

外装タイル剥離診断システムの活用に関する検討

伊藤 秀太郎 日村 みのり
添田 智美

概 要

打撃応答音を利用した高精度、高効率でかつ汎用的に利用できるタイル剥離診断装置を開発することを目的とし、既報にて打撃部を中心として4方向にマイクを有する剥離診断装置の開発と有効性の確認を行った。本稿ではタイル厚さ、下地調整材および調整厚さを変化させた試験体を製作し、剥離判定しきい値の再検討を行った。有機系下地調整材を用いた場合には下地調整厚さを加味したしきい値を設定することが有効であることが分かり、その設定方法を提示した。また、しきい値の設定に下地調整厚さを参照することから、有機系下地調整材を用いたタイル張り壁面に本装置を適用するにあたっては施工記録を参照することが重要であることが分かった。

Study on the use of a tile-debonding diagnostic system

Abstract

We have been studying the development of a highly accurate, efficient, and versatile tile-debonding diagnostic device that utilizes the sound response of an impact sound, and we have previously developed a tile-debonding diagnostic device with microphones in four directions and confirmed its effectiveness. In this paper, specimens were fabricated by varying tile thickness, substrate preparation material, and preparation thickness, and the debonding detection threshold was reexamined. We found that it is effective to set a threshold value that considers the surface preparation thickness when an organic surface preparation material is used, and we presented a method for setting the threshold value. In addition, we found that it is important to refer to the construction record when applying this system to a tiled wall surface using an organic surface preparation material because the surface preparation thickness is used as a reference when setting the threshold value.

キーワード：タイル、剥離診断装置、打撃応答音、しきい値

§1. はじめに

外装タイル張り仕上げは、剥落事故が生じると第三者に危害を及ぼす危険性があり、これを未然に防ぐために剥離の有無を精度よく診断する必要があることから、これまで高効率かつ汎用的に利用できるタイル剥離診断装置の開発を進めて来た^{1~4)}。

本報では、実物件のタイル施工状況を鑑み、タイル厚さ・種類、下地調整材種類および下地調整材厚さ、張付け材種類を変動因子として、施工条件別の適切なしきい値を検討した。

§2. 試験体

2.1 使用材料

使用したタイルおよび材料一覧を表1、表2に示す。また、タイルの形状は写真1の通りである。タイル厚さおよび表面形状が打撃時の振幅に影響すると想定し、厚さ8~19 mmの表面形状が異なる二丁掛タイルを選定した。

表1 使用タイル一覧

名称	寸法	表面	材質	裏足	張り付け工法
タイルA	235×65×8	フラット	磁器質・無釉	無し	接着剤張り専用
タイルB	227×60×11	フラット	せり器質・うす釉	有り	接着剤・モルタル張り兼用
タイルC	227×60×15	レンガ調	せり器質・うす釉		
タイルD	227×60×15	櫛目	せり器質・施釉		
タイルE	227×60×18	割肌	磁器質・無釉		
タイルF	227×60×19	山型	せり器質・無釉		モルタル張り用

表2 使用材料一覧

	材料名	適合規格	備考
張り付け材	張り付けモルタル	JIS A 6916	標準調合により 25 kg に対し清水 5 ℓ
	有機系接着剤	JIS A 5548・5557	
下地調整材	モルタル	JIS A 6916 CM-2	標準調合により 25 kg に対し清水 6 ℓ
	有機系下地調整材		一度に 10 mm までの下地調整が可能
給水調整材	吸水調整材	JIS A 6203	標準調合により 5 倍に希釈
目地材	目地用モルタル		標準調合により 20 kg に対し清水 3.8 ℓ
模擬剥離材	特殊シート		ポリプロピレン不織布を両面に一体化させた高密度ポリエチレンシート
剥落防止材	剥落防止ネット		模擬剥離部の剥落防止のためモルタル下地調整層に使用

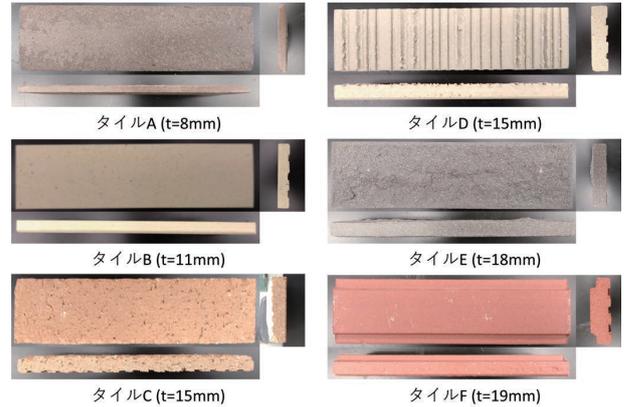


写真1 使用タイル

2.2 模擬剥離形状

下地浮き、タイル裏浮き、健全な部分をそれぞれ模擬するため、図1のような12枚で1組の試験体とした。4割剥離および6割剥離とは、タイル裏に網掛け範囲の通り縞状にシートを貼付し、接着面積を減らしたタイルである。なお、図1中の界面の名称は図2に示す通りであり、タイル壁面を構成するタイル・張り付け材・下地調整材・下地コンクリート各層の界面のうち、表面に近いものから順に界面I、II、IIIとする。

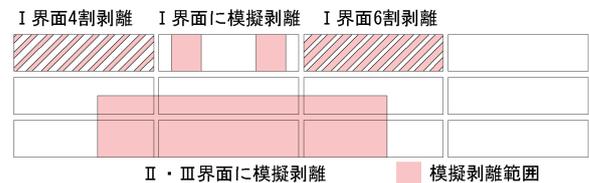


図1 水準ごとの模擬剥離範囲

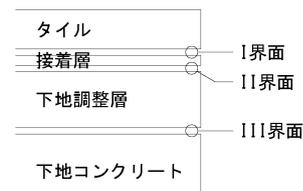


図2 界面の名称

2.3 試験体水準

試験体の水準を表3に示す。タイルD、E、Fは表面に凹凸がある場合に正常に検査が実施できるか確認することを主な目的とし、モルタル張りと有機系接着剤張りいずれも直張りのみとして水準を設定した。

モルタル張り試験体についてはこれまでの検討において、深い剥離として剥離深さ 39 mm まで剥離診断装置の適用性を確認しており⁴⁾、同程度の剥離深さまで検討するため下地調整厚さを 0、10、20 mm の設定と

表3 試験体水準

張り付け材	下地調整材	下地調整厚さ(mm)	使用タイル	剥離界面・剥離深さ(mm)			
				I	II	III	健全
モルタル	直張り	0	D	15	17	—	○
			E	18	20	—	○
			F	19	21	—	○
有機系接着剤		0	D	15	16	—	○
			E	18	19	—	○
			F	19	20	—	○
		0	B	11	13	—	○
			C	15	17	—	○
			F	19	21	—	○
モルタル	モルタル	10	B	—	—	23	—
			C	—	—	27	—
			F	—	—	31	—
	20	B	—	—	33	—	
		C	—	—	37	—	
		F	—	—	41	—	
有機系接着剤	直張り	0	A	8	9	—	○
			B	11	12	—	○
			C	15	16	—	○
	モルタル	10	A	—	—	19	—
			B	—	—	22	—
			C	—	—	26	—
		20	A	—	—	29	—
			B	—	—	32	—
			C	—	—	36	—
	有機系下地調整材	5	A	8	9	—	○
			B	11	12	—	○
			C	15	16	—	○
		10	A	8	9	—	○
			B	11	12	—	○
			C	15	16	—	○

※タイルAは接着剤張り専用品であるため、モルタル張り試験体においてはタイルB、C、Fの3種を採用した。

した。また、タイルAは接着剤張り専用品であるため、モルタル張り試験体の使用タイルはB、C、Fの三種類とした。

モルタルによる下地調整厚さが変化しても健全部の応答音は一樣に小さいことがこれまでの検討⁴⁾で明らかになっており、モルタルによる下地調整層のある試験体では健全部の試験体を直張りと共通として省略した。

有機系接着剤張り試験体について、下地調整材がモルタルのグループと有機系下地調整材のグループのそれぞれに共通する下地調整厚さ0mmの試験体として直張り試験体を位置づけた。

2.4 試験体配置

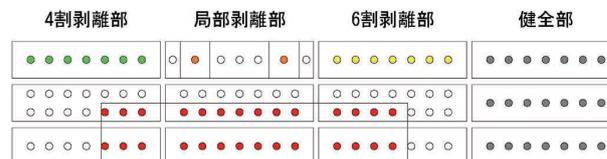
壁面に施工した試験体を写真2に示す。下地となる壁面はt=230mmの鉄筋コンクリート壁である。厚みの異なるタイル同士が隣接していると、装置を押し当てられない箇所が生じるため、離して施工する配置とした。また、施工時に給水調整材の垂れ等が生じ接着剤張り範囲を汚損することの無いようモルタル張り範囲を全体の下側に設定した。



写真2 試験体全体写真

2.5 打撃点の設定

図3のようにタイル1枚当たり7点もしくは14点を目安に装置を走査させながら試験を行った。結果の集計にあたってはカメラとARマーカーを用いた位置認識機能³⁾により各打撃点の位置座標を取得した。



剥離部

図3 打撃点の設定

§3. 剥離診断装置

写真3に使用する剥離診断装置を示す。これまでの検討^{3,4)}にて開発・検証を行った装置に、筐体の小型化を施した装置を用いる。底面の四隅にスペーサーとして厚さ1mmのテフロンシートを貼付し、位置認識機能³⁾を利用するためARマーカーを貼付した状態で試験を行った。

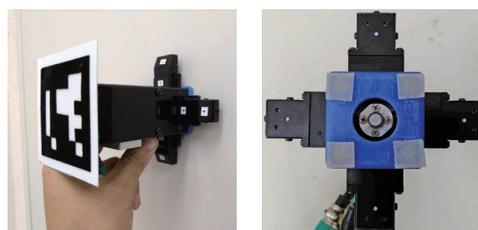


写真3 剥離診断装置

§ 4. 結果

4.1 モルタル張り試験体

図4に、モルタル張り試験体で得られた剥離判定パラメータ R_{AF} を図3で定めた範囲ごとに集計しヒストグラムとして表した。既報⁴⁾において剥離判定しきい値を0.12としたが、今回の結果を見ても健全部の R_{AF} は概ね0.12以下に分布しており、モルタル張りの場合は同じしきい値で剥離判定が可能であると考えられる。

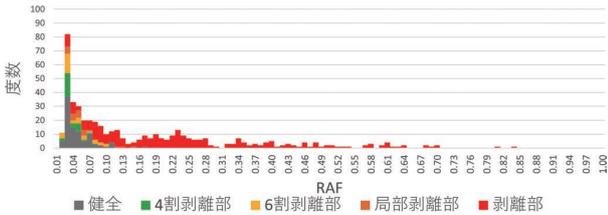


図4 モルタル張り試験体ヒストグラム

4.2 モルタル下地調整層を設けた有機系接着剤張り試験体

図5にモルタル下地調整層を設けた有機系接着剤張り試験体および有機系接着剤直張り試験体の R_{AF} のヒストグラムを示す。モルタル張りよりも健全部の R_{AF} がやや広く分布していることがわかる。健全部における剥離判定がされにくい値として、健全部における平均値を「 μ 」、標準偏差を「 σ 」として、「 $\mu+3\sigma$ 」を算定すると、0.15となる。

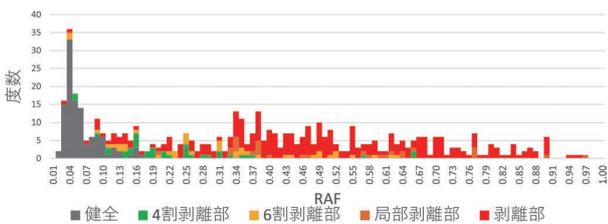


図5 モルタル下地有機系接着剤張り試験体ヒストグラム

図6に、しきい値を0.15としてタイルA、B、Cの有機系接着剤直張り試験体に適用した結果を示す。健全部を見ると、概ねしきい値以下に分布していることが確認できる。また、剥離部を見ると剥離範囲に対してやや広範囲にしきい値を超える打点が分布するものの、剥離範囲上で R_{AF} がしきい値を超え、剥離を検出できていることがわかる。

同様に、図7にモルタル下地を設けた接着剤張り試験体の結果を示す。図6の直張りの結果と同様に、剥離範囲に対して広くしきい値を超える打点が分布する傾向が見取れるが、モルタル下地による深い剥離

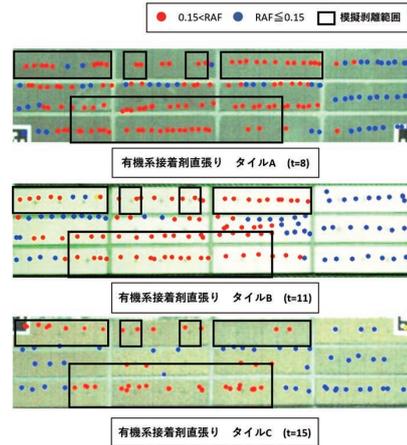


図6 有機系接着剤直張り試験体 打診結果

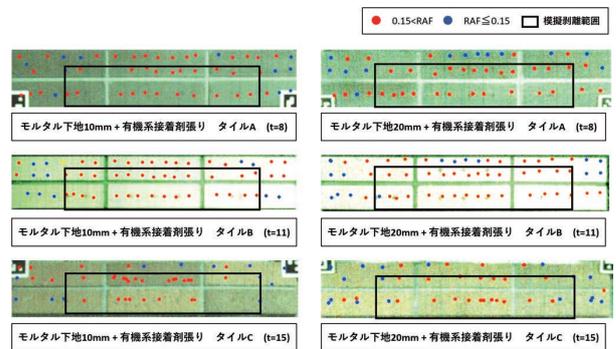


図7 モルタル下地有機系接着剤張り試験体 打診結果

であっても剥離範囲上で R_{AF} がしきい値を超え、剥離を検出できていることがわかる。

図8にタイルD、E、Fの有機系接着剤直張り試験体の結果を示す。健全部にしきい値を超える打点は無く、タイルA、B、C同様に剥離範囲に対して広くしきい値を超える打点が分布する傾向があるが、剥離を検出できていることがわかる。

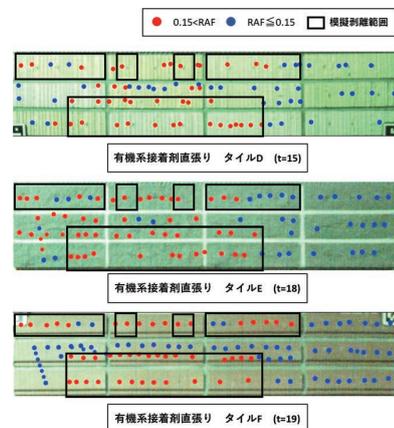


図8 タイルDEF 有機系接着剤直張り試験体 打診結果

また、図8においてタイルDやEで打撃点がまばらとなっているが、これは凹凸の角部分を打撃し打ち損じとなった場合や、窪みに対して打撃ストロークが足りず打撃が出来ない場合があったためである。このような打撃に対して、本剥離診断装置は一定以上の打撃力が得られなかった場合にデータを無効なものとして扱う処理をしており、適切に打撃が出来た打撃点のみで剥離診断を行っている。

4.3 有機系下地調整層を設けた有機系接着剤張り試験体

有機系下地調整層を設けた試験体についても、健全部の R_{AF} の「 $\mu + 3\sigma$ 」を参考にしきい値を検討する。有機系下地調整層の厚さ 0、5、10 mm の3水準、使用タイル A、B、C の3種類による、9試験体の健全部の R_{AF} の「 $\mu + 3\sigma$ 」を算定し、下地調整厚さを横軸としてプロットしたものが図9である。

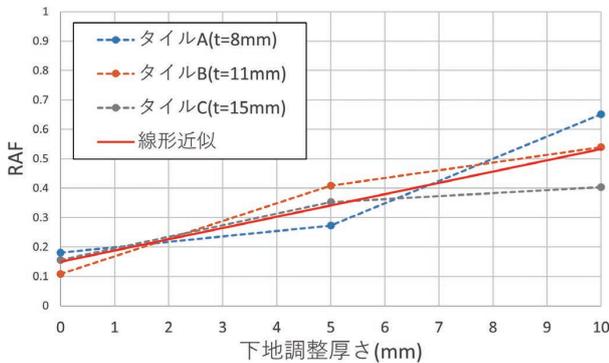


図9 健全部「 $\mu + 3\sigma$ 」と下地調整厚さの関係

下地調整厚さが大きくなるほど「 $\mu + 3\sigma$ 」も大きくなり、タイル種類による値の差も大きくなっているが、タイル厚さの序列と同一下地調整厚さにおける「 $\mu + 3\sigma$ 」の値の序列は必ずしも一致しないことがわかる。このことから、図9上の9点の近似直線を、ある下地調整厚さに対するしきい値として提案し、各試験体に適用した場合の打診結果を確認する。なお、近似直線の切片について、4.2で提案した有機系接着剤直張り試験体のしきい値である0.15とした。

図10に有機系下地調整層を 5 mm 設けた試験体の打診結果を示す。しきい値は図9より0.34とした。比較的薄いタイル A、B において剥離範囲に対して広くしきい値を超える打点が分布する傾向が直張りの場合に共通して見られるが、試験体の右側3枚の健全部上の打撃点は R_{AF} が殆どしきい値以下に分布しており、剥離部においては R_{AF} がしきい値を超え、剥離を検出できていることがわかる。

同様にして、図11に有機系下地調整層を 10 mm 設け

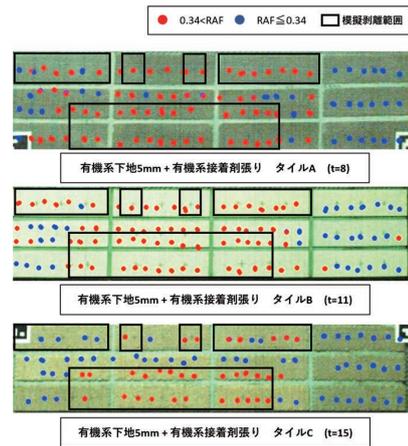


図10 有機系下地調整層 5 mm 試験体 打診結果

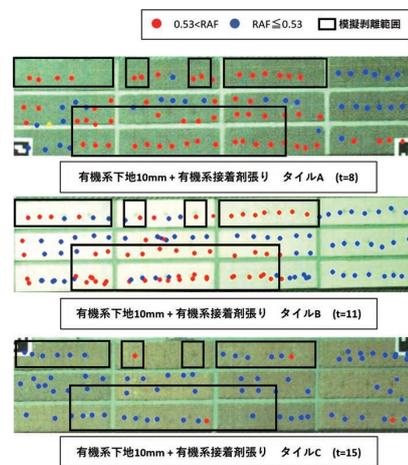


図11 有機系下地調整層 10 mm 試験体 打診結果

た試験体の打診結果を示す。しきい値は図9より0.53とした。タイル A の健全部の下部に見られる R_{AF} がしきい値を超えている打撃点群は、周囲よりも著しく R_{AF} が大きく、施工上の問題があった可能性があり集計データから除外した点である。はずれ値を除いたタイル A、B の結果に関しては、健全部の R_{AF} はしきい値以下に、剥離部においては R_{AF} がしきい値を超え、剥離を検出できていることがわかる。

タイル C に関しては、しきい値0.53では剥離部上の打撃点の R_{AF} が殆どしきい値を超えず、剥離判定が出来ていない。

ここで、タイル C の結果について、各打撃点の R_{AF} の大きさを色調により段階的に表すと図12上部のようになり、この試験体の健全部の R_{AF} の「 $\mu + 3\sigma$ 」である0.40をしきい値として適用すると図12下部のような結果となる。健全部の右下隅の4点についてははずれ値として集計データから除外した点であるが、その他の点では健全部の R_{AF} は0.40以下に、剥離部においては R_{AF} が概ね0.40を超え、剥離を検出できていることがわかる。

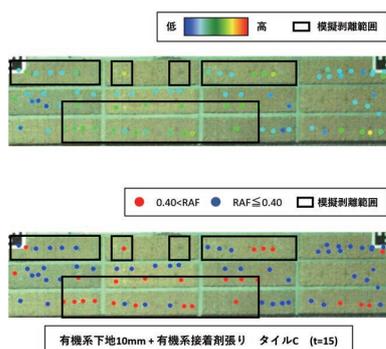


図12 有機系下地調整層 10 mm タイル C 試験体

このように、打撃点の位置座標と R_{AF} が記録されていれば、後からデータの分布を確認し、しきい値の再設定による剥離判定が可能である。図9にて、下地調整厚さが大きくなるほどばらつきが大きくなることから、有機系下地調整材による下地調整厚さの大きな部分に本剥離診断装置を適用するにあたっては、位置認識機能³⁾により各打撃点の位置座標を R_{AF} と共に記録することが有効である。

また、今回の製作した試験体のうち、有機系下地調整層が 10 mm でタイル C を張り付けた試験体以外に関しては図9に示す下地調整厚さによるしきい値を適用することで剥離判定が可能であることがわかった。

§5. おわりに

本稿ではこれまで開発してきたタイル剥離診断装置を、タイルの種類および厚さ、下地調整材およびその厚さを変化させた試験体に適用し以下の結論を得た。

- ・モルタル張りタイルについては、これまでの検討の通りしきい値0.12を用いて剥離判定が可能である。

- ・モルタルによる下地調整層上に有機系接着剤で張り付けたタイルについては、しきい値として0.15を提案した。

- ・有機系下地調整層がある場合、しきい値の設定には調整厚さを加味する必要がある、そのしきい値の設定方法を提案した。また、有機系下地調整材による調整範囲と厚さの事前把握が必要であり、施工記録を残しておくことが重要である。

- ・有機系下地調整層が厚い箇所については、上記設定方法によるしきい値での判定の他、位置認識機能により各打撃点の位置座標を記録することが有効である。

謝辞

本稿は、東京工業大学 環境・社会理工学院 建築学系 三上貴正研究室との共同研究成果の一部です。ご指導いただいた三上貴正工学博士に謝意を表します。ま

た、装置および位置認識システムの開発にご協力を頂いた、株式会社シスミック 岸村雄平氏、株式会社構造計画研究所相川梓氏に謝意を表します。

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、pp. 45-50、2015年11月
- 2) 添田智美、三上貴正：外装タイル剥離診断装置の開発に関する基礎研究、日本建築学会構造計論文集 第81巻 第729号、pp. 1779-1787、2016年11月
- 3) 添田智美、藤沼智洋、千葉拓史：外装タイル剥離診断装置の設計・試作および位置認識システムの開発、フジタ技術研究報告 第54号、pp. 67-72、2018年11月
- 4) 添田智美、伊藤秀太郎、藤沼智洋、三上貴正：模擬剥離試験体を用いたタイル剥離診断装置の有効性の検証、日本建築学会構造計論文集 第85巻、第767号、pp. 1-9、2020年1月

ひとこと

今回のしきい値設定を参照し、検査対象にあったしきい値設定を容易にすることで、さらに診断実績を増やしていきたいと思っています。



伊藤 秀太郎