

外装タイル張りのはく落防止性に関する実験的研究

名知 博司 船越 貴恵

(技術研究所)

(技術研究所)

A Study on Anti-falling Off for Tile Facings at External Walls

by Hiroshi Nachi and Kie Funakoshi

Abstract

In this paper, we examined the long-term durability of anti-falling off for tile facings at external walls. Tensile adhesive Test pieces were repeated infrared lamp irradiation.

In t Tensile adhesive Test, the destruction of the tile's layer was evaluated divided into primary destruction and secondary destruction. As a result, adhesives and fiber sheets had prevention of long-term exfoliation characteristics. To evaluation of exfoliation prevention were divided the destruction of the tile layer to the primary destruction and secondary fracture Energy of secondary destruction was applicable to an evaluation index for exfoliation prevention.

概要

本報は、外装タイルのはく落防止性に着目して実験的検討を行った。はく落防止に有効と考えられる 2 種類のタイル張り試験体を作製した。これらのタイル張りの長期耐久性を検討する目的で、赤外線ランプ照射のくり返し試験を行った。所定のくり返し養生後の試験体において、引張接着試験を実施した。その結果、接着剤と繊維シートともに、長期の接着耐久性が確保されていた。また、はく落防止性の評価は、タイル張り層の破壊を 1 次破壊と 2 次破壊に分けて評価した。2 次破壊における破壊エネルギーが、はく落防止の評価指標として適用できる可能性がある。

1.はじめに

タイルは、強度、耐火・耐久性に優れた建築材料である。日本では、外装仕上げにタイル張りを多用してきた。その一方で、外装タイル張りのはく落は、第 3 者障害に繋がるおそれがあり、重大な問題である。これまでタイル張りは、はく離・はく落故障に悩まされ続けており、現在でも解決には至っていない。

日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説 JASS19 (陶磁器質タイル張り工事)²⁾には、はく落安全性について、以下のように記述されている。

「タイル張り工法においては、はく落の危険を防止することが優先的に要求されるために、はく落安全性を優先的に確保する。その上で、美装性、躯体保護性、メンテナンス性を確保する。」

つまり、はく落安全性とは、人命の安全確保を何よりも優先すべきであるという基本的概念と読み解ける。

現在、タイル張りの主流は、下地にタイルを接着によって接合する形態のものである。ここに、外壁に接着されたタイル張りのはく落に至る過程を図-1 に示す。接着で接合したタイル張りは、健全な状態の外壁

(STEP0)が、時間の経過とともに浮き(STEP1)を生じ、その後浮きが進行して落下(STEP2)に至るという過程を経る。一方、金物を用いて機械的に接合した場合、健全な状態(STEP0)から、金物の劣化によって落下(STEP2)に至る。

したがって、はく落安全性を確保するためには、二つの手段を講じれば良いと考えられる。

(1)はく離防止：タイルのはく離を防止する性能を維持すること

(2)はく落防止：タイルが剥がれても、タイルの落下を防止する機構を有すること

はく離防止とは、長期間にわたりタイルが浮かないように、接着耐久性を改善することである。昨今は、タイルとコンクリート下地の面内方向に生じるひずみ差に対する追従性を実験で評価するひずみ追従性試験³⁾が盛んに行われており、はく離防止に対する知見が蓄積されつつある。

一方、はく落防止とは、タイルが剥がれた場合でもタイルが落下しないように、接着とは別の接合形態を確保することである。例えば、石打込み PC カーテンウォールでは、風荷重や地震の慣性力などの設計外力

に対してシェアコネクターだけで持つように許容耐力を決めている。シェアコネクターの設計法は、万が一、一つが壊れても、残りで設計外力に耐えるように設計されており、フェールセーフの考え方に基づいている。

このことをタイル張りに置き換えると、真のはく落安全性を確保するためには、はく離防止だけでは不十分であることを示唆している。タイル張りにおいても、万が一のはく落に備えて、はく落防止を確保するための機構を検討すべきと考える。

以上の背景から、はく落防止の評価指標構築を目指して、はく落防止に有効なタイル張りを取り上げ、接着層の破壊後の応力と変位の挙動に着目して実験的検討を行った。従来から行われている引張接着試験において、タイル張り層の破壊挙動を1次破壊(最大荷重までの挙動)と2次破壊(最大荷重後の挙動)に分けて評価し、接着耐久性とはく落防止性を同時に検討した。

2. はく落安全性の概念

はく落安全性の概念を図-2に示す⁴⁾。はく落安全性を実現するための手段として、はく離防止とはく落防止を適切に講じることが肝要である。

これまでタイル業界は、長期間にわたりタイルが浮かないように、接着耐久性を改善することに注力してきた。タイル後張りであれば、現場での接着の造り込みのやり方、タイル先付けであれば、工場での接着の造り込みのやり方について、経験や実績に基づき、多くの決め事が作られてきた。これらの決め事は、はく離防止の範疇に限られている。図-2によると、はく離防止は、タイルが浮かないように接着耐久性を高めることである。しかし、

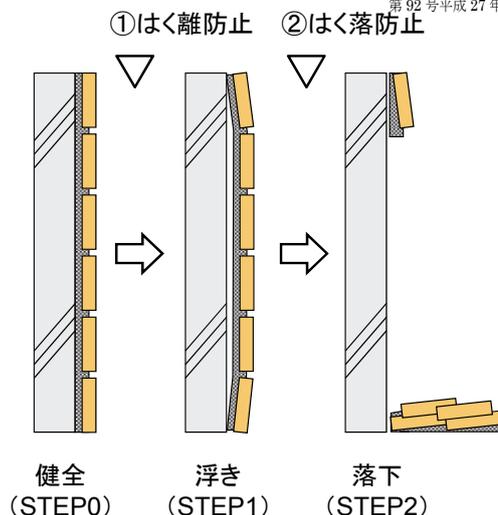


図-1 タイルがはく落に至る過程

その効果の持続は永久ではない。新築段階では問題がなくても、経年後に浮きが発生することが想定される。したがって、はく離防止のみの対策では、必ずしも長期間のはく落安全性は担保されない。

建築工事監理指針(平成25年版)⁵⁾の11章5節「標仕」以外の工法に着目すると、「立体繊維材料張り工法」、「先付け特殊繊維シートによるタイル張りモルタル層のはく落防止工法」、「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」などのタイル張り工法が紹介されている。これらの工法は、接着とは別の機構を有しており、図-2のはく落防止の範疇に入ると考えられる。しかし、はく落防止の考え方や機構は工法ごとにまちまちであり、タイル業界の中で、コンセンサスが得られているとは言い難い。そこで、タイルの脱落を防止するはく落防止性について、統一的な試験や評価方法の確立が必要である。

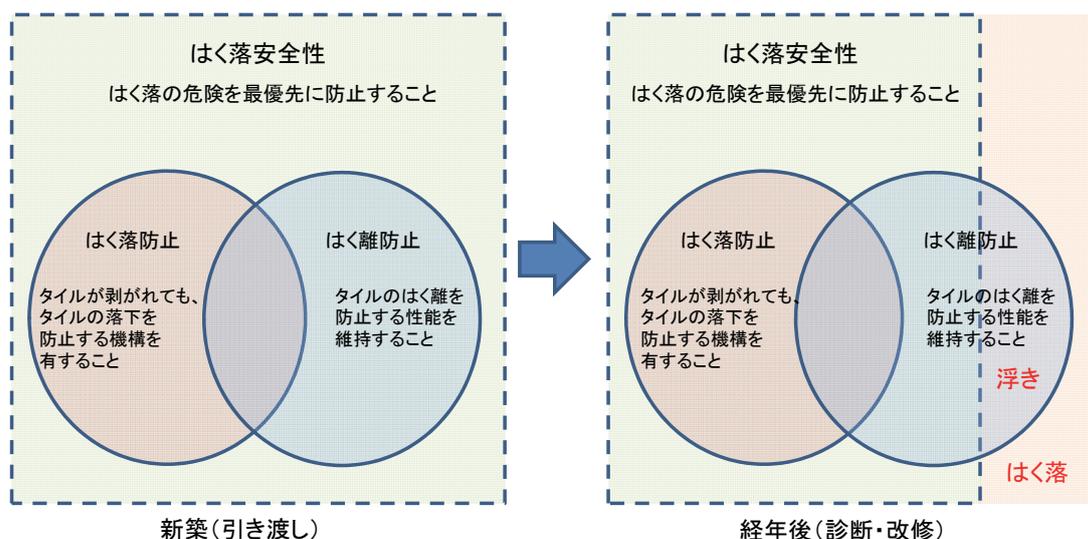


図-2 はく落安全性の概念

3.はく落防止性評価試験の概要

3.1 試験の要因と水準

試験の要因と水準を表-1に示す。タイル張り工法は、はく落防止に有効と考えられる有機系接着剤張り(以下、接着剤)と型枠先付け用繊維シート[®](以下、繊維シート)の2種類とした。有機系接着剤は、5mmくし目と7mmくし目を用いて、2水準の塗布量とした。繊維シートは、ポリマーディスパージョン混入の有無による2水準の張付けモルタルとした。なお、比較用として、2種類の在来モルタル張り試験体を作製した。塗装合板打込み面への直張り^①と超高压水による下地処理面への直張りの2水準とした。試験体は、1水準につき2体作製し、引張接着試験のn数を4とした。

表-1 試験の要因と水準

試験体要因	水準
下地種類	コンクリート下地 188×100×88mm
タイル種類	せつ器質タイル(裏足高さ2.5mm) 75×60×t18mm
タイル張り工法	1) 有機系接着剤張り (以下、接着剤) 1-1) 5mmくし目(塗布量少) E5 1-2) 7mmくし目(塗布量多) E7 2) 型枠先付け繊維シート (以下、繊維シート) 2-1) ポリマー未混入張付けモルタル WN 2-2) ポリマー混入張付けモルタル WP 3) 在来モルタル張り 3-1) 塗装合板打込み面(無処理) MN 3-2) 超高压水による下地処理 MH

3.2 試験体の作製

タイル張り試験体の形状・寸法を図-3に示す。鋼製型枠(100×100×400mm)の底面に、塗装合板を敷込み、コンクリートを打込み、タイル張り面とした。打込み後は、20°C90%RHの湿空に約2週間養生し、タイル張りに供した。タイル張り翌日に、目地モルタルを施工した。接着剤を用いた試験体は、20°C60%RHで約2週間、繊維シートを用いた試験体および在来モルタル張りは、20°C90%RHの湿空に約2週間養生した。その後、約1ヶ月水中養生した。

なお、コンクリートからの吸水を防ぐために、コンクリート素地面は全てアルミニウムテープを貼り付けた。水中から取り出した試験体は、約1週間の乾燥期間を取り、引張接着試験に供した。

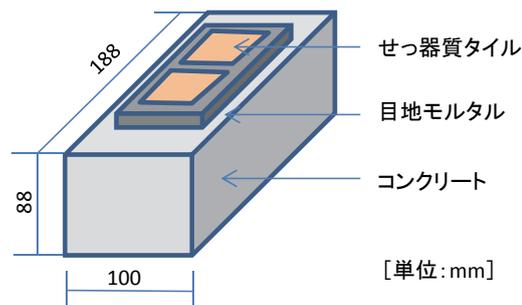


図-3 タイル張り試験体の形状・寸法

3.3 赤外線ランプ照射試験方法

タイル張り後、2週間の初期養生(接着剤:20°C60%RH、繊維シートおよび在来モルタル張り:20°C90%RH)の後、図-4に示す赤外線ランプ照射試験に供した。1サイクルを60分間として、タイル面温度を70°Cと20°Cで交互にくり返した。試験体のコンクリート部分は水中に半浸漬した状態で、水温を20±5°Cに制御した。

赤外線ランプ照射試験の詳細を表-2に、試験体の温度変化の一例を図-5に示す。くり返しサイクル数は、450、900およびXサイクルとした。Xサイクルとは、在来モルタル張りMNを100サイクルごとに打音検査して、タイル面に浮きが確認されたサイクル数とした。本実験では1100サイクルで浮きを検出した。所定のサイクルが経過した時点で、試験体を取り出し、約1週間の乾燥期間を取り、引張接着試験に供した。

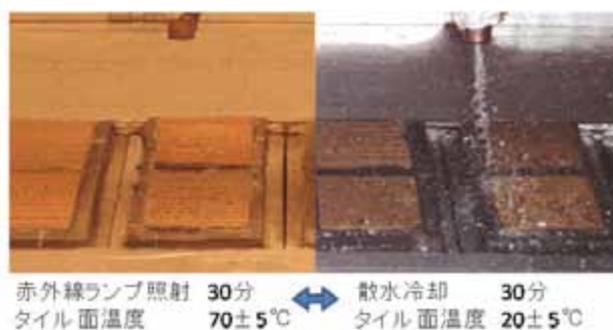


図-4 赤外線ランプ照射試験の概要

表-2 赤外線ランプ照射試験の詳細

試験体	仕様	水中養生 (30日)	赤外線ランプ照射 (cycle)		
			450	900	X
接着剤	E5	○	○	○	○
	E7	○	○	○	○
繊維シート	WN	○	○	○	○
	WP	○	○	○	○
在来 モルタル張り	MN	○	-	-	○
	MH	○	-	-	○

他方、破壊状態は、いずれの張付けモルタルを用いても、赤外線ランプ照射1100サイクル経過後まで、繊維シートの凝集破壊を保持した。この破壊状態は理想的である。以上のことから、繊維シートを用いた試験体は、過酷な促進劣化環境下において、繊維シートが劣化して引張接着強度がやや低下したが、破壊状態は、一貫して繊維シートの凝集破壊を保持しており、実用上

問題ない接着耐久性を有していると判断される。

超高圧水による下地処理を行ってタイル張りした試験体(MH)は、赤外線ランプ照射1100サイクル経過後においても、引張接着強度の低下は見られなかった。破壊状態は、赤外線ランプ照射1100サイクル経過後にもコンクリートの凝集破壊であった。MHは、過酷な促進劣化環境下においても、十分な引張接着強度と良好な破壊状態

表-3 引張接着強度の一覧

種類	サイクル		1次破壊			2次破壊		E1+E2 (N/mm)	半値幅 (mm)
			引張接着強度 (N/mm ²)	破壊変位 (mm)	破壊エネルギーE1 (N/mm)	破壊エネルギーE2 (N/mm)			
E5	0	平均	0.71	0.13	0.05	0.21	0.27	0.26	
		標準偏差	0.133	0.042	0.024	0.058	0.081	0.022	
	450	平均	0.92	0.14	0.08	0.28	0.36	0.25	
		標準偏差	0.219	0.023	0.021	0.058	0.079	0.015	
	900	平均	0.80	0.19	0.09	0.20	0.29	0.27	
		標準偏差	0.133	0.060	0.028	0.026	0.019	0.044	
	1100	平均	0.87	0.14	0.09	0.16	0.25	0.22	
		標準偏差	0.122	0.026	0.018	0.062	0.051	0.051	
E7	0	平均	0.88	0.15	0.08	0.38	0.45	0.28	
		標準偏差	0.069	0.051	0.026	0.082	0.094	0.036	
	450	平均	1.02	0.18	0.10	0.40	0.51	0.28	
		標準偏差	0.117	0.041	0.038	0.060	0.095	0.022	
	900	平均	0.89	0.23	0.11	0.32	0.42	0.27	
		標準偏差	0.091	0.128	0.035	0.068	0.075	0.042	
	1100	平均	1.17	0.20	0.12	0.39	0.51	0.25	
		標準偏差	0.09	0.057	0.016	0.060	0.046	0.020	
WN	0	平均	1.27	0.37	0.23	1.22	1.45	0.61	
		標準偏差	0.219	0.082	0.054	0.720	0.769	0.262	
	450	平均	1.00	0.25	0.14	0.99	1.13	0.86	
		標準偏差	0.223	0.042	0.046	0.363	0.352	0.268	
	900	平均	0.61	0.64	0.25	0.82	1.07	1.53	
		標準偏差	0.173	0.366	0.099	0.136	0.163	0.554	
	1100	平均	0.53	0.66	0.26	0.74	1.00	1.49	
		標準偏差	0.046	0.121	0.04	0.12	0.15	0.143	
WP	0	平均	1.16	0.51	0.29	1.30	1.58	0.72	
		標準偏差	0.213	0.264	0.104	0.418	0.505	0.490	
	450	平均	1.10	0.29	0.18	1.37	1.56	0.88	
		標準偏差	0.039	0.091	0.064	0.072	0.123	0.092	
	900	平均	0.58	0.54	0.23	0.97	1.20	1.60	
		標準偏差	0.096	0.237	0.099	0.171	0.119	0.142	
	1100	平均	0.55	0.67	0.26	0.92	1.18	1.68	
		標準偏差	0.078	0.039	0.096	0.171	0.145	0.401	
MN	0	平均	2.54	0.35	0.35	-	0.35	0.11	
		標準偏差	0.207	0.115	0.11	-	0.11	0.031	
	1100	平均	1.99	0.18	0.24	-	0.24	0.06	
		標準偏差	2.14	0.195	0.274	-	0.274	0.049	
MH	0	平均	2.30	0.46	0.26	-	0.26	0.29	
		標準偏差	0.221	0.388	0.024	-	0.024	0.377	
	1100	平均	3.60	0.32	0.43	-	0.43	0.10	
		標準偏差	0.402	0.061	0.100	-	0.100	0.024	

が保持されていた。一方、無処理のままタイル張りした試験体(MN)は、赤外線ランプ照射1100サイクル経過した時点で、2体のうち1体の試験体が、コンクリート接着界面から剥がれた。接着界面には白華と思われる白い粉が析出しており、水が出入りしていたことを示している。

この界面破壊の状態は、実外壁面に生じる浮きと酷似している。残り1体の試験体の引張接着強度は約4NN/mm²で、破壊状態もコンクリートの凝集破壊であり、極端な差が出た。実外壁面においても、剥がれたタイルの周囲のタイルが強固に接着していることは稀に散見される。

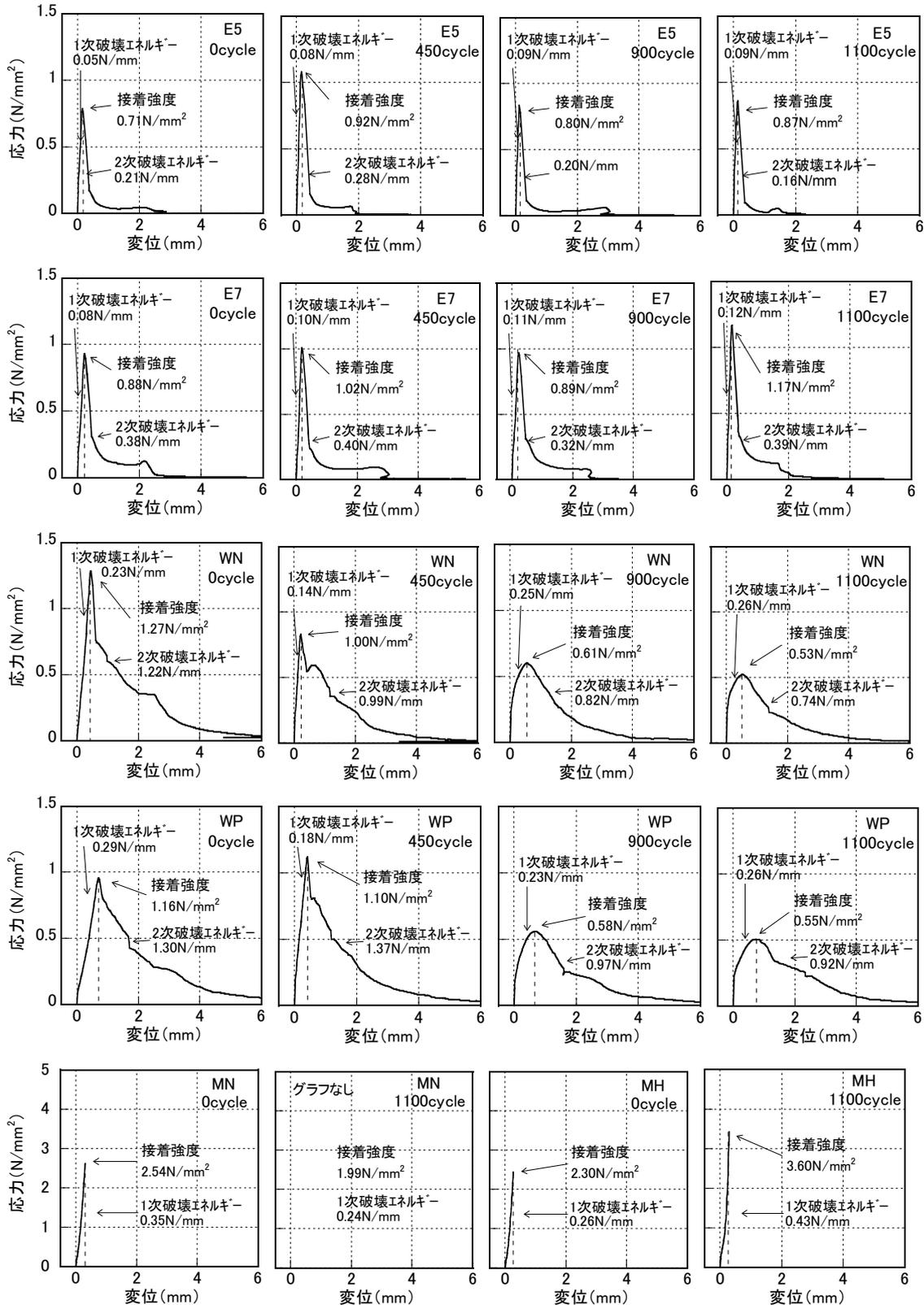


図-8 応力と変位の関係の一例

このように、在来モルタル張りの場合、部分的にタイルが剥がれると、連鎖的に周囲のタイルにも浮きが広がる。適切な下地処理を施さずに、無処理のままタイル張りすることは、長期的な接着耐久性の観点から見て好ましくないといえる。

4.2 破壊エネルギー

破壊エネルギー(E1、E2)および半値幅のサイクル変化を図-10～図-12に示す。

最大荷重までの応力と変位に囲まれた面積を求めた1次の破壊エネルギー(E1)を比較すると、在来モルタル張り≧繊維シート>接着剤の順になった。変形能が高い接

着剤の破壊エネルギーがモルタルよりも小さくなるのは、接着層の厚さが薄いためである。

一方、最大荷重後の応力と変位に囲まれた面積を求めた2次の破壊エネルギー(E2)は、繊維シートと接着剤で検出された。在来モルタル張りは、脆性的に破壊するため、2次の破壊エネルギー(E2)は検出できなかった。2次の破壊エネルギー(E2)を比較すると、繊維シートの方が接着剤よりも3～9倍ほど大きかった。接着剤の場合には、破壊時にその大部分が脆性的に破壊したが、隅角部の接着層が残り、応力を負担した。これがはく落防止として機能したと考える。繊維シートの場合は、破壊後に繊維部分が徐々に破壊しながら、応力を負担す

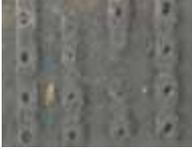
	0	450	900	1100
E5	 CA5 A60 NA35	 C5 CA10 A50 NA35	 C5 CA10 A55 NA30	 CA5 A55 NA40
E7	 A80 NA20	 CA15 A70 NA15	 CA20 A60 NA20	 CA5 A85 NA10
WN	 W95 AT5	 W100	 W100	 W100
WP	 W80 AT20	 W100	 W100	 W100
MN	 A70 AT25 T5	—	—	 C50 CA50
MH	 A70 AT25 T5	—	—	 C60 A40

写真-2 破壊状態の一例

るため、変曲点のある応力-変位曲線を描いた(図-8)。接着層の破壊後に徐々に破壊する繊維シートは、十分な落防止性を有していることが伺える。

最後に、半値幅を比較すると、接着剤の場合はサイクル数に関係なく一定の値を保った。一方、繊維シートの場合は、900サイクル以降、半値幅が約2倍になった。これは、繊維シートが劣化して最大荷重が低下したことが影響しており、必ずしもはく落防止性が向上したとはいえない。

以上を踏まえると、2次の破壊エネルギー(E2)がはく落防止の評価指標として最も適していると考えられる。このE2の定量的な指標化が、今後の課題である。

5.まとめ

本報では、はく落防止に着目して、接着耐久性とはく落防止性を同時に検討した。その評価法として、赤外

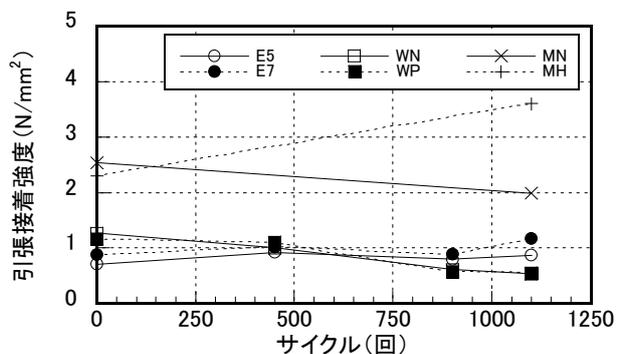


図-9 引張接着強度のサイクル変化

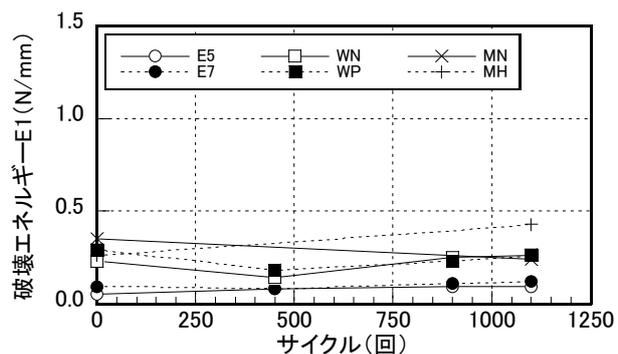


図-10 破壊エネルギー(E1)のサイクル変化

線ランプ照射試験を行った後、引張接着試験を実施し、タイル張り層の破壊を1次破壊と2次破壊に分けて評価した。1次破壊の結果から、接着剤、繊維シートともに、接着耐久性が確保されていた。2次破壊の結果から、引張接着試験中に、荷重と変位を同時に測定して、2次破壊エネルギー(応力と変位で囲まれた面積)を算出することで、はく落防止性の評価指標と成り得ることを確認した。

今後、タイルはく離後の風荷重や地震荷重による外力等の影響を考慮して、2次破壊エネルギーの定量的な指標化を検討していく。

謝辞

本研究の実施に際しては、菊水化学工業(株)堀淳一氏、棚橋泰士氏に、多大な協力・助言を頂いた。ここに謝意を表します。

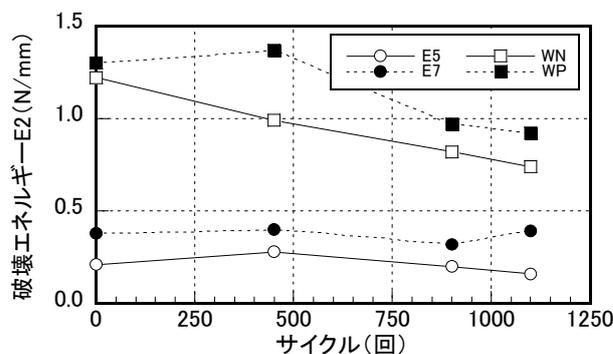


図-11 破壊エネルギー(E2)のサイクル変化

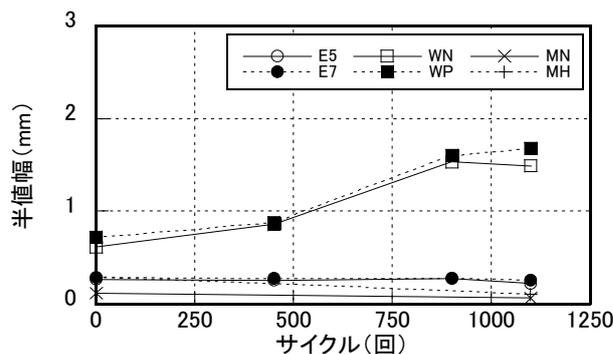


図-12 半値幅のサイクル変化

<参考文献>

- 1) 日経アーキテクチャー：落ちない外壁タイル，No.1028，日経BP社，2014.7，pp.34～51.
- 2) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS19(陶磁器質タイル張り工事)，丸善出版，2012.7
- 3) 名知博司他：タイル直張り仕上げのひずみ追従性に及ぼすタイル要因，日本建築学会構造系論文集 第563号，2003.1，pp.15～22.
- 4) 日本建築学会：シンポジウム陶磁器質タイル張り工事の現状と今後の動向2014，2014.11，pp.4～31.
- 5) (一社)公共建築協会：建築工事監理指針平成25年版(下巻)，2013.10
- 6) 名知博司：外壁タイル落下防止工法の種類と特徴，防水ジャーナル2007年4月号，2007.4
- 7) 本橋健司他：日本建築学会大会学術講演梗概集，2001，pp.1035～1036.