

## 5) - 7 外壁調査における赤外線装置法の診断精度に及ぼす各種環境 要因の定量的検討【持続可能】

### Examination of Various Environmental Factors Affecting the Accuracy of Infrared Diagnostic Methods for Exterior Wall Diagnosis

(研究開発期間 令和2~3年度)

建築生産研究グループ  
Dept. of Production Engineering

武藤 正樹  
MUTOH Masaki

眞方山美穂 (令和2年度)  
MAKATAYAMA Miho

The objective of this research is to quantitatively understand the environmental factors and their relationship to the thermal image, which is necessary to conduct appropriate exterior wall investigations by measuring data such as temperature and solar radiation that affect tile finish delamination, along with the thermal image. In addition, it is anticipated that infrared devices will be increasingly utilized as a diagnostic method for surveys carried by drones and other mobile vehicles. In response to this situation, we also aim to collect basic data. This study revealed some of the environmental conditions under which tile finish delamination are detected.

#### 【研究開発の目的及び経過】

定期報告制度の下で実施する外壁調査は、テストハンマーを用いて行う打診法が基本になっているが、現在、赤外線装置法も用いられている。赤外線装置法は調査結果が画像として記録に残ることや、足場などを設置しなくても調査できる等のメリットがあるため、平成20年4月の定期報告制度の改正以降、広く活用されている。

赤外線装置法による外壁診断手法については、これまでも公社) ロングライフビル推進協会の「タイル外壁及びモルタル塗り外壁 定期的診断マニュアル」をはじめ、赤外線装置を用いた各種調査を実施している協会・団体(以下、赤外線関係協会・団体)より、調査時の条件や調査方法についてのマニュアル等が作成されている。

しかしながら、気温や日射が浮き・はく離の検出にどのような影響を及ぼしているのか、日射の蓄熱量と検出時間等との関係などの定量的な研究はほとんどない。また、調査方法については赤外線関係協会・団体においてマニュアル等が整備されているものの、浮き・はく離を検出する際の判断基準は技術者の経験・知識に依存している。

本研究は、模擬試験体を用い、気温や日射など、浮き・はく離の検出に影響のある要因に関するデータを、熱画像と合わせて測定し、適切な外壁調査を実施するために必要となるこれらの関係性を定量的に検討することを目的としたものである。また、診断手法としての赤外線装置は、ドローン等の移動体に搭載して調査に用いられるケースも増えることが予想されている。本研究では、この状況への対応として基礎的なデータを収集することも目的としている。

#### 【研究開発の内容】

研究は浮き・はく離の診断精度に影響を及ぼす要因の定量的な検討と、今後赤外線装置法の適用が増えることが予想されるドローン等の移動体に搭載した場合の条件を明らかにするための検討の2つである。以下に研究で実施した項目を記す。

- (1) 赤外線装置法による浮き・はく離の診断精度に及ぼす気温と日射の影響に関する検討
  - 1) 赤外線装置法による模擬試験体の熱画像の撮影および気温・日射量等の測定
  - 2) 診断精度に及ぼす気温・日射量等の影響に関する検討
- (2) 新たな環境下で用いられる赤外線装置法の適用限界に関する検討
  - 1) ドローン等の移動体に搭載された赤外線装置の画像に及ぼす環境温度、風量の影響等に関する検討
  - 2) ドローン等の移動体に搭載された赤外線装置による外壁調査方法の検討

#### 【研究開発の結果】

- (1) 診断精度に及ぼす気温・日射量等の影響に関する検討

診断精度を検討するため、模擬的に浮きを作り込んだ試験体を作製し(浮きの位置; タイル表面から30mmの位置、浮き厚さ(3水準); 試験体A・0.1mm、試験体B・0.5mm、試験体C・1.0mm、図1参照)、それらの模擬試験体について日射が当たる直前から日射があたらなくなるまでの数時間の熱画像を、1ヶ月に一回、1年にわたって撮影し、浮き等の検出の状況を分析した(図2に1月の測定結果として赤外線画像みなし温度のグラフを示

す)。その結果、以下のことが確認された。

① 模擬試験体による実験により、浮き厚が大きいほど、日射が当たり始めてから早い時間に検知されること、また浮き厚1.0mm（試験体C）では年間を通して8:30から9:00 ぐらいに検出できていることが確認できた。一方、浮き厚が0.5mm、0.1mmは日射の影響が大きいいため、検出時間のばらつきが確認された。

この結果より、浮き厚が小さい欠陥を検出するためには、時間において複数回撮影する必要があることが明らかとなった。

② 浮き厚が1.0mm（試験体C）では、年間を通して浮きが検知された時の健全部と浮き部の温度差が0.4~0.5℃程度、浮き厚が0.1mm（試験体A）および0.5mm（試験体B）については、季節によってかなり数値的にばらつきが認められた。

表面温度の差で、浮き等の検出を自動的に検出することは困難と考えられる。また、この温度差の違いはどのような理由によって異なるのか、さらに詳細な検討が必要である。

③ 健全部と浮き部の温度差がばらつく大きな原因は、日射量であり、浮き厚さが小さくなるほどその影響が大きく、雲による日射の遮断があると表面の温度が下がり、温度差が小さくなるため、検出に時間がかかる。



図1 写真1 建研敷地内 タイル外壁試験体 (左から A、B、C)

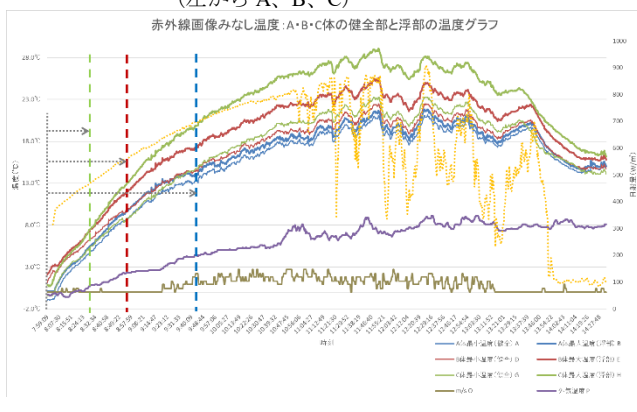


図2 1月の測定結果 赤外線画像みなし温度 (試験体A・B・Cの健全部と浮部の温度差)

(2) 打診により異音と判定した箇所が赤外線装置法により未検出であった原因の調査

広範囲にわたって異音が確認された箇所を、赤外線装置法で浮きを検出できないというケースがあった。これ

については、外気温と平準化した基準熱画像と、日射により熱負荷を与えられた時間ごとの参照熱画像との時間毎の差分処理により、画素単位で温度の変動を抽出することで、打診で異音と確認された部分の欠陥部を検出することができた（図3、図4）。さらに引張接着試験も実施したが、タイルそのものの浮きは確認されなかった。おそらく、躯体の中にじゃんか等による空隙があったものと考えられる。

打診で異音と確認された部分には、タイルの浮きではないものもある。赤外線装置法では検出に時間を要する場合があるため、それぞれの調査法の特徴の違いを踏まえ、調査計画を立案する必要があることが確認された。

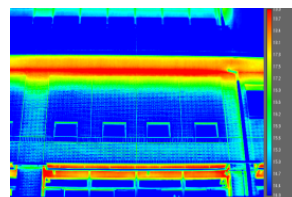


図3 基準画像 6:05分撮影

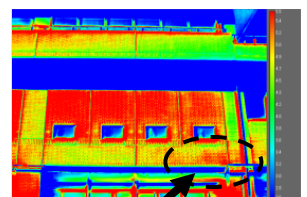


図4 差分画像 10:01分撮影  
打診で異音を判断した部分

2) 新たな環境下で用いられる赤外線装置法の適用限界に関する検討

今後活用が増えると予想される、ドローンに搭載された赤外線装置による外壁調査方法について検討したところ、ドローンに搭載された赤外線装置は、ドローンのプロペラによる吹き下ろしの風により、熱画像の一部に実際よりも低い温度が表示される現象が生じることが確認された（シェーディング現象、図5参照）。

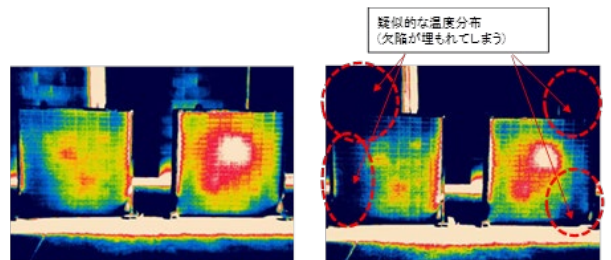


図5 (a) 風の影響なし (b) 風の影響あり  
ドローンの吹き下ろしの風の影響の有無による浮きの検出結果の違い

そのため、ドローンに搭載された赤外線装置を用いる場合は以下のような対策を講じる必要がある。

- ① 調査計画策定時において、使用する赤外線装置がシェーディング現象を受ける可能性があることを、使用状態を再現して確認する（特に、市販されているドローンに搭載されている赤外線装置）。
- ② シェーディング現象が確認された場合、画像の4隅のデータは使用せず、中心部分のみで解析ができるように、画角を調整し、撮影計画を立案する。