

## 施工技術者の施工実態分析に基づく外壁タイルの打診時周波数特性と付着抵抗性

DB17333 山田 達也

### 1. はじめに

現状の外壁タイル劣化診断方法として多く用いられている打音検査法は、テストハンマーを用いて壁面の健全部と浮き部の打診音の差異を検査員が聴き分け判定している。この診断方法は、測定結果を客観的な数値としてあらわすことができず、判定精度にばらつき、個人差が生じてしまう問題点がある。このような背景から、外壁タイル打診検査における判定精度の向上を目的とし、実務者への現場調査の後に、模擬試験体を作成し打診音を周波数に置き換え判定を行うことで、<sup>1)2)</sup>打診音の周波数特性とタイル付着性状の相関性評価基準を作成するとともに実外壁への適用検討を試みる。

### 2. 研究概要

図1に研究フローを、表1にアンケート項目と回答水準を、表2に使用材料と内容を、表3に実験要因と水準を、表4に実験項目と写真を示す。

研究1,2の結果を基に、疑似解離部を有するタイル壁面試験体の作製方法の検討を行う。そして、作製したタイル壁面試験体を用いて周波数特性分析を行った。

### 3. 外壁タイル実施工状態・劣化診断方法の調査

#### 3.1 有識者への現状劣化診断方法の調査

現状のタイル劣化診断方法の問題点の確認のため、現状の外壁タイル劣化診断方法について有識者および実施工業者者にヒアリングによる調査を行った。

表1 施工技術者の施工実態アンケートと回答水準

		ヒアリング項目	回答水準
研究1	周辺環境	ヒアリング対象(調査1)	専門技術者
		対象者(調査2)	仕事場が関東圏中心の実施工技術者16名
	下地作成(調査2)	調査時注意点	練り硬さを確認しながら材料の再添加を行う,独自の配合比に基づき調査を行う,気温・湿度で配合比を調整する,他
		練り方法	スコップによる手練り,攪拌機を使った機械練り,他
		攪拌時間(分)	1-2,3-4,5-6以上
		特殊環境(低温・高温・降雨等)時の作業	する,しない
		一度に作る下地モルタル面積(m <sup>2</sup> )	0.5以下,0.5-1,1-1.5,1.5-2.2以上
		一度に作る下地こしらの総時間(分)	1-2,3-4,5-6,7-8,9-10,10以上
		一度に張るタイル張付け時間(分)	30,60,90,120
		モルタル厚み(mm)	1-3,3-5,5-7,7-9,10以上
		単体タイル張り時採用工法	モルタル改良圧着張り,モルタル密着張り,接着剤張り,他
		ユニットタイル張り時採用工法	モルタルシート張り,モルタルマスク張り,接着剤張り,他
	張付け工法(調査2)	単体タイル張り時施工不良懸念工法	モルタル改良圧着張り,モルタル密着張り,接着剤張り,他,いずれも変わらない
		ユニットタイル張り時施工不良懸念工法	モルタルシート張り,モルタルマスク張り,接着剤張り,他,いずれも変わらない
		実際の2㎡タイル壁面タイル張りの施工状況における施工不良懸念工法	45角二丁タイル改良圧着張り,45角二丁掛タイル密着張り,小口平タイル改良圧着張り,小口平タイル密着張り,300角ユニットタイルシート張り,いずれも変わらない
		タイル張付けを行う順番	自由意見で聞き取り
		張付けモルタルの控え・塗り直しを行う境界	自由意見で聞き取り
		浮きの生じやすい箇所	自由意見で聞き取り

表2 使用材料と内容

		分類	項目	内容
実験1	仕上材	外装用タイル	寸法	JIS A 5209 陶磁器質タイル
				95 mm×45 mm (裏足有)
				45角二丁掛タイル
	張付材	既調合モルタル	ポリマーセメントモルタル	
		現場調合モルタル	普通ポルトランドセメント 珪砂5号	
構造材	普通コンクリート	JIS A 5371 平板 寸法 300×300×60 mm		
測定機器	周波数測定	打音検査機		
	付着強度測定	引張試験機 (仕上学会認定)		
実験2	仕上材	外装用タイル	寸法	珪器質タイル 230×130×30 mm 特殊大型タイル
			測定機器	周波数測定

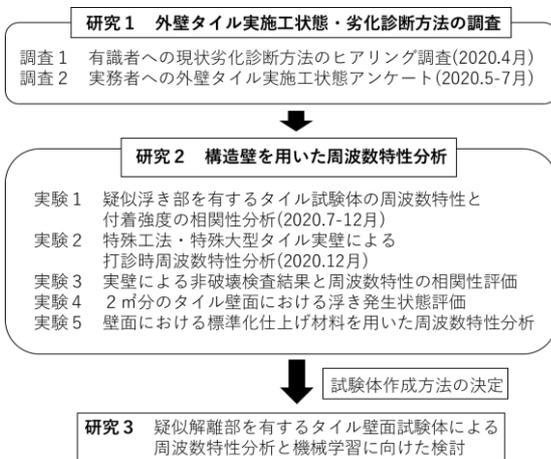


図1 研究フロー

### 3.2 実務者への外壁タイル実施工状態アンケート

試験体を既存のタイル壁面に近づけるため、現場施工方法についての調査を行う。同時に、一度に張付けモルタルを塗る限度基準である 2 m<sup>2</sup>分の張付け時に施工不良が起きやすい箇所の特徴の調査を行う。調査方法は、実施工状態に関するアンケートを作成し、実施工技術者 16 名に回答を依頼した。アンケート内容は大きく分けて以下の 3 項目とする。

- ① 建築外壁の湿式タイル張り工事のモルタル練り方法
- ② 建築外壁の湿式タイル張り工事の張付け工法
- ③ 2 m<sup>2</sup>張付け時の施工不良が起きやすい箇所・範囲

アンケート回収後、経験年数、現場調査の有無でカテゴリ分けを行い、傾向についてまとめる。

### 3.3 アンケート調査結果

表 5 にヒアリング調査結果を、表 6 にアンケート調査結果を、図 2 に張付け面施工不良危険性評価図を示す。

アンケート結果により現場施工方法と張付け面の端部、特に足元（下部）で施工不良が起こる可能性が高いことが確認された。端部の左右上部分はコテ圧がかかりにくいこと、下部は張付けの順番が最後であることによるモルタルの乾燥の影響と足元で施工しにくいことが原因で不安な印象を持たれる傾向があることが分かった。

## 4. 疑似浮き部を有するタイル試験体の打診時周波数特性と付着強度の相関性分析

### 4.1 実験概要

研究 1 の調査結果より得られた、施工時間と施工のしづらさが与える影響を考慮し、オープンタイムに 10 水準とビブレード時間に 2 水準を設ける。施工時間 30 分前後というアンケート調査結果より 40 分以降は一定埋め込みまでにかかる時間も水準に加える。さらに、張付けモルタルの種類、表面粗さの付着強度への影響 2 水準ずつ用意し各種実験を行い分析した。

使用材料は、45 角二丁掛タイル(95 mm×45 mm)、モルタルは既調合用にポリマーセメントモルタル、現場調合用に普通ポルトランドセメントと珪砂 5 号、構造材として既製品のコンクリート平板を用いた。

本実験では周波数測定と付着破壊試験の 2 項目行う。タイル張付け後養生期間 28 日経過後に周波数測定を行い、その後引張破壊試験を実施する。使用器具はそれぞれ表 1 に示されたものを使用する。付着破壊試験により測定した引張最大荷重を試験体タイル面積(95 mm×45 mm)で除し付着強度を算出した。

### 4.2 施工条件を踏まえた試験体作製方法

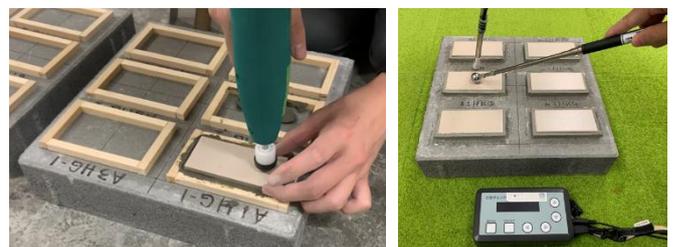
付着破壊試験時の設置位置を考慮し、300 mm×300 mm×60 mm のコンクリート平板に 6 箇所等間隔で機械練りによる既調合モルタルもしくは現場調合モルタルを流し込む。

表 3 実験要因と水準

		要因	水準
実験 1	水分量測定時間(分)	0,5,10,15,20,40,60,80,100,120	
	ビブレード時間(秒)	1,3,一定埋込時間(40 分以降)	
	張付けモルタルの種類	既調合,現場調合 (セメント:砂骨材=1:2)	
	表面	平滑,サンドプラスター加工	
	水湿し	1g 一定	
	タイルの種類	45 角二丁掛タイル一定	
	養生	20°C 一定	
実験 2	使用工法	打ち込みタイル工法	
	タイル種類	約 230×130×30 mm 珪器質特殊大型タイル	
	タイル状態	健全部,部分浮き,全浮き (技能士が判定)	
	測定位置	左,中央,右	

表 4 実験項目

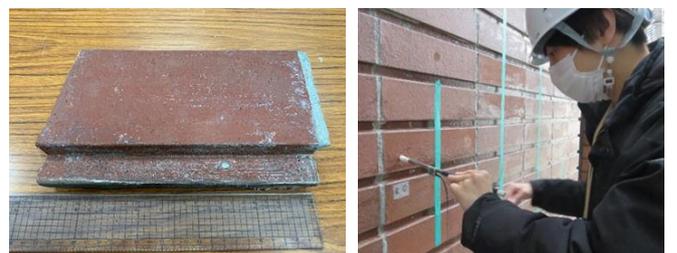
		項目	方法
研究 1	調査 1	ヒアリング調査	専門技術者に現状の外壁タイル劣化診断方法について調査
	調査 2	アンケート調査	実務者 16 名に現場施工方法,施工不良危険箇所の調査,分析
研究 2	実験 1	試験体作製	張付けモルタルの乾燥で浮き部を模擬した試験体を作成。モルタル厚さは 6 mm、目地幅 5 mm、目地高さ 4 mm
		付着強度試験	引張試験機にて張付けモルタルの乾燥による付着強度変化を測定
	周波数測定	打音検査機にて劣化性状と周波数特性の比較	
実験 2	周波数測定	技能士が選定したタイルを調査し周波数特性を分析	



a) 密着張り施工状況

b) 周波数測定状況

写真 1 疑似浮き部を有するタイル試験体の試験状況



a) 特殊大型タイル

b) 周波数測定譲許

写真 2 特殊工法・大型タイル実壁の試験状況

表 5 専門技術者へのヒアリング調査結果（調査 1）

調査先	内容
専門技術者	1)健全部と解離部（接着はしているが付着強度が十分ではない状態）の音の聞き分けが難しい。 2)浮き部発見後周辺の調査は注意深く行うため、浮き部周辺の解離部の発見は可能性がある。 3)一枚にかける検査時間は短いため、解離部単体の発見は難しい。

その後、それぞれオープンタイムを設けタイルを張付ける。タイルの張付け方法は張付け工具のビブラートを使用し密着張りをを行い各試験を行った。

#### 4.3 全調合付着強度試験結果

図3に全調合におけるビブラート時間付着強度比較を、図5にオープンタイムによる付着強度比較結果を示す。

測定結果より、全調合においてオープンタイムが長くなるほど0~20・40分までは低下時の差が出やすく、60分以後は、少しずつ低下する傾向がある。この結果より、アンケート結果による施工時間30分というラインを超えると付着強度が落ちた状態での施工になることが分かった。また、ビブラート時間が長いほど付着強度が大きくなることから、100分程度まではビブラート時間である程度の付着強度を出せることが明らかになった。

#### 4.4 タイル打診時周波数測定結果

図4に打診時周波数測定結果および剥離部特性ピーク数を、図6にオープンタイムによる一次ピーク周波数比較を示す。ピーク周波数と面積アスペクト比の高い相関性<sup>2)</sup>より、タイル裏からのモルタル厚さが小さいほどピーク周波数が低く、1~2 kHzの材固有の周波数が検出される<sup>2)</sup>。本実験で測定された周波数において、どの試験体も低い位置(1~2 kHz)に目立つ周波数ピークが確認されたことから、このピーク部分は材固有の周波数特性と考え、0~2 kHzの部分を除いて<sup>2)</sup>周波数特性の分析を行った。

測定結果より、オープンタイムが長くなるほど一次ピーク周波数と二次以降のピーク周波数との検出程度差は小さくなり、最大周波数の30~80%の比較的強い音圧レベルを持つ周波数の検出量が(最大③~⑧へ)増し、接着不良範囲が拡大し、測定値のばらつきが拡大する傾向が確認された。

#### 4.5 付着強度と周波数特性の相関性分析

図5にオープンタイムによる付着強度比較を、図6にオープンタイムによる打診時一次ピーク周波数比較を示す。付着強度の低下が周波数特性に及ぼす影響について、試験結果を比較すると、付着強度はオープンタイムが0~20・40分までは低下時の差が出やすく、60分以後は、変化が小さくなり、ほぼ一定となる。図6の一次ピーク周波数も同様な変化傾向が見られたため、周波数特性と付着強度には、付着強度が低下すると一次ピーク周波数が低くなる関係性みられた。

### 5. 特殊工法・大型タイル実壁による周波数特性分析

#### 5.1 実験概要

実験2の結果をふまえ、付着強度が低下すると一次ピーク周波数が低くなる関係性が同様に確認されるか、打診検査技能士が選定したタイルの打診時周波数を測定し、劣化状態ごとに周波数特性の特徴分析を行う。

表6 実務者タイル張り施工アンケート結果(調査2)

#### a) モルタル練りの施工実態

項目	現場調合モルタル	既調合モルタル
セメント砂比	1:1~2	—
練り方	攪拌機を使用した機械練り	
攪拌時間(分)	3,4	
注意点	1)練り硬さを確認し材料の再添加を行う 2)気温、温度で配合比を調整する 3)上部と下部での混ざりが均一になっているか確認する	

#### b) 張付け工法の施工実態

項目	単体張付け	ユニット張付け
張付け工法	密着張り 改良圧着張り	モルタルシート張り
一度に作る下地モルタル面積(m <sup>2</sup> )	1~1.5	1.5~2
一度に作る下地こしらえの総時間(分)	5,6	5,6
タイル張付け時間(分)	30	30
タイル下モルタル厚み(mm)	3~5,5~7	3~5

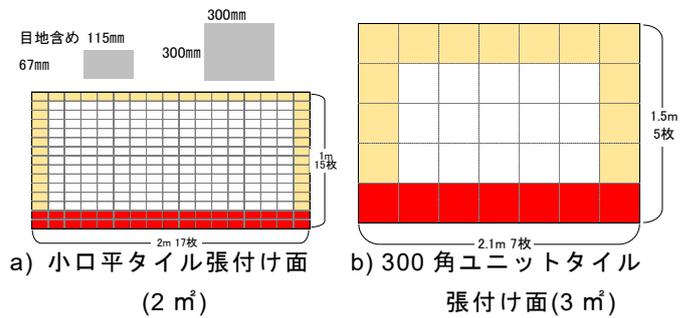


図2 施工不良危険性評価図

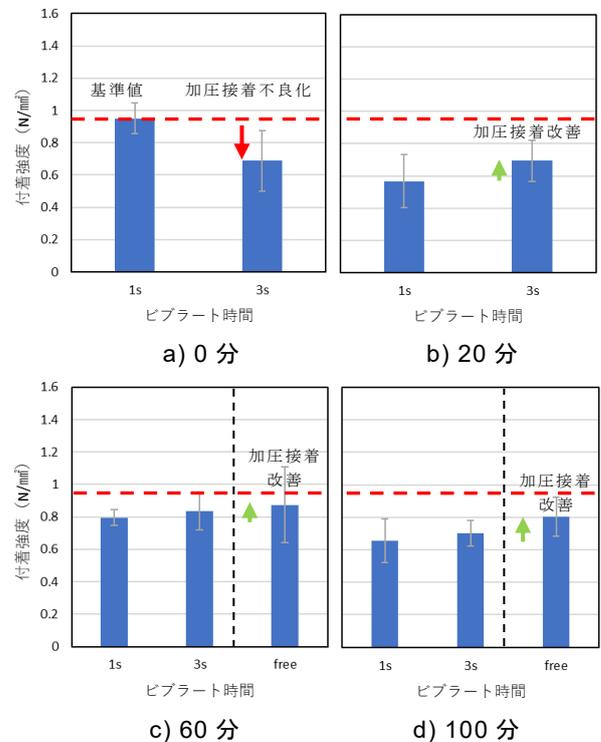


図3 全調合におけるオープンタイム別付着強度

(40分以降は、一定の張付け深さを得る free 打撃時間を設定)

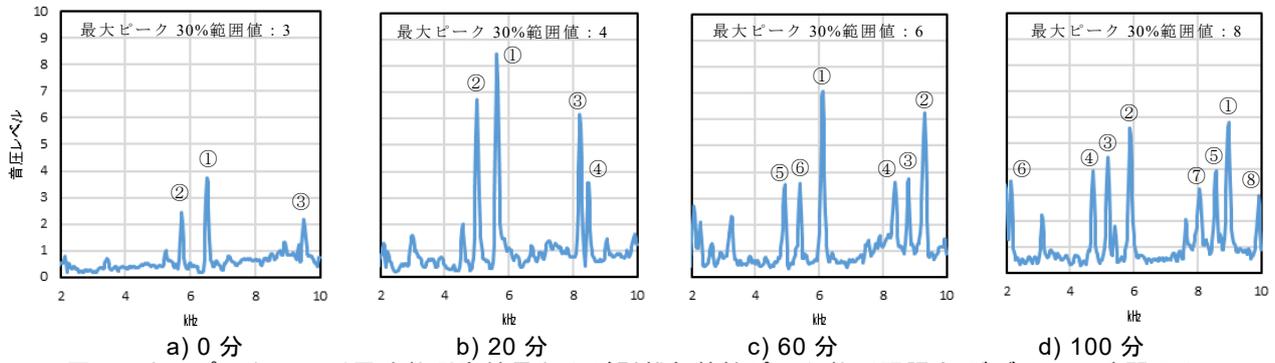


図4 オープンタイム別周波数測定結果および剥離部特性ピーク数（既調合/ビブラート時間 3s）

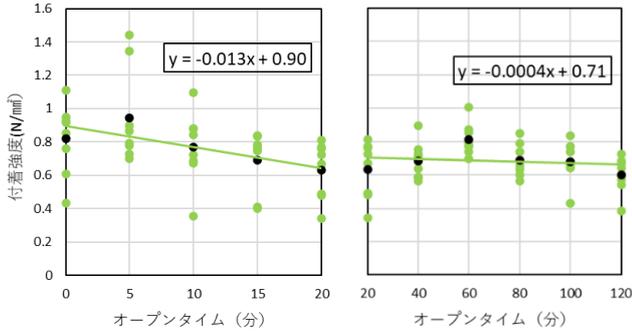


図5 オープンタイムによる付着強度比較

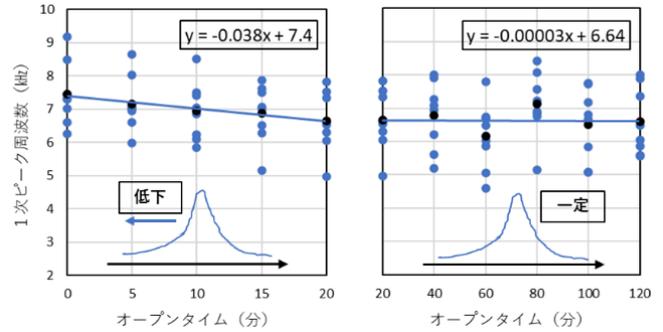


図6 オープンタイムによる打診時一次ピーク周波数比較

## 5.2 実施工現場の打診時周波数測定結果

図7に周波数特性と打診検査時の浮き印象図を示す。健全部はどの位置もはっきりとしたピークが見られず、特徴的な周波数を返さない強固に固着して振動しない周波数特性が確認された。部分浮きは左に目立った低周波数ピークが見られ、全浮きはどの箇所も部分浮きのピークより低周波の材固有の浮き時に見られる1~2kHzのピークが見られた。部分浮きは左(S<sub>1</sub>の位置)、全浮きは全体にかけて大きな浮き部(S<sub>2</sub>の位置)が生じ、共にその周辺にも浮き部が生じる劣化性状が想定され、周波数特性から浮き部の位置と浮きの体積が推定できる可能性がある。

## 6. まとめ

- 1)実務者のアンケートで施工が遅くなる周辺部、下端部の特定部は健全度が低下する認識があることが確認され、実験結果からもオープンタイムが長くなるとモルタル硬化によりかみ合わせが悪くなる物理的作用と、水和反応により余分な水分が無くなりかみ合わせが悪くなる科学的作用による影響により付着強度が低下すると考えられる。
- 2)ビブラート時間の長短は付着強度に影響を及ぼすが、オープンタイムが長めの60分以上の場合でも、打撃数により一定の効果がある。
- 3)一次ピーク周波数と付着強度の相関性が確認され、オープンタイム20-40分以内なら、一次ピークより付着強度が推定できる可能性がある。
- 4)大型タイル構造壁の付着劣化が剥離部特性ピークの検出量で推定できる可能性がある。

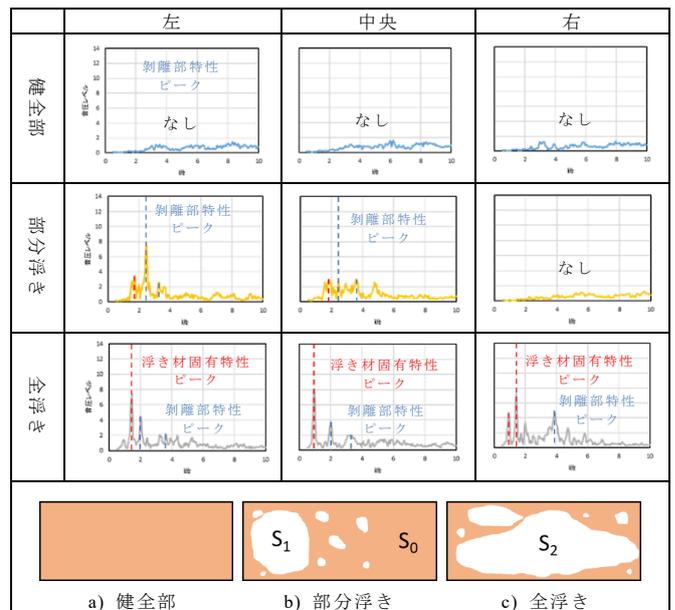


図7 劣化性状別周波数特性と打診検査時の浮き印象図

## 謝辞

本研究は株式会社エフピーエスとの共同研究であり、三條場信幸様、山本啓様、有限会社エフシステムの吉田郁雄様には外壁タイルの調査の機会を頂き、福田安志様、小原勝次様には測定に関する助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1)添田智美、藤沼智洋：外装タイル剥離診断装置の開発に関する基礎研究，フジタ技術研究報告第51号，2015
- 2)乙幡祐平、田村雅紀、三條場信幸、小林良太郎：外壁タイル剥離診断に向けた標準化仕上げ材料による打診時反発音の周波数特性分析，2019年度 日本建築学会関東支部研究報告集，CD-ROM，2020.3