

## 外壁タイル診断の自動化技術（その2） — ひび割れ（クラック）画像の取得 —

遠藤 健\* 中村 聡\* 上野 隆雄\*\*

**要約：** 建物の外壁タイルに発生するひび割れは、多くの場合躯体コンクリートのひび割れを伴っている。そのため定期的な点検による継続的な壁面観察を行い、補修などにより建物の劣化を防止することが望ましい。本研究は、外壁を補修する際の基礎資料となる、外壁タイルのひび割れ・その他の壁面性状（汚れ、シール材の劣化、付属物の劣化状況など）を画像データとして取得する方法に関する研究である。本報では、既存のひび割れ診断方法である足場仮設法やゴンドラ法などについて、施工例を用いて問題点を整理した。また、壁面作業自動化技術<sup>1)</sup>を用いた壁面診断装置をひび割れ診断に応用することの可能性の検討と、打診装置に試験的に取り付けられた撮影機器による画像取得実験を通して、画像取得機器に求められる性能などについて検討した内容を報告する。

**キーワード：** タイル外壁面、壁面診断、ひび割れ

- 目次：**
- |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| 1. はじめに                   | 4. 壁面作業自動化技術によるひび割れ診断の可能性 |
| 2. 外壁タイル面のひび割れ（クラック）と診断方法 | 5. ひび割れ画像取得方法と課題          |
| 3. 既存の診断方法の問題点            | 6. おわりに                   |

### 1. はじめに

近年、高度成長期に建てられた多くの建築物は老朽化が進み更新時期を迎えているが、従来の建替えに関する価値観は、コストや環境面への配慮からスクラップ&ビルドからストックへと変わってきた。このような社会的背景のもと建物リニューアルにおける外壁面の診断・補修工事は建物の長寿命化だけでなく、外壁面の崩壊等による災害防止の面からも重要視されている。

鷹巣、福田等<sup>1)</sup>は、これまでに外壁面での作業を自動化・無足場化する装置の開発に取り組み、作業の安全性向上、コスト削減を図ってきた。また中村等<sup>2)</sup>は点検ハンマを用いた人力検査を模した機械装置を壁面作業自動化技術に搭載し、外壁タイルの浮き（剥離）診断装置の試作を行い、発生する打音や擦過音を記録し、タイルの浮き（剥離）の判断を人間の感覚に頼らずに定量的な分析により判定を下すための手法を研究した。

本研究は、外壁タイルの診断において、タイルの浮き（剥離）診断と同じく診断項目であるタイルのひび割れ（クラック）、およびその他の壁面性状（汚れ、シール材の劣化、付属物の状況など）を確認するための画像取得・画像処理に関する研究である。本報では、既存方法によるひび割れ診断についての問題点の抽出と、壁面作業自動化技術を利用することの可能性、および外壁面での画像取得における課題の抽出、および画像取得機器選定の際の留意点などについてまとめた。

### 2. 外壁タイル面のひび割れ（クラック）と診断方法

一般に外壁タイルに発生するひび割れは、凍害や鉄筋の腐蝕などによるものを別とすれば、大半が躯体コンクリートの乾燥収縮や、温度変化による躯体コンクリートまたはタイル自身の膨張・収縮を原因とする応力によるものとされている。ひび割れ発生時期は躯体コンクリートのひび割れと時期を同じくする場合と異にする場合とがあり、いずれも発生後徐々にひび割れ幅が増加していくものと考えられている。特に複数のタイルにわたって表れたひび割れは、躯体コンクリートのひび割れを伴う場合が多いと考えられており、雨水浸透などによる躯体の劣化（コンクリートの中性化、および鉄筋の腐蝕など）を防ぐためには、ひび割れの状況を定期的な点検により継続的に観察し補修を施すことが望ましい。



写真1 タイル壁面のひび割れ

ひび割れの点検項目としては、ひび割れの位置、形状、長さ、幅などがあり、ゴンドラなどを用いて直近から目視によって行うのが通常である。補修・改修の設計指針<sup>3)</sup>でひび割れ幅の程度に応じた補修方法が規定されているため、外壁診断においてひび割れ幅を特定することは重要である。

写真1に一例として実際の建物に生じたタイル外壁面のひび割れ(クラック)を示す。

### 3. 既存の診断方法の問題点

#### 3.1 ひび割れの診断方法

外壁タイルのひび割れの主な診断方法を図1に、クラックスケールによるひび割れ判定の様子を写真2に示す。

目視による方法は、視力1.0以上の者が壁面より1m以内の距離にて観察すること、または望遠鏡を用いること<sup>4)</sup>とされているため、足場やゴンドラを仮設して、直近からの目視観察をすることが望ましい。

目視観察によるスケッチでひび割れの形状を記録し、クラックスケール等を用いてひび割れ幅を特定し、合わせて位置なども記録する。

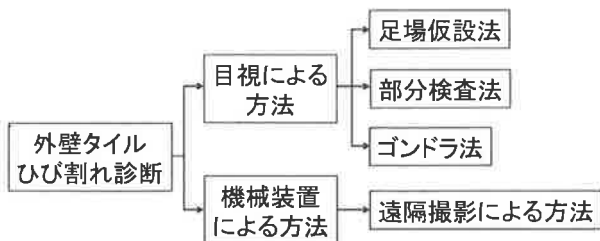


図1 ひび割れの主な診断方法



写真2 クラックスケールによるひび割れ判定

#### 3.2 ひび割れ診断方法の問題点

現状良く用いられるのが部分検査法である。部分検査法は外壁タイルのある部分(1階地上部など)を診断者の目の届く範囲で壁面の劣化状況を観察し、単位面積当たりの劣化比率で、建物全体の外壁の劣化の程度を判定する方法である。この方法は、劣化診断精度の悪化を招くほか、緊急性の高い重大な劣化が視認できない場所に発生していた場合、これを見逃す可能性があるなど問題点は多い。

足場仮設法は確実な診断方法であるが、足場の仮設に大きく費用が掛かる。コストの面ではゴンドラによる方法が有利であるが、ゴンドラも建物立地条件により仮設が困難な場合がある。例えば写真3に示す施設のような鉄道線路に面している壁面、写真4に示すような建物と建物間の壁面などは、ゴンドラを用いにくい、もしくは使用が不可能なケースといえる。

機械装置による方法は、離れた場所から高解像度カメラを用いて写真撮影を行い、得られた画像を元にひび割れを検出する方法である。この方法は、画像処理ソフトなどを用いて省力化が期待できる反面、写真撮影時に建物の立地条件により撮影が困難となるなど画像取得時に問題が発生することが多い。例えば市街地などで建物を遠方から撮影する際、街路樹や看板その他の設置物といった物理的要因による障害(写真5参照)や、建物の反射光などといった環境的要因による障害によって撮影が不可能となる場合がある。



写真3 鉄道線路に面する壁面



写真4 建物間の狭い作業スペース

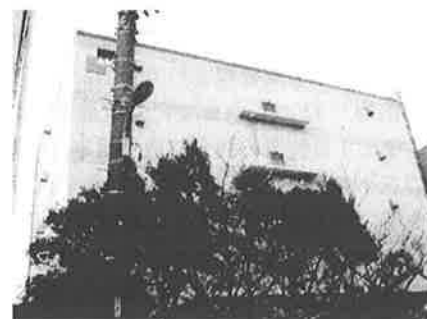


写真5 遠隔撮影が困難な壁面

表1 既存のひび割れ診断方法とその問題点

診断方法	問題点
足場仮設法	他の方法に比べ足場仮設に費用を要する
部分検査法	大部分が間接診断となり数量見積が粗い
ゴンドラ法	立地条件で適否が左右される
遠隔撮影法	立地条件、環境条件で適否が左右される

4. 壁面作業自動化技術によるひび割れ診断の可能性

4.1 壁面作業自動化技術

壁面作業自動化技術とは、壁面描画ロボット・鋼構造物ケレン・塗装装置<sup>5)</sup>をはじめとする外壁面における自動化技術の総称であり、ウインチ、ワインダといったワイヤロープを用いた昇降設備と壁面への作業ツールを備え、壁面上の任意の位置に移動して壁面に対し作業を行う機械装置に用いられる。壁面上に吊下げることから直近での作業が可能なこと、遠隔操作のため作業者の安全性が向上するなどのメリットを有している。

4.2 壁面作業自動化技術による壁面診断装置

壁面作業自動化技術を利用した壁面診断は、作業ツールを壁面診断用ツールに置き換えて実現したもので、過去に中村らが開発した壁面診断装置はその一例である。

壁面診断装置は、打診用パルハンマを模した打撃部で繰り返し壁面を打撃できる機構、打撃音または擦過音を録音するマイク、およびその状況を撮影するカメラで構成する遠隔式診断装置である。



写真6 斜壁の診断



写真7 建物間の診断

装置本体は小さなもので質量約 15kg、高さ 37cm と小型・軽量を実現しており、複数の適用事例がある。写真6は斜壁用に、写真7は建物間 45cm の狭隘空間用にそれぞれ適用した際の施工状況写真である。写真8、写真9はそれぞれ斜壁用、狭隘空間用に適用した装置のモニタ用カメラで見た壁面映像である。

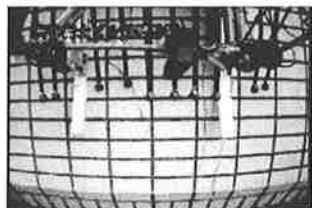


写真8 斜壁用モニタカメラ映像



写真9 狭隘空間用モニタカメラ映像

壁面診断装置は、施工状況写真からも判るとおり、3章に示した既存のひび割れ診断方法が課題としたゴンドラや遠隔撮影の困難な壁面でも容易にアクセスすることを可能としている。加えて至近距離からのモニタカメラ

映像では、精細さにはかけるものの壁面上のひび割れの有無を認識することができている。

課題としては以下のような点を挙げることができる。

- 1) 画像処理技術の導入などによる人為的な判断によらないひび割れ幅特定法の検討
- 2) 取得画像の仕様検討（分解能、撮像範囲など）
- 3) 撮影条件の安定化対策、および吊下げ方法の検討

以上の課題に対策を施し、装置の重量・寸法仕様を大きく変えずにひび割れ診断専用のカメラを新規に搭載することによって、既存の問題点を解決する新しいひび割れ診断方法を構築できる可能性がある。

5. ひび割れ画像取得方法と課題

5.1 CCDカメラによるひび割れ映像の取得

図2は一般的な CCD カメラの被写界範囲と焦点距離の関係を図示したもの、(1)式はそれらの関係式である。

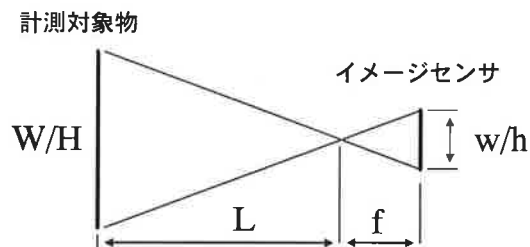


図2 CCDカメラの被写界範囲と焦点距離の関係

$$w/W = h/H = f/L \tag{1}$$

- w : イメージセンサ横幅      h : イメージセンサ縦幅  
 W : 対象物横幅                  H : 対象物縦幅  
 f : レンズ焦点距離              L : 撮影距離

(1)式から CCD カメラのイメージセンサ画素数、レンズ焦点距離、および壁面までの距離から、イメージセンサの1画素に相当する壁面上での単位幅を求めることができる。したがって写真8、写真9のモニタカメラ映像においても、ひび割れの部分を拡大し、ひび割れ幅がいくつの画素で構成されているかを数え、これに画素に相当する単位幅を乗ずれば、おおよそのひび割れ幅を特定することができる。

5.2 デジタルビデオカメラによる検証実験

壁面作業装置の作業装置取付部にデジタルビデオカメラを搭載し、高さ約 30mの屋外建造物の壁面に吊り下げ、診断装置を操作する要領で壁面撮影の実験を行った(図3参照)。

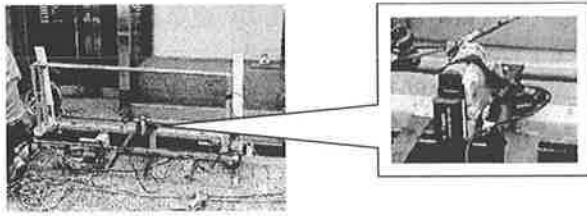


図3 デジタルビデオカメラによる撮影実験

壁面の性状確認という観点では、デジタルビデオカメラの映像でも、動画・静止画ともにタイルの質感、シーリング材の状況などを目視確認と同程度に確認できることが判明した。

図4の拡大前の画像は取得した動画映像よりひび割れが映りこんだ映像を動画編集ソフトによってキャプチャしたものであり、横720画素、縦480画素の解像度を持つ。これを任意の倍率で拡大したところ、ひび割れ幅が有限個の画素で構成されており、ひび割れ幅の特定が可能であることが確認できる。また撮影時における装置の挙動は安定しており、撮影距離Lをほぼ一定に保てることを確認した。

デジタルビデオカメラ等の動画撮影機器は、リアルタイムに直近状況を観察できる点で長所があり、一方デジタルカメラ等の静止画撮影機器は一般的に解像度が高く

#### 謝辞

本論分の執筆においては、現場の提供、写真撮影など東急リニューアル関係者の方々に多大なるご協力をいただいた。感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 鷹巣征行・福田澄男：壁面診断ロボットの開発-タイル剥離検知と補修のシステム化-, 東急建設技術研究所報, No.19, 1993年
- 2) 中村 聡・上野隆雄：外壁タイル診断の自動化技術, 東急建設技術研究所報, pp.77-82, No.30, 2005年2月
- 3) 社)日本建築学会：外壁補修工事の基本的な考え方(湿式編), p.31, 1994年11月
- 4) 外装仕上げおよび防水の補修・改修技術出版企画編集委員会：外装仕上げ, 屋根防水およびシーリング防水の補修・改修技術の基本事項, p.47, 1993年3月
- 5) 後久卓哉・西尾仁他：鋼構造物ケレン・塗装装置の開発(その2) 東急建設技術研究所報, pp.59-64, No.28, 2002年12月

## AUTOMATION OF THE BUILDING EXTERIOR WALL TILE INSPECTION (PART2)

K.Endou, S.Nakamura and T.Ueno

Regular inspection of exterior wall is recommended to prevent the deterioration of buildings. This study is about the image capture method of exterior wall to confirm that the crack and dirt of tiles, the deterioration of the caulking, condition of the belongings.

In this paper, subjects of the usual inspection method by using the foothold or gondola are listed. It was examined about possibility that the exterior tile inspection system, which is developing by authors, applies tile crack inspection. Based on results of the elementary test, demanded specifications of the exterior wall image capture system were also discussed.

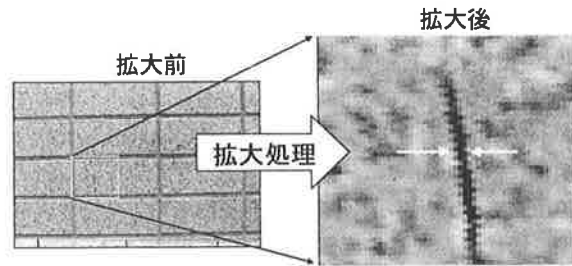


図4 ひび割れ映像と拡大写真

より正確なひび割れ診断に有効である。

#### 6. おわりに

今後は壁面診断装置としての作業性と画像取得の用途と要求仕様を考慮したうえで、動画・静止画撮影機器の特長を生かした機器選定を行い、さらに画像処理技術を導入し実用的なひび割れ幅特定手法について研究を進めていきたい。

最後に本研究の成果を以下に記す。

- 1) 既存のひび割れ診断における問題点を示した。
- 2) 壁面作業自動化技術によるひび割れ診断の可能性を示した。
- 3) 試作機による壁面撮影画像によりひび割れ判定のコンセプトを決定した。