

外壁の調査・点検技術の動向

— ドローンを用いた赤外線装置法やロボット等 —

国立研究開発法人 建築研究所建築生産研究グループ上席研究員

眞方山 美 穂

1. はじめに

建築基準法第12条の「定期報告制度」(以降、定期報告と記す)の外壁調査では、平成20年の改正に伴い、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、外壁調査を実施したくてもできないというケースも少なくない。

定期報告が改正された頃には、既に外壁調査方法の一つとして赤外線装置法が用いられていたが、足場の要らない調査技術はこの他にも求められ、ゼネコンや診断機器メーカー等において、タイル等の浮き・はく離を診断する調査・点検用ロボットの開発が進められていった。最近では建築物の調査においてドローンを活用し画像を撮影するといったことなども行われているが、このドローンに赤外線装置を搭載して外壁を診断した検証実験の事例¹⁾も報告されている。

ここでは、外壁の調査・点検技術の動向等について紹介していく。

2. 赤外線装置法による外壁診断

(1) これまでの赤外線装置法

赤外線装置法は、足場を設置することなく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、いち早く用いられるようになった。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「タイル外壁およ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・団体よりマニュアル等が作成されており、調査を行う場合は天候、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。現在市販されている赤外線装置であれば誰が撮影しても、それらしい外壁の熱画像を撮ることができる。しかしながら、その熱画像を解析し、浮き・はく離などの欠陥の有無、それらの大きさを判別するためには、建築技術と赤外線装置法に関する知識と経験が必要になる。赤外線装置法では、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により判断が難しい場合もあるため、調査前には十分な計画を立案することが重要となる。

定期報告が改正された頃、適用限界を無視した調査が一部の調査者において行われ、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も発生した。その後、このような問題への対応と外壁調査の合理的な方法を検討するため、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(平成29～30年度)」が行われた。そこでは赤外線調査法の信頼性を確保するための方策が検討され、成果として「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)¹⁾」が提案されている。

(2) ドローンを活用した赤外線装置法

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したり、適切な撮影場所を確保できなかったりすると、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を行う方法である(写真-1, 2)。高層建築物など、地上



写真-1 赤外線装置を搭載したドローンによる外壁調査の状況



写真-2 赤外線装置を搭載したドローンの一例



写真-3 調査・点検用ロボット²⁾



写真-4 調査・点検用ロボット³⁾



写真-5 調査・点検用ロボット⁴⁾

から赤外線装置で外壁を撮影できない箇所でも、ドローンを活用できれば撮影することが可能となるため、注目されている。先ほど紹介した外壁の調査・点検技術に関する検討¹⁾において実建築物を用いた外壁調査方法に関する実証実験を行ったが、ドローンに搭載した赤外線装置による調査では、浮き・はく離の診断に利用できるデータは得ることが難しかった。その理由としては、微妙な温度差を検出しなければならない外壁の調査・点検には、そ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・機能等が十分ではなかったのではないかと、またドローンを飛行させた時間帯と赤外線装置法を適用した時の外気温や日射の状態が必ずしも適切ではなかったのではないかと等が原因としてあげられている¹⁾。あくまでもこれは一つの研究事例であるが、問題点については改善を行い、今後、広く活用できるようにしていく必要がある。引き続き、赤外線装置と調査方法の両面の検討をすすめ、実験データを蓄積し、適切に外壁調査を実施していくための技術開発と診断精度の検証が望まれる。

3. 外壁の調査・診断に用いられるロボット技術

(1) これまでの開発の流れ

打音法による外壁タイルの浮き等を診断する装置の開発は、1980年頃から始められている。現在も調査方法の基本となっている打診法は調査者の経験や技能等に依存するため、定量的な診断方法を整備するというのも一つの目的になっていた。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）では昭和53年建設省告示第976号による建設技術評価規定に基づき、昭和58年に「タイル仕上げ等のはく離検知器の開発」の公募も行っている。

その頃に開発された装置の多くは、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、思っ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、冒頭に紹介したとおり平成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・点検用ロボットが発表されている（最近の研究論文等に発表されている調査・点検用ロボットの例^{2~4)}を写真3~5に示す）。

(2) 調査・点検用ロボットの概要

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）の機能を表-1のように整理した（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）。

外壁調査における診断手法としては、表-1 診断方法の欄に示すとおり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⁵⁾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⁶⁾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⁷⁾）や音響探査法⁸⁾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打音法の欄に「検査員による判定*」と記載がある。本稿3.(1)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大きな課題となっている。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とそのため装置⁹⁾が開発されている。足場なしで外壁の打音を確認することができる一つの方法である。

次に、表-1に示すように外壁面での診断装置の移動機構については、①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壁面に吸着して自走するタイプがあり、このタイプには外壁面を何らかの方法で吸着するものと、ドローンを活用して壁面を移動させるタイプとに整理できる。

①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

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

診断方法	①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*
	②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
③超音波法	反射波を解析	
	外壁の表面波を解析	
④音響探査法、電磁波法（マイクロ波法等）など		
外壁面での移動機構	①屋上パラベット（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	
		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
	②壁面走行（または飛行）	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



写真－6 壁面を4輪走行するドローン¹³⁾

【参考文献】

- 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
- 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
- 布施 幸則、名知 博司、船越 貴恵、高橋 周男；外装タイル張りの打音検査における自動診断システムの試行、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、材料施工 pp813-814、2015年9月
- https://sanshin-g.co.jp/business/noborin
- https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2017/pr20170601/pr20170601.html
- 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
- 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
- 杉本 恒美、赤松 亮、歌川 紀之、片倉 景晔；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
- 例えば、http://www.tokyogas-es.co.jp/notice/pdf/20190226.pdf
- 例えば、https://www.takamatsu-const.co.jp/news/detail/30
- 眞方山美穂、棚野 博之、鹿毛忠 継、根本かおり、古賀 純子；外壁面を走行する外壁診断装置に関する研究、第20回建築の自動化技術シンポジウム 予稿集、2014年1月
- 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
- https://www.eyesay.co.jp/publics/index/122/

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²⁾。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¹⁰⁾。筆者らも数年前に国土交通省の総合技術開発プロジェクトにおいて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¹¹⁾を行っていたが、外壁のタイル目地や構造目地部での移動にはかなり苦労した。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¹²⁾。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（写真－6）”として紹介されており、壁面を這うようにしながら、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。

4. 新しい技術の活用に向けて

本稿では、ドローンを活用した赤外線装置法による調査技術や外壁の調査・点検を行うためのロボット技術の動向を紹介してきた。これらの技術を活用していけば、従前のような外壁調査・点検のためだけに仮設足場を設置する必要がなくなる。ただ、いくら仮設足場が不要になるということで診断費用が抑えられると説明されても、これらの技術を活用した診断方法による結果が、信頼性の低いものであれば建築物の所有者、管理者はこの方法による外壁調査の適用は躊躇してしまう。

診断結果の信頼性を確保するための一つの方法として、赤外線装置法については先ほど紹介した「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）¹⁾」等を踏まえて調査がなされることが期待される。また、調査・点検用ロボットについては、安心して利用してもらうために、それぞれの診断装置による結果が適切であることを、評価するしぐみの整備が必要になると考えられる。

外壁の調査・点検方法の選択肢が増え、確実に調査が実施できる環境が整えられることを期待したい。