

# 論文 含侵材がタイルの張付けモルタルの付着性状に及ぼす影響

塚越 雅幸\*1・手塚 隆太郎\*2・樫原 弘貴\*3・本田 悟\*4

**要旨：**タイルの張付けモルタルの付着力を低下させる主要因とされている、物理劣化としてディファレンシャルムーブメント、化学劣化として酸劣化を再現した試験体に対し、シラン系、ケイ酸塩系固化型・反応硬化型の3種類の含侵材による付着力の改善効果について検討を行った。材齢 2 週間と比較的若材齢なモルタル表面に、シラン系、ケイ酸塩系固化型を塗布した場合、劣化なしの場合では付着力は低下し、物理劣化試験体では改善効果は得られなかった。一方、化学劣化の場合では付着力の向上が確認された。これは、酸との反応により溶出したカルシウム成分と含侵材が反応し、界面で反応・固化したためではないかと考えられる。

**キーワード：**含侵材, タイル, 付着力, ディファレンシャルムーブメント, 酸劣化

## 1. 研究の背景と目的

タイル張りは高耐久で美観性に優れ、RC 構造物等の外装仕上材として用いられる。タイルの張付け材として、モルタルを用いることが多いが、躯体やタイルとの界面からの剥離が生じ、タイル部材が剥落する事故が報告されている<sup>1,2)</sup>。従来のタイル張り工法は、躯体コンクリート面に下地モルタルを設け、そこに張り付けモルタルを塗り、タイルを張るのが一般的であったが、最近では、下地モルタルを省いて、躯体コンクリートに直接張り付けモルタルを塗る直張り工法が多くなっている。施工不良を除けば、張り付けモルタルは十分な付着力を有するが、供用期間中、地震力や、温度変化により生じるディファレンシャルムーブメント<sup>3,4,5)</sup>などの外力を受けて付着力が低下することがある。さらに、経年による汚れやエフロなどの発生で、タイルの汚れが生じることがあるが、この洗浄に塩酸を含む酸溶液を使用することがある。また酸性雨など化学的な劣化により張り付けモルタルや強度や接着力の低下することも考えられる。

そこで、本研究ではコンクリートの保護を目的に表面に塗布する、各種含侵材に着目した。ケイ酸塩系含侵材はセメント成分と反応・硬化により組織の緻密化が進行する<sup>6,7)</sup>ことが明らかとなっている。本研究では、これが付着強度に及ぼす影響について実験的に検討を行った。

## 2. 試験体の作製と実験方法

### 2.1 試験体の作製

試験体は、図-1 に示すように 100×100×200 mm の角柱コンクリートの打設時に型枠面に、タイルを密着張り工法の要領でまず、中央部に 50×50×10 mm の張り付けモルタルを施工し、その面にタイルを張付けた。タイル

は、45×45×7 mm で 3mm の凹凸の裏足をもつ陶器製のものを使用した。なお、裏足の方向の影響については明確な差は生じない<sup>8)</sup>とされているが本研究では、長手方向(載荷方向)に対して並行となるように張付けた。またその裏面となる、もう一方の型枠面には、張り付けモルタルを単体で貼付けた。以上の通り、躯体コンクリートの側面 2 面に張り付けモルタルが施工された試験体を実験

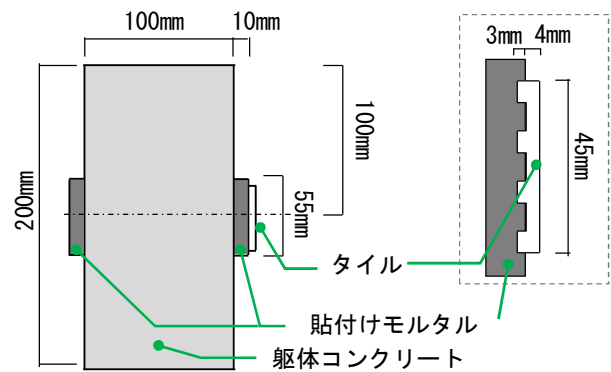


図-1 試験体の形状と寸法

表-1 躯体コンクリートの調査

W/C (%)	S/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
		W	C	S	G
55	300	187	340	1020	835.3

表-2 張り付けモルタルの調査

W/C (%)	S/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )		
		W	C	S
50	200	344.3	218.6	437.2

\*1 福岡大学 工学部 建築学科 准教授 博士(工学) (正会員)

\*2 福岡大学 工学部 建築学科 学部4年

\*3 福岡大学 工学部 社会デザイン工学科 准教授 博士(工学) (正会員)

\*4 福岡大学 工学部 建築学科 講師 (正会員)

では用いた。なお張付けモルタルの施工時にはあらかじめ四辺をシーリング工事等で用いるバックアップ材で囲んでおり、施工時には垂れなどが生じていないことを目視で確認した。これらコンクリートと張付けモルタルの調合は表-1と表-2に示す通りである。なお、張付けモルタルは付着性向上を目的に、ポリマーセメントモルタルなどが用いられることもあるが、今回は普通モルタルへの改質効果を検討することを目的とした。

試験体の養生から劣化までの流れを図-2に示す。躯体コンクリートは23℃環境で1か月間封緘養生後さらに1か月23℃、60%R.H.環境で気中養生した。タイル張付け面はタイル施工の前日にブラシで水洗いをした後に、張付けモルタルとタイルを施工し2週間23℃、60%R.H.環境で気中養生した。

## 2.2 劣化試験方法

物理劣化によるタイル剥落の原因として、温冷や乾湿の繰り返しによる躯体コンクリートと貼付けモルタルのひずみの差で生じるディファレンシャルムーブメントがある。本実験では、ディファレンシャルムーブメントによる物理劣化を簡易的に再現するために、躯体コンクリートの100×100mm面に圧縮荷重を載荷することで、躯体コンクリートに圧縮変形を与え、躯体コンクリートと貼付けモルタル間にひずみの差を生じさせることとした。躯体コンクリートへの載荷荷重は、あらかじめ載荷時のコンクリートと張付けモルタルのひずみ量から求めた。確認のための載荷試験結果を図-3に示す。図-3(a)をみると試験結果は2試験体間でややばらついたが平均で161kN載荷時に張付けモルタルと躯体コンクリートの界面で剥離が生じた。なお、図-3(b)より躯体コンクリートのひずみに対する張付けモルタルのひずみの大きさ(ひずみ伝達率)は同程度<sup>9)</sup>であり、付着力については大きなバラつきはないと思われる。

2試験体の平均値でみると、161kN載荷時のコンクリートのひずみはおよそ450μであった。今回の試験ではタイルの張付けモルタルにより躯体コンクリートの変形が拘束されることになるため、これらの値から見掛けの弾性係数を算出すると $3.60 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ となる。なお、コンクリートの弾性係数 $E(\text{N/mm}^2)$ はJASS5等では式(1)で概ね推定できるとされている。

$$E = 3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{\gamma}{24}\right)^2 \times \left(\frac{F_c}{60}\right)^{1/3} \quad (1)$$

ここで、 $\gamma$ : 単位体積重量( $\text{kN/m}^3$ )、 $F_c$ :コンクリートの強度( $\text{kN/m}^2$ )

今回のコンクリートの気乾単位体積重量は $23 \text{kN/m}^3$ とし、強度はおよそ $37 \text{N/mm}^2$ であったことから、弾性係数は $2.55 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ 程度であると推定される。この弾性係数より161kN載荷時のコンクリート単体でのひずみを予

測するとおよそ $630 \mu$ となり、2面に張られた張付けモルタルによって拘束されたためである。またこれによって躯体と張付けモルタル間でのせん断力として作用したタイルが剥離したものと考えられる。またこの時の、張付

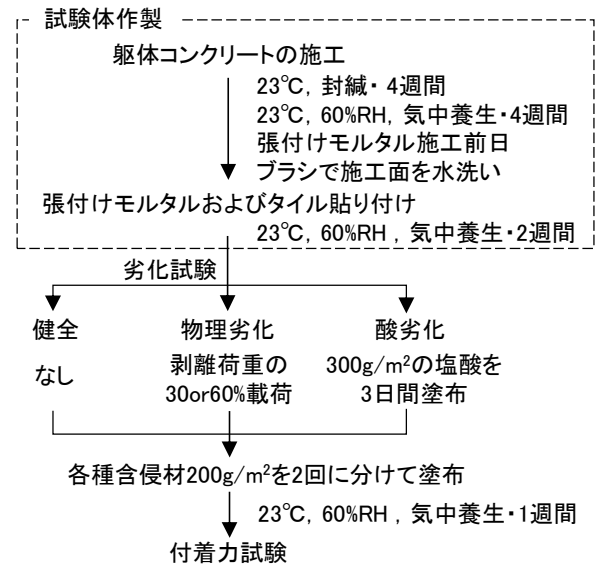
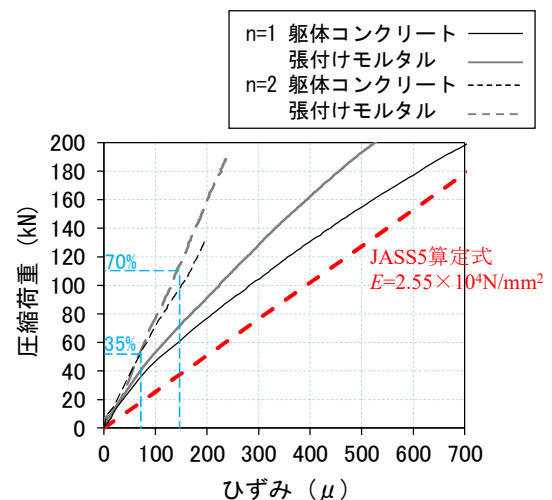
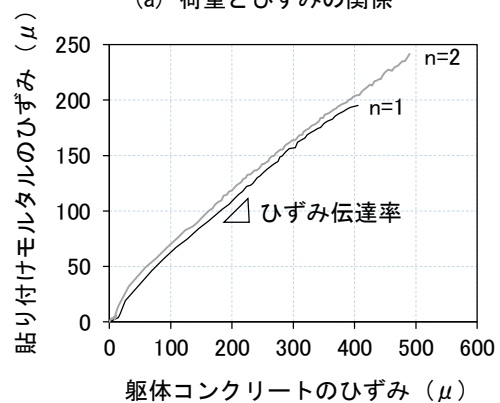


図-2 試験体の作製と養生・劣化条件

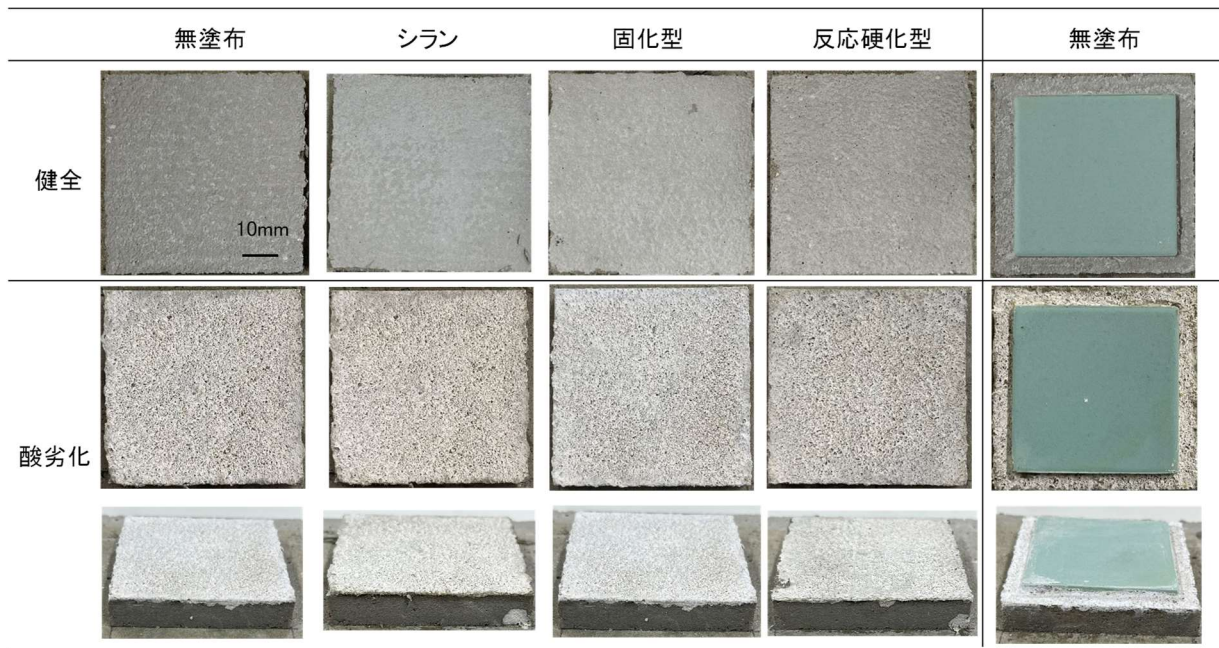


(a) 荷重とひずみの関係



(b) 躯体と張付けモルタルのひずみの関係

図-3 コンクリートと張付けモルタルの荷重-ひずみの測定結果



(a) 張付けモルタル試験体

(b) タイル+張付けモルタル試験体

図-4 酸劣化および各種含侵材を塗布後の張付けモルタル表面の状況

けモルタルのひずみはおよそ  $220\mu$  となり、躯体との差は  $230\mu$  であった。そこで、本研究では剥離時の荷重の70%に相当する  $110\text{kN}$  また35%の  $55\text{kN}$  をそれぞれ与えることとした。コンクリートの破壊時の荷重は  $350\text{kN}$  であり、載荷荷重はその1/3であるため、コンクリートは概ね弾性の範囲内にとどまり、コンクリート自体には残留ひずみや過度なひび割れ等はないものと考えられる。

化学劣化試験では、酸洗浄液で用いられる酸の濃度相当として17.5%硫酸を  $300\text{g}/\text{m}^3$  ずつ3日間塗布した。塗布はシリンジを用いており、タイル+張付けモルタル試験体では、張付けモルタル表面（実際の構造物ではタイルとタイル間の目地部分に相当）にのみ、張付けモルタル単体試験体では張付けモルタル表面の全面に塗布した。

### 2.3 含侵材の塗布

物理・化学劣化を作用させた後に、各種含侵材  $200\text{g}/\text{m}^2$  を2回に分けて塗布した。使用した含侵材は、①シラン系含侵材（有機）、②ケイ酸塩系の固化型含侵材（無機）、③ケイ酸塩系の反応硬化型含侵材（無機）の3種類である。これら含侵材もシリンジにより、張付けモルタルの表面に塗布した。なお、含侵材は塗布面の含水状態の調整が重要となるが、本研究では全含侵材で塗布前に2週間  $23^\circ\text{C}$ 、60%R.H. 気中乾燥を行った、比較的乾燥したモルタル面に塗布しており、かつその後も同温湿度環境で1週間気中養生した。

### 2.4 劣化試験後の表面観察結果

酸劣化および含侵材を塗布した張付けモルタルの表面の状況を図-4に示す。酸劣化により、モルタルの表

面は凹凸になり、白色化した。硫酸劣化のパターン<sup>10)</sup>はいくつかあるとされているが本試験体では、硫酸の浸透により表面部分のセメント成分が反応・溶解し、内部の骨材が露出したことで凹凸が生じ、また反応生成物である二水石膏が析出し白色化したものと考えられる。

また含侵材の塗布については、健全な状態また酸劣化後どちらも表面が若干白色化した。これは含侵材の撥水効果により乾燥したためではないかと考えられる。

### 2.5 付着強度試験

付着試験は図-5の通り、建研式引張試験装置を用いて測定を行った。接着剤にはエポキシ系樹脂を用いており、タイルと張付けモルタル全面に接着した。なお、治具に沿ってコンクリートカッターで接着面から垂直に下地のコンクリートまで切り込みを入れることもあるが、今回は付着モルタルも含め全体が装置内に収まるように作製したため切り込みはいれずそのまま試験を行った。

## 3. 試験結果と考察

### 3.1 物理劣化の影響

付着試験結果を図-6に、無劣化で含侵材無塗布の試験体に対する付着強度の比を図-7に示す。また、付着界面の状況を図-8に示す。本研究の範囲においては、破壊は全て張付けモルタルと躯体コンクリートとの界面の剥離となっており、張付けモルタルと躯体コンクリートの損傷は見られなかった。

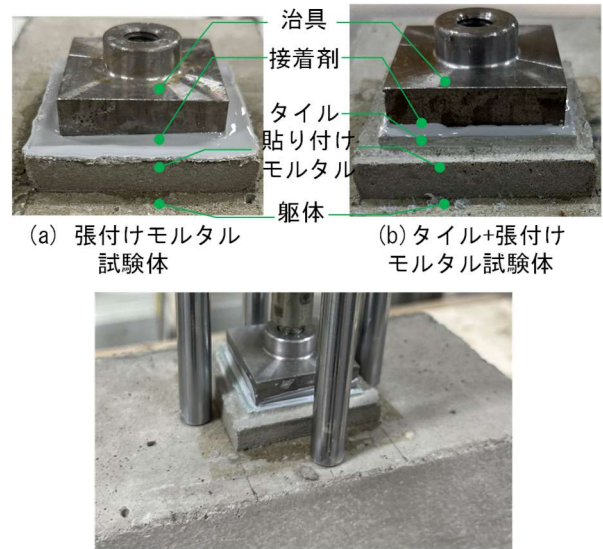
図-6(a)の物理劣化試験結果より、含侵材無塗布のものを見ると、健全な状態では  $0.53\text{N}/\text{mm}^2$  であるのに対し、

剥離時の荷重の30%と60%に相当する55 kN, 110kNの外力を与えたものはそれぞれ0.48N/mm<sup>2</sup>, 0.24N/mm<sup>2</sup>と付着力が76%, 35%程度まで低下しており、ディファレンシャルムーブメントのように張付けモルタルと躯体コンクリート間に生じるせん断力による付着力の低下を再現できているものと思われる。

タイルの有無についてみると、張付けモルタル単体での場合はタイル+張付けモルタル試験体と比べ付着力が20%程度まで大幅に低下する傾向にあった。これは、本実験では2週間の気中養生と劣化外力を与えてから含侵材を塗布後さらに1週間の養生期間を設けたが、これは全て23℃, 60%R.H.の気中養生を行っており、張付けモルタルは10mmと薄いため、タイルが表面にないため水分の蒸発が急激に進行し十分に水合が進行しなかったためではないかと考えられる。

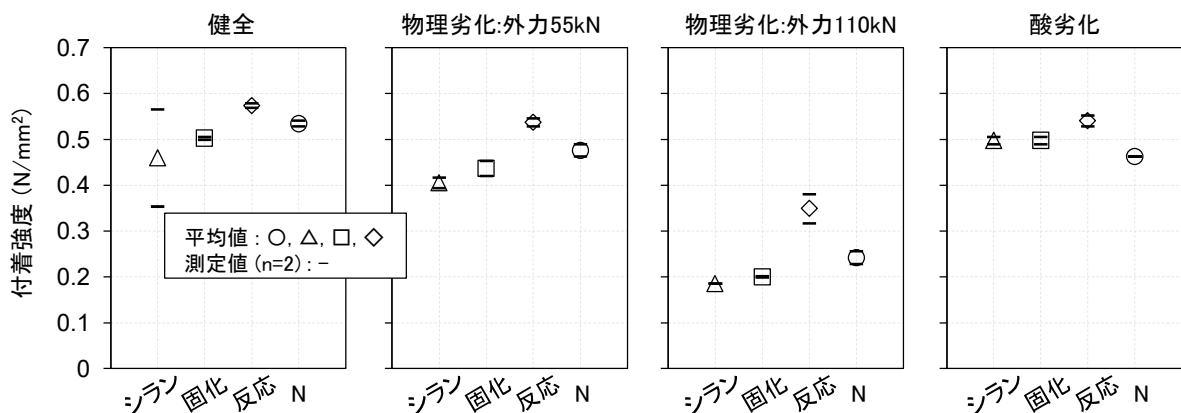
次いで、タイル+張付けモルタル試験体へ塗布した含侵材の種類の影響についてみると、健全な状態の張付けモルタルに、含侵材を塗布した場合、無塗布の試験体と比べ、シラン系含侵材では86%, ケイ酸塩系固化型含侵材は94%程度まで付着強度は低下した。これは、シラン系含侵材は撥水効果を有する材料であるため、これが付

着モルタルと躯体コンクリートの界面の接着に悪影響を及ぼしたことが考えられる。また、今回使用したケイ酸塩系固化型含侵材は吸水し反応するものであるため、水合に必要な水分を含侵材の反応に消費され見掛け上ドライアウトのような状態となり付着強度が低下した可能性

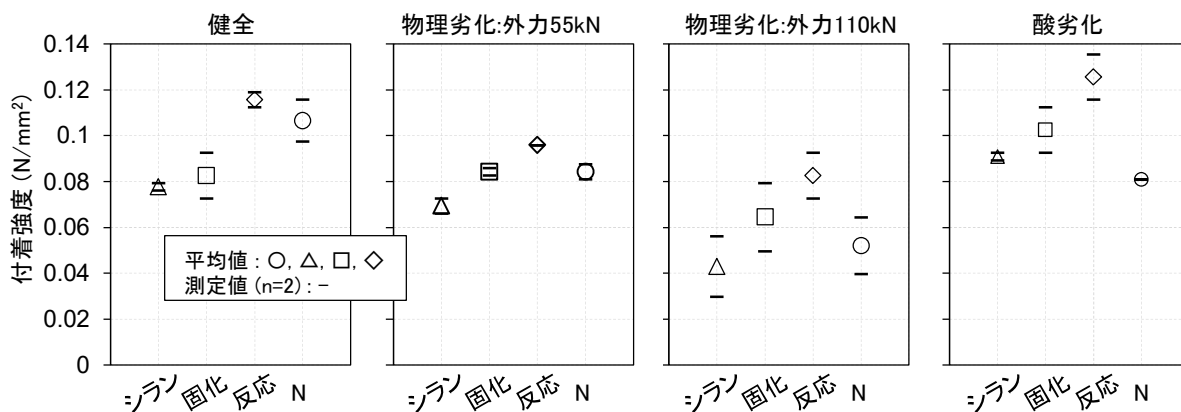


(c) 試験体に治具と装置を取り付けた状況

図-5 付着力試験の状況



(a) タイル+張付けモルタル試験体



(b) 張付けモルタル試験体

図-6 付着力測定試験結果

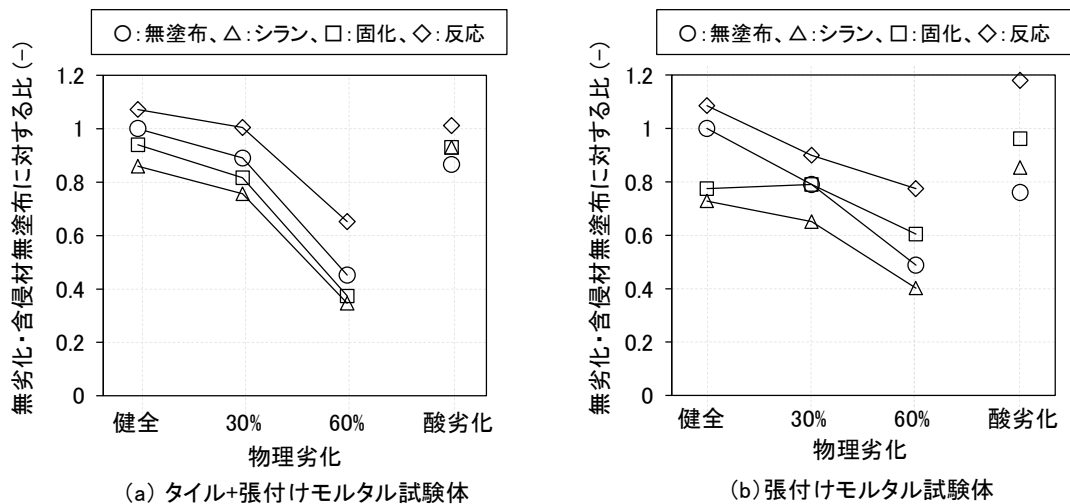


図-7 付着力の割合

が考えられる。

物理劣化後の試験体の場合も同様に、無塗布のものとは比べ低い値となった。外力として 55kN 载荷した試験体の低下割合は、荷重なしと同程度であったが、110kN 载荷した試験体では低下割合が大きく、シラン系含侵材では 76%、ケイ酸塩系固化型含侵材は 83%程度まで付着強度は低下した。一方でケイ酸塩系反応硬化型含侵材については、健全な状態で 105%程度まで強度の増加がみられた。反応硬化型含侵材は、セメント成分の水酸化カルシウムと反応し C-S-H ゲルが生成し空隙を埋める<sup>6-7)</sup>ことが知られているが、この効果によって付着力の向上がみられたのではないかと考えられる。固化型でも同様の作用が期待されるが、今回の材料ではゲル生成のための成分が反応型と比べ少なく、付着性状の改善効果が少なかったものと思われる。また、55kN 载荷の場合、含侵材無塗布では、付着強度は 85%程度まで低下するが反応硬化型含侵材を塗布することで、健全と同程度の付着力を発揮した。また、110kN 载荷の場合、含侵材無塗布では 35%程度まで付着力は低下するが、反応硬化型含侵材を塗布することで 65%程度まで低減された。

また、張付けモルタル単体試験体と比べ、タイル+張付けモルタル試験体の方が低下割合が大きい。これは、タイルは陶器製のものを使っているため、張付けモルタルや躯体コンクリートと比べ弾性係数が大きく変形を拘束したこと、また含侵材の塗布はタイル以外周辺の目地モルタルのみとなり、上記の低下の影響がタイル周辺部分の張付けモルタルに強く生じ、端部からの剥離を助長した可能性が考えられる。

### 3.2 化学劣化の影響

図-6(b)に化学劣化試験結果を示す。硫酸劣化についても、破壊は全て張付けモルタルと躯体コンクリートとの界面の剥離となっており、張付けモルタルおよび躯体

コンクリートの損傷は見られなかった。また付着試験後の張付けモルタルおよび躯体表面をみても、酸劣化させた表面のような変色等はみられず、物理劣化とほぼ変わらない見た目となっている。

含侵材無塗布の試験体の場合、酸劣化によって付着強度は 85%程度低下しており、55kN 载荷時と同程度の低下割合となった。含侵材の効果についてみると、全体的に無塗布の場合と比べて付着強度は高くなる傾向にあり、含侵材による強度の向上がみられた。有機系含侵材でも付着強度は上昇した。これは一般に有機系素材は酸により変質し弾性係数等の物性に影響を及ぼすことが知られているが、このような酸による影響で撥水性能のみならず付着性についても改質効果があった可能性、または撥水系材料が浸透したことにより、酸の浸入を抑制し、界面の付着性能の低下を抑制した可能性などが考えられる。

また、ケイ酸塩系の含侵材については固化型・反応型ともに酸劣化させた方が付着強度が高くなっている。これは、酸によってセメントペーストから溶出したカルシウム成分とこれら含侵材が反応し、界面で反応・固化したためではないかと考えられる。

以上の通り、今回の実験では張付けモルタルの材齢が 2 週間と若材齢で試験を行ったため、付着モルタルが本来有する付着力を低下させる結果となったが、酸劣化の場合では付着力の改善効果が見られ、これら含侵材による保全効果の可能性が示唆された。また、酸洗いの場合には、ポーラス化した目地モルタル部分からの水分の浸透・乾燥による界面部分への可溶性物質の析出などの問題もあり、単なる付着力向上だけではなく、外部からの物質移動抵抗性の向上効果なども必要となる。これらの影響について今後検討する予定である。

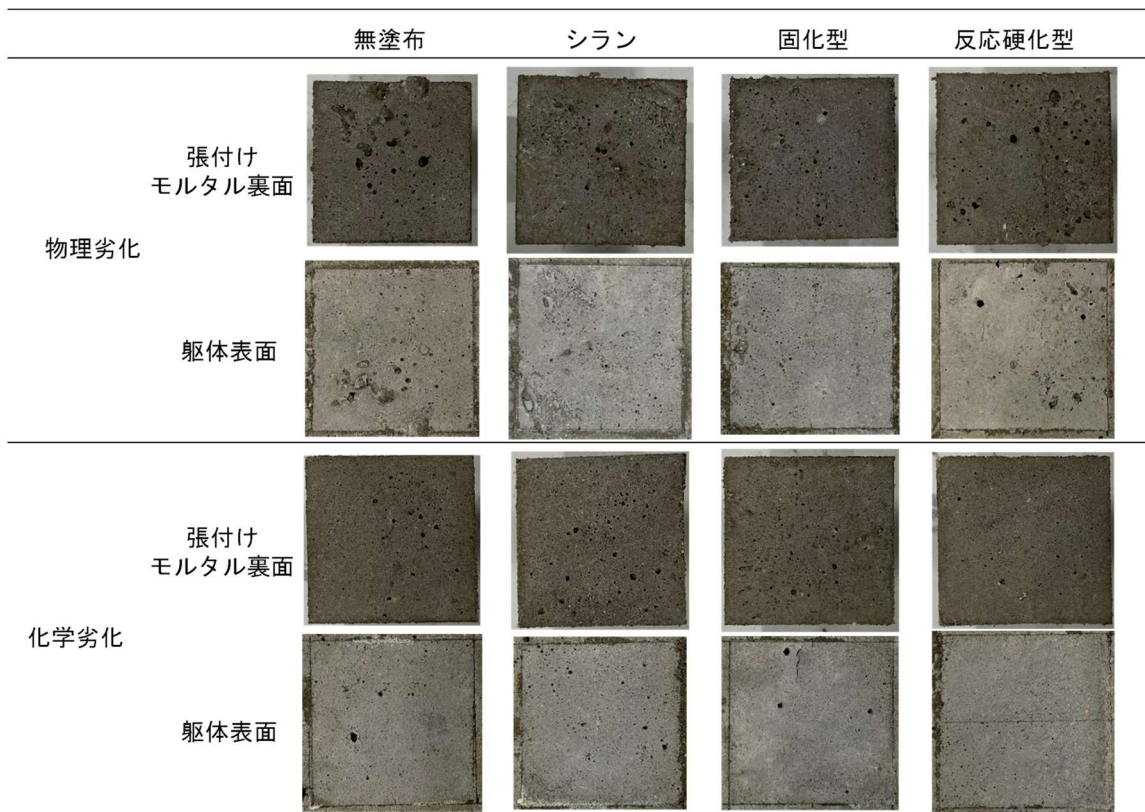


図-8 付着力を測定後の試験体界面の状況

#### 4. 結論

タイル周辺より含侵を塗布した場合、材齢が2週間と若材齢な張付けモルタルを用いた今回の試験範囲においては、有機系およびケイ酸塩系固化型含侵材を塗布することで、付着強度は低下する傾向にあり、ケイ酸塩系反応硬化型の含侵材は向上した。これは、ディファレンシャルムーブメントを想定した物理的な外力を張付けモルタルと躯体コンクリート間に与えて付着力を低下させた試験体に対しても同様の傾向にあった。

張付けモルタルを硫酸劣化させた試験体に対しては、全ての含侵材で付着強度は向上する傾向にあった。

#### 参考文献

- 1) 日経アーキテクチャ：特集 外壁タイルの落下を防げ, p.30-57, 2021.10
- 2) 橋高 義典, 國枝 陽一郎：被災瓦礫シミュレーションを目指した 4 次元住居損壊モデルに関する研究 (その 1) 建物の地震応答に伴う外壁タイルの剥落危険性の評価, 日本建築学会, 材料施工, pp.1361-1362, 2019.7
- 3) 中村 雄一, 寺西 浩司, 佐々木 仁, 添田 智美：従来工法で張り付けられた外装タイルの剥離メカニズムに関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1297-1302, 2013.7
- 4) 名知博司：弾性接着材タイル張り仕上げのひずみ追

従性に関する 2, 3 の考察, 日本接着学会誌 Vol.42, No.5, pp.34-39, 2006

- 5) 松村沙紀, 田中享二：ディファレンシャルムーブメントによるタイル張り層の剥離および剥落過程, 日本建築学会関東支部研究報告集, vol.74, pp.29-32, 2004.2
- 6) 櫛原弘貴, 武若耕司, 松元淳一, 前田聡：ケイ酸塩系表面含侵材の浸透深さと浸透域でのコンクリート品質改善に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, pp.547-552, 2007.7
- 7) 染谷 望, 加藤 佳孝：けい酸塩系表面含侵材の浸透機構および改質効果に関する基礎的検討, コンクリート工学論文集, vol.25, pp.181-189, 2014
- 8) 渡会 正典, 寺西 浩司, 日比野 和樹, 佐々木 仁, 添田 智美, 石川 靖晃：外装タイルの変形・剥離挙動の FEM 解析：その 3. 解析対象を得るための実験および予備的な解析, 日本建築学会学術講演梗概集. A-1, 材料施工, pp. 881-882, 2011
- 9) 日比野 和樹, 寺西 浩司, 永井 伴英：先付けタイルの変形追従性および剥離抵抗性, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1397-1402, 2011.7
- 10) 久田 真, 皆川 浩, 寺林 明日美, 納口 恭太郎：硫酸が作用するセメント硬化体の劣化進行に関する研究, 土木学会論文集 E, vol.64, No.3, pp.449-459, 2008.8