

都市建築物における外壁タイル仕上げの施工時環境を踏まえた剥離剥落要因の検討

材料施工，都市建築物，外壁タイル
施工時環境，剥離剥落

小野幸彌^{*1} 田村雅紀^{*2}

1. はじめに

現在、日本では高度成長期に建築された建物が経年により一般外壁仕上材劣化を起し剥離剥落として確認されている。中でもタイル仕上材は広く建物の外壁材として剥離剥落による事故が最も多く報告されており、剥離剥落原因要因として施工方法や施工使用時環境などの工法による問題、下地表面処理である目荒しの問題や施工時間、天候などの外部因子要因、又は施工技術者の練熟度によるヒューマンエラーが大きく関係しているが、施工における要因とモルタル付着力の関係性は不確定事項が多く関係性が明確になっていない。本研究では研究1に剥離剥落調査を行う。図1に研究の流れを示し表1に研究における要因と水準を示す。研究1ではタイル外壁材の剥離剥落基準類調査を行い、事故調査報告書を収集し、事故に関する原因究明結果を調査する。研究2では研究1を基に実際に発生した都内タイル外壁仕上材剥離剥落調査を行い、施工時代背景等の残留資料等から剥離剥落原因を様々な方向から解析し原因究明を行う。研究3においては施工・使用時環境を考慮した躯体目荒し法及びモルタル下地試験にて躯体製作を行い、各種規程目荒し、各施工方法にてタイル施工を行う。これらの研究3の結果と研究2の結果を合せ予防保全維持管理の視点提案に活用してゆく。

2.1 タイル外壁仕上材の剥離防止基準類調査（研究1）

図2のa)に日本建築仕上学会によるタイル建物仕上材診断調査⁶⁾を行った結果を示す。診断結果数から考察すると商業施設が最も多く、次いで学校、公共施設、集合住宅の分譲・賃貸が多くなっている。主に物件数が多い他に外壁仕上にタイル張りが多用されている事が上げられ、図2のb)とc)にタイル張り施工に関する施工方法と事故件数について示す。鍍塗りが最も多い結果となっており、鍍塗りは一般的で最も左官職人が行いやすく施工件数も多いが、熟練度によるヒューマンエラーが最も出やすいものとする事が出来る。図4に診断方法を示す。目視と打診による診断が最も多く最も適切で普及していると考えられる。図2で行った調査の結果を踏まえて考察すると商業施設や公共施設は施工面積が大きい為吹付け等による施工が多いと考えられるが、集合住宅などは鍍塗等による施工が多い為、剥離等の件数が増えていると考えられる事が出来る。

表3 モルタル下地試験（研究3）

項目	試験名	内容
モルタル下地試験	引張試験 (t)	3日, 7日, 28日 強度
	加力後引張試験 (f)	12時間後加力(水平, 最大6Galを4回)
		3日, 7日, 28日 強度
	荷重引張試験 (1)	28日 強度 100, 200, 400, 800 (μ) 縦ひずみ時

(備考) Fd1-25t F:平滑面 d:ドライ 1:荒さ1 25:砂率1:2.5 t:引張試験

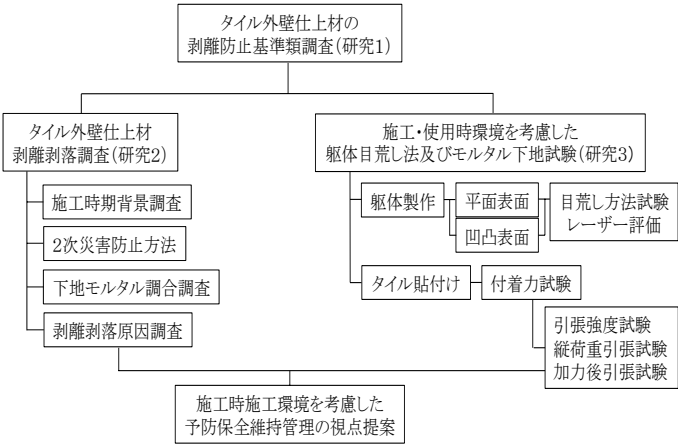
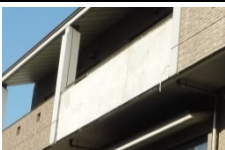


図1 研究の流れ

表1 調査・実験の要因と水準（研究1 研究2 研究3）

項目		要因	水準
研究1	基準類調査	JASS15 左官工事	1989年, 1998年, 2007年
		改訂内容	目荒しの有無 水湿しの有無
		JASS19 タイル工事	1991年, 2005年, 2012年
		改訂内容	表面不陸調整有無
研究2	タイル剥離剥落調査	施工方法	鍍塗り, 吹付け
		左官モルタル	仕上がり厚さ
研究3	躯体製作方法	躯体種類	平滑面(F), 凹凸面(M)
		躯体数	38躯体 (平面36, 凹凸2)
	躯体目荒し方法	躯体表面状態	ドライ(d), ウェット(w)
		目荒し荒さ	平(1), 中(2), 粗(3)
		切り込み幅	1.1mm 格子状, 一定
		切り込み深さ	平(1)0mm, 中(2)0.2mm, 粗(3)1.2mm
	タイル施工方法	目荒し方法	無し, ディスクグラインダー, 一定
		タイル	モザイクタイル50×50(mm), 一定
		塗り厚	下地5mm タイル裏4mm
	モルタル調合	叩き	15回 一定
		砂	1.2mm以下 (絶乾に5%の水を付与)
		水湿し	ドライ 0(g), ウェット 60(g)
研究3	モルタル下地試験	モルタル調合比	1:2.5, 1:3.5 (セメント:砂)
		試験方法	引張試験 (t) 加力後引張試験 (f) 縦荷重引張試験 (1)

表2 タイル仕上材剥離剥落事故調査（研究2）

調査結果		内容	
建物諸元		東京都内マンション	1994 年竣工 (a) 剥離剥落部
剥離剥落日		平成 24 年 10 月	(b) 剥離剥落物
施工工事仕様書	左官	施工調合比	セメント砂比 1:2.0 混和剤 メトロース
		目荒し方法	原則 2 回塗り 計 5~7mm
		施工計画	高圧水洗 不陸調整 ±2mm 以下
	タイル	タイル種類	特注割り肌風 75 角 2 丁
		貼付け時間	20 分以内
		貼付け方法	圧着張り
			

*1 工学院大学工学部建築学科4年 *2 工学院大学建築学部建築学科 准教授 博士（工学）

2.2 タイル仕上材剥離剥落調査 (研究2)

2.2.1 剥離剥落の原因究明

表2に剥離剥落に関する途中調査結果を示す。調査対象建物は東京都内の建物であり、平成9年に竣工し平成24年10月7日に剥離剥落した。タイル仕上材剥離剥落部は3階南側バルコニー手摺部、サイズは約6m×1.5m (9 m²)、左官下地 (20~30mm)、タイル (20~25mm) となっている。調査対象建物のタイル仕上材剥離剥落は施工後15年以上経たず状況で生じた問題で、躯体コンクリートをはじめ、建物を構成する基本要素 (構造体、下地材、仕上材、機能材) においては各部位において更新の時期にあたる事も考えられる。タイル仕上材剥離剥落の原因究明の途中調査結果を6分割にて示す。

1. 使用材料の観点では適用部位や用途別に、各種建設資材の使用材料や施工時期等の違いが生じる事は一般的にありえるが、外壁タイル、左官材料 (セメント、細骨材) に関しては同一製造メーカー¹⁾ を使用しており、材料の違いによるタイルの付着力への影響は生じにくいと判断される。

2. 工事区分の観点では、左官工事、タイル工事共に工事仕様に基づいて同一施工品質を確保出来る施工業者により実施されたと判断されるのが適切で、剥離剥落したバルコニー手摺部以外の箇所¹⁾ でも多数の浮きが確認されている箇所や全く浮きが確認されていない箇所もある事から工事区分に適用の有無による問題ではない。

3. 施工方法の観点では当時の施工写真から左官材の施工時に、吹付け工法と鍍仕上工法の適用が確認¹⁾ された為、施工時期・施工時間・モルタル調合のヒアリング等が必要であるが、調査を通して吹き付け工事及び左官工程の施工手順検証を試みたが、工事仕様書の保管期間超過及び施工技術者の退職などにより確認が困難で、タイルの付着に大きく関係するビブラート工法の施工時間も検証できなかった。

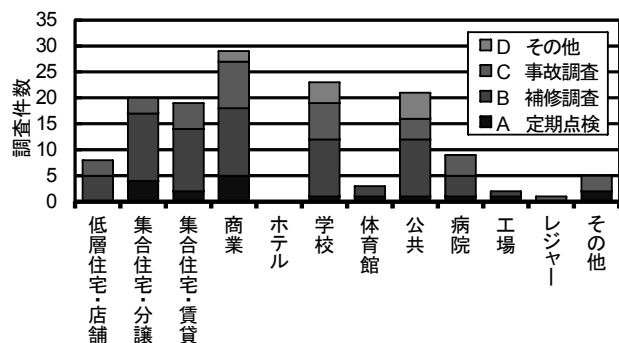
4. 施工環境の観点では、タイル施工が夏期に行われた¹⁾ 事から水分蒸発が顕著であり、厳しい条件下における目粗しおよび水湿しの前処理の方法とその実施程度の影響が想定されているが、実部材の条件を加味した実験的検討が今後必要と考えられる。

5. 現況の躯体コンクリート強度の観点から見ると、コンクリートの設計基準強度 $F_{c24} (N/mm^2)$ ¹⁾ である場合、構造体強度補正值、気温補正值、標準偏差などを考慮し算定される設計基準強度と同程度となり、下地コンクリートとして表層の材料組成に影響を与えるような材料劣化を生じている可能性は低い。

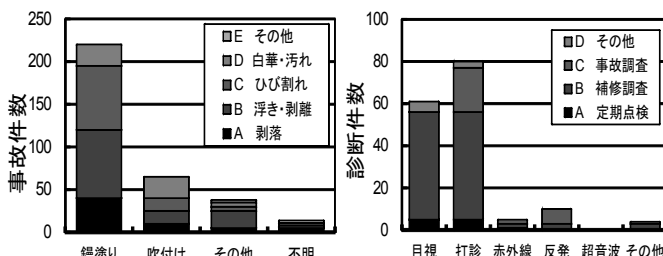
6. 現況の外壁仕上材の浮き・剥離程度観点では、「打診」調査から打診結果¹⁾ において建物ごと、部位ごとに剥離箇所の空間的ばらつきが局所化している大きな特徴が観察された。打診より判明した剥離部分の状況を目視にて確認し、浮きが明確に確認できる箇所は、所定の補修方法を適用し、二次的な災害が生じないようにする配慮を徹底した。

2.2.2 タイル外壁仕上材の剥離剥落物調査

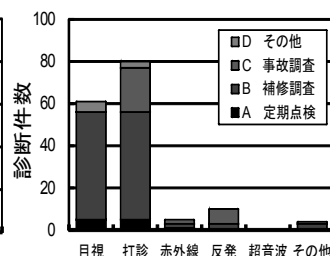
研究2において都内で実際に発生したタイル仕上材剥離剥落における剥離剥落物解析調査方法を示す。表2の写真a)のタイルモルタル下地剥離剥落が発生した原因追求の為に、表2の写真B)



a) 建物種類別診断調査



b) 施工方法と事故件数



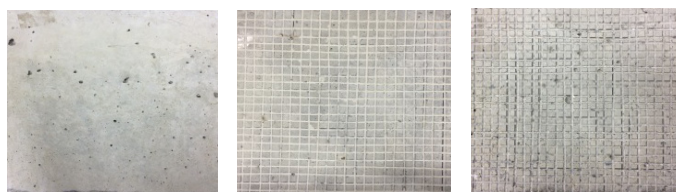
c) 診断方法

図2 タイル建物仕上材診断調査⁶⁾

表4 コンクリート躯体計画調合及びモルタル調合

項目	W/C (%)	水 (kg/m ³)	セメント (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)
コンクリート	55	180	327	773	982
調合種類	W/C (%)	水 (g)	セメント (g)	砂 (g)	調整剤 (g)
モルタル 1:2.5	55	220	400	1000	0.36
モルタル 1:3.5	55	165	300	1050	0.27

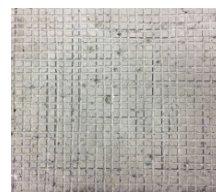
備考：調整剤はメチルセルローズを使用



a) 平 (1), 深さ 0



b) 中 (2), 深さ 0.2mm



c) 粗 (3), 深さ 1.2mm

図3 目荒し程度 (間隔は 1.1cm)



a) タイル裏モルタル



b) 張付け施工後



c) モルタル切削後



a) 引張試験機



b) 加力試験機



c) 荷重引張試験作業

図4 タイル施工状況と各種引張試験

の剥離剥落物をタイルと下地モルタル部分を界面で分断し、加熱実験前に重量を測定した後に300度加熱機で24時間加熱を行い再度重量を測定し、再度加熱機にて600度加熱機24時間加熱を行い再度重量測定を行い、塩酸にて砂抽出実験を行う。加熱を行う事により、左官用モルタル製作時に混入された水分（自由水、結合水）が温度変化により蒸発する為、重量変化が発生し混入水分を推測する事が出来る。これらの実験で得られたデータを基に研究2の実際に発生した剥離剥落に加味し、剥離剥落の原因究明に活用する。

2.3 施工時環境を考慮した目荒し及びモルタル下地試験（研究3）

2.3.1 コンクリート躯体製作方法

表4にコンクリート躯体調査^{4) 5)}について示す。表1の研究3にてコンクリート躯体数や表面処理等の詳細を示す。コンクリート躯体は300×300×100（mm）の型枠にて製作を行い、片側ウレタン塗装合板面のコンクリート躯体を38躯体を製作し、MCR工法を模し衝撃緩衝材を使用した凹凸面を持つコンクリート躯体を2躯体製作する。

2.3.2 コンクリート躯体目荒し方法

表1の研究3にコンクリート躯体表面の目荒し施工方法を示し、図3に目荒し程度を示す。目荒し前条件としてコンクリート躯体表面状態が、型枠を外した状態で、異物を取り除き清掃した状態である必要がある。目荒しは1.1cm間隔にて格子状に目荒しを行う。またヒューマンエラー防止の為目荒しは一度にコンクリート躯体の目荒しを行い、コンクリート躯体目荒し深さの安定化を図る。

2.3.3 タイル貼付け方法

図4にタイル施工方法を示し、表1の研究3に左官用砂使用条件を示し、表4にモルタル調合²⁾を示す。モルタル調合は各種の施工状況において、危険側と安全側の測定を行うため2種類とする。表1の研究3のタイル貼付け方法を基として施工する。施工においては技術者練度における差を最小限にすべく、同一人物による施工を行う。また、一躯体あたりに使用する左官用モルタルは同一条件とする為、規程量を各モルタル調合量とする。

2.3.4 躯体目荒し法及びモルタル下地試験

図4にタイル施工状況と各種引張試験方法を示す。各実験として1. 引張強度試験、改良圧着張り³⁾にて施工したタイルに、引張強度試験用アタッチメントを取り付け強度試験を行う。2. 荷重引張試験、改良圧着張りにて施工した外装仕上げ面に対して、ひずみゲージにて0, 100, 200, 400, 800（μ）のひずみが出るように荷重を上部から圧縮強度試験機にて加力をし、タイル荷重引張試験を行う。3. 加力後引張試験、改良圧着張りにて施工したタイルに対して、躯体背面から一定の加力を加えた後に引張強度試験用アタッチメントを取り付けて引張試験を行う。

2.3.5 モルタル付着力強度試験結果

表1内にて躯体番号及び躯体詳細を示し、図6～図12にモルタル下地試験によって得られた結果を示す。図6, 図8は試験方法と砂率をパラメータとした砂率を変更した引張試験を行い、図7, 図9は図6, 図8の引張試験時に剥離が発生した箇所を示す。

躯体ひずみ	躯体応力
100（μ）時	→ 3 ～ 4（N/mm ² ）
200（μ）時	→ 5 ～ 7（N/mm ² ）
400（μ）時	→ 11.6 ～ 14.3（N/mm ² ）
800（μ）時	→ 24.3 ～ 27.6（N/mm ² ）
備考）線膨張率（10×10 ⁻⁶ /℃）の時 10～80℃の受熱変形と同様	

a) 加力試験時における衝撃波形（加力数4回）

b) 荷重試験時ひずみデータ

図5 加力時・荷重計測時データ

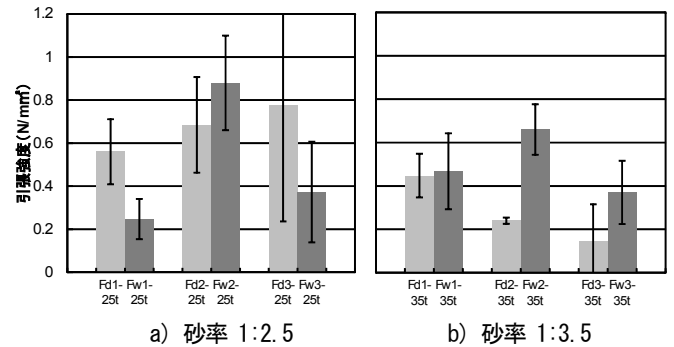


図6 水湿し、砂率、目荒しを考慮した引張試験（平(1), 中(2), 粗(3)）(28d)

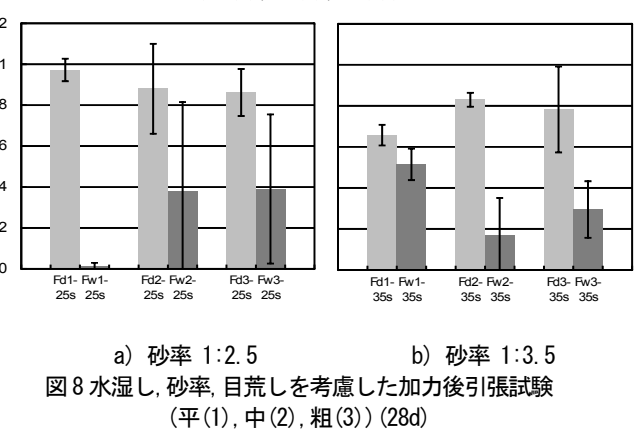
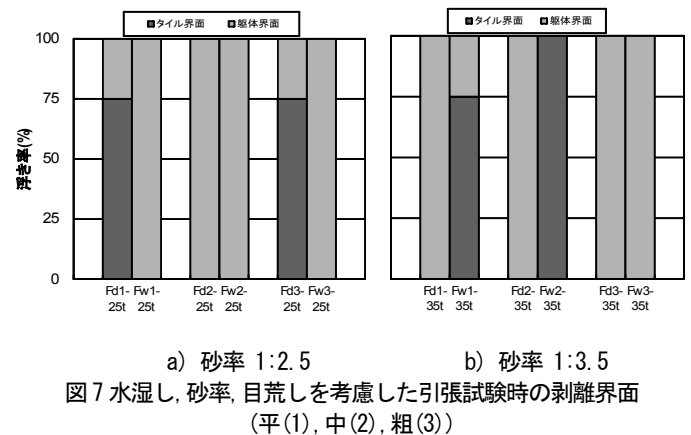


図8 水湿し、砂率、目荒しを考慮した加力後引張試験（平(1), 中(2), 粗(3)）(28d)

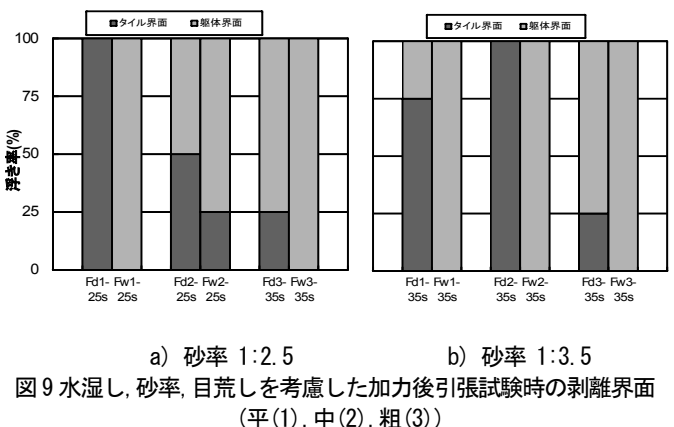


図9 水湿し、砂率、目荒しを考慮した加力後引張試験時の剥離界面（平(1), 中(2), 粗(3)）

図10は砂率が1:2.5時の目荒し程度の違いによる加力前、加力後引張試験を示し、図11は砂率1:3.5時の目荒し程度の違いによる加力前加力後引張試験結果を示す。図12に0, 100, 200, 400, 800 (μ) の荷重を加えた目荒し程度の違いによる荷重引張試験を示す。モルタル下地試験の結果考察として、図6 a)と図6 b)は砂率が異なるが結果として図6 a)の方が強度が出ている。これは図6 a)の方が砂率、1:2.5となっておりモルタルペーストが強い為だと考えられる。これは砂率1:3.5や目荒しが粗の場合など、モルタルが硬いものや目荒しの深さが深くなると施工技術が高くなる為、高い施工品質が要求される事になる。また目荒しと水湿しの関係について、目荒しにて目荒し前と比べると目荒し後は実面積にて増加しているが、過度の水湿しを行うと目荒し深部に水がたまり付着力が落ちる可能性が出てくる。図8～図11は加力が行われているが、これはモルタル状態を危険側に設定した物もあったため、安全性を求め12時間後に加力を行ったが、この時点ではまだモルタルに可塑性があった為、地震を想定した衝撃が可塑性のあるモルタルに幅広く吸収されて、剥離が生じず硬化後は圧密の影響で強度が上がった。しかしながらタイル重量によっては落下する危険性がある。この結果より施工後12時間程度、可塑性が認められる間までは地震力が加わっても強度低下は発生しないものと考えられる。図12はタイル施工行い28日が経過した後に、コンクリート躯体に対して荷重を加え0, 100, 200, 400, 800 (μ) のひずみを加えた結果であるが、砂率が1:3.5に比べ1:2.5の方が荷重毎に対して脆性的な強度低下を見せている。砂率1:3.5の方は微細なひずみにより強度の維持が来ている。これはモルタルの砂率が大きく関係しており、荷重が加わった際のモルタルペースト性が大きく関係していると言える。

3. まとめ

本研究より以下の知見が得られた。

- 1) 調査建物において剥離剥落原因は施工時環境が影響する事が分かり、剥離剥落防止に繋がる予防保全型の施工管理は重要である。
- 2) 躯体面への水湿しは張付けモルタル調合により水分が多いと効果が低下する為、水湿しが必要な施工時環境に把握が必要である。
- 3) 躯体面への目荒しは1mmを超える深さがある場合、モルタル調合により施工技術の影響が生じる可能性があり水湿しの余剰水が残留する可能性も考えられ付着強度に影響する。
- 4) モルタルの砂率は施工性を重視して決められるが、砂率が低い場合水湿しによる界面付着強度の低下や、

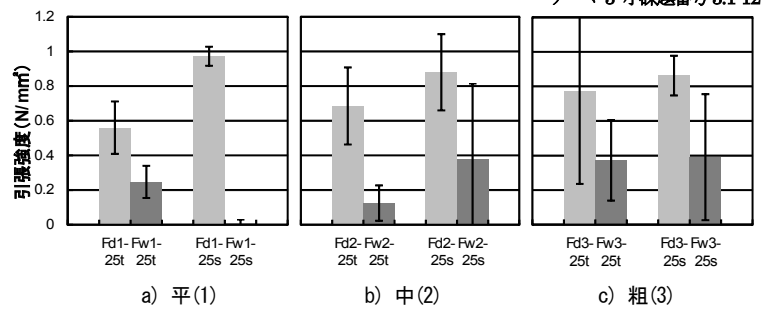


図10 目荒し程度の違いによる加力前、加力後引張試験 (砂率1:2.5)

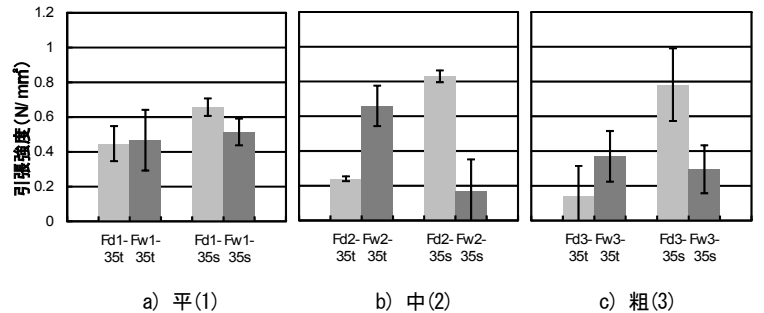


図11 目荒し程度の違いによる加力前、加力後引張試験 (砂率1:3.5)

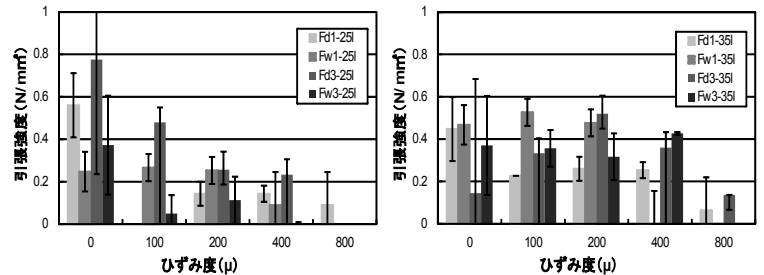


図12 目荒し程度の違いによる荷重引張試験 (平(1), 粗(3))

砂率が多い場合は荷重時のひずみの分散によりひび割れの局所化が妨げられ剥離防止に繋がる。

- 5) 施工時のタイルモルタルが可塑性がある段階で、衝撃力を受けた場合、タイル重量によってはひずみが分散しひび割れの局所化が妨げられ、強度低下が生じない場合がある。
- 6) 施工時の躯体が重量物や収縮の影響で800 (μ) に近づくひずみを生じた場合、付着力が低下し剥離しやすくなる。
- 7) 砂率が低くなると荷重に対して脆性的な強度低下を示し、逆に砂率が高くなると微細なひずみにより脆性的な破壊が回避された。
- 8) タイル施工を行う施工者は極端な施工を行う事は考えにくいですが、モルタル調合においてはモルタル粘度と水湿しの目安が必要である。

参考文献

- 1) 2013年度 JKK 東京古石場文化センター報告書,2013年
- 2) 建築工事標準仕様書・同解説 JASS15 左官工事 日本建築学会,2007
- 3) 建築工事標準仕様書・同解説 JASS19 陶器質タイル張り工事,日本建築学会,2005年
- 4) JIS ハンドブック,建築I,材料,2005年
- 5) JIS ハンドブック,建築II,試験・設備,2005年
- 6) 日本建築仕上学会, 外壁剥落防止対策研究委員会報告,「外壁仕上剥落防止対策の現状」1991年

謝辞

本研究の実施にあたり、東京都住宅供給公社 JKK 東京各位より多くの助力を賜り感謝致します。なお本研究の一部は、工学院大学 UDM 研究、H25 年度科学研究費 (若手 A:23680681 田村雅紀) による。