

スマートタイルセイバー[®]

—ドローンを使った AI によるタイル浮きの自動判定システム—

ふかざわ しげおみ
深沢 茂臣

(株)竹中工務店 東京本店 作業所長

1 はじめに

外壁タイルは定期調査(建築基準法第12条)を実施する必要があり、半年から3年に一度の頻度で手の届く範囲で打診等による調査、また、竣工から10年を経過した建築物について「落下により歩行者等に危害を加えるおそれのある部分」は全面打診等による調査が求められている。その後、平成20年の「特殊建築物等定期調査業務基準(2008年改訂版)」において「足場等を設置してテストハンマーで全面打診する方法」と「赤外線調査」が併記された。

高度成長、バブル期に建設された多くの建物は現在外壁タイル剥落による公衆災害リスクの高まりが指摘されている。また、老朽化した建物ストックの増加による、メンテナンス費の所有者負担により、法令に定められた調査が滞るという社会に内在された問題を抱えている。さらに、少子高齢化による調査技術者の不足が顕在化され、働き方改革による労働時間の短縮を推進しながら調査品質を落とさずにコストを抑え、省人化を図る必要が生じている。

2 課題と方策の具現化

課題と方策を以下の三つとし、開発を進めて具現化を図った。

1) 高所部の調査をドローンで実施

全面打診(写真1)による調査には足場を建物全面に設置(写真2)する必要があるため、建物所有者にとって費用負担が多くなる。また、足場を設置するには転倒防止処置として既存タイルの一部に壁つなぎを設置する必要があるため、タイル

の一部を欠損させてしまう。そして、足場が設置できない高層建物の場合は、ローブランコ(写真3)による危険な高所作業が発生し、多くの時間だけでなく熟練した作業員を要する。さらに、全面打診に代わり赤外線装置による調査が行われているが、高層建物では撮影距離が遠いため精度の高い画質を得ることが困難である。

これらの課題に対して、ドローン(写真4)を活用して赤外線撮影を行うことで、対象タイルに正対した近接撮影が可能となり、浮き判断に必要な画像をより正確に取得できるようになった。ドローンによる建物撮影に関しては近隣関係者の理解を得ることを前提に、法令に則り諸官庁と協議を行うことで都心部でも飛行・撮影を行える。また、現在のドローン飛行能力とカメラの性能は日々進化しており、正対距離を長くすることで、今後作業工数と効率を向上させることが可能になる。



写真1 打診調査状況



写真2 足場設置状況



写真3 ローブランコによる調査状況



写真4 ドローン状況

2) 外観写真からタイル割りを作成し、タイル浮き情報の重ね合わせによるデータ作成

外壁図面が残されていない、もしくは紛失した建物の場合、まず現地に即したタイル割り図を作成し、次に報告者がタイル浮き位置をゴンドラで現地打診調査した結果を、タイル割り図と照合しながら、浮いている部分を落とし込むという作業に膨大な時間と手間を要していた。これらの課題に対して、現地で撮影した写真からタイル割りを自動作成する機能を開発した。タイル割り図の作成は、目地に囲まれた四辺のラインを選択することでタイル割りを自動作成後、拡大機能を使って四隅位置を正確に合わせることで完成する(図1)。また、タイル割り上に浮き部分を表示してCADデータで出力できる機能を開発した(図2)。撮影データを熱画像と可視画像に分割して可視画像の陰影よりタイル線を検出しており、不明瞭の部分は近似線を想定補完することで正対できずに角度のついた状況でも正確なタイル割りを作成することが可能となる。つまり、目地の距離を均等割りしてタイル割りを作成しているのではなく、写真の陰影を基に実際のタイル目地に即したタイル割りによりタイル数量を算出している。建物写真からタイル割り図の作成と、現地で計測したタイル浮き情報を照合する手間を大幅に削減した。なお、通し目地、二丁掛けどちらの貼り方にも対応可能である。

3) 技術者の感覚による判断基準をAIにより明確化

タイル打診法や赤外線調査は、調査者の技能や経験に依存しており、個人のスキルによって結果に差異が出る場合がある。また、建物生涯を考慮すると調査期間が長期にわたるため、調査ごとに技術者が交代することにより、調査対象を継続して同一技術者が確認できず、技術者ごとに判断基準が変わる可能性がある。さらに、今までタイルの浮き枚数は浮きが疑われる大まかな範囲内で、調査者の主観で積算しているため、積算数量が実

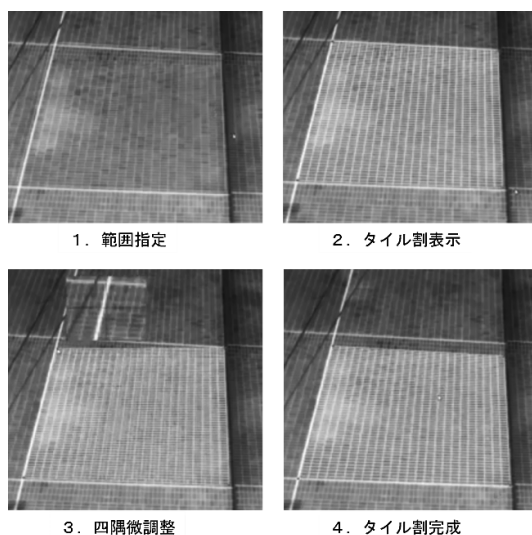


図1 現場写真からタイル割り図を自動作成

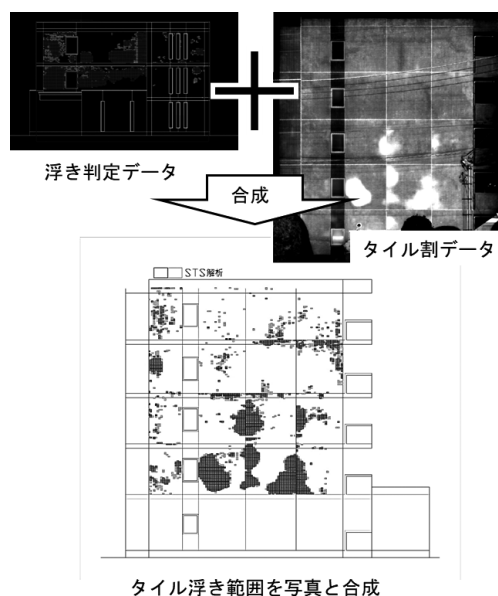
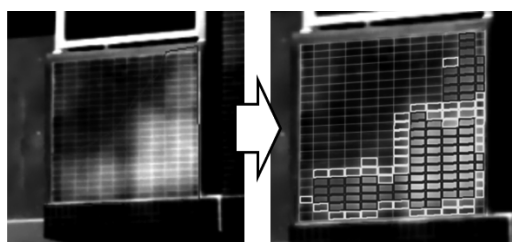


図2 タイル割作成手順

際に浮いている範囲と比較して多くなる傾向にあった(図3)。これらの課題に対して、タイル1枚ごとに浮き判定をAIが行い、赤い範囲が浮きの「疑いが強い」、黄色が「疑いあり」、青が「正常」の3段階で評価することで浮いている割合を危険度ごとに明確化し、人の感覚や経験にとらわれない不具合部分の自動検出機能を開発した(表1)。

タイル浮き判定の考えは、タイルの温度変化を



従来の調査結果イメージ スマートタイルセイバー

図3 判定結果イメージ

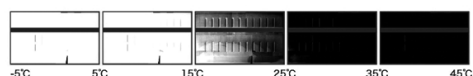
名称	総数量	閾値 (警告)	数量 (警告)	含有率 (警告)	閾値 (注意)	数量 (注意)	含有率 (注意)
03S-01_0×0	1003枚	2.50℃	50枚	5.0%	2.00℃	28枚	2.8%
03S-01_0×1	1350枚	1.00℃	96枚	7.1%	0.75℃	63枚	4.7%
03S-01_1×0	1428枚	1.00℃	132枚	9.2%	0.70℃	37枚	2.6%
03S-01_1×1	1710枚	1.00℃	69枚	4.0%	0.90℃	27枚	1.6%
03S-01_2×0	1292枚	1.20℃	54枚	4.2%	0.80℃	112枚	8.7%
03S-01_2×1	1484枚	0.75℃	57枚	3.8%	0.45℃	101枚	6.8%
03S-01	8267枚		458枚	5.5%		368枚	4.5%

表1 積算結果例

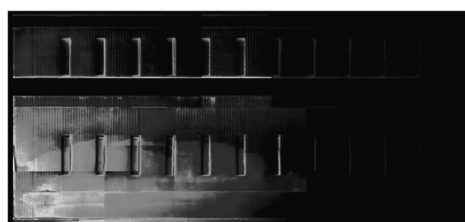
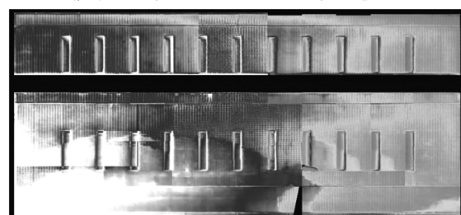
壁面ごとに計測し、手の届く低層部の打診調査より現地に即したタイル浮きの傾向をつかみ、代表的なタイルの閾値を設定する。閾値と隣接するタイル温度差の違いよりタイルの浮きを自動判定するアルゴリズムの考えを基に開発した。また、撮影データを個別に判定するとデータ全体が重くなり、作業負担がかかるため複数の熱画像データをグレースケールで出力後、それらを合成成型するプログラムにより大熱画像に再構築する「ダイナミックレンジ合成」を実装し(図4)、データ操作の負担を軽減して作業効率の向上を図った。出力結果の真意を検証するには、タイルの温度差に関して JPEG データを拡大することで温度を数値として確認することができる(図5)。

そして、タイル浮きの判断基準を明確にするため、下地浮き、陶片浮きなどのタイル自体の浮き判定に対し温度分布を使った基本ルールを策定し、タイルの模様や縁部分の高温部、地面からの反射熱や空調屋外機の熱風、壁からの熱反射、窓枠、車などの障害物を誤認しないようキャンセルする機能を付加して判定精度を高める機能も実装した。さらに、窓などの開口部についてタイルが存在しないエリアに関して除外する機能を実装し

合成/成型後画像を、10℃間隔でグレースケール出力



複数の画像を合成し、熱画像を復元



熱画像に変換された合成整形後画像

図4 ダイナミックレンジ合成

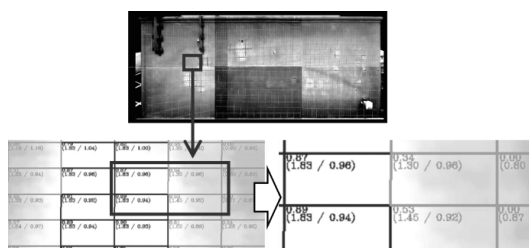


図5 タイル温度表示

ているため、調査対象範囲の正確なタイル枚数の算定が瞬時に可能になっている。

3 特徴と効果

1) タイル割り図を写真から作成

写真をつなぎ合わせることで建物全体のタイル割り図面を作成することが可能となる。

2) タイル1枚ごとに浮き判定

浮いているタイルをタイル割り図上に1枚ごと

に判定確度の強弱をつけて表示が可能となる。

3) CAD データで出力

タイルが浮いている状況を写真とタイル割りを合わせて自動表示が可能となる。

4) 浮き率の明確化

タイル割り図の作成より、タイル総数が分かるため、浮いているタイルの割合が明確になる。

5) 人の感覚に頼らない

AI による判断基準のため誰が操作しても同じ結果となり属人性がない。

以上の特徴によって、従来の赤外線目視判定よりも当社比で解析時間37%、報告書作成時間で85%の省人化が図れた(BELCA の経済性評価取得)。

従来の赤外線目視判定では報告書資料の作成に、解析した浮き部を技術者が手動で CAD 立面図に転記し、CAD 立面図上に連番や数量を記載、タイル枚数を目視で確認し、数量を記載していく必要があり、多くの労力と時間を必要とした。

スマートタイルセイバーでは、タイル浮き情報が.dxf(CAD ファイル)として出力されるため、調査結果図の作成には、CAD 立面図に.dxf ファイルを重ね合わせるだけであり、解析した浮きタイル枚数も.csv(text ファイル)で出力されるため、調査結果図にも数量表にも間違いが起こり得ない。さらに、スマートタイルセイバーの解析では、浮きを閾値から自動的に検出することで、判断基準の数値化がなされているため、技術者による属人性がなく、スマートタイルセイバーの運用マニュアルを理解した技術者であれば、経験の少ない技術者でも解析が可能であり、省人化による経済性の向上とともに、品質の均一化が期待できる。したがって、コスト面で従来の赤外線目視判定より当社比で3割の低減を図ることができ、ロープランコや全面足場の場合と比較するとドローンによる撮影によって、調査のための仮設足場が不要となり、さらに大幅な経済性の向上と足場設置に伴う足場転倒防止

壁つなぎ設置によるタイルの欠損が発生しない。

建設技術者の就労人口が減少していく中で、タイル打診調査や赤外線目視判定の技術者減少も想定され、技術の伝承が難しくなっている。スマートタイルセイバーは、熟練技術者の蓄積された経験や判断知識を AI によってカバーすることで前記課題を克服するという、建設分野に AI を取り入れた技術である。

4 おわりに

マンション入居者の高齢化や住人の退去に伴い、所有者からは修繕積立費の不足により維持管理に必要な調査の簡略化を強く希望するニーズがある。また、多くの物件が老朽化を迎える中、躯体より外装の健全性が疑われる案件が公衆の安全を害し、社会問題化されている。一方、建設業では技術者の高齢化や担い手不足により、このようなニーズへの対応が今後難しくなる傾向にあるため、技術者の補助となる技術の開発による生産性と経済性の向上が求められている。

採用したタワーマンションでは、スマートタイルセイバーを一次診断で活用して足場設置範囲の大幅な削減を行った。スマートタイルセイバーは活用とともに AI が浮きのパターンを蓄積していき、判定精度の向上が図れる。今後は反射率の高いタイル、複数サイズが混ざった壁、セットバックなど、壁面の凹凸が多い壁の計測ができるよう改良を進める。

建設 DX という言葉が浸透する昨今だが、建設と AI のどのような融合が可能なのか、手探りの段階と考える。今回紹介した技術は AI とドローンを活用して今までにない発想で建設業に展開しており、社会インフラを担う建設従事者の一人として社会貢献できる革新的技術だと確信している。

(参考文献)

国土交通省住宅局建築指導課監修『特殊建築物等定期調査業務基準(2008年改訂版)』(財)日本建築防災協会編集・発行