

外壁タイル診断ロボットの開発と導入事例

遠藤 健

特殊な立地条件や構造によりゴンドラが仮設できない建物物件のタイル外壁調査を対象として、タイル診断ロボットを開発した。タイル外壁の劣化診断項目である浮きとひび割れの調査を同時に行うことができ、ともに劣化位置情報を取得しPCに保存することができる。

ゴンドラを掛けられない外壁構造を持つ多目的ホールの外壁診断工事に導入し、曲率の強い壁面や傾斜パラペットなどの条件下で約1,500㎡を施工した。導入時の仮設計画や、施工状況についても報告する。

キーワード：外壁タイル、リニューアル、劣化診断、浮き、ひび割れ、無足場化

1. はじめに

外壁タイル診断ロボットは、弊社が数年来研究を進めてきた一連の壁面作業自動化システムの中でも、最新に位置する技術の一つである。ロボットによる壁面の診断とは、劣化症状の診断に必要な情報取得機能を搭載した機械装置を壁面に設置し、移動させながら遠隔操作で情報収集することを意味する。現在、社会的な情勢や業界の動向によりリニューアル工事への注力が進むにつれて、一般的な調査物件の他に、人による調査が困難な物件の概査のニーズが現場から上がってくるようになった。このため本技術における研究開発もまず実用性を重視し、現況の概査を行うための情報収集機能に注力したロボットを具現化し実績を上げてきた。写真—1、2は過去に実施したロボット診断による物件である。写真—1は建物周囲の木立により、また写真—2は斜壁によりそれぞれゴンドラの設置が困難なケースであり、いずれもロボットによる長所が発揮された調査物件であった。並行して社内ではエンジニアリング部門とリニューアル部門の合同によるWGを開催し、ロボットの適用分野（位置付け）や要求仕様などを検討した結果、弊社ではロボット診断のポイントを下記のように整理した。

- ①人力で診断が可能な部分にロボット診断を適用してもコスト面で不利となる。ロボット診断は当面、ゴンドラによる診断が困難な物件や、無足場化によるコスト効果の大きい物件に特化すべきである。
- ②劣化状況についてはロボット診断でも人力による診断と同程度に把握できることが望まれる。
- ③建物の外壁診断は、簡単かつ低コストで診断し結果

を迅速に出すことが求められる傾向にある。今後はより情報化を進め低コストのロボット診断法を実用化し、実績をつくることが重要である。



写真—1 木立に囲まれた物件におけるロボット診断



写真—2 斜壁におけるロボット診断

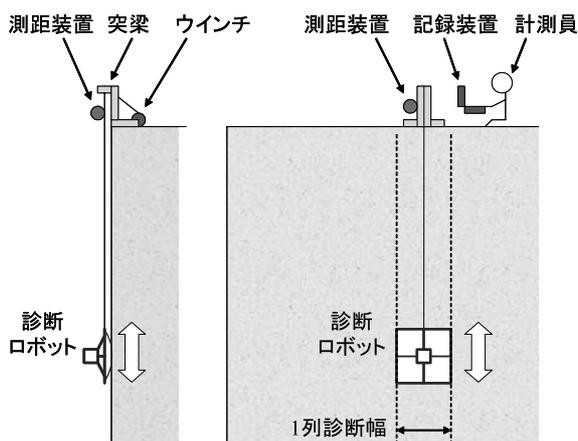
外壁タイル診断ロボットは、過去の施工実績や WG による検討結果を総合的に反映して、人力と同程度の診断情報の収集能力を持ち、かつ優れた可搬性や操作性も持つ診断ロボットを目指して開発された。

2. 外壁タイル診断ロボットの仕様と特長

タイル診断ロボットの概観を写真—3に、主要機器の配置を図—1に、仕様を表—1に示す。タイル診断ロボットは軽量・強固なフレーム枠に各種計測器や制御機器を搭載した構造で、壁面上部に固定したウインチにより上下移動し、計測列の劣化状況を診断す



写真—3 タイル診断ロボットの概観



図—1 主要機器の配置

表—1 タイル診断ロボットの仕様

本体質量 (kg)	21
本体寸法 (mm)	W980 × H1050 × D650
最小ひび検出幅 (mm)	0.1
撮像画素数 (個)	3,872 × 2,592
撮像範囲 (mm)	700 × 450
打診幅 (mm)	620

る。通常、屋上に計測員 1 名、地上に補助員 1 名の計 2 名を配置する。

(1) 浮き診断

浮き診断は、打撃装置により発生させた壁面からの反響音をマイクロフォンにより取得し、振動センサを応用して正常部と浮きの判定を出力する機構である。ウインドガードをつけたエレクトレットコンデンサマイク、音圧判定用振動センサ、反復運動により壁面を打撃する往復横式打撃装置等で構成する。振動センサにはマイクからの電圧を直接入力する。振動センサは音圧の判定レベルをある程度自由に設定できる機能を持ち、正常状態では出力 OFF、浮きの状態では出力 ON になるように調整している。振動センサの出力を計測ソフトの位置取得用トリガ信号として利用している。

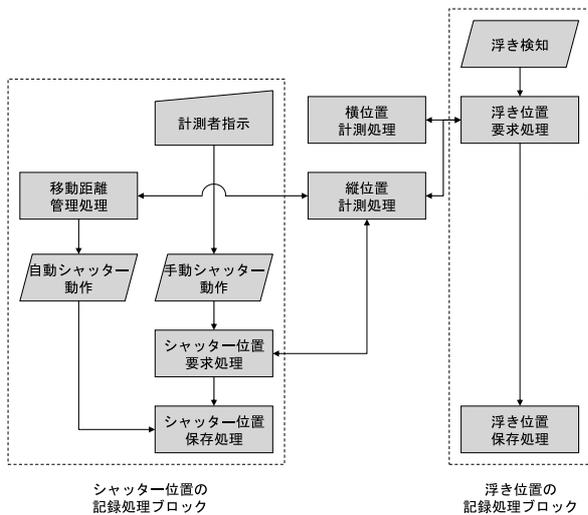
打撃装置は、2本の点検用ハンマがバネとクランク機構により断続的に壁面を打撃する機構である。また打撃装置はそれ自体が 500 mm のストロークで左右反復運動する構造で、反復運動の際に 3 個の固定スイッチに順次接触することで、4 つに分けられた区画のどの位置にあるかを簡易に把握できる構造となっている。

(2) ひび割れ診断

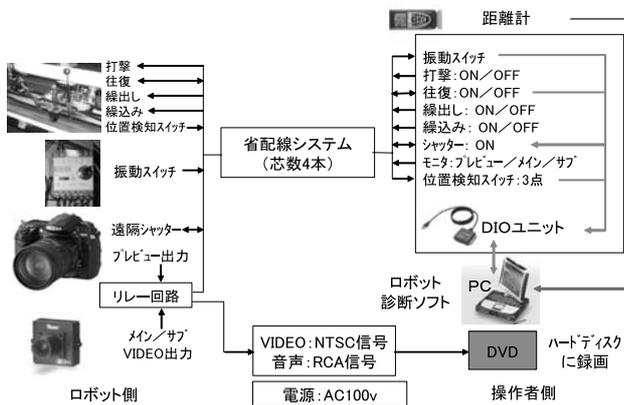
ひび割れ診断は、装置中央に配置した一眼レフカメラにより横約 700 mm × 縦約 450 mm の壁面を接写し、撮影写真をもとに目視によるクラックスケールとの比較、又はひび割れ解析用ソフトウェア等を用いてひび割れの幅・長さを特定する仕様である。撮影写真は解析に十分な解像度を持ち、幅 0.1 mm のひび割れの認識が可能である。またシャッタースピードを固定とし、安定した露出を確保するための太陽光等による外乱防止用遮光カバーと内部照明を備えている。

(3) ロボット診断ソフトによる自動化

ロボット診断ソフトの情報フローおよびタイル診断ロボットの主要機器の構成を図—2、図—3にそれぞれ示す。各種機器はソフトに連携しており、診断の結果は最終的に、PC の HD (ハードディスク)、一眼レフカメラのフラッシュメモリ、DVD レコーダの HD に保存される。ロボット診断ソフトにより、PC の HD には浮きと写真の位置がテキストデータとして、一眼レフカメラのフラッシュメモリには写真データが JPEG ファイルとして保存される。またロボット診断ソフトとは独立して、DVD レコーダの HD 内には診断のモニタ状況が音声・映像のデジタルデータとして



図一2 ロボット診断ソフトの情報フロー



図一3 タイル診断ロボットの主要機器構成

記録される。

ロボット本体の位置は、壁面上部に設置したハンディタイプの測距装置によって検出する。検出値はほぼリアルタイムに計測用PCに転送され、ロボットの計測列における現在位置を常時監視することができる。

浮いたタイルの位置は、判定が出力された瞬間の打撃装置の位置（横位置）を往復横行装置のリミットスイッチから検出すると同時に、測距装置の検出値（縦位置）と合せ計測列を考慮した壁面上での座標として取得する。自動シャッターは測距装置の計測値を常時監視し、あらかじめ入力したピッチを超えるごとに遠隔操作でシャッターを自動操作する機構である。ひび割れの位置は写真位置で管理するため自動シャッターが切られた瞬間の測距装置の検出値を用い、浮きと同様に壁面上での座標として取得する。

3. タイル診断ロボットの現場導入

開発したタイル診断ロボットを某多目的ホールの外

壁調査に導入した。施工状況と結果を以下に記す。

(1) 現場状況

当該ホールの外壁は磁器質のラスタータイル（45 mm × 45 mm）で化粧され壁面形状は多様である（写真一4）。外壁調査にロボット診断を導入したのは以下①②に示す施工条件により、従来の足場やゴンドラ等による診断方法では、施工の条件的に仮設工数の増加によるコスト増大や施工性の悪化による工期延長、安全対策面等で問題があると考えられたためである。



写真一4 強い曲率の壁面（左）と傾斜パラベットの壁面（右）

①強い曲率の壁面部

- ・最小曲率半径が2 m程度の非常に曲率の強い曲面である。
- ・パラベットは強い曲率と傾斜のため、ゴンドラの仮設に利用できない。
- ・壁面直下は施設利用のためのエントランスで、通行者が非常に多い。

②傾斜パラベットの壁面部

- ・タイル壁は5 F以上にあり、途中階の屋根が明り採りの天窓を持ちデッキ状に張り出している。
- ・パラベットは27～45°で傾斜しており、ゴンドラを仕掛けることができない。
- ・最下層にはレストラン等のオープンテラスが演出されており、大掛かりな仮設はできない。

以上の様な条件下で診断を行うには施設運営を一時停止するなどして総足場を組む以外にないが、施設のスケジュールやコスト的に実現は困難である。そこで当該箇所の診断は無足場で施工ができるロボットにより行うことになった。

(2) 仮設計画

外壁面それ自体は窓部が少なく、通常のオフィスビルなどに多い換気孔などの凹凸の障害物もほとんどないため、ロボット診断には適するタイル面と考えられ

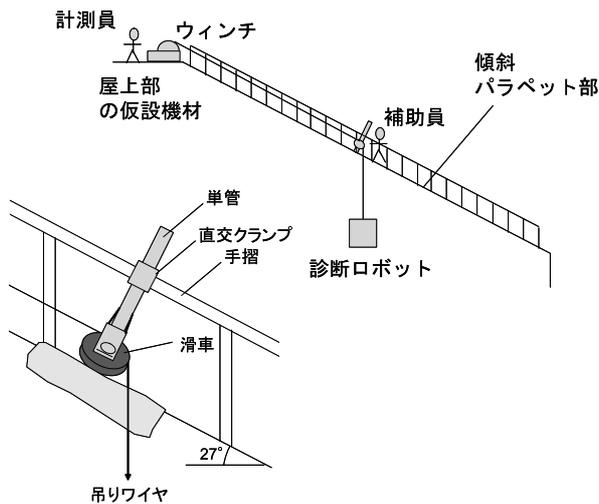
た。仮設における技術的課題は前述の施工条件①②がそのまま相当する。

(a) 強い曲率（最小曲率半径 $r = 2\text{ m}$ 程度）を持つ壁面へのロボットの対策

ハンマを確実に曲面に打撃させること、および撮影写真に距離の違いによる解析不能となるようなフォーカス不良やひずみが生じないかが問題となる。打撃についてはハンマの打撃機構が柔軟構造のため、壁面までの距離が若干変化しても十分に対応できると考えた。撮影写真については、広角レンズを使い被写界深度が深いことと、内部照明により絞りを大きくするなどの工夫により対処できると考えた。これらについては事前に $r = 1\text{ m}$ の曲率でテストしたところ、ハンマの当り具合と撮影後の写真には大きな問題が生じないことを確認しており現行の仕様で臨むこととした。

(b) 強い傾斜（ $27 \sim 45^\circ$ ）を有するパラペット部への安全な吊り仮設の計画

図—4 に示す仮設計画の下に実施した。突梁（ウインチ含む）はロボット直上の傾斜パラペット部には仮設せず、反力が十分取れる安全な箇所に設置し、傾斜パラペット部には滑車を設置して吊りワイヤを切回しする方法を計画した。ロボット自体が軽量なことから滑車だけの固定であれば手摺や吊環など様々な控えが利用できることから実施可能と考えた。



図—4 傾斜部の吊り仮設計画

(3) 導入結果

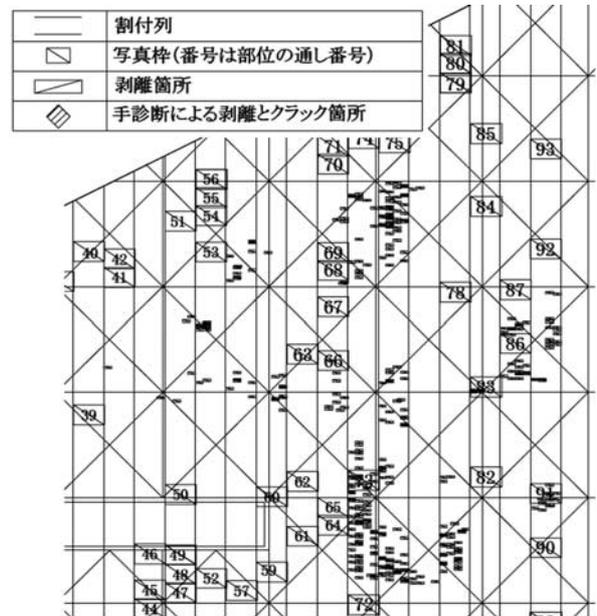
施工は壁面を複数部位に区分けし、診断を実施した。施工状況を写真—5 に、また歩掛り結果を表—2 に、さらに調査結果の一部を図—5 および写真—6 に示す。実際には打撃による診断音が建物内部に響くため、店舗営業を侵害しないように映画や公演の上演時間を回避するなどの配慮が必要であった。



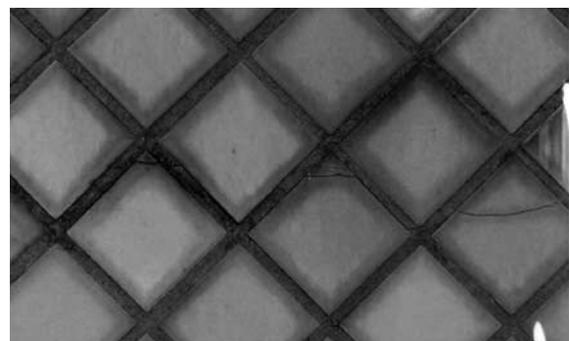
写真—5 施工状況
(左：傾斜パラペット部、中央、右：曲面部)

表—2 調査数量

部位	調査面積 (m ²)	作業時間 (h)	歩掛り (m ² /h)	備考
A	244.5	16.5	14.8	設置撤去工含む
B	138.8	8.5	16.3	同上
C	244.5	19.0	12.9	同上
D	264.6	13.5	19.6	同上
E	134.4	4.5	29.9	同上
F	378.9	13.0	29.1	同上
G	159.6	8.0	20.0	同上
合計	1565.3	83.0	平均 18.9	日換算 151 m ² /日



図—5 診断結果の表示例



写真—6 タイル、目地に生じたひび割れの状況
(撮影写真の拡大表示)

4. 考察と課題の抽出

今回の導入における考察と、判明した新たな課題や改善項目などについて以下に記す。

(1) 仮設計画について

吹抜部の傾斜パラペット部については特に問題なく、写真—5左に示すように滑車によるワイヤの切回しで安全確実に実施できた。また懸念された曲面部については曲率半径が2～十数mの範囲で段階的に変化するものであったが、写真—5右に示す様に、ロボットの打撃装置は柔軟に対応し確実な打撃による浮き判定を行うことができた。

(2) 歩掛りデータについて

歩掛りについては外壁自体がこれといった凹凸もなく開口部も少ないためロボット診断には有利と考えていたが、結果は151m²/日と通常のロボット診断の約半分という結果であった。これは直接の原因は特殊なパラペットや複雑な屋上形状による列盛替え作業の増加によるものと考えられる。また間接的には施設都合による施工時間帯の分断に伴う変則的な工程なども能率を下げた要因と考えられる。

(3) 浮きのデータについて

PCに記録したデータの位置座標を下にCADに展開し、凡例を割り付けたのが図—5である。一列700mmの幅を4分割した割付で浮きと判定された箇所を図示しており、浮きの数量は最終的に図示された凡例の面積に数を乗じた数量で算出している。なお浮いた箇所に囲まれた正常箇所の評価や、振動センサの捉えきれない浮きと正常の中間状態における微妙な反響音の変化(DVD記録音声では認められる)の処理については今後の課題であり、実績を積んで行く中で結論付けていきたい。

(4) 写真データについて

図—5の凡例にある写真枠は、ひび割れの存在する写真の位置と管理番号を図中に表記したものであり、ひび割れの図示(スケッチ)に替わるものである。全ての診断部位における写真を記録しており、写真により正確な情報を得られることから本技術の特長を考慮して採用した表記方法である。それぞれの写真は写真—6のように鮮明な写真データとして記録することができ、拡大して観察すればひび割れやシールの状況などの詳細を把握することができる。今後、取得した写真データの補修工事における利用法について追加検証していく予定である。

5. まとめ

現場のニーズに即した開発仕様の下にタイル診断ロボットを開発し、無足場を施工条件とする外壁タイル診断を実施した。データを検証し、劣化状態を知るに十分なデータを取得することが可能であることが判った。また新たな課題・改善項目の抽出を行った。

建設現場へのロボット技術の適用は、汎用性、耐久性、信頼性などに課題が多く一般に実用化は困難を伴う。ロボットに必要とされる基本の要求を的確に捉え、できるだけシンプルな着想でこれを実現し実績を重ねていくことが肝要ではないかと考えている。 JICMA

《参考文献》

- 1) ROBOMECH 2007 in AKITA 講演概要 建設・解体ロボット・メカトロニクス, (社)日本機械学会, pp.90-92 (2007.5)
- 2) 第25回日本ロボット学会学術講演会 講演概要集 屋外作業・建設ロボット, (社)日本ロボット学会, pp.137-139 (2007.9)

【筆者紹介】

遠藤 健(えんどう けん)
東急建設㈱
技術本部機械技術部
メカトログループ 主席研究員

