

# 超大判タイルのカーテンウォールへの適用 — PCCW 工法 —

## Application to External Wall with Super Large Size Ceramic Tiles — PCCW Construction Method —

梶山 毅\*1      遠藤 寛\*1      高松 誠\*1  
Tsuyoshi Kajiyama   Hiroshi Endoh      Makoto Takamatsu  
藤井 睦\*1      岩下 智\*1  
Atsushi Fujii      Satoru Iwashita

### 要旨

本報告は大判(3m×1m)かつ薄厚(厚さ 3 mm)タイル(以下、超大判タイル)のカーテンウォール(以下、CW)への適用について述べたものである。CWは主要構成部材の材料によって、メタルCWとプレキャストコンクリートCW(以下、PCCW)に大別される。ここでは、超大判タイルを先付けするPCCW工法への適用について述べる。適用に際しては、超大判タイルの多面的な評価を行うための材料試験および各種性能試験、PC板の製造方法およびモックアップによる施工性の検討を行った。実験検討結果から得られた標準仕様に基づき、タイルの特徴を踏まえ、製造、運搬、取付けの各工程における品質管理を徹底することで、同工法による外壁への適用は十分可能であることを確認した。

キーワード：超大判タイル    カーテンウォール    PCCW工法    材料試験    PC板

## 1. はじめに

JIS A 5209「陶磁器質タイル」では、長さおよび幅が50～600mm、厚さは5～25mmが基本的な寸法である。今回、カーテンウォール(以下、CW)への適用を試みた輸入品セラミックタイル<sup>※文末</sup>は、長辺3m、短辺1m、厚さ3mmの大判かつ薄厚(以下、超大判タイル)が特徴となっている。

海外では欧州を中心として内外装とも多くの実績があり、日本国内においても2011年から内装やテーブル、流し台などへの適用が始まっている(写真1)。一方、国内の外壁への適用については、十分な性能検証が必要であることから適用には至っていない。



写真1 超大判タイルの適用例



写真2 超大判タイルの一例

CWは主要構成部材の材料によって、メタルCWとプレキャストコンクリートCW(Precast Concrete Curtain Wall、以下、PCCW)に大別される。今回、CWへの適用に際し、超大判タイルの多面的な評価を行うため、材料試験をはじめとして、メタルCW工法では層間変位追従性、取付け治具の耐力、モックアップによる施工性などを確認する試験を行った。また、PCCW工法ではコンクリートとの引張接着力、変形追従性、安全補助金物の検討、実大PC板の製造およびモックアップによる施工性などを確認する試験を行った。

本報告では超大判タイルの材料試験結果およびPCCW工法への適用について実施した一連の実験結果について報告する。

## 2. 超大判タイルの特徴

超大判タイルの特徴を表1に示す。超大判タイルは大き

表1 超大判タイルの特徴

項目	内容
サイズ・重量	超大判・薄厚：3m×1m、3.5mm厚(ガラス繊維シート付) 軽量                   : 8kg/m <sup>2</sup>
耐久性	ひっかき傷の付き難さ：ガラス以上で正長石並み →モース硬度：6 ※ガラス：約5
メンテナンス性	汚れが付き難く、メンテナンスが簡単 →低吸水性(0.09%) + 表面釉薬効果
施工性	加工性：カット、小口処理などの加工性に優れる 曲面への適用可：凹曲面への対応が可能
デザイン性	バリエーション：豊富な色調とデザイン 適用部位：壁や床に加え、ドア・家具等の表面材など

\*1 技術研究所

さや薄さの特徴に加え、豊富なデザイン(13種類)とカラーバリエーションにより約100種類の製品がある。サイズやデザインだけでなく、メンテナンス性や施工性にも優れ、薄厚であることから曲面にも適用可能(写真2)である。また裏面には0.5mm厚のガラス繊維シートを貼ったタイプがあり、用途に応じて使い分けが可能となっている。なお、超大判タイルの吸水率や耐摩耗性、耐薬品性などの基本性能については公表データ<sup>1)</sup>を参照されたい。

### 3. 超大判タイルに関する各種試験

超大判タイルの多面的な評価を行うため、裏面に0.5mm厚のガラス繊維シートを貼ったタイプ(以下、裏面ガラス繊維タイル)を中心として各種の材料試験を行った。ここでは、曲げ試験、落錘衝撃試験、引張接着試験およびタイルの変形追従性試験、ならびに安全性に関する検討として超大判タイルの落下を想定したフェールセーフに関する検討結果について述べる。

#### 3.1 超大判タイルの材料試験

##### 3.1.1 曲げ試験

超大判タイルの曲げ試験は、JIS A 1509-4:2008(陶磁器質タイル試験方法-第4部:曲げ破壊荷重及び曲げ強度の測定方法)に準拠して行った。試験体の寸法は100×400×3.5mmとし、曲げスパン300mm、中央点荷重による3点曲げ方式により試験を行った。

試験状況を写真3に示す。荷重速度は0.5mm/minとし、荷重はタイル側および裏面ガラス繊維側の両面からそれぞれ行った。測定項目は曲げ荷重、スパン中央変位、タイル面中央ひずみとし、これにより曲げ強度および曲げヤング率を求めた。

表2に裏面ガラス繊維側から荷重した試験結果の一例を示す。試験体3体の平均曲げ破壊荷重は361.3N、曲げ強度は42.8N/mm<sup>2</sup>、曲げヤング率は43111N/mm<sup>2</sup>であった。



写真3 曲げ試験状況 (タイル面側荷重)

表2 曲げ試験結果 (裏面ガラス繊維側荷重)

試験体 No.	試験体		試験 スパン mm	最大時			曲げ破壊荷重 (S) N	曲げ強度 (σb) N/mm <sup>2</sup>	曲げヤング率 (Eb) N/mm <sup>2</sup>
	幅 (b) mm	厚 (t) mm		荷重 (P) N	変位 (δ) mm	ひずみ (ε) μ			
1	100.4	3.5	300	111.0	3.980	828	331.7	39.7	42276
2	100.3	3.6	300	129.5	4.360	927	387.5	45.3	43578
3	100.3	3.6	300	121.9	4.217	869	364.6	43.4	43479
平均							361.3	42.8	43111

##### 3.1.2 落錘衝撃試験

落錘衝撃試験は、JIS A 1408:2001(建築用ボード類の曲げ及び衝撃試験方法)に準拠し、鋼製のおもり(なす形および球形、写真4)をタイル面に自由落下させる方法により行った。試験体タイルの寸法は250×250×3.5mmとし、①タイル単体、②タイルをコンクリートに打ち込んだもの、③タイルをコンクリートにセメントペーストで張付けたものの3種類について、なす形おもりの質量と落下高さを試験水準として試験を行った。衝撃損傷状況は、試験後のタイル面を目視観察により確認した。なお、タイル単体の場合、落錘衝撃試験の支持方法は砂上全面支持とした。

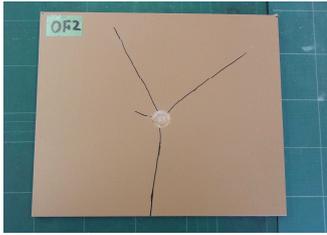
落錘衝撃試験結果を表3に、試験後の損傷状況を写真5に示す。なす型おもり(1067g)を100cmの高さから落下させた場合の衝撃エネルギー10.5N・mの結果と比較すると、タイル単体試験体ではひび割れが認められ、タイルをコンクリートに打ち込んだ試験体ではわずかながら凹みが生じ、タイルをコンクリートにセメントペーストで張付けた試験体では深さ0.33mmの凹みが生じる結果となった。



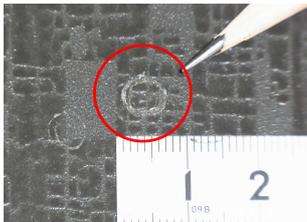
写真4 落錘衝撃試験用おもり

表3 落錘衝撃試験結果

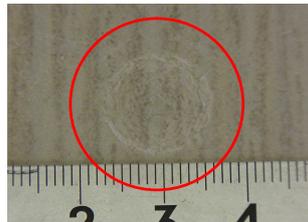
No.	試験体種別	試験体 No.	おもりの質量 (g)	落下高さ (cm)	衝撃エネルギー (N・m)	結果 (損傷状況)
①	タイル単体	1	337	100	3.3	なし
		2	1067	50	5.2	凹み(直径7.62mm、深さ0.06mm)・ひび
		3	1067	100	10.5	凹み(直径19.50mm、深さ0.79mm)・割れ
②	コンクリート打込み	1	337	100	3.3	傷(直径6.57mm)
		2	1067	100	10.5	凹み(直径9.46mm、深さ0.06mm)
		3	1067	150	15.7	凹み(直径12.01mm、深さ0.07mm)
③	セメントペースト張り	1	337	100	3.3	傷(直径7.02mm)
		2	1067	50	5.2	凹み(直径11.79mm、深さ0.15mm)
		3	1067	100	10.5	凹み(直径14.02mm、深さ0.33mm)



①タイル単体（黒線：ひび割れ）



②コンクリート打込み



③セメントペースト張り

写真5 衝撃試験後の損傷状況

### 3.2 超大判タイルの引張接着試験

タイルとコンクリートの引張接着力を確認することを目的として、下地処理方法を要因として引張接着力試験を行った。下地処理の方法を表4に示す。下地処理方法は、コンクリート打込み前に裏面ガラス繊維面のしごき塗りを行ったもの2種類(下地処理A：モルタルによるしごき塗り、下地処理B：ポリマーペーストによるしごき塗り)と、裏面ガラス繊維面にそのままコンクリートを打ち込んだもの(以下、下地処理なし)の計3種類とした。なお、引張接着試験用の試験体は、裏面ガラス繊維タイル(250×250×3.5mm)を300×300×100mmの型枠に敷き、表5に示す調合の普通コンクリートを用いて製作した。

表4 下地処理の方法

記号	下地処理	方法
A	あり	しごき塗り（モルタル）
B		しごき塗り（ポリマーペースト）
C	なし	-

表5 コンクリート調合（引張接着試験体）

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					試験結果		
		水 (W)	セメント (C)	細骨材 (S)	粗骨材 (G)	混和剤 (Ad)	スランプ (cm)	空気量 (%)	σ <sub>28</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
64.9	49.0	185	285	859	916	C×0.9%	19.0	3.8	29.9

引張接着強度の測定は、材齢4週後とし、ダイヤモンドカッターでタイルにいげたの切込みを入れ、45°角タイル用

の鋼製治具と日本建築工学会認定の接着力試験機を使用して行った。試験体1体に付き5箇所引張接着強度を測定し平均値を求めた。

試験結果を図1に示す。設定基準値をJASS 19<sup>2)</sup>の要求品質である引張接着強度0.6N/mm<sup>2</sup>とした場合、すべての測定値がその2倍を超える結果であった。一方、破断状況はガラス繊維シートのメッシュ部分のセメントペースト破断、もしくはコンクリートとガラス繊維シートとの界面破断であった。また、写真6に示すように、下地処理Aは破断面のメッシュ全体にペーストが十分に充填されていたのに対し、下地処理なしでは引張接着強度が同等であってもガラス繊維シートのメッシュ部分にタイル素地の白色箇所が観察されたため接着不良の潜在的な要因になることが懸念された。なお、下地処理Bは下地処理Aと同様に未充填箇所はなく、十分な充填状況であった。

このため、PCCW工法への適用においては、コンクリートの打込み面となる裏面ガラス繊維シートに対しては、下地処理AまたはBを標準仕様とした。

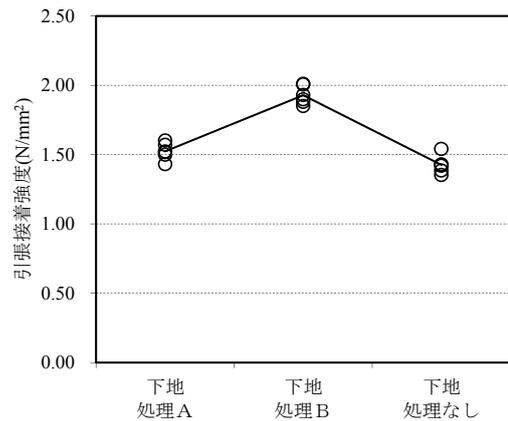


図1 引張接着試験結果

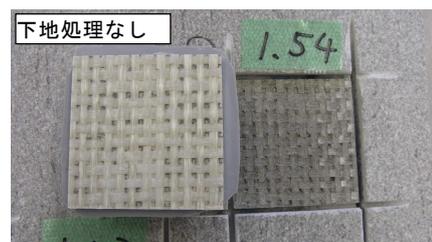
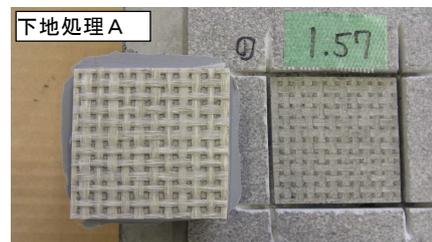


写真6 引張接着試験後の破断面

### 3.3 超大判タイルの変形追従性

超大判タイル打込み(先付け)PC板では、タイル目地間の長さが最大3mとなるため、PC板の面内および面外変形(反り)に対するタイルの追従性が重要である。当該タイルは薄厚のため、タイル単体における面外方向への変形性能を有することは、前述の曲げ試験結果からも明らかである。しかし、タイルとコンクリートの接着層における変形追従性は明らかではないため実験的に確認することとした。

試験体は図2に示すように、コンクリート製角柱(100×100×400mm)にタイル(50×250×3.5mm)を打ち込んで製作した。打込み前のタイル裏面の下地処理は前述のA(モルタルしごき塗り)および無処理の2種類とした。変形追従試験は、試験体のタイル面とコンクリート面にひずみゲージを貼り付け、一軸圧縮荷重により行った。

コンクリートの圧縮応力度と圧縮ひずみの関係に加え、下地処理の有無によるタイルの圧縮ひずみを図3に示す。タイルの圧縮ひずみが解放される点をタイル剥離開始時とすると、無処理の場合、タイル剥離開始時のコンクリートの圧縮ひずみは $\epsilon=425$ 、下地処理Aの場合は $\epsilon=775$ であり無処理の2倍近くまで変形に追従することが確認された。また、タイルの剥離は、本試験長さでは、いずれの試験体でもコンクリートの長期圧縮許容応力度時のひずみ程度まで生じなかった。

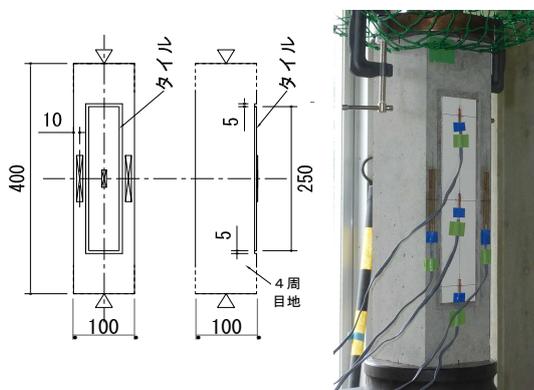


図2 変形追従性試験体と試験状況

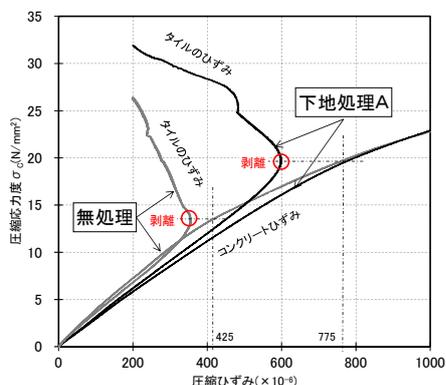


図3 圧縮追従試験 応力ひずみ関係

### 3.4 超大判タイルの脱落防止

超大判タイルとコンクリートとの引張接着強度試験および変形追従性試験の結果から、剥離に対する抵抗性は一般的なタイルと同等以上と判断することができた。しかし、フェールセーフの観点から、不測の事態により超大判タイルが剥離し脱落することを想定し、脱落を防止するために取り付ける安全補助金物について検討することとした。

安全補助金物は意匠性を考慮すると、タイル裏面側に接着する仕様が適しているため、数種類の形状・寸法のものを試作し、超大判タイルとの接着耐力を引張試験により求め、性能を確認した。

#### 3.4.1 接着剤の検討

接着剤の種類を表6に示す。接着剤はエポキシ樹脂系の硬質タイプと弾性タイプとした。硬質タイプは硬化開始時間が90分(以下、硬質90分)と5分(以下、硬質5分)の2種類、弾性タイプは硬化開始時間が10分(以下、弾性10分)の計3種類とした。試験材齢は室内養生7日とし、硬質90分については、室内養生1日後、水酸化カルシウム飽和水溶液(以下、アルカリ溶液)に14日間浸漬させ、接着力の耐アルカリ性試験を追加した。

引張試験結果を図4に示す。材齢7日の引張強度は、硬質90分は $2.1\text{N/mm}^2$ 、硬質5分は $1.3\text{N/mm}^2$ 、弾性10分が $2.0\text{N/mm}^2$ であった。硬質90分のアルカリ溶液浸漬後の引張強度は $2.1\text{N/mm}^2$ であり、アルカリ溶液浸漬による接着力の低下は認められなかった。破断状況は、硬質5分のみ接着剤と裏面繊維シートとの界面で破断していたが、その他は全て写真7に示すように、タイルが破壊した後も接着剤の剥離は生じなかった。このため、安全補助金物の接着には、硬質90分または弾性10分の接着剤を標準仕様とした。

表6 接着剤の種類

種類	硬化開始	試験材齢
硬質タイプ	90分	室内7日
		室内1日+アルカリ溶液浸漬14日
	5分	室内7日
弾性タイプ	10分	室内7日

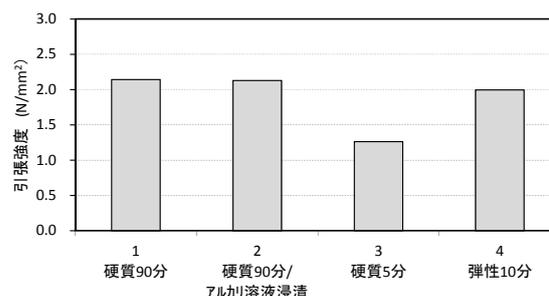


図4 タイルと接着剤の引張試験結果

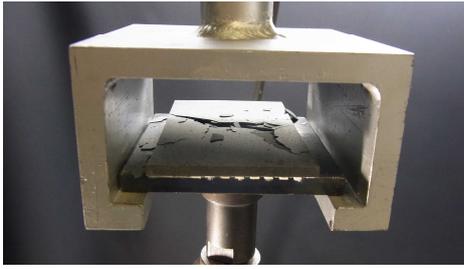


写真7 引張試験状況 (タイルの破壊)

### 3.4.2 接着剤と安全補助金物の接着性

安全補助金物は、既報の資料<sup>3)</sup>等を参考に、ステンレス製の穴開きプレート(28×28×1.5 mm)と針金により試作した安全補助金物と接着剤で貼り付けたタイルの引張試験を行った。安全補助金物を写真8に、試験状況を写真9に示す。

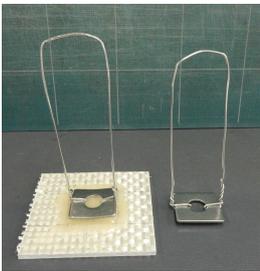


写真8 安全補助金物



写真9 引張試験状況 (タイルと補助金物)

試験は、安全補助金物に使用した針金の線径(2種類:  $\phi$  1.2 mmと $\phi$  0.9 mm)と接着剤の種類を試験水準とした。図5に引張荷重と変位の関係を示す。引張荷重は、接着剤の種類が硬質90分と針金 $\phi$  1.2を組み合わせた試験体(以下、硬90- $\phi$  1.2)が1.03kN、弾性10分と針金 $\phi$  1.2(以下、弾10- $\phi$  1.2)の試験体が0.63kN、硬質90分と針金 $\phi$  0.9(硬90- $\phi$  0.9)が0.81kNであった。破断状況は、硬90- $\phi$  1.2は金具が変形した後に金具と接着剤の界面破断、硬90- $\phi$  0.9は針金が延伸後に破断または金具と接着剤の界面破断、弾10- $\phi$  1.2は金具の変形前に金具と接着剤で界面破断した。

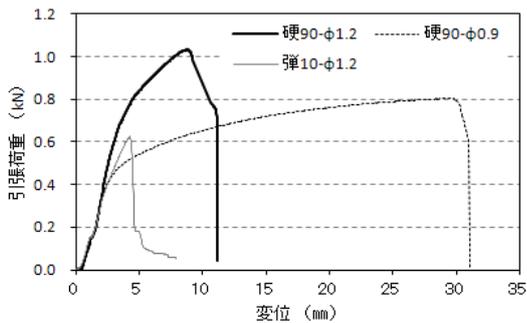


図5 タイルと補助金物の引張試験結果

安全補助金物の接着耐力とタイルの質量について検討すると、試験結果(弾10- $\phi$  1.2)の最低値0.6kN(約60 kg)を接着耐力とした場合、裏面繊維シートタイル(3m×1m×3.5mm)の1枚の質量(24 kg)に対し約2.5倍であり十分な耐力であるが、タイルの部分的な落下も考慮し、PC板の製造においては1m<sup>2</sup>当たり1箇所として取り付けることを標準仕様とした。

## 4. PC板の製造および試験施工

### 4.1 PC板の製造

超大判タイル先付けPC板の製造フローチャートを図6に示す。

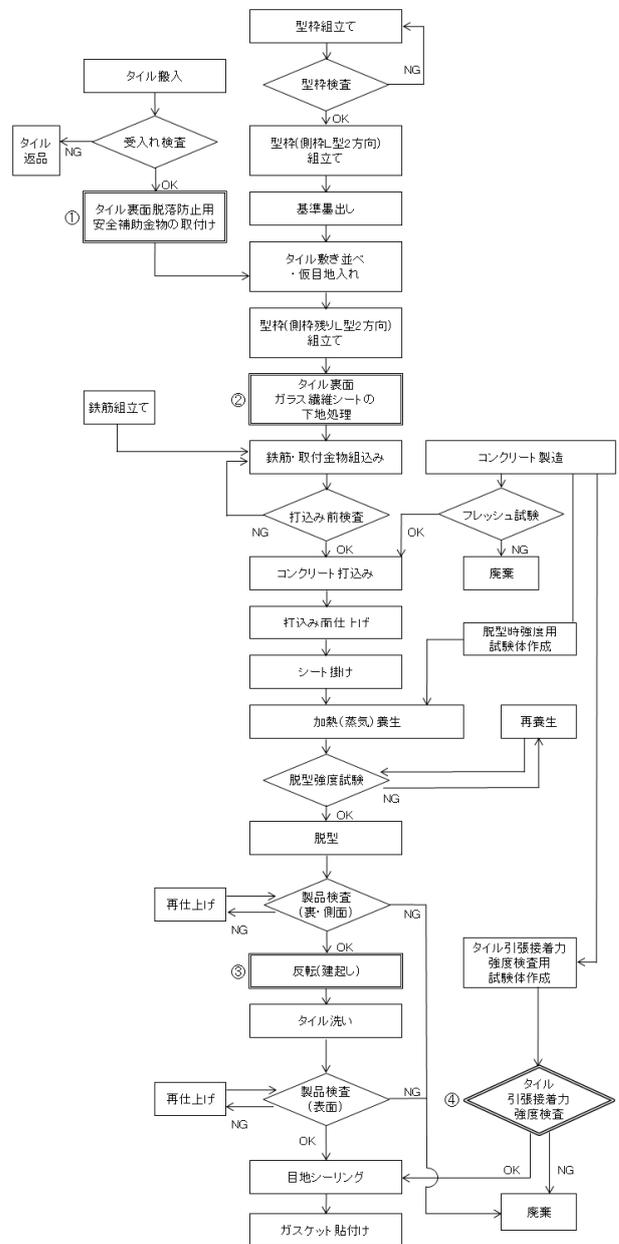


図6 超大判タイル先付けPC板の製造フローチャート

基本的な製造方法は、一般的なタイル先付け PC 板と同様であるが、超大判タイル先付け PC 板の製造において特徴的な①タイル裏面脱落防止用安全補助金物の取付け、②タイル裏面ガラス繊維シートの下地処理、③反転(建起し)および④タイル引張接着剤強度検査などを追加したものを標準仕様とした。

以下、製造フローにおける上記の追加工程の留意事項について述べる。

#### ①タイル裏面脱落防止用安全補助金物の取付け

タイル裏面脱落防止補助金物としてステンレス製の安全補助金物をエポキシ系接着剤の硬質タイプの硬化開始時間が 90 分の接着耐力以上の接着剤により、1m<sup>2</sup>あたり 1 箇所取り付ける。

#### ②タイル裏面ガラス繊維シートの下地処理

タイル裏面の繊維シートにモルタルまたはポリマーペーストによりしごき塗りを行う。この際、繊維シートとペーストが十分馴染むように左官ゴテ等を使用し入念に行う。

#### ③反転(建起し)

PC 板の四周にはシール目地(写真 10)があり、不要な外力を与えるとタイルが破損する可能性があるため、設計段階から十分な検討を行い、反転用インサートを支点側の PC 板小口にも埋込み、反転(建起し)には治具(写真 11)を使用する。



写真 10 PC 板小口



写真 11 反転治具

#### ④タイル引張接着剤強度検査

一般タイルと異なり、“1 枚張替える”ことは困難なため、接着剤検査は PC 板製造時に接着剤検査用の試験体を別途作製し、JASS 19<sup>2)</sup>に準じて引張接着試験を行い、接着力の推定を行う。

### 4.2 モックアップの施工

超大判タイル先付け PC 板を前述の手順で製造し、写真 12 に示す PCCW 工法のモックアップを作製した。



写真 12 PCCW モックアップ

モックアップの寸法は W4m×H3m×D0.15m とし、縦使いの PC 板① W1×H3×D0.15m を取り付け、続いて横使いの PC 板② W3×H1×D0.15m、PC 板③ W3×H2×D0.15m を取り付け施工した。

## 5. まとめ

超大判タイルの PCCW 工法への適用に関して、材料試験および各種性能試験、PC 板の製造方法、およびモックアップによる施工性の検討について報告した。これらの実験検討結果から得られた標準仕様に基づき、当該タイルの特徴を踏まえ、製造、運搬、取付けの各工程における品質管理を徹底することで、同工法による外壁への適用は十分可能であることを確認した。また GRC(Glassfiber Reinforced Cement) 打込み工法においても超大判タイルを適用し、軽量化のメリットを活用する検討を行っている。

※製造元：Laminam S.p.A (イタリア)

日本総代理店：ローマタイル・ジャパン(株) (大阪市)

#### 参考文献

- 1) Laminam S.p.A : Technical Data Sheet、2011.4
- 2) 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、2012.7
- 3) プレコンシステム協会：タイル先付け PC a 部材製作指針 タイルの貼替え指針・同解説(案)、2008.4