

構造物等の変状に対するAI画像解析 によるリアルタイム把握に向けて

植前 成美

近畿地方整備局 近畿道路メンテナンスセンター 技術課 (〒573-0094 大阪府枚方市南中振3丁目2-3)

従来のモニタリング手法では、変状の進行状況を正確に把握することが難しいコンクリート構造物のひび割れについて、タイムラプスカメラと既存のAI画像解析技術を組み合わせることで伸長量を定量化することを試みた。変状画像は、変状が顕著なトンネル覆工と人工的にひび割れを発生させる模擬変状装置で取得した。模擬変状を使用した実験の結果では、ひび割れの伸長に合わせAI画像解析で抽出したひび割れ量が増加することが確認できた。一方、解析モジュールや撮影条件によってひび割れ抽出精度が異なるため、今後は撮影方法の検討やAI画像解析の追加学習による精度向上を進める。

キーワード AI画像解析, 道路構造物, モニタリング, 異常検知, DX

1. はじめに

2012年12月に発生した中央道笹子トンネルの天井板落下事故を契機に、道路構造物の定期点検が開始された。5年に1回の頻度で近接目視点検が実施された結果、多くの道路構造物で早期の措置が必要となったことが明らかとなった。また、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態や監視が必要な状態とされる構造物が過半数を占めることがわかった。そのため、限られた維持管理予算の中で計画的に維持修繕を行うためには、経過観察やモニタリング技術の進展や活用が欠かせない。これらの状況を鑑み、内閣府は「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）」のⅠ期（2014～2018年）でモニタリング技術の活用ガイドラインを取りまとめ、土木学会インフラメンテナンス総合委員会がその内容を引き継ぐ形で「モニタリング技術活用のための指針（案）」¹⁾を出版している。本研究は同指針案を参考とし、これまでリアルタイムモニタリングが困難であったひび割れの伸長等について、タイムラプスカメラとAI画像解析技術を組み合わせることで変状を連続的に検知する手法を検討した。

2. 災害形態と計測技術の適用性

計測対象となる変状としては、表-1に示されるのり面や自然斜面での土砂災害変状と、表-2に示されるトンネルや橋梁といった構造物における変状となる。これらの変状について、通常は定期点検での定点計測や目視確認

(写真-1～写真-2)、変状スケッチ図との比較が主体であり、リアルタイムで進行性を確認する方法は、災害箇所等を除き行われていない。

これらの変状に対する計測方法としては、センサを直接対象に設置して計測する方法と画像や電磁波により対象に非接触で計測する方法があり、表-3に示すものが挙げられる。

表-1 のり面・自然斜面の変状例

災害形態	変状の種類
崩壊	浸食・崩落、表層崩壊、大規模崩壊・地すべり性崩壊、岩盤崩壊、盛土崩壊、吹付のり面崩壊
落石	抜け落ち型落石、剥離型落石、その他
地すべり	岩盤地すべり、風化岩地すべり、崩積土地すべり、粘性土地すべり
土石流	渓床堆積土砂・山腹崩壊土砂や地すべり土塊の流動化による土石流、天然ダムの崩壊による土石流

表-2 構造物の変状例

対象	変状の種類
橋梁	変形・欠損、腐食、亀裂、うき、破断、ひびわれ、剥離・鉄筋露出、防食機能の劣化、漏水・遊離石灰、漏水・滞水、補修・補強材の損傷、沈下・移動・傾斜、舗装の異常、路面の凹凸、その他
トンネル	圧ざ、ひび割れ、うき・はく離、変形、移動、沈下、鋼材腐食、巻厚の不足または減少、背面空洞、漏水等による変状



写真-1 亀裂間に設置したピン間計測の例



写真-2 目視点検の例

表-3 変状に対する計測技術例

計測対象	計測方法
ひび割れ幅や地盤変位	ピン間計測, 移動杭, クラックゲージ, 伸縮計
傾斜量	スラント, 水管式傾斜計, 傾斜センサ
ひずみ・応力	ひずみ・応力センサ, 画像解析
振動	加速度計
形状変化	目視, 画像解析, 点群差分
水分	土壌水分計, 地下水位計
気象 (雨量)	雨量計, レーダ雨量
気象 (積雪)	積雪計
気象 (温度)	温度計, サーモグラフィ

これらの計測は、ピンポイントでの計測方法が主体であり、ひび割れの伸長や面的な変化をリアルタイムで取得する方法ではない。

一方、定期点検でⅢ判定となる構造物の変状として、橋梁では、主桁や床版の変状が多い。主桁の変状として腐食、変形・欠損が多く、床版の変状としては、うき、ひび割れ、剥離・鉄筋露出が多い。また、トンネルでは、ひび割れ、うき・剥離、鋼材腐食、滞水や漏水がⅢ判定となっている。これらの変状のうち、コンクリート構造物のひび割れは、外気温の影響を受け収縮することもあり、進行性の判断が困難なことがある。以上を踏まえ、本研究でのモニタリング対象は、コンクリート構造物のひび割れとした。

3. モニタリング方法の検討

これまでコンクリート構造物等のひび割れは「幅」や「ズレの量」をゲージで測定する手法が主体であった。この測定方法では危険度判定に用いられるひび割れの伸長や任意の位置に生じる新たな変状への対応が困難であった。そこで、既に多くの実績があるタイムラプスカメラによる遠隔監視技術や AI 画像解析によるコンクリート構造物等のひび割れ検知技術を組み合わせることで、ひび割れの異常を検知する手法を考案した。モニタリングシステムの概要を図-1 に示す。本研究では、定期点検等で監視対象とされているひび割れに加え、変状を進行させることが可能な模擬変状にタイムラプスカメラを設置し、定期的に画像を取得した。タイムラプスカメラの仕様を表-4、撮影状況を写真-3 に示す。



図-1 モニタリングシステムイメージ

表-4 タイムラプスカメラの仕様

機種名	Hyke ハイカム LT4G
画像解像度	1200 万画素 (1.2m×0.9m 範囲で 0.3mm/画素相当)
トリガースピード	0.65 秒
データ保存形式	静止画: JPG/動画: MOV
画 角	52°
赤外線タイプ	ノーグロー (940nm)
赤外線照射距離	20m
タイムラプス機能	30 秒~24 時間
電 源	6V 乾電池 or 外部電源
本体サイズ	15×12×7.5 cm (+アンテナ 17 cm)
重 量	450g
防塵防水規格	IP65
データ無線通信	LTE : Cat4
データ送信	静止画・動画 最大 24Mb

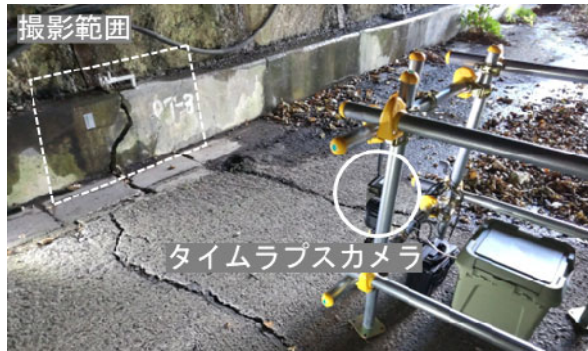


写真3 撮影状況（上：トンネル覆工，下：模擬変状）

つづいて、AI 画像解析モジュールを使用して取得した画像のひび割れを抽出し、そのひび割れ量を EXCEL で集計した。AI 画像解析は畳み込みニューラルネットワーク²⁾をベースとした既存 AI モジュールを 2 モデル使用した（A モジュール、B モジュールとする）。AI 教師データは日本全国のコンクリート構造物におけるひびわれに関する写真に、正解情報を付与したデータを用いた。なお、今回の AI 画像解析では追加学習等は行っていない。

4. 解析結果

図-3にトンネル覆工の画像を用いたAモジュールの解析結果を示す。経時変化図はAI画像解析で抽出したひび割れ長さをひび割れ幅別に積み上げている。この箇所では1時間に1回の画像を3か月間取得し、すべての画像を解析した。既存AI画像解析モジュールは正対画像が推奨されているが、撮影画像は完全に正対した状態ではないため、CAD図と重ね合わせを行いひび割れ延長の補正を行った。図中の破線は実測値を示す。なお、撮影期間中にひび割れ長さを数回実測したが有意な変化は認められていない。

図-3に示したAモジュールの長期間の解析結果では、AI画像解析のひび割れ延長が200～1000mm程度と大きく変化していることがわかる。撮影に使用したカメラは照度により熱赤外線撮影に切り替わるため夜間は既存モジ

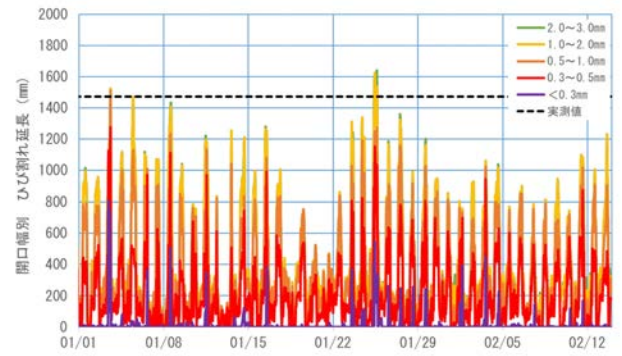
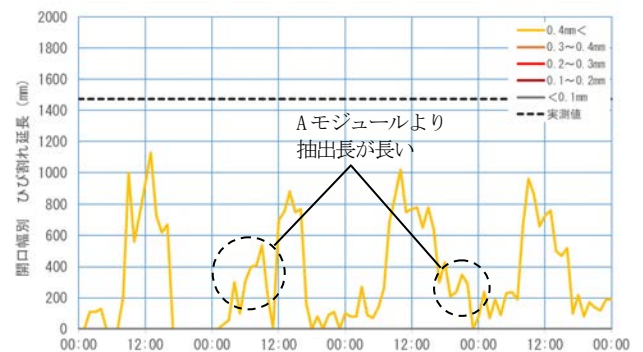
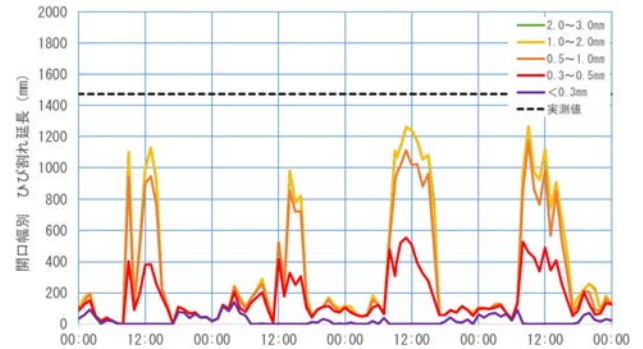


図-3 トンネル覆工解析結果

図-4 トンネル覆工解析結果（短期間拡大）
（上：Aモジュール，下：Bモジュール）

ジュールによる抽出率が極端に低下する。また、日中も照度や光のあたり方により、抽出されるひび割れ延長が大きく変化すると考えられる。つづいて、短期間の2つのモジュールの解析結果を図-4に示す。2つのモジュールは抽出レンジ（幅の取り方）が異なるが総延長で比較した場合、概ね同様の変動傾向を示した。下記に各モジュールの特徴を示す。

- ひび割れ総延長はBモジュールよりAモジュールの方が相対的に長い。
- Bモジュールは0.4mm未満のひび割れが検出されていない。
- 照度の低い時間帯では、AモジュールよりもBモジュールの方が抽出長が長くなることがある。

これらのことより、比較した画像解析期間では、Bモジ

ジュールよりもAモジュールの方が小さな幅のひび割れまで抽出しているが、照度が低い時間帯の抽出長はBモジュールの方が大きいことがわかる。

つづいて、模擬変状のひび割れの変化の状況を図-5に示す。模擬変状はモルタル板背後に設置したジャッキで加圧し、ひび割れを伸長させながら1分間隔で画像を取得した。

次に、図-6に模擬変状の二つのモジュールの解析結果を示す。いずれのモジュールも模擬変状のひび割れ伸長に合わせて変位量が増加していることが確認できるが、右記の特徴が読み取れる。

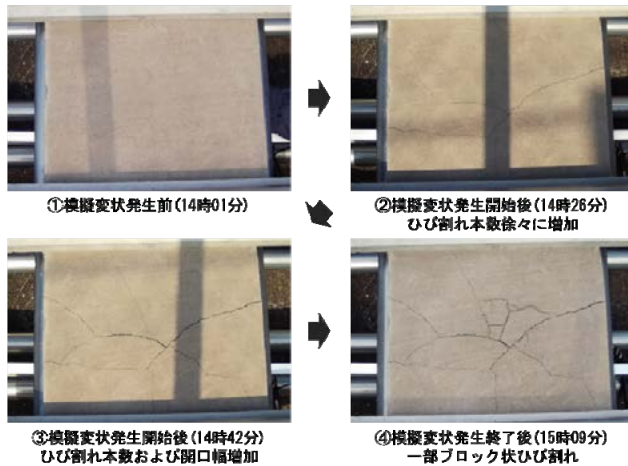


図-5 模擬変状のひび割れ伸長状況

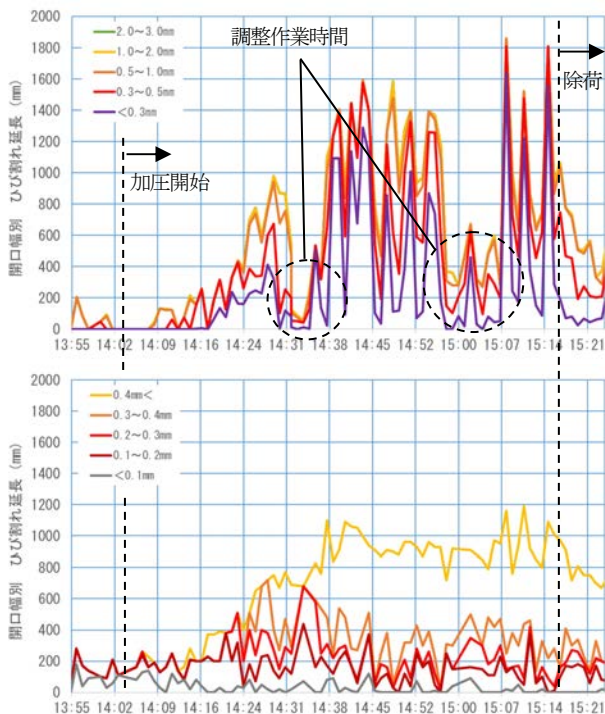


図-6 模擬変状解析結果
(上：Aモジュール，下：Bモジュール)

- ・ ひび割れ総延長はBモジュールよりAモジュールの方が相対的に長い。
- ・ Bモジュールは変状を発生させる前から100～200mmのひび割れを抽出している。
- ・ Aモジュールは、影の映り込みが多い時間帯（加圧装置の調整時間14:30～14:40、15:00～15:10）にかけて抽出長が減少している。
- ・ Aモジュールは14:40以降も抽出量が大きく変化している。一方、Bモジュールは0.4mm未満の抽出長が減少している。

撮影日は、雲の影響により照度が変化している他、日当たりがよい時間帯は影が映りこんでいた。これらのことから、一定の照度条件下ではAモジュールの方がひび割れの抽出精度が高いものの、Bモジュールの方が照度の影響を受けにくいと考えられる。

5. おわりに

本研究では、これまでリアルタイムモニタリングが困難であったコンクリート構造物のひび割れについて、変状の進行状況を可視化する手法を検討した。安価なタイムラプスカメラと既存のひび割れ抽出モジュールを用いることで、ひび割れの伸長を定量化することに成功した。一方で、既存のひび割れ抽出モジュールは、好条件（照度や正対画像）での撮影を基本条件としているため、同画角であっても照度が異なる画像では、ひび割れ抽出精度が大きく異なる。今後は、撮影条件の変更（撮影時の点灯や照度測定）や異常検知方法の検討（定時比較や移動平均比較）、AI画像解析の追加学習等を行い、社会実装に向けた検討を進める。

謝辞：本研究にあたり、福井河川国道事務所、姫路河川国道事務所には、現地調査における様々なご協力を頂いた。深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) インフラメンテナンス総合委員会 新技術適用推進小委員会：モニタリング技術活用のための指針（案），公益社団法人土木学会，2022
- 2) Ronneberger, O., Fischer, P., and Brox, T.: U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation, Proceedings of the 18th International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, pp. 234-241, 2015.