

# 外壁タイル診断の自動化技術（その4）

## － クラックと浮きの診断技術のシステム化 －

遠藤 健\* 中村 聡\* 小池 武史\*\*

**要約：** 本研究は外壁タイルの劣化診断を、コスト低減や品質・安全性の向上を目的として、壁面作業自動化技術による機械化診断の実現を目指した一連の研究である。前報では、クラック診断作業の施工イメージの策定と、開発すべき診断装置に求められる能力等の仕様について提示した。また要素技術である撮像装置の検討とクラック判定ソフトの選定を行い基礎実験による評価を行った。さらにクラック撮影用の実験機を試作した。

今回、浮きの診断装置の開発を行い、判定の自動化の試みと有効性を示した。またクラック撮影用実験機と浮き診断装置を一体化し、両機能を統合したタイル診断装置のプロトタイプを試作した。さらにパソコンと周辺機器を用いたシステム化を検討し、システム化のためのソフトウェアの開発と各機器間の情報連携を実現した。

**キーワード：** 外壁タイル、リニューアル、劣化診断、ひび割れ、浮き、無足場化

|     |                       |          |
|-----|-----------------------|----------|
| 目次： | 1. はじめに               | 5. 今後の課題 |
|     | 2. 浮きの診断装置の開発         | 6. まとめ   |
|     | 3. タイル診断装置（プロトタイプ）の開発 | 7. おわりに  |
|     | 4. 自動診断プログラムの開発       |          |

### 1. はじめに

近年、老朽化が進んだ建築物の建替えに関する価値観が、コストや環境面への配慮により従来のスクラップ&ビルドからストックへと移行し、建物リニューアルにおける外壁面の診断・補修技術は、長寿命化や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。

本研究は、外壁タイルの劣化診断を無足場で実現するための診断装置を、壁面作業自動化技術<sup>1)</sup>を応用し開発することを目的とする。前報<sup>2)</sup>では、劣化タイルのクラック診断に関する装置化の研究を行い、①外壁タイル診断の施工イメージの作成と要求仕様の決定、②撮像装置とクラック判定ソフトの選定とサンプルによる評価、③撮影用実験機の試作、について報告した。

本報では、タイルの劣化現象である‘浮き’の診断に用いる診断装置の開発、クラック撮影用実験機と浮きの診断装置との機械的統合によるタイル診断装置のプロトタイプを試作、さらに両診断装置を統合するためのソフトウェア開発、ならびにパソコンと周辺機器を用いたシステム化について報告する。

### 2. 浮きの診断装置の開発

外壁タイルの劣化診断では、クラックの他に浮きの診断も重要な診断項目である。タイルや下地モルタルの浮きは、施工不良による接着不良や接着疲労が主たる原因とされている。接着疲労とは、四季の寒暖差や昼夜の

日射放冷がタイル層、下地層、躯体の各層に温度差をもたらし、各層の異なる膨張・収縮が層間に剪断力を生じさせ、これが長期間日々繰り返されることで徐々に接着力が低下し剥離に至る現象である<sup>3)</sup>。

浮きの診断は、専用のテストハンマによって外壁を打診し、浮きの部分が発生する異音によって損傷箇所を発見する方法（打診法）が一般的である。通常はゴンドラのような足場を必要とし、コスト低減のニーズが常に生じている。このためタイル診断装置においても、すでに無足場化を目指し先行試作したクラック撮影用実験機をベースに浮きの診断機能を搭載し、クラック診断と同一工程で浮きの診断を可能にするのが合理的と考えた。

一方、建物外壁面における作業では安全性や施工性の観点から吊下げる装置は軽量であることが望ましい。前報で掲げた通りタイル診断装置質量の目標値は15kg程度であるが、クラック撮影用実験機はすでに17kgに達していたため、浮きの診断装置の許容質量は数kg程度のわずかなものとなった。

浮きの診断装置の基本仕様は下記の通りである。

- ①小型・軽量の構造とする（3kg程度）
- ②浮き診断は撮影と同一の工程で行い、撮影幅（約700mm）に相当する幅の診断機能を持つ
- ③診断方法はテストハンマを用いた打診法とする
- ④浮きの判定は自動化に対応し、人による判定も可能とする

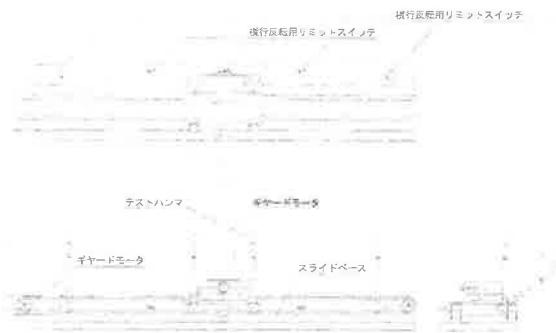


図1 浮き診断装置の打撃ユニット

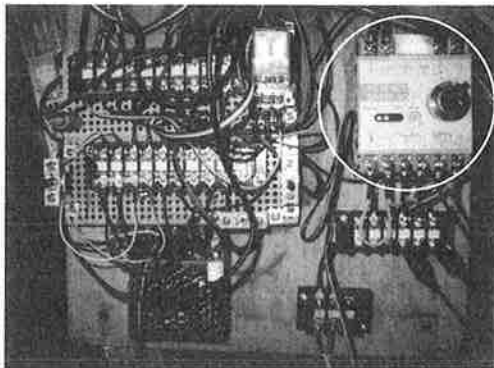


図2 浮き判定用振動スイッチ  
キーエンス製 GA-245 (円内)

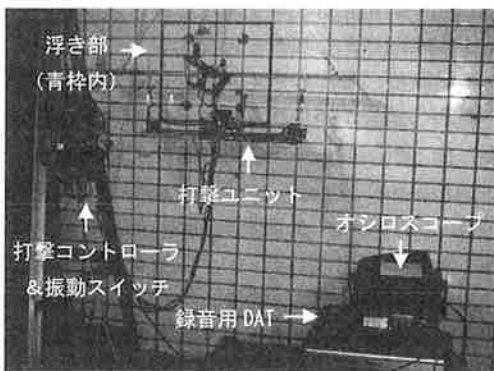


図3 屋内タイル試験壁による  
タイル反響音判定実験

以上の基本仕様の下、浮き診断装置の試作を行った。浮き診断装置の打撃ユニット部の構造を図1に示す。クラック撮影用実験機と一体化するためには打撃ユニットを撮影の障害とならない位置に収める必要がある。横幅は撮影画像と同範囲のタイルを診断するために700mm程度のベース長とし、スライドベースの奥行きを詰めてカメラ前方下部のスペースに収めた。

打撃ユニットは、2本の点検用テストハンマがバネとクランク機構により往復運動し、交互に壁面を打撃する機構である。打撃ユニット自体は500mmのストロークでスライドベース上を左右に反復運動する構造で、ハンマの打撃幅は600mmを超え、横使いの45二丁タイル7枚に相当する打撃を可能としている。またスライドベース上には3個の固定スイッチを設け、反復運動の際にこれらのスイッチを順次たたくことで、打撃ユニットがスライドベースのどの位置にあるかを4分割で把握できる構造となっている。

浮きの判定は、打撃ユニットで発生させたタイルの反響音をマイクロフォンにより取得し、正常部との音圧レベルの違いで振動スイッチ(図2)に判定させる方式とした。振動スイッチは入力電圧が設定値を越えると接点を出力する装置で、マイクの出力電圧を直接入力する。

振動スイッチの採用に先立ち、屋内に設けたタイル試験壁で打撃ユニットによるタイル反響音の取得実験を行った(図3参照)。タイル試験壁は一般的な外壁タイルと同様の工程で製作したもので、図の青枠四角形内に人工的にタイル浮きを施しており、市販のタイル剥離診断機による全面テストの結果、下地浮き、タイル浮きに相当する状態が再現されていることが判っている。図4は正常部・下地浮き部・タイル浮き部の反響音、さらに機械の動作音をマイクロフォンで採取し、音圧のレベルを相対的に比較した周波数分布である。

一般に浮いたタイルは、浮きによる空隙のために打撃による振動が生じやすく、正常部に比べ打撃反響音の音圧は大きくなる。図4でも一部の周波数帯で浮きの部分が正常部よりはるかに大きく現れていることが観察できる。この反響音の音圧差を利用して、振動スイッチへの入力電圧値に適切なしきい値を設けることで、浮きの場

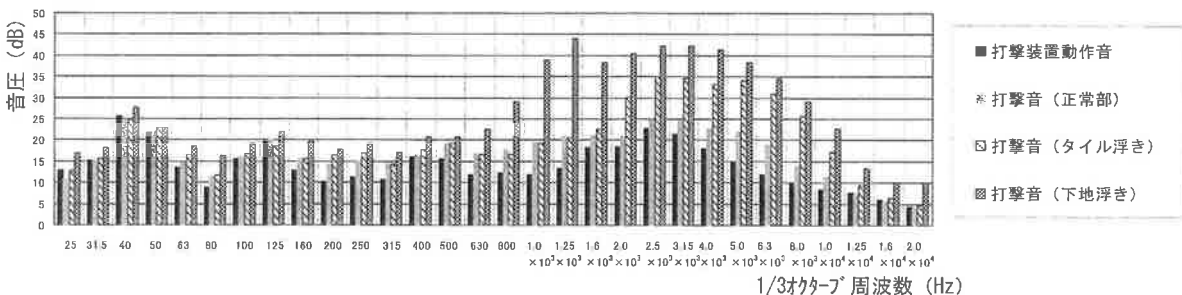


図4 打撃ユニットによるタイル反響音の周波数分布

合に電圧がしきい値を超え、振動スイッチを作動させ判定を得ることが可能となる。振動スイッチではタイル浮きか下地浮きかの区別はできないが、室内実験においては浮き部をほぼ完全に判定することが可能であり、本研究における浮きの概査に使うには十分であると判断した。

なお、浮き診断装置の質量は、打撃ユニットとコントローラを合せて約3.5kgに抑えることができた。

### 3. タイル診断装置（プロトタイプ）の開発

浮き診断装置をクラック撮影用実験機と一体化させたのがタイル診断装置のプロトタイプである（図5）。

浮き診断装置はクラック撮影用カメラの前方下部、ガイドバーの内側に配置し、壁面移動の際に支障しない位置に収めた。またスライドベースは柔構造に支持を取ることによって若干の逃げを有し、建物との不用意な接触時に破損を招きにくい構造とした。またテストハンマの打撃位置は、ガイドバーが建物と接触する湾曲部ほぼ中央に合わせており、打撃によるモーメントの発生を抑えている。

タイル診断装置は劣化情報の自動収集を主目的とするが、診断精度をより向上するためには計測員の情報判断能力も積極的に利用すべきである。したがって診断中の状況映像と音声を取得し、人による観察・診断を可能とし、DVDにも記録・保存可能とした。また診断作業を計測員のペースで遂行できるように要所にマニュアル操作系を採用した。例えば打撃のコントロールは全てスイッチ操作による遠隔操作であり、装置本体の移動送りは手巻き式のウィンチ操作によるものである。

### 4. 自動診断プログラムの開発

診断作業中の計測員は、音と映像により劣化情報を確認しながらウィンチ操作を行う。この状況で撮影と打診を同一工程で実施するには、全ての操作がマニュアルでは煩雑で対応しにくい。そこで部分的に自動化を施すための自動診断プログラムを作成し、計測員が装置の操作と診断状況の確認に集中できるよう検討した。

クラックの劣化情報は、電気的出力で一眼レフカメラを遠隔操作して写真データとして記録する。また浮きの劣化情報は、振動スイッチの判定を電気的な接点情報で入力する。一方、クラックの位置情報は、計測列において写真を撮影した縦位置で管理できる。また、浮きの位置情報は、計測列における縦位置と横位置（スライドベース上の位置）で管理できる。劣化診断用の入出力の電気信号とそれぞれの位置情報をソフトウェアにより一元管理することで、二つの診断方法を統合する手法を考案した。図6に自動診断プログラムのブロック図を記す。

浮き位置の処理ブロックは、浮きの判定を入力としてその時点の縦／横位置を読み取り、記録保存の処理を実行する。シャッター位置の処理ブロックは、常時縦位置を監視しながらあらかじめ指定したピッチでシャッター信号を

出力し、その時点の縦位置を記録保存する自動処理ブロックと、計測者が発生する手動シャッター信号を入力とし記録保存を実行する手動処理部分からなる。

計測列における縦位置の計測にはPCへの外部出力機能を持つ光波距離計を用い、その他の信号処理はデジタルI/Oターミナルを用いてPCと接続した。ソフトウェアを含めた機器構成を図7に示す。本体と操作側は、電源ケーブル、ビデオ・音声ケーブル、制御ケーブルの3本で有線接続されている。

タイル診断装置の主な機能を表1に列記する。

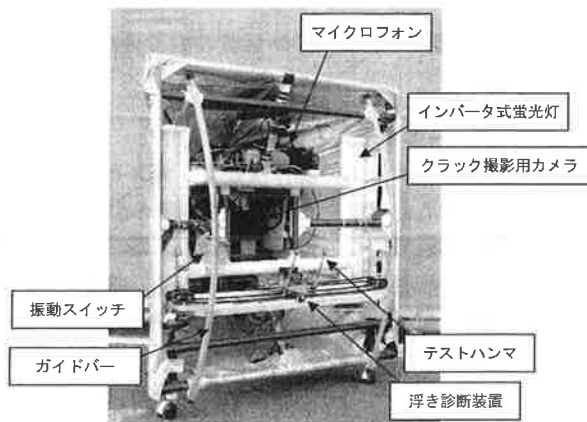


図5 タイル診断装置（プロトタイプ）

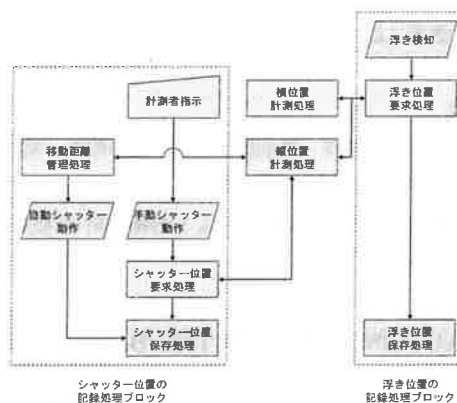


図6 自動診断プログラムの処理ブロック図

表1 タイル診断装置の主な機能

| 機能     | 自動    | 手動  | 備考（手段）              |
|--------|-------|-----|---------------------|
| 装置の移動  |       | ○   | 手巻きウィンチ(定格200kg)    |
| クラック診断 |       | ○   | 写真解析                |
| 写真撮影   | ○     | (○) | 遠隔シャッター(ピッチ設定)、手動も可 |
| 浮き診断   | ○     |     | 振動スイッチ(しきい値設定)      |
| 打診操作   | 打撃    | ○   | スイッチによる自動運転         |
|        | 反復横行  | ○   |                     |
|        | 繰込繰出  | ○   | スイッチによる手動運転         |
| 縦位置記録  | ○     |     | プログラム、光波距離計         |
| 横位置記録  | ○     |     | プログラム、接点スイッチ        |
| モニタ映像  | メイン   | ○   |                     |
|        | サブ    | ○   | スイッチによる手動切替         |
|        | プレビュー | ○   |                     |
| 録画     | ○     |     | DVDレコーダ、ビデオカメラ      |
| 録音     | ○     |     | DVDレコーダ、マイクロフォン、アンプ |

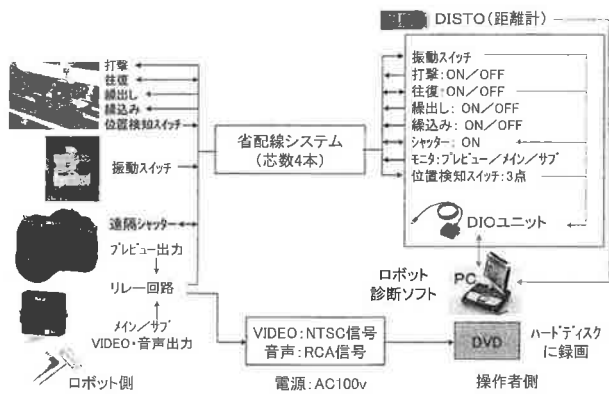


図7 タイル診断装置の機器構成

## 5. 今後の課題

### 5.1 フィールドテストの実施

自動診断プログラムの動作検証を、実スケールの屋外壁面で実施する必要がある。光波距離計の計測精度や、劣化位置の取得精度などの検証のほか、屋外における振動スイッチの性能なども検証項目である。曲面や入隅出隅など多様な壁面への対応なども課題である。

### 5.2 浮きの判定機能の高度化

振動スイッチは屋内実験においては良好な結果を示し

たが、タイル浮きと下地浮きの判定ができないなど性能面での限界があり将来的な課題は多い。今回、図4に示したタイルの反響音の周波数分布結果から、タイル浮きと下地浮きの成分には、ある周波数帯において顕著に差異が見られることが確認された。今後は性状の異なるタイルにおいても同様な分析を行い、音声のフィルタリングによる外乱音の除去や、リアルタイム周波数分析などの導入により、浮きの判定機能の高度化を目指したい。

## 6. まとめ

今回のまとめを以下に記す。

- 1) 浮きの診断装置を試作し、判定の有効性を示した。
- 2) クラック撮影用実験機への浮き診断装置の実装を行い、一体化を実現した。
- 3) システム化のためのソフトウェアの開発と、各機器間の情報連携を実現した。

## 7. おわりに

タイル診断装置の試作においては、マニュアル操作を基本としながらも最小限の自動化要素を組み込み、現場に強いシステムを目指した。今後は、フィールドテストによる性能検証を行い、現場への適用を目指したい。

## 謝辞

本論分の執筆においては、社内関係者の方々に多大なるご協力をいただきました。ここに記し、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，東急建設技術研究所報，pp155-160，No. 19，1993年10月
- 2) 遠藤健・中村聡・上野隆雄：外壁タイル診断の自動化技術（その3）東急建設技術研究所報，pp87-90，No. 32，2007年2月
- 3) 大規模修繕単価研究会：マンション修繕費用 05 後期版，pp28-29，財団法人 経済調査会，2005年5月

## AUTOMATION OF THE BUILDING EXTERIOR WALL TILE INSPECTION (PART4)

K.Endou, S.Nakamura and T.Koike

The purpose of this research is to improve the diagnostic quality, safety, and cost reduction by automating degradation diagnosis of an outer wall tile. An image of the crack diagnostic work by automatic equipment, and specifications of a diagnostic equipment were shown in last paper. A digital camera and software which can detect crack of tile were evaluated. Furthermore, a prototype of the equipment which captures the surface image of a wall was introduced.

After last paper, a diagnostic equipment of unbond tiles had been developed and the effectiveness of automated diagnosis was confirmed. That equipment was attached to the image capture equipment and a prototype of diagnostic system, included a personal computer, peripheral devices and software, had been made.

These facts are shown in this paper.