

# 繊維植込みシートを用いたタイル張付けモルタルの剥落防止工法

## Fall-off Prevention System with Fiber Implantation Sheet at Tile Adhesive Mortar

高松 誠\*<sup>1</sup>      遠藤 寛\*<sup>1</sup>      濱 茜\*<sup>1</sup>  
Makoto Takamatsu      Hiroshi Endo      Akane Hama

### 要旨

外壁タイルの剥落は大きな問題につながる事が多く、経年劣化や震災等による剥離・剥落の多くはコンクリート躯体とモルタル層の界面で生じている。繊維植込みシートを用いたタイル張付けモルタルの剥落防止工法は、コンクリート躯体表面に植え込まれた繊維のアンカー効果により、界面に剥離が生じてても容易にタイルが剥落しない状態を構築するものである。本報告は、繊維植込みシートを用いたタイル張付けモルタルの剥落防止工法について行った各種実験の結果をまとめたものである。

キーワード：剥落防止 繊維植込み 保持力 中性化 接着耐久性

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート造や鉄骨鉄筋コンクリート造の建物の外壁仕上げでは、下地モルタルをはじめとするモルタル層をコンクリート躯体表面に施し、タイル張り等の仕上げを行うことは少なくない。このタイル張り等の仕上げ層が経年劣化や地震等により剥離・剥落する場合、そのほとんどがコンクリート躯体表面とモルタル層の界面で生じている。したがって、モルタルによる仕上げ層の剥落を防止するためには、この界面において、剥落防止を図ることが重要となる。繊維植込みシートを用いたタイル張付けモルタルの剥落防止工法（以下、繊維植込み工法）は、コンクリート躯体表面とモルタル層の界面に繊維を植え込み、その繊維をアンカーとして作用させることでタイルの剥落防止を図るものである。

本報告は、既発表<sup>1)、2)</sup>の基礎実験の成果をベースに、工法として実用段階のものにステップアップさせることを目的に行った各種実験についてまとめたものである。

なお、本報告は2019年度日本建築学会大会（北陸）学術講演会にて報告された「繊維植込みシートを用いたタイル張付けモルタルの剥落防止工法に関する各種実験（その1～その6）」に加筆・修正したものであり、今回の一連の実験は、浅沼組、佐藤工業、西武建設、大末建設、東亜建設工業、東急建設、東洋建設、松村組および鴻池組の9社による共同研究として実施したものである。

## 2. 繊維植込み工法について

### 2.1 工法の特長

繊維植込み工法は、図1に示す概念図のように、特殊なシート（以下、繊維植込みシート）を用いてコンクリート躯体表面に繊維が植え込まれた状態を作り出す。この繊維がタイル張付けモルタル層あるいは不陸調整材の層と絡み合った状態で形成されることにより、コンクリート躯体表面とモルタル層の界面に剥離が生じててもタイルを含む張付け材料の自重に対して容易に剥落させない状態を構築することが可能となる。写真1に示すように、コンクリート圧壊時に躯体表面とモルタル層の界面に剥離が生じてても、超高压水洗浄法ではタイルが剥落しているのに対し、繊維植込み工法ではタイルが剥落していないことが確認できる。

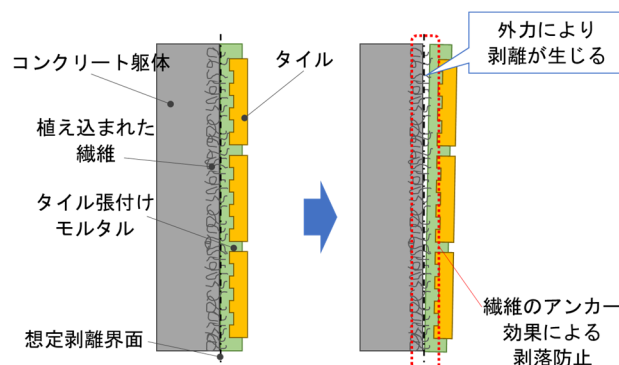


図1 繊維植込み工法の剥落防止概念図

\*1 技術研究所

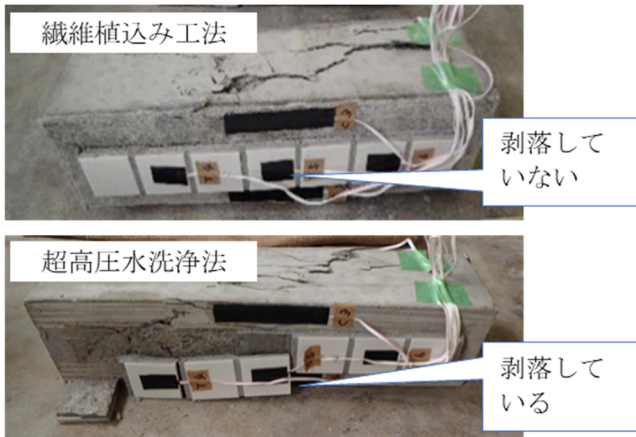


写真1 コンクリート圧壊時におけるタイルの接着状況

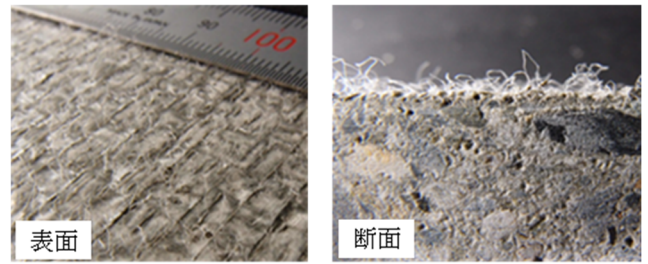


写真4 植え込まれた繊維

## 2.2 適用範囲

繊維植込み工法の適用範囲は、次の①～④とした。

- ① コンクリートの設計基準強度  
21N/mm<sup>2</sup>以上 36N/mm<sup>2</sup>以下
- ② コンクリートの種類  
JIS A 5308 (レディーミクストコンクリート) の普通コンクリート
- ③ タイル張り工法  
セメントモルタルによるタイル後張り工法のうち、  
コンクリート下地壁タイル直張り
- ④ タイルの形状・大きさ  
小口平、二丁掛、100角および50二丁以下

## 2.3 繊維植込みシート

繊維植込み工法に用いる繊維植込みシート(写真2)は、ポリプロピレン長繊維(以下、PP繊維)をポリエチレン基布にニードルパンチで植え込んだものである。型枠のコンクリート充填面に繊維植込みシートを貼り付け(写真3)、コンクリートを打ち込み、硬化後に型枠およびポリエチレン基布を除去することで、コンクリート中にPP繊維が植え込まれる(写真4)。

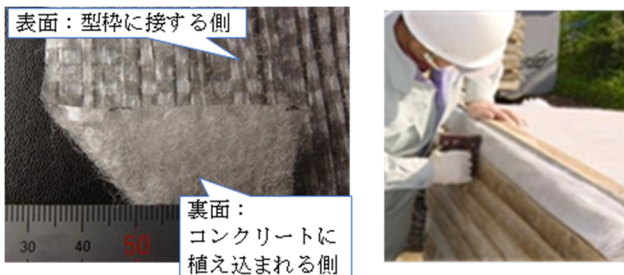


写真2 繊維植込みシート



写真3 シート貼付け

## 2.4 目標性能

繊維植込み工法の目標性能は、劣化作用後も引張接着強度が所要の値以上であること、コンクリート躯体の耐久性(中性化抵抗性)に悪影響のないこと、剥離後も繊維によって仕上材料の剥落を防止するための保持力があることとし、以下に示す3項目の性能を有することとしている。

- ① 温冷繰返し試験あるいは繰返し軸ひずみ追従性試験実施後の試験体において、引張接着強度が0.4N/mm<sup>2</sup>以上
- ② 繊維を植え込んでいないコンクリート素地と比較して、促進中性化試験による中性化深さが同等以下
- ③ せん断接着試験において、コンクリート躯体との界面で張付け材料が剥離した後の保持力が自重の10倍以上

## 3. 各種実験

### 3.1 繊維物性

#### 3.1.1 太さ・強度

コンクリート中に植え込まれるPP繊維の太さ(見掛繊維度)および強度(引張強さ)を調べた。試料は、同一ロットの中から抽出した3巻より採取した。見掛繊維度は17.91~17.98dtex、引張強さは64.46~69.17cNであり、繊維強度(引張強さ/見掛繊維度)は、3.60~3.86cN/dtexとなる。繊維植込み工法では、規格値(素材メーカー公称値)として、見掛繊維度17±1dtex、繊維強度2.2cN/dtex(約2.24gf/dtex)以上としている。なお、繊維1本あたりの引張強さを荷重で表すと、規格値より2.24×17=38gfとなる。

#### 3.1.2 融点

製造時期の異なる3ロットのPP繊維から試料を採取し、示差走査熱量計を用いて繊維の融点を測定した。その結果、PP繊維の融点は171.59℃~173.48℃であり、PP繊維の熔融温度としてはやや高めの値<sup>3)、4)</sup>であることがわかった。この結果と既往の研究<sup>5)</sup>から、本工法によって防耐火上のリスクが大きくなることはないと推察される。

### 3.2 中性化に対する抵抗性

#### 3.2.1 実験概要

繊維植込み工法により繊維が植え込まれたコンクリートの中性化抵抗性を検証するため、促進中性化試験を行った。表1にコンクリートの使用材料、表2にコンクリートの調合を示す。試験体は、88×100×400mmとし、呼び強度36および21の2種類のコンクリートを用いて各1体とした。一つの試験体に、「繊維植込みあり」と「繊維植込みなし」のコンクリート面を構築し、「繊維植込みあり」面は鋼製型枠の側面内側に繊維植込みシートを巻いた合板を設置してコンクリートを打ち込み作製した。コンクリート打ち込み後材齢4日にて脱型、脱型後は、JIS A 1153(コンクリートの促進中性化試験方法)に従い、水中養生4週間、気中養生4週間を行い、その後中性化の促進を開始した。

#### 3.2.2 実験結果

図2に促進中性化試験の結果、写真5に中性化状況(促進中性化期間26週)を示す。普通36-18-20N、普通21-18-20Nとも、いずれの促進中性化期間においても、「繊維植込みあり」の試験体は「繊維植込みなし」の試験体と比較して中性化深さが小さくなった。このことから、繊維植込み工法によって施工されたコンクリートの中性化抵抗性が低下することはないことがわかった。

表1 コンクリートの使用材料

材料種類	諸元
セメント	普通ポルトランドセメント、密度：3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材1	福岡県北九州市産石灰石砕砂、表乾密度：2.69g/cm <sup>3</sup> 、吸水率：0.65%
細骨材2	大阪府高槻市産砕石、表乾密度：2.65g/cm <sup>3</sup> 、吸水率：1.37%
粗骨材	大阪府茨木市産砕石、表乾密度：2.69g/cm <sup>3</sup> 、吸水率：0.67%、実積率：59.2%
練混ぜ水	工業用水
混和剤	AE減水剤、高性能AE減水剤

表2 コンクリートの調合

記号	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
			セメント	水	細骨材1	細骨材2	粗骨材	混和剤
普通36-18-20N	44.0	45.7	409	180	238	549	941	3.15
普通21-18-20N	63.0	46.5	310	195	249	573	949	3.1

注)：フレッシュコンクリートの試験結果

[普通36-18-20N]スランプ19.5cm、空気量4.4%、温度19℃

[普通21-18-20N]スランプ19.5cm、空気量4.0%、温度19℃

圧縮強度試験結果

[普通36-18-20N]材齢28日圧縮強度(標準養生)52.6N/mm<sup>2</sup>

[普通21-18-20N]材齢28日圧縮強度(標準養生)33.3N/mm<sup>2</sup>

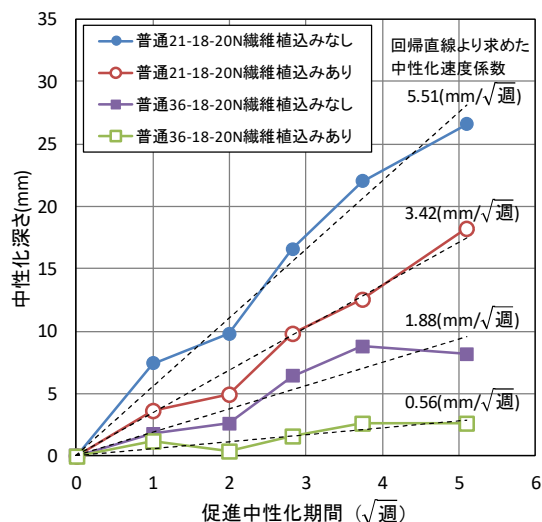


図2 促進中性化試験の結果

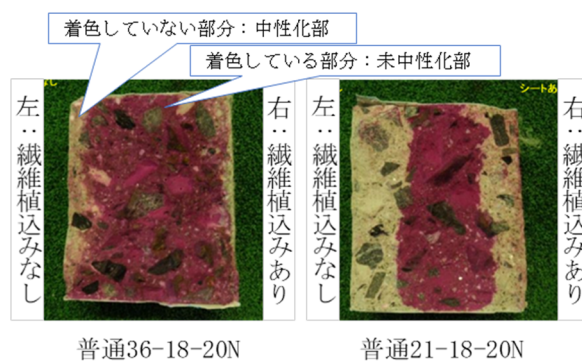


写真5 中性化状況(促進中性化期間26週)

### 3.3 温冷繰返しに対する抵抗性

#### 3.3.1 実験概要

繊維植込み工法による構造物の外壁について、季節変化や日中の日射熱および夜間の冷却等の繰返しで生じるひずみ作用に対する接着耐久性を検証するため、温冷繰返し試験を行った。表3に試験体の概要、図3に試験体の断面構成を示す。試験体下地は、300×300×50mmのコンクリート板とした。試験体は3種類作製し、繊維植込みシートを用いた繊維植込み面(F)、繊維植込み面に吸水調整材を塗布した面(FQ)および超高压水洗浄法(以下、超高压)にて目荒らしを施した面に吸水調整材を塗布した面(NQ)にそれぞれタイル張りを行った。温冷繰返しによる劣化処理はJIS A 6909(建築用仕上塗材)の温冷繰返し試験に準じ、20℃水中18時間浸漬→20℃気中恒温器3時間冷却→50℃気中恒温器3時間乾燥の24時間を1サイクルとした。劣化処理は12サイクル実施し、劣化処理後の引張接着強度を確認した。また、劣化処理をしていない試験体(標準時)においても同様に引張接着強度を確認した。試験箇所は試験体1体あたり5カ所とした。



表 3 試験体の概要

項目	内容
コンクリート下地	普通27-18-20N 8日後脱型、40日間気中保存 (20℃、60%R.H.)
タイル	50角モザイクタイル (JIS A 5209適合品)
タイル張付け材料	既製調合ポリマーセメントモルタル (JIS A 6916適合品)
目地材	既製調合モルタル (公共建築協会評価名簿登録品)
吸水調整材	エチレン酢酸ビニル系高分子エマルジョン (公共建築工事標準仕様書適合品)
タイル張付け	直張り、モザイクタイル張り 28日以上湿空養生 (20℃、80%R.H.以上)
下地状況	繊維植込み工法、超高圧水洗浄法

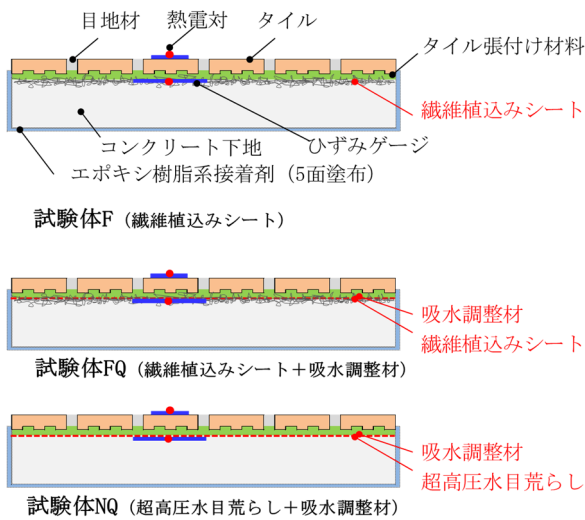


図 3 試験体の断面構成

3.3.2 実験結果

図 4 に引張接着強度の測定結果（温冷繰返し）を示す。繊維植込み工法による試験箇所全てのにおいて、温冷繰返し後（劣化処理後）の引張接着強度は、目標とする  $0.4\text{N/mm}^2$  を上回っていた。破壊状況は繊維植込み層を含むコンクリートと張付けモルタルの凝集破壊であった。また、標準時および劣化処理後のそれぞれにおいて、試験体 F、試験体 FQ および試験体 NQ の 3 種類の間で引張接着強度に大きな差はみられなかった。

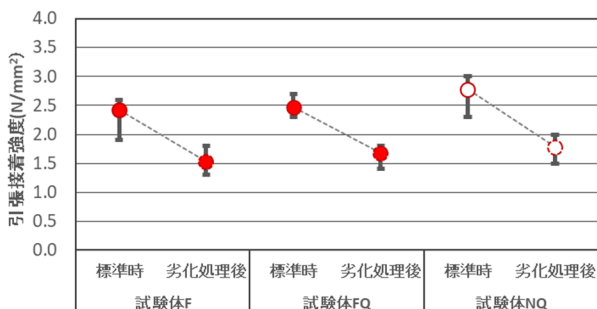


図 4 引張接着強度の測定結果（温冷繰返し）

3.4 繰返しひずみに対する抵抗性

3.4.1 実験概要

(1) 繰返し軸ひずみ追従性試験

繊維植込み工法の接着耐久性能の検証を目的に、圧縮荷重でタイル接着界面に一定のひずみを残留させた状態から、100 年に相当する回数のひずみ差を生じさせる繰返し軸ひずみ追従性試験を行い、荷重の有無による引張およびせん断接着強度の違いを調べた。

繰返し軸ひずみ追従性試験は、既往の文献<sup>6),7)</sup>を参考に、2000kN 高剛性試験機を用いて、応力制御による 1Hz の正弦波入力による定常加振による圧縮荷重を行った。繰返し回数は 36,500 回とした。荷重の下限値は長期許容応力度に相当する応力 ( $1/3\sigma_B$ )、上限値は 1 日の温度変化によるひずみ差を想定したコンクリート圧縮ひずみの振れ幅が  $200\mu$  に相当する応力 ( $1/3\sigma_B + \sigma_{200\mu}$ ) とした。 $\sigma_B$  は繰返し軸ひずみ追従性試験と同形状の試験体で単調軸ひずみ試験を行い決定した。図 5 に繰返し軸ひずみ追従性試験の測定例を示す。

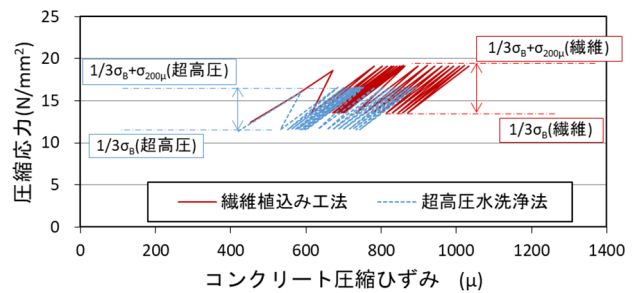


図 5 繰返し軸ひずみ追従性試験の測定例

図 6 に試験体の形状を示す。試験体の概要は前節表 3 と同様である。試験体の下地は、 $100 \times 100 \times 400\text{mm}$  の鋼製型枠の 2 側面に繊維植込みシートを両面テープで貼り付け、普通 27-18-20N のコンクリートを横打ちで作製した。養生終了後試験体を縦置きし、タイル裏足が荷重方向と直角するように繊維植込み面にタイル張りをを行った。目地は、引張接着試験面はタイルの四周、せん断接着試験面は水平方向のみに設けた。また、ひずみゲージを図 6 に示す位置に貼り付けた。比較用として、超高圧目荒し面へのタイル張り試験体も作製した。試験体数は、繰返し荷重の有無それぞれ 3 体とし、合計 12 体とした。

(2) 引張接着試験

引張接着試験は、250kN 万能試験機を用いて、変位制御で行った。加力速度は、最大荷重到達までは  $0.5\text{mm/min}$ 、最大到達後は  $2.0\text{mm/min}$  とした。変位は試験機のストロークとし、変位の最大が  $10\text{mm}$  まで加力した。試験箇所は図 6 に示すとおり試験体 1 体あたり 3 カ所とした。



(3) せん断接着試験

せん断接着試験は、250kN 万能試験機を用いて、変位制御で行った。加力速度は、最大荷重到達までは1.0mm/min、最大到達後は2.0mm/minとした。変位は試験機のストロークとし、変位の最大が10mmまで加力した。また、せん断試験前に加力方向と平行の目地をコンクリート下地内まで切断後、図7に示すようにコンクリート下地と張付けモルタルとの接着界面がせん断応力の作用面となるように、タイルと張付けモルタルの両方の小口面を加力面とした。写真6にせん断接着試験状況を示す。

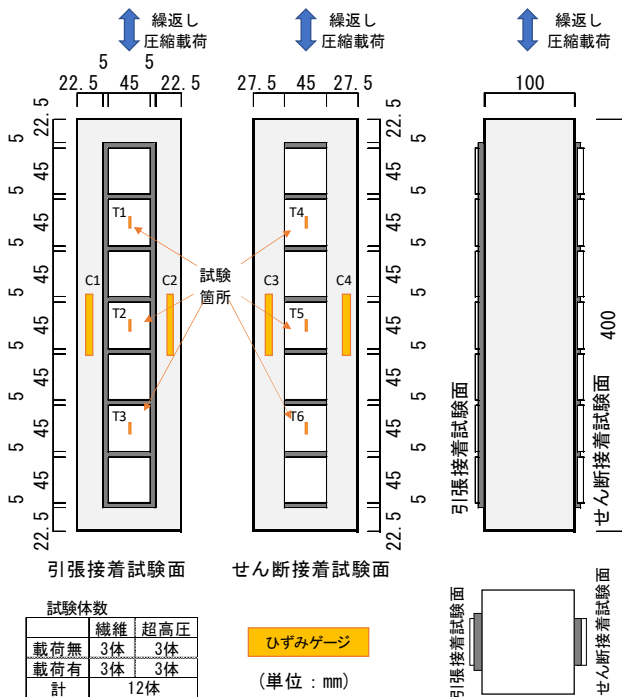


図6 試験体の形状

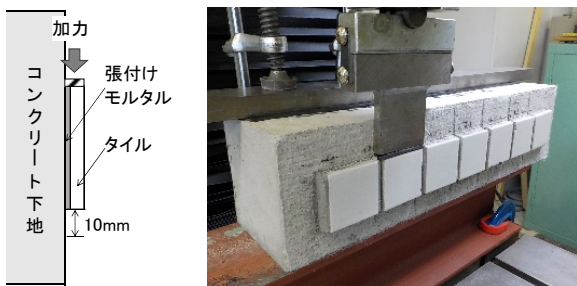


図7 試験概念図



写真6 せん断接着試験状況

3.4.2 実験結果

(1) 引張接着強度

図8に引張接着強度の測定結果(繰返しひずみ)、図9に繊維植込み工法の破壊形式と面積比率(繰返しひずみ・引張)を示す。なお、本項以降の破壊形式の凡例を表4にまとめて示す。繊維植込み工法の引張接着強度の平均値は、

繰返し載荷無が1.80N/mm<sup>2</sup>、同載荷有は1.97N/mm<sup>2</sup>であった。破壊状況は、繊維植込み層を含むコンクリートの凝集破壊が支配的であり、張付けモルタルの凝集破壊がわずかにあった。繰返し載荷有の引張接着強度はバラツキがやや大きくなったものの、目標とする0.4N/mm<sup>2</sup>を上回っていた。さらに、JASS 19における判定基準(以下、判定基準)の0.4N/mm<sup>2</sup>を上回り、かつ張付けモルタルとコンクリートの界面破壊率も50%未満<sup>8)</sup>を満足し、接着力の耐久性を有するものと考えられる。超高压は、繰返し載荷無が2.31N/mm<sup>2</sup>、同載荷有は2.22N/mm<sup>2</sup>であり、破壊状況は、全てコンクリートでの凝集破壊であった。

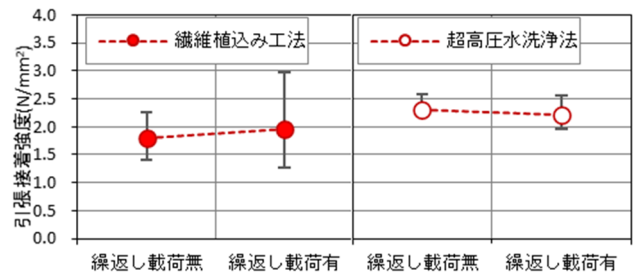


図8 引張接着強度の測定結果(繰返しひずみ)

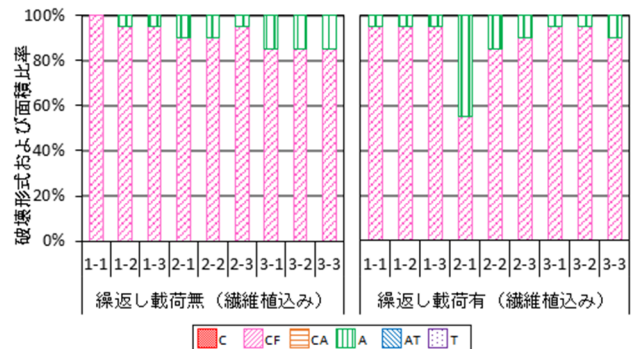


図9 破壊形式と面積比率(繰返しひずみ・引張)

表4 破壊形式の凡例

記号	破壊形式
C	コンクリートの凝集破壊(繊維層を含まず)
CF	コンクリートの凝集破壊(繊維層を含む)
CD	断面修復材とコンクリートの界面破壊
CM	不陸調整材とコンクリートの界面破壊
CA	張付けモルタルとコンクリートの界面破壊
D	断面修復材の凝集破壊(繊維層を含まず)
DF	断面修復材の凝集破壊(繊維層を含む)
DM	不陸調整材と断面修復材の界面破壊
DA	張付けモルタルと断面修復材の界面破壊
M	不陸調整材の凝集破壊(繊維層を含まず)
MF	不陸調整材の凝集破壊(繊維層を含む)
MA	張付けモルタルと不陸調整材の界面破壊
A	張付けモルタルの凝集破壊
AT	タイルと張付けモルタルの界面破壊
T	タイルの凝集破壊

図10に引張接着応力（以下、引張応力）と変位の関係を示す。超高压では最大引張応力に達すると同時にタイルは剥落した。これに対し繊維植込み工法では、繰返し载荷無・有ともに、最大引張応力に達したのち急激に引張応力は低下し、この時点で剥離が発生していたが、剥落しなかった。その後加力を継続したところ、引張応力は上昇するもその

後漸減する結果であった。このことから、繊維植込み工法では、繊維のアンカー効果によりタイルが剥落することはなく、タイル張付けモルタル層の剥落防止性能を有しているものと考えられる。なお、超高压において引張応力が1.0N/mm<sup>2</sup>を超えた後に変位が大きくなった原因としては、試験体の固定に使用した万力の固定度不足の影響を受けたことが考えられ、繊維植込み工法の試験では固定度を強化した。

(2) せん断接着強度

図11にせん断接着強度の測定結果を、図12に破壊形式と面積比率（繰返しひずみ・せん断）を示す。繊維植込み工法のせん断接着強度の平均値は、繰返し载荷無が2.06N/mm<sup>2</sup>、同载荷有は1.51N/mm<sup>2</sup>であった。超高压の平均値は、繰返し载荷無が2.67N/mm<sup>2</sup>、同载荷有は2.29N/mm<sup>2</sup>であった。また、繊維植込み工法、超高压ともに、繰返し载荷有のせん断接着強度は、100年相当のひずみ差が作用したことで低下し、バラツキも大きくなった。破壊状況は、繰返し载荷無・有ともに、植え込まれた繊維層を含むコンクリートの凝集破壊が大部分を占め、繊維の破断がみられた。超高压ではコンクリートの凝集破壊が支配的であった。

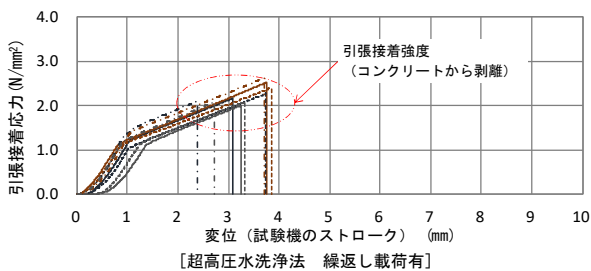
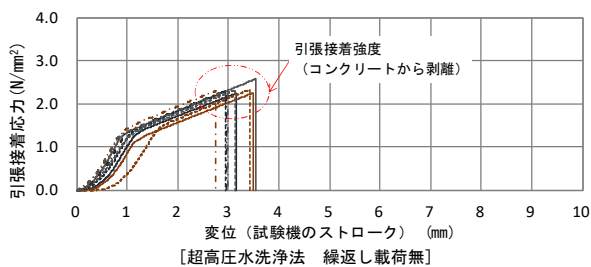
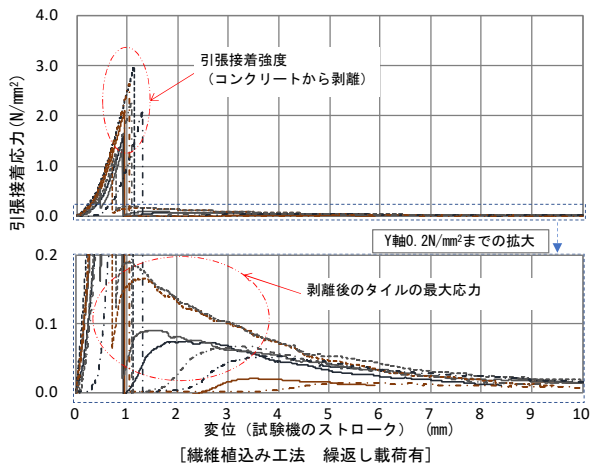
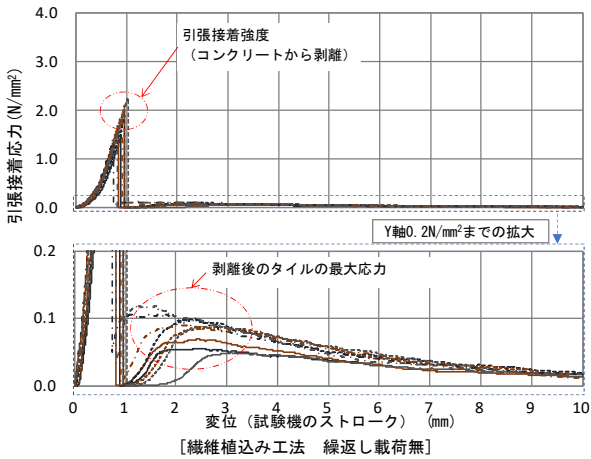


図10 引張接着応力と変位の関係

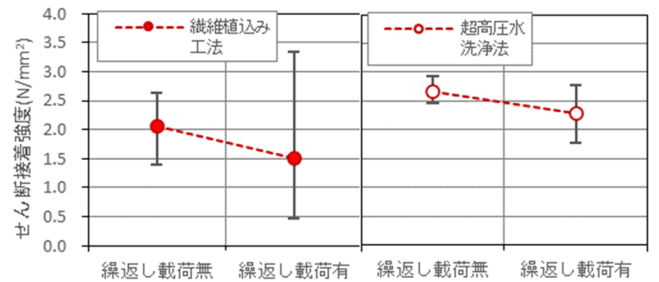


図11 せん断接着強度の測定結果

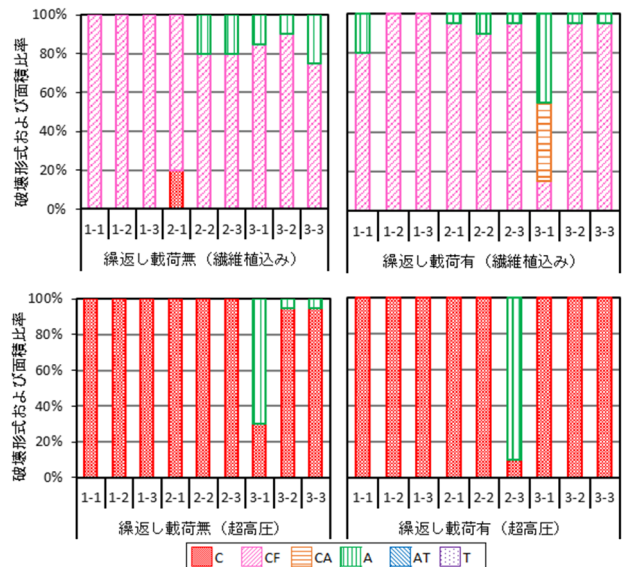


図12 破壊形式と面積比率（繰返しひずみ・せん断）

図13にせん断接着応力（以下、せん断応力）と変位の関係を示す。超高压では、最大せん断応力に達すると同時にタイルは剥落した。これに対し繊維植込み工法では、繰返し载荷無・有ともに、最大せん断応力に達したのち急激にせん断応力は低下し、この時点で剥離が発生しているもののゼロに戻ることはなく、剥落しなかった。加力継続後の

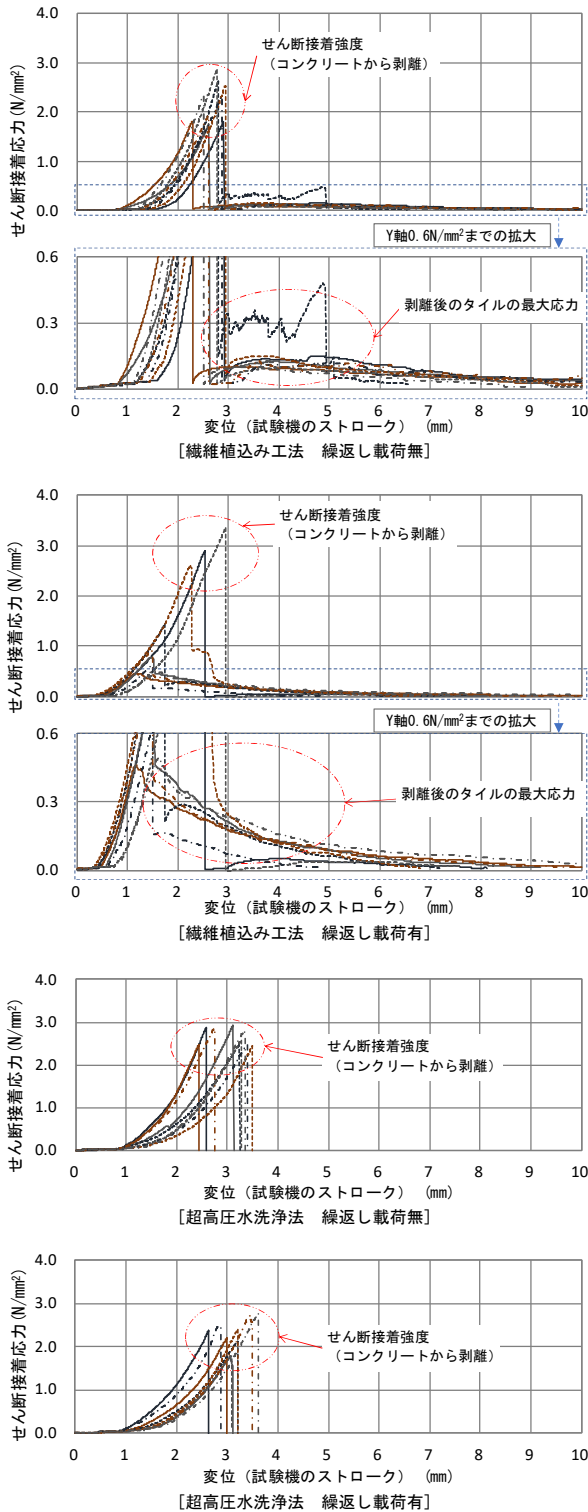


図13 せん断接着応力と変位の関係

せん断応力と変位の関係については、図14に示すように、大きく2つに分類される。せん断応力の最大値が高かった試験体では、せん断応力は大きく低下したのち再び漸増し、2回目のピークを迎えたのち漸減した。一方、せん断応力の最大値が比較的低かった繰返し载荷有の一部の試験体では、最大値からのせん断応力の低下は小さく、再びせん断応力が上昇することなくそのまま漸減した。前者では2回目のピークのせん断応力を、後者では最大値から低下した時のせん断応力をそれぞれタイル剥離後の残留せん断応力とした。残留せん断応力の平均値は、繰返し载荷無が0.16N/mm<sup>2</sup>、繰返し载荷有は0.32N/mm<sup>2</sup>であった。加力は最大10mmまで継続したが、繊維植込み工法の試験体は、タイルは剥がれ落ちることはなく、繊維により連結していた(写真7)。このことから、10mm変位しても剥落防止性能を有していることが確認された。

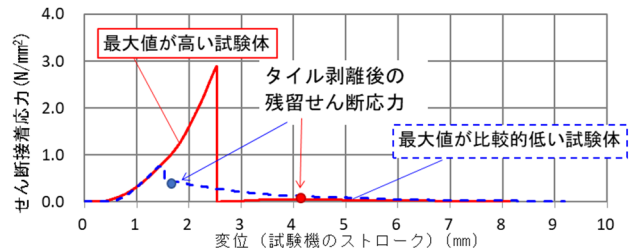


図14 タイル剥離後の残留せん断応力(例)



写真7 せん断接着試験後の状況

せん断接着試験において、タイル剥離後に残留したせん断応力は、繊維のアンカー効果によるタイルを含めた仕上げ層の保持力とみなすことができる。表5にタイルと張付けモルタルを合わせた仕上げ層の自重と保持力とを比較した結果を示す。自重はタイルと張付けモルタルの厚さ合計を20mm、タイルと張付けモルタルの密度をともに2.3g/cm<sup>3</sup>として想定した。仕上げ層の自重に対して、保持力は繰返し载荷無では222~1,064倍、繰返し载荷有では89~2,017倍であり、バラツキはかなりあるものの、剥離後も植込み繊維のアンカー効果によりタイルの自重に対して十分な保持力を有し、剥落に対する抵抗効果が期待できるものと考えられる。



表5 タイルを含めた仕上げ層の自重と保持力の比較結果

		繰返し載荷無		繰返し載荷有	
		保持力 (N/mm <sup>2</sup> )	自重*比較 (倍)	保持力 (N/mm <sup>2</sup> )	自重*比較 (倍)
1	1	0.15	332	0.05	111
	2	0.10	222	0.23	510
	3	0.13	288	0.45	997
2	1	0.48	1,064	0.29	644
	2	0.15	332	0.91	2,017
	3	0.10	222	0.04	89
3	1	0.12	266	0.16	355
	2	0.13	288	0.39	864
	3	0.10	222	0.32	709
平均		0.16	359	0.32	699

\* タイル仕上げ層の自重による引張力：0.45×10<sup>3</sup> (N/mm<sup>2</sup>)

### 3.5 実大壁施工による検証（施工方法）

#### 3.5.1 実験目的

実施工における施工方法と張付けタイルの接着性能の検証を行うため、実大壁試験体を用いた実験を行った。施工方法については、繊維植込みシートの貼付け方法の違いによるコンクリート表面の繊維植込み状況を観察して確認し、接着性能については、タイル直張りとな陸調整面へのタイル張りを対象とした引張接着試験を行い確認した。

#### 3.5.2 実験概要

##### (1) 実大壁試験体 A

図15に実大壁試験体Aの概要を示す。実大壁試験体の大きさは2,400×2,150×180mmとした。型枠パネルは幅600mmとし、繊維植込みシート（幅740mm）をパネル小口まで巻き込み、図16に示すように、型枠パネルの長手中央と小口にシートをステープルで留め付け、Pコンまたはカップセバを取り付けたセパレータを用いて型枠の組立てを行った。また、セパレータ周りの繊維植込みシートの留付けは、ステープルなしと2本または4本留めとした。写真8に型枠内の状況を示す。

コンクリートは普通27-18-20Nを使用した。荷卸し時スランプは18.0cm、空気量は3.7%、温度は27℃であった。打込み前に散水を行い、バケツを用いてコンクリートを打ち込み、棒形振動機を繊維植込みシート面に当てないようにして締固めを行った。

材齢5日（圧縮強度23.2N/mm<sup>2</sup>（現場封かん））に型枠を脱型し、繊維植込み面の出来形を観察した。材齢28日圧縮強度は31.8N/mm<sup>2</sup>であった。

##### (2) タイル張り

不陸調整は、コンクリート打込み約5カ月後に、写真9に示す範囲に行った。不陸調整材はJ材またはN材の2銘柄とした。不陸調整を行った18日後、表6に示す材料を用い、表7に示す組合せでタイル張りを行った。タイル張り

前に、コンクリート下地面および不陸調整面には、ドライアウト防止策として、吸水調整材塗布または水湿しを行った。なお、ブリーディング水により表面がわずかに白くなるレイタンス発生面では、レイタンスを除去せずにタイルを張り付けた。

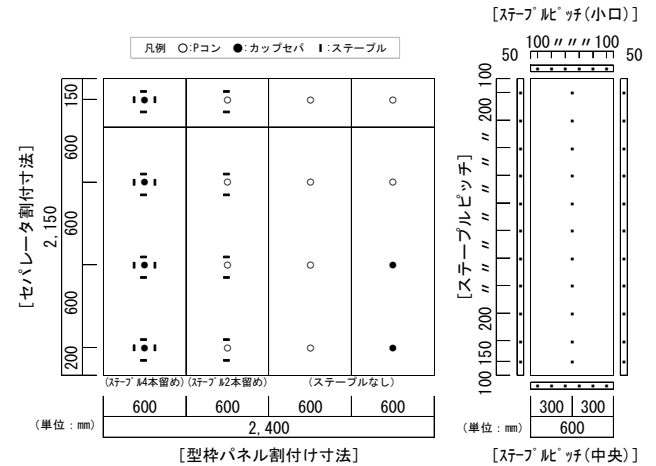


図15 実大壁試験体Aの概要

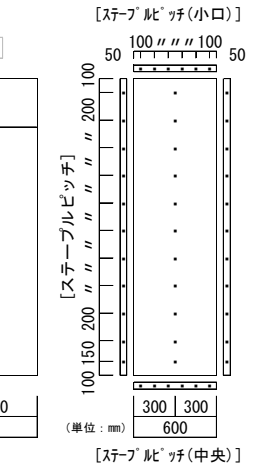


図16 シート留付け要領

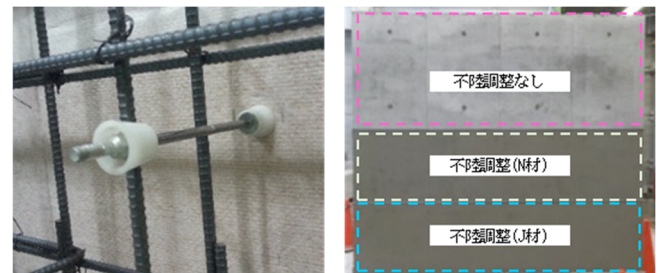


写真8 型枠内の状況 写真9 タイル張付け前の下地状況

表6 使用材料

項目	内容
タイル	50二丁モザイクタイル (JIS A 5209適合品)
タイル張付け材料	既製調合ポリマーセメントモルタル (JIS A 6916適合品)
目地材	既製調合モルタル (公共建築協会評価名簿登録品)
吸水調整材	エチレン酢酸ビニル系高分子エマルジョン (公共建築工事標準仕様書適合品)
不陸調整材	セメント系下地調整厚塗材CM-2 : J材、N材 (JIS A 6916適合品)

表7 タイル張り前の下地条件の組合せ

記号	不陸調整	ドライアウト防止策	レイタンス有無
AT1	J材	吸水調整材塗布	なし
AT2	N材		
AT3	なし		
AT4		水湿し	あり
AT5			なし
AT6	あり		

(3) 引張接着試験

引張接着試験は、日本建築工学会認定の油圧式接着力試験機を用いて、タイル張付け1カ月後、下地条件ごとに3カ所のタイルについて行った。写真10に試験箇所を示す。試験後、南面に向けて屋外暴露を開始し、暴露1年後に同様に引張接着試験を行った。

3.5.3 実験結果

(1) 型枠脱型後の繊維植込み状況

写真11に型枠脱型後の繊維植込み状況を示す。繊維植込みシートの基布は型枠パネルと一緒に除去することができた。ただし、型枠小口に巻き付けた繊維植込みシートの繊維は残ったため、不要な繊維は別途除去する必要がある。また、Pコン周りの施工面では、Pコン周りに留付けがなかった場合は型枠組立時のPコンの空回しにより繊維が絡みつくこととなり、周囲に繊維の抜けが認められた。その他の施工面は健全な繊維植込み状況を確認することができた。

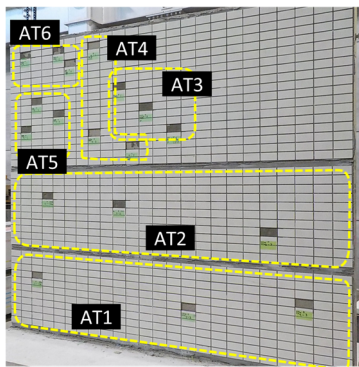


写真10 試験箇所(施工方法)

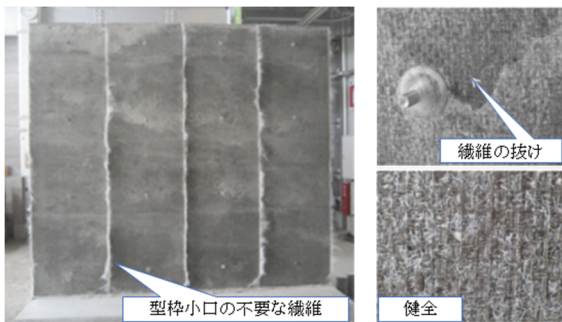


写真11 型枠脱型後の繊維植込み状況

(2) 引張接着試験

図17に下地条件の違いによる引張接着強度、図18に破壊形式と面積比率（施工方法）を示す。なお、凡例は発生した破壊形式のみ記した。

① コンクリート下地面へのドライアウト防止策

引張接着強度は、ドライアウト防止策として吸水調整材を塗布したAT3では2.41N/mm<sup>2</sup>、水湿しを行ったAT5では

2.01N/mm<sup>2</sup>であり、いずれも判定基準の0.4N/mm<sup>2</sup>を大きく上回った。破壊状況は張付けモルタルの凝集破壊が支配的であった。このことから、繊維植込み面でも吸水調整材塗布または適切な水湿しによりドライアウトを防止できると考えられる。

② 不陸調整面

引張接着強度は、J材を用いた不陸調整面のAT1では1.84N/mm<sup>2</sup>、N材を用いた不陸調整面のAT2では2.10N/mm<sup>2</sup>であった。いずれも判定基準の0.4N/mm<sup>2</sup>を大きく上回った。破壊状況はAT1では不陸調整材の凝集破壊が支配的であり、AT2では張付けモルタルの凝集破壊が支配的であった。このことから、繊維植込み工法でも不陸調整材による不陸調整(補修)が可能であると考えられる。

③ レイタンス発生面

レイタンス発生面の引張接着強度は、吸水調整材を塗布したAT4では1.68N/mm<sup>2</sup>、水湿しを行ったAT6では1.77N/mm<sup>2</sup>であった。また、剥離後も引張応力が確認された。破壊状況は、AT4では繊維層を含むコンクリート凝集破壊、AT6では張付けモルタルの凝集破壊がそれぞれ支配的であった(写真12)。いずれも判定基準の0.4N/mm<sup>2</sup>を上回り、破壊状況も良好であったが、レイタンスがない健全面に比べると引張接着強度が低いため、繊維植込み工法においてもレイタンスの除去は原則とすべきと考えられる。

④ 暴露1年目

暴露1年目の引張接着強度は暴露前よりも増加していた。破壊状況は張付けモルタルの凝集破壊が支配的であった。

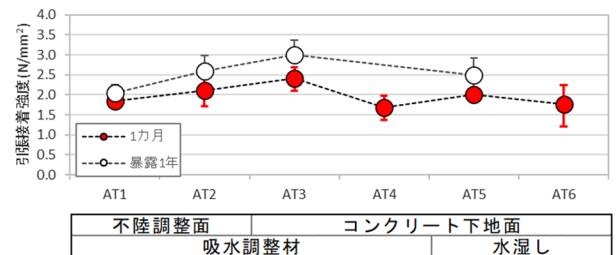


図17 引張接着強度の測定結果(施工方法)

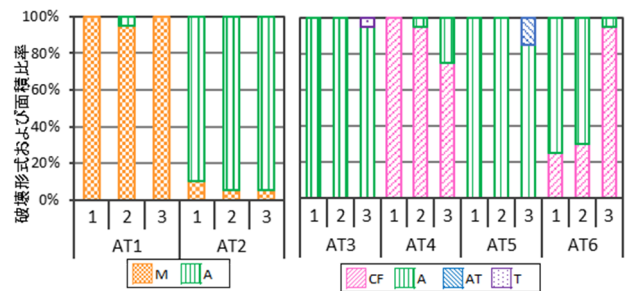


図18 破壊形式と面積比率(施工方法)



写真12 破壊状況の例 (AT4\_3)

### 3.6 実大壁施工による検証 (補修方法)

#### 3.6.1 実験目的

繊維植込み工法を適用した場合、コンクリートの打込みや締固め不良等により、躯体の不具合のみならず繊維植込みの不良部分が発生することが考えられる。実験では、実大壁試験体に擬似的に発生させた不良部分を断面修復し、新たに繊維植込み面を構築する方法の適用検証を行った。

#### 3.6.2 補修方法

繊維植込み面の補修方法は、繊維植込みシートの後貼りによる方法とし、実験では、豆板部分のはつり後の断面修復時、断面修復後の不陸調整時および繊維除去後の不陸調整時のそれぞれの段階で繊維植込みシート後貼り補修を行う場合について検証した。また、レイタンス発生面の補修方法についても検証した。

#### 3.6.3 実験概要

##### (1) 実大壁試験体 B

図19に実大壁試験体Bの概要を示す。実大壁試験体の大きさ、繊維植込みシートの貼付け方法および型枠パネルの割付けは試験体Aと同様である。型枠の組立てはPコンを取り付けたセパレータを用い、セパレータ周りの繊維植込みシートの留付けはステーブル4本留めとした。また、図19中の▲で示す箇所では、コンクリートの打込み途中に、同じコンクリートから5mm目のフルイを用いてウェットモルタルを取り除いた粗骨材を投入することで擬似的に豆板を発生させ、■で示す箇所では、コンクリートのかぶり部分をはつり取ることで断面欠損部を作製した。写真13に実大壁試験体Bの外観、写真14にはつり後の状況を示す。

##### (2) 補修

断面修復は、コンクリート打込み約5カ月後に、表8に示す材料を用い、表9に示す組合せで行った。断面修復材はC材、D材の2銘柄とした。BT1とBT2は断面修復材の表面押え時に繊維植込みシートが濡れ色になるまでコテで押さえて貼り付けた。BT3とBT4は断面修復を面落ちで施工し、その2週間後の不陸調整時に同様に繊維植込みシートを貼り付けた。BT5はカップ掛けで表面の植込み繊維を除去した後、不陸調整時に同様に繊維植込みシートを貼り付けた。写真15に繊維植込みシートの後貼り状況を示す。

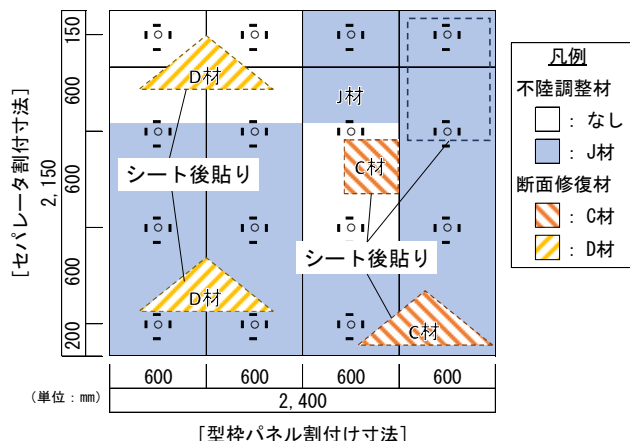


図19 実大壁試験体Bの概要

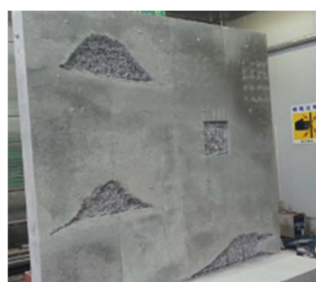


写真13 実大壁試験体Bの外観

写真14 はつり後状況

表8 使用材料

項目	内容
タイル	50二モザイクタイル (JIS A 5209適合品)
タイル張付け材料	既製調合ポリマーセメントモルタル (JIS A 6916適合品)
目地材	既製調合モルタル (公共建築協会評価名簿登録品)
吸水調整材	エチレン酢酸ビニル系高分子エマルジョン (公共建築工事標準仕様書適合品)
不陸調整材	セメント系下地調整厚塗材CM-2 : J材 (JIS A 6916適合品)
断面修復材	高強度ポリマーセメント系断面修復材 : D材、C材

表9 補修方法の組合せ

記号	繊維植込み面の状況	断面修復	不陸調整
BT1	豆板 (はつり)	C材 (後貼り)	なし
BT2		D材 (後貼り)	
BT3		C材	J材 (後貼り)
BT4		D材	
BT5	繊維除去 (カップ掛け)	なし	なし
BT6	レイタンス (未処理)		
BT7	レイタンス (ワイヤブラシ掛け)		
BT8	健全		J材

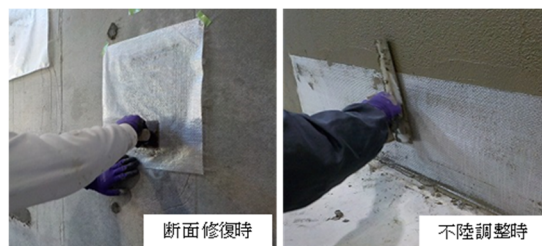


写真15 繊維植込みシートの後貼り状況



繊維植込みシートの基布の除去は、断面修復材または不陸調整材の強度発現後に行い、健全な繊維植込み面が形成されていることを確認した。さらに2週間後にタイルを張り付けた。

なお、レイトンス発生面のBT6ではレイトンスを除去せずに、BT7ではワイヤブラシでレイトンスを除去し、それぞれタイルを張り付けた。BT8では健全な繊維植込み面に不陸調整材を用いて補修した後に、タイルを張り付けた。

**(3) 引張接着試験**

タイル張付け1カ月後および暴露1年後に実大壁試験体Aと同様に引張接着試験を行った。写真16に試験箇所(補修方法)を示す。

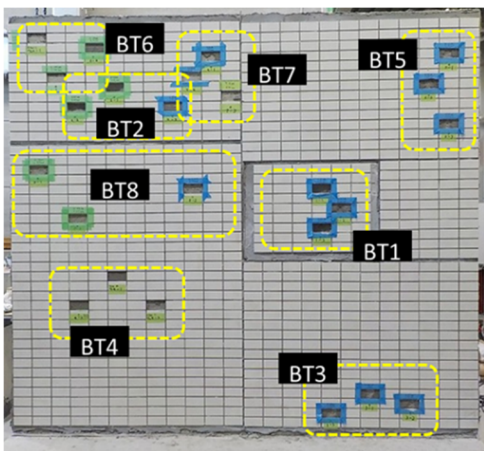


写真16 試験箇所(補修方法)

**3.6.4 実験結果**

図20に補修方法の違いによる引張接着強度の測定結果、図21に破壊形式と面積比率(補修方法)を示す。なお、凡例は発生した破壊形式のみ記した。

①豆板補修面〔断面修復材+繊維植込みシート後貼り〕

断面修復時に繊維植込みシートを後貼りした面の引張接着強度は、C材を用いた断面修復面のBT1では2.30N/mm<sup>2</sup>、D材を用いた断面修復面のBT2では1.94N/mm<sup>2</sup>であり、いずれも判定基準の0.4N/mm<sup>2</sup>を上回った。破壊状況は断面修復材の凝集破壊が支配的であり、一部では張付けモルタルの凝集破壊があった。このことから、断面修復時の繊維植込みシートの後貼りは可能であると考えられる。ただし、断面修復面へ直に繊維植込みシートを後貼りした場合、不陸が発生しやすいため、注意が必要と考えられる。

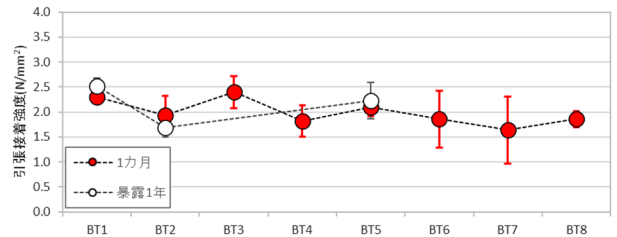
②豆板補修面〔断面修復材+不陸調整材+繊維植込みシート後貼り〕

断面修復後の不陸調整時に繊維植込みシートを後貼りした面の引張接着強度は、C材を用いた断面修復面のBT3では2.40N/mm<sup>2</sup>、D材を用いた断面修復面のBT4では1.82N/mm<sup>2</sup>

であり、いずれも判定基準の0.4N/mm<sup>2</sup>を上回った。破壊状況は、張付けモルタルの凝集破壊が支配的であり、一部で不陸調整材の凝集破壊があった。このことから、断面修復後の不陸調整時に繊維植込みシートの後貼りは可能であると考えられる。

③不陸調整面〔繊維除去+不陸調整材+繊維植込みシート後貼り〕

引張接着強度は、繊維除去後の不陸調整時に繊維植込みシートを後貼りした面のBT5では2.10N/mm<sup>2</sup>、繊維健全面の不陸調整時の繊維植込みシート後貼り面のBT8では1.86N/mm<sup>2</sup>であり、いずれも判定基準の0.4N/mm<sup>2</sup>を上回った。破壊状況は、BT5では張付けモルタルの凝集破壊、BT8では不陸調整材の凝集破壊が支配的であった。このことから、繊維除去後の不陸調整時の繊維植込みシートの後貼りは可能であると考えられる。



	豆板 はつり				不陸面 カップ 掛け	レイトンス発生面		健全面
	C材	D材	C材	D材		未処理	ワイヤ ブラシ	-
断面修復						なし		
不陸調整	なし			J材				
シート後貼り			あり				なし	J材

図20 引張接着強度の測定結果(補修方法)

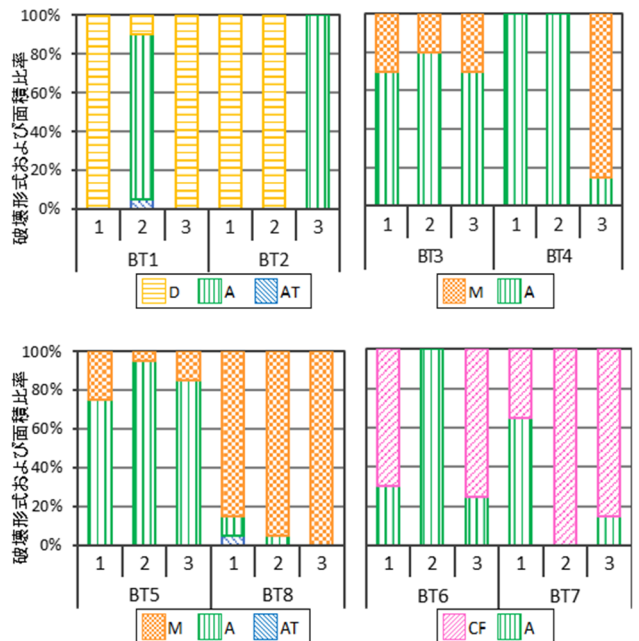


図21 破壊形式と面積比率(補修方法)

#### ④レイタンス発生面

レイタンス発生面の引張接着強度は、ワイヤブラシ掛けをしていない面の BT6 では  $1.86\text{N/mm}^2$ 、ワイヤブラシ掛けをした面の BT7 では  $1.64\text{N/mm}^2$  であった。いずれも判定基準の  $0.4\text{N/mm}^2$  を上回っているものの、レイタンスがない健全面に比べると若干小さくばらつきも大きい傾向にあり、ワイヤブラシ掛けなどで繊維が抜け落ちる場合は、繊維植込みシートを後貼りすることが望ましいと考えられる。

#### ⑤暴露1年目

暴露1年目の引張接着強度は暴露前と大差がなかった。破壊状況は張付けモルタルの凝集破壊が支配的であった。なお、基礎実験では、約8年後の引張接着強度の低下はみられていない<sup>2)</sup>が、繊維植込みシート後貼り補修後の長期データがない状況にあるため、今後も実大壁試験体の暴露を継続し、接着性能を確認していく必要がある。

## 4. まとめ

繊維植込みシートを用いたタイル張付けモルタルの剥落防止工法について各種実験を行った。その結果、目標として掲げた性能を満足することを確認することができた。また、実大壁試験体を用いた実験により施工方法ならびに補修方法について検証を行うことで、施工マニュアルを作成するうえで必要な知見を得ることができた。ただし、暴露による耐久性について、特に後貼り補修後の長期データがない状況にあるため、実大壁試験体の暴露を継続して接着性能の確認を行っていく予定である。

最後に、繊維植込み工法は、一般財団法人日本建築総合

試験所の建築技術性能証明を取得している（GBRC 性能証明第18-07、2018.8.21付）。

#### 参考文献

- 1) 立松和彦ほか：外壁タイル剥離剥落防止工法の開発 その1 繊維植え込み工法、浅沼組技術研究所報No.18、pp.27-30、2006.11
- 2) 立松和彦ほか：PP 繊維植え込み型タイル剥離剥落防止工法の8年長期物性について、日本建築学会大会学術講演梗概集、材料施工、pp.225-226、2014.9
- 3) 日本化学繊維協会発行：化繊ハンドブック（繊維の性能表）
- 4) 李泰圭ほか：繊維の熔融及び気化を考慮した超高強度コンクリートの爆裂特性、コンクリート工学年次論文集、Vol.34、No.1、pp.1114-1119、2012.7
- 5) 松井潤介ほか：有機系接着剤を利用した外装タイル・石張りシステムの開発 その11. 防耐火性評価試験、日本建築学会大会学術講演梗概集、材料施工、pp.1125-1126、1996.9
- 6) 中山昌尚ほか：外装タイル仕上げにおける剥離防止性能に関する基礎実験 その2 温度ひずみ解析に基づいた繰り返し型ひずみ追従性試験法の提案、日本建築学会大会学術講演梗概集、材料施工、pp.691-692、2007.8
- 7) 添田智美ほか：外装タイル仕上げにおける剥離防止性能に関する基礎実験 その3 直張り仕上げの繰り返し型ひずみ追従試験結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、材料施工、pp.693-694、2007.8
- 8) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 19 陶磁器質タイル張り工事（第4版）、pp.9-10、2012