

既存建物のタイル仕上げに生じているひずみの 評価方法に関する研究

A Study on the Estimation of Strain on the Tile Finish of Existing Buildings

起橋孝徳* 河野政典*

要 旨

一般に、既存建物のタイル仕上げの健全性は、剥離範囲の調査や接着力試験によって評価されている。しかし、調査時に健全と評価された範囲でも新たに剥離を生じる場合がある。このため、既施工タイル仕上げ壁のタイルがどの程度剥離を生じやすくなっているかを評価することを目的に、接着状態にあるタイルに生じているひずみの大きさを測定する方法を提案した。また、提案した試験方法について、屋内の検証実験と屋外環境における現場適用性実験を行い、タイルに生じているひずみを計測することが可能であることを確認した。

キーワード：タイル、既施工、収縮、ひずみ、剥離

1. まえがき

一般に、既存建物のタイル仕上げの健全性は、打音診断や赤外線カメラによる剥離範囲の調査や、接着力試験による強度の大きさを評価されている。これらの調査では、調査時点のタイルの剥離や接着不良の把握が可能である。しかし、このような調査から健全と判定された部位でも、その後の短期間で新たに剥離が生じる場合がある。このため、従来の評価方法では、調査時に接着状態にあるタイルの剥離しやすさを判別することは難しい。

近年の研究では、タイル仕上げの剥離はタイルと下地コンクリートのそれぞれに生じるひずみの差（以下、層間ひずみ差と称する）によって生じると考えられている^{1),2)}。この考え方を参考にすると、対象とするタイルの張付工法で剥離を生じない層間ひずみ差の限界と、タイル仕上げに生じる層間ひずみ差を把握することによって、タイルの剥離危険性が予測可能になると考えられる。しかし、従来のひずみ計測方法では、タイル施工に先立ってひずみゲージを設置してタイル施工時から連続計測を行う必要があり、既存建物の評価に適用することは難しかった。そこで、本研究では、下地に接着しているタイルに生じているひずみの大きさを、タイル施工後の任意の材齢で計測する方法を提案する。

2. タイル仕上げのひずみ推定方法の提案

既施工タイルには、温度変化によるタイル自体の伸

縮に加えて、下地コンクリートとの挙動の違いを相互に拘束することによるひずみが生じている。このうち、層間ひずみ差に由来するタイルひずみは、タイルと下地コンクリートの相互拘束を解放することによって0に復元すると考えられる。そこで、表面のひずみを計測しながらタイルを下地コンクリートから剥ぎ取り、この間のタイルのひずみ変化量で層間ひずみ差によるタイルひずみを推定する方法（以下、タイルひずみ解放試験と称する）を提案する。タイルひずみ解放試験の概要を図-1に、手順を表-1に示す。ここで、既施工タイルの表面にひずみゲージを貼付し、タイルの周辺目地材を除去した際やタイルを強制的に剥ぎ取った際のひずみの変化量

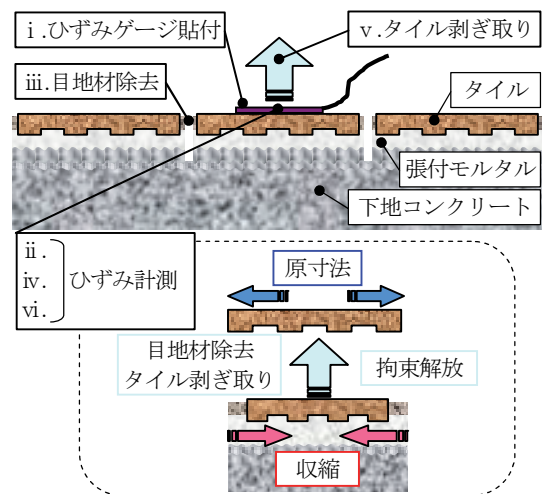


図-1 タイルひずみ解放試験概要

*技術研究所

表-1 タイルひずみ解放試験手順

手順	作業内容
i	タイル表面にひずみゲージを貼付する
ii	ひずみの計測を開始し、基準値を設定する
iii	隣接するタイルとの間の目地材を除去する
iv	基準値からのひずみ変化量を計測する
v	ゲージを張り付けたタイルを強制的に剥離させる
vi	基準値からのひずみ変化量を計測する
vii	各ひずみ変化量の計測値から、タイルに生じていたひずみの大きさを算出する

を計測することによって、調査時に評価対象タイルに生じていたひずみを推定できると仮定した。

3. タイルひずみ解放試験方法の検証

提案したタイルひずみ解放試験の妥当性を確認するため、屋内ひずみ計測実験を行った。また、同試験の現場適用性を検討するため、屋外ひずみ計測実験を行って作業環境による影響を把握するとともに、単体タイル表面におけるひずみの分布状況を調査した。

3.1 ひずみ計測方法の妥当性の確認

環境条件が一定の屋内で、ひずみの大きさが既知の試験体を用いてタイルひずみ解放試験を行い、提案したひずみ計測方法の妥当性を検証した。

a. 実験方法

屋内ひずみ計測実験の手順を図-2に示す。試験方法の妥当性は、タイルひずみ解放試験でタイル剥ぎ取り後に計測したひずみ変化量（以下、タイル剥取時ひずみと称する） ϵ_2 と、準備段階に計測した試験体のひずみ（以下、試験前ひずみと称する） ϵ_0 の比較により検討した。

試験体に使用した材料を表-2に、下地コンクリートの調合を表-3に示す。また、試験体形状および下地処理方法とタイル割付を図-3に示す。試験体は、コンクリート打設時の側面に当たる長辺2面に対して、一面を無処理、その裏面を水圧100MPaの超高压水洗浄処理とした上で、タイル張付用既調合モルタルを使用して両面にタイルを直張りしたものである。

ひずみ計測位置を図-4に示す。試験体のひずみ計測は、全てのタイルについて表面の中央で加力方向にひずみゲージを貼付して行った。

試験は、温度20℃、湿度60%の恒温恒湿屋内で行い、試験前ひずみは、タイル張付けから3.5ヶ月封緘養生した後、クリーブ試験機で軸力比1/3 σ_B の荷重を約1年間継続荷重して生じさせた。

b. 実験結果および考察

タイルひずみ解放試験状況を写真-1に示す。試験の際の破断は、ほぼ張付モルタルのタイル裏足位置で生じた。なお、一部ではモルタルとコンクリートの界面や

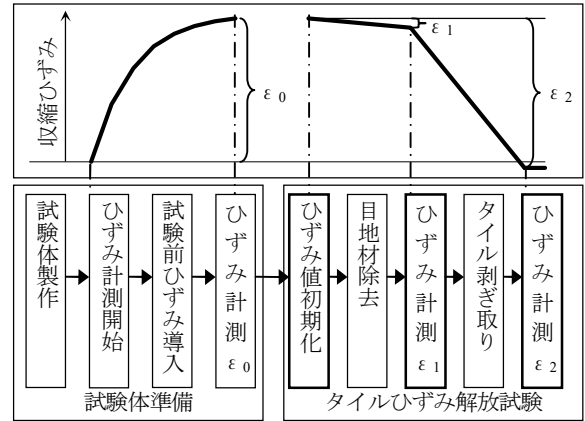


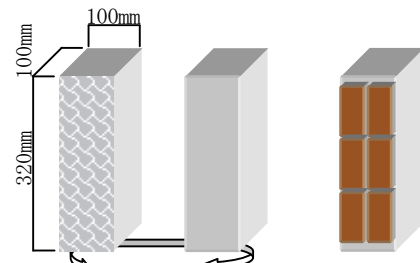
図-2 屋内ひずみ計測実験手順

表-2 使用材料

材料種類	諸元	
コンクリート	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%
タイル仕上	タイル	陶磁器質タイル (JIS A 5209(2008)吸水率による区分I類)、裏足有、45角二丁
	張付材	タイル張付用プレミックスモルタル (モルタルA)
	目地材	タイル化粧目地材

表-3 コンクリート調合（呼び強度：27N/mm²）

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%



下地処理：超高压水洗浄、下地処理なし タイル割付(表裏共)

図-3 試験体形状および下地処理方法とタイル割付

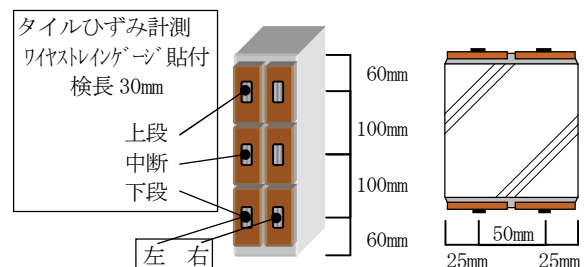


図-4 試験体ひずみ計測位置

コンクリート下地位置にも生じたが、剥ぎ取り後にタイル裏面に残留したモルタルやコンクリート片を除去しても、計測値に大きな変化が見られなかった。このことか

ら、今回の実験における破断位置の違いは、ひずみの計測結果に影響を及ぼしていないものと判断した。

屋内ひずみ計測実験の各段階で得られた値を表-4に示す。表中の空欄は、作業中にタイルが割れて計測不能になった場合である。また、欄を薄墨に塗ったタイルは、準備段階のひずみ計測履歴から剥離が生じていると判断されたものである。このようなタイルは、タイル剥取時ひずみ ϵ_2 が試験前ひずみ ϵ_0 と大きく異なっているため、タイルひずみ解放試験に適さないと判断した。

目地材除去時ひずみ ϵ_1 は、縦目地除去時の変化は小さく、横目地除去時に $40 \sim 220 \mu$ の伸びが計測された。

タイル剥取時ひずみ ϵ_2 に占める目地材除去時ひずみ ϵ_1 の割合の平均値は、中段のタイルで 23%、上下段の端部タイルでは 14%であった。中段タイルのひずみが相対的に大きいのは、上下段のタイルから目地材を介して拘束を受けているためと考えられる。

タイル剥取時ひずみ ϵ_2 と試験前ひずみ ϵ_0 の絶対値の差は、試験前に剥離していたタイルを除くと平均で約 5%、変動係数は 0.08 程度であった。ここで、タイルひずみ解放試験によるひずみは、载荷によって与えられたひずみより平均で 31μ 大きくなった。これは、試験前ひずみの計測開始よりも前に乾燥収縮などによって生じていたひずみが、タイルひずみ解放試験で計測されたためと考えられる。

試験前ひずみ ϵ_0 と、タイルひずみ解放試験によって得られたひずみ計測値 ϵ_2 の関係を図-5に示す。剥離を生じていたタイルを除いた両者の関係は、下地処理方法による差は見られず、相関係数は $r=0.88$ で高い相関関係を示した。

以上のことから、提案したタイルひずみ解放試験方法によって、既存タイルに生じているひずみを推定することが可能であることを確認した。



写真-1 屋内ひずみ計測実験状況

3.2 試験環境と張付材料による影響の確認

a. 実験方法

タイル仕上げ面のひずみは、直射日光の影響によって試験結果が大きく異なることが予測される。そこで、試験環境による影響を把握するため、対象部分が日照環境下にある場合と日陰環境下にある場合について、タイルひずみ解放試験を行った。

試験は、つくば市内のコンクリート構造物（平成 18 年 7 月打設、コンクリート調合：Fc27-18-20）の東面壁

表-4 屋内実験におけるタイルひずみ計測値

		試験前ひずみ ϵ_0			目地材除去時ひずみ ϵ_1			タイル剥取時ひずみ ϵ_2		
		上段	中段	下段	上段	中段	下段	上段	中段	下段
		下地処理無し	No.1	左 -485	中 -608	右 -523	左 53	中 129	右 95	左 491
	1	右 -408	左 -486	中 -424	左 46	中 91	右 72	左 470	中 581	右 444
	No.2	左 -550	中 -698	右 -679	左 62	中 191	右 100	左 581	中 742	右 —
	2	右 -570	左 -688	中 -695	左 85	中 113	右 70	左 531	中 719	右 679
	No.3	左 -577	中 -754	右 144	左 85	中 763	右 196	左 609	中 762	右 120
	3	右 -513	左 -629	中 -564	左 39	中 106	右 80	左 454	中 —	右 558
超高压水洗浄	No.1	左 -513	中 -625	右 -535	左 90	中 157	右 80	左 591	中 669	右 594
	1	右 -580	左 -692	中 -733	左 83	中 133	右 78	左 596	中 709	右 735
	No.2	左 -448	中 -479	右 -454	左 88	中 157	右 91	左 557	中 —	右 577
	2	右 -417	左 -491	中 -363	左 85	中 162	右 97	左 376	中 —	右 —
	No.3	左 -521	中 -480	右 -332	左 99	中 171	右 62	左 567	中 603	右 392
	3	右 -536	左 -604	中 -511	左 116	中 223	右 115	左 512	中 617	右 —

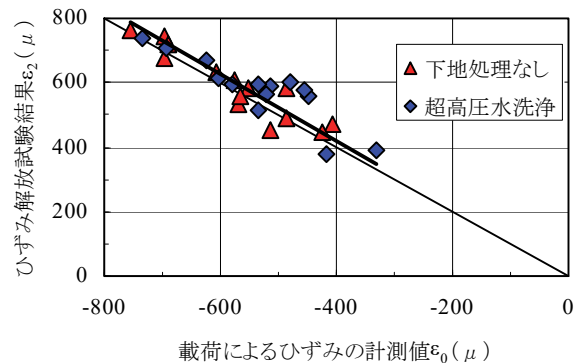


図-5 タイルひずみ解放試験前後のひずみの関係

表-5 使用タイル張付材料

張付材料	概要
モルタル A	既調合モルタル、ヤング係数 21.1kN/mm ²
モルタル B	既調合モルタル、ヤング係数 17.6kN/mm ²
モルタル C	既調合モルタル、ヤング係数 7.5kN/mm ²
弾性接着剤	変成シリコーン樹脂系、一液型

表-6 屋外壁試験体タイル張付方法

下地処理方法	無処理		超高压水洗浄			
	なし(直張り)		2mm	5mm	10mm	
張付材料	モルタル A	①	⑤	—	—	—
	モルタル B	②	⑥	⑨	⑩	⑪
	モルタル C	③	⑦	—	—	—
	弾性接着剤	④	⑧	—	—	—

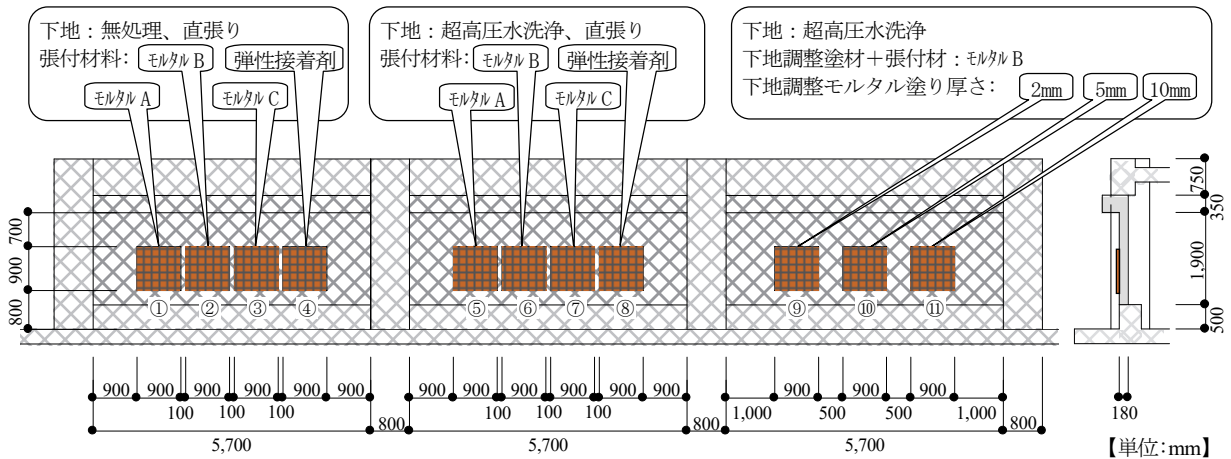


図-6 屋外模擬壁(東面)試験体タイル張り張付状況

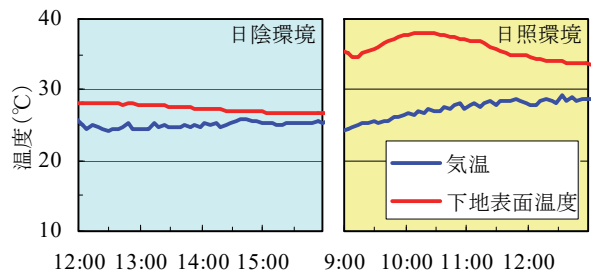
に張り付けたタイル(平成20年7月施工)を対象として行った。タイル張付材料と方法を表-5と表-6に、試験体の全体概要を図-6に示す。下地調整モルタルにはモルタルBを使用し、タイルと目地材は表-2に示す屋内実験同様とした。タイルの張り付け方向は一般的な施工を参考にして横長とした。ひずみの計測方向はタイルの長辺方向とし、タイル施工から2年経過以降の平成22年9月に、タイル表面の中央部に検長10mmのひずみゲージを貼付した。実験水準である日照環境と日陰環境は、試験体のタイル面が東に向いていることから、各試験の実施時間を晴天の日の午前と午後によって設定した。

b. 実験結果および試験方法に関する考察

タイルひずみ解放試験中の気温と下地コンクリート面の温度履歴を図-7に示す。同じ時間帯の温度履歴が異なっているのは試験日が異なるためである。日照環境下では、外気温に比べて下地表面温度が高い。これは、日射によって温められたタイル表面から伝導する熱によるものであるため、タイル表面温度と気温との差はこれよりも大きいと考えられる。一方、日陰環境下では下地表面温度と気温の差は漸減しており、タイル表面温度と気温の差はこれよりも小さいと考えられる。

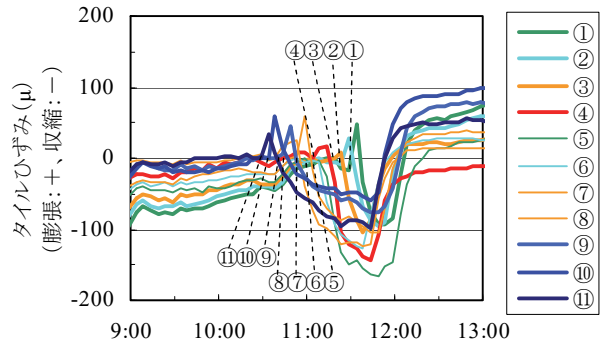
日照環境下にあるタイルの剥ぎ取り作業に伴う表面ひずみの推移を図-8に示す。ひずみは、各タイルの目地材除去作業直前の値を0とし、タイルの剥ぎ取り作業時点を図中に凡例と同じ丸付き数字で示した。いずれのタイルでもひずみは剥ぎ取った直後から大きく変動し、剥ぎ取り前後のひずみ差として安定した値を読み取ることが困難であった。これは、日射によって外気温よりも温められていたタイルが、剥ぎ取り作業によって壁面から離れて薄片となるとともに、日射が遮られることによって急激に温度が低下したためと考えられる。

日陰環境下にあるタイルの剥ぎ取り作業に伴う表面ひずみの推移を図-9に示す。日陰環境下で試験を行った際のひずみは、タイル剥ぎ取り作業後も安定していた。



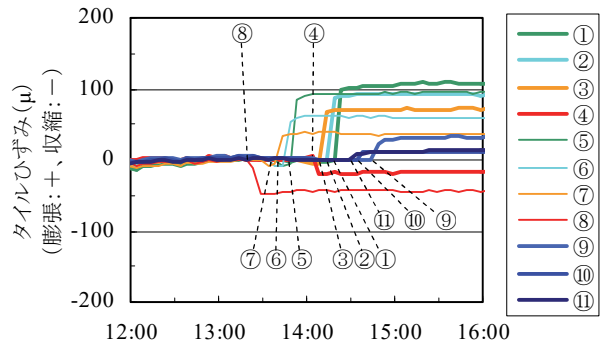
時刻(左:平成22年9月17日、右:平成22年9月18日、h:m)

図-7 タイルひずみ解放試験時の温度変化



時刻(平成22年9月18日、h:m)

図-8 日照環境のタイル剥ぎ取りに伴うひずみ変化



時刻(平成22年9月17日、h:m)

図-9 日陰環境のタイル剥ぎ取りに伴うひずみ変化

これは、タイルと外気温の温度差が小さく、試験中に急激な温度変化が生じなかったためと考えられる。このこ

とから、タイルひずみ解放試験を精度良く実施するためには、試験対象の温度変化が小さい日陰環境下で行う必要があることが分かった。

c. タイル仕上げの張付材料に関する考察

日陰環境下のタイルひずみ解放試験によって得られた結果に基づいて、タイルひずみと張付材料の関係について考察する。

タイルひずみ解放試験時の、タイル表面のひずみ変化量を図-10に示す。目地材の除去に伴ってタイルは僅かながら収縮する傾向にあった。このことから、タイルには目地部分の張付モルタルや目地材の乾燥収縮による引張力も加わっていたと考えられる。また、タイル剥取時ひずみは、大きなものでも100μ程度と屋内実験に比べて小さな値であった。これは、タイルの施工時期が壁コンクリート打設のほぼ2年経過後であり、それ以降に生じたコンクリートの乾燥収縮が小さいためと考えられる。また、タイルの施工とタイルひずみ解放試験を行った時期がいずれも夏期で、この間の温度差が小さいため、タイルとコンクリートの熱膨張率の違いによるひずみ差も小さいことが挙げられる。

張付材料の種類について比較すると、モルタル系の張付材料を使用したタイル(①~③、⑤~⑦、⑨~⑪)は、剥ぎ取りの際には一様に膨張ひずみを示した。これは、下地コンクリートの乾燥収縮などによってタイルに与えられていた圧縮力が、タイルの剥ぎ取りによって解放されたためと考えられる。これに反して、弾性接着剤を使用したタイル(④、⑧)では、剥ぎ取りの際のタイルひずみは収縮する挙動を示した。これは、弾性接着剤で張り付けられたタイルでは、モルタル系張付材料を使用した場合とは逆に、タイルの表面に引張力が与えられていたことを示している。しかし、そのメカニズムは明らかでないため、弾性接着剤を使用したタイル仕上げ面では、タイルひずみ解放試験によるひずみ差の推定は難しいと考えられる。

材料メーカー試験による張付モルタルのヤング係数と、タイル剥取時ひずみの関係を図-11に示す。下地コンクリートから剥ぎ取った際に生じたタイルのひずみ変化量は、張付モルタルのヤング係数が高いほど大きくなる傾向にあった。これは、張付モルタルの剛性が高いほど、ひずみ伝達率が高くなることを示していると考えられる。なお、下地処理無しと超高压水洗浄でタイル剥取時ひずみは若干異なったが、これは模擬壁の形状によってコンクリート下地に生じたひずみの大きさが異なっていたためと考えられる。

下地調整塗りモルタルと張付モルタルを合わせたモルタル層の、コンクリート表面からタイル裏足凸部までの厚さと、タイル剥取時ひずみの関係を図-12に示す。タイル剥取時ひずみは、モルタル層の厚さにほぼ反比例する傾向が見られた。このことから、本試験で計測する

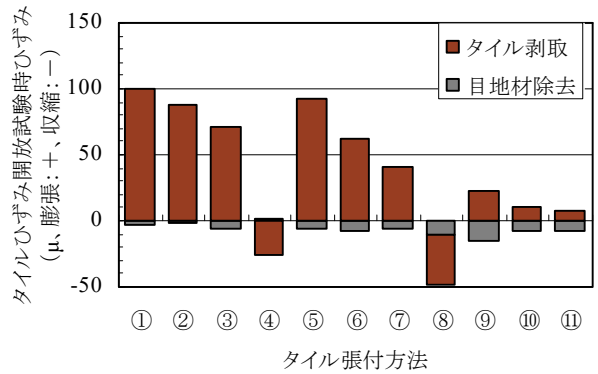


図-10 タイルひずみ解放試験のひずみ変化

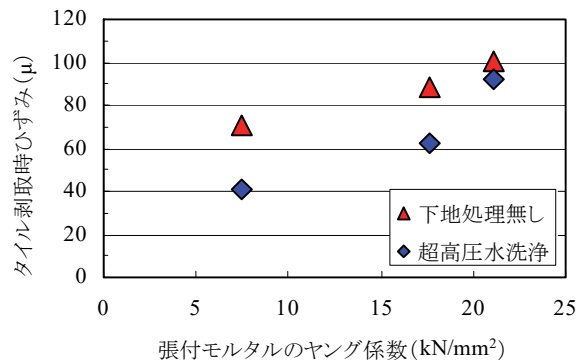


図-11 タイルひずみと張付材ヤング係数との関係

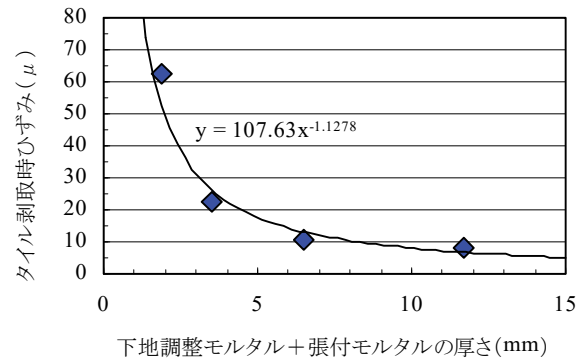


図-12 モルタル層厚さとタイルひずみの関係

タイル剥取時ひずみは、主にタイルと下地コンクリートとの層間ひずみ差によって生じたものであり、モルタル層の熱伸縮や乾燥収縮などの挙動によるタイルひずみへの影響は小さいと考えられる。

3.3 タイル面内のひずみ分布状況の把握

a. 実験方法

前節では、タイル表面中央での長辺方向のひずみを対象としてきたが、実際のタイル仕上げ面では屋内実験と異なり、下地の収縮は二次的に発生する。そこで、タイル面内のひずみの大きさの分布を明らかにするため、一枚のタイルに複数のひずみゲージを貼付してひずみ計測を行った。

試験は、前節と同じ試験体の中で最も多く使用されている張付材料であるとともに、タイル剥取時ひずみが最も大きかった①を対象として行った。タイルの形状と

ひずみゲージの貼付位置を図-13 に示す。鉛直と水平の各方向ひずみは別個のタイルを用いて計測した。タイル内部のひずみは上下と左右では対称形に生じていると仮定し、一枚のタイルの 1/4 の範囲で中央から隅角部までの間にひずみゲージを 6 枚貼付した。ひずみゲージは、検長 5mm、線膨張係数 $11.8 \mu\text{fC}$ のものを平成 23 年 2 月にタイル表面に貼付し、計測結果に温度補正を行った。

b. 実験結果および考察

計測結果を表-7 に示す。水平方向ひずみの横中央／縦端部位置は、タイル剥離の際にゲージが欠損したためタイル剥取時ひずみは計測できなかった。

タイル剥取時ひずみのタイル表面上の分布を図-14 に示す。タイル剥ぎ取りに伴うタイルの膨張は、水平方向の値が鉛直方向よりも大きくなった。これは、タイル端部から遠いほど下地の拘束による圧縮力が蓄積されているためと考えられる。ひずみは、同一軸線上ではいずれの方向においても端部よりも中央の方が大きくなる傾向を示した。一方、鉛直方向のひずみに着目すると、軸線の位置がタイル中央に近いものほどひずみは小さくなった。これは、計測方向のひずみと直交方向のひずみによるポアソン変形が相殺するためと考えられる。この結果から、鉛直・水平方向でタイルひずみの最大値を得るためには、タイルの長辺方向を対象とし、長辺方向の中央、かつ、短辺方向の端部の位置で計測する必要があると考えられる。

以上のことから、タイルに生じるひずみは部位によって異なり、その最大値を得るためには計測位置と方向に留意する必要があることが分かった。

4. まとめ

既存タイルのひずみを測定して、タイルの健全性を評価するために、タイルひずみ解放試験を提案した。提案した試験方法については、屋内実験と屋外実験による検討から、ひずみの評価方法の妥当性が確認できた。また、実験から以下の留意点が得られ、これらによって試験精度を高められることが分かった。

- i. 計測するタイルは、モルタル系張付材料を用いて下地に接着している状態のものを対象とする
- ii. 安定した計測値を得るため、試験は直射日光による影響が無い環境で行う必要がある
- iii. タイルに生じる最大ひずみを把握するためには、タイルの長辺方向について計測し、ひずみの計測位置をタイル長さの中央とする必要がある
- iv. 計測方向に直交する方向のひずみ成分による影響を小さくするためには、ひずみの計測軸線をタイルの周辺部に採ることが望ましい

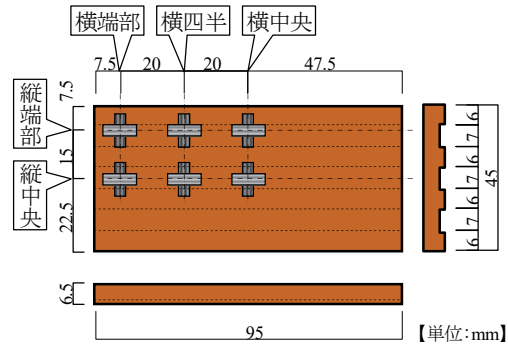


図-13 タイル形状・ひずみゲージ貼付位置

表-7 タイル表面ひずみ分布計測結果

		計測位置	横端部	横四半	横中央
目地材除去時ひずみ ϵ_1	水平方向	縦端部	-16	-14	-7
		縦中央	-2	-3	0
	鉛直方向	縦端部	-27	-19	-25
		縦中央	-33	-22	-22
タイル剥取時ひずみ ϵ_2	水平方向	縦端部	-11	103	—
		縦中央	28	101	101
	鉛直方向	縦端部	61	7	-11
		縦中央	61	45	24

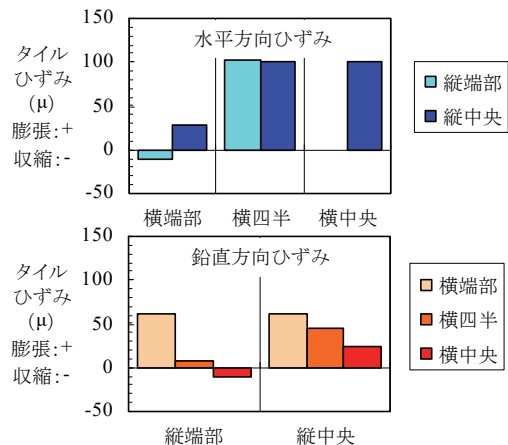


図-14 タイル剥取時ひずみの表面分布

5. あとがき

本研究により、提案した方法によって既施工タイルに生じているひずみを計測することができるようになった。さらに、当該試験方法で得られた値を、別途試験で把握したタイルに剥離を生じるひずみの大きさと比較することによって、タイルの剥離予測に役立つ資料が得られると考えられる。

【参考文献】

- 1) 例えば、名知博司、小野 正、「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、pp31-37、2007.5
- 2) 起橋孝徳、樹田佳寛、河野政典、「タイル張り仕上げの剥離防止性能評価に関する研究」、日本建築学会構造系論文集、第 668 号、pp1781-1786、2011.10