度土木情報利用技術講演集, Vol.29, pp.13-16, 2004.
- 2) 水口尚司, 大西有三, 西山哲, 西川啓一, 下澤正道, 石村勝伸 : 道路トンネルにおける画像及びレーザデータを用いたマネジメント手法の研究, 土木学会論文誌 F2, Vol.71, No.1, pp.20-30, 2015.
- 3) 藤田真司, 石田仁, 森屋陽一, 前田智之 : 自律飛行ドローンを用いた覆工コンクリートの初期ひび割れ点検の省力化について, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.45, pp.137-140, 2020.
- 4) 藤田悠介, 中村秀明, 浜本義彦 : 画像処理によるコンクリート構造物の高精度なひび割れ自動抽出, 土木学会論文誌 F, Vol.66, No.3, pp.459-470, 2010.
- 5) 全邦釘, 井後敦史, 橋本和明 : 画像解析によるひび割れ検出とハフ変換による型枠跡および P コン跡の同定, コンクリート工学年次論文集, Vol. 37, No. 1, pp.1777-1782, 2015.
- 6) 尾崎幸洋 : 近赤外分光法, pp.7-42, 講談社, 2015
- 7) 石川幸宏, 金田尚志, 加藤佳孝, 魚本健人, 矢島哲司 : 近赤外分光イメージングによるコンクリート中の塩分の定量化に関する提案, コンクリート工学論文集, Vol.28, No.1, pp.1865-1970, 2006.
- 8) 株式会社安藤・間 : マルチスペクトル画像を活用した地質状況自動評価システムの構築, < <https://www.ad-hzm.co.jp/info/2018/pre/20180202.html> >, (入手 2021.5.26) .
- 9) 一般社団法人プロダクツユニオン : 分光器, < <https://www.jpu.or.jp/useful/spectrometer/> >, (入手 2021.5.26) .
- 10) F.A.Kruse, A.B.Lefkoff, J.W.Boardman, K.B.Heidebrecht, A.T.Shapiro, P.J.Barloon, A.F.H.Goetz : The spectral image processing system (SIPS)—interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data, Remote Sensing of Environment, Vol. 44, pp.145-163, 1993.