

ドローンを使用した赤外線撮影における、 タイル浮き AI 判定技術の開発

スマートタイルセイバー

菊池 亮 人

建設業において、ドローンを活用した技術の研究が近年加速している。また、建設業就業者の減少も歯止めがかからず、生産性向上を達成するためには、このような新技術採用を積極的に推進し、従来技術を凌駕する必要がある。そのような環境の中、ドローンを活用して AI 技術と融合し、タイル 1 枚 1 枚を認識して浮きを自動判定する技術を開発した。またその技術を応用し、ステンレスシーム屋根の溶接検査をドローンで撮影し効率化した取り組みや、コンクリート（スラブ）のひび割れをドローンで撮影し、自動判定する技術についても研究を進めている。本稿ではドローンに搭載した赤外線カメラで外壁タイルを撮影し、浮きを AI 判定する技術スマートタイルセイバー（以下「本システム」という）を中心に紹介する。
キーワード：ドローン、AI、アルゴリズム、タイル浮き判定、赤外線撮影

1. はじめに

近年、日本におけるドローンの使用環境は整備され、それに伴い、建設・土木の分野での適用件数が増えており、世の中の認知度が大幅に向上している。また、ドローン自体においては、新しい製品が毎年のように多く登場しており、自動飛行技術の向上、フェイルセーフ機能も追加され、ユーザーにとっての使用環境が非常に向上して、身近な製品となりつつある。そのような背景の中、建設業においては、熟練工不足が続く問題が常に取り巻いており、AI・IoT 技術を駆使し、生産性向上を果たさなければならない課題がある。ドローンの特徴としては、①比較的安価である ②小型機器であれば、積載して飛行が可能 ③上空を（一定の制約を受けるが）自由に飛行することができる

ということがいえる。また、操縦にはスキルを要するが、ドローンを取り扱うパイロット会社も多くあり、こちらの要望を伝達すれば、安全に飛行することができるようになった。

ここで、外壁タイル定期調査（建築基準法第 12 条）について、建築物の外壁調査は、半年～3年に一度の頻度で手に届く範囲での打診等による調査、竣工から 10 年を経過した建築物については全面打診等による調査が求められている。全面打診による調査には仮設足場・高所作業車等の設置が必要になるため、建築物の所有者にとって費用負担が大きい。また、人が外壁に仮設足場等を設置して、人が打診検査を行い、人が報告書を作成するというように、マンパワーを非常に多く要するサイクルになっている（写真—1）。また、全面打診に代わり赤外線装置を用いた調査が行われて



写真—1 全面打診による従来の外壁タイル調査例

いるが、建物の高層階での調査が困難であり、判定者の経験やスキルの差により、浮きを正確に判定できていないケースも散見される。そこで、それらの問題を解決し、生産性向上を果たすために、機動性に優れたドローンを活用することに着目した。本稿では建設現場で必要な仮設足場・高所作業車等を削減し、ドローンに搭載した赤外線カメラで至近距離から外壁タイルを撮影し、AI技術を用いた画像解析でタイルの浮きを自動検出する本システムを開発したので、その内容と成果を報告する。

2. 本システムソフト開発概要

(1) タイル自動認識プログラムの開発(写真—2~5)

まず一つ目の課題として、ドローンで撮影した赤外線画像から、タイル1枚1枚を確実に認識できるようにする手法(タイルの自動認識システムのアルゴリズム)について説明する。今回開発したプログラムでは、タイルを確実に認識するために、タイルのエッジ検出によって得られた輪郭線から細かいノイズを取り除

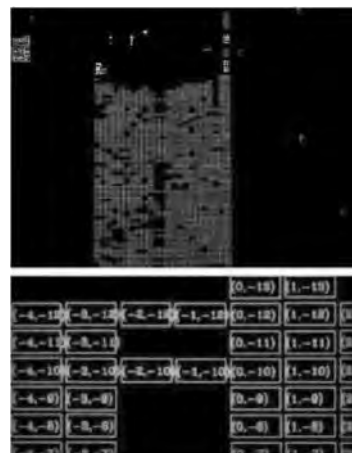
き、タイル線(タイル目地)が途切れている部分をつなげてエッジの強調(補強)を自動で行うことができたようにした。タイルのエッジ線に囲まれた領域を検出し、その中からタイルである可能性が高いタイル矩形を自動判別できるようにする。そして、隣り合ったタイル矩形を定め、連続したグループに色分けし(グルーピング)、そのグループ内でのタイル1枚1枚の相対座標を計算する(アドレッシング)。その後、タイル矩形のグループからタイル格子の形状を予測できるようにした。

本ソフトでは、タイルメッシュ方式を採用し、全てのタイルの四隅座標を情報として保存できるようにした。X軸・Y軸のグリッド線交点を無作為に求めて、それぞれの軸の消失点を推定する。各グリッド線を、推定した消失点を通るように補正を行い、グリッド線のばらつきを抑えるものとした。検出したタイルについて、グリッドを外挿的に適用することで、存在しないグリッド線を推測・補完する手法(エリア拡張)を実装・検証することとした。

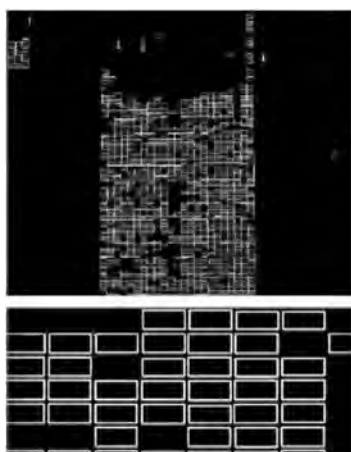
また、タイル種類別認識率においても向上を図って



写真—2 エッジ検出・協調



写真—4 グルーピング・アドレッシング



写真—3 タイル矩形検出

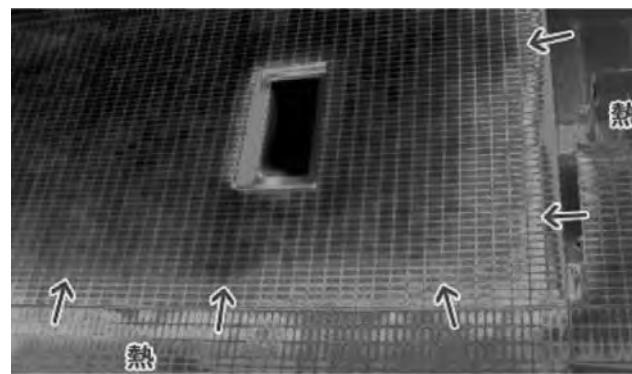


写真—5 タイル格子予測

おり、45二丁タイル以外にも、小口タイル、正方形タイルなど、一般的に使用されている既製品タイルをほぼ認識することができるようになり、汎用性を高めている。

(2) タイル浮き判定基準 (写真—6, 7)

次に、タイル浮き判定の基準について説明する。現場で使用可能なソフトウェアを開発するにあたっては、室外機・窓枠・地上の車などの障害物、地面からの日光の照り返しなど、現実に存在する様々な要素を考慮する必要がある。今回、撮影した熱画像からタイル浮きの典型例である、下地浮き・陶片浮きの判定について、タイルを赤外線撮影し、写真上での熱変化から浮きと判定したもの、実際に打診検査を行い浮きと判定したものを重ね合わせた、膨大な教師データを参考にして、ソフトに実装することができた。また、その他の阻害要因として、日射影響、地面等からの反射熱影響、タイルの模様、タイル縁部分の高温化等があることがわかり、それらについても温度レンジを調整することで、判別ができるようにした。このように、



写真—6 縁部・地面からの反射熱影響状況例

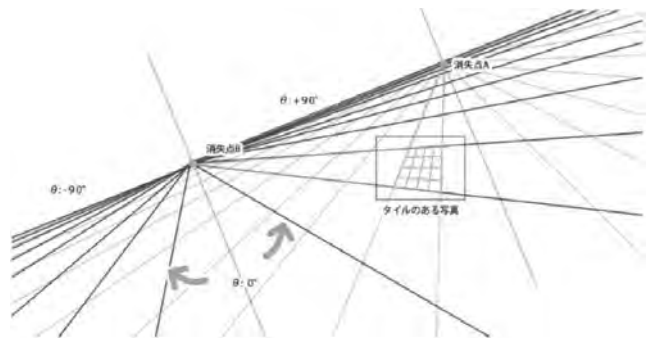


図—1 タイル浮き判定結果

て、赤「浮きの疑いが強い」、黄「浮きの疑いあり」、青「正常」の3段階で評価することが可能となった。

(3) 手動入力・補正ツールの拡充 (図—2)

1枚1枚のタイルを自動認識し、浮きを自動判定することに成功したが、確認したい範囲の設定や、窓枠等の障害物を手動で除去できるように、使い勝手の向上を目指して手動入力・補正ツール機能を追加した。操作手順としては、確認したい範囲の4隅に該当する地点を画面上でクリックして登録するだけで、含まれるタイル枚数を認識することができる。また、遠近率や斜めからの撮影にも対応しており、「2点透視図法」を軸に、「線分検知」・「ヒストグラムピーク解析」を組み合わせて、半自動的なタイル認識を実装した。半自動であるため、画像上から数クリックの操作を要するが、操作時間については、非常に短時間で済み、必要に応じて手動での調整も可能であるため、最終的には、機械学習を取り入れ、精度の高い結果を得ることができた。



図—2 2点透視図法の活用例

3. ドローンを用いた、赤外線撮影手法 (写真—7~9)

建物外壁タイルの赤外線画像を撮影するにあたり、従来は地上から超望遠レンズを用いて撮影を実施しているが、タイルの熱画像をより正確に得るためには、解像度を最大限上げた場合でも外壁タイルから約30m以内で撮影する必要がある。一般的に10階建て程度の建物であれば、地上から赤外線撮影可能と言われているが、それ以上の高層建物では距離が離れてしまうのと、真正面から撮影できず撮影角度も大きくなるため、赤外線撮影によるタイル浮き判定が困難である。また、建物が低い場合においても樹木などの障害物に覆われているケースも多くあり、地上からの撮影が困難な場所は、仮設足場や高所作業車等を設置し、それらを回避して撮影する必要があった。そこで今回

は、ドローンに赤外線カメラを実装することで、それらの問題を解決し、より簡易に撮影を行うことができるようになった。ドローンを飛行させ外壁の近くまで接近することが可能なため、小型赤外線カメラでも解像度が十分であり、樹木がある場合でもその隙間を飛行させて撮影することができた。適用例としては、高さ100m程度の高層ビルで撮影を実施し、赤外線画像でタイル浮きを判定するために十分な撮影結果を得



写真一七 地上からの赤外線撮影状況 (従来)



写真一八 ドローンを使用した赤外線撮影状況



写真一九 赤外線カメラが搭載されたドローン例

ることができた。また、敷地が狭い現場においては、歩道上を飛行させる必要が出てくるケースもあるため、警察や関係各所と協議し、安全を十分考慮した上で、適切な方法でドローンを飛行させることも可能である。また、赤外線撮影の都合上、日射による温度変化により判定精度が左右されるため、その点については注意が必要である。

4. 他のドローンを活用したAI判定技術への展開 (写真一10, 11)

今回のタイル浮きAI判定技術を応用し、ステンレスシーム屋根の溶接不具合部をAI判定する技術についても同時に開発しているので紹介する。

体育館や大ホール等の屋根においては、ステンレスシーム屋根を適用するケースがあるが、ステンレス材同士のハゼ溶接部(重ね合う部分の溶接部)においては、一定の割合で不具合が発生し、雨漏り等の懸念があることから、施工会社の自主検査、元請による社内検査を実施し、是正を確実に行う必要がある。一般的な検査手法としては、熟練者が屋根に這いつくばり、不具合部を目視確認する方法しかなく、個人の主観などにより、不具合が見逃されるリスクがある。そこで、ドローンを活用し、溶接部を撮影することで、不具合をAI判定する技術を開発した。まず、ドローンで撮影された写真については、2秒に1枚静止画撮影しており、それを繋ぎ合わせることができるよう、ソフトを改良した。また、撮影している位置については、リボンテープを用いて、その位置を正確に認識できるようにした。ドローンを活用し、至近距離から一定の角度を保ちながら撮影することで、溶接不具合を画面上で識別できるようにしている。不具合については、パターン別にAI判定できる技術を作り込んでいる。また、溶接部の品質確認を実施したことをエビデンスと



写真一10 屋根ステンレスシーム溶接の自主検査 (従来)

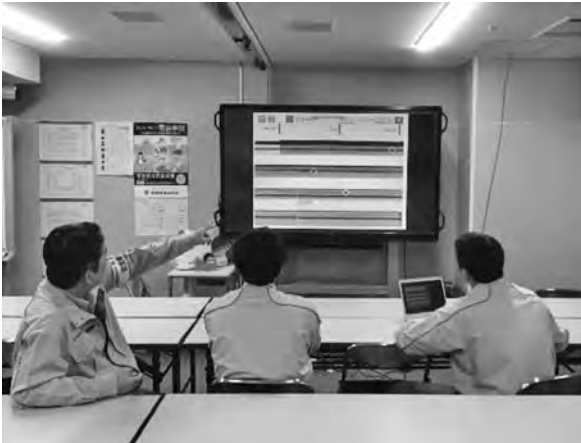


写真-11 屋根ステンレスシーム溶接のドローン検査（新工法）

して残すこともでき、お客様に引き渡し資料に追加することも可能である。このように、熟練者の技量に頼ることなく、机上において複数人で不具合部を確認することにより、品質確認の平準化を図ることができ、検査工数を約48%削減することができた。

5. おわりに

建設業に求められる生産性向上を達成するために

は、機動性の優れたドローンを活用し、新技術と組み合わせる必要性があり、その可能性は無限大である。作業所進捗管理等で撮影されている定点写真においても、ドローンで撮影するケースが増えている。また、ドローンで撮影された広域地上画像を用いて、日々の工事進捗の見える化を行い、作業動線の切り替え、工事計画等へ反映する技術を取り入れている作業所もある。さらに、根切工事の際には、3D スキャナ等と組み合わせる掘削土量を瞬時に計測する技術があり、今やドローンが建設業にとって欠かせない物となりつつある。本稿では、開発例の一部を記載させていただいたが、あらゆる分野でドローンの更なる活躍が注目されており、今後、使用環境が整備され、より身近な存在になることを大いに期待したい。

JICMA

【筆者紹介】

菊池 亮人（きくち あきひと）
 (株)竹中工務店 東京本店 技術部
 課長

