

建築物の外壁を自走する外壁診断装置 (プロトタイプ)の開発

国土交通省国土技術政策総合研究所住宅研究部
まかたやま みほ
 住宅ストック高度化研究室 室長 眞方山 美穂

1. はじめに

国土交通省国土技術政策総合研究所では、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（平成22～24年度）」の建築分野における取り組みの一つとして、住宅・建築物の予防保全に関する研究を実施し、高所、狭所など人が容易に近づけない場所での外壁診断を簡便に行うための診断技術について検討を進めてきました。

本稿では、外壁剥落事故^{はくらく}に関する建築分野での取り組みと、上記プロジェクトで試作した外壁診断装置（プロトタイプ）について紹介いたします。

2. タイル・モルタル外壁の剥落事故

今から二十数年前、タイル仕上げの外壁が下地のモルタルとともに剥落し、通行人が死傷するという痛ましい事故が発生しました。それまでも、外壁タイルの落下事故は各地で発生していましたが、この事故を受けて外壁診断方法、診断基準についての検討が行われ、「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」が建設省建築技術審査委員会外壁タイル等落下物対策専門委員会において策定されました。

そもそも建築物の所有者は、建築基準法第8条により建築物の適切な維持保全に努めなければならないこととされていますが、このほかにも建築基準法第12条により特殊建築物^注の外壁については、定期的な調査診断の実施とその結果の報告が義務付けられています。特に、平成20年4月からは、竣工後10年経過した外壁、また大規模改修工事等から10年経過した外壁については全面打診等により調査し、報告するという内容へと定期報告制度の改正が行われました。

調査結果を定期的に特定行政庁へ報告することは建築物の所有者等に課された義務となっているわけですが、外壁全面を打診等により検査するためにはゴンドラ等の仮設足場の設置が必要となり、調査費そのものが高額となってしまうため、金銭的な理由により調査診断を実施できないという建築物も少なくありません。

このような状況のもと、外壁の調査診断を確実に実施してもらえるようにするために、低コストで信頼性のある検査技術、仮設足場を使わずに診断できる技術の整備に取り組みました。

（注）特殊建築物：劇場、映画館、病院、ホテル、共同住宅、学校、百貨店等で一定規模以上のもの

3. 壁面を自走する外壁診断装置の概要

仮設足場を不要とした外壁診断装置の開発は、20年ほど前に大手建設会社等を中心に行われてきました。各社、それぞれ工夫を凝らした診断装置を開発しましたが、その多くは屋上から診断装置を吊し、ウィンチ等で外壁面を上下に移動させながら診断させるタイプのものでした。屋上から吊す方式の場合、建築物の^{ひさし}庇や窓、ベランダ等があると移動の際にそれらが障害となるため、効率的に診断できる建築物は限られました。またその当時の技術では診断装置自体が大きくなり、取り回しが容易でなかったことなどから、適用された事例は多くはなかったようです。

今回のプロジェクトでは過去の開発経緯等を踏まえ、今回は窓や庇等があってもそれらを迂回しながら外壁面を移動できる、つまり診断装置自体が外壁面を走行する（自走する）装置を開発目標としました。また、できるだけコンパクトな装置にするなど、以下に示すような目標を設定しました。

当初の開発目標

- ・ 電源供給はバッテリー式として外部からの供給は行わない
- ・ 検査員が外壁調査を実施する場合と同程度の面積が調査できるようにする（10～20m²/h）
- ・ 微少な段差の回避や隅角部での転回等ができる
- ・ 無線方式により走行装置を遠隔操作できる
- ・ 重量（走行装置部分）は15kg程度

後ほど説明しますが、電源供給方式については、外壁面への安定した吸着を最優先としたため、最終的に外部電源による供給も可能とする方向で見直しをしました。また、段差について、途中段階では回避が可能な装置の試作も行いましたが、動作が不安定になったため、段差がある場合はこれを回避する（横に移動する、もしくは後退

する）動作プログラムを組み込むこととしました。その他については、おおむね目標は達成できました。

さて、今回試作した外壁診断装置は、壁面を走行しながら打診する本体部分を含め、落下防止装置（安全装置）、位置計測装置の三つで構成されています。以下に各装置について説明します。

- ① 外壁診断装置本体
- ② 落下防止装置（電源供給を兼ねたリールユニット）
- ③ 位置計測装置

(1) 外壁診断装置本体

写真 1 は試作した外壁診断装置本体です。長さ1m、幅85cm、重さ約17kgのサイズになっています。この外壁診断装置本体は、①走行装置、②打音装置、③走行および打音装置の動作制御装置（制御基盤含む）の三つのパーツから構成されています。

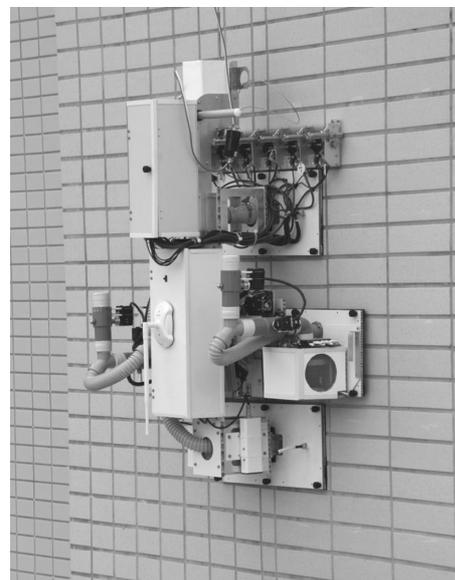


写真 1 壁面走行型外壁診断装置

① 走行装置

走行装置は、吸着面の大きさが45×20cmの二つの脚と77×20cmの一つの脚を有し、二つの吸引ポンプ（一般の家庭用掃除機に用いられているのとほぼ同じもの）により壁面に吸着しながら移動するようになっています。移動方法は、装置の

上下に取り付けられた二つの脚（45×20cm）と、装置の真ん中にある脚（他の二つの脚よりも少し大きめの77×20cm）とを交互に動かし、尺取り虫が動くように壁面を登り降りします。また、この装置は鉛直方向だけではなく、水平方向への移動も可能となっており、鉛直方向1列を診断した後、一旦、装置を取り外して隣の列に設置しなおす必要はありません。そのまま水平移動させて診断作業を続けていくことができるようになっています。1回の移動距離は、鉛直方向がおよそ10cm、水平方向はおよそ5cmです。

② 打音装置

打音装置は写真 2 に示すように走行装置の先端部分（上側）に取り付けられています。その打音装置は、写真 3 に示すように壁面を打撃する部分と、打音を収録するマイクから構成されており、壁面を打撃する金属の錘とパネが入ったシリ



写真 2 打音装置の取り付け状況

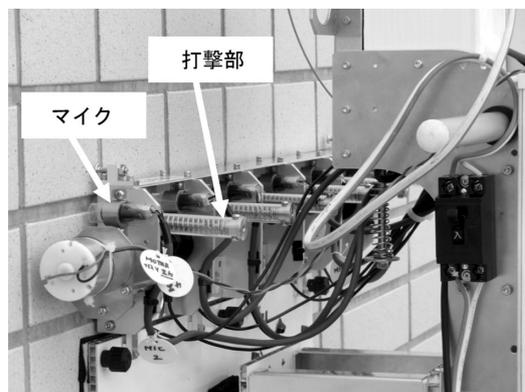


写真 3 打音装置

ンダーが集音用マイクとセットで、走行装置の先端部に10cm間隔で6個設置されています。外壁診断装置本体が所定の距離だけ移動すると一旦そこで停止し、打撃・集音が行われます。集められた打音は、デジタルデータに変換され、搭載している小型パソコンで解析してタイルが浮いているか、健全であるかを判定するようになっています。これらのデータは、解析後に地上に設置している制御用パソコンへ送信されます。

通常、人が打診する場合の作業量は1時間当たり10～20m²程度といわれており、今回の開発ではその作業量とほぼ同じぐらいになるよう、装置の移動速度や解析方法の検討を進めました。

また今回のプロジェクト期間内では開発できませんでしたが、将来的には診断結果を建築物の図面情報の中に落とし込み、簡単に検査結果の確認ができるアプリケーション等が完成すれば、維持管理情報の蓄積・活用がより効率的に行うことが可能になります。

③ 走行および打音装置の動作制御装置（制御基盤含む）

走行装置・打音装置・位置計測装置の各動作は、地上の制御用パソコンから無線LANにより制御できるようになっています。基本的に以下の動作ができるようにプログラムの設計を行いました。

- 1) 前進（後退）動作，列替え動作（回転・平行移動）
- 2) 前進（後退）+診断（打撃+データ収録）+位置計測

先ほども説明しましたが、動作に関しては、鉛直方向だけでなく水平方向への移動と旋回が行えるようにし、5cmの水平方向のストロークを10回繰り返すことで幅50cmの列変えを行うことができるようにしました。また、この装置は回転中心を持つ構造になっているため、二脚がそれぞれ±5度ほどの角度で旋回できるようになっています。そのため、作業途中で装置進行方向にずれが生じた場合でも動きを修正することは可能で、実

際にジャイロセンサーによって装置の水平を確認し、倒れがあった場合には回転軸を駆動し、常に装置の上端面が水平に保たれるよう自動的に修正しています。

なお、壁面を移動中は、壁面に確実に吸着しながら移動できるようにするため、吸着状態を圧力センサーでセンシングしながら吸着部の動作制御を最適化する設計としました。

(2) 落下防止装置（電源供給を兼ねたリールユニット）

装置の概要でも説明しましたが、外壁診断装置の開発を始めた初期の段階（平成22年度）では、装置単体で動かすこと（落下防止装置は別途取り付ける）を基本としていたため、電源方式をバッテリー型として開発を進めていました。しかしながら、使用状態によっては電圧が不安定になり、壁面への吸着状態が不確実になることが実験段階で何度かあったため、平成24年度の外壁診断装置の改良においては、外部電源を供給する方式も含めて改良に向けた検討を行いました。最終的には当初の「バッテリーだけで動かす」という条件を緩め、走行に支障のないように外部電源を利用する仕様も可能とする条件としました。ただし、外部電源を利用するとなれば、電源を供給するケーブルの重量をどう解決するかという問題が新たに出てきます。そこで、その対応策として、落下防止用のケーブルに電源供給の機能を持たせながら、外壁診断装置自体にはケーブルの重量がかからないように一定の牽引力でケーブルを引っ張り上げる「リールユニット」を、落下防止装置として巻き取り補助具とともに屋上側に設けるようにしました（図 1、写真 4）。仮にタイル外壁が浮いた部分に外壁診断装置の吸着板（脚）がかかり、タイル・モルタルが剥落するような場合でも、直前の位置から50cmくらい下の位置で吊り下がって止まるようになっています。

巻き取り補助具は、屋上のパラペットに固定して使用することを想定しています。試作したものは水平方向に1m程度の長さとなっており、その

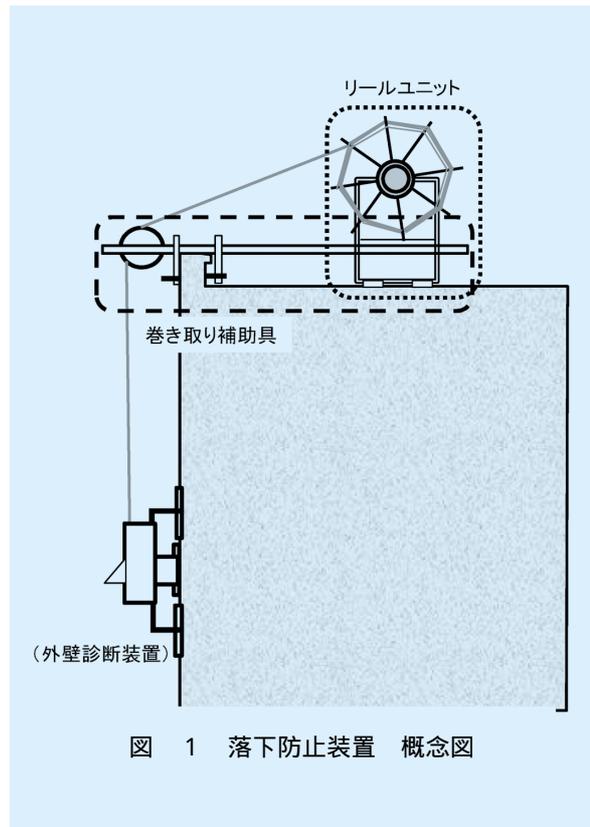


図 1 落下防止装置 概念図



写真 4 落下防止装置兼電源供給用リールユニット

範囲を外壁診断装置が動く場合は、巻き取り補助具は固定したままでリールユニットを列替えした分だけスライドさせればケーブルに無理な力が働くようなことはありません。ただ、それ以上に列を移動する場合は、巻き取り補助具を固定しなおす必要があります。

(3) 位置計測装置

壁面を打音検査する際、壁面のどの場所を診断

しているのか、つまり位置のデータも明確にされている必要があります。位置計測については、トータルステーションを活用する方法なども考えましたが、費用的な面の制約もあったため、今回は走行装置の位置計測としてレーザー測長器を使用する方法を検討しました。



写真 5 壁面走行型外壁診断装置および位置計測装置

写真 5 に示すように、レーザー照射計を載せた位置計測装置とレール架台を地面にセットします。位置計測装置はレール架台上を左右に動き続け、外壁診断装置側に取り付けられた受光ユニットで位置計測装置からのレーザーを感知したときの水平位置を、外壁診断装置の水平位置として計測します。水平距離は、計測装置のモータ回転数から割り出します。鉛直方向は、外壁診断装置本体に取り付けたレーザー距離計で計測します。なお試

作機ではレーザー測長機が移動するレール長は1,500mm程度となっていますが、この長さについては実建物での操作性等の確認実験を通じて明確にしていく予定です。

計測された位置情報は外壁診断装置に搭載されているパソコンに保存され、その後、打診結果とともに地上に設置されているパソコンに送信されるようになっていきます。

4. 課題と今後の予定

試作機が完成した後、タイル仕上げの外壁を模擬した試験体を用いて、外壁診断装置の走行性や作業性等を確認するための実験を行いました。その結果、今回の試作機は壁面への吸着力が想定どおりに確保され、安定して壁面を昇降することが確認できました。また、何らかの原因により吸着がはずれた際にも落下防止装置が適切に作動し、地面に落下することなく直前に吸着していた位置よりわずか下のところでケーブルに吊られた状態のまま保持されることなども確認できました。

安定した壁面吸着を実現するため、平成24年度の試作機の改良に当たっては流量の大きいポンプを用いることにしました。これにより吸着に関する問題はクリアしましたが、新たな課題として診断装置を稼働した際の騒音対策が残りました。稼働時の騒音は診断精度にも大きな影響を与えます。今後は、この稼働時の音を低減させる技術とともに診断精度の向上を図り、実建物を用いた検証を行いながら、実用化に向けた改良を行う予定となっています。