

# 赤外線カメラを用いた外壁劣化診断の実践報告

## －訓練用教材の資料作成に向けた取り組み－

住居環境科 諸石 賢一

### Practice of exterior wall deterioration diagnosis using infrared cameras

#### － Efforts to create training materials －

Kenichi MOROISHI

**概要** 独立行政法人 高齢・障害・求職者雇用支援機構（以降：機構）で、第4期中期計画の中で目標として定められていたDXに関する在職者訓練のコースとして、赤外線カメラを活用した外壁劣化診断のカリキュラムを新規に構築するため、令和4年度の総合制作実習を手始めに、2年間にわたり「赤外線カメラを用いた外壁劣化診断」をテーマの一つとして取り組んだ。赤外線の基礎知識、赤外線カメラの取り扱いや赤外線画像の診断技術などの基本的技術を、総合制作実習を中心に取り組み、外部の自治体と共同で外壁劣化診断を実践した結果をここに報告する。

## 1. はじめに

地震や台風の災害の影響によって建物は時間が経つにつれ経年劣化する。特にモルタル仕上げやタイル仕上げの外壁や掲示物等は外気に曝されているため、他の部分よりも短時間で劣化が進行し、劣化により外壁等の剥落による重大事故につながる恐れがあり大変危険である。これを防ぐために平成20年に建築基準法第12条により定期報告制度が改定され、10年に1度の外壁の全面打診調査が追加された。また、劣化診断の新たな診断手法の一つとして、赤外線カメラによる調査方法が認定されている。

しかし、赤外線カメラを用いた外壁の劣化診断の手法は、容易に撮影が可能なることもあり、正しい診断方法が作業現場で活用されずに「誤診」が時に発生することが問題となっていた。

そこで、赤外線カメラを使用した外壁劣化診断を実践し、実際に劣化診断の作業を行うことで、赤外線カメラを用いた外壁劣化診断に対する基本的な理解を深め、在職者訓練等のカリキュラム構築や授業の基礎資料取得を目的として調査を実施することとした。

## 2. 調査の事前準備

赤外線カメラを用いた、外壁劣化診断を行う前に事前準備として赤外線の基礎知識や赤外線カメラの操作方法、撮影方法の基本、解析ソフトの取り扱い等の理解を行った。項目別にその要点をまとめる。

### 2.1 赤外線について

赤外線は人が見ることのできる光(可視光線)より波長が長く、周波数の低い電磁波のことである。また、赤外線には種類があり、近赤外線や中赤外線、遠赤外線に分けられており、赤外線カメラ等で取り扱う範囲は一般的に遠赤外線である。(図1)

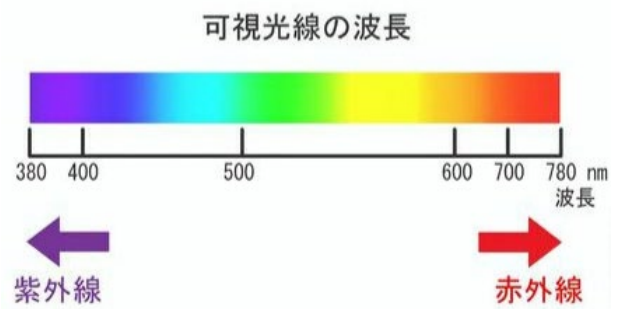


図1：可視光線の波長

## 2.2 赤外線カメラについて

赤外線カメラ（図2）は物質の電磁波の反射を計測し、それらを色別し可視化するものである。赤外線カメラの利用方法として、外壁の浮きや太陽光パネルの不具合、雨漏り、配電盤の不具合の発見などが挙げられる。また、近年では非接触での体温計測にも利用されている。外壁の劣化診断に赤外線カメラを利用する際は、撮影条件が限られており、正しい条件で撮影を行わなければ正確な診断を出すことができないことを理解しておかなければならない。



図2：赤外線カメラ InfRec R550

## 2.3 撮影方法の基本的な考え方

赤外線カメラで正確に劣化診断するためにはいくつかの最低条件がある。①晴天日の日中の気温変動が5~8℃はあること②撮影を行う物質が反射率の低い物質であること③撮影を行う対象物に対する角度が45°以内であること④風速が5m/s以下であること⑤壁面に十分な受熱があること⑥雨天時には調査を行うことができないこと⑦解析に必要な最低限の画像解像度があること⑧異なった環境条件の下で撮影を行うこと、などの条件がある。

## 2.4 解析ソフトについて

解析ソフトは赤外線画像を読み込んで画像の温度帯の変更や画像の中で選択した範囲内の最高や最低温度の表示、指定した箇所の温度表示など、赤外線画像をより詳細に診断を行うためのソフトである。例えば温度帯が広く、外壁の温度差が分かりにくい画像(図3)もソフトを使用して編集することで色の違いが鮮明になる。(図4)また、温度表示のない画像

(図3)では色の違いは判断できるが、実際の温度差を判断することは困難である。しかし、温度表示を設定する(図4)ことによって温度差が明確になり、外壁の劣化診断を正確に行う際の材料の一つとすることができる。



図3 解析前の赤外線データ画像

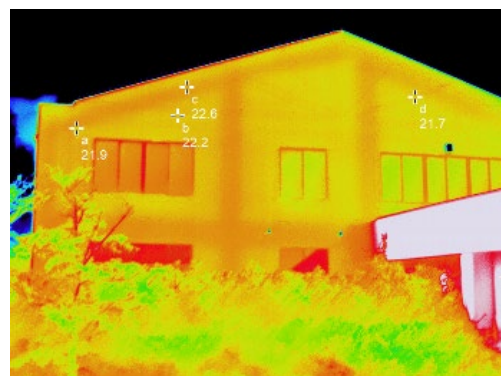


図4 温度帯の調節後の画像

## 3. 劣化診断の基本と調査報告

基本的に赤外線カメラは、物体から放出される赤外線のエネルギーを温度に変換して、撮影する機材である。例として、下記に2つの画像を示す。1つは通常の外壁を撮影した画像であり(図5)、1つは赤外線カメラで撮影した画像(図6)である。

赤外線カメラで撮影した結果は、通常、高温部分が赤色の表示となり、低温部分が青色の表示となるように設定されている(例:レインボーカラー)。画像を確認すると1階腰壁部分が赤い高温表示となっている。一般的に建物の劣化部分を撮影すると、高温表示となり、同じ場所の同じ建材で温度差が生じている場合は、高温部分が劣化している可能性があることが判断されることが多い。

目視で確認してもこの部分は外壁の部分的な浮き

を確認することができるため、モルタルの部分的な劣化（内部のクラックや塗装面の劣化等）を判断することができる。例のように赤外線カメラを用いた外壁診断では、劣化部分を赤外線カメラによって確認する方法を基本的な手法としている。

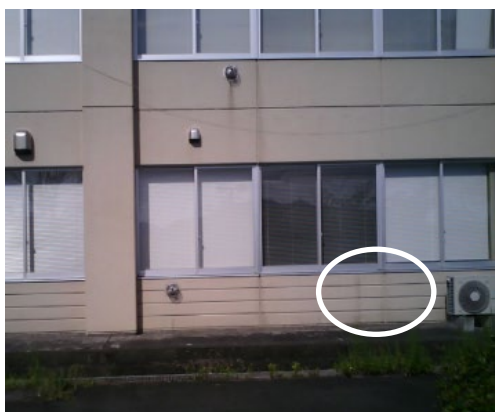


図5 東面外壁写真



図6 赤外線カメラの画像

ただし、赤外線カメラによる撮影ですべてを正しく診断できるわけではなく、図6の赤外線の画像では、外壁下側部分が高温表示になっていることが分かる。これは地面からの輻射熱が外壁下側に熱伝導によって高温表示となっており、単純に外壁が劣化しているという判断にはならない。また、外壁の汚れ部分を高温部として表示しているが、これは部材の色の違いが放射率の違いとなり温度差として表示されることが分かっている。さらには、日影部分は日射の受熱が低いため、低温部として青色で表示される。これら様々な障害要因（ノイズ）を理解し、正しく劣化診断できるようになるには、赤外線の基本的な知識と画像診断の能力を有することが必要とされる。

結果的に、図6より外壁の劣化診断としては、黒い丸で囲まれた部分のみが劣化している可能性が高いと判断することになる。

### 3.1 所属施設の外壁劣化診断の結果

基本的な赤外線カメラを用いた外壁劣化診断の理解を進めたいうで、所属施設の建物を対象物として劣化診断を進めた。また、診断に先立って施設の過去の修繕履歴を洗い出し、対象となる建物の修繕履歴から過去の状態を把握したうで撮影は行っている。なお、調査日は、晴天日で微風の日を選択し、十分に受熱があること、適正な撮影距離や撮影角度も担保していることを確認し、調査を行った。

調査対象建物は、北側外壁を除く3面の調査を行った。下の画像（図7.8）は、西面1階部分を撮影した結果である。腰窓隅角部と窓の外壁下側に実際にクラックが入っていることが確認できた。（図7）赤外線画像（図8）より劣化部分が赤く高温表示されていることが確認できるため、外壁の一部に劣化があることが確認できた。

打診棒による打診検査の結果においても周囲と異なる打音を確認することができたため、該当箇所が、劣化している可能性があるかと判断した。

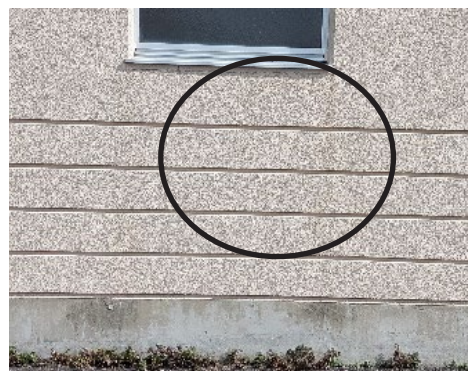


図7 実験実習棟1階西面、外壁写真

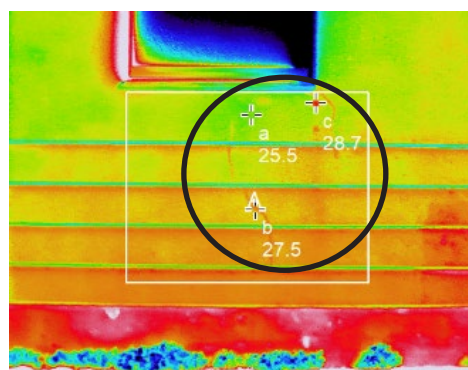


図8 実験実習棟1階西面、赤外線画像

図 9.10 は、同じく実験実習棟の南側 1 階部分を撮影した結果である。図 9 を見ると目視でも明らかな外壁の部分的な浮きを確認することができる。実際に打診棒を用いた打診検査においても異音を確認することができたため部分的な劣化があると判断した。

なお、図 10 は、同じ場所を雨天日の翌日に撮影を行った画像である。通常赤外線カメラによる撮影では、劣化部は日射を受け赤い高温表示となるが、今回の場合は、雨天時の翌日ということもあり、逆に青色の低温表示となっている。これは、壁の内部に水分が滞留することで、日射を受けても熱容量の大きい水分の温度上昇が穏やかなため、外壁の温度上昇と比較して低温表示となっていることを確認できた例である。



図 9 実験実習棟 1 階東面、外壁写真



図 10 実験実習棟 1 階東面の赤外線画像

外壁劣化の調査結果としては、他に数か所の劣化を確認したが、剥落などの緊急を有するような危険な箇所はなく、以前の改修が正しく行われていたことを確認することができた。また、調査結果は、総合制作実習の成果物として調査報告書を作成し、学校側と情報共有を行っている。また、赤外線画像の解析ソフトや赤外線カメラ等のマニュアルを作成し、

総合制作実習としての活動をまとめた。

### 3.2 施設外における外壁劣化調査報告

雲南市役所が所有する建築物に対して、赤外線カメラを用いた共同調査の依頼を頂いた。現地調査は、令和 5 年 10 月 30 日の日中に、同市役所の職員 3 名と合同で行った。当方は施設所有の赤外線カメラを使用し、自治体職員は、市が所有する赤外線カメラが搭載されたドローンで撮影を行った。

撮影当日は午前 10 時から午後の 3 時までを調査時間とし日射の受熱があった対象建物の北面を除く 3 面の外壁調査を行うこととなった。

調査の結果として、明らかな外壁の劣化を示したものについては、南面の外壁(図 11)の室外機の上部分の外壁の一部に数か所のタイルの剥離部分が疑われる箇所を赤外線画像(図 12)から確認した。

他の場所でも同様に高温表示となる部分を数か所確認できたが、赤外線画像の判断だけでは外壁劣化を判断することが困難であったため、打診棒を用いて対象となる部分の打診検査を並行して行った。図 11 に示す室外機の上部分については、タイルの浮きを打診音で確認することができた。



図 11 南側外壁 2 階部分の写真

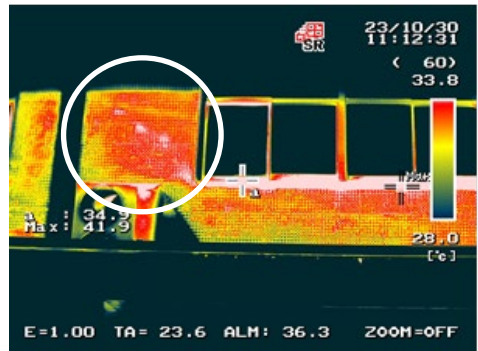


図 12 南側外壁 2 階部分の赤外線画像

同じく南側壁面の2階部分の腰壁部分に、赤外線カメラによって、他とは異なる温度表示となる部分が複数箇所あることが確認できた。図13に示す赤外線画像による判断では、タイル部分に部分的な劣化を思わせる高温表示となる場所を確認できた。

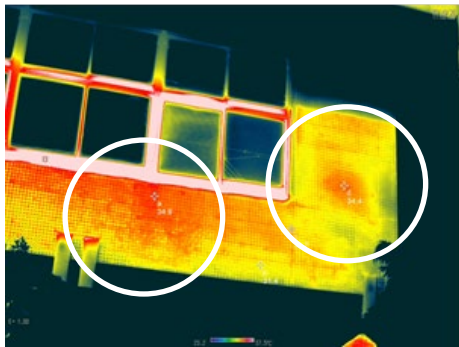


図13 南側外壁2階垂れ壁部分の赤外線画像

実際の建物(図14)を確認すると、タイルの施工状況があまり平滑でないことや使用されているタイル自体に光沢があり反射率が高いこと、開口部のアルミサッシから外壁への熱伝導の可能性があること、建物の近くに樹木があり壁への受熱が遮られていた可能性や樹木が外壁に映り込んだ可能性があることなどから、赤外線画像の高温部表示が、阻害要因となるノイズによるものなのか、外壁の劣化から生じるものなのかをその時点では、確定することができなかった。

また、南面2階右側の腰窓下側部分に、打診棒による確認を併用しても対象部分が劣化していると断定できるほどの判断材料を得ることができなかった。



図14 南側外壁2階腰壁部分の画像

外壁の赤外線撮影は、対象となる部分が十分に受熱していることが、より正確な劣化診断のデータを

取得するための条件であるとされる。ただし、日射があるが故にノイズも同時に発生することも注意しなくてはならず、正しく撮影を行っても劣化の判断に迷う場面は頻繁に発生する。そのような場合は、1度だけの撮影による判断は避けて、撮影の距離や角度、時間帯を変えてみることで、ノイズの要因を除外することが可能で、劣化の判断をより正確に行うことが可能となる。

今回の調査では、2日間の調査を予定していたため、1日目の夕方以降から夜間撮影を行うことで、外壁劣化を確定させる方針として調査を行った。

夜間撮影の利点としては、日光の反射による影響が発生しにくいために、外壁の汚れや太陽光の反射、外壁の反射率などのノイズの影響を軽減できることが最大の利点である。ただし、夜間は外気温の低下に伴い、外壁の冷却による熱放出が発生すると通常の反応とは逆の反応となり、劣化部分が低温部として表示される可能性があることに注意しておくてはならない。

調査1日目の夜間にかけて、対象物の撮影を行った。昼間にはタイルの反射や外壁の凹凸であまり正確に判断できなかった部分が、夜間の撮影を行ったことで、診断の確定を行うことができた。劣化診断の結果としては、タイルの一部に部分的な劣化部分(タイルの剥離)を赤外線画像により判断することができた。

図15より、昼間の撮影による劣化を疑った部分に関しては、夜間撮影の画像で示すように、明らかな劣化と思われる箇所を発見するに至らず、劣化部分と思われた箇所については、タイルの反射による影響と結論づけた。

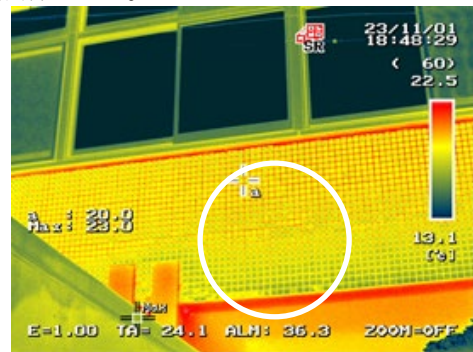


図15 南側外壁2階腰壁部分の夜間の赤外線画像

また、図12より、複数箇所のタイルの剥離を疑っ

た個所については、図 16 に示すように、夜間に再度撮影を行った画像を確認しても、室外機の上部に劣化部分と思われる個所を確認することができたため、劣化の原因はタイルの部分的な剥離であると結論付けた。

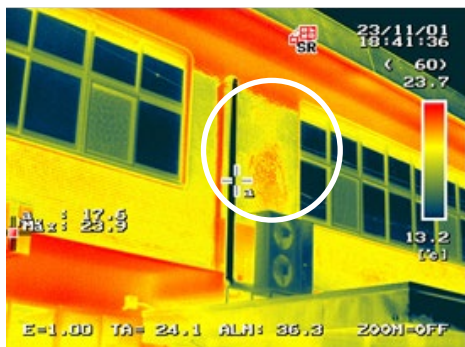


図 16 学生寮東側外階段の劣化

2 日目の調査においては、1 日目に撮影した部分の再確認を中心に行った。また、撮影画像に不備があった部分などの追加調査を行い、現地調査を無事に終了することができた。

建物全体を現況調査した結果としては、部分的に外壁や構造体にひび割れを目視で確認できたが、昭和 40 年代の建物にしては構造的に重大な欠陥は発見されなかった。

2 日間の外壁の劣化調査を終え、報告書を作成し、自治体へ情報提供を行い、共同調査を完了することができた。

#### 4. 赤外線カメラによる調査の問題点と今後の課題

赤外線カメラは目に見えない不良部や物質の温度差を見つけ出すことは有効である。しかし、撮影の際に建物との距離や建物に対する撮影角度などが影響して正確に撮影できないことが問題としてあげられる。実際に狭小地での調査の場合は、建物との適正な距離を確保することができず、仰角が基準値をオーバーする可能性もある。また、建物周辺の環境によっては樹木による受熱の影響や私有地による撮影許可の確保が困難であることなど、多くの課題も抱えている。

この問題を解決する方法として、ドローンを使用した赤外線の調査が有効だと考えている。ただし、ドローンでの撮影にも、飛行に関する法律の規制や

機器の搭載されている赤外線カメラの解像度の問題、撮影に対する騒音、プライバシーの確保、墜落への備え、など様々な課題があり、正確な診断のためには様々な障害がある。ただし、赤外線カメラによる外壁劣化診断は作業時間短縮や費用軽減、診断精度向上など多くの利点を有しているため、赤外線診断方法が一般的な診断方法となることを期待している。

#### 5. まとめ

赤外線の外壁診断に関する 2 年間の活動に一端の区切りをつけることができたことは大変良かった。赤外線に対して漠然とした知識しかない状態から、ある程度自信をもって撮影から劣化診断までを完了できるようになったことは、自分自身にとっても大変良い経験になった。

自治体が所有する建築物に対する調査依頼から現地調査の中では、施設内では得ることのできない基礎資料の収集や赤外線搭載ドローンの有効性の可否も併せて知ることができたことも大変有意義な調査であった。

#### 6. おわりに

今回の 2 年間の活動を通して、赤外線カメラの使用方法や撮影条件、診断をする中で建物の構造や外壁の仕上げなどを理解することができました。

赤外線カメラを使用した外壁調査にあたり、郊外での建築物調査の機会をいただいた島根県雲南市役所の建設住宅課の職員の皆様に感謝の意を表します。また、民間研修の受講の機会をいただいた島根職業能力開発短期大学校に感謝の意を表します。

今回の活動資料が、居住系の DX 関連の高度養成者訓練や在職者訓練の礎となり様々な形で、成熟することを期待して本報告といたします。

#### 文献

- 1) 一般社団法人 街と暮らし環境再生機構:「赤外線建物診断技術師 公式テキスト, 2020 年 12 月 20 日 第 2 版 .
- 2) 木村 祐実:「赤外線カメラによる外壁診断」2022 年度総合制作実習

著者 E-mail moroishi .kenichi@jeed.go.jp