

外装タイル張り用有機系接着剤の耐久性に関する研究

片岡 弘安 小川 晴果

Durability Evaluation of Organic Adhesives for Exterior Wall Tiling

Hiroyasu Kataoka Haruka Ogawa

Abstract

In recent years, there has been an increase in the application of an exterior tile finishing method that uses organic adhesives. This method is expected to prevent tiles from falling away because the rubbery adhesive layer reduces the stresses between the tiles and substrate. However, the long-term durability of the organic adhesive has not yet been determined for application to the exterior of a reinforced concrete structure. We evaluated the deterioration factors and durability of the modified silicone resin-based one-component adhesive that is regularly used for exterior tiles using accelerated deterioration tests. The following results were obtained. 1) Five kinds of tested adhesives met the JASS19 quality standard. 2) Water, heat, and ultraviolet radiation were found to be the deterioration factors for the adhesive. 3) Countless cracks were found in microscopic observations of the surface layer of the ultraviolet radiation specimen, and these cracks caused the decline of the deformation follow-up performance. 4) The long-term durability could be maintained by avoiding contact with the deterioration factors.

概要

近年、有機系接着剤による外装タイル後張り工法の適用例が増加している。この工法は、弾性を有する接着剤層が、接着界面に発生する応力を低減することから、タイルのはく離防止性能を有する工法として期待されている。しかし、鉄筋コンクリート造の建物外装に適用された時の長期耐久性については未だ不明な点が多い。そこで、現在常用されている外装タイル張り用の変成シリコーン樹脂系一液反応硬化形接着剤の促進劣化試験による性能比較により、劣化因子となる要因および耐久性の評価を行った。その結果、1) 試験を行った5種類の接着剤はJASS19の基準を満足している。2) 水・熱・紫外線が接着剤の劣化因子となっている。3) 紫外線劣化を起こした樹脂は、微視的観察により表層への無数のクラック発生が見られ、変形追従性能の低下の原因となっている。4) 劣化因子との接触を避けることにより、長期的な耐久性が保たれる。

1. はじめに

従来、鉄筋コンクリート（RC）造の建物外壁にタイルを施工する場合、セメントモルタルによるタイル後張り工法が一般的である。セメントモルタルを用いたタイル後張り工法では、Fig. 1に示すように、コンクリート（モルタル）下地と張付けモルタル、タイルの日射熱や乾燥収縮による動きが異なるため、タイルが剥がれようとする力が作用し、しばしばタイルのはく離事故の原因となっている。大林組では、このようなタイルのはく離事故を未然に防ぐため、立体繊維材料張り工法（ベースネット工法インターネット工法、ウェブフォーム工法）および、

コーン状係止部材及び短繊維混入モルタルを併用したタイル張り工法（ループボンド・タフバインダー工法）などのタイルのはく離防止工法を開発し、数多くの実建物に適用してきた¹⁾。

一方、セメントモルタルによる張付け方法以外に、有機系接着剤によるタイル張り工法がある。この工法では、弾性を有する接着剤層が接着界面に発生する応力を低減することから、タイルのはく離防止性能を有する工法として期待されており、既往の研究にてその効果が確認されている²⁾。しかし、この工法は、RC造の建物外装に適用され始めてから20年程度³⁾と、建物の供用期間と比べてまだ日が浅いこともあり、その長期耐久性について不

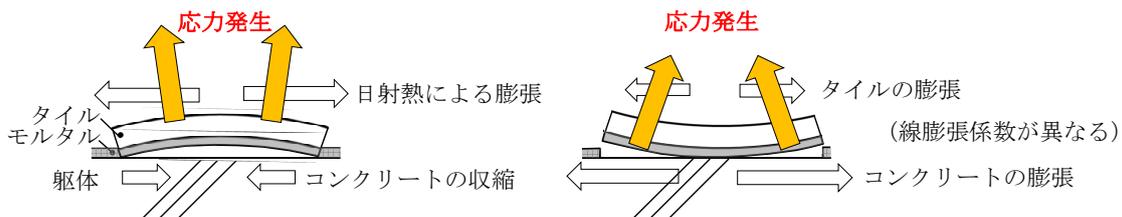


Fig. 1 外装タイルの応力の発生機構
Movement Mechanism of Stresses Between Exterior Tiles and Substrate

明な点がある。一般に、炭化水素を主成分とする有機系化合物は、セメントなどの無機系化合物に比べて材料の耐久性が低い傾向にあることが知られているため、タイルのような重量物を、有機系接着剤を用いて外装に施工する場合には、その耐久性を十分に確認しておく必要がある。そこで、外装タイル張り用有機系接着剤が劣化する要因やその耐久性について、各種促進劣化試験を用いて評価を行った。

2. 外装タイル張り用有機系接着剤の概要

有機系接着剤張り工法については、約20年前に国土交通省建築研究所を中心に「有機系接着剤張りを利用した外装タイル・石張りシステムの開発」と題した一連の研究開発が実施された。しかし、当時はセメントモルタルに比べ、有機系接着剤ははるかに高価であったことや、その耐久性が不明であったこと等から、その用途は、主として小面積の外壁補修や戸建住宅・低層建物の外壁等の適用に限られてきた。その後、約10年の実績を積み上げていく過程で、有機系接着剤の品質の安定化や性能の向上が図られ、また近い将来、外装タイル張りの主要な工法として位置づけられる期待感が高まってきた。こうした中、2006年12月に、JIS A 5557:2006（外装タイル張り用有機系接着剤）が制定され、その品質が規定された²⁾。また、その後、追跡調査により、最長20年の間初期の強度を維持していること、施工管理の容易さや採用実績の増大などが考慮されて、2012年には建築工事標準仕様書・同解説JASS19「陶磁器質タイル張り工事」にも有機系接着剤による外装タイル後張り工法が制定され、現在に至っている。

JASS19では、外装タイル張り用有機系接着剤として、JIS A 5557:2006の規格に適合する一液反応硬化形のウレタン樹脂系および変成シリコーン樹脂系の2種類を適用可能としており、そのうち、主に変成シリコーン樹脂系の接着剤が外装タイル張り用として用いられている。変成シリコーン樹脂系外装タイル張り用有機系接着剤に用いられる代表的な変成シリコーン樹脂の構造式をFig. 2に示す。この樹脂は、水分と触媒の存在によりメトキシシリル基の加水分解反応が進行してシラノール基が生成し、続いてシラノール縮合反応によりシロキサン結合を生成することにより分子鎖延長反応と架橋反応が進行し、ゴム状弾性体となる。外装タイル張り用有機系接着剤では、これに充填剤、シランカップリング剤、老化防止剤を加え、さらに耐水性の向上を目的としてエポキシ樹脂とのポリマーアロイとした形で用いられる⁴⁾。

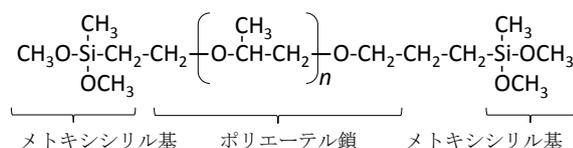


Fig. 2 代表的な変成シリコーン樹脂⁴⁾
Typical Modified Silicone Resin

3. 接着剤の耐久性評価

3.1 試験材料

変成シリコーン樹脂は、Fig. 3に示すように熱や紫外線の影響により樹脂中のポリエーテル鎖部分から分解・劣化に至るほか⁵⁾、水が介在する環境においても接着性能が低下することが知られている⁶⁾。JIS A 5557においても品質規準として熱などへ耐久性が規定されているが、長期的な耐久性を評価する上で十分な試験とはなっておらず、独自に接着剤単体の試験により耐久性の評価および劣化因子の特定を行うことを試みた。試験に際しては、現在市販されている外装タイル張り用の変成シリコーン樹脂系一液反応硬化形接着剤のうち、異なるメーカーから販売されている5銘柄（以後、接着剤A～E）を選定した。（Table 1参照）

3.2 試験体の作製および試験方法

現場で適用されている接着剤A～Eについて、それぞれ2mm厚のシート状に成形して20℃65%RHの標準状態で14日間養生後、ダンベル状5号の形状に抜き取ることで試験体を作製した。試験の因子および水準をTable 2に示す。これらの試験体を、20℃水中、60℃温水中の各条件への浸漬およびスーパーキセノンウェザーメーター（XWOM, 7.5kWスーパーキセノンウェザーメーターSX75）による促進耐候性試験を行った。促進劣化期間として、水中浸漬では浸漬期間が14日、28日、91日、XWOMによる促進耐候性試験では照射660時間、1500時間とした。促進劣化期間が終了してから24時間乾燥後、精密万能

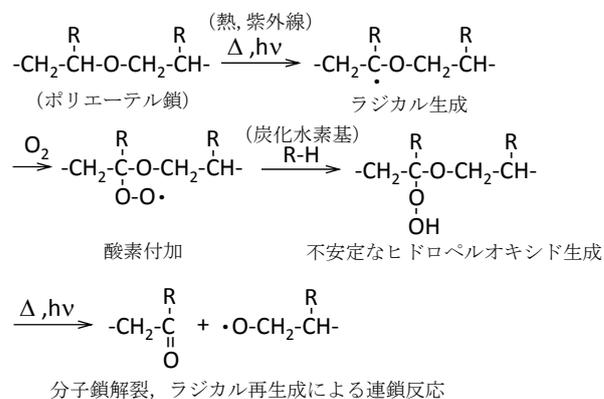


Fig. 3 変成シリコーン樹脂の劣化機構⁵⁾
Deterioration Mechanism of Modified Silicone Resin

Table 1 試験材料
Test Materials

試験体名	一般名	用途
接着剤 A	変成シリコーン樹脂系一液反応硬化形接着剤	外装タイル張り用 (JIS A 5557 適合品)
接着剤 B		
接着剤 C		
接着剤 D		
接着剤 E		

試験機（オートグラフAGX10kN）により、100mm/minで引張試験を行った。試験体数は1条件につき20℃および60℃水中浸漬では3体とし、XWOMによる試験では2体とした。また、引張試験後の試験体を走査型電子顕微鏡（SU3500）で観察し、劣化状態を確認した。

3.3 試験結果

3.3.1 引張試験 Fig. 4に各接着剤の促進劣化試験前後の引張強さ、伸び率および各接着剤の引張強さと伸び率の変化率（促進劣化試験後の測定値を促進劣化試験前の測定値で除した値を百分率化したもの）を示す。水中浸漬の場合、引張強さは、20℃では14日浸漬状態で上がった後、浸漬期間の経過とともに下がっていく傾向にあった。60℃では14日浸漬状態から低下する傾向にあり、91日浸漬後の引張強さは20℃の場合よりも低下して、より劣化が促進された。また、銘柄によって引張強さは、それぞれ異なっていたが、促進試験前で引張強さが大き

い銘柄は促進劣化後でも他の銘柄に比べて引張強さが大きく、劣化傾向については共通していた。これに対して、伸び率は銘柄によってその挙動が異なっており、60℃温水浸漬の場合においては、接着剤Cでは浸漬期間の長期

Table 2 接着剤耐久性試験の因子と水準
Factors and Levels of Durability Test of Adhesives

因子	水準（促進劣化期間）
促進試験前	0日
	14日
	28日
20℃水中	91日
	14日
	28日
60℃温水中	91日
	14日
	28日
XWOM	660時間
	1500時間

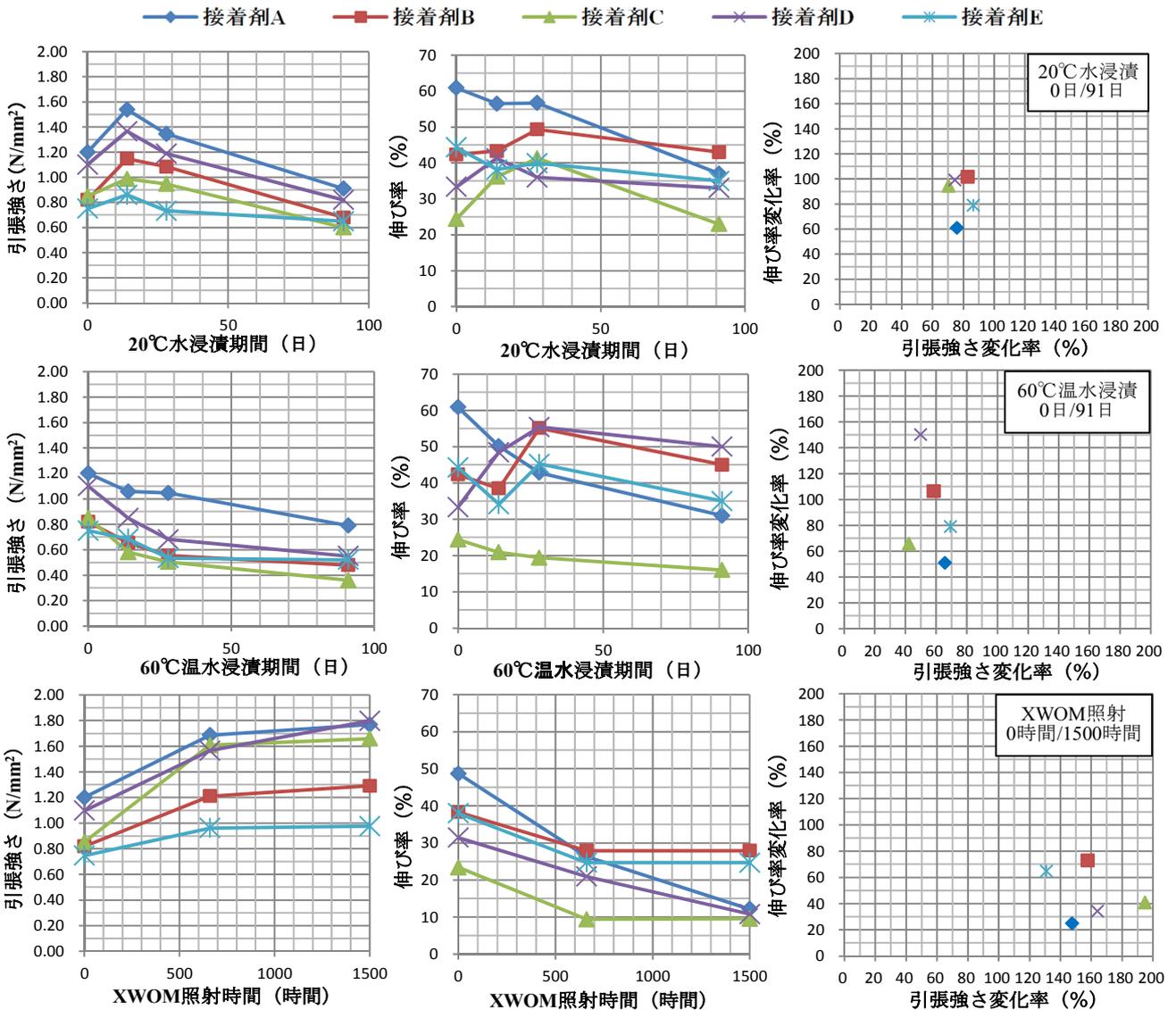


Fig. 4 水・熱・紫外線の影響による接着剤の耐久性試験結果
Durability Test Results of Adhesive Due to Action of Water, Heat, and Ultraviolet Radiation

化とともに伸び率が下がり、逆に接着剤Dでは上がる傾向を示していた。

XWOMによる促進耐候性試験では、全ての銘柄に共通して照射時間の経過とともに引張強さは上昇、伸び率は低下する傾向が示された。これは、水浸漬の場合では長期的に引張強さが下がる傾向にあるのとは異なる傾向を示していた。

3.3.2 SEM観察 接着剤Aについて、促進試験前、60℃温水91日浸漬後およびXWOM1500時間照射後の試験体表面と断面のSEM画像をFig. 5に示す。試験体表面は、促進試験前状態、60℃温水浸漬91日後では滑らかであり、XWOM1500時間照射後では全面に無数のひび割れが生じている様子が確認された。また、断面方向では、促進試験前状態、60℃温水91日浸漬後で亀裂が見られなかったものが、XWOM1500時間照射後には、試験体表面から25μmの深さまで亀裂が生じている様子が確認された。これは、紫外線の影響により樹脂が劣化したために起こった現象であると考えられる。その劣化機構においては、Fig. 3に示すように反応過程でラジカルが発生するため、分子鎖の中で再架橋化することで引張強さは増加する一方、柔軟性は失われ、伸び性能が低下したものと推察される。また、このような劣化現象は劣化因子の影響を受けやすい材料表面から進んでいることが確認された。

なお、60℃温水浸漬条件ではXWOM照射を行った場合と異なり、ひび割れが確認されなかったが、これは吸水によって接着剤が膨潤・軟化した影響があるためであると考えられる。この場合においても引張強さ・伸び率ともに長期的には低下傾向にあるため、水・熱・紫外線は接着剤に対して劣化を与える因子となっていることが明確に示された。

4. タイル張り試験体の耐久性評価

4.1 試験材料

実建物で外装タイル張り用有機系接着剤によりコンクリート下地にタイルが張り付けられている状況を想定して耐久性評価のための試験を行った。試験に際しては、前項の接着剤の耐久性試験に用いたものと同じ接着剤A～Eを用いた。

4.2 試験体の作製および試験方法

作製した試験体の形状をFig. 6に示す。表面をコンクリートサンダーで目荒らした300×300×t60mmのコンクリート平板上に外装タイル張り用有機系接着剤（接着剤A～E）を櫛目状に塗布し45×45×t7mmの磁器質タイルを36枚張り付けた。なお、タイルは裏面にあり足を持つ形状のものを用い、目地部はモルタル詰めをせず、接着剤を現す仕様とした。また、試験体の小口部には、水分の侵入を防ぐためにエポキシ樹脂を充填した。作製した試験体は、20℃65%RHの標準状態で14日以上養生を行った後、熱冷繰返し抵抗性試験に供した。熱冷繰返し抵抗性試験は、日本建築仕上学会規格（M-101）「セメントモルタル塗用吸水調整材の品質」に準じて、Table 3に示すように試験体表面の最高温度が70℃となるようにして赤外線ランプ照射を105分間行い、その後15分間散水することを1サイクルとして300サイクルまで行った。促進劣化試験前後の試験体について、タイルそれぞれ5枚に40×40mmの鋼製アタッチメントを張付け、精密万能試験機（島津製作所製：オートグラフAGX100kN）により1mm/minで引張試験を行い、引張接着強さおよび試験時の面外変位の測定、破断状況の記録を行った。

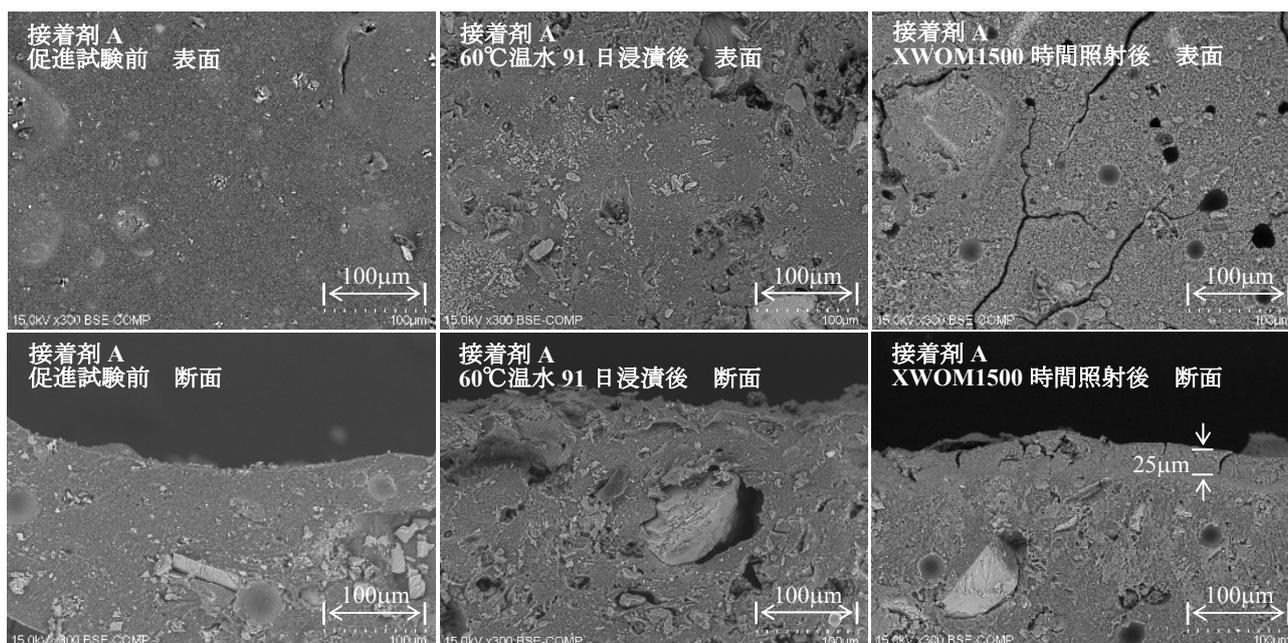


Fig. 5 促進耐候性試験前後の表面および断面 SEM 画像

Surface and Cross-Section SEM Images of Adhesive Before and After Accelerated Weathering Test

4.3 試験結果

4.3.1 JASS19に基づく判定 Fig. 7に破断割合、引張接着強さおよび最大荷重時の面外変位を示す。ブランク状態での破断割合は、全ての接着剤において、接着剤凝集破壊割合が50%以上であり、Fig. 8に示すJASS19の品質規準を満足していた。促進劣化試験後においても接着剤B～Eについては接着剤凝集破壊割合50%以上を確保しており、合格と判定された。接着剤Aの促進劣化試験後においては、接着剤凝集破壊割合が50%未満であったが、判定基準の下記3条件を満たしていたため、合格と判定された。

- 1) 接着剤とタイルとの界面破壊率およびコンクリートと接着剤との界面破断率の合計が50%以下
 - 2) コンクリートの凝集破壊率が25%を超える(25%以下であれば合格、25%を超える場合3)へ)
 - 3) 引張接着強さが0.4N/mm²以上
- 以上より、本試験において用いた5銘柄の接着剤は今回の促進劣化条件において健全性が保たれていたことが確認された。

4.3.2 劣化機構に関する考察 促進劣化試験前後の引張接着強さおよび最大荷重時の面外変位について比較すると、促進劣化試験後では引張接着強さは増加、最大荷重時の面外変位は低下する傾向にある銘柄が多かった。これは、前述のように、熱などにより接着剤中の樹脂の再架橋化等による劣化が影響しているものと考えられる。接着剤の銘柄による傾向の差を調べるため、接着剤単体の試験と同様に、各接着剤の引張接着強さと最大

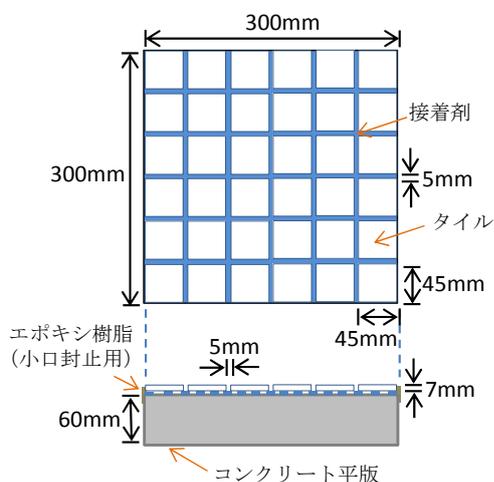


Fig. 6 耐久性試験に用いるタイル張り試験体形状
Shape of Tiled State Specimen for Durability Test

Table 3 タイル張り試験体耐久性試験の因子と水準
Factors and Levels of Durability Test of
Tiled State Specimen

因子	繰返し数 (促進劣化期間)	備考
熱冷繰返し 抵抗性試験	0サイクル	赤外線ランプ 照射(70°C)105分, 散水15分を1サイ クルとして実施
	300サイクル	

荷重時の面外変位の変化率(促進劣化試験後の測定値を促進劣化試験前の測定値で除した値を百分率化したもの)を求め、プロットした結果をFig. 9に示す。Fig. 9からは、各接着剤の銘柄によって物性変化の傾向が異なる様子が示された。これを、Fig. 4の接着剤単体の耐久性試験結果と比較すると、接着剤単体では引張強さ、伸び率ともに劣化因子の影響を受けやすかった接着剤Aがタイル張付け状態では促進劣化前後で引張接着強さ、最大荷重時の面外変位ともに最も変化が少ないなど、接着剤の

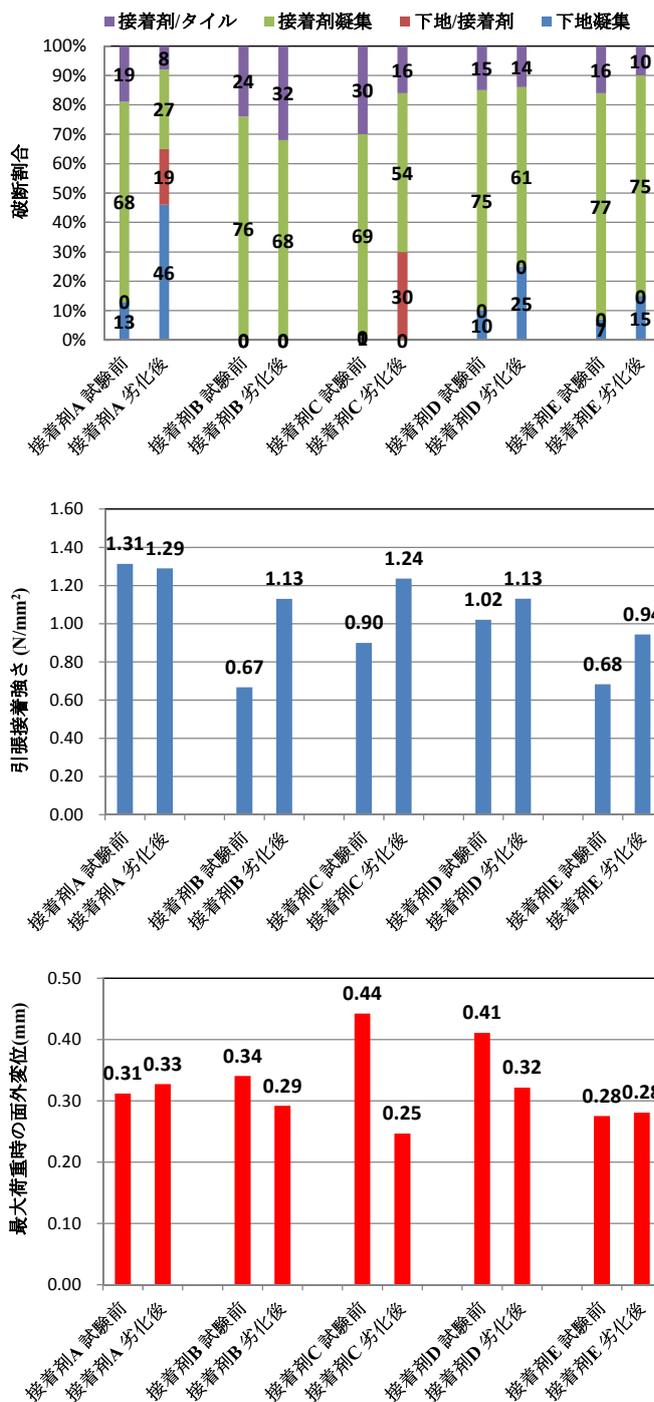


Fig. 7 タイル張り試験体の引張接着試験結果
Results of Pull-Off Bond Test of Tiled State Specime

劣化傾向が樹脂単体とタイル張付け状態とで必ずしも一致していないことが示された。これは、樹脂の強さには分子内の緻密な架橋状態や剛直な骨格を保有していることが必要であることに対し、接着強さは被着体に対するアンカー効果や極性の相性が影響するなど、その発現メカニズムが異なることが原因であるものと推測される。しかしながら、長期的に水・熱・紫外線といった劣化因

子にさらされることで、少なからず性能が低下する。外装タイル張り用有機系接着剤の適用にあたっては、目地のモルタル詰め等により、このような劣化因子の侵入を防止することで、より長期的な耐久性が保たれるものと考えられる。今後、長期にわたって有機系接着剤による外装タイル後張り工法の実曝条件における性能の変化が明らかになることで、劣化因子の影響がさらに詳細に解明され、この工法が外装タイル張りの安全・安心を確保する一つの要素技術となる。

5. まとめ

外装タイル張り用変成シリコン樹脂系一液反応硬化形接着剤について、接着剤単体およびタイル張付け状態での耐久性を調査するため、各種促進劣化試験を取り入れた実験で検証を行った。得られた結果を以下に示す。

- 1) タイル張付け状態での促進劣化試験後において、供試した5種類の接着剤は全てJASS19「陶磁器質タイル張り工事」の品質規準を満足していたが、樹脂の劣化は進行している。
- 2) 水中に浸漬した接着剤は、長期的に引張強さ、伸び率が低下する傾向にあり、この現象は水温が高いほど顕著であった。
- 3) 紫外線照射を行った接着剤は樹脂の硬化、柔軟性の低下が著しく観察され、微視的に観察すると表層に無数のクラックが発生して変形追従性能の低下を起こしている。
- 4) 外装タイル張り用有機系接着剤の適用にあたっては、目地詰め等を行い、できるだけ水分や紫外線などの劣化因子の侵入を防止することにより、長期的な耐久性が保たれる。

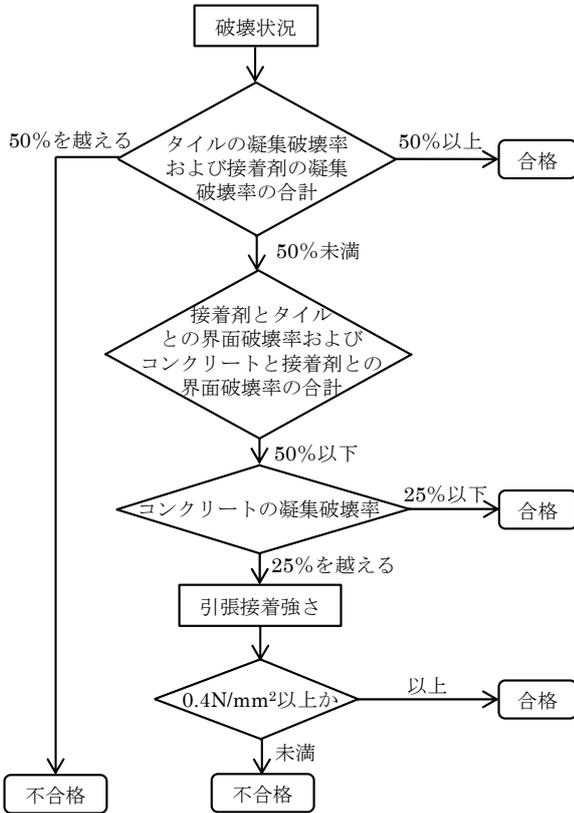


Fig. 8 JASS 19:2012 有機系接着剤による外装タイル後張り工法の合否判定フロー（直張りの場合）
JASS 19:2012 Admission Decision Flow of the Exterior Tile Finishing Method Using Organic Adhesives in the Case of Direct Tiling

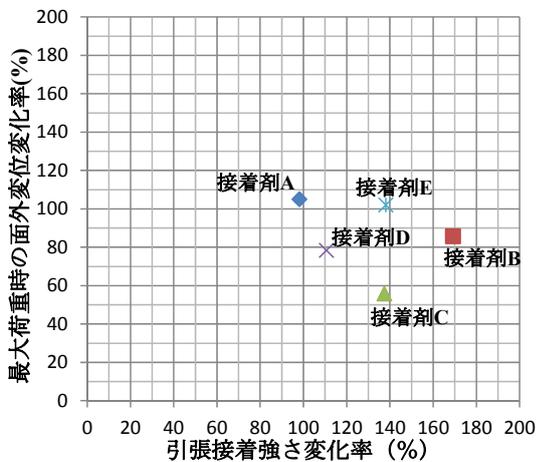


Fig. 9 耐久性試験前後の試験結果の変移
Intergradation of Results Before and After Durability Test

参考文献

- 1) 三谷一房, 他: 外壁タイル張りの剥落防止性能評価技術, 大林組技術研究所報, No.76, 2012.12
- 2) 三谷一房, 他: 有機系接着剤を用いた外装タイル張りの性能評価, 大林組技術研究所報, No.76, 2008.12
- 3) 高橋正男, 他: 弾性接着剤施工実建物での20年経過後調査結果, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.1025-1026, 2012.9
- 4) 若林 宏: 接着剤の設計 Part V. シリコンと変成シリコン 3. 変成シリコン系ポリマー, 接着の技術, Vol.22, No.2, pp.11-17, 2002.9
- 5) 堀江康信: 接着剤の設計 Part V. シリコンと変成シリコン 4. 変成シリコン系接着剤 4.1 工業用変成シリコン系接着剤, 接着の技術, Vol.22, No.2, pp.18-21, 2002.9
- 6) 久保田 浩, 他: 有機系接着剤による外壁タイル張り工法の耐久性に関する評価 その1 温冷繰返し試験, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.867-868, 2011.9