

# 建築物の外壁の定期調査における新たな技術 の適用に向けて

建築生産研究グループ 上席研究員 眞方山 美穂

## 目次

- I はじめに
- II これまでの外壁調査・診断の合理化のための取り組み
  - 1) はく離検知器の開発
  - 2) 赤外線装置法
- III 外壁調査・診断技術の現状
  - 1) 調査・点検用ロボット
  - 2) 赤外線装置法 —赤外線装置法の実施要領(案)の検討
- IV 新しい外壁調査・点検方法の検討 —ドローンを活用した外壁調査の実験
  - 1) 実証実験に用いた実建築物と検証した外壁調査方法
  - 2) 実建築物での実証実験結果
  - 3) 診断精度の検討
- V 各種外壁診断技術の適用に向けた取り組み
- 参考文献

## I はじめに

建築基準法第12条の「定期報告制度」(以下、定期報告と記す)における外壁の定期的な調査では、平成20年の改正により、落下により歩行者等に危害を加えるおそれのある部分については、原則として竣工後10年ごとに全面打診等による調査を実施することとなった。通常、全面打診を実施する場合は足場等を設置する必要があるため、費用的な問題や時間的な制約等から、“外壁調査は実施しない”とする建築物の所有者等も少なくない。

定期報告の外壁調査においては打診法による調査が基本とされているが、打診法の診断精度は検査者の技能・経験に依存しており、また同じ検査員でも調査時間が長くなると、疲れなどから打音によるタイル等の浮き・はく離の判断が不正確になりやすいという指摘もある。そのため、定量的な指標で診断できる調査・点検方法の研究・開発は以前より続けられているところである。最近で

は、建築物の調査者不足の問題から、合理的な調査・点検技術が求められるようになってきている。

このような状況を踏まえ、ここでは、既往の外壁の調査・点検用ロボットや赤外線装置法等の研究・開発経緯を紹介しながら、外壁の定期調査における新たな技術として現在開発が進められている調査・点検用ロボット等の技術の動向、さらには平成29～30年度に国土交通省建築基準整備促進事業「T3 非接触方式による外壁調査の診断手法および調査基準に関する検討<sup>1)</sup>」(以下、基整促T3)において実施した、赤外線装置法を適切に利用していくための調査および実験、さらに今後活用が期待される“ドローンを活用した外壁調査”の実証実験概要を紹介する。最後はまとめとして、外赤外線装置法、ドローンを活用した赤外線装置法および外壁調査・点検ロボットの活用に向けた取り組み状況について報告する。

## II これまでの外壁調査・診断の合理化のための取り組み

### 1) はく離検知器の開発

定期報告での外壁調査方法の基本となっている打診法は、調査者の経験や熟練度等に依存する部分があるため、定量的な診断方法についての検討が進められた。1980年代に超音波法や打音法による外壁タイルの浮き・剥離等の診断装置に関する論文が発表されている。その後、1990年代に入ると調査・点検の効率化の目的も含めた研究・開発が進められ、大手建設会社を中心に屋上から診断機構を備えた装置を吊り下げて外壁調査を行う調査・点検用の壁面ロボットの開発が盛んに行われるようになった。建設省(当時)においては、昭和58年に「タイル仕上げ等のはく離検知器の開発」の公募を行っており、打音法による壁面ロボット2台と赤外線装置法1台が評価を受けている。その時に評価された装置を図1に示す。

1990年代に開発された壁面ロボットの多くは、屋上から装置を吊し、ウィンチ等で外壁面を上下に移動させて外壁の劣化状態等を診断するというタイプのものであった。従来の人の手による調査作業を機械化し、診断も定量的な判断が可能になるということで期待された技術であったが、窓などの開口部、庇やベランダ等の面外に突出部のある外壁への適用は容易ではなく、診断できる外壁に限られてしまい、当初の想定していたほどのメリットが得られず、広く普及するまでには至らなかった。その後、平成20年に定期報告が一部改正されると、外壁調査・点検に用いるロボット等が再度開発されるようになり、小型化した、使い勝手のよい調査・点検用ロボットが開発された。

### 2) 赤外線装置法

赤外線装置法については、平成2年に建設省から発出された「剥落による災害防止のためのタイル外壁、モルタル塗り外壁診断指針」に記載があり、その当時から効率的に外壁調査ができる方法として取り上げられていた。赤外線装置そのものは、環境分野で温度分布や熱環境状態の把握等に利用され始め、その後、外壁タイルのはく離箇所の判定に利用する研究が取り組まれるようになり、1980年代後半になると、RC造建築物の外壁を対象としたタイル等の浮き・はく離の評価に関する研究報告が(一社)日本建築学会などでも行われるようになった。

赤外線装置法による外壁診断手法については、(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・団体より調査マニュアル等が作成されており、調査を行

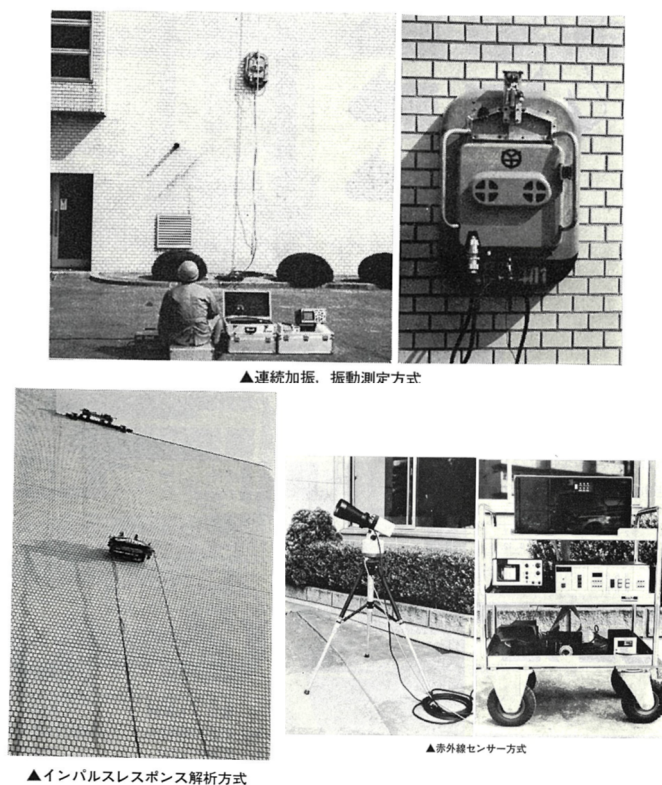


図1 技術評価制度に応募された装置例  
(出典：建築技術1984年)

う場合は天候、立地環境、赤外線装置の性能的な制約条件など、調査が実施可能な条件として決められている「適用限界」を踏まえて行うことが規定されている。

現在、赤外線装置は低価格で性能の良いものが普及している。そのため、赤外線装置を購入すれば、誰が撮影しても一見するとそれらしい外壁の熱画像を撮影することができる。ただし、外壁タイル等の浮き・はく離の診断は、撮影した際の日射の状況、周辺の建築物からの反射光の影響、また空調のための室外機の有無等、様々な情報を総合して行う必要がある。赤外線装置法での診断には、建築技術と赤外線装置法に関する知識と経験が必要であり、また、調査対象となる外壁面の向きや調査時の季節、時間帯によっては日射の当たり具合の違いにより判断が難しい場合もあるため、どの時間帯に、どこに赤外線装置を設置して調査を行うのか、調査前の計画立案が重要となる。

定期報告制度が改正された頃、適用限界を無視した調査が一部の調査者により行われ、赤外線装置法による診断結果の信頼性が問題視される事態が発生した。その後、このような問題への対応も一つの目的として基整促T3が実施された。その内容については次のIIIの中で説明する。

表1 調査・点検用ロボットの診断方法と外壁面での移動方法

1. 診断方法	1-a 打音法 (ハンマー等により打撃)	打音の音圧により判定
		打音の周波数解析等の結果により判定
		打音の音圧または周波数解析等の結果を用いて、AIにより判定
		検査員による判定*
	1-b 衝撃弾性波法 (ハンマー等により打撃)	打撃により生じた弾性波を加速度センサー等により測定し、波形を解析
1-c 超音波法	反射波を解析	
	外壁の表面波を解析	
1-d 音響探査法、電磁波法(マイクロ波法等) など		
2. 外壁面での移動機構	2-a 屋上パラペット(またはバルコニーの立ち上がり部など)を把持し、ワイヤー(またはガイドレール)を吊下げて、診断装置を昇降させる	
	2-b 壁面走行(または飛行)	壁面移動のための足(吸盤等)を何らかの方法で壁面に吸着させて、移動
		ドローン(壁面へ押しつけ)+走行用タイヤ+プロペラ(推進力)により壁面を移動
	二輪ドローンにより壁面を昇降	

### III 外壁調査・診断技術の現状

#### 1) 調査・点検用ロボット

##### ① 診断手法と壁面での移動手法

表1に現在、市場にある調査・点検用ロボット(研究開発中の装置も含む)の機能を整理した(学術論文ではないため、かなり大雑把な分類である点をご容赦いただきたい)。

同表の診断方法の欄に示すとおり、外壁調査における診断手法には外壁表面をハンマー等により打撃して打音を測定し、音圧で判定を行ったり、FFT等により周波数解析してその結果から浮き等を判定するものが多い。壁面を打撃するタイプにはこの他に、外壁表面に加速度計を設置して応答加速度測定し、そのデータを解析する衝撃弾性波法によるものがある。タイルの浮き・はく離等の有無の判定は、調査対象となる建築物の健全部等で予めデータを収集し、そのデータに基づいて閾値を設定するものなどが多いが、最近ではAIを活用して打音を機械学習させ、異常箇所を提示する技術<sup>2)</sup>などもある。

診断方法についてはハンマー等による打撃ではなく、超音波を用いたもの<sup>3)</sup>や、コンクリート構造物の内部欠陥を探索するために研究開発されている電磁波法(例えばマイクロ波<sup>4)</sup>)や音響探査法<sup>5)</sup>を用いた診断技術などがあり、これらの多くは研究段階ではあるが、今後、外壁調査へ適用していくことが期待される。

なお、表1の診断方法1-a 打音法の欄に「検査員による判定\*」とした記載がある。本稿Iで調査員の技能等に依存しない調査・診断が必要とされていることを述べたが、それ以前に調査費用がネックとなり外壁の調査・点検が実施されないこと自体を解消することも定期報告の外壁調査において課題となっている。この問題への対応として、外壁を打撃して打音を集音する部分のみロボッ

ト技術を適用し、判定については地上で検査員が行うという方法<sup>6)</sup>が開発されている。大がかりな装置を必要とせず、また足場なしで外壁の打音を確認することができという点で、導入しやすい技術であるいえる。

次に、外壁面での診断装置の移動機構については、大きく以下のようにタイプ分けできる。

2-a 屋上等から吊り下げられたワイヤー等で昇降するタイプ

2-b 壁面に吸着して自走するタイプ

ー 外壁面を何らかの方法で吸着するもの

ー ドローンを活用して壁面を移動させるタイプ

2-aの「屋上等から吊り下げるタイプ」は、屋上にワイヤーの巻き上げ装置を設置している場合と、診断装置部分に巻き上げ装置を組み込ませて壁面を移動させるものがある。1990年代に開発された吊り下げタイプの場合、外壁の妻面での使用については特に問題はなかったが、庇やベランダなど外壁面に対して面外方向に突出部があるとうまく用いることができないことが課題となっていた。その後、改良等が行われ、庇や開口部等がない場所で装置本体を昇降させ、庇等の上部や下部については装置本体に取り付けられた伸縮式のアームにより調査が実施できるよう工夫された装置も開発されている<sup>7)</sup>。これとは別にベランダが多い集合住宅への適用を考慮したタイプも開発されている。

2-bの「壁面に吸着して自走するタイプ」は、庇やベランダなど外壁面からの突出物がある場合にも所定の位置に移動できるよう検討されたもので、何らかの方法により壁面に吸着できる脚を有し、それを動かして診断装置自身が移動するというものである。壁面に吸着する方法には、吸引ポンプ等を搭載して壁面に吸着するものがある<sup>8)</sup>。国土交通省総合技術開発プロジェクト「社会資本の



予防保全的管理のための点検・監視技術の開発 (H24-24)」（以下、予防保全総プロ）においても、吸引ポンプにより外壁面に吸着しながら調査・点検を行うロボットの研究<sup>9)</sup>が行われていたが、外壁のタイル目地や伸縮調整目地部での移動にはかなり困難であったとの報告されている。参考として図2に試作した調査・点検用ロボットの例を示す。この他に、静電吸着により外壁に吸着する方法があるが、外壁の調査・点検用への適用は筆者の知る限りない。また、最近ではドローンの技術を移動の方法として使用した装置開発も盛んに行われている<sup>10)</sup>。さらに、通常イメージするドローンの飛行姿勢を90度回転させ、外壁面に平行な状態で使っているものも開発されている。この診断装置は車輪がついており、“4輪走行するドローン”として紹介されており、壁面に添うようにしながら、なおかつ装置に取り付けられたプロペラの風を推進力として壁面を移動しながら診断を行うというものも出てきている。

## ② 位置情報の取得

本稿で紹介している打音法や衝撃弾性波法などは診断結果が定量的な値として出てくるため、診断している位置も同時に把握することができれば、予め入力しておいた外壁面の図面上への表示も可能となる。また、改修・補修工事においては見積が速やかに実施できるといったことが期待される。大手建設会社で開発されている外壁診断に用いるロボット技術には位置情報を把握する機能があり、従来のように野帳に記録していた打診の結果を図面に転記する手間が省けるということで、作業の効率化が図られることもメリットとして上げられている。

一般に、位置情報の取得方法を考えると、GPSの利用があげられるところであるが、外壁調査では鉛直方向の位置情報も必要となるため、GPSだけで解決するのは難しい。現在は、レーザー計測装置等を診断装置に搭載して、基準となる位置からの距離を測定し、その値を位置情報として用いる方法や、測量で用いられているトータルステーションを利用して位置情報を取得する方法も開発されている。

この他、AR機能を活用し、予めカメラで撮影した外壁などの対象物に打撃した位置に打音の解析結果の画像を仮想的に貼り付けて表示することができる打音検査用アプリの開発<sup>11)</sup>も行われており、新しいデジタル技術を用いた診断用ツールの研究もすすめられている。

## ③ 安全に調査を実施するための対策

従前開発されていた調査・点検用ロボットに比べると、最近、開発されているものはかなり小型化されている。それでも、移動機構を有した診断装置を用いる場合、万が一、装置自体が落下するよう

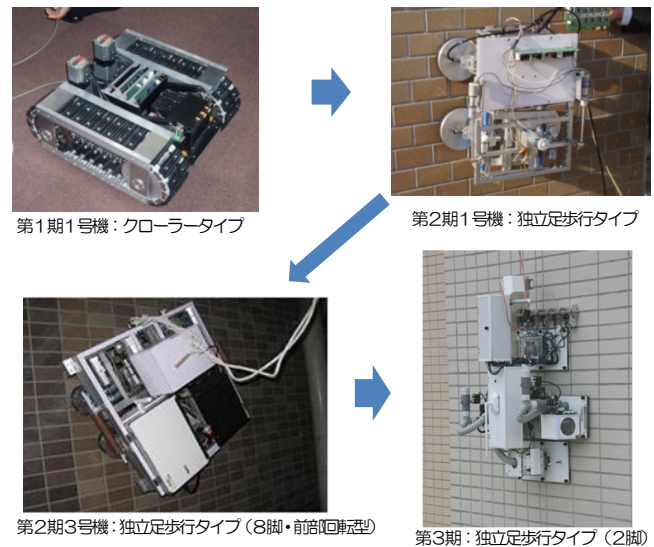


図2 総プロで製作した調査・点検用ロボットの変遷

なことがあった場合の対策を講じておく必要がある。これに加えて、機械的なトラブルで移動機構が止まってしまった場合に安全な場所へ診断装置を移動できるようにしておくことも実用化にあたっては必須である。

落下に対する安全装置は移動機構によって異なる。屋上から吊り下げるタイプの診断装置については、もともとワイヤーケーブルがつながっているため、トラブル発生時に一気に巻き下げが起こらないような安全装置が必要となる。

一方、壁面を吸着するタイプなどについては、外壁面から吸着部分が剥がれてしまうと一気に地上に落下する恐れがあるため、地上への落下防止のための安全装置を準備しておく必要がある。

## 2) 赤外線装置法 一赤外線装置法の実施要領(案)の検討

先ほど述べたとおり、平成20年の定期報告制度の改正以降、全面打診と併用して赤外線装置法が用いられることが増えていったが、不適切な調査の実施により信頼性の確保が課題となっていた。これらの改善を一つの目的として、基整促T3が実施されたが、ここでは既に実務で用いられている赤外線装置法について、診断結果の信頼性を確保するための調査手順や撮影方法を実験や実務者へのヒアリング等により検討した。それらの結果に基づいて「定期報告制度における赤外線装置法による外壁調査 実施要領(案)<sup>1)</sup>」（以下、実施要領(案)）としてとりまとめた。

実施要領(案)の目次を表2に示す。実施要領(案)には、診断結果の信頼性を確保するための調査手順等の他に、定期報告の外壁調査で赤外線装置法が適用できるケースを整理して示したり、赤外線装置法を適用する際の打診法との併用の解釈などを解説に

記載するなど、外壁の調査を実施する「調査者」の理解を確実なものにするための内容を取り込んだ。なお、外壁調査の手順について

表2 実施要領(案) 目次

1. 総則
1. 1 目的
1. 2
1. 3 用語の定義
2. 実施者
3. 赤外線装置法による外壁調査
3. 1 赤外線装置法による外壁調査の概要
3. 2 事前調査
3. 3 調査計画の作成
3. 4 赤外線装置法の適用条件の確認
3. 5 打診法との併用による確認
3. 6 調査の実施
3. 7 熱画像による浮き・はく離
3. 8 報告書の作成

は、既に赤外線関係協会・団体で作成されているマニュアル等に、調査の実施可否の基準も含めて詳細な規定がある。それぞれの組織で信頼性のある診断結果を得るために設けられたものであるとしたため、この中ではそれらの管理値等(例えば、撮影時の気温、風速などの環境条件等)については触れていない。その代わりに、診断結果の信頼性を確保する上で必要な留意事項や曖昧に運用されている可能性ある作業等を改めて本文および解説に記すこととした。

実施要領(案)の検討におけるポイントは、以下のとおりである。

- ・画像を撮影する者、それらを解析する者として赤外線装置法

表3 実験を実施した建築物

	A学校	B共同住宅	C共同住宅
調査方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・打診調査(ロープブランコ)</li> <li>・赤外線装置法(地上設置)・InfReC R500</li> <li>・赤外線装置法(ドローン搭載) <ul style="list-style-type: none"> <li>① FLIR A65 (ドローン: ALTA)</li> <li>② Zenmuse XT (DJI) (ドローン: M210 (DJI))</li> </ul> </li> </ul>		
備考	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・南東面は鉄道路近接のためドローン飛行不可。</li> <li>・北東面のみドローンをを用いた実験を実施した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・繁華街近郊でのドローン飛行のため、電波調査を事前に実施した。</li> </ul>
	補修工事故障図あり	補修工事故障図なし	補修工事故障図なし

表4 調査方法

	A学校	B共同住宅	C共同住宅
階数・用途	11階建て校舎	14階建て分譲マンション	14階建て分譲マンション
実験対象外壁面	西外壁面	北東・南東外壁面	東外壁面
構造	鉄筋コンクリート造	鉄筋コンクリート造	鉄骨鉄筋コンクリート造
仕上げ種類	50二丁磁器質タイル	50二丁磁器質タイル、50角磁器質タイル	50二丁磁器質タイル、50角磁器質タイル

による「実施者」の要件を定めた

- ・赤外線装置法により外壁の熱画像を撮影した者が熱画像による判定作業を実施する
- ・打診法との併用による診断精度の確認を実施するように明記した

また、実施要領(案)は調査を実施する者だけではなく、外壁調査報告書を受け取る側(建築物の所有者や定期報告を受け取る行政等)が、適切な外壁調査が実施されたかどうかのチェックに活用することも想定し、検討した。

#### IV 新しい外壁調査・点検方法の検討

##### ードローンを活用した外壁調査の実験

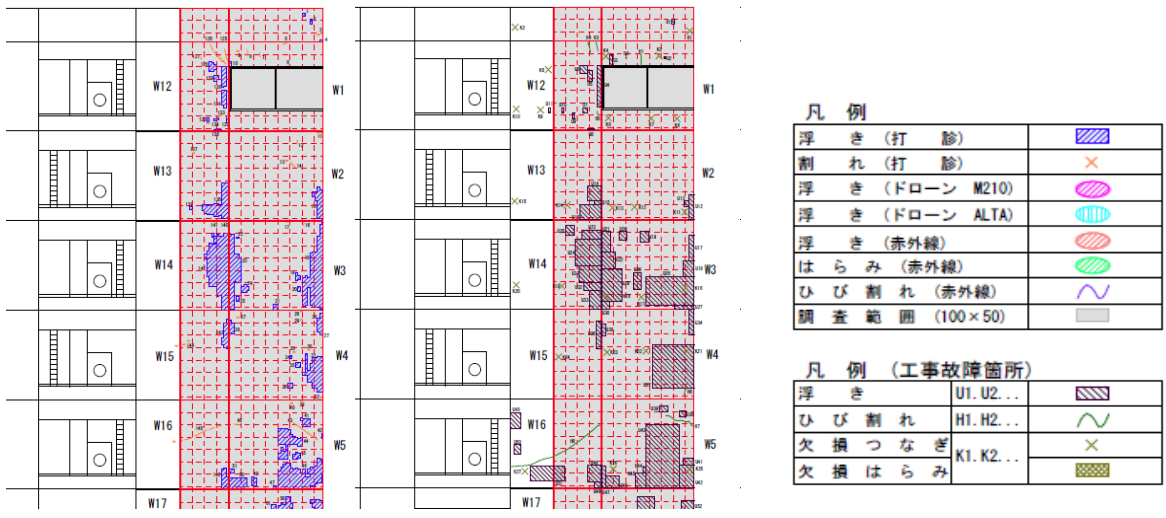
従来、赤外線装置法を用いる場合は、地上(または周辺建物など)に赤外線装置を設置して熱画像を撮影している。赤外線装置法の場合、鉛直方向の仰角は45°以下となるように撮影しなければならないため、高層の建築物の場合には周辺の建築物から撮影するか、もしくは別の適切な撮影場所を確保して撮影しなければならないため、調査は非常に困難となる。

このような問題を解消する方法として期待されているのが、赤外線装置をドローンに搭載して調査が行う方法である。先ほどから何度か紹介している基整促T3において、非接触方式による外壁調査技術の検討を行った後、今後利用が増えると予想されるドローンの活用について検討した。診断手法としては既に広く外壁調査に用いられている赤外線装置を対象とし、赤外線装置をドローンに搭載して実証実験を実施し、外壁診断精度の検証および調査時の安全性を確保するための事前準備や調査手順等に関して検討した。以下に実証実験の概要を紹介する。

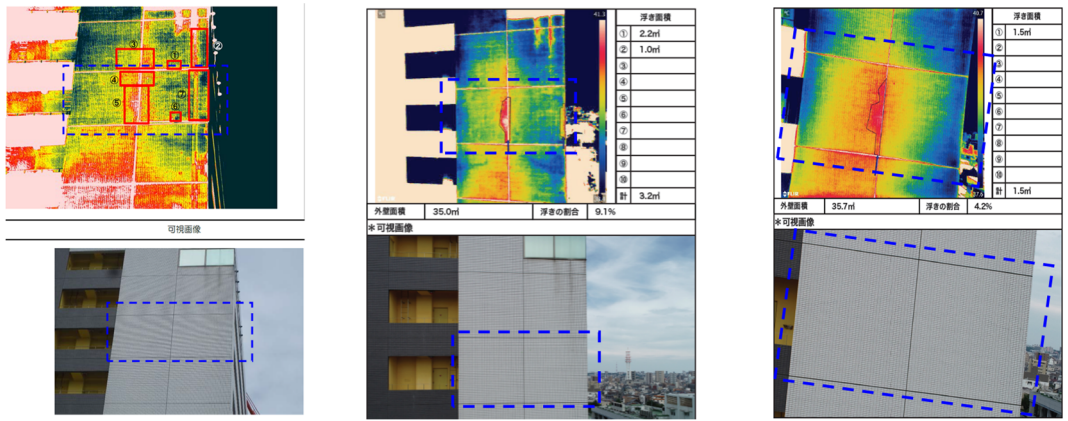
##### 1) 実証実験に用いた実建築物と検証した外壁調査方法

表3に実証実験に用いた実建築物3棟を示す。実験対象とした建築物の建物用途は、学校の校舎(1棟)、共同住宅(2棟)であり、いずれも外壁部分にはタイル張り仕上げ(モルタル張り)が施されているものとした。

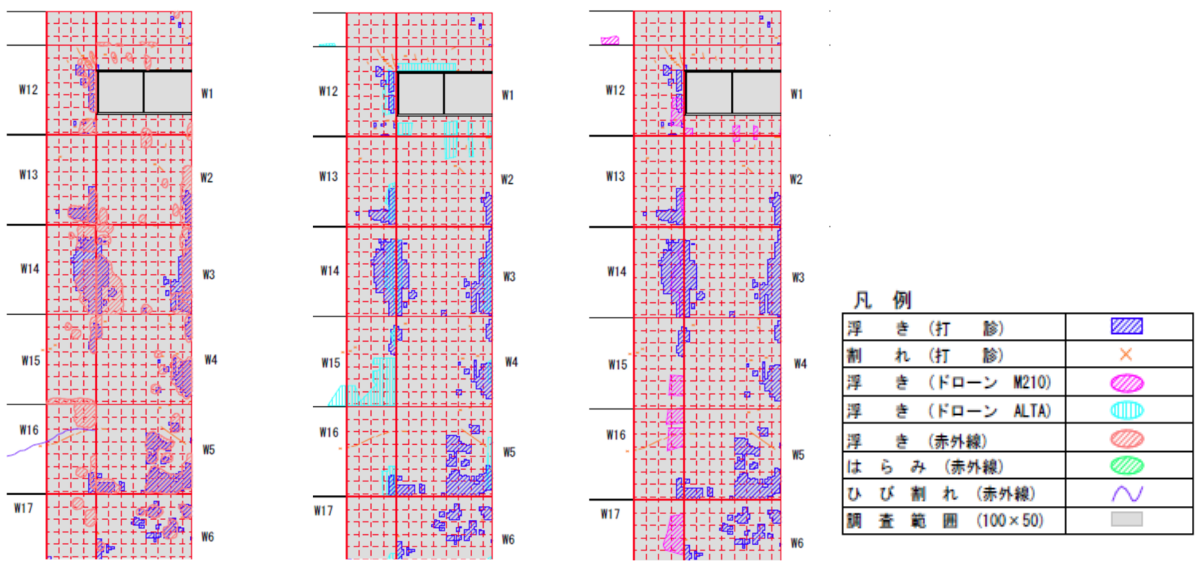
調査方法の一覧を表4示す。外壁調査方法は、ドローンに赤外線装置を搭載して実施した外壁調査のほか、診断精度の検証のためにロープブランコによる打診調査、および地上に設置して行う赤外線装置による調査とした。赤外線装置法による調査に際しては、通常実施する現地調査を行うとともに、ドローンを活用した調査においては(一社)日本建築ドローン協会より発行されている建築物調査ヘドローンを活用する際の安全マニュアル<sup>12)</sup>を参考に、ドローン飛行計画書を作成し、実験を行った。



(1) 打診調査結果 (2) 補修工事故障図  
 図3 打診調査結果と補修工事故障図



(1) 赤外線装置 (地上) (InfRec500) (2) ドローン搭載赤外線装置 (FLIR A65) (3) ドローン搭載赤外線装置 (ZenmuseXT)  
 図4 熱画像と可視画像



(1) 地上設置赤外線装置 (InfRec500S) (2) ドローン搭載赤外線装置 (FLIR A65) (3) ドローン搭載赤外線装置 (ZenmuseXT)  
 図5 打診調査結果と赤外線装置法による結果の重ね合わせ図



## 2) 実建築物での実証実験結果

### ①A学校

図3(1)にロープブランコによる打診の結果、同図(2)に改修工事に際して作成された故障図を示す。今回、打診結果を基準として定性試験である赤外線装置法の妥当性の評価方法は、調査対象壁面を50cm間隔でグリッド線を引き、1マス(0.25㎡の範囲)に対する浮き・はく離の一致数による比較を行って評価した。浮き・はく離と判断した箇所の数やタイルの数量よりも、浮き・はく離の箇所の一致が必要と考えた。この考え方で比較した場合、ロープブランコにて調査した結果と故障図はほぼ同じ結果を示していることが確認できた。

図4に赤外線装置法による熱画像と可視画像を示す。青の点線は熱画像と可視画像の対応する部分を示している。同図(1)上は地上に設置した赤外線装置の熱画像であり、同図(2)上はドローン(M210)搭載の赤外線装置(ZemuseXT)、同図(3)上はドローン(ALTA)に搭載した赤外線装置(FLIR A65)の熱画像である。

これらの熱画像を分析し、浮き・はく離と判断した箇所を打診調査の結果図に落とし込んだものを図5に示す。同図(1)は地上に設置した赤外線装置の結果、同図(2)はドローン(M210)搭載の赤外線装置(ZemuseXT)による結果、同図(3)はドローン(ALTA)に搭載した赤外線装置(FLIR A65)の結果である。50cmグリッドの1マスにある浮き・はく離の位置で評価した場合、ドローンに搭載した赤外線装置による結果は、いずれも打診の結果と一致しているとは言いが、地上に設置した赤外線装置による結果については概ね浮き・はく離の位置を捉えているものと評価できる。

ドローンに搭載した赤外線装置の結果についてみると、打診で浮き・はく離と判断した箇所数は、地上に設置した赤外線装置による結果よりも少なく、またそれらの面積も小さい傾向にあった。

### ②B共同住宅

B共同住宅では、北東外壁面についてドローンを用いた実験を行った。なお、実験は、10月初旬の2日間で実施した。

地上から撮影した赤外線装置法による熱画像を分析した結果と打診の結果を比較したところ、打診で浮き・はく離と判断した箇所と7割程度の一致があったが、打診で検出された箇所以外の部分についても浮き・はく離と判断した部分があった。

一方、ドローンに搭載した赤外線装置による熱画像については、今回は診断に使える結果は得られなかった。理由の一つとして、撮影のタイミングが考えられる。北東に面した外壁面については、早朝から撮影することが望ましい。地上に設置した赤外線装置については、日の出のタイミングから撮影を行ったが、ドローンについ

ては、居住者および近隣住民への騒音等による影響に配慮し、午前9時からの飛行および撮影とした。午前9時の時点では、すでに外壁面はある程度日射が蓄積された状態になっていたと考えられ、熱画像により明確に浮き・はく離部を判断することはできなかったと推察される。

### ③C共同住宅

C共同住宅では、東外壁面についてドローンを用いた実験を行った。なお、実験は、11月初旬の2日間で実施した。

調査対象は東外壁面であったため、地上から撮影する赤外線装置法については、日の出の時刻から撮影を開始した。ドローンに搭載した赤外線装置法については、B共同住宅の場合と同様に居住者や近隣住民を考慮して、午前9時以降の飛行および撮影とした。

その結果、地上から撮影した赤外線熱画像による浮き・はく離部は、打診調査結果と半分程度の一致率となり、B共同住宅の場合よりも低い結果となった。

ドローンに搭載した赤外線装置による画像については、分析したが適切に診断できる熱画像が得られていなかった。

## 3) 診断精度の検討

打診結果を基準として赤外線装置法による診断精度を比較すると、A学校が高く、次いでB共同住宅、C共同住宅となった。

これは、建物形状の違い(A学校は凹凸の無い壁面、B・C共同住宅はバルコニー等の凹凸がある)や調査実施の違い(日射量、蓄熱量の違い)によるものと考えられる。赤外線装置での撮影時期(季節や時間)や建築物の形状を勘案し、調査計画を立案しなければ診断に使える情報が得られないことが改めて確認できた。

B共同住宅・C共同住宅においてドローンに搭載した赤外線カメラで欠陥を検出できなかった理由については、以下の2点が考えられる。

- a. 赤外線装置の性能によるもの
- b. 赤外線の原理的な要因

a. については、ドローンに搭載した赤外線装置による熱画像において欠陥を判別できてない熱画像を観察するとシェーディング<sup>13)</sup>のような現象が発生し、診断結果に影響(検出率の低下)したものと考えている。この現象は、ハンディタイプの赤外線カメラでも多少発生するとのことであるが、補正機能により除去され診断結果への影響が小さいとされている。また、外壁の浮き・はく離の診断に用いる赤外線装置には、微妙な温度差を検出できる性能が必要と考えられるが、今回の実験で用いた赤外線装置(ドローンに搭載されたもの)の性能はこのような僅かな温度差を検知するには

十分ではなかったのではないかなどが原因としてあげられている<sup>1)</sup>。

b. については、壁面の方位、検査開始時刻など、今回の調査に特有の事情により、ドローンに搭載した赤外線装置では欠陥の検出が困難であったと考えられる。

あくまでもこの実証実験は一つの研究例ではある。これらの問題点について赤外線装置とドローンを活用した調査の実施方法の両面から改善のための検討を行い、今後、広く活用できるようにしていく必要がある。

## V 各種外壁診断技術の適用に向けた取り組み

現在、定期報告の外壁調査を適切に実施するための調査・点検技術には様々なものが開発されている。これまでのように外壁調査・点検のためだけに仮設足場を設置する必要がなくなれば、外壁調査・点検の実施率の向上が期待できる。ただし、いくら仮設足場が不要になり、費用が抑えられることになっても、診断精度が悪く、信頼性の低いものであれば、建築物の所有者、管理者はその方法による外壁調査は実施することはない。調査・点検は費用がかかるものであるため、どの技術であれば適正な評価できるのかという点が、建築物の所有者にとっての関心事となる。

診断結果の信頼性を確保するための一つの方法として、まず赤外線装置法については、Ⅲで説明した「定期報告制度における赤外線装置法による外壁調査 実施要領(案)<sup>1)</sup>」等を踏まえて調査がなされることにより、適切な調査・診断が実施されると期待している。調査・点検用ロボットについては、当該診断装置による結果が適切であることを、評価し、装置を認証するしくみの整備が必要になると考えられる。認証制度が整備されると、これらの技術の適用も増えてくると思われる。ドローンに搭載した赤外線装置法については、実建築物での実証実験において診断精度が思っていたほど得られなかった。この点について、まずはその原因分析が必要である。その結果をもって、赤外線装置の改良やドローン利用時の安全性確保技術の開発、ドローンを利用する場合の調査の手順等の整備を行っていく必要がある。

建築物の所有者にとっては、外壁の調査・点検方法の選択肢が増え、目的や条件に応じて調査方法を選択できるようになれば都合がよい。長く良好な状態で建築物が使用できるよう、適切に調査・点検が実施される環境を整えていくための研究開発、実験データの整備を引き続き進めていきたい。

## 参考文献

1) 国土交通省住宅局 建築基準整備促進事業 調査課題「T3

非接触方式による外壁調査の診断手法および調査基準に関する検討(平成29～30年度)」平成30年度報告書

- 2) [https://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2017/pr20170601/pr20170601.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2017/pr20170601/pr20170601.html)
- 3) 嶋 克樹、河辺伸二、市橋清吾;非接触型の空気伝搬超音波によるモルタルの内部空隙の検知、日本建築学会東海支部研究報告書第50号 pp33-36、2012年2月
- 4) 田中 孝之、川瀧 翔太郎、土井 暁、内田 茂、マリア Q. フェン;マイクロ波多層走査法によるコンクリート内空隙検出、建設ロボット研究連絡協議会、第18回建設ロボットシンポジウム 資料、2018年9月
- 5) 杉本 恒美、赤松 亮、歌川 紀之、片倉 景義;コンクリート非破壊検査のための遠距離非接触音響探査法、コンクリート工学年次論文集、vol.36、No.1、pp2062-2067、2014年
- 6) 例えば、  
<http://www.tokyogas-s.co.jp/notice/pdf/20190226.pdf>
- 7) 例えば、土井 暁、大本 絵利;高効率型の外壁検査システムの開発、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、材料施工 pp953-954、2018年9月
- 8) 例えば、  
<https://www.takamatsu-const.co.jp/news/detail/30>
- 9) 社会資本の予防保全的管理のための点検・監視技術の開発、国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告 第50号、2015年12月
- 10) 河辺 伸二、田中 大貴、渡辺 正雄、伊藤 洋介;壁面接触型ドローンによる外壁タイル張り仕上げの打音検査と打音の解析(その1)、(その2)、日本建築学会大会学術講演梗概集 材料施工 pp1405-1408(北陸)2019年9月
- 11) 三島 直生、住田 賢司、藤原 聖史、中山 研人;AR技術を応用した外装タイルおよびコンクリート欠陥の打音検査システムの開発研究、コンクリート工学年次論文集、vol.40、No.1、pp1767-1772、2018年
- 12) 一般社団法人 日本建築ドローン協会;建築物へのドローン活用のための安全マニュアル(第1版)、2018年9月
- 13) 増谷光正、永田敏雄、櫻田智実;赤外線撮影装置におけるシェーディングおよびナルシサスの推定方法、電気学会論文誌C、112巻7号、平成4年