

タイル張り仕上げの剥離防止性能評価に関する研究

Research on Performance Evaluation Method of Finishing Tile Bonding

起橋孝徳* 上西 隆** 河野政典*

要 旨

タイル張り仕上げの直張り工法における剥離の原因究明と、下地処理方法や張付材料の性能確認を目的として、室内実験および実大曝露試験を行った。その結果、日間の温度変化と長期的な温度変化では、温度上昇によってタイルと下地コンクリートに生じるひずみの大きさが逆転していることや、タイル仕上げされたコンクリートの乾燥収縮の進行、構造体で長期的に進行するひずみの大きさがタイルの剥離が生じることを確認した。また、あらたにひずみ伝達残存率を定義し、下地コンクリートのひずみ量とタイルの接着強度を関連付けた。

キーワード：タイル、直張り、ひずみ追従性、クリープ、接着強度

1. まえがき

タイル張り仕上げは、経年に伴って生じる浮きや剥離が問題となることが多く、浮きを生じないタイル張り工法の選択や、既存建物のタイル張りの安全性に関する評価方法が求められている。一般に、タイル張り仕上げの経年による剥離は、タイルと下地コンクリートの間のひずみ差によって生じると言われている。¹⁾このひずみ差の原因としては、日射による熱伸縮や、下地コンクリートの乾燥収縮などが考えられる。

そこで、タイル張り仕上げの直張り工法を対象として、経年による剥離の主原因を明らかにすることを目的に、一連の実験を行った。この中で、日射や外気温によって生じるタイルと下地コンクリートの伸縮の実態を把握した。また、下地コンクリートの乾燥収縮やクリープ等によるひずみと、タイルの接着性能の低下現象の関係を確認した。これらを基に、タイルの剥離を予測する方法を提案した。

2. 外壁タイル仕上げの温度とひずみの履歴

a. 実験目的

タイル仕上げされた外壁で温度やひずみを計測し、外気温や日射によってタイルと下地コンクリートの層間に生じる温度差やひずみの挙動の差異を確認する。

b. 実験方法

つくば市内で、打設から 2 年経過したコンクリート壁（厚さ 200mm）の東面の一部に、0.9m×0.9m の範囲で既調合モルタルと弾性接着剤を用いてタイル張りを行った。温度とひずみの計測は、下地コンクリート面

（以下、「下地面」と称す）に熱電対とひずみ計を、タイル表面（以下、「タイル面」と称す）にひずみ計をそれぞれ貼付し、10 月から 8 月まで継続して行った。また、日射が当たる時間帯に、タイル面の温度を非接触型の赤外線式温度計で測定し、タイル面と下地面の差を確認した。

c. 計測結果

温度計測結果から、日間の温度差が最も大きくなった、冬期の晴天の日における温度履歴を図-1に示す。壁面温度と外気温の差は、日射によって壁面の温度が最も高くなった時点で最大となり、タイル面は 15℃、下地面は 14℃、それぞれ外気温に対して高くなった。一方、タイル面と下地面の最大温度差は、日射による温度上昇の途上で得られたが、タイル面と下地面の温度差は 4℃に止まった。

下地面とタイル面のひずみを図-2に示す。ひずみは、膨張を正とし、日出直前の値を 0 として日間の変動

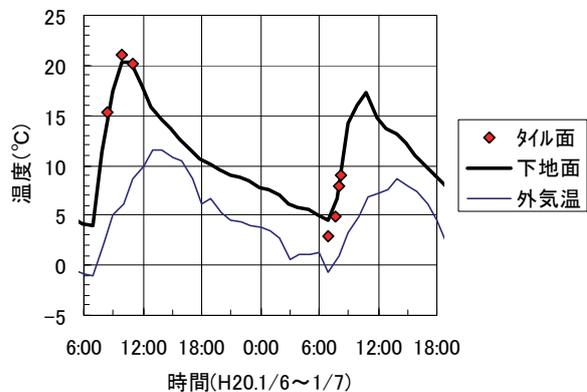


図-1 壁試験体温度履歴

*技術研究所 **建築本部建築部

幅を表記した。張り付け材料にモルタルを使用した場合には、タイル面と下地面のひずみはほぼ同じ値であった。張り付け材料に弾性接着剤を使用した場合は、タイル面のひずみはモルタルを使用した場合の計測結果とほぼ同じであったが、下地面のひずみはその他の計測結果と比較して小さかった。張り付け材料に弾性接着剤を使用した場合の下地面のひずみの最大値は、下地面の温度履歴で最高温度を記録した時期よりも遅れて計測されており、外気温の温度履歴に近かった。このことから、タイルによる拘束のない場合の下地面のコンクリートのひずみは、日射などによる表面的な温度変化よりも、部材断面の平均的な温度変化によって挙動しているものと考えられる。

タイル面と下地面のひずみ差の日間変動を図-3に示す。日射によって温度が最も高くなった際のタイル面と下地面のひずみ差は、モルタルを使用した場合には下地面がタイル面よりも多く膨張したが、弾性接着剤を使用した場合には、タイル面が下地面よりも約70 μ 多く膨張した。ここで、弾性接着剤を使用してタイル張りを行った部位で計測されたひずみ差は、弾性接着剤の層内に生じていると考えられる。一方、モルタルを使用してタイル張りを行った部位では、タイルやコンクリートの物性値と日射による温度変化量は同じであるため、このひずみ差はタイルとコンクリートの間に、タイルには圧縮力、下地コンクリートには引張力が掛かる状態で、せん断応力となって潜在しているものと考えられる。ここで、弾性接着剤を使用した場合と、モルタルを使用した場合の最大ひずみ差は約90 μ であった。

タイル面と下地面のひずみ差の長期変動を図-4に示す。長期的な温度変化によるタイル面と下地面のひずみ差は、日間変動とは異なり、温度の低くなる時期にタイル面の方がより膨張側に現れる結果となった。これは、部材全体の温度が一樣に下がった場合には、線膨張係数の差によってコンクリートの収縮量がより大きくなるためと考えられる。日間変動幅の下限値で包絡線を描くと、弾性接着剤を使用した場合の夏期と冬期の差は約80 μ であったが、この間の弾性接着剤を使用した場合とモルタルを使用した場合の差は日間変動に比べて小さく、約30 μ であった。これは、ひずみの変化がゆっくりと進行することによって、張付モルタルやコンクリート表面でクリープが進むためと考えられる。

3. 日射以外の要因によるタイル剥離

3.1 タイルの下地コンクリートの乾燥収縮

a. 実験目的

タイル仕上げで覆われた躯体コンクリートの乾燥収縮の進行状況を確認する。

b. 実験方法

タイルを施工した試験体の乾燥収縮を計測し、表面に

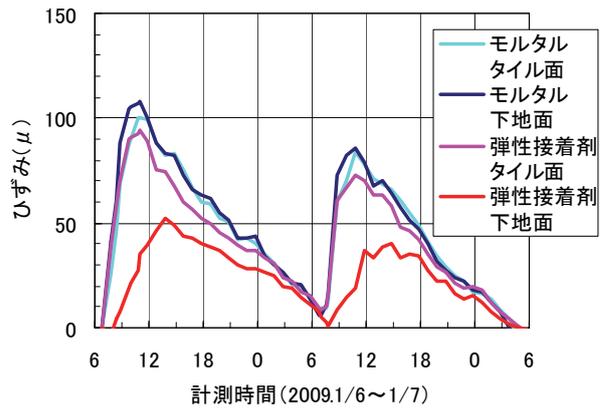


図-2 壁試験体ひずみ履歴

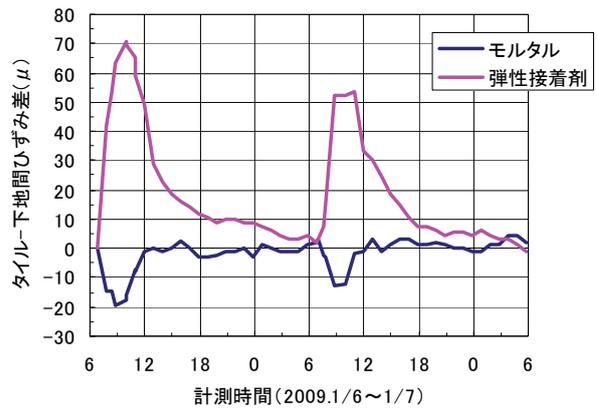


図-3 タイル面-下地面ひずみ差の日間変動

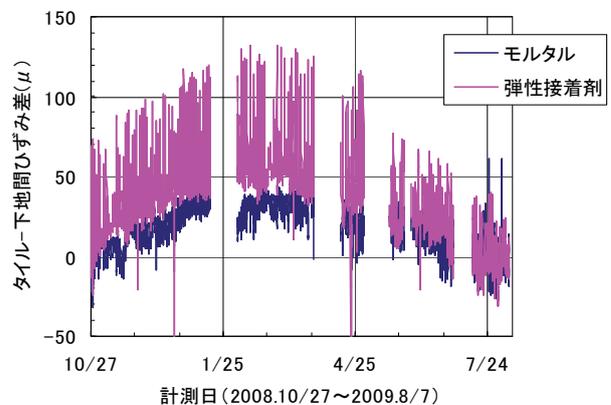


図-4 タイル面-下地面ひずみ差の長期変動

タイル仕上げを施さない場合と比較した。実験要因は、張付材料、タイル種類、およびタイル割付である。実験要因と水準を表-1に示す。試験体の基盤となるコンクリートの調合を表-2に、使用した材料を表-3に示す。下地コンクリートの呼び強度は27 N/mm²とし、目粗し等の処理は行わなかった。試験体数は、各水準ごとに3体とした。試験体は、形状が10×10×40cmで、打設時の側面に当たる長辺2面が乾燥評価面である。試験体製作に当たっては、乾燥評価面以外はコンクリート打設翌日の脱型直後にアルミテープで養生し、同時にアルミテープ養生面に切り欠きを設けて標点を貼付した。乾燥

表-1 実験要因と水準

試験体名称	張付材料	タイル種類	タイル割付
タイルなし			
正方形接着剤張	弾性接着剤 既調合 モルタル	45角	2列×8枚
正方形モルタル張			1列×8枚
横長方形モルタル張		45角二丁	1列×8枚
縦長方形モルタル張			2列×4枚

表-2 コンクリート調合

水セメント比 W/C	単位量 (kg/m ³)				混和剤 添加率
	W	C	S	G	
60%	175	292	845	962	C×1.0%

表-3 コンクリート使用材料

材料種類	諸元
セメント	普通ポルトランドセメント、密度：3.16g/cm ³
細骨材	千葉県富津産山砂、表乾密度：2.60g/cm ³ 、 吸水率：1.27%
粗骨材	桜川産碎石、表乾密度：2.65g/cm ³ 、 吸水率：0.62%、実積率：61.5%
混和剤	A E減水剤

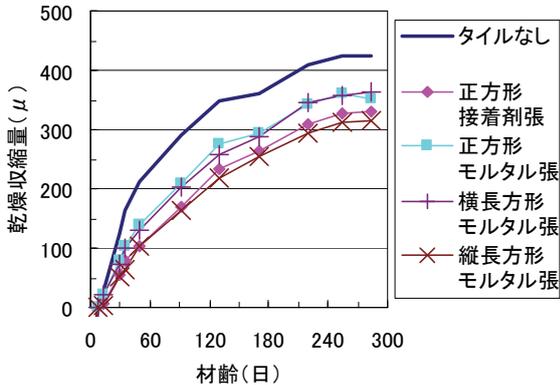


図-5 試験体基盤コンクリート乾燥収縮

収縮は、型枠脱型の1週間後に乾燥評価面2面にタイル張りを行って基長測定し、以後は気温 20℃、湿度 60%の養生室内で9ヶ月間計測した。

c. 実験結果

試験体基盤コンクリートの乾燥収縮を図-5に示す。タイル張り試験体の乾燥収縮は、タイルなしに対して、初期には50%程度であったが、材齢とともにこの差は小さくなり、9ヶ月後には80%程度になった。これは、コンクリート中の水分が張付材料や目地モルタルを經由して逸散するためと考えられる。なお、既調合モルタルを用いたタイル張り試験体では、タイルの拘束応力によっても収縮が抑制されているため、モルタルを用いてタイル張りした躯体コンクリートの乾燥収縮は、長期的にはタイルを施工しない場合と同程度と考えられる。

3.2 長期的荷重とひずみによるタイル剥離試験

a. 実験目的

タイル張り仕上げの剥離が、構造体に掛かる荷重や乾燥収縮による下地コンクリートのひずみのみを要因とし

た場合でも生じることを確認する。

b. 実験方法

タイルの剥離防止性能の耐久性を評価する上で、既往の研究で行われているひずみ追従性試験は、載荷期間が短いために過剰に高い性能を示す恐れがある。そこで、タイル張り試験体をクリープ試験機に組み込み、長期に継続して掛かる一定荷重と乾燥によってひずみが徐々に蓄積される場合の下地コンクリートとタイルのひずみを計測した。(以下、「クリープ剥離試験」と称す)

実験要因と水準を表-4に、試験体の下地処理方法とタイル割付、およびひずみ計測位置を図-6に示す。試験体は、10×10×32cmの形状に表-2のコンクリートを打設し、打設時の側面に当たる長辺2面の片面は下地処理なし、片面は超高压水洗浄を施して、両面にタイル張りを行ったものである。試験体製作は、下地コンクリートの打設2週間後に超高压水洗浄を行い、その2週

表-4 実験要因と水準

試験体名称	下地処理	張付材料	タイル種類	養生方法	載荷軸力
1~3Tn	下地処理なし	既調合 モルタル	45角二丁 (縦方向、 二列)	気中 養生 4面 乾燥	108kN
1~3Tw	超高压水洗浄				
4~6Tn	下地処理なし				
4~6Tw	超高压水洗浄				

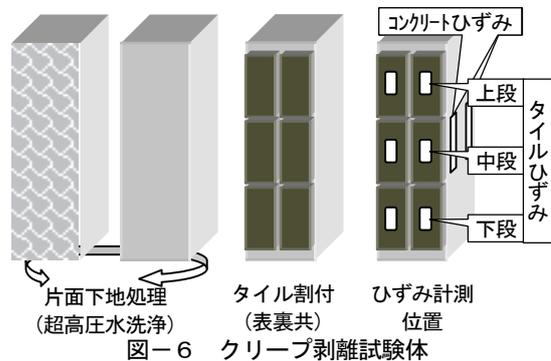


図-6 クリープ剥離試験体



(載荷状況全景) (試験体詳細)
写真-1 載荷状況

間後にタイルを張り付けて、4 週間の封緘養生を行った。

試験体のひずみは、コンクリート面に 4 点、各タイル毎に 1 点、ひずみ計を貼付して、ロードセルを用いた荷重計測と合わせて、鉛直方向のひずみを連続計測した。

クリープ剥離試験は、気温 20℃、湿度 60%の養生室環境下で 3 ヶ月間実施した。試験体に掛かる応力は、載荷開始時のコンクリート強度 (=32.3N/mm²) の 1/3 とし、荷重を 108kN とした。載荷状況を写真-1 に示す。なお、クリープ剥離試験と並行して、同じ条件で製作した試験体の乾燥収縮ひずみも計測した。

c. 実験結果

クリープ剥離試験における下地コンクリートとタイルのひずみの関係を図-7 に示す。図中で、ひずみは収縮を正に表記した。なお、以後は下地コンクリートのひずみに対するタイルのひずみの比を「ひずみ伝達率」とし、試験開始直後のひずみ伝達率を「初期ひずみ伝達率」と称する。また、タイルのひずみが減少に転じた時の下地コンクリートひずみを「破壊ポイント」と称する。

下地コンクリートのひずみは平均で、載荷開始時が 260 μ、クリープ剥離試験終了時が 842 μであった。超高压水洗浄した試験体では破壊ポイントは見られず、下地処理によって剥離に対する抵抗性が向上したことが確認できた。また、乾燥収縮によるひずみは、平均で 270 μ程度とクリープ剥離試験に比べて小さく、破壊ポイントは見られなかった。下地コンクリートのひずみ増大に伴い、下地処理なしの試験体では、上下段のタイルの 12 枚中 8 枚と中段のタイルの 6 枚中 3 枚で破壊ポイントが確認できた。確認された破壊ポイントの平均は、上下段タイルで 519 μ、中段のタイルで 765 μであった。

破壊ポイントを超えた試験体は、張付材料の側面に微細なひび割れを生じており、日射による疲労劣化を受けなくても、下地コンクリートのひずみの蓄積によって、タイルの剥離が生じることが確認できた。

4. ひずみ追従性とタイル接着性能の関係

4.1 ひずみ追従性試験とクリープ剥離試験の比較

a. 実験目的

クリープ剥離試験で得られた結果と、ひずみ追従性試験で得られる結果の関係を確認する。

b. 実験方法

アムスラー型万能試験機を用いて、試験体に短期的な圧縮荷重を掛け、下地コンクリートとタイルのひずみを計測した。使用した試験体は、クリープ剥離試験と並行して行った乾燥収縮計測用の 3 体である。最大荷重は、コンクリートの圧縮強度のほぼ上限に当たる 350kN とし、載荷速度は 0.4N/mm²/秒以下とした。載荷時には、最大荷重に至るまでを 3~4 段階に分け、その都度除荷して繰り返し載荷した。

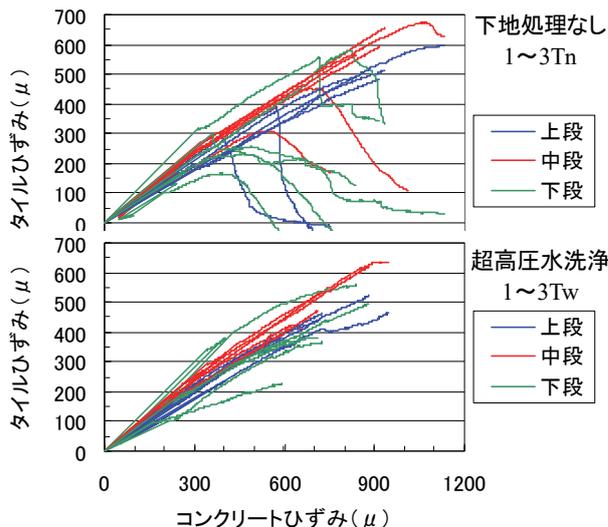


図-7 クリープ剥離試験結果

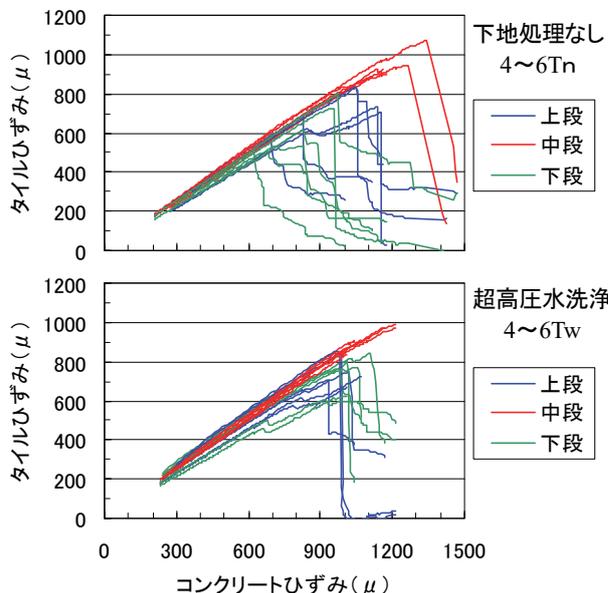


図-8 ひずみ追従性試験結果

c. 実験結果

ひずみ追従性試験結果の包絡線を図-8 に示す。下地コンクリートとタイルのひずみは、繰り返し載荷による除荷後の再載荷でも同じ関係を示す再現性があることが確認できた。本試験では、事前に 3 ヶ月間の乾燥養生を行っているため、試験体にはあらかじめ収縮ひずみが内在している。そこで、図化に当たっては、3.2 で計測した乾燥収縮ひずみを下地コンクリートのひずみ計測値に加算し、乾燥収縮に伴ってタイルに内在するひずみを、ひずみ追従性試験の初期ひずみ伝達率と下地コンクリートの乾燥収縮から算出して加算した。なお、破壊ポイント以降のタイルのひずみの最小値がほぼ 0 μとなったことから、この初期ひずみの補正方法は妥当であり、試験開始前のひずみの評価が重要であると考えられる。本試験で下地コンクリートに与えた最大ひずみは、クリープ剥離試験よりも大きく、平均で 1173 μであった。その

結果、下地処理なしの試験体では、上下段のタイルの12枚中10枚と、中段のタイルの6枚中2枚で破壊ポイントが確認され、超高压水洗浄した試験体でも、上下段のタイルの12枚中7枚で破壊ポイントが確認できた。

クリーブ剥離試験とひずみ追従性試験から得られた破壊ポイントを表-5に示す。クリーブ剥離試験においては、超高压水洗浄した試験体には破壊ポイントが確認できなかったため、試験結果の比較は下地処理なしの試験体で行った。ひずみ追従性試験で得られた破壊ポイントは、クリーブ剥離試験で得られた値よりも大きかった。

クリーブ剥離試験では、下地コンクリートのひずみに対する破壊ポイント以降のタイルのひずみは徐々に小さくなり、接着面の破壊が徐々に進行する様子が伺える。これに対して、ひずみ追従性試験におけるタイルのひずみは破壊ポイントで急減した。このことから、ひずみ追従性試験は荷重時間が短いことにより、タイルの張付層内で破壊が進行する間にも、下地コンクリートに与えられるひずみが増大するため、大きな値を示す結果となったと考えられる。クリーブ剥離試験で得られた破壊ポイントの値は、平均でひずみ追従性試験結果の約6割であった。これらのことから、タイルの接着に関する耐久性の評価には、ひずみ追従性試験よりもクリーブ剥離試験の方が適していることが分かった。なお、ひずみ追従性試験は短期間でできるため、ここで得られたクリーブ剥離試験との関係に基づく補正を結果に対して加えることで、より実状に合った評価ができると考えられる。

4.2 ひずみと接着強度の関係

a. 実験目的

クリーブ剥離試験やひずみ追従性試験では、下地処理方法によって異なる破壊ポイントが得られた。しかし、破壊ポイント以降のタイルについても、剥離したものとそうでないものがあり、必ずしも破壊ポイントがタイルの剥離を示しているものではない。このため、破壊ポイント以降の下地コンクリートに対して、タイルが維持している剥離防止性能を評価することが重要と考えられる。そこで、クリーブ剥離試験やひずみ追従性試験の結果を再検討し、ひずみの蓄積によって生じる劣化度を評価する。また、この評価方法によって得られる値と、タイルの接着性能の関係を確認する。

b. 実験方法

クリーブ剥離試験とひずみ追従性試験を行った後の試験体に対して、建研式接着力試験器によるタイルの引張強度試験を行った。

c. タイルのひずみ追従性能評価方法の提案

破壊ポイントを過ぎた試験体でも、ひずみが減少傾向にある間のタイルは完全な剥離には至っていないため、剥離に対する抵抗性を有している。このため、ひずみ伝達率は、破壊ポイントを過ぎた後でも、下地コンクリートに対するタイルのひずみ追従性の評価指標として使用

表-5 試験方法による破壊ポイントの比較

	クリーブ剥離試験		ひずみ追従性試験	
	上下段	中段	上下段	中段
下地処理なし	519μ	765μ	839μ	1302μ
超高压水洗浄	—	—	994μ	—

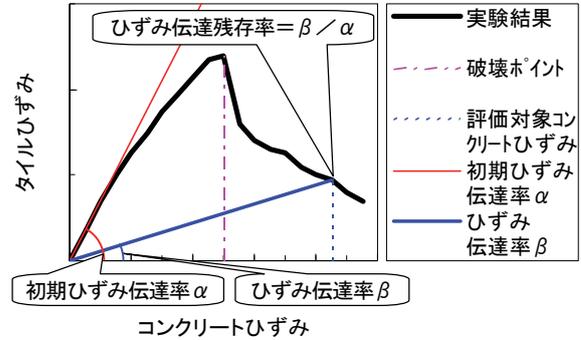


図-9 ひずみ伝達残存率の概念

することが可能と考えられる。そこで、クリーブ剥離試験やひずみ追従性試験の任意の時点におけるひずみ伝達率の、初期ひずみ伝達率に対する割合を「ひずみ伝達残存率」と定義した。ひずみ伝達率とひずみ伝達残存率の概念を図-9に示す。

クリーブ剥離試験結果から算出したひずみ伝達残存率の履歴を図-10に、ひずみ追従性試験の結果から算出したひずみ伝達残存率の履歴を図-11に示す。ひずみ伝達残存率は、破壊ポイントに至らない試験体においても下地コンクリートのひずみの増大に伴って徐々に低下した。この傾向は、クリーブ剥離試験で特に顕著であり、長期的な加力下では張付材料のクリーブによってタイルのひずみ伝達率が低下することを示唆していると考えられる。

d. 実験結果

引張強度試験で得られたタイルの接着強度を、クリーブ剥離試験とひずみ追従性試験におけるひずみ伝達残存率の最終値と対比した結果を図-12に示す。接着強度は、ひずみ伝達残存率が0.75以上の場合には1.3N/mm²以上の広範囲に分布していたが、ひずみ伝達残存率が0.75を下回ると、クリーブ剥離試験とひずみ追従性試験のいずれの場合でも同様に、下地処理の方法に関わらず、ひずみ伝達残存率に比例する強度低下傾向を示した。ここでは、タイルの接着強度の基準値²³⁾である0.4N/mm²を上回るために必要なひずみ伝達残存率は、0.5以上であった。

クリーブ剥離試験とひずみ追従性試験で、ひずみ伝達残存率が0.5となった時の下地コンクリートのひずみを表-6に示す。ここでも、ひずみ追従性試験はクリーブ剥離試験よりも大きな値を示し、クリーブ剥離試験でひずみ伝達残存率が0.5となる下地コンクリートのひずみは、ひずみ追従性試験の6割程度であった。不良率を

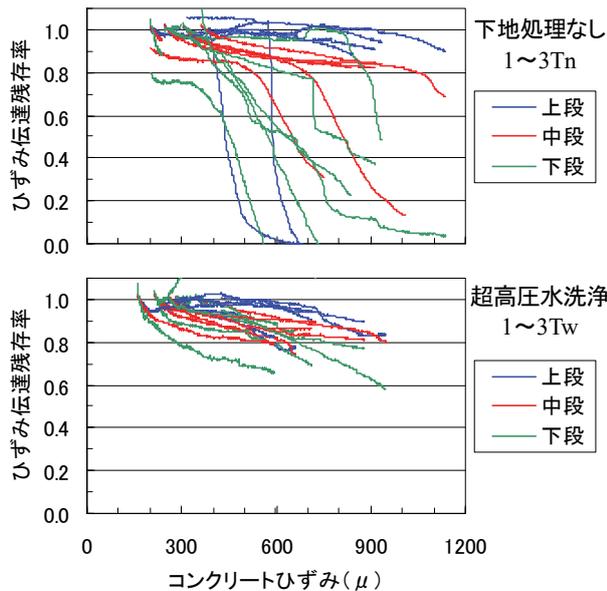


図-10 クリープ剥離試験におけるひずみ伝達残存率

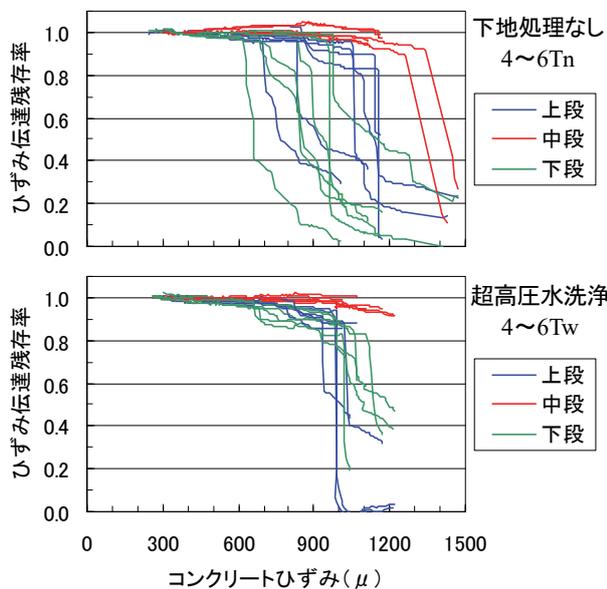


図-11 ひずみ追従性試験におけるひずみ伝達残存率

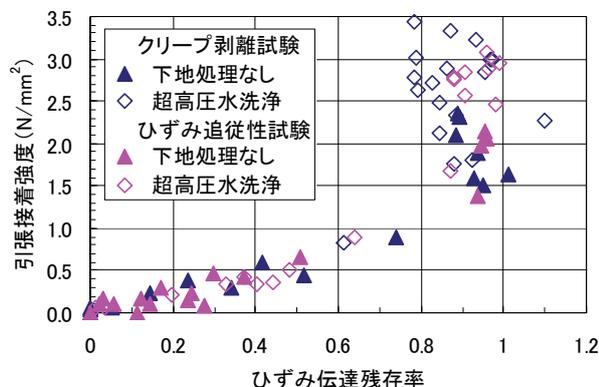


図-12 ひずみ伝達残存率と引張強度試験結果の関係

5%とした場合のひずみの上限値は、表の平均値から標準偏差の 1.65 倍を差し引いて算出でき、下地処理を行

表-6 ひずみ伝達残存率半減時下地ひずみ

	タイル位置	クリープ剥離試験		ひずみ追従性試験	
		上下段	中段	上下段	中段
下地処理なし	平均	630 μ	732 μ	953 μ	1431 μ
	標準偏差	153 μ	80 μ	156 μ	22 μ
超高压水洗浄	平均	—	—	1059 μ	—
	標準偏差	—	—	73 μ	—

わないものでは 378 μ であった。また、超高压水洗浄したものは、クリープ剥離試験でひずみ伝達残存率が 0.5 まで低下しなかったが、ひずみ追従性試験結果の平均値を 0.6 倍して同様に計算すると、515 μ の値が得られた。

5. まとめ

タイル張り仕上げの直張り工法を対象として、経年による剥離の主原因を明らかにすることを目的に、一連の実験を行った。その結果、日射などの日間の温度変化では、温度上昇によってタイルに圧縮力、下地コンクリートに引張力が掛かる状態のひずみ差が生じるが、長期的な温度変化では、温度が低下する場合に同様のひずみ差が生じていることが分かった。また、タイル仕上げされた下地コンクリートでも乾燥収縮が進行すること、構造体に想定される荷重や乾燥収縮によるひずみだけでもタイルの剥離が生じることを確認した。これらのことから、タイルの剥離は、タイル施工以降の下地コンクリートの乾燥収縮やクリープ、日射による表面の加熱や外気温の低下などによって生じるタイルとコンクリートのひずみ差の総和が、タイルの接着工法におけるひずみの追従性能を超えることによって生じると考えられる。なお、タイルの接着性能の低下傾向については、あらたに定義したひずみ伝達残存率によって、下地コンクリートのひずみ量から評価できると考えられる。

6. あとがき

本研究を進めるにあたり、実験に御協力いただいた日本化成㈱の関係各位に感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 例えば、名知博司他、「外装タイル張り仕上げのひずみ追従性設計法の提案」、日本建築学会構造系論文集、第 615 号、pp.31-37、2007.5、など
- 2) 国土交通省大臣官房官庁営繕部、「公共建築工事標準仕様書(平成 22 年版)」、建築工事編
- 3) 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 1996」、1996.10
- 4) 日本建築学会、「鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説」、2006.2