

42. リニューアル工事における建物外壁タイル診断装置の自動化について

東急建設(株)：○中村 聡、西尾 仁、大矢 和久

東急リニューアル(株)：新津 清隆

1. はじめに

近年、昭和40年代の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。またバブル経済崩壊後、建築物に対する考え方も変化しつつあり、従来の「スクラップアンドビルド」から「ストック」へと社会の価値観も変化してきている。このような社会的背景のもと建築物リニューアル工事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、外壁面の崩壊による災害を防止する手段として重要と考えられる。

筆者らは、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取り組み、作業の安全性向上、コスト削減を図ってきた。外壁タイル診断は通常、点検ハンマによって発生する打音や擦過音からタイルの浮きや、剥離についての判断を検査者の感覚に頼って行われ、定量的な判断が困難である上に、診断結果を記録に残しづらいなど、自動化が望まれているテーマであった。

今回開発した外壁タイル診断装置は、これらの問題点を解決する手段として、外壁面の作業を自動化する技術と以前から研究を進めてきた外壁タイル診断技術の知見を応用し開発したものである。当該装置は、通常人間で行うような外壁面を叩いたり、擦ったりという点検時の動作を同様に行う事ができ、これにより発生した打音もしくは擦過音のある一定の周波数に限定し解析する事で、外壁タイルの剥離を定量的に判定するものである。また、診断している壁面の状況及び診断音、位置情報は映像として記録され再現性のあるデータとして保存することが可能となっている。本論文は、開発した外壁タイル診断装置の概要ともに実際の建物リニューアル工事における外壁タイル調査に適用した事例について報告するものである。



写真-1 タイル外壁診断装置

2. 外壁タイル打音診断の基本原則

通常、人力によるタイル外壁面診断は点検ハンマによって発生する音の違いを聞き分け、健全部と不健全部を判別している。タイルの健全部、不健全部を叩いて発生する音の違いを定量的に示すために模擬外壁タイル壁面や建物タイル外壁面を使用して実験を実施した。実験によって得られた外壁タイルの打音を、周波数毎の音圧レベルに分けて解析したものを図-1に示す。

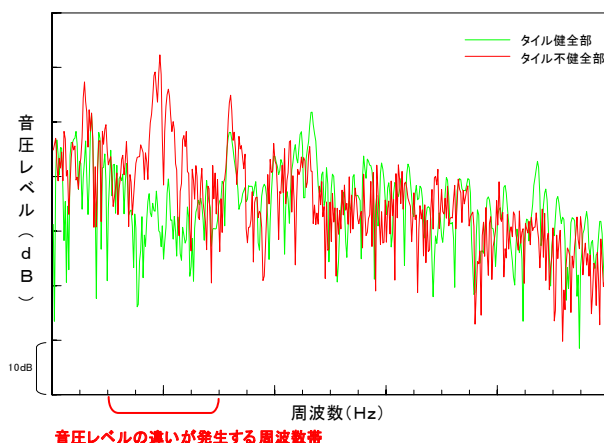


図-1 健全部、不健全部での打音波形の違い

実験によりタイル壁面健全部、不健全部では1000Hz～3000Hzの周波数帯で打音波形の違いが見られ、不健全部ではこの周波数帯において音圧レ

ベルが健全部よりも高いことが確認された。この帯域における音圧レベルの違いが、耳で打音を聞いた際に感じる音の違いになっていると予想される。

3. 外壁タイル診断システムについて

3.1 外壁タイル診断装置の概要

人間による打音診断は安価、単純でありながら正確な診断ができる反面、診断を行うために足場が必要なことや、診断結果を記録として残しづらいことなどが問題であった。今回開発した外壁タイル診断装置は、人間による打音診断の原理を機械へ応用し、自動化することによって足場の組立や高所作業を無くす事を目的とした。また、診断時の映像、打音・擦過音、位置情報を再現性のあるデータとして記録し、コンピュータによる診断音の解析を行うことで定量的な診断を行う外壁タイル一次診断システムを開発コンセプトとした。

外壁タイル診断装置のシステム構成は、建物屋上に設置する「本体吊り装置」、「診断装置本体」、診断装置から送られてくる打音データと画像データを地上で記録する「記録装置」の3つから構成される。(図-2参照)

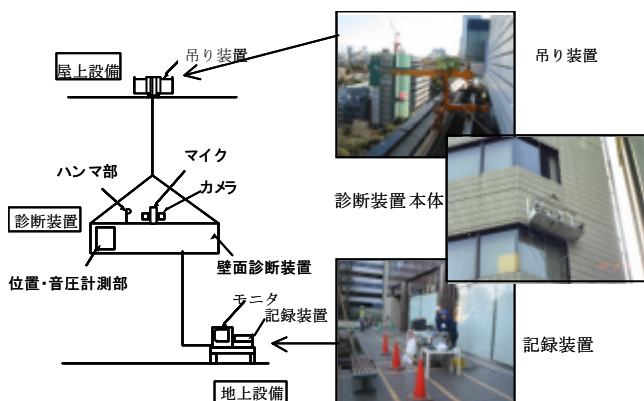


図-2 壁面診断システム概要

診断装置本体には、点検ハンマを動作する「ハンマ部」、打音・擦過音を収集する「マイク部」、診断を行っている外壁面の映像を撮影する「カメラ部」、診断位置を計測する「位置計測部」が内蔵されている。(写真-2参照)この診断装置の特長を以下に示す。

- ① 点検ハンマを左右に移動させタイル面を擦ること

で発生する擦過音と、点検ハンマを前後に移動さ

- セタイル面を打撃することで発生する打音の2種類を選択できる。
- ② 診断音と壁面の画像、位置情報が、映像として生データの保存可能であるため、解析時などに再現可能である。
- ③ 収集した外壁タイルの診断音を解析する際に、コンピュータを使用し健全部の打音と相対的に比較する事で定量的な診断が可能。
- ④ 診断音は電子データとして保存が可能であり、診断結果のグラフや図を作成することができる。
- ⑤ 1つの診断列における打診回数を変更する事で、診断の細かさを自由に決定できる。

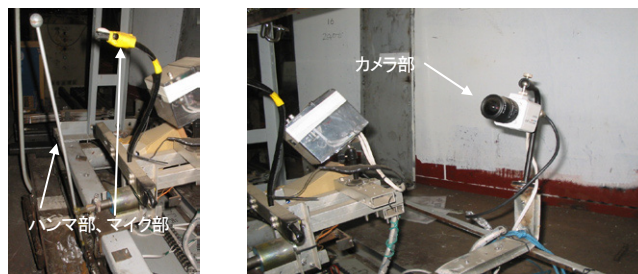


写真-2 診断装置内蔵機器

3.2 外壁タイル診断結果の解析

本装置によって診断できる項目は、診断音による外壁タイルの剥離、映像によるひび割れ形状の解析の2項目である。

外壁タイル診断の解析方法は、診断装置本体のマイクによって収集されたタイル診断音をコンピュータによるウェーブレット変換解析で行う。コンピュータでは、タイル剥離部で顕著に表れるある周波数帯の診断音が、どの程度の音圧レベルで発生しているかを色分けしたグラフによって表示し、視覚的にタイルが剥離しているかをわかるようにしている(図-3参照)。これにより人間の感覚や作業の熟練度等に左右されない定量的な外壁タイル剥離診断をおこなうことができる。

カメラの映像によるひび割れ診断は0.1mmまでのクラックがモニタにより確認でき、ひび割れの太さによる補修方法の違いにも対応のできる診断結果を得ることが可能である。ひび割れの太さを計測する際は、モニタに映し出されるひび割れと実際のひ

び割れ太さの比率を補正するモニタ用クラックスケールを使用する。

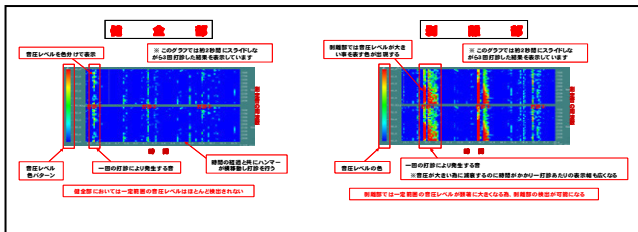


図-3 健全部、不健全部での音圧レベルの違い

4 実際の建物による実証施工

4.1 実証施工内容

開発した診断装置の作業性や診断結果の妥当性を確認するため、実際の外壁タイル面にて実証施工を行った。対象建物は、鉄筋コンクリート造の地下1階、地上9階建てのオフィスビルで、竣工後は19年経過している建物である。この実証施工では、外壁面の窓等を除いた外壁タイルの面積約626㎡を診断装置での実証施工範囲とした。

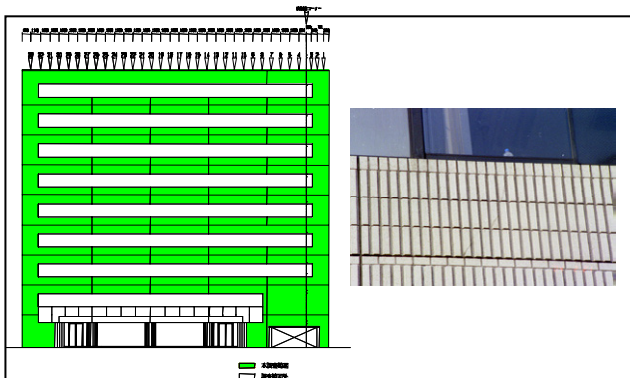


図-4 実証施工対象建物の外壁タイル
診断範囲及び外壁タイルの外観

4.2 外壁タイル診断作業手順

今回の実証施工は、地上での操作及びモニタによる監視に2名と、屋上吊り装置の操作に1名の合計3名によって行った。診断作業の手順は図-5の作業フロー図に示すように、事前作業として診断時にタイル不健全部の打音データと比較するタイル健全部基準打音データの収集・記録をシステムのキャリブレーションとし

て行う。キャリブレーション終了後、建物の診断する外壁面位置及び列を決定し、各装置の設置を行う。

次に、屋上に設置している吊り装置と診断装置本体の位置決めを行い、外壁面の診断を開始する。診断中は、地上で診断音と映像を記録する。診断列1列の診断が終了したら次列に装置を盛替え、同様の手順で診断を行う。

診断時に記録した診断音と画像データを診断作業終了後、解析し診断結果図を作成する。

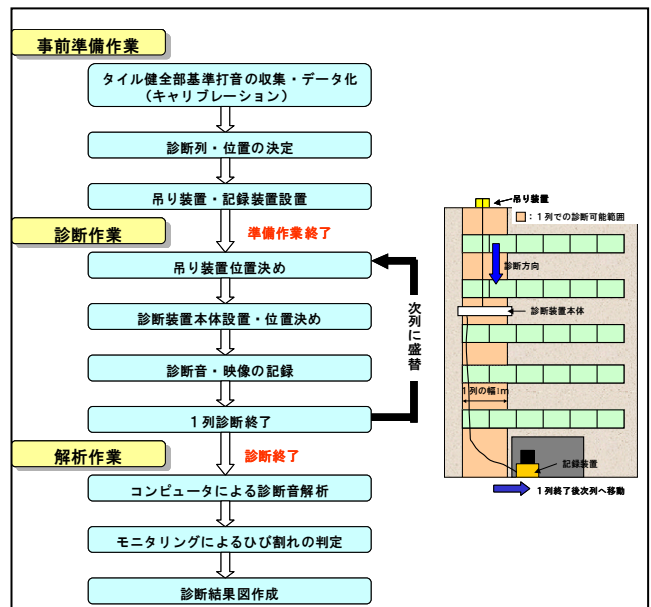


図-5 外壁タイル診断作業フロー

4.3 実証施工結果

実証施工でキャリブレーションを行った際に収集したタイル健全部基準打音データと、タイル診断時に記録した不健全部打音データを並べて図-6に示す。図-6のグラフは音圧レベルが大きい程、レベルに合わせた色で表示されるようになっている。

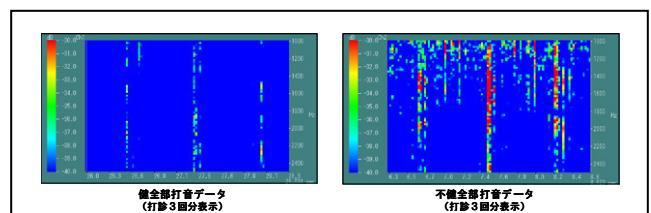


図-6 実証施工における打音データ

2つのデータを比べると、健全部では音圧レベルの小さい打音が不健全部では比較的大きく発生している事

がわかる。これにより、実際の建物外壁タイル壁面においても健全部と不健全部の判別が可能な事が確認された。

次に診断結果のデータを基にタイル不健全部位置とひび割れ位置を示した診断結果図を図-7に示す。この診断結果図を作成する事で、タイル壁面を補修する際に不健全部やひび割れ位置を特定するデータとして使用でき、一定期間毎に診断する事で建物長期修繕計画のデータとしても活用できる。

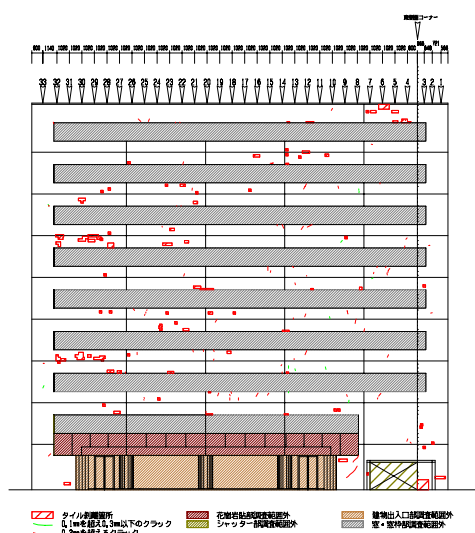


図-7 外壁タイル診断結果図

今回行った実証施工で得られた診断結果の妥当性について検証する為、実証施工での診断結果(図-7)と人間による打診結果を比較し図-8に示す。図-8の塗りつぶされている箇所が診断装置による結果と人力による打診結果が一致している箇所である。

626㎡のタイル外壁面に対して、タイル不健全部と診断されたタイルの面積は9.27㎡、診断装置による診断結果と人力による検証結果が一致した面積は8.71㎡(不健全部面積の94%)であった。また、診断装置による診断結果が一致しない箇所は、健全部を不健全部として診断した箇所も含めて0.79㎡(不健全部面積の8.5%)という結果になった。この結果から外壁タイル診断装置を用いた診断結果は、人力で行った診断結果と同程度の妥当性がある事を確認できた。

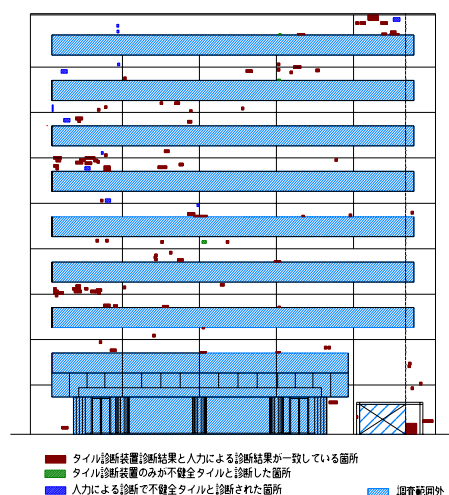


図-8 診断装置による診断結果と
人力による診断結果

表-1 診断装置と人力の診断結果合致割合

	タイル不健全	装置・人力合致	装置・人力不一致
面積 (㎡)	9.269	6.712	0.767
割合 (%)	—	94.0	8.5

診断実施面積626㎡に対する値

5. おわりに

今回開発した外壁タイル診断装置は、診断における無足場化や高所作業の削減を実現し、騒音などの外的影響がある屋外環境下においても外壁タイル診断が可能な事が確認された。しかし、ベランダや排気ダクト等障害物近傍の診断不可能部分への対策や、設備の簡易化による作業人員の削減などの課題も多い。

今後、設備の簡易化や装置の軽量化、診断可能範囲を拡大する機構の開発などを進め、様々な建物形状でも診断が可能な装置の開発を進めると同時に、タイル壁面以外の診断・検査装置を視野に入れた開発を行いたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 福田,他,壁面作業ロボットの開発(その2),東急建設技術研究所報 No.20,p221-223,1994
- 2) 難波 精一郎,音の科学,p1-34,1989
- 3) 後藤,細貝,他,ウェーブレット変換を用いた配管腐食診断システム,日本機械学会論文集C編、64-625号、pp.3342-3347,(1998)