

屋外暴露試験における外装タイルの挙動に関する研究

その1 日間の温度変化がタイル挙動に与える影響についての考察

添田 智美 富田 泰宇
佐々木 仁

概 要

外装タイル張り仕上げは、経年による剥離や剥落が問題となることが多い。タイルの剥離に対する安全性を評価するためには、タイルを剥離させようとする外的負荷による剥離メカニズムを適切に把握する必要があるが、日射や外気温の変化による温度ひずみについては未解明な点が多い。そこで、実際に外壁に張付けられたタイルの温度変化による挙動を把握することを目的として、実大屋外暴露試験を約1年間実施し、温度およびひずみの計測を行い、日間の温度変化がタイル挙動に与える影響について検討した。検討の結果、タイルはモルタル層を介して躯体コンクリートから拘束され応力を受けているが、タイル拘束ひずみを算定することで、タイルが挙動する際に受けている応力状態を把握できること、タイル拘束ひずみの日間変動幅が大きくなる要因として、直達日射が大きく影響し、特に太陽高度の低い冬期の直達日射の影響が大きいこと、タイル拘束ひずみが、コンクリート温度ひずみとタイル温度ひずみの差、すなわち温度ひずみ差が主要因で生じること、などを実測値から明らかにした。

Study on the behavior of exterior tiles under outdoor exposure Part.1 Consideration on the effects of thermal fluctuation on the behavior of tiles

Abstract

With exterior tiles, flaking can become a problem as the tile ages. To evaluate the safety implications caused by the flaking off of tiles, it is necessary to better understand the mechanism that causes the flaking. The effects of forces such as temperature or solar radiation are largely unknown. Therefore, we conducted approximately one year of outdoor exposure tests to understand the behavior of the actual tiles due to temperature changes. As a result, we know that behavior of the tiles is influenced by strain between the tile and the concrete wall. And we know that this strain is caused by difference in concrete and tile temperatures.

キーワード: 外装タイル 屋外暴露 温度ひずみ
温度変化 直達日射 拘束ひずみ

§1. はじめに

外装タイル張り仕上げは、経年による剥離や剥落が問題となることが多い。特に剥落事故が生じると第三者に危害を及ぼす危険性が高いため、剥離および剥落に対する安全性を適切に評価したうえで設計および施工を行い、維持管理していくことが重要である。

タイルの剥離に対する安全性を評価するためには、タイルを剥離させようとする外的負荷による剥離メカニズムを適切に把握し、それに対して十分な剥離防止性能をタイル張り層が有していることを確認する必要がある。外的負荷としては、コンクリート躯体、モルタル層およびタイル層のひずみ挙動の違い、すなわちディファレンシャルムーブメントが生じるためとの認識が広がっており、このムーブメントを発生させる主な要因として、日射や外気温の変化による温度ひずみや、コンクリート躯体の荷重、乾燥収縮、クリープなどによる収縮ひずみ、モルタルの収縮ひずみ、乾湿によるひずみなどがあげられ、これらの要因が複合して影響していると考えられる。

これらの要因の中において、温度変化によるタイル張り層の挙動については、過去に屋外暴露試験や赤外線ランプ等を照射する熱冷繰返し試験が実施されて温度およびひずみの測定が行なわれているが^(例えば 1)~6)、その中で、松藤ら¹⁾は、人工的にハロゲンランプを照射して直達日射を再現する試験を実施しており、タイル張付け各層のひずみ測定結果からタイルに引張側の残留ひずみを生じさせる等の知見を得ているが、実際の外壁タイルのひずみ挙動の実測はされていない。熊谷ら²⁾は、実大の PC パネルに施工されたタイル張り各層の温度を計測した結果から、解析により方位や仕様による要因別の温度応力を算定して有効な知見を得ているが、ひずみの実測値は示されていない。

また、小笠原ら³⁾は、実大の屋外暴露試験体により温度およびひずみを測定しており、その測定結果の中で、春分の頃の壁面の温度上昇過程においてタイルとモルタルとの線膨張係数の違いから、タイルには引張応力が作用することを示しているが、季節による違いや直達日射による影響については示されていない。一方、起橋ら⁴⁾は、実大の屋外暴露試験および熱冷繰返し試験を実施し、タイルとコンクリートとのひずみ差によってタイル挙動を把握しているが、温度上昇によってタイルには圧縮応力が生じるとされており、小笠原らの知見との相違があり、タイルが受ける応力状態については未解明な点が多いことがうかがえる。

そこで筆者らは、実際に外壁に張付けられたタイルの温度変化による挙動を把握することを目的として、実大屋外暴露試験を約 1 年間実施し、温度およびひずみの計測を実施した。本報では、日間の温度変化がタイル挙動に与える

影響について考察した結果について報告する。

§2. 試験体および使用材料

試験体要因および水準を表 1 に示す。試験体は、タイルの種類を 50 二丁モザイクタイル(X)、二丁掛けタイル(平タイプ)(Y)、二丁掛けタイル(山型タイプ)(Z)の 3 水準とし、下地モルタルを無し(直張り)と 10mm 厚の 2 水準とした。使用した材料とその物性値を表 2 に示す。タイルの色は比較的濃い茶色で、裏足方向はいずれも長辺方向である。

図 1 に下地とした鉄筋コンクリート造壁試験体の概要を示す。また、図 2 にタイルの割付を示す。壁体は、柱や梁などによる拘束がない板状のものを 3 体(A、B、C)作製し、これらをサポート材により自立させたものとした。タイルを張付ける面以外からの熱の移動を抑制し、一般的な外壁の内断熱仕様を再現することを目的として、試験体の側面、上下面および裏面に 25 mm の断熱材を張付けた。タイル間のモルタル目地は、50 二丁モザイクタイルは拭き取り目地とし、1mm 程度の目地深さとした。また、二丁掛けタイルはいずれも押え目地とし、2~3mm 程度の目地深さとした。

表 1 試験体要因および水準

記号	タイル	下地モルタル	張付けモルタル(塗代)	共通事項
DX	50二丁モザイク (X)	無し (D)	ポリマー有り(2mm)	・型枠: 塗装合板 ・表面処理: 超高压水洗浄 (150N/mm ²) ・吸水調整材使用
MX	モザイク	有り(10mm) (M)	ポリマー無し(2mm)	
DY	二丁掛け (平) (Y)	無し (D)	ポリマー有り(3mm)	
MY		有り(10mm) (M)	ポリマー無し(3mm)	
DZ	二丁掛け (山型) (Z)	無し (D)	ポリマー有り(3mm)	
MZ		有り(10mm) (M)	ポリマー無し(3mm)	

表 2 使用材料

躯体コンクリート	W/C: 44.2%, 呼び強度: 39 圧縮強度(4週): 47.4N/mm ² , ヤング率(4週): 2.869 × 10 ⁴ N/mm ²	
タイル	50二丁モザイク	磁器質施釉タイル 厚さ7mm 95×45(mm) 茶色系
	二丁掛け 平	せつ器質施釉タイル 厚さ13mm 227×60(mm) 茶色系
	二丁掛け 山型	せつ器質施釉タイル 厚さ19mm 227×60(mm) 茶色系
下地モルタル	既製調合モルタルJIS A 6919(CM-2) 軽量骨材混入タイプ 圧縮強度: 22.2N/mm ² , ヤング率: 0.972 × 10 ⁴ N/mm ²	
張付けモルタル	DX用	圧縮強度: 56.8N/mm ² , ヤング率: 1.871 × 10 ⁴ N/mm ²
	MX用	圧縮強度: 57.0N/mm ² , ヤング率: 1.936 × 10 ⁴ N/mm ²
	DY, DZ用	圧縮強度: 54.3N/mm ² , ヤング率: 1.875 × 10 ⁴ N/mm ²
	MY, MZ用	圧縮強度: 46.5N/mm ² , ヤング率: 1.843 × 10 ⁴ N/mm ²
吸水調整材	エチレン酢酸ビニル系(固形分45%)5倍希釈を1回塗布	

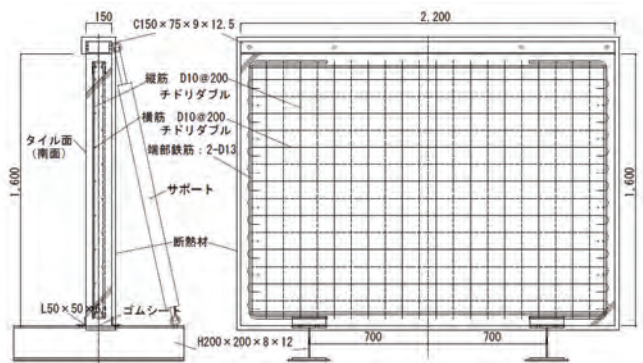


図 1 鉄筋コンクリート壁体の概要

表1におけるDY, DZを壁Aに、MY, MZを壁Bに、DX, MXを壁Cにそれぞれ施工した。50 二丁モザイクタイルはモザイクタイル張り工法で張付け、二丁掛けタイルは密着張り工法で張付けた。試験体作製スケジュールは表3のとおりである。

試験体設置状況を写真1に示す。試験体は神奈川県厚木市内の屋外で南向きに暴露した。暴露場所は、敷地南側の丘陵地の樹木の影響により、冬季の太陽高度が低い場合には、直達日射が終日遮られる場所であった。

§3. 測定方法

図2中に、温度およびひずみの測定位置を示す。

温度の測定位置は、タイル表面、タイル側コンクリート界面、コンクリート裏面とし、熱電対により計測した。タイル表面およびコンクリート裏面の熱電対は、熱伝導率の高いアルミテープで覆うように張付け、温度応答に敏感に対応するようにし、タイル表面のアルミテープについては、直達日射の影響がタイル表面に近づくように、タイルとほぼ同色の塗料を塗布した。また、タイル側コンクリート界面の熱電対は、熱電対の径の分だけコンクリート表面を削り込み、下地モルタル施工時およびタイル張付け時にモルタルで埋め込んだ。また、壁体の背後に設置した百葉箱内で、外気温を熱電対により計測した。

タイルのひずみは、タイル表面にひずみゲージを水平方向に張付けて測定した。また、鉄筋コンクリート壁体自体のひずみ挙動を測定するために、タイルが張られていない部分のコンクリート表面およびコンクリート裏面にもひずみゲージを張付けた。なお、タイルが張付けられた下のコンクリート界面のひずみをひずみゲージを張付けて測定することも検討したが、ひずみゲージが界面にあることにより局所的に剥離した状態となり、コンクリートおよびタイル相互の拘束状態が実際と変わってしまうと考え、実施しなかった。

ひずみおよび温度の計測は、2009年の9月に開始し、計測は1時間ごとの毎時0分を実施した。

§4. 測定結果および考察

4.1 年間の温度および実ひずみの測定結果

図3に、年間のタイル表面温度およびタイル表面実ひずみを計測した結果の例(MYの場合)を示す。

タイル表面温度は、夏期において最高50℃以上に達し、冬期では0℃を下回ることもあり、年間の最大温度差は55℃程度であった。

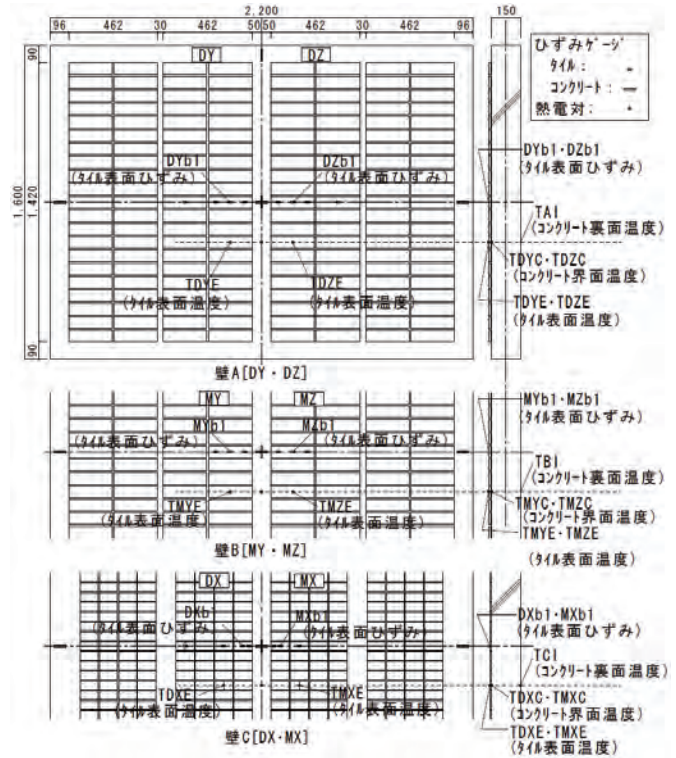


図2 タイル割付と温度およびひずみの測定位置

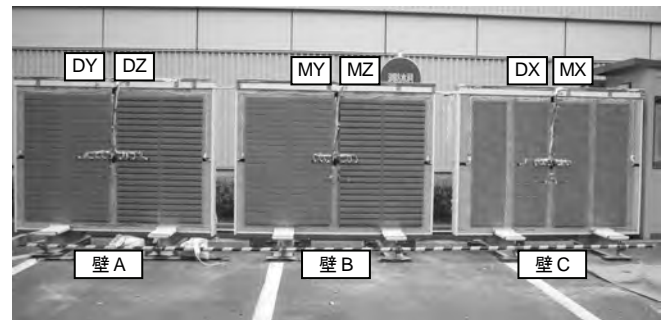


写真1 試験体設置状況

表3 試験体作製スケジュール

年月日	材齢	工程
2009/6/15	0	コンクリート打設
2009/7/14	4週	超高压水洗浄による目荒らし
2009/7/21	5週	下地モルタル1層目
2009/7/28	6週	下地モルタル2層目
2009/8/4	7週	タイル張付け
2009/8/5	7週	タイル目地施工
2009/9/5	11週	計測開始

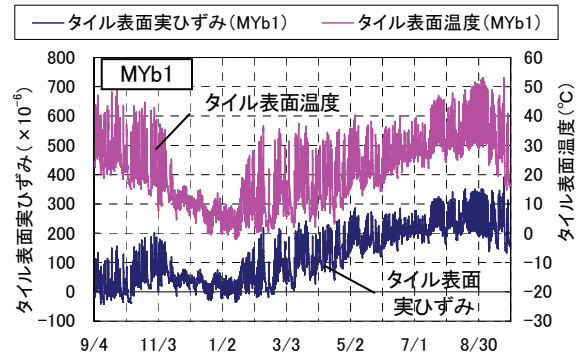


図3 年間タイル表面温度と実ひずみ測定結果の例

日間の温度変化および直達日射の影響でタイル表面温度が変動しているが、タイル表面温度変動幅は、真夏が最大 20°C 程度であるのに対し、2 月の立春頃は最大 30°C 程度と大きかった。実ひずみの変動幅も、真夏は最大で 150×10^{-6} 程度であるのに対し、2 月の立春頃は、最大で 200×10^{-6} と大きかった。これは、太陽高度が低い時期には、タイル張り面に対して垂直に近い角度で直達日射が照射するため、その影響が出ていると考えられる。

11 月中旬から 1 月中旬の間は、タイル表面温度およびタイル表面実ひずみとも変動幅が小さいが、これは直達日射が終日遮られる環境であるためだといえる。

以上のとおり、温度および実ひずみの測定結果から、タイル表面温度および実ひずみの変動幅が大きくなる要因として、直達日射が大きく影響していることがわかった。

なお、1 年経過後のタイル表面実ひずみが 200×10^{-6} 程度増加しているが、松藤らが行なった人工的に直達日射を与える熱冷繰り返し試験¹⁾にもあるように、タイル張付け層に残留ひずみが生じているためだと思われる。

4.2 拘束ひずみの日間変動についての考察

4.1 ではタイルの実ひずみの測定例を示したが、タイルはモルタル層を介して躯体コンクリートから拘束され応力を受けている。そこで、拘束の影響でタイルに生じる応力に換算できるひずみ(以下、タイル拘束ひずみと呼ぶ)を算定することで、タイルが挙動する際に受けている応力状態を把握することとした。

図 4 に拘束ひずみの概念図を示す。ある基準時からの温度変化に対し、タイルとコンクリートは、それぞれの温度および線膨張係数の違いから異なる変形をしようとするが、モルタル層を介して相互に拘束して釣り合い、タイル拘束ひずみは、式(1)のとおり、タイルの実ひずみとタイル温度ひずみとの差として算定できる。

$$\epsilon_R = \epsilon_A - \epsilon_{Tt} \quad (1)$$

$$\epsilon_{Tt} = \alpha_t \cdot \Delta T_t \quad (2)$$

- ここで、 ϵ_R : タイル拘束ひずみ ($\times 10^{-6}$)
- ϵ_A : タイル表面の実ひずみ ($\times 10^{-6}$)
- ϵ_{Tt} : 無拘束状態でのタイル温度ひずみ ($\times 10^{-6}$)
- α_t : タイルの線膨張係数 (X:6.6, Y・Z:5.6) ($\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)
- ΔT_t : タイルの温度変化 ($^\circ\text{C}$)

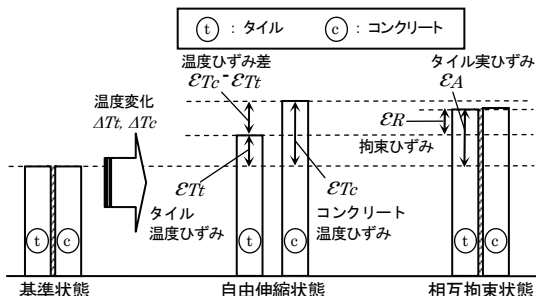


図 4 拘束ひずみの概念図

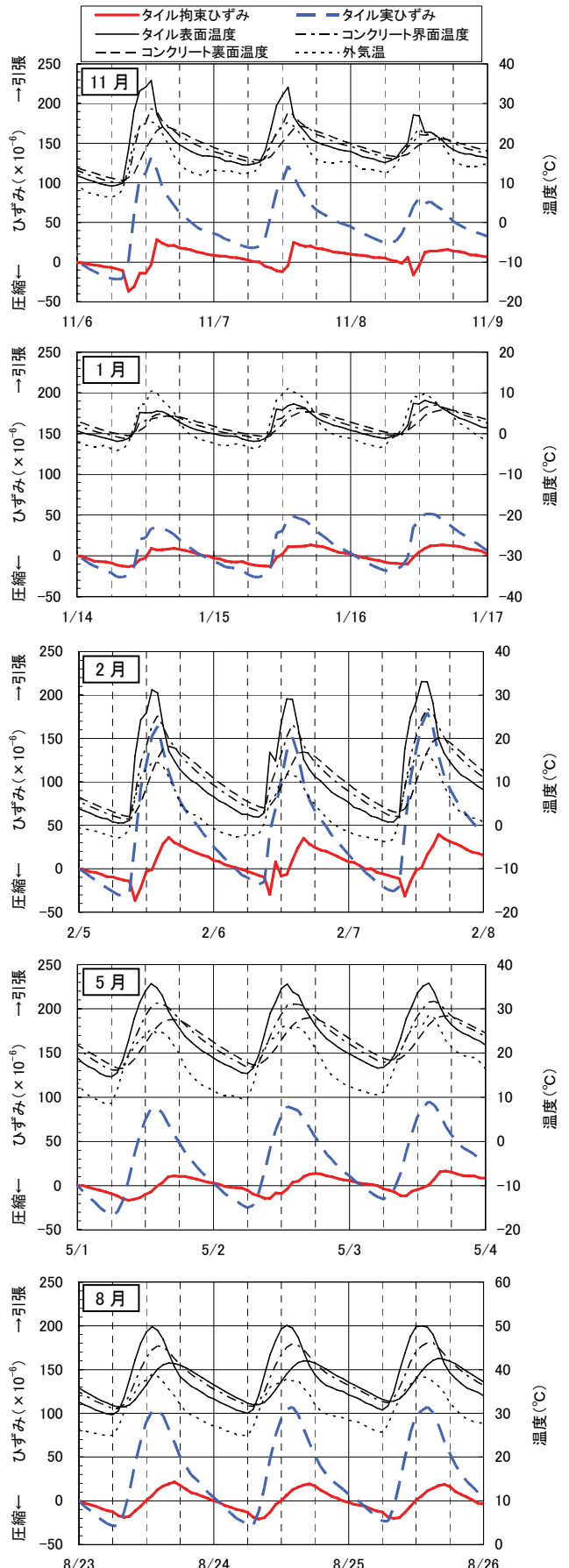


図 5 MY の季節ごとの温度およびひずみ測定結果

図5に、測定結果の例として、MY試験体の季節ごとの晴天日3日間におけるタイルの拘束ひずみ、タイル実ひずみ、タイル表面温度、コンクリート界面温度、コンクリート裏面温度および気温を測定した結果を示す。ここで、拘束ひずみは、日間の温度変化による影響のみを考察するため、各測定期間初日の午前0時を基準とした相対値とした。

また、図6に、MY試験体の2月における8時から17時の温度分布の変化を示す。コンクリート躯体内の温度は、境界条件をコンクリート界面温度およびコンクリート裏面温度の時系列温度情報とし、熱回路網法により、コンクリート躯体を断面方向に30mm間隔で5分割した各層の中心点の温度を算定した。ただし、コンクリートの容積比熱(ρc)を $1.90 \times 10^6 \text{ J}/(\text{m}^3\text{K})$ 、熱伝導率(λ)を $1.6 \text{ W}/(\text{mK})$ とした。

図5より、以下のことがわかる。

- 1) コンクリート界面温度のピークはタイル表面温度のピークに遅れて生じ、コンクリート裏面温度のピークがコンクリート界面温度のピークに遅れて生じている。また、タイル表面温度が最も温度の変動幅が大きく、コンクリート裏面温度は最も変動幅が小さい。
- 2) タイル拘束ひずみのピークは、タイル実ひずみのピークに遅れて生じる傾向がある。また、2月6日の正午ごろのように、タイル拘束ひずみにはタイル実ひずみには生じないようなピークが生じており、タイル表面温度の一時的な変化による影響と考えられる。
- 3) いずれの季節においても、タイル表面温度およびコンクリート温度とも上昇している期間(午前中から正午過ぎ頃)はタイルに引張側の拘束ひずみが作用し、両者とも下降している期間(夕方から朝)は圧縮側の拘束ひずみが作用している。これは、コンクリートの線膨張係数がタイルよりも大きいためだといえ、小笠原ら⁴⁾の知見と同じ傾向が確認された。また、タイル拘束ひずみは、引張側の作用と比較して、圧縮側への作用の方が、勾配が緩やかな傾向が確認された。
- 4) 11月の9時および2月の10時時点では、拘束ひずみが圧縮側に急激に作用している。これは、太陽高度が低い時期に樹木によって遮られていた直達日射が急激に当たったことにより、タイル温度のみが一時的に上昇してタイルが自由膨張しようとするのを、まだ温度が上昇していないコンクリート躯体が拘束しているためと考えられる。図6からもわかるように、9時から10時にかけてタイル表面温度が大きく上昇していることがわかる。
- 5) 同じく11月の15時および2月の16時時点では、タイル拘束ひずみの引張から圧縮への転換が急激に生じている。これは、当たっていた直達日射が樹木によって遮られ、タイル表面がその時点の外気温まで低下しようとして引張側の拘束ひずみが大きくタイルに生じた後に、

コンクリート表面付近の温度も低下し始めたことにより圧縮側に拘束ひずみが転換したためだと考えられる。図6からもわかるように、14時から16時にかけてはタイル表面温度の低下量が大きくコンクリート温度の低下の度合いが小さいが、16時から17時にかけてはコンクリート表面付近の温度もタイル温度と同程度の低下量となっている。

- 6) タイルの実ひずみ変動が最も大きく計測された2月では拘束ひずみも最も大きくなり、その変動幅は、最大で約 70×10^{-6} であった。これは、4)5)に記載のとおり、直達日射が急激に当たったり、遮られたりした影響によると考えられる。
- 7) 直達日射の当たらない1月では、日中のタイル表面温度が気温を上回らない。これは、夜間に冷やされたコンクリート躯体の熱容量の影響と考えられる。また、日間の温度振幅が小さく、タイルとコンクリート間の温度差も小さいため、タイル拘束ひずみの変動幅も小さい。一般に、直達日射の当たらない北側のタイル張り面は同じ建物の日射の当たる面と比較して、タイルの剥離割合が小さいことが知られているが、本測定結果からもこのような場所では剥離外力が小さくなることわかる。

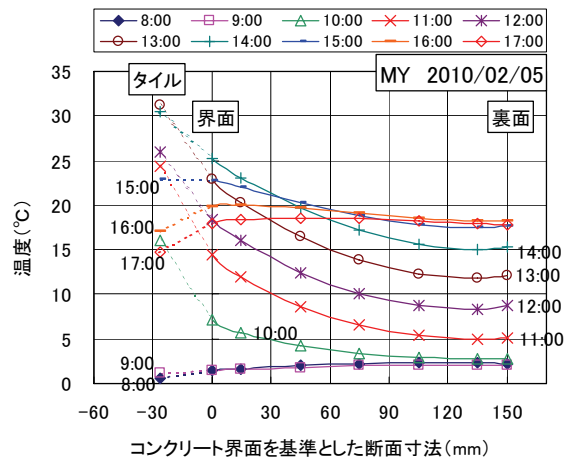


図6 タイル張り断面の温度分布変化(MY, 2月)

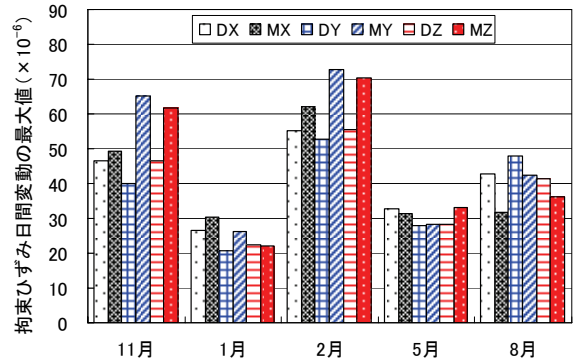


図7 試験体ごとのタイル拘束ひずみ日間変動幅

8) 日中の太陽高度が高くなる5月および8月では、タイル拘束ひずみの変動が滑らかである。これは、直達日射の入射角度がタイル張り面に対して大きいため、急激にタイルのみの温度が上昇または下降することがないためだと考えられる。

図 7 に、タイルの拘束ひずみの日間の極大値と極小値の変動幅について、図 5 と同じ 5 つの時期において抽出した晴天日 3 日間における最大値を示す。

いずれの試験体においても、11 月および 2 月のタイル拘束ひずみが大きいことがわかる。2 月では、最大で約 $50 \times 10^{-6} \sim 70 \times 10^{-6}$ の繰返し拘束ひずみがタイルに作用しているが、仮にタイルのヤング係数が $4 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、曲げ強度が 20 N/mm^2 程度だとすると、曲げ強度の 10~15% 程度の繰返し応力がタイル表面に作用していることになる。

また、直達日射の影響の大きい 11 月および 2 月では、下地モルタルなし (D) とあり (M) とを比較すると、下地モルタルあり (M) の方がタイル拘束ひずみが大きい。この原因として、下地モルタルの厚み部分の熱抵抗が高いために、直達日射によってタイルのみのみが敏感に温度変化するためだと考えられる。図 8 に DY 試験体の 2 月における温度分布変化を示すが、この DY と比較して図 6 に示した MY の方が、タイル温度が敏感に変動していることがわかる。

4.3 タイルひずみの拘束度合いについての考察

4.2 で考察したタイル拘束ひずみは、図 4 に示すコンクリート温度ひずみとタイル温度ひずみの差(以降、温度ひずみ差と呼ぶ)が主要因で生じると考えることができる。図 9 に、温度ひずみ差とタイル拘束ひずみの例を示す。ただし、コンクリートの線膨張係数は 10×10^{-6} とし、コンクリートの温度ひずみは、コンクリート界面から 15mm 内部の位置での温度算定値をもとにした。また、コンクリートおよびタイルの面外方向の変形は考慮しないこととした。

図 9 より、いずれの場合も、タイル拘束ひずみは温度ひずみ差に対応して生じており、ほとんど同じ位相であることがわかる。

図 10 に、温度ひずみ差とタイル拘束ひずみの関係を示す。ここでプロットした点は、図 5 および図 7 で示した 5 つの時期の晴天日 3 日間における温度ひずみ差の変動幅とタイル拘束ひずみの変動幅とを、引張側(正)、圧縮側(負)それぞれで示したものである。

ここで、タイルが躯体コンクリートに拘束される割合として、タイル拘束ひずみを温度ひずみ差で除した値を、式(3)のとおり、ひずみ拘束度 R_t として定義する。

$$R_t = \varepsilon_R / (\varepsilon_{Tc} - \varepsilon_{Tt}) \quad (3)$$

$$\varepsilon_{Tc} = \alpha_c \cdot \Delta T_c \quad (4)$$

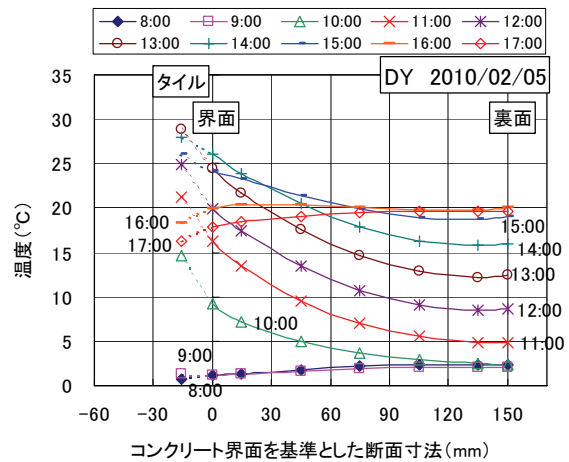


図 8 タイル張り断面の温度分布変化(DY, 2月)

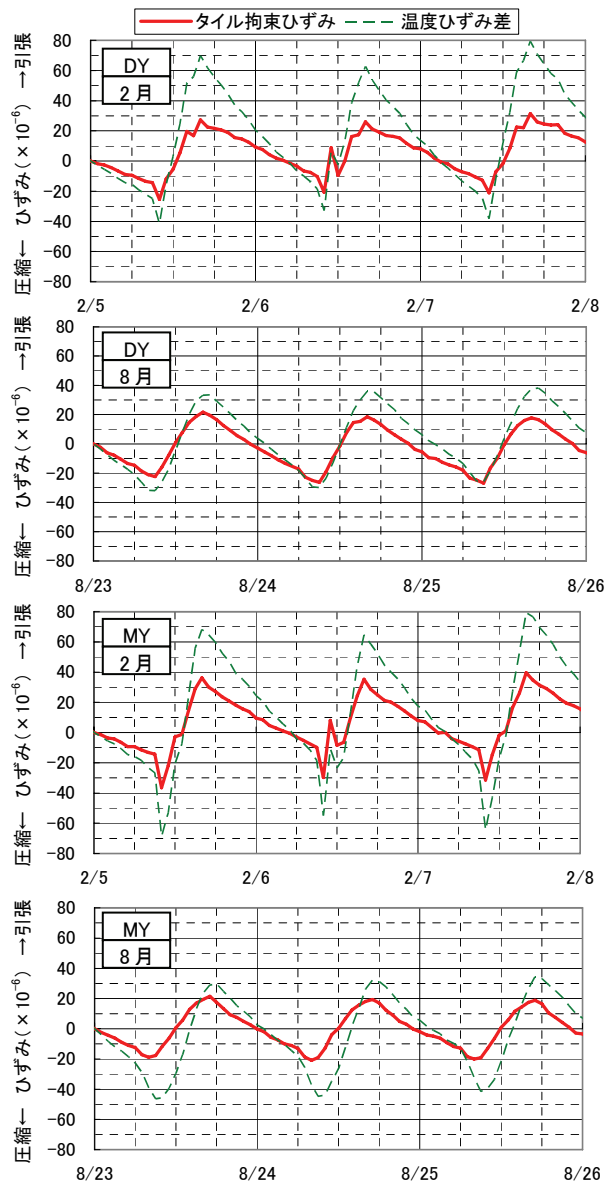


図 9 タイル拘束ひずみと温度ひずみ差の例

ここで、 R_t : ひずみ拘束度
 ε_{Tc} : 無拘束状態でのコンクリートの温度ひずみ ($\times 10^{-6}$)
 α_c : コンクリートの線膨張係数 ($10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$)
 ΔT_c : コンクリートの温度変化 ($^\circ\text{C}$)
 (ただし、 ΔT_c は界面から 15mm の位置の算定値)

図 10 より、温度ひずみ差とタイル拘束ひずみとの相関は良好であり、季節によらず試験体ごとにはほぼ線形に近似できることがわかり、近似曲線の傾きをひずみ拘束度 R_t として把握できる。

50 二丁モザイクタイル(X)では、下地モルタルあり(MX)と比較して下地モルタルなし(DX)はひずみ拘束度が大きく、躯体からの拘束を大きく受けていることがわかる。これは、50 二丁モザイクタイルの厚みが小さいために、下地モルタル無しだと拘束の影響を受けやすいためだと考えられる。

一方、二丁掛けタイル平(Y)、二丁掛けタイル山型(Z)では、下地モルタルの有無に関わらず、ひずみ拘束度がほぼ同じであった。また、二丁掛けタイルの平(Y)と山型(Z)を比較すると、タイルの厚みが大きい山型(Z)のほうがひずみ拘束度が小さいことがわかる。

§5. まとめ

外装タイルの屋外暴露試験を約1年間行い、日間の温度変化がタイル挙動に与える影響について検討した。得られた知見を以下に示す。

- 1) タイルはモルタル層を介して躯体コンクリートから拘束され応力を受けているが、タイル拘束ひずみを算定することで、タイルが挙動する際に受けている応力状態を把握した。
- 2) タイル表面温度、タイル実ひずみおよびタイル拘束ひずみの変動幅が大きくなる要因として、直達日射が大きく影響し、特に太陽高度の低い冬期の直達日射の影響が大きい。
- 3) いずれの季節においても、タイル表面温度およびコンクリート温度とも上昇している期間はタイルに引張側の拘束ひずみが作用し、両者とも下降している期間は圧縮側の拘束ひずみが作用する。これは、コンクリートの線膨張係数がタイルよりも大きいためといえる。
- 4) 太陽高度が低い冬期に直達日射が急激に当たると、タイル温度のみが一時的に上昇してタイルが自由膨張しようとするのを、まだ温度が上昇していないコンクリート躯体が拘束するため、タイル拘束ひずみが圧縮側に急激に大きく作用する。
- 5) 直達日射があたる冬期の晴天時のタイル表面には、最大で $50 \times 10^{-6} \sim 70 \times 10^{-6}$ 程度の振幅の繰り返し拘束ひずみが作用する。
- 6) 直達日射の当たらない場所、時期でのタイル拘束ひずみの変動幅は小さい。
- 7) タイル拘束ひずみは、コンクリート温度ひずみとタイル温度ひずみの差、すなわち温度ひずみ差が主要因で

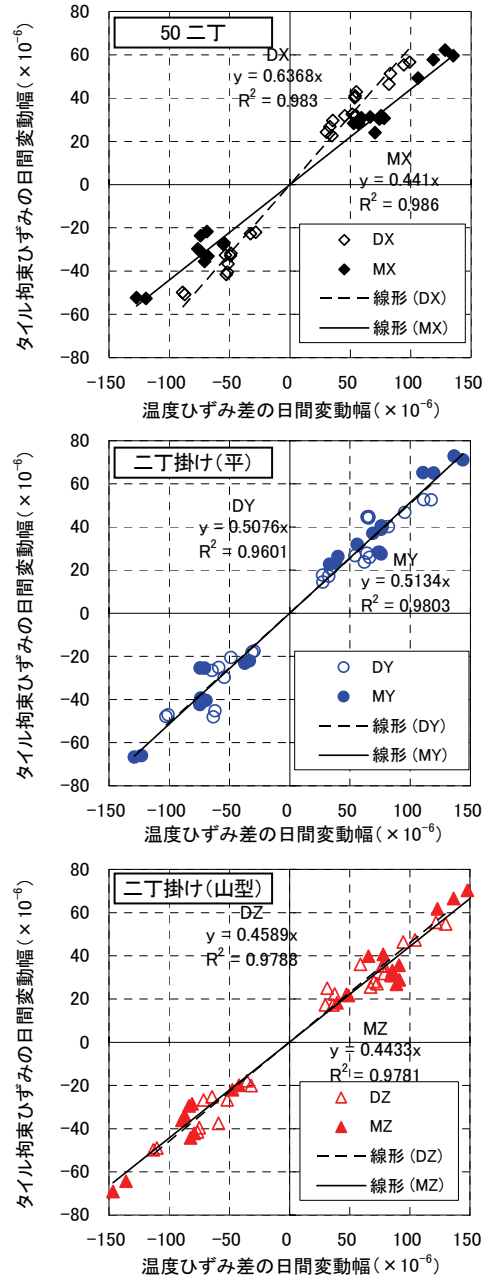


図 10 温度ひずみ差とタイル拘束ひずみの関係

生じる。

- 8) 温度ひずみ差に対するタイル拘束ひずみの割合をひずみ拘束度として定義した。ひずみ拘束度は、季節によらず、タイル張付け仕様ごとにほぼ同じであった。
- 9) 50 二丁モザイクタイルでは、下地モルタルがあることでひずみ拘束度が小さくなるが、二丁掛けタイルでは下地モルタルの有無によるひずみ拘束度の差異は小さかった。

参考文献

- 1) 松藤泰典, 大久保孝昭, 小山智幸:直達日射を受けるタイル張り壁面の挙動に関する基礎的研究,コンクリート工学年次論文報告集,pp.861-866,1992
- 2) 熊谷敏男, 中村雅彦, 入野一男:外壁タイル張り層の日射による温度分布と接着界面応力の究明,清水建設研究報告,pp.15-28,1994
- 3) 伊藤哲也, 渡辺博司, 太刀川丈爾, 藤井銛純, 小笠原和博:実大実験におけるタイル張り壁面の挙動に関する研究 その1 実験概要, 日本建築学会大会学術講演会梗概集,pp.1303-1304, 1994.9
- 4) 小笠原和博, 渡辺博司, 太刀川丈爾, 藤井銛純, 伊藤哲也:実大実験におけるタイル張り壁面の挙動に関する研究 その2 材令5か月までの歪みと日間の熱歪み, 日本建築学会大会学術講演会梗概集,pp.1305-1306, 1994.9
- 5) 小笠原和博, 坪内信朗, 渡辺博司, 太刀川丈爾, 山崎健一:実大実験におけるタイル張り壁面の挙動に関する研究 その3 材齢29か月までのコンクリート躯体の乾燥収縮歪み, 日本建築学会大会学術講演会梗概集,pp.1051-1052, 1996.9
- 6) 起橋孝徳, 河野政典, 榊田佳寛:タイル張り仕上壁の屋外暴露試験および熱冷繰返し試験における挙動, 日本建築学会構造系論文集,pp.465-470,2011.3
- 7) 稲葉洋平, 佐々木正治, 巴史郎, 閑田徹志:タイルの剥離低減に関する研究-剥離モデルの検証-, 鹿島技術研究所年報第 56 号, pp65-70, 2008.9
- 8) 富田泰宇, 添田智美, 佐々木仁:屋外暴露試験における外装タイルの挙動に関する研究 その 1 日間の温度変化がタイル挙動に与える影響についての考察, 日本建築学会大会学術講演会梗概集,pp.885-886, 2011.8

ひとこと



外装タイルは日本特有の意匠的にも耐久性的にも優れた仕様だと思います。タイルの剥離事故が無くなるように、今後も取得したデータの検討を継続し、タイル挙動の解明につなげていきたいと思っています。

添田 智美