

外装タイル張り仕上げ材の経年劣化による 剥離・剥落発生メカニズム

建築生産研究グループ 研究員 根本 かおり

I はじめに

タイル張りやモルタル施工した外壁仕上げ材（以下、外装材と記す）は、竣工からしばらく経つと経年劣化により剥離が生じることがあり、補修せずに放置するとやがて剥落（脱落）する。少し前になるが2005年6月に都内のオフィスビルの斜め外壁が剥落し、通行人2名が負傷するという事故があった。この直後に国土交通省は、経年劣化により剥落の危険性のある斜め外壁をもつ高層建物の全国調査を実施し、各都道府県から該当する建物が多数あると報告された。この調査では斜め外壁と限定されているが垂直面の外壁にも同様のことが言える。外装材の剥落は、建物の高所から硬い物体が落下することで通行人に当たることがあれば人命を脅かし、さらに賠償や建物の美観が損なわれるなどして居住者の財産へも影響を及ぼす。剥落事故を防ぎ安全に安心して暮らすためには、建物が経年劣化すれば外装材も剥離し剥落する可能性があるということ認識し、建築技術者のみならず居住者にも建物診断や補修実施の重要性を理解していただく必要がある。ここで、一口にタイル張り仕上げといっても施工方法により剥離・剥落のしかたは異なる。本研究では、鉄筋および鉄骨鉄筋コンクリート躯体にモルタルでタイルを張付けた、外壁のタイル後張り工法の経年劣化による剥離・剥落の発生の検討をおこなった。展示パネルでは経年劣化の主要因である、外気環境（温湿度）変化による外装材の伸縮挙動を中心とした剥離発生メカニズムについて解説する。

II 外壁のディファレンシャルムーブメント

タイル後張り工法の外壁は、タイル、モルタル、コンクリート躯体で構成された積層構造をしており、これらの材料が外部から温湿度変化を受けると、材料の温湿度膨張係数の違いによって各構成材に異なった伸縮が発生する。この動きをディファレンシャルムーブメント（相対ひずみ）という。ディファレンシャルムーブメントは外気環境変化により日々発生し、材料間に疲労が蓄積することで剥離が生じる。図1に壁

内部に生じるディファレンシャルムーブメントの概略を示す。例えば、JASS 19 陶磁器質タイル張り工事に規定されているように、外装用タイルは吸水率の低いI類またはII類のものを用いるため吸水膨張が小さい。一方、モルタルやコンクリートは吸水性があるため膨張量が大きい。モルタルはコンクリートに比べて弾性係数が小さいため、コンクリートとタイルの伸縮量の差をある程度吸収することができ、急激な脆性破壊を防ぐことができる。この点に積層構造のメリットがある。ただしモルタルは、JASS 15 左官工事に規定されているように適切な塗厚でなければ、自重による接着力の低下や薄塗りのためにディファレンシャルムーブメントを吸収しきれず大きな負荷がかかり早期に剥離が発生することがある。

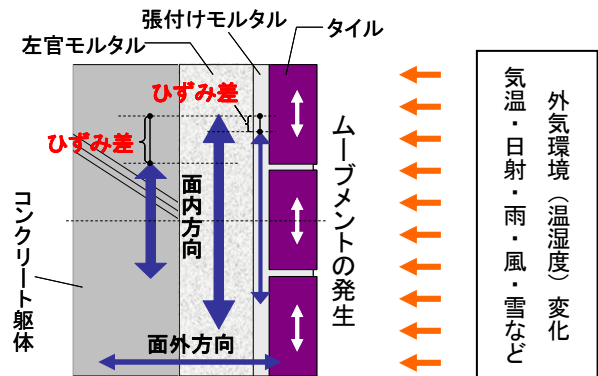


図1 タイル張り仕上げ外壁に発生するディファレンシャルムーブメント

【タイル、モルタル、コンクリートが積層構造を形成】
モルタル層はさらに、モルタル下地（JASS 15左官工事に規定）と張付けモルタル（JASS 19陶磁器質タイル張り工事に規定）の複層となっている

III 左官モルタルとコンクリート躯体の剥離応力解析

外部の温度変化が壁内部に伝わる時、外装材のディファレンシャルムーブメントは熱の減衰と伝導による時間差からも影響を受ける。そこで左官モルタル仕上げのみのコンクリート試験体を外壁モデルとして、屋外の温度変化により生じる仕上げ材の剥離応力解析を行った。剥離応力解析は、熱伝導解析により求めた試験体内部の温度分布から熱応力解析し、

試験体内部に生じる応力と熱による試験体の変形を有限要素法 (FEM) で解析した。また熱伝導解析値は、モルタル塗厚 10mm、コンクリート躯体厚 100mm の壁モデル試験体を用いて、仕上げ面から熱冷環境の付加実験をおこない、内部温度を仕上げ面から反対側のコンクリート表面まで 1cm 間隔で熱電対を試験体中央に埋めこみ測定し、この値と比較した。その結果、本解析値はコンクリート表面付近でやや実験値と異なるものの概ね良好に対応していることが確認された。図 2 に試験体の代表的な変形状態を示す。同図 a のように外気温上昇時はモルタル仕上げ側に伸びが生じ、外気温低下時には同図 b のように仕上げ側は収縮する。これらの変形時の中央接着界面近傍の主応力図を図 3 に示す。同図から、外気温上昇時はモルタルとコンクリートの境界に直行する(面外)方向に圧縮応力が作用するのに対し、外気温低下時は境界の面外方向に引張応力が作用している。この結果から外気温低下時に剥離が発生しやすい状況であることが分かった。

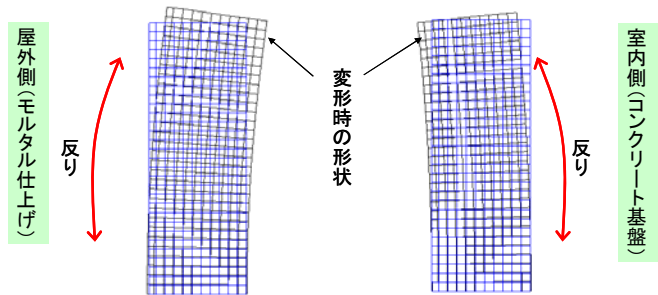
IV 外部拘束がタイル張り仕上げのひずみ応力に及ぼす影響

タイル張り仕上げのムーブメントが、コンクリート躯体の接着面から受ける接着拘束や、建物形状により柱などから囲まれて受ける拘束(以後、周辺拘束と記す)からどのような影響を受けるのかを調べるため、仕上げ面から湿度変化を与えてひずみ測定実験をおこなった。ひずみ測定値から応力ひずみを求めた結果を図 4 に、試験体形状と外部拘束による応力ひずみが集中する位置を図 5 に示す。図 4 から周辺拘束の影響は直接拘束される端部に集中しており、特にモルタル下地に応力が大きく発生していることが分かった。また、コンクリート躯体の接着拘束は端部よりも中央部のモルタルに大きく表れることが分かった。すなわち、端部は接着による拘束が弱く、かつ周辺拘束を受ける場合応力ひずみが集中するため、端部から剥離が発生しやすいということが確認された。

V 外装タイル張り仕上げの剥落防止安全性のために

タイル張り仕上げは周辺拘束を受ける場合、直接拘束される仕上げ材端部に大きな負荷がかかる。また、コンクリート躯体からの拘束(接着)力は中央部が大きく端部は小さい。剥離発生防止のため仕上げ材端部にかかる負荷を緩和させるためには、伸縮調整目地の設置が有効である。ただし、目地に用いるシーリング材の耐用年数は一般に 5~10 年程度、一方タイル張り仕上げの耐用年数は 10~15 年程度とされているため、外装タイル張り仕上げを長く安全に利用するためには、シーリング材の取替えや仕上げ材の定期的な劣化診断、

適切な補修をおこなうことが必要である。



a. 外気温上昇時 b. 外気温低下時

図 1 変形図 (1000 倍に拡大表示)

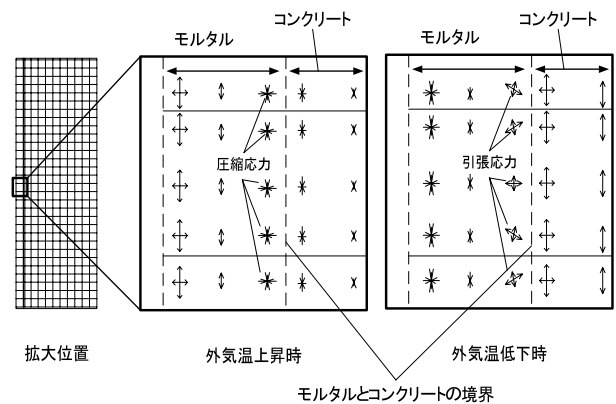


図 3 中央部のモルタルとコンクリート境界面近傍の主応力図

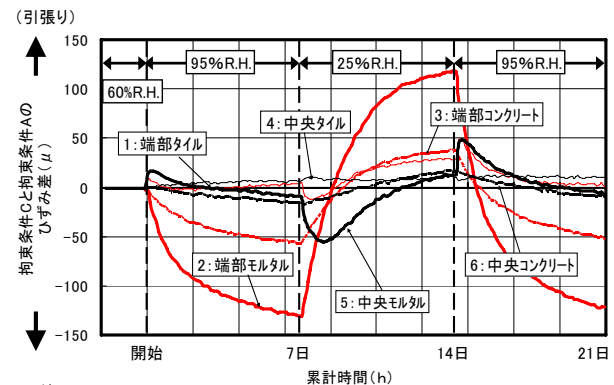


図 4 接着拘束および周辺拘束によるムーブメントへの影響

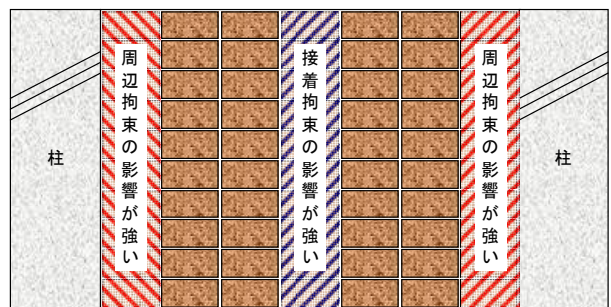


図 5 柱から周辺拘束を受けるタイル張り仕上げ試験体