

を取り上げ、前者については、主に接着耐久性に関する検討を、後者については、地震時の安全性に関する検討を行った結果について報告する。

2. 有機系接着剤張り工法の概要

2.1 有機系接着剤の種類

有機系接着剤張り工法については、約10年前に、国土交通省建築研究所を中心に実施された一連の研究開発成果がある²⁾。しかし当時は、セメントモルタルに比べ有機系接着剤が、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、その後は、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(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。

有機系接着剤の主成分としては、変成シリコーン樹脂系とウレタン樹脂系に大別されるが、一液反応硬化形の変成シリコーン樹脂系が大半である。Table 1に代表的な有機系接着剤の種類と物性を整理する。

2.2 施工方法の留意点

Photo 1に施工手順を示す。5mmくし目の左官ごてを用い、有機系接着剤を下地面に平坦に塗布した後、斜め45度方向にくし目を立てる。直ちにタイルを圧着し、丁寧にたたき押えする。さらに振動工具を併用し、タイルを十分にもみ込む。この時、下地面に塗布した有機系接着剤の凸部が十分につぶれてタイル裏面に付着させることが重要である。有機系接着剤張りではモルタル張りと比較して、打診による診断精度に劣るため、施工途中で接着剤の付着状態を確認することに特に留意する。

Table 1 代表的な有機系接着剤
Typical Organic Adhesives

*データは各社技術資料による

外装タイル張り用 有機系接着剤の種類		A	B	C	D
適用タイルの種類		セラミックタイル～二丁掛けタイル	セラミックタイル～二丁掛けタイル	セラミックタイル～二丁掛けタイル	セラミックタイル～二丁掛けタイル
主成分による区分		変成シリコーン樹脂系	変成シリコーン樹脂系	変成シリコーン樹脂系	ウレタン樹脂系
		一液反応硬化形	一液反応硬化形	一液反応硬化形	一液反応硬化形
密度 (g/cm ³)		1.48±0.05	1.45±0.10	1.40±0.10	1.54±0.10
粘度 (Pa・s/23℃)		550	550～1000	300～800	500～900
張付け可能時間 (分)		夏季：約30 冬季：約60	夏季：約30 冬季：約60	夏季：約30 冬季：約60	夏季：約30 冬季：約60
ホルムアルデヒド区分		F☆☆☆☆	F☆☆☆☆	F☆☆☆☆	F☆☆☆☆
コンクリート下地 に対する 接着強度 (N/mm ²) /破断割合 (%)	標準養生	1.3/凝集破壊率100	1.28/凝集破壊率100	1.35/凝集破壊率100	1.12/凝集破壊率90
	低温硬化養生	1.4/凝集破壊率100	1.13/凝集破壊率100	1.25/凝集破壊率100	0.94/凝集破壊率90
	アルカリ温水浸漬処理	0.9/凝集破壊率100	0.66/凝集破壊率100	1.12/凝集破壊率67	1.13/凝集破壊率90
	凍結融解処理	1.2/凝集破壊率100	1.86/凝集破壊率100	2.18/凝集破壊率60	0.78/凝集破壊率80
	熱劣化処理	1.7/凝集破壊率100	2.83/凝集破壊率100	3.03/凝集破壊率94	2.19/凝集破壊率90



① こて圧をかけ、下地面に有機系接着剤を塗布する。



② オープンタイム内に、タイルを圧着する。



③ 面調整せず、丁寧にたたき押えする。



④ 振動工具を併用し、十分にもみ込む。

Photo 1 有機系接着剤張り工法の施工手順
Procedure of Exterior Wall Tiling with Organic Adhesives

3. ECP下地における接着耐久性評価

3.1 ECP下地タイル張りの概要

ECPを外壁下地材としたタイル張りの断面概略をFig. 1に示す。左図はパネル種別として、あり溝を付与したタイルベースパネルを下地材とし、張付け材料としてセメントモルタルを用いた従来のモルタル張り工法による断面概略で、左官工事による薄塗りの下地ごしらえを行った後、タイル張りが施される。これに対し右図は、あり溝のない平滑な表面のフラットパネルを下地材とし、左官工事による薄塗りの下地ごしらえを行わず、いわゆる直張りで施工する有機系接着剤張り工法である。

ECPのように面精度のよい外壁下地材では、不陸を調整する左官モルタル塗りが不要で直張りが可能なため、コストダウンが図れるという側面がある。

3.2 有機系接着剤の種類・施工法・硬化材齢による影響

3.2.1 試験の目的 有機系接着剤の種類、張付け方法および張付け後の材齢が、タイル張りの接着性に及ぼす影響について検討した。

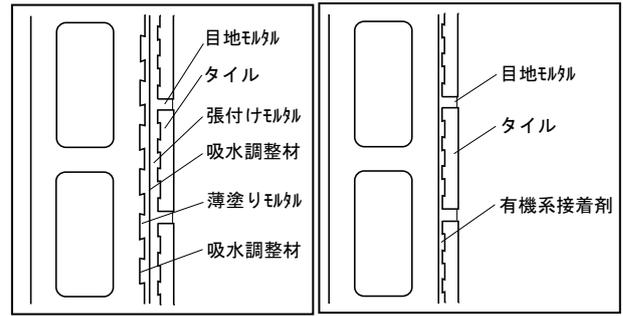
3.2.2 試験体の概要 有機系接着剤としては、変成シリコン樹脂系3種類(A, B, C)とウレタン樹脂系1種類(D)の合計4種類(Table 1の種類と同記号)を使用した。5mmくし目の左官ごてを用い、各有機系接着剤をフラットパネル下地面(約600×600mm)に平坦に塗布した後、斜め45度でくし目を立てた。直ちに50三丁ユニットタイルを、たたき押えのみと、振動工具の併用との2種類の施工法(Photo 2)で張付けた。目地詰めはせず、所定材齢まで屋外で養生した。

3.2.3 試験項目および方法 材齢1, 8ヶ月に達した後、日本建築工学会認定の引張試験機を用いて、引張接着強度を求めるとともに、その破断状況を記録した。

3.2.4 試験の結果 Fig. 2に各試験体の引張接着強度を示す。有機系接着剤の種類による影響としては、変成シリコン樹脂系がウレタン樹脂系よりも、張付け方法および材齢によらず引張接着強度が明らかに大きかった。変成シリコン樹脂系3種類の引張接着強度については、明確な差異は認められず概ね同等であった。張付け方法による影響としては、有機系接着剤の種類および材齢によらず、たたき押えのみよりも振動工具を併用した場合の方が、若干ではあるが引張接着強度が高い傾向が認められた。材齢の影響としては、有機系接着剤の種類および張付け方法によらず、材齢1ヶ月よりも8ヶ月の引張接着強度が著しく増大した。破断状況に関して、変成シリコン樹脂系では、全て有機系接着剤の凝集破壊で、界面破壊は認められなかったが、これに対しウレタン樹脂系では、ECP下地面との界面破壊が顕著であった。

3.3 熱冷繰返し作用による影響

3.3.1 試験の目的 熱冷繰返し作用がタイル張りの接着性に及ぼす影響について検討した。



モルタル張り工法 有機系接着剤張り工法

Fig. 1 各工法による外壁断面構成
Section of Exterior Wall Tiling with ECP



たたき押えのみ 振動工具の併用

Photo 2 タイルの張付け方法
Methods of Tiling

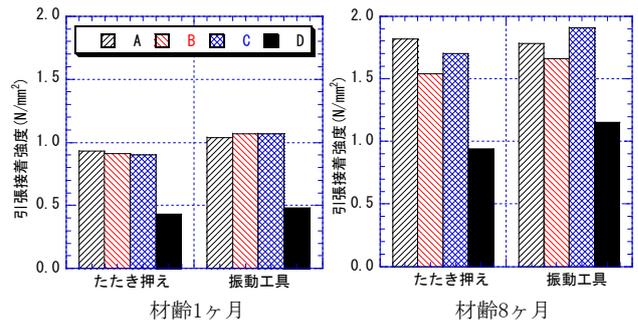


Fig. 2 引張接着強度試験の結果
Results of Pull-off Bond Strength Test

3.3.2 試験体の概要 有機系接着剤としては、3.2.2と同じ変成シリコン樹脂系3種類(A, B, C)を使用した。3.2.2と同様の手順で振動工具を併用し、フラットパネル下地面(約600×900mm)に50三丁ユニットタイルを張付けた。既製調合モルタルで目地詰めし、材齢1ヶ月まで室内で養生したのち、熱冷繰返し試験に供した。

3.3.3 試験項目および方法 Photo 3に示すように専用試験装置を用いて、日本建築工学会規格(M-101セメントモルタル塗り用吸水調整材の品質基準)に準じ、試験体表面に赤外線ランプを50分間照射(試験体表面の最高温度を約70℃で制御)し、その後10分間散水(水温15℃)することを1サイクルとして、最大600サイクルまで熱冷繰返し試験を行った。

熱冷繰返し試験前、300, 600サイクル終了後の各試験体について、日本建築工学会認定の引張試験機を用いて引張接着強度を求めるとともに、その破断状況を記録した。

3.3.4 試験の結果 Fig. 3に各試験体の引張接着強度

を示す。いずれの有機系接着剤においても、熱冷繰返し前より熱冷繰返し後の方が、引張接着強度は明らかに増大した。これは熱冷繰返し作用によって、有機系接着剤の硬化が促進された影響、あるいは伸び率の低下により強度が向上した影響と考えられる。その増大傾向は、300サイクル終了後において、熱冷繰返し前よりも引張接着強度の顕著な増加を示し、その後の600サイクル終了後においては、300サイクル終了後と比較して、引張接着強度の低下は認められず、概ね同等の引張接着強度を維持していた。また同一サイクルにおける引張接着強度について、有機系接着剤の種類による差異は小さかった。

3.4 まとめ

本試験結果をまとめると、以下のとおりである。

- 1) 有機系接着剤の種類による影響としては、変成シリコン樹脂系はウレタン樹脂系よりも、引張接着強度が大きく、また前者が凝集破壊であったのに対し、後者は下地面との界面破壊が顕著であった。
- 2) 張付け方法の影響としては、たたき押えのみよりも振動工具を併用した場合が、若干ではあるが引張接着強度が高い傾向が認められた。
- 3) 変成シリコン樹脂系において、熱冷繰返し作用による引張接着強度の低下や破断状況の変化は認められず、良好な接着性を維持していた。

4. RC造壁下地における地震時の安全性評価

4.1 実験の目的

有機系接着剤を用いた外壁タイル張りの地震時の安全性評価を目的として、小型のRC造壁下地にタイル張りを施した試験体を作製し、地震時の過大な変形を想定した対角線圧縮せん断加力実験(Photo 4)を行い、RC造壁のせん断変形と関連付けたタイル張り層の挙動を検討した。

4.2 試験体概要

4.2.1 RC造壁試験体 RC造壁試験体の形状・配筋状況をFig. 4に示す。RC造壁試験体は547×547×厚さ75mmの平板である。配筋は縦横ともD6@75のシングルとし、鉄筋比は実際の構造体を模して0.465%としている。Table 2にコンクリートの物性値を示す。

4.2.2 タイル張り タイル張りはTable 3に示す仕様により、4体のRC造壁試験体のそれぞれ両面(0-1は仕上げなし)に施した。モルタル下地は厚さ10mmとし、現場調合モルタル(普通セメント：珪砂5号=1：2.83by wt, W/C=60%)を用いた。タイル張りでは、変成シリコン樹脂系接着剤(Table 1に示すA)および現場調合モルタル(普通セメント：珪砂5号=1：0.7by wt, W/C=30%)を用いた。タイルは50二丁モザイクタイルとし、張付け翌日、既製調合モルタルで目地詰めを行った。モルタルの塗布前には、エチレン酢酸ビニル系の吸水調整材(固形分45%,5倍希釈)を塗布した。

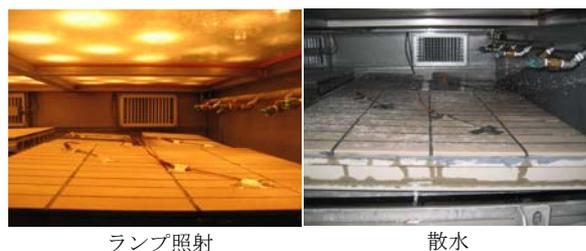


Photo 3 熱冷繰返し試験の状況
Heating-cooling Cycle Curing Test

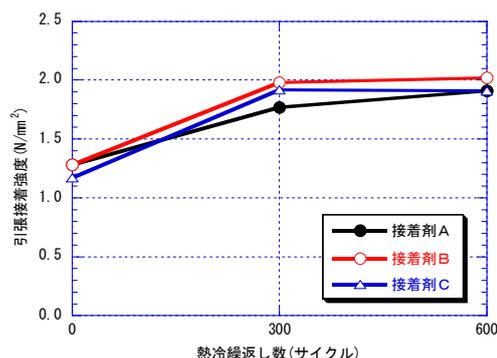


Fig. 3 熱冷繰返し数と引張接着強度の関係
Pull-off Bond Strength vs Heating-cooling Cycles

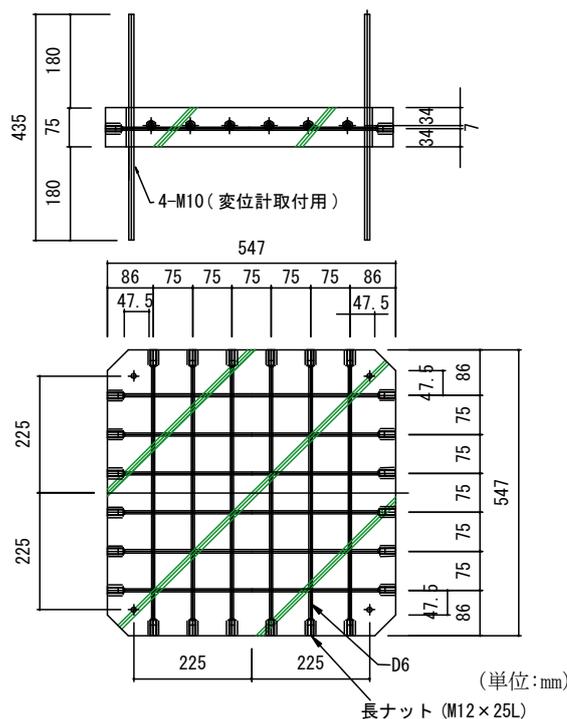


Fig. 4 RC造壁試験体の形状寸法と配筋状況
Shapes and Bar Arrangement of RC Skeletons

Table 2 コンクリートの性質
Properties of Concrete

スランブ (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/l)	ヤング係数 E_c ($\times 10^4 \text{N/mm}^2$)	圧縮強度 σ_c (N/mm^2)	引張強度 σ_t (N/mm^2)
16.0	1.8%	2.4	2.3	27.0	2.1

4.3 熱冷繰返し試験

試験体2-1および試験体3-1については、加力実験に先立ち、3.3.3項と同様に熱冷繰返し試験を行った。ただし、赤外線ランプ照射は105分とし、その後15分間散水することを1サイクルとして300サイクルまで継続した。

4.4 加力装置および加力方法

4コーナーをピンで連結した鋼製加力フレームをRC造壁試験体の4辺に固定し、万能試験機(負荷容量250kN)に取付け、縦対角線方向の1軸圧縮荷重を行った。このとき試験体には、パンタグラフ効果により鉛直方向の圧縮力と同時に水平方向に引張力が作用する。荷重速度は5kN/minとし、試験体が破壊するまで加力した。

4.5 測定項目および測定方法

RC造壁試験体のせん断変形角 γ は、Photo 4, Fig. 5に示すように2つの対角方向に取り付けた高感度変位計により得られた値 d_1 , d_2 を用いて次式により計算した。

$$\gamma = ((d_1 + d_2) / 2) \times (1 / \cos \theta) / h_0$$

本試験体では $D_0 = h_0 = 450\text{mm}$ であるから $\theta = \pi/4$ となる。また対角の変位はRC試験体両面で計測し、同じ対角方向の変位の平均値を d_1 , d_2 とした。

せん断変形角が1/1000, 2/1000, 3/1000, 4/1000, 5/1000および破壊に達した時の試験体表面のひび割れを目視観察により記録し、仕上げ層の剥離はテストハンマーによる打診で判断した。

4.6 実験結果および考察

4.6.1 RC造壁試験体の破壊性状 ひび割れ発生時のせん断変形角は、RC造壁試験体によって若干のばらつきを生じたものの、破壊性状としては、せん断変形角の増加に伴い、表面のひび割れも徐々に増加・分散し、最終的にはコンクリートの圧壊を伴ったせん断破壊により終局に至った。

4.6.2 タイル張りの挙動

(1) タイル張り付け材料の影響 Fig. 6にせん断変形角1/200到達時における試験体0-2(モルタル直張り)および試験体1-1(接着剤直張り)のひび割れ・剥離分布を示す。

両者ともせん断変形角の増大に伴い、仕上げ面にも徐々にひび割れが増加した。しかしながらモルタル直張りではタイル陶片とタイル目地部の両方にひび割れを生じたが、接着剤直張りではタイル目地部を除きタイル陶片のひび割れは全く生じなかった。この傾向はモルタル下地が施された場合も同様であった。

接着剤張りでは、下地のひび割れ挙動が接着剤層で緩和され、タイル自体には伝達されにくく、タイル目地際に表示されるものと考えられる。タイル陶片自体のひび割れは美観上も好ましいものではないため、この点において、接着剤張りはモルタル張りよりも優位と判断される。

(2) 熱冷繰返しの影響 接着剤張りによる試験体2-1およびモルタル張りによる試験体3-1のいずれも、熱冷繰返し作用が、タイル張りのひび割れ・剥離性状に及ぼす影響は認められなかった。したがって本実験の範囲では、熱冷繰返しによる促進劣化を受けた場合においても、下地の変形に対して接着剤張りの追従性が損なわれることはないと考えられる。なおTable 4に、加力実験後の試験体における健全部タイルの引張接着強度を示す。

4.7 地震時の安全性評価

Table 5に日本建築学会「非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領」に示される非構造部材の損傷許容程度³⁾を抜粋した。

大地震動(最大層間変形角1/200)時に、特に重要な建物



Photo 4 対角線圧縮せん断加力実験
Compression Shear Loading

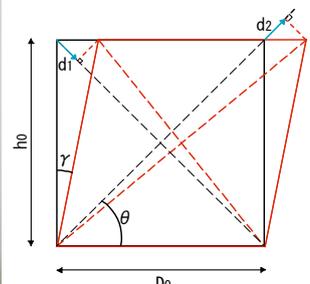


Fig. 5 せん断変形
Shear Deformation

Table 3 タイル張り仕様の種類
Types of Tiling Methods

試験体番号 および タイル張り仕様の名称		0-1	0-2	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2
		仕上げなし	モルタル直張り	接着剤直張り	モルタル下地接着剤張り	モルタル下地接着剤張り	モルタル下地接着剤張り	モルタル下地接着剤張り	モルタル下地接着剤張り
熱冷繰返し試験の有無		無し				有り (2-1, 3-1)			
工程	1	吸水調整材	—	塗布	—	塗布	塗布	塗布	塗布
	2	モルタル下地	—	—	—	現場調査モルタル	現場調査モルタル	現場調査モルタル	現場調査モルタル
	3	吸水調整材	—	—	—	—	—	—	塗布
	4	タイル張り付け材	—	現場調査モルタル	有機系接着剤		有機系接着剤	現場調査モルタル	現場調査モルタル
	5	磁器質タイル	—	50二丁モザイクタイル	50二丁モザイクタイル		50二丁モザイクタイル	50二丁モザイクタイル	50二丁モザイクタイル

におけるタイル張り外壁の破壊が避難に及ぼす影響を生じる場合は、その許容損傷程度をB、影響を生じない場合はCとしている。損傷程度の区分はTable 6のとおりで、これを本実験によるタイル張り外壁の損傷として読み替え、下記のとおり設定した。

- タイル張り層のひび割れ・剥離 : 被害あり
- タイル張り層の剥離 : 補修必要(注入補修)
- タイル陶片自体のひび割れ : 部品の交換必要(張替え)
- 目地モルタルのひび割れ : 補修・部品交換の必要なし

有機系接着剤張りの地震時における安全性を評価する手段として、Table 7では、各試験体のひび割れ率(ひび割れを生じたタイル陶片の数/タイルの総数32枚×100%)および剥離率(浮き音を確認したタイル陶片の数/タイルの総数32枚×100%)を算出するとともに、上記の設定による損傷程度(A~D)を表わした。

すなわち本実験結果の範囲においては、有機系接着剤張りは、損傷区分がBないしはCに相当すると判断し、特に重要な建物におけるタイル張り外壁の許容損傷程度に相当する。限られた実験データに基づく評価ではあるが、有機系接着剤によるタイル張りの地震時における安全性を示す上で1つの有用な手段であると考えられる。

4.8 まとめ

本実験結果をまとめると、以下のとおりである。

1) せん断変形角の増大に伴い、モルタル直張りではタイル陶片とタイル目地部の両方にひび割れを生じたが、有機系接着剤直張りでは1/200到達時にもタイル目地部を除きタイル陶片のひび割れは全く生じなかった。

2) せん断変形角1/200においても、有機系接着剤張りによるタイル張り外壁は損傷程度が軽度と判断され、従来のモルタル張りよりも地震時の安全性が高いと評価された。

5. おわりに

本報では、有機系接着剤を用いた外装タイル張りの品質・性能を評価するために、最もニーズの高い下地種別として、ECPおよびRC造壁を取り上げ、主に接着耐久性および地震時の安全性に関する検討を行い、いずれも良好な品質・性能を有していることを確認した。

当社では、これらの実験結果や各種の技術資料に基づき、現時点で最善と判断される材料や施工法を検討し、施工計画書を策定する上での方針をとりまとめ、社内展開を図っている。今後は、さらに長期の接着耐久性の確認等についても継続し、より高い施工品質の確保を図り、仕様の整備を図る所存である。

参考文献

1) 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修：建築工事監理指針 平成19年版, pp. 90-94, (2007)

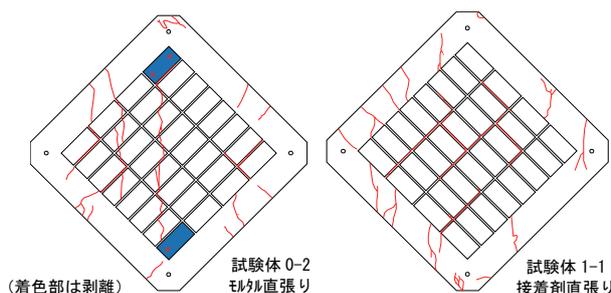


Fig. 6 せん断変形角1/200到達時のひび割れ・剥離分布 Crack and Delamination Pattern of RC Skeletons and Tilings (Story Deformation Angle 1/200)

Table 4 タイル張りの引張接着強度 Bond Strength of Tiling

試験体番号	2-1	2-2	3-1	3-2
引張接着強度* (N/mm ²)	1.03	1.09	1.56	1.69

*せん断変形角1/200到達後の試験体における健全部のタイル

Table 5 非構造部材の許容損傷程度³⁾ Allowable Damage Extent of Nonstructural Elements

地震動の強さ	建物の重要性	非構造部材の破壊が避難に及ぼす影響	バルコニー・ひさし・外部非常階段	天井・扉・煙突	外壁(仕上げ・窓ガラスを含む)・バルコニー・屋根ふき材・エレベーター・ジョイント	間仕切り・フリーアクセスフロア
大地震動	特に重要な建物	あり	B	B	B	B
		なし	C	C	C	C
	その他の建物	あり	C	D	D	D
		なし	C	D	D	E

Table 6 非構造部材の損傷程度の区分³⁾ Division of Damage Extent of Nonstructural Elements

損傷程度の区分	被害の有無	補修の必要	部品交換の必要	脱落、重要な機能の低下(扉の開閉不能など)
A	なし	なし	なし	なし
B	あり	なし	なし	なし
C	あり	あり	なし	なし
D	あり	あり	あり	なし
E	あり	あり	あり	あり

Table 7 実験結果に基づく地震時の安全性評価 Evaluation of Safety during Earthquakes Based on the Experiment Result

試験体番号	タイル張付け材	モルタル下地の有無	熱冷繰返しの有無	せん断変形角(層間変形角):1/200		損傷程度の区分
				タイル剥離率(%)	タイルひび割れ率(%)	
1-1	接着剤	無	無	0.0	0.0	B
1-2		有	無	3.1	0.0	B~C
2-1		有	有	3.1	0.0	B~C
2-2		有	無	0.0	0.0	B
0-2	モルタル	無	無	6.3	34.4	D
3-1		有	有	3.1	40.6	D
3-2		有	無	6.3	40.6	D

* タイル目地のひび割れは除く

2) 建設大臣官房技術調査室監修：建設省官民連帯共同研究 有機系接着剤を利用した外装タイル・石張りシステムの開発, 141p, (1997)

3) 日本建築学会：非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領, pp. 6~7, (2003)