

# 論文 タイル仕上げを施したプレキャスト RC 柱・梁接合部の部分架構実験

高津 比呂人\*1・木村 秀樹\*2・山本 正人\*3

**要旨:** タイル仕上げを施した鉄筋コンクリート造柱・梁接合部の実験を実施した。プレキャスト工法で採用されることが多いタイル先付工法による試験体では、梁タイル表面のひび割れ発生が、仕上げを施していないコンクリート躯体表面と同時期であり、ひび割れ本数も比較的多くなったのに対し、在来工法で用いられることの多いタイル後張り工法の試験体では、梁タイル表面のひび割れ発生は躯体表面より遅く、ひび割れ本数も少ない結果となった。これは、下地モルタルの存在により躯体表面ひずみがタイル表面に直接伝わりづらいことが原因と考えられる。一方、打音調査によるタイルの浮き枚数は後張り工法の方が多くなった。  
**キーワード:** プレキャスト, タイル仕上げ, 先付工法, 後張り工法

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート（以下、RC）造高層建物ではプレキャスト（以下、PCa）工法が採用されることが多く、その表面の仕上げをタイル仕上げとすることがある。RC 躯体へのタイルの張り付け方法には様々な工法があるが、PCa 工法の場合、工場では部材を製作する際に、ユニット化されたタイルを型枠ベツト面にあらかじめ固定し、コンクリート打設と同時にタイルを張り上げる先付工法が採用されることが多い。一方、PCa 工法ではない在来工法では、マスク張りなどの後張り工法が採用されることが多い。

先付工法では RC 躯体とタイルが直接接合しているのに対し、一般的に後張り工法では、RC 躯体とタイルが下地モルタルおよび張付けモルタルを介して接合している（図-1）ため、特に地震時の挙動および損傷状況に差が生じることが考えられる。

本論では先付工法および後張り工法でタイル仕上げを施した、PCa 工法による RC 柱・梁接合部試験体の地震

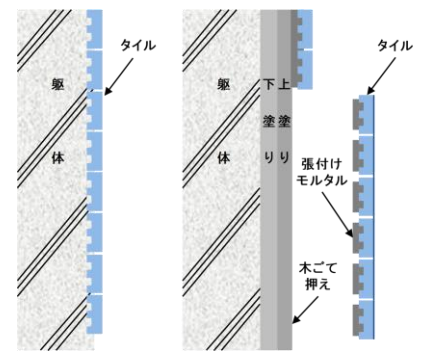
荷重を模擬した荷重実験を実施し、仕上げ方法の違いがその損傷状況にどのような影響を及ぼすかについて確認し、検討した結果について報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体

試験体図を図-2 に、試験体一覧を表-1 に示す。試験

体は、いずれも柱梁仕口一体型 PCa 工法を模擬したもので、下柱・接合部を含む梁・上柱の3つの部材を別々に製作した後、それを組



(a) 先付工法 (b) マスク張り  
 図-1 タイル張り工法概念図

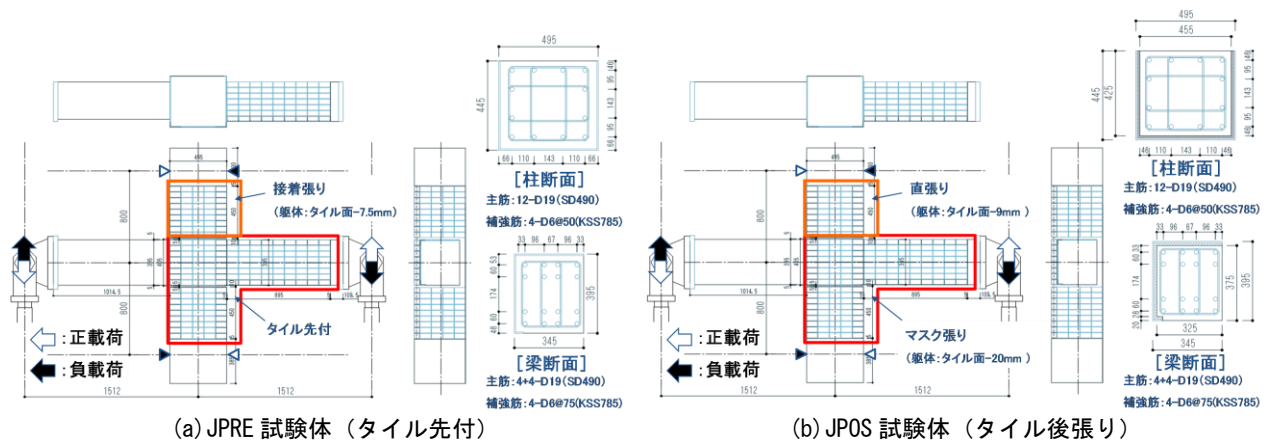


図-2 試験体図 (単位: mm)

\*1 (株) 竹中工務店 技術研究所 構造部 主任研究員 工修 (正会員)  
 \*2 (株) 竹中工務店 技術研究所 構造部 主席研究員 工博 (正会員)  
 \*3 (株) 竹中工務店 技術研究所 建設材料部 主任研究員 工修

み立てて一体化した。主に先付工法でタイルを張り付けた JPRE と、後張り工法でタイルを張り付けた JPOS の 2 体の試験体を用意した。JPRE 試験体では、接合部を含む梁 PCa 部材および下柱の PCa 部材を製作する際に、接合部、右側の梁、下柱の型枠にタイルを固定してコンクリートを打設した。上柱の PCa 部材は、組立後表面にディスクグラインダーによる目荒らしを施したのちに有機系接着剤でタイルを接着張りした。

JPOS 試験体では、それぞれの PCa 部材を製作して組み立てたのちにタイル後張り部分にディスクグラインダーによる表面目荒らしを施した。接合部、右側の梁、下柱には吸水調整剤を塗布した後にモルタル下地 11mm (2 回塗り) を行い、タイルを張り付けた (マスク張り工法)。下地モルタルには粉末樹脂を配合したプレミックスモルタルを用いた。上柱は下地モルタルを省略した直張りとした。なお、両試験体とも左側の梁には仕上げを施さず、ひび割れ観測を行うこととした。

JPRE, JPOS 試験体ともに仕上がり断面が等しくなるよう、タイルおよび下地を張り付ける分だけ RC 躯体表

表-1 試験体一覧

試験体	タイル	柱			梁		
		断面	主筋	補強筋	断面	主筋	補強筋
JPRE	先付工法	445mm × 495mm	12-D19 (SD490)	4-D6@50 (KSS785)	345mm × 395mm	4+4-D19 (SD490)	4-D6@75 (KSS785)
JPOS	後張り工法	445mm × 495mm	12-D19 (SD490)	4-D6@50 (KSS785)	345mm × 395mm	4+4-D19 (SD490)	4-D6@75 (KSS785)



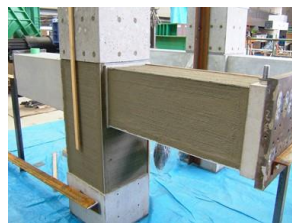
(a) PCa 型枠製作状況



(b) 鉄筋組立状況



(c) PCa 柱の組立



(d) 下塗り施工完了状況



(e) タイル施工状況



(f) 目地詰め

写真-1 試験体製作状況

面を欠き込んでおり、JPRE 試験体では接着張り部分の上柱を 7.5 mm 欠き込み、JPOS 試験体のマスク張り部分は 20 mm、直張り部分は 9 mm の欠き込みを設けた。

仕上りの柱断面は 445 mm × 495 mm、梁断面は 345 mm × 395 mm であり、柱主筋は 12-D19 (SD490)、梁主筋は上下とも 4+4-D19 (SD490) とした。試験体製作状況を写真-1 に示す。

## 2.2 加力・計測

加力は、層間変形角  $R = \pm 1, 2, 3.3, 5, (2), 7.5, 10, (5), 15, 20/1000 \text{ rad.}$  で各 2 回ずつ繰り返す変位漸増正負繰り返し荷重 (カッコ内の値は大変形後の小サイクル) を、梁両端に設置したジャッキを制御することにより行った。本実験では、耐震建物のレベル 2 地震動に対する設計クライテリアとして設定されることが多い層間変形角  $10/1000 \text{ rad.}$  の 2 倍の変形角までで荷重を終了し、その損傷状況を確認することとした。柱軸力は、 $0.15 \sigma_B \cdot B \cdot D$  ( $\sigma_B$ : コンクリート圧縮強度  $[\text{N}/\text{mm}^2]$ ,  $B$ : 柱幅 (=445 mm)  $D$ : 柱せい (=495 mm)) で一定とした。

柱・梁主筋、タイル表面および躯体表面のひずみと、層間変形・接合部せん断変形を計測した。

## 2.3 材料試験

実験時のコンクリート、モルタルおよび鉄筋の材料試験結果を表-2, 3 に示す。また、別途製作した試験体で、建研式接着力試験機を用いたタイル接着力試験を併せて

表-2 コンクリート・モルタル材料試験結果

	圧縮強度 [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	ヤング係数 [ $\times 10^4 \text{ N}/\text{mm}^2$ ]	割裂引張強度 [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]
コンクリート	67.5	2.85	3.96
仕口内モルタル	88.0	3.39	-
継手モルタル	88.3	3.48	-

表-3 鉄筋材料試験結果

	降伏応力 [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	ヤング係数 [ $\times 10^4 \text{ N}/\text{mm}^2$ ]	引張強さ [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	破断伸び [%]
柱・梁主筋 D19 (SD490)	519.3	19.13	699.9	17.2
帯筋・肋筋 D6 (KSS785)	975.6	18.69	1184.8	10.5

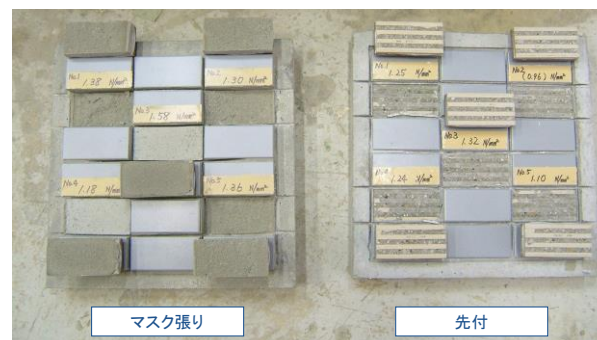


写真-2 接着力試験結果

実施した。実験結果を写真-2 に示す。マスク張り部分の引張接着強度の平均値は 1.36 N/mm<sup>2</sup>、先付部分の平均値は 1.17 N/mm<sup>2</sup>であった。先付工法ではタイル裏足部分の凹部はコンクリートの破壊、凸部はタイルとコンクリートの界面破壊であったのに対し、マスク張りでは全面下地モルタルの凝集破壊、あるいは下地モルタルと張付けモルタルの界面破壊となったため先付工法が小さな値となったと考えられるが、いずれも基準値<sup>1)</sup> (先付 0.6 N/mm<sup>2</sup>、後張り 0.4 N/mm<sup>2</sup>) を満足しており問題はない。

### 3. 実験結果

#### 3.1 層せん断力-層間変形角関係

両試験体の層せん断力-層間変形角関係を図-3 に示す。図には観測された各事象の点と ACI 式<sup>2)</sup>による梁曲げ降伏強度計算値時の層せん断力を併せて示す。また、躯体の梁曲げひび割れ、タイル上梁のひび割れおよび接合部ひび割れ発生時の層せん断力と、躯体の梁曲げひび割れ強度および接合部ひび割れ強度計算値時の層せん断力を表-4 に示す。なお、梁曲げひび割れ強度時の層せん断力

は(1)式<sup>3)</sup>で求めた  $M_{cr}$  より(2)式で算定し、接合部ひび割れ強度時の層せん断力  $V_{jcr}$  は(3)式<sup>4)</sup>で算定した  $\tau_{cr}$  を用いて(4)式で算定した。

$$M_{cr} = 0.56\sqrt{\sigma_B} \cdot Z_e \quad (1)$$

$$V_{bcr} = \frac{2 \cdot M_{cr} \cdot L_b}{L \cdot L_c} \quad (2)$$

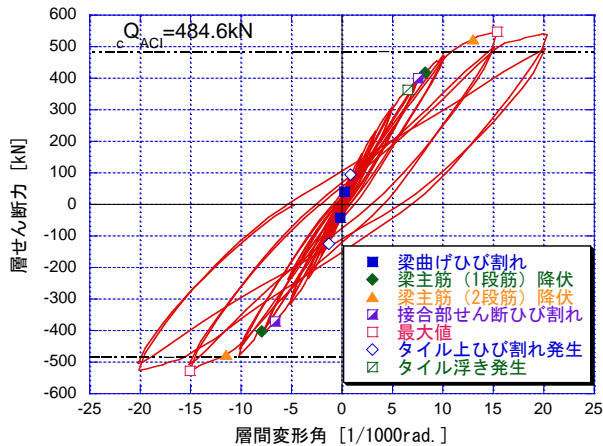
$$\tau_{cr} = \sqrt{\sigma_0 \cdot f_t + f_t^2} \quad (3)$$

$$V_{jcr} = \frac{L_b \cdot j_b}{L \cdot L_c - L_b \cdot j_b} \cdot \tau_{cr} \cdot b_j \cdot D_j \quad (4)$$

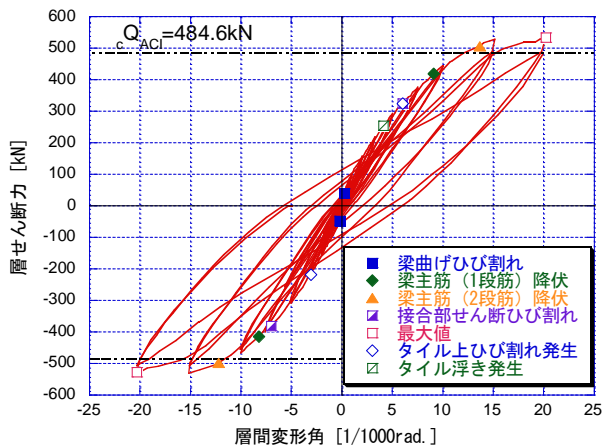
ここで、 $Z_e$ : 鉄筋を考慮した梁の断面係数 [mm<sup>3</sup>]、 $\sigma_0$ : 柱の軸応力度 [N/mm<sup>2</sup>]、 $f_t$ : コンクリート引張強度 [N/mm<sup>2</sup>] (= 0.313 $\sqrt{\sigma_B}$ )、 $j_b$ : 梁の応力中心間距離 (=7 $d_b$ /8)、 $d_b$ : 梁有効せい [mm]、その他の記号は文献4)参照のこと

表-4 ひび割れ発生時の層せん断力実験値と計算値

	JPRE		JPOS	
	正	負	正	負
梁曲げひび割れ実験値	39.9	-42.6	38.9	-47.3
同 計算値	71.1			
タイル上ひび割れ実験値	94.6	-125.2	324.5	-217.9
接合部ひび割れ実験値	400.5	-370.8	324.5	-381.9
同 計算値	292.1			



(a) JPPE (先付工法)



(b) JPOS (後張り工法)

図-3 層せん断力-層間変形角関係

タイル先付工法の JPPE 試験体では、 $R=+0.2, -0.2/1000$  rad.でタイルを張り付けていない梁表面の曲げひび割れが発生し、その後  $R=+0.9, -1.3/1000$  rad.でタイル上にひび割れが発生した。 $R=+7.6, -6.6/1000$  rad.で接合部のタイル上にせん断ひび割れが発生し、 $R=\pm 15/1000$  rad.で最大耐力を迎えた。最大耐力は計算値を上回った。なお、別途タイルの浮きを打音調査により実施しており、最初にタイルの浮きが発生したのは  $R=+6.5/1000$  rad.時で、発生箇所は梁上面であった。

一方、タイル後張り工法の JPOS 試験体では、JPPE 試験体と同様に  $R=+0.2, -0.2/1000$  rad.でタイルを張り付けていない梁表面の曲げひび割れが発生し、その後、JPPE 試験体よりも大きな変形角である  $R=+6.0, -3.1/1000$  rad.でタイル上にひび割れが発生した。ただし、 $R=-0.5/1000$  rad.でタイル目地にひび割れが発生していた。JPPE 試験体と同程度の変形角  $R=+6.0, -7.0/1000$  rad.で接合部のタイル上にせん断ひび割れが発生し、 $R=\pm 20/1000$  rad.で最大耐力を迎えた。最大耐力は計算値を上回った。なお、最初にタイルの浮きが発生したのは JPPE 試験体より変形角の小さい  $R=+4.1/1000$  rad.時で、箇所はタイル上面であった。JPOS 試験体では、 $R=+10/1000$  rad.時に接合部のタイルにも浮きが発生したことを確認した。

#### 3.2 損傷状況

図-4 に  $R=\pm 5, 10, 20/1000$  rad.加力終了時のひび割れとタイルの浮きおよび剥離の発生状況を示す。正加力時

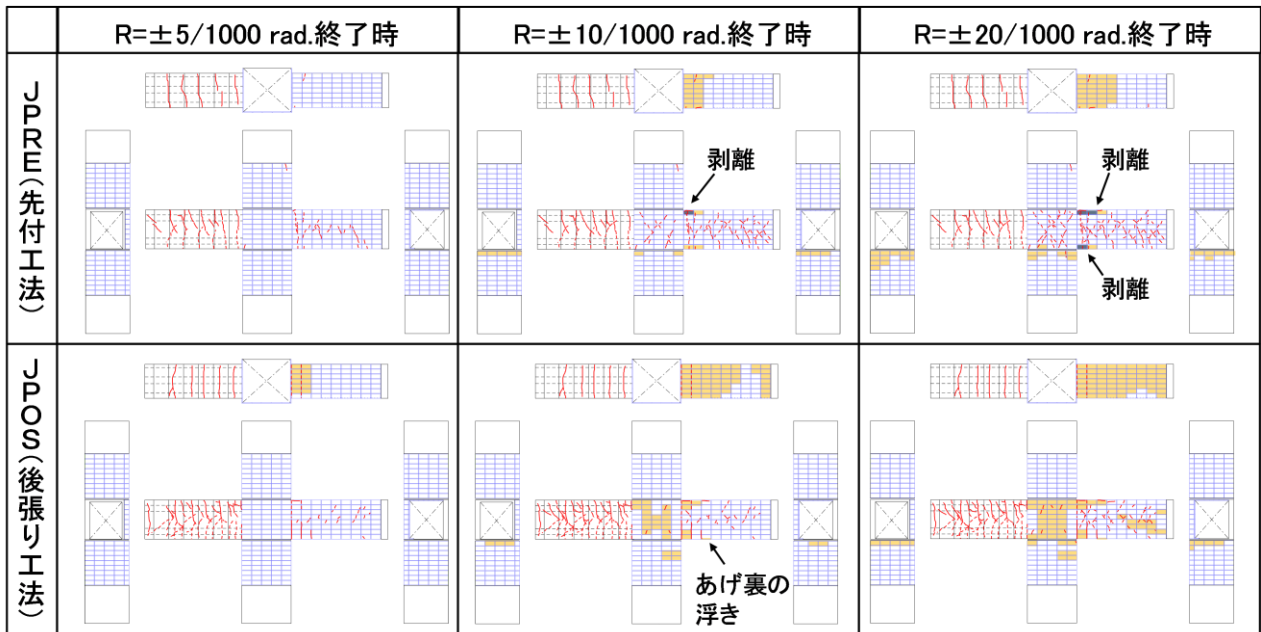


図-4 ひび割れおよびタイルの浮き・剥離の発生状況

に発生したひび割れを実線で、負加力時に発生したひび割れを破線で示し、打音検査により浮きが生じたと判断したタイルは図中着色することにより示した。

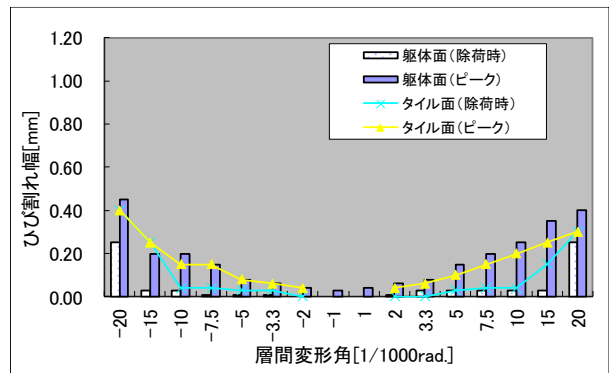
先付工法の JPRE 試験体は、後張り工法の JPOS 試験体に対して、タイルの浮き発生枚数は少ないものの、梁や接合部のタイル上ひび割れ本数は多くなる傾向がみられた。梁の躯体表面とタイル表面のピーク時および除荷時のひび割れ幅の推移を図-5 に示す。タイル表面に現れるひび割れ幅は、JPRE 試験体では躯体表面と同等であったのに対して、JPOS 試験体では、躯体表面に現れるひび割れ幅よりタイル表面のひび割れ幅が小さくなる傾向が見られた。これは、JPOS 試験体では目地にひび割れが入ることによって、タイルに直接伝わるひずみが小さくなったことも一因であると考えられる。層間変形角  $R=\pm 10/1000$  rad.程度までは、タイル表面の残留ひび割れ幅は非常に小さな値となった。両試験体とも  $R=\pm 10/1000$  rad.を超えると、タイル表面に現れる残留ひび割れが増加した。

先付工法の JPRE 試験体では、タイルの浮き発生箇所が梁上に集中しており、梁端で役物(L字型)のタイルが一部剥離・脱落した。タイルが脱落したことの理由として、梁端のタイルと柱が競って、タイルをめくりあげる(こじる)力が働いたことが考えられる。実際には柱と梁の取り付け部にシール目地などを設けることでこの剥落は防止できると考えられる。

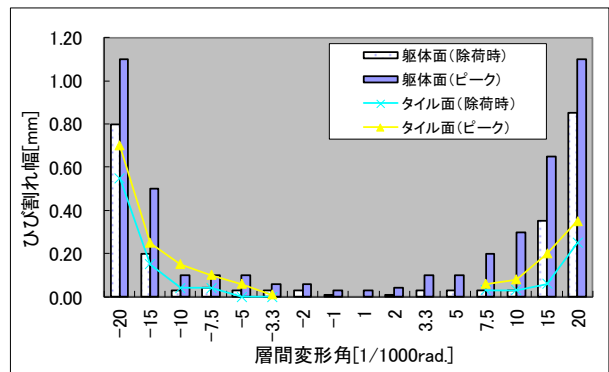
一方、後張り工法の JPOS 試験体では、接合部のタイルにも広範囲に浮きが発生した。このことから、先付工法の場合、曲げ変形(曲率)が大きくなる部分でのみ浮きが発生しやすいのに対して、後張り工法の場合、曲げ変形が大きい場所だけでなく、せん断変形が大きくなる

部分でも浮きが発生する可能性があるといえる。

本実験では、変形が小さいこともあるが、接着張りとした JPRE 試験体の上柱、および直張りとした JPOS 試験体の上柱にはともに浮きは発生しなかった。載荷終了時の両試験体の損傷状況を写真-3 に示す。



(a) JPRE (先付工法) 試験体



(b) JPOS (後張り工法) 試験体

図-5 躯体表面・タイル表面のひび割れ幅の推移



(a) JPPE (先付工法) 試験体



(b) JPOS (後張り工法) 試験体

写真-3 載荷終了時の状況

### 3.3 タイル表面のひずみ

#### (1) 梁材軸方向ひずみ

図-6 に示す位置 (T1J, T4J) の、梁材軸方向のタイル表面のひずみと層せん断力の関係を図-7 に示す。当該タイルには、両試験体ともひび割れおよび浮きは発生していない。

図より、先付工法の JPPE 試験体、マスク張り工法の JPOS 試験体ともにタイル表面のひずみに差はないことがわかる。また、加力時に圧縮ひずみが発生する側 (T1J では正加力側、T4J では負加力側) では、タイル表面の圧縮ひずみが大きくなるが、引張側では引張ひずみは発生していない。この原因として、当該タイル以外の部分でひび割れが発生したことにより、この部分のコンクリートの引張ひずみが緩和されたことが考えられる。

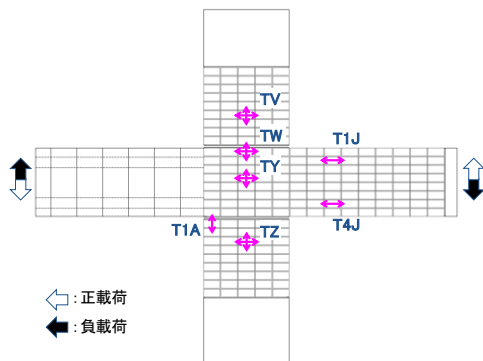
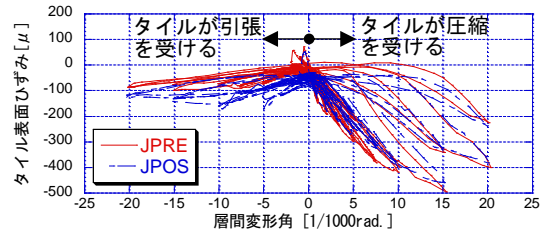
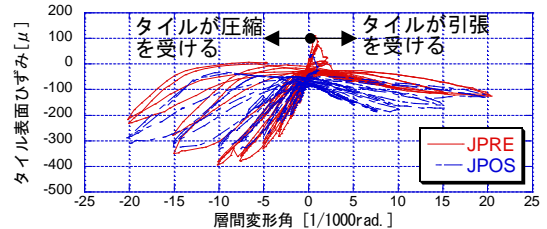


図-6 タイル表面ひずみ計測位置



(a) T1J



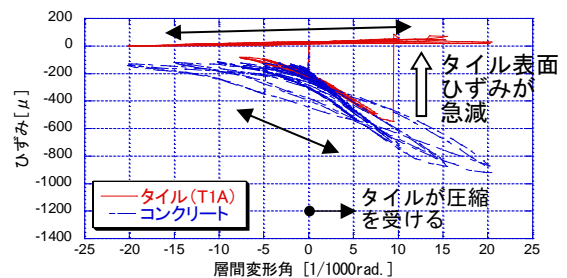
(b) T4J

図-7 梁材軸方向タイル表面ひずみ

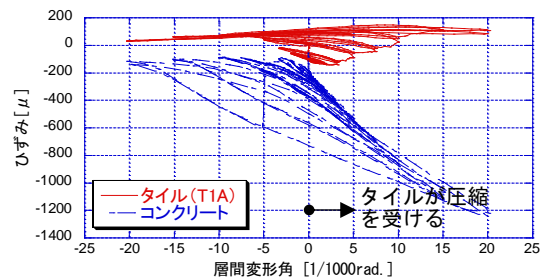
#### (2) 柱鉛直方向ひずみ

接合部直下の図-6 に示す位置 (T1A) の、タイル表面 (試験体正面) とコンクリート躯体表面 (試験体裏面) の、両試験体の柱鉛直方向のひずみと層間変形角の関係を図-8 に示す。当該タイルには両試験体とも浮きが発生した。

JPPE 試験体では、当初コンクリート表面のひずみとタイル表面のひずみは同様の挙動を示していたが、 $R=+10/1000 \text{ rad.}$  の 1 回目ピークに向かう際にタイル表面のひずみが  $-600 \mu$  程度から急減し、その後はほぼゼロのまま推移した。このひずみが急減した変位は、タイルに浮きが発生した変位と一致する。一方、JPOS 試験体では、当初よりタイル表面のひずみとコンクリート表面のひずみは



(a) JPPE 試験体 (先付部分)



(b) JPOS 試験体 (マスク張り部分)

図-8 柱鉛直方向タイル・コンクリート表面ひずみ

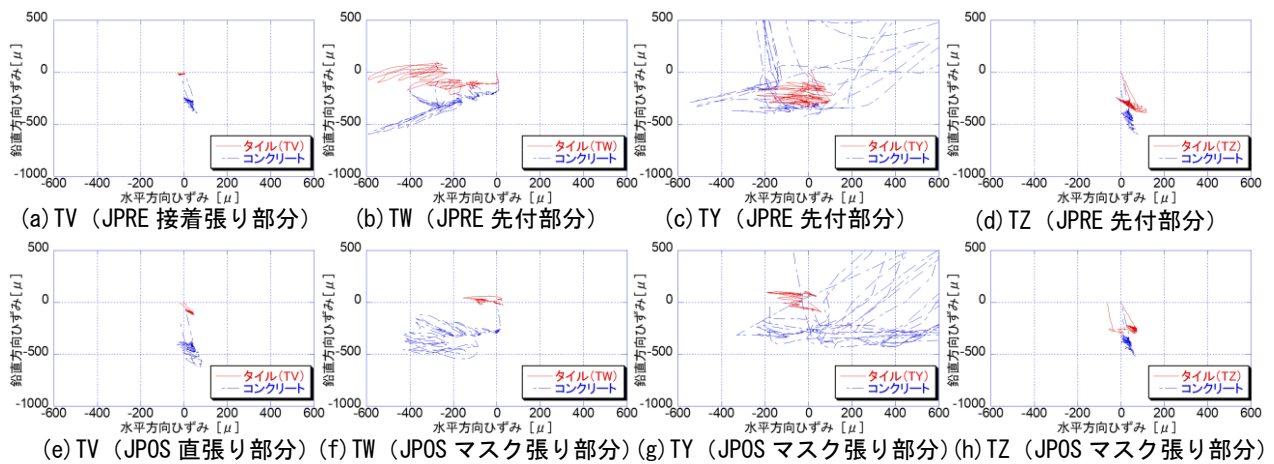


図-9 柱鉛直・水平方向タイル表面ひずみ

別々の挙動を示し、コンクリートに比較的大きなひずみが発生する正側の加力でもタイル表面にはほとんどひずみが生じていなかったが、加力終了時にはタイルに浮きが発生していた。

### (3) 柱鉛直・水平ひずみ

図-6 に示す TV, TW, TY, TZ の位置でのタイル表面（試験体正面）とコンクリート表面（試験体裏面）の鉛直方向ひずみと水平方向ひずみの関係を図-9 に示す。ここでは、JPOS 試験体の TW および TY の位置でタイルの浮きが発生し、その他の部分では浮きは発生していない。

全体的にコンクリート表面のひずみに比べ、タイル表面のひずみは小さく、特に接着張り部分ではタイル表面にほとんどひずみが発生しないことがわかる（図-9(a)）。タイルに浮きが生じた JPOS 試験体の TW および TY（図-9(f), (g)）でも、いずれもタイル表面のひずみは小さい。また、全体的にマスク張りのものに比べて、先付工法のタイル表面ひずみは大きくなる傾向が見られた。

## 4. まとめ

タイル仕上げを施したプレキャスト RC 柱・梁接合部の部分架構実験を実施し、以下の知見を得た。

- タイル先付工法の JPRES 試験体では、梁コンクリート曲げひび割れと、タイル表面ひび割れがほぼ同時に発生した。
- モルタル下地の上にタイルを後張りした JPOS 試験体では、タイル面のひび割れ発生時期は JPRES 試験体より遅かった。
- タイル表面のひび割れ本数は、先付工法の JPRES 試験体の方が、JPOS 試験体に比べて多くなった。
- JPOS 試験体のひび割れ発生時期が遅いこと、およびひび割れ本数が少ないことは、目地部分にひび割れが発生したことにより、タイルへのひずみの伝達が

小さくなったことも原因の一つであると考えられる。

- 先付工法の JPRES 試験体では梁上（圧縮縁）にタイルの浮きが集中し、梁端の役物タイルが剥離した。ただし、本試験体では梁下にはタイルを貼り付けていないため、梁下にタイルがある場合には同様に浮きが生じたものと考えられる。
- 後張り工法の JPOS 試験体では、梁上だけでなく、接合部にも大幅にタイルの浮きが生じたが、加力終了までタイルの剥離は生じなかった。
- タイル表面のひずみはいずれもコンクリート躯体表面のひずみよりも小さいが、先付工法の部分のタイル表面ひずみは、マスク張り工法の部分よりも大きくなる傾向が見られた。これは、マスク張り工法の場合、下地モルタルが存在することにより躯体表面ひずみがタイル表面に直接伝わりづらいことが原因であると考えられる。
- 特に接着張りの場合、タイル表面のひずみが小さく、浮きもひび割れも生じなかった。

以上の結果から、タイル先付工法の場合、特に変形が集中する梁端部において、①柱と梁の取り合い部にシーリング目地などを設けること、および、②先付工法、後張り工法に限らず、有機系接着剤張りを採用することが、タイルのひび割れや剥落防止に有効であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS19 陶磁器質タイル張り工事，2012
- 2) American Concrete Institute: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-11), 2011
- 3) 国土交通省住宅局建築指導課ほか監修：2007年版建築物の構造関係技術基準解説書，2017
- 4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1999