

7. タイルの浮きと含水率との関係

Relationship between Tile Exfoliation and Moisture Content

恩村 定幸^{*1}

要 旨

タイル張り施工されたコンクリート外壁のタイルの浮きと含水率との関係を把握するために、試験体を用いた乾燥実験を、乾燥温度を変えて行った（60℃、75℃、90℃）。その結果、どの温度で乾燥してもタイルの浮きは試験体の隅から発生した。さらに、比較的低温度（60℃）による乾燥でも、試験体の含水率がある程度まで低くなるとタイルに浮きが生じた。以上から、壁体の含水率がタイルの浮き発生の一つの評価指標となる可能性が考えられる。ただし、指標となる含水率値や浮きの発生順序等を明確にするには、試験体内の含水率分布を解析するなど、より詳細な検討を進める必要がある。

キーワード：コンクリート外壁／タイル／浮き／含水率／乾燥実験

1. はじめに

外壁タイルの浮きは、雨漏りや外壁の耐久性などに大きな影響を及ぼし、浮きが進行してタイルが剥落した場合には、人命に関わる大事故を引き起こすこともある。そのため、以前より、様々なタイルの浮き防止対策が施されているが、タイルの浮きが完全に無くなったわけではない。それは、タイルの浮きの原因が多岐にわたり、それらの複雑な相互関係が必ずしも明確にされていないためと考えられる。

これまで、タイル張り施工されたコンクリート外壁への水分浸透の様相を把握するための実験や解析を、数多く行ってきた¹⁾。その一つである吸水実験では、実験開始前に試験体を一度乾燥させる。その乾燥時の加熱が試験体に及ぼす影響を検討するために、タイル張りコンクリート試験体を用いた乾燥実験（105℃で乾燥させていく）を行ったところ、タイルの浮きが早期に発生した。そのときの試験体の形状および重量変化を図-1に、同時に行った打診法によるタイルの浮きの発生状況を図-2に示す。浮きは乾燥1日後から隅のタイルから発生し、6日後にはすべてのタイルに浮きが生じた。また、8日後には手で剥がせるほど接着強度が低下した。その時の剥離位置は写真-1に示すように、張付けモルタルとコンクリートとの界面であった。

この結果から、乾燥が進み試験体の含水率がある程度まで低くなるとタイルに浮きが生じると推察された（温度の影響も考えられるが、試験体の温度は乾燥開始から数時間で乾燥温度に到達するので、それ以降の影響は小

さい）。このことは、含水率を制御することでタイルの浮きを防止できるかもしれないという可能性を含んでいる。そこで、実際に外壁表面が到達する105℃よりも低い温度で乾燥してもタイルに浮きが生じるかどうかを確認するために、乾燥温度を変えた実験を行ったので、その結果について報告する。

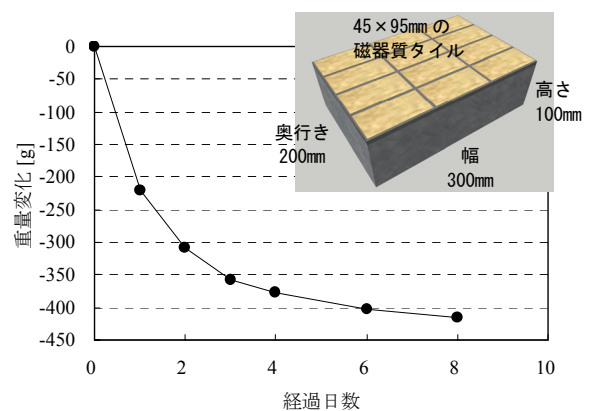


図-1 試験体の重量変化（105℃で乾燥）

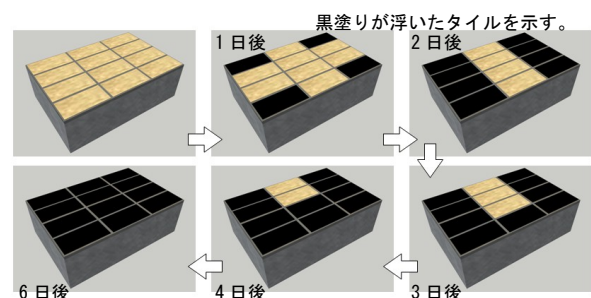


図-2 タイルの浮きの発生状況（105℃で乾燥）

^{*1} 技術研究所環境・生産研究グループ

2. 乾燥実験

2.1 実験概要

前述の乾燥実験（105℃で乾燥）で用いた試験体と同時に作製した同じ形状（W300×D200×H100mm）のタイル張りコンクリート試験体（図-1 参照）3体を用いて、105℃よりも低い温度で乾燥したときの重量変化を測定した。さらに、タイルの浮きの発生状況を打診法によって調査した。

試験体の作製は以下の手順で行った。まず、型枠にコンクリートを流し込んで 300×200×91mm の大きさのコンクリートブロックを作製した。用いたコンクリートの材料および割合をそれぞれ表-1 と表-2 に示す。また、コンクリート打設時に行ったフレッシュ試験の結果と材齢 4 週強度の試験結果を表-3 に示す。

コンクリートブロックを 4 週間水中養生した後、集合住宅などで一般的に採用されている薄塗り直張り工法（目地幅は 5mm）によって 45 二丁掛け磁器質タイル（45×95mm）を張り付けた（図-3 参照）。施工手順は工事現場と同様とした。張り付けモルタル、目地モルタルとも既調合の市販品を用いた。

乾燥温度は、コンクリート外壁の表面温度のシミュレーション結果をもとに決定した。図-4 に示すように、外壁の表面温度を一次元非定常計算によって算出すると、表-4 に示したような条件によっては鉛直の外壁面でも表面温度は 75℃を超えることがある。この結果をもとに、乾燥温度を 60℃、75℃、90℃に設定した。



写真-1 剥離したタイル（105℃で乾燥、8日目）

表-1 用いたコンクリートの材料

セメント	普通ポルトランドセメント(密度 3160kg/m ³)
細骨材	山砂と砕砂 (混合率 7 : 3、合成密度 2570kg/m ³)
粗骨材	碎石 (表乾密度 2670kg/m ³)
混和剤	高性能 AE 減水剤、AE 助剤

表-2 用いたコンクリートの割合

W/C [%]	単位量 [kg/m ³]				
	セメント (C)	水 (W)	細骨材	粗骨材	混和剤 [%]
54.0	333	180	846	909	0.7

表-3 コンクリートの品質試験の結果

試験項目	結果
スランプ	19.5cm
スランプフロー	32.0×30.0cm
空気量	6.0%
温度	21℃
4 週圧縮強度	27.9N/mm ²
ヤング係数	2.64×10 ⁴ N/mm ²

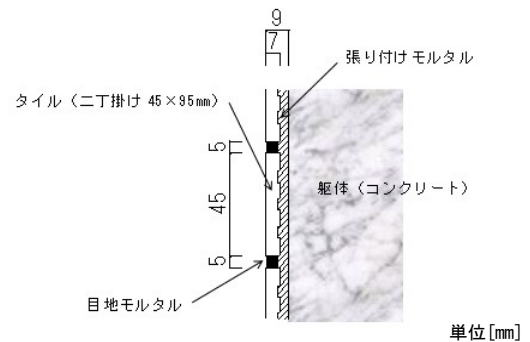


図-3 薄塗り直張り工法

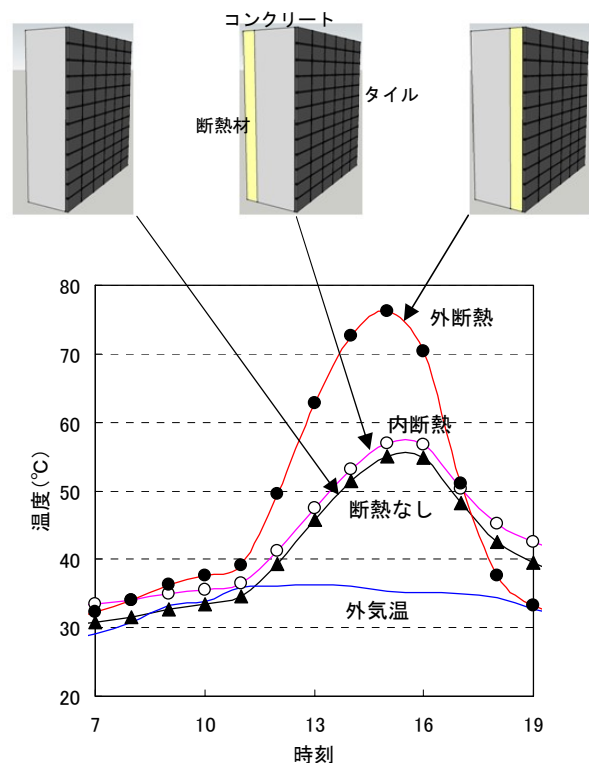


図-4 コンクリート外壁の表面温度の計算結果

表-4 コンクリート外壁表面温度算定の計算条件

外気温	2007年8月17日の大阪の気象データを使用（最高気温：36.2℃）
壁の向き	西向き
日射量	緯度、日赤緯、太陽定数等から算定
日射吸収率	濃い灰色のタイルを使用したとして0.9
外気側総合熱伝達率	無風を想定して常用値よりも小さい値（12.5W/m ² K）を使用
コンクリート	厚さ150mm、熱伝導率1.6W/mK
タイル	厚さ10mm、熱伝導率1.6W/mK
断熱材	厚さ25mm、熱伝導率0.026W/mK
室温	28℃、一定
室内側総合熱伝達率	常用値の9.1W/m ² Kを使用

2.2 実験結果

図-5に乾燥実験の結果を示す。図中シンボル（●、▲、■）はタイルの浮きが発生した時点の測定値であることを示す。最初の浮きが発生したときの試験体重量の減少量は、60℃で288.1g、75℃で362.5g、90℃で314.8gであった。この結果より、高温度（75℃、90℃）の乾燥だけでなく、比較的低温度（60℃）での乾燥でも、乾燥が進み試験体の含水量が減り、その量がある程度まで小さくなると浮きが生じると推察できる。

しかし、重量変化だけでは各試験体とも初期の重量が異なるので、タイルに浮きが生じたときにどれだけの量を含水していたかが分からない。そこで、次節で含水率を算定し、その結果について考察する。

なお、60℃の乾燥において経過日数が37日から205日までの間で重量が増加しているのは、諸事情により乾燥機の運転を中止したからである。乾燥機停止期間中に試験体が吸湿して含水量が増えたものと考えられる。

図-6に示すタイルの浮きの発生状況より、どの乾燥（60℃、75℃、90℃）とも105℃で乾燥させたときと同様に、最初に隅のタイルから浮きが発生した。

3. 含水率の算定とその結果に関する考察

90℃で乾燥した場合について考える。

乾燥機への取り入れ空気（外気：20℃、70%）が乾燥機内で加熱され、温度が90℃に上昇したならば相対湿度は約2.3%となる。乾燥が長時間続くと試験体はこの相対湿度で平衡し、そのときの体積含水率は、図-7に示すコンクリートの平衡含水率関係（放湿過程）から約0.0275m³/m³と推定される¹⁾。

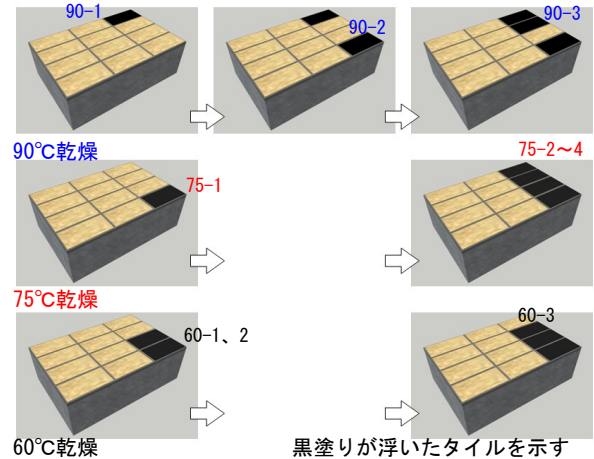


図-6 乾燥実験の結果（タイルの浮きの発生状況）

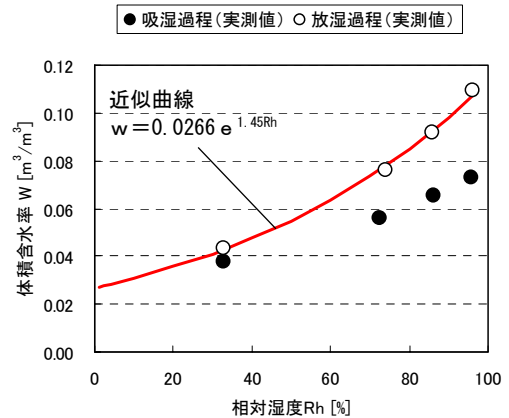


図-7 コンクリートの平衡含水率関係

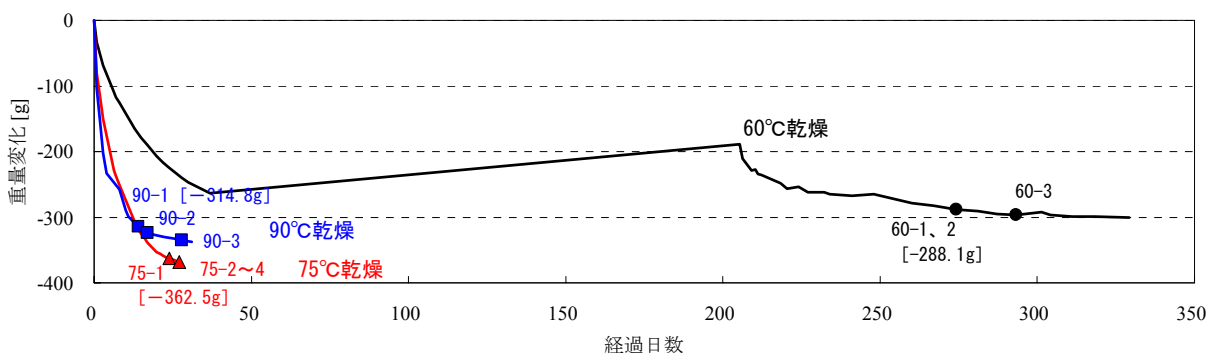


図-5 乾燥実験の結果（重量変化）

最も乾燥が進んだ時点（すなわち平衡時）の体積含水率（ W ）がこの値なので、そのときの試験体全体の重量（ G ）とタイルの重量（ G_t ）から、式(1)より空隙や水分を除くコンクリートの正味の体積（ V_c ）が求まる（図-8 参照）。

$$G - G_t = G_c + G_w = \rho_c \cdot V_c + \rho_w \cdot V_w$$

$$W = V_w / V_c \text{ より}$$

$$G - G_t = \rho_c \cdot V_c + \rho_w \cdot W \cdot V_c$$

よって、

$$V_c = (G - G_t) / (\rho_c + \rho_w \cdot W) \quad (1)$$

コンクリートの正味の体積（ V_c ）が分かれば、ある時点の体積含水率（ W' ）は、そのときの試験体重量（ G' ）から、式(2)より算定できる。

$$W' = (G' - G_t - \rho_c \cdot V_c) / \rho_w \cdot V_c \quad (2)$$

ここで、 G ：平衡時の試験体の重量 [kg]、 G' ：ある時点の試験体の重量 [kg]、 G_c ：コンクリートの重量 [kg]、 G_t ：タイルの重量 [kg]、 G_w ：平衡時の水の重量 [kg]、 V_c ：コンクリートの正味の体積 [m³]、 V_w ：平衡時の水の体積 [m³]、 W ：平衡時の体積含水率 [m³/m³]、 W' ：ある時点の体積含水率 [m³/m³]、 ρ_c ：コンクリートの密度 [2163kg/m³、実測値]¹⁾、 ρ_w ：水の密度 [1000kg/m³]。なお、張付けモルタル、目地モルタルの密度はコンクリートと同等とみなした。

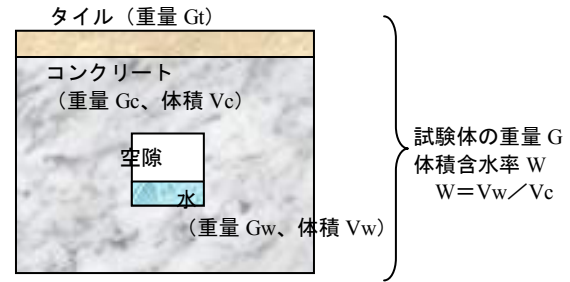


図-8 平衡時の試験体重量と体積含水率の関係

このようにして求めた乾燥温度ごとの体積含水率の変化を図-9 に示す。図中のシンボル（●、▲、■）はタイルの浮きが発生した時点の含水率値を示す。乾燥温度が高いほど乾燥速度が速く、タイルの浮きも早く発生している。最初の浮きが発生したときの体積含水率は、60℃が 0.033m³/m³、75℃が 0.030 m³/m³、90℃が 0.032m³/m³ と、0.030～0.033 m³/m³ のかなり狭い範囲内（0.003 m³/m³ = 0.3Vol%）にある。この結果から、体積含水率が 0.033m³/m³ 以上であればタイルは浮くことがなく、0.033m³/m³ という含水率値がタイルの浮き防止のための一つの指標とすることができる。

しかし、ここで示した含水率は、コンクリート試験体全体の平均の体積含水率である。タイルの浮きで問題となるのは張付けモルタルとコンクリートとの界面の含水率と考えられるため（写真-1）、含水率がタイルの浮き防止の指標になるということを明確にするには、解析等によって試験体の含水率分布の経時変化等を知る必要がある。さらに、図-6 のタイルの浮きの発生順序において、最初に隅のタイルから浮きが発生するという現象も含水率の分布から説明できると思われる。

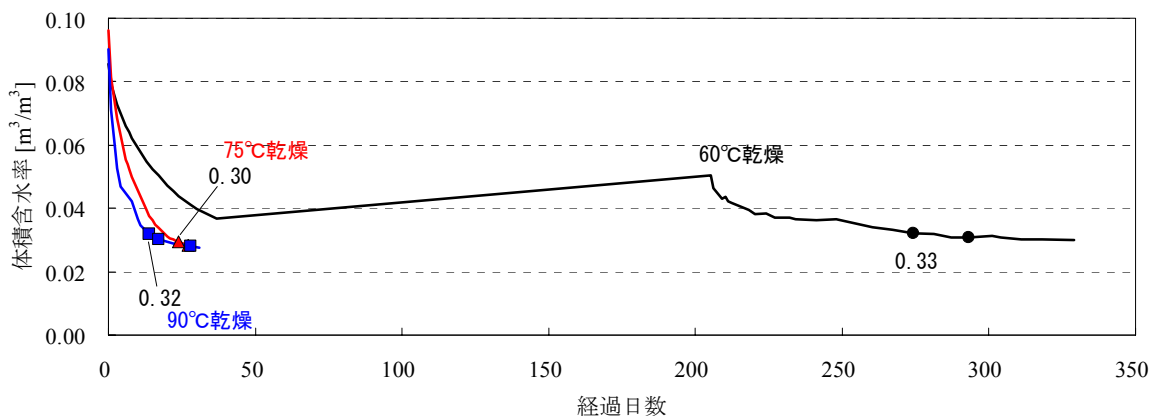


図-9 乾燥実験の結果（重量変化）

4. まとめ

タイル張りコンクリート試験体を用いた乾燥実験を、乾燥温度を変えて3種類（60℃で乾燥、75℃で乾燥、90℃で乾燥）行い、比較的低温（60℃）による乾燥でも、含水率がある程度まで低くなるとタイルに浮きが生じることを確認した。このことより、含水率がタイルの浮き発生の評価指標となる可能性があると言える（含水率がある値以上に保てばタイルの浮きは発生しない）。ただし、指標となる含水率値や浮き発生順序等を明確にするには、試験体内の含水率分布などについて、より詳細な検討を進める必要がある。今後、それらの検討を解析等によって鋭意進める予定である。

[謝 辞]

本研究に際し、ご指導いただいた京都大学大学院工学研究科の銚井修一教授と小椋大輔准教授に感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 恩村定幸：タイル張り仕上げが施されたコンクリート壁体における熱水分移動に関する研究，浅沼組技術研究報告（別冊），No.21-1，2009.