

ドローン撮影画像を用いた 簡易な路面ひび割れ測定技術の開発

其 田 直 樹・相 田 尚・高 幣 玲 児

自転車競技場をはじめとする車両走行が困難な路面では、舗装修繕の時期や規模の検討のため、目視・スケッチによる人力でのひび割れ調査を実施している。目視・スケッチによる路面のひび割れ調査は、人手と時間、さらには正確性の面で課題があることは周知の事実である。本稿では、ドローンやAI推論といった最新技術を活用し、ひび割れの延長や幅を簡易的に測定できる技術の開発を行い、人力による苦渋なひび割れ調査業務の生産性向上に取組んだ技術開発の内容を報告する。

キーワード：ひび割れ調査、ドローン、画像処理、AI推論、生産性向上、苦渋作業軽減

1. はじめに

わが国の道路施設の維持修繕比率は、今後増加していくことが予測されている。道路施設の維持修繕は、道路施設を良好な状態に維持していくために必要であるが、維持・修繕に関わる予算には限りがあるため、道路施設の状態を的確に把握し管理することが重要である。

一般的に、舗装修繕の目安の一つとして、舗装路面のひび割れの数や幅、形状から舗装修繕実施の時期や規模を検討している。舗装路面の状態を把握するために行われるひび割れ調査の手法は、目視・スケッチによる人力での調査の他、路面性状測定車による調査がある。近年、路面性状測定車の普及により、供用車線のひび割れ調査は人力での調査と比べ短時間で広範囲の測定・評価が可能となっており、その有効性が証明されている。しかしながら、路面性状測定車の適用範囲はあくまで車両が走行できる路面上に限定されている。例えば、自転車競技場をはじめとする車両走行が困難な路面（図-1）では、未だに人海戦術による人力調査が実施されている（写真-1）。目視・スケッチによる路面のひび割れ調査は、人手と時間、さらには正確性の面で課題があることは周知の事実である。

そこで、路面性状測定車が走行できない路面を対象とした、ひび割れの延長や幅を簡易的に測定できる技術の開発を行い、人力による苦渋なひび割れ調査業務の生産性向上に取組んだ。本稿では、ドローンを活用した測定方法や解析方法の検討の考察と一部実路面の測定成果について述べる。

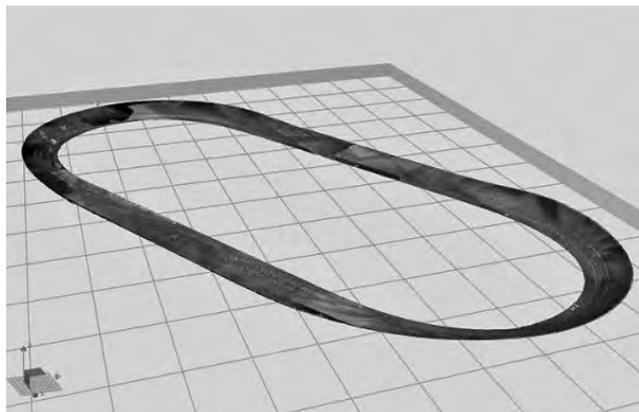


図-1 自転車競技場車路



写真-1 目視によるひび割れ調査状況

2. ひび割れ調査に関する現状の課題と開発目標

(1) 現状の課題

路面性状測定車が走行できないような、ひび割れ調査の省人・省力化が困難な路面では目視・スケッチによる路面のひび割れ調査が実施されているが、目視・

スケッチによる路面のひび割れ調査には以下の課題がある。

- ① 3～4人の人員を要する巡回作業は、労力と時間を必要とする。
- ② 目視によるひび割れの幅や延長の測定は、個人ごとに測定精度にばらつきがある。
- ③ 路面のひび割れをスケッチした図は、平面図への再現性が低い。
- ④ 人力によるひび割れ調査は、屈伸作業を継続するため苦渋作業となる。

(2) 開発目標

(1) に示した課題を解決するため、路面のひび割れ測定技術の開発における目標を以下の通り設定した。

- ① ドローン等の活用により、現地での測定作業を省力・省人化させる。
- ② 画像解析技術の活用により、ひび割れの抽出作業を自動化させる。
- ③ 抽出対象とするひび割れの幅は1mm程度を上限とし、段階的なひび割れ幅の区分けを行う。
- ④ 自動抽出されたひび割れを積算し、平面図へ描写させる。

3. ドローン飛行高度の検討

通常ドローンを用いた写真測量は、約50m前後の飛行高度で十分なラップ率を確保しながら撮影を行い、取得した画像を解析し、オルソ画像や点群データを作成している。しかしながら、50m前後の飛行高度ではミリメートル単位のひび割れを認識する画像を取得することはできない。そのため、ミリメートル単位のひび割れを認識することが可能な飛行高度の確認が必要である。ここで用いるドローンは、入手が容易で比較的安価なDJI社製Phantom4Proを選定した。

1mmのひび割れを対象に、ドローンの飛行高度を5m、10mと変化させ、各高度から撮影した画像からひび割れが認識できるか確認した(図-2)。飛行高度5mの画像では3ピクセル程度、飛行高度10mの画像では1ピクセル程度の解像度で認識することができた。

ドローンの飛行高度が5mの場合、飛行高度10mと比較して1mm幅のひび割れをより鮮明に認識することが可能だが、対象路面の取得画像枚数が膨大になり、画像解析の負荷が大きくなることが懸念されるため、簡易な測定手段の観点からドローンの飛行高度は10mが最適であると判断した。

4. 処理フローの検討

本測定技術は、ひび割れの延長や幅を簡易的に測定することを目的としているため、ドローンにより撮影された大量の写真から生成されるオルソ図に映し出されるひび割れをコンピュータに推論させるAI推論を処理フローに組み込んだ。処理フローを図-3に示す。

ドローンを用いて路面を撮影する場合、飛行高度を下げることでより鮮明な路面を撮影できることは先述したが、一枚の画像に収まる路面サイズは高度を下げるほど小さくなる。そのため、ドローンの飛行高度10mから撮影された画像から生成されるオルソ図の解析処理は、通常のPCで扱えるようなファイルサイズには収まらない。処理を円滑に行うため、生成されるオルソ図を分割して、劣化部を解析、解析結果をオルソ図に戻し、積算結果を出力するフローとした。

(1) オルソ生成

オルソ生成とは、ドローンが連続して撮影した静止画を画像の特長とメタ情報である緯度・経度情報をもとに幾何的に画像の位置関係を導き、上空から平面投

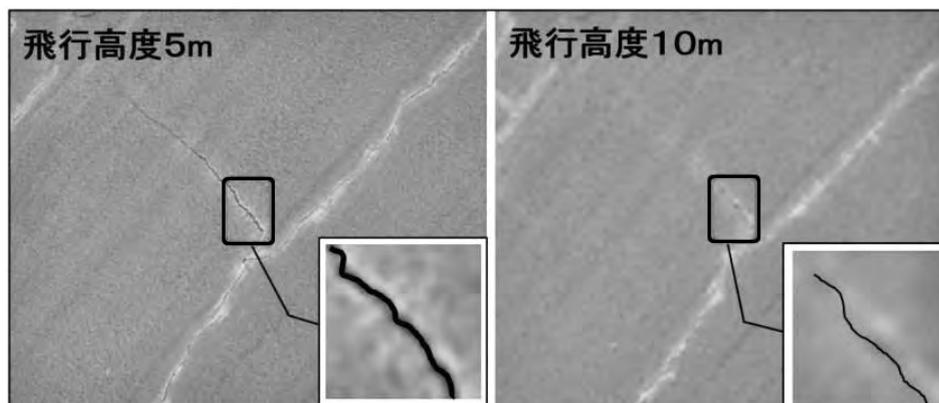
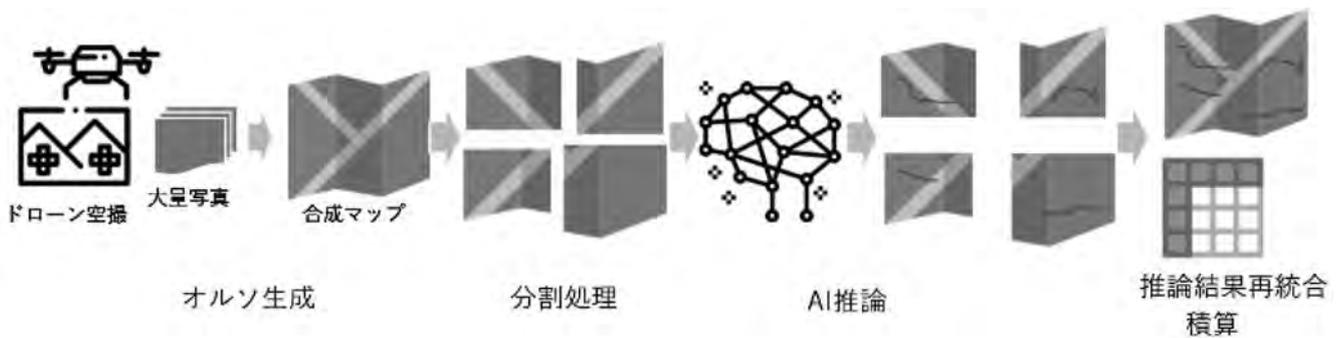


図-2 ドローン飛行高度5m、10m時の画像拡大



図—3 本測定技術の解析処理フロー

影された画像を生成する処理である。ここで生成されるオルソ図より AI 推論を実行するため、本処理では実解像度のままオルソ生成できる仕様とした。

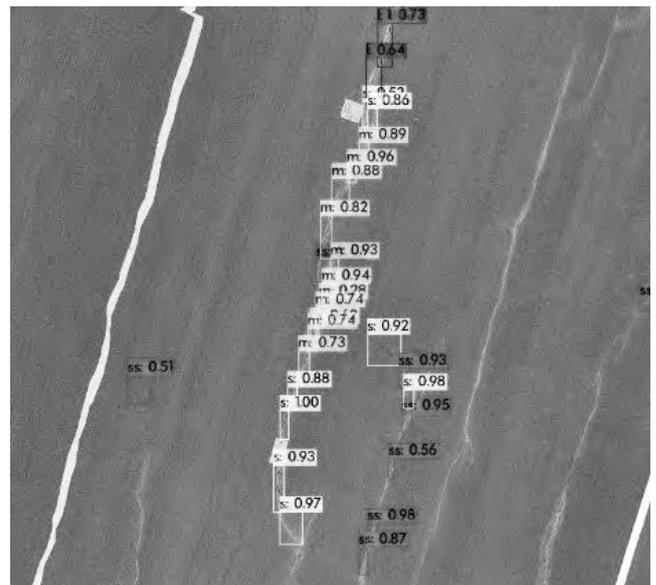
(2) 分割処理

延長約 2 km、幅員 10 m の路面をドローン飛行高度 10 m の一定高さで撮影した場合、その画像から生成されるオルソ画像は、解像度長さ方向で 10 万ピクセルを超えるものになる。この巨大なファイルを PC で AI 推論処理させることは、高性能なワークステーションですら難しい。よって、今回は画像を一定のピクセル幅に分割するツールを準備した。本ツールの準備により、AI 推論処理を切れ目なくバッチ処理化でき、推論速度を向上させることができた。また、ひび割れ抽出した結果を全体画像に描写できるように、分割した画像と、基となる画像における分割画像位置を記録した座標ファイルを出力できるよう準備した。

(3) AI 推論

AI とは、言語の理解や推論、問題解決などの知的行動を人間に代わってコンピュータに行わせる技術のことを言い、大量の学習データで生成しておいた推論モデルに当てはめて、その結果を導くことを AI 推論と言う。本測定技術では、事前に準備したひび割れ抽出用推論モデルを用い、一定のピクセル幅に分割したオルソ図からひび割れを抽出している。また、ひび割れ幅 1 mm の正常な抽出有無の評価のほか、ひび割れ幅の大きさを段階分けした推論が可能か評価するため、既に構築していたひび割れ抽出用推論モデルを基に新規にひび割れ幅を区分けできる推論モデルを作成した。

推論エンジンは、パブリックドメインである YOLO V3 を採用することとした。採用理由は、ひび割れ形状の殆どが濃淡（暗く落ち込んでいる窪みがクラックである可能性が高い）で判別されることが多く、対象



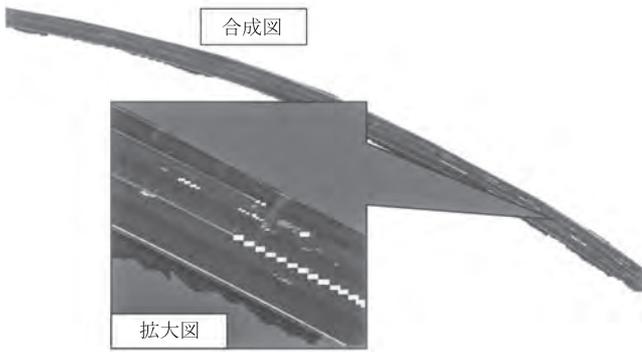
図—4 推論結果描画

路面は平均的にグレーであるため、複雑な対象は存在しないため、本エンジンを活用することが推論にスピード面、性能面で有利と判断した。

モデル設計は、ひび割れがそこにあるか否かを判断させるため、撮影された写真と予測ひび割れ形状がどれほど重なって見えるかを示す指標「IoU」が高くなるよう推論モデルを作成した。なお、推論した結果は、幅情報と長さ情報、画像における座標を出力している。画像に対してはどこかをひび割れとして推論したかを矩形で括った合成画像も出力している（図—4）。

(4) 推論結果再統合

推論した個別の結果画像だけでは情報を俯瞰的に観察できないため、分割処理する前のオルソ図に AI 推論結果が描画された画像を合成する手段を構築した。4.2 で生成した位置関係を示す座標ファイルをもとに、オルソ図にひび割れの状態が描かれるように工夫した。この処理の実装にて、大量にある写真を再統合して描画することが可能となった（図—5）。



図一五 推論結果の再統合イメージ

(5) 積算

路面に意図的に描いたスケール情報、あるいはセンターラインの長さ等を既知のスケールとして、画像のピクセル当たりの実距離から積算比率を計算し、ひび割れのピクセル情報をミリメートルに変換し、合成対象の積算結果を出力した。

5. 処理フロー内で発生した課題と克服手段

(1) 高精細かつ大量データのオルソ生成

対象閾値をひび割れ幅 1mm としてオルソ図をファイル化するためには、メモリ空間として莫大な容量を必要とした。そのため、ディスク領域を仮想的にメモリに充てて、結果を出力させた。しかし、ここで合成されたファイルをもとに分割画像を生成しようとしても、理論上は成立するコンピュータリソースでも計算結果があまりに遅く、現実的ではないため、入力画像数を複数に分割にして合成する手順を踏んだ。

(2) AI 推論における重複積算

AI 推論で劣化診断を行うことで問題となることは、先に触れた「IoU」の高いものが同一個所に複数発生する場合が課題として残る点にある。この課題に対して、解析結果から得られる場所情報を一度別領域

として格納し、その領域を認識した結果の小さいものから大きいものまで重ね合わせて演算し、重複位置を小さいものから順に削除することで、重複カウントを回避した。

6. 試行

目視によるひび割れ調査した結果と本測定技術が推論した結果を比較検証した。

(1) 検証内容

目視によるひび割れの幅と延長はあらかじめ現地路面にチョーキングし、合成されたオルソ画像より手計算にてひび割れ数量を算出した。対して本測定技術は、オルソ図を AI 推論処理し、抽出された結果をひび割れ幅毎に積算した。入力画像と推論結果を合成した画像の一部を図一六に示す。

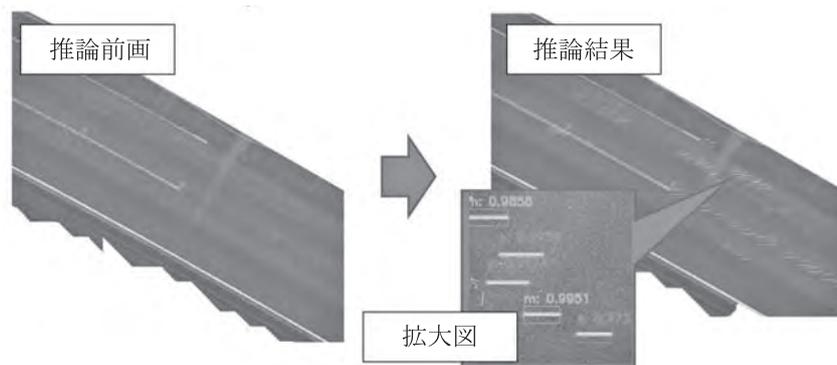
(2) 検証結果

試行箇所の手計算によるひび割れ長は、約 20.8m となった。これに対し本測定技術が推論した結果は表一に示す結果となった。なお、本測定技術の推論において、絶対値(ミリメートル変換値)の導き方は、オルソ画像のピクセル当たりの幅を路面の破線ラインの延長から導きだし、ピクセルをミリメートルに変換している。

表一より、本測定技術の推論結果は約 21.5m となり、手計算による算出結果との検出誤差は約 1割以内

表一 試行箇所の測定結果

幅	長さ(単位:mm)
S(1-5mm)	7578
M(5-10mm)	13127
L(10mm<)	772
計	21477



図一六 試行結果確認画面

表一 作業時間の比較

	現地調査作業			事務所作業		
	人員	時間	計	人員	時間	計
目視・スケッチ	3人	2時間	6時間	1人	1日	1日
本測定技術	2人	0.5時間	1時間	1人	0.3日	0.3日

内の結果となった。目視によるひび割れ調査の精度を鑑みれば、良好な結果が得られたと言える。ただし、表一 1 の幅分類に関しては、AI 推論のための分類に利用しているだけであり、厳密にその幅が確かか否かまでは検証を行っていない。

(3) 生産性向上の考察

本測定技術を生産性向上の観点からその有効性を考察した。延長約 200 m の対象路面において、ひび割れ調査を目視・スケッチにて実施した場合と本測定システムを用い測定した場合の作業時間の比較を表一 2 に示す。

表一 2 より、現地調査作業は約 81%、事務所作業は約 70% の生産性向上が確認できた。

7. まとめ

本測定技術の開発で得られた成果と知見をまとめると以下の通りである。

- (1) ドローンから撮影される画像は、低空の方がより鮮明な画像であり、ひび割れを認識することにおいて有利である。ひび割れ幅 1 mm を認識できる飛行高度は 10 m 以下であることから、運用面を鑑み飛行高度は 10 m が最適高度である。
- (2) AI 推論を解析に用いる場合、処理可能なコンピュータリソース (CPU 負荷、メモリ搭載量) を軽減するためと、解析処理速度を確保するために対象のオルソ図を分割する必要がある。
- (3) AI 推論により生じる可能性があるひび割れの重複カウントを回避する機能を実装した。また、AI 推論により得られた結果はオルソ図へ描写され、自動積算されるフローとした。
- (4) 試行結果より、目視・スケッチによる路面のひび割れ調査の結果と本測定技術が推論した結果は、誤差 1 割以内に収まっている。
- (5) 本測定技術は、目視・スケッチによるひび割れ調査と比較して、現地調査作業において約 81%、事務所作業において約 70% の生産性向上が確認された。

8. おわりに

本測定技術は、今まで人力でしか測定することができなかった路面を対象に、ひび割れ調査にドローンと画像 AI 技術を活用することで、調査業務の生産性向上が確認できた。また、勾配のきつい斜面等の人が近づくことが難しい場所での測定を回避することで、身体的な苦痛を軽減し、安全性向上へも寄与できる。今後さらに、本測定技術を実路面で試用し、更なる測定精度の検証を行い、改良・改善に努める所存である。

JICMA

《参考文献》

- 1) Joseph Redmon, Ali Farhadi: YOLOv3 An Incremental Improvement, arXiv, 1804.02767, 2018
- 2) 水産庁漁港漁場整備部整備課：無人航空機 (UAV) を活用した水産基盤施設の点検の手引き 03, 2019
- 3) 岩崎亘典 (OSGeo 財団日本支部), 水谷貴行 (バーズアイ・リサーチ研究会 株式会社エコリス): Open dronemap ハンズオン 28, 10, 2017, 地理情報システム学会

【筆者紹介】



其田 直樹 (そのだ なおき)
 (株) NIPPO 総合技術部 ICT 推進グループ
 係長



相田 尚 (あいた ひさし)
 (株) NIPPO 総合技術部 生産開発センター
 センター長



高幣 玲児 (たかしで れいじ)
 (株) ビー・ナレッジ・デザイン
 代表取締役