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

㈱NIPPO 総合技術部 ICT 推進グループ　○其田　直樹
㈱NIPPO 総合技術部生産開発センター　相田　尚
㈱構造計画研究所次世代事業開発部　高幣　玲児

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では，未だに人海戦術による人力調査が実施されている。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。

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。本報告では，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ものである。

２．ひび割れ調査に関する現状の課題と開発目標

2.1　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。

①3~4 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，炎天下の中，屈伸作業を継続するため苦渋作業となる

写真－1　目視によるひび割れ調査

図－1　ひび割れのスケッチ図

2.2　開発目標

2.1 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ドローン等の最新技術の活用により，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。

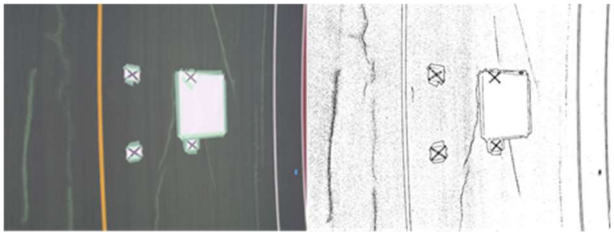
④自動抽出されたひび割れを積算し，平面図へ描写させる

３．ドローン飛行高度の検討

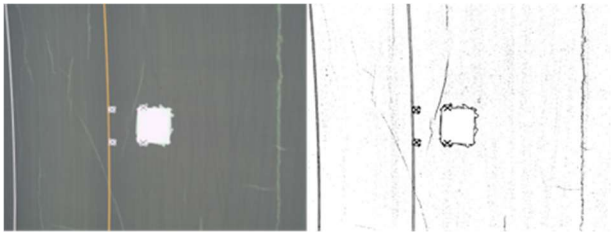
通常ドローンを用いた写真測量では，約 50m 前後の飛行高度で十分なラップ率を確保して撮影を行い，取得した画像を解析し，オルソ画像や点群データを作成している。しかしながら，この手法ではミリメートル単位のひび割れを認識することはできない。したがって，ミリメートル単位のひび割れを認識することが可能な飛行高度の検討を行う必要がある。

3.1　飛行高度別のひび割れ認識試験

1mm のひび割れを対象に，ドローンの飛行高度別に路面を撮影した。路面には，撮像からひび割れの詳細寸法が計測できるように，基準物となる紙を張り付けている。図－2，3 にドローン飛行高度別の撮像とひび割れ特徴量を抽出した線分化図を示す。

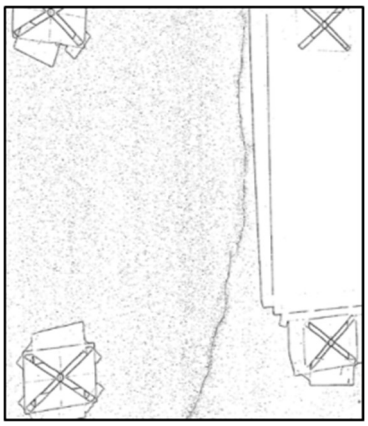


図－2　ドローン飛行高度 3m の撮像と線分確認



図－3　ドローン飛行高度 5m の撮像と線分確認

解像度あたりのピクセル数とドローンの最大画質（幅 5472，長さ 3684）から，ひび割れ幅 1mm をターゲットとした場合，１mm＝1 ピクセルと設定すると，高度 5m から撮影する必要があった。



図－4　ドローン飛行高度 5m の線分図拡大

3.2　最適高度の選定

ドローンの飛行高度を 5mとした場合，飛行計画経路を活用したドローンの自動航行やオルソ画像の生成が困難であるため，ドローンの飛行高度は 10m が最適であると判断した。また，十分な解析情報は無いが，ドローンの飛行高度 10m でも撮像に 1mm のひび割れらしき特徴が存在していたため，後述の AI モデルのトレーニング対象とした。

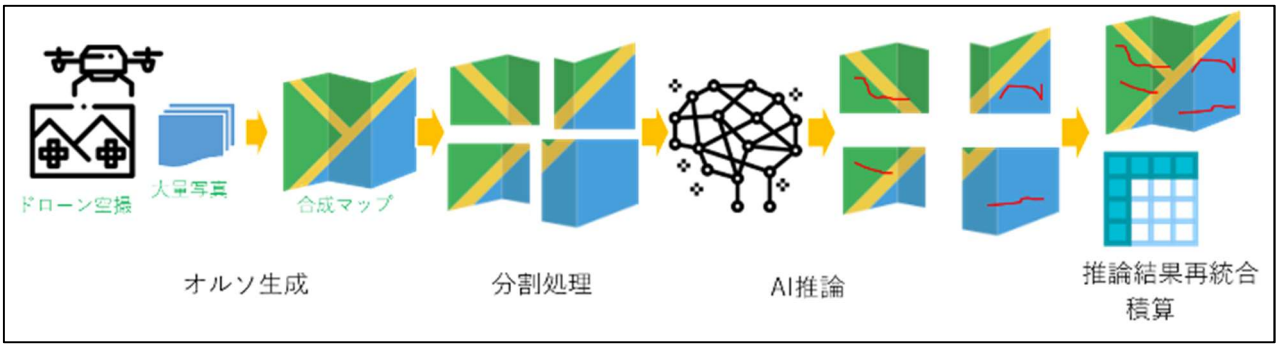
４．処理フローの検討

本測定技術では，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－5 に示す。

また，オルソ図は通常の PC で扱えるようなファイルサイズには収まらないため，それらを分割して，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。

4.1　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，上空から平面投影された画像を生成する処理である。本処理では精度をあげるため，先に触れたドローン飛行高度 10m の一定高さで撮影された画像を合成した。



図－5　本測定技術の解析処理フロー

4.2　分割処理

延長約 2km の路面をドローン飛行高度 10m の一定高さで撮影された画像から生成されたオルソ画像は，解像度長さ方向で 10 万ピクセルを超えるものとなった。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。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，元となる画像における分割画像位置を記した座標ファイルを出力できるよう準備した。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。

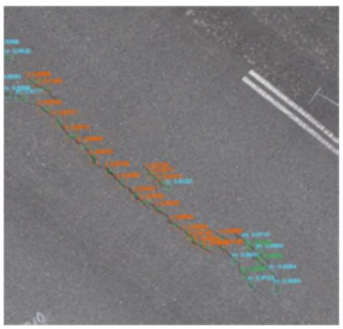
4.3　AI 推論

AI 推論はひび割れ幅 1mm 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の AI モデルを基に新規の AI モデルデータを作成した。

推論エンジンは，性能面，処理速度面を重視し，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と仮説定義した。本エンジンを活用することは推論にスピード面，性能面で有利と予測した。

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 AI モデルを作成した。そのうえで，推論結果を対象に形状に応じた幅を決め，認識位置を基に長さを求めた。

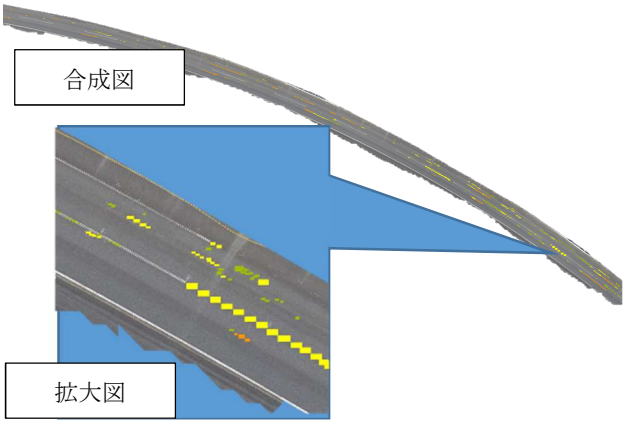
なお，推論した結果は，幅情報と長さ情報，画像における座標を出力している。画像に対してはどこをひび割れとして推論したかを矩形で括った合成画像も出力している（写真－3）。



写真－3　推論結果描画

4.4　推論結果再統合

推論した結果画像だけでは情報を俯瞰的に観察できないため，4.2 で分割する前のオルソ図に 4.3 で描画した画像を合成する手段を検討した。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。推論結果の再統合イメージを図－6 に示す。



図－6　推論結果の再統合イメージ

4.5　積算

AI 推論した際に，クラックを矩形にてまとめ，そのピクセル長にて長さ・幅とした。その際に，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を既知のスケールとし，ピクセル当たりの実距離を用いて，積算比率を計算，ピクセルをミリメートルに変換後，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

5.1　高精細かつ大量データのオルソ生成の課題

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あてて，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を行った。

5.2　AI 推論における重複積算課題と克服法

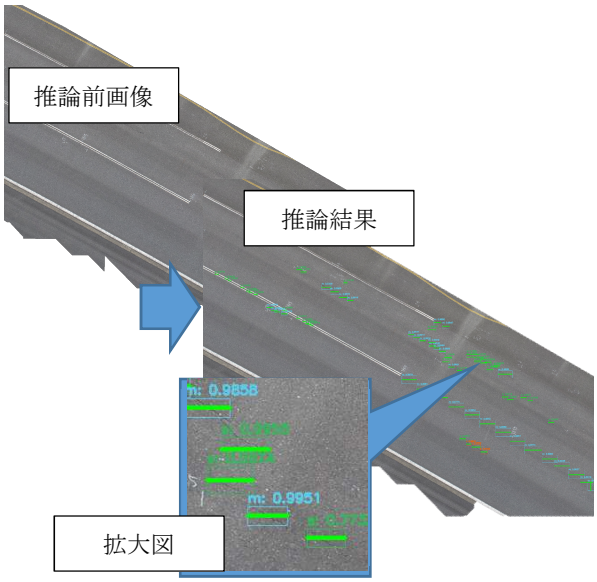
AI 推論で劣化診断を行うことで問題となることは，先に触れた「IoU」の高いものが同一個所に複数発生する場合が課題として残る点にある。この課題に対して，解析結果である場所情報を一度別領域として格納し，その領域を認識した結果の小さいものから大きいものまで重ね合わせて演算し，重複位置を小さいものから順に削除することで，重複カウントを回避した。

６．試行

現地路面を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。

6.1　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，同じオルソ画像を AI 推論で抽出された結果をオルソ画像に描画し，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－7 に示す。



図－7　試行結果確認画面

6.2 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－1 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（mm 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た。

表－1　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

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よりもひび割れ長が約 0.7m 多く推論されたが，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。

なお, 図－6 に示した直線距離 210m の合成画像の本測定技術による推論結果は表－2 に示す通りとなり，おおよそ手計算による算出結果と一致することがわかった。

表－2　直線距離 210m の推論結果

幅	長さ（単位:mm）
S(1-5mm)	73291
M(5-10mm)	73753
L(10mm<)	73481
計	220525

ただし，表－1、2 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。

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) ひび割れ幅 1mm を測定対象とした場合, DJI 社製ドローンの飛行高度は 5m までが有効である。しかしながら, 運用面と測定精度を鑑みると飛行高度は 10m 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画像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画像へ描写され，自動積算される。

(4) 試行結果によると，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。

また，ひび割れ調査にかかる測定人員および時間を比較すると，直線距離 210m を目視・スケッチによる人力調査を行った場合，人員 3 名で約 2～3 時間の時間要し，事務所作業は人員 1 名で約 1～2 日程度要する。対して，本測定技術は，人員 2 名でのドローン飛行撮影を約 30 分，取得撮像の PC 読込・演算作業を約 3～4 時間で処理可能であるため，人力作業を必要とする路面のひび割れ調査の生産性が大幅に向上することがわかった。

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 技術活用することで, 調査業務の生産性向上が期待できることがわかった。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ことが確認できた。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。

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