

12. 海外産大型タイルのプレキャスト打込み工法の研究 (その2. 屋外暴露試験)

A Study on The Precast Placing Method of Large-Sized, Foreign-Made Tiles (Part 2. Outdoor Exposure Test)

高見 錦一* 萩原 幸男*
山口 克彦* 崎山 和隆*²

要 旨

大型タイルのプレキャスト打込み工法において、低弾性のモルタルを緩衝材として使用した場合の効果を検証するために、実大の試験体を作製し、半年間屋外に暴露して各部の温度およびひずみの測定と引張り試験をおこなった。その結果、日射による温度応力は、南面より東面のほうが大きく、また、夏より春、秋のほうが大きかった。従来の直打込み工法の場合、その影響をまともに受け、6ヶ月後のタイル接着強度に著しい低下がみられたが、タイルの裏面に低弾性ポリマーモルタルを介在させた本工法では、逆に接着強度が増大しており、その効果を確認できた。

キーワード：海外産大型タイル／緩衝モルタル／屋外暴露／引張り強度

1. はじめに

他産業と同様、建設業においても国際化が急速に進んでおり、今後、ますます海外資材を使用する事例が増えてくるものと考えられる。その中で、海外産の大型タイルは表面仕上げが美しく国産品に比べ安価なため、大面積の外壁仕上げ材として、またプレキャストカーテンウォール（以下PCCW）に打込まれて使用される例が多くなってきている（写真－1）。しかし、海外産の大型タイルの多くは乾式製法で製造されており、裏あしがなく厚みも薄いため、PCCWへの打込みを従来の直打込み工法でおこなっていたのでは様々な障害の発生（主に剥離）が予想された。筆者らは、大きさが300×600mmで厚みが6mmの海外産大型タイルをPCCWの仕上げ材として打込む工法として、低弾性のポリマーモルタルを緩衝材として利用するタイル先付け工法の開発をおこなってきた。

前回の報告では、その工法の概要と、小試験体での温冷繰り返し養生後の引張り試験結果について述べた。本報告は、その緩衝モルタル工法を用いて打設したPCCWについておこなった長期暴露試験の結果について述べる。

2. 試験概要

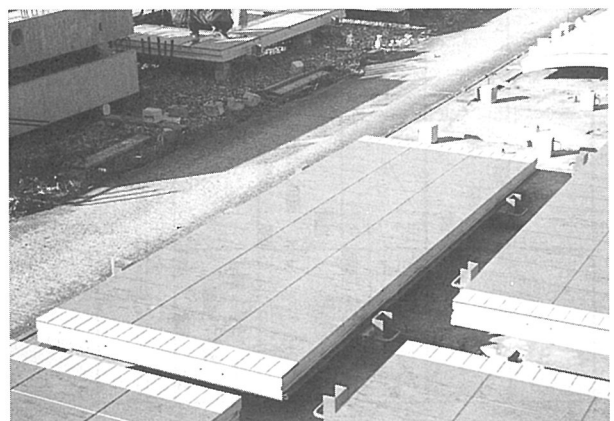
2.1 目的・概要

外環境の変化がタイルの接着力にどのような影響を及ぼすかを検証するため、実大の試験体を作製して、屋外で暴露試験を行った。冬期・中間期・夏期における温度

変化とひずみ量を測定し、また材齢28日と6ヶ月経過した時点で引張り試験を行ない、温度変化とひずみ変化がタイルの接着力にどのような影響を与えるかについて、従来の方法である直打ち込み工法と比較検証を行った。

2.2 試験体形状

試験体は、表－1に示すように、本開発の緩衝モルタルを使用してタイルを打ち込んだもの2体と、比較用として従来工法による直打ち込み工法のもの1体の、計3体である。試験体は、日射熱の影響を調べるために、日射量の大きいと思われる南面に本開発によるものと従来工法によるものを1体ずつ（No.1, No.2）、日射によるタイル表面温度の変化が急激だと思われる東面に本開発によるもの1体（No.3）を設置した。



写真－1 大型タイル打込みカーテンウォール部材

*東京分室 *²東京本店建築部

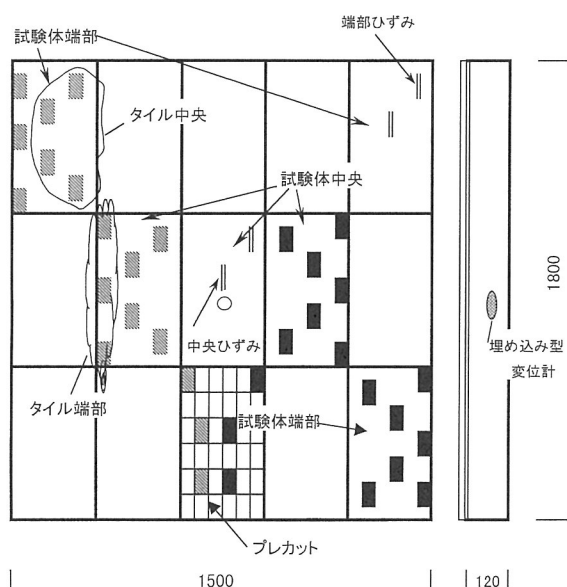
試験体の形状は図-1に示すように、使用するタイルを15枚張れる $1.5 \times 1.8 \times 0.12\text{m}$ の大きさとした。接着力のタイルの大きさによる影響を調べるために、比較用として同一製品のタイルを $45 \times 95\text{mm}$ にプレカットしたものを試験体の一部に打ち込んだ。カーテンウォール部材は、通常軽量1種コンクリートが使用されることが多いが、日射熱の影響を調べるのが目的であるため、軽量コンクリートでなく、線膨張係数の大きい普通コンクリート($F_c=21\text{N/mm}^2$ 、スランプ8cm)とした。配筋は、コンクリートの乾燥収縮や熱膨張を極力拘束しないように、D10@200のシングル配筋とした。また、目地によるタイルの拘束力をなくすため、目地はタイル厚と同じ6mmの深目地とし、型枠脱型後にシーリング材を目地に充填した。試験体の製造は、通常の生産工程でおこない、コンクリート打設後は蒸気養生を行ない翌日脱型した。脱型後、各試験体を所定の方位に向くように立てかけ、裏面となる部分には写真-2に示すように屋根を掛け渡した。暴露試験は1999年1月より埼玉県白岡町の屋外ヤードでおこなっている。

2.3 使用材料

使用したコンクリートと緩衝モルタルの物性試験結果を、表-2と表-3に示す。材齢4週以降の緩衝モルタルの物性値の伸びは少なかった。

表-1 試験体一覧

試験体名	工法	設置位置
No.1	従来工法(直打ち込み)	南
No.2	本開発工法(緩衝モルタル)	
No.3		東



■ 材齢28日引張り試験 ■ 材齢6ヶ月引張り試験 ○ 熱電対 || W.S.G.

図-1 試験体形状と試験位置

2.4 暴露時試験項目

(1) 温度測定

温度計測用として、図-1に示す試験体中央部のタイル表面、タイル裏面、コンクリート内部、およびコンクリート裏面に熱電対を設置した。材齢1週間までは1時間毎に、以後材齢28日までは2時間ごとに温度を測定した。その後、4月17日～4月26日、8月4日～8月13日、10月3日～10月12日の各10日間は2時間間隔で測定した。

(2) ひずみ測定

ひずみ測定をおこなうため、図-1に示す試験体中央部のタイルと試験体端部のタイルそれぞれの、中央部と端部にワイヤーストレインゲージ(W,S,G)を貼り付け、コンクリート裏面の試験体中央部と端部にもW,S,Gを貼り付け、コンクリート内部試験体中央部に埋め込み型の変位計を設置した。なお、計測間隔、期間は温度測定と同様である。また、使用したコンクリートとモルタルの長さ変化試験を行った。

表-2 コンクリートの物性試験結果

養生 材齢	圧縮強度 (N/mm^2)		ヤング係数 (kN/mm^2)	
	標準	蒸気	標準	蒸気
1週	28.7	26.7	—	—
4週	39.9	32.0	36.2	36.4
8週	—	33.6	—	35.9
13週	—	31.7	—	31.5
6ヶ月	—	33.4	—	31.6

養生
標準: 標準水中養生
蒸気: 蒸気養生後封かん養生

表-3 緩衝モルタルの物性試験結果

養生 材齢	圧縮強度 (N/mm^2)		ヤング係数 (kN/mm^2)		割裂強度 (N/mm^2)		曲げ強度 (N/mm^2)	
	標準	蒸気	標準	蒸気	標準	蒸気	標準	蒸気
1週	20.6	18.9	—	—	2.2	1.8	5.5	—
4週	22.4	23.2	15.7	13.7	3.1	2.6	6.4	6.1
8週	—	24.1	—	—	—	—	—	15.8
13週	—	26.1	—	—	—	2.5	—	17.9
6ヶ月	—	28.3	—	15.9	—	2.8	—	19.0

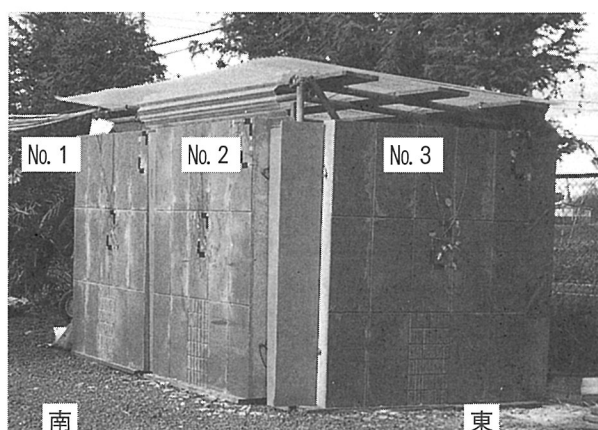


写真-2 屋外暴露の状況

(3)タイルの引張り接着強さ試験

屋外暴露によるタイル接着力の経時変化を調べるために材齢28日と6ヶ月で引張り試験をおこなった。試験前日に45×95mmの大きさに切り込みを入れ、アタッチメントを取り付け、建研式引張試験機で接着力を測定した。試験片は図一1のように、試験体中央部と端部の強度差、および1枚のタイルの中での強度差を調べるために、各々の材齢で試験体中央のタイルと端部のタイルからそれぞれタイル中央の試験片を4枚、タイル端部の試験片を3枚切出した。なお、プレカットした試験片は各々の材齢で3枚とした。

3. 試験結果

3.1 温度測定の結果

各季節の温度測定結果を表-4に、測定例として、タイル表面の温度変化が急激であった東面に設置した緩衝モルタル工法の試験体（No.3）各部の温度履歴を図-2に示す。各試験体のタイル表面とコンクリート裏面の温度差の日内変化を図-3に示す。なお、使用したタイル

の色は日射の影響を受けやすい赤茶色であった。

(1)タイル表面の温度

表-4から分かるようにタイル表面の最高温度は、いずれの試験体でも夏>春・秋>冬であり、どの季節も東面より南面が高く、夏期の南面では、47℃を超える値となった。図-3から分かるように、冬や春・秋のように朝方に太陽光が当たる東面の温度上昇が急であり、温度上昇量も大きかった。

(2)各層の温度差

図-2から分かるように、日射を受ける前（6時ごろ）の各部位の温度は、試験体方位に関係なくほぼ外気温と等しい温度であった。タイルが薄いこともあり、タイル表面とタイル裏面の温度はほぼ同様の温度履歴を示し、その温度差は、12時ごろで約2~3℃であった。また、コンクリート内部とコンクリート裏面でも同様の温度履歴であった。図-3から分かるように、冬と秋の温度差は、南面より東面のほうが大きく、季節では、夏期は10℃程度と小さいが、秋・冬期の東面では15℃を超える値であった。

表-4 温度測定結果

	試験体	No.1（直打込み 南）					No.2（緩衝モルタル 南）					No.3（緩衝モルタル 東）					外気
		タイル表	タイル裏	con内	con裏	温度差	タイル表	タイル裏	con内	con裏	温度差	タイル表	タイル裏	con内	con裏	温度差	
冬	平均	7.6	7.7	7.3	11.1		8.1	8.5	7.9	9.9		9.6	10.0	9.1	9.8		4.9
	最高	28.0	26.5	22.1	21.6	12.9	30.4	28.9	23.9	25.0	12.3	29.3	27.1	23.1	24.3	17.4	17.1
	最低	-3.2	-3.0	-2.6	1.2		-3.2	-2.7	-2.3	-1.9		-3.0	-2.3	-2.0	-1.1		-3.4
	温度差	31.2	29.5	24.7	20.4		33.6	31.6	26.2	26.9		32.3	29.4	25.1	25.4		20.5
春	平均	18.4	18.4	18.3	19.9		18.3	18.6	18.1	20.3		17.9	18.2	17.9	19.5		16.6
	最高	38.0	35.7	32.7	31.0	9.9	38.5	37.2	32.3	33.3	9.8	30.9	29.0	28.1	32.8	10.6	27.7
	最低	10.9	11.1	11.5	15.0		10.9	11.4	11.6	10.3		10.8	11.4	11.6	12.5		9.2
	温度差	27.1	24.6	21.2	16.0		27.6	25.8	20.7	23.0		20.1	17.6	16.5	20.3		18.5
夏	平均	32.6	31.9	31.3	30.7		32.6	32.3	31.9	31.0		31.5	31.3	31.3	30.0		29.5
	最高	47.2	45.1	42.2	39.0	9.9	48.0	46.8	42.8	40.0	9.9	42.2	39.6	39.0	37.6	12.3	38.6
	最低	25.7	25.2	25.0	25.3		25.4	25.3	25.8	25.5		25.3	25.3	25.7	24.9		24.2
	温度差	21.5	19.9	17.2	13.7		22.6	21.5	17.0	14.5		16.9	14.3	13.3	12.7		14.4
秋	平均	23.5	22.9	22.0	21.8		23.8	23.4	22.8	22.2		23.9	23.6	23.1	22.1		20.7
	最高	43.1	39.9	33.8	31.7	12.2	44.4	41.9	35.0	32.4	13.3	40.8	37.8	34.5	32.6	16.4	37.0
	最低	15.2	14.7	14.5	15.0		15.2	15.1	15.5	15.6		15.1	15.1	15.7	15.4		13.4
	温度差	27.9	25.2	19.3	16.7		29.2	26.8	19.5	16.8		25.7	22.7	18.8	17.2		23.6

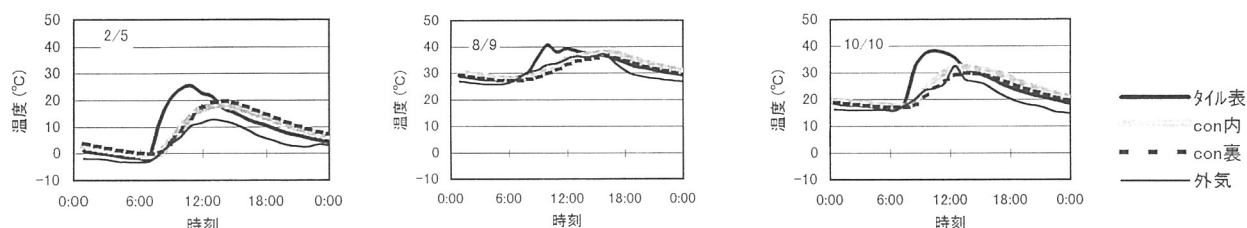
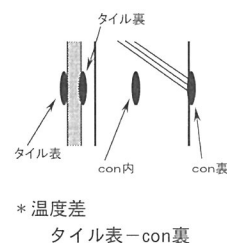


図-2 試験体各部の温度履歴（試験体No.3）

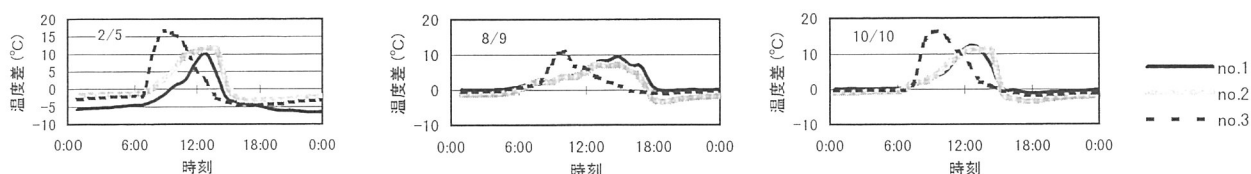


図-3 季節毎のタイル表面とコンクリート裏面の温度差の日内変化

今回の試験では、冬期に、コンクリート裏面の温度が -1°C 程度まで下がり、タイル表面との温度差が他の季節に比べて大きくなったが、一般の建築物では、暖房をおこなうことなどによってコンクリート裏面温度はそれほど下がらず、タイル表面との温度差は測定結果より少ないと考えられ、したがって冬期より春・秋の温度差のほうが大きくなるものと推察する。

3.2 ひずみ測定の結果

試験体中央部で測定したタイル表面とコンクリート裏面のひずみを図-4に、No.1、No.2試験体のコンクリート裏面の試験体中央部と試験体端部のひずみを図-5に、試験体中央部と試験体端部のタイル表面とコンクリート裏面のひずみの日内変化を図-6に示す。

(1) 使用材料長さ変化試験結果

使用したコンクリートとモルタルの長さ変化試験(JIS A1129)では、材齢6ヶ月ではコンクリートで 7×10^{-4} 、モルタルで約 1.9×10^{-3} であった。

(2) コンクリートのひずみ

図-4から、いずれの試験体もコンクリートのひずみは約 250×10^{-6} であり、コンクリート長さ変化試験の約35%であった。これは、鉄筋による拘束と打込んだタイルによる拘束があったためだと考える。図-5をみると、工

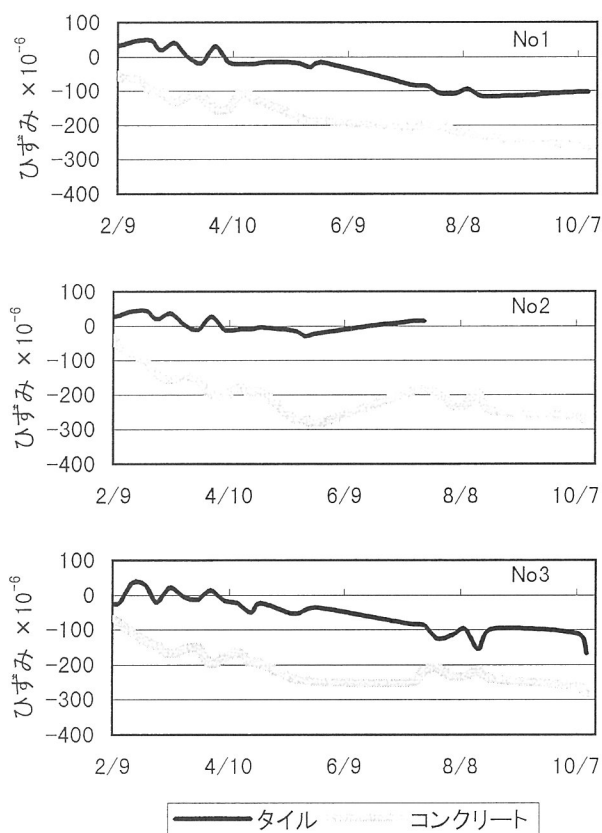


図-4 試験体中央部のひずみ

法による違いは認められず、裏面中央のひずみはあまり大きくなく、試験体端部では、コンクリート打設後4週目までに、急速にひずみが進行している。材齢3ヶ月では、端部で 330×10^{-6} 中央部ではそれより 100×10^{-6} 以上小さな値であった。これは、乾燥収縮が、部材端部で急速に進行したためだと考える。ひずみの日内変化は、図-6に示すように、各季節のいずれの試験体でも 50×10^{-6} 以下であった。コンクリートのひずみは、カーテンウォール部材のように周囲の固定度の小さな部材では乾燥収縮に起因する収縮が大きく、それに比べ日射熱に起因する膨張は小さいと言える。

(3) タイル表面のひずみ

試験体中央部のタイル表面最終ひずみは、図-4に示すように約 $100 \sim 150 \times 10^{-6}$ であった。これは、コンクリートの乾燥収縮によって発生したものとする。全体的な傾向として、図-6のように試験体中央部のタイルより試験体端部のタイルのほうがひずみが大きく、また、タイルの1日のひずみ変化は、タイル表面温度変化の大きな秋・冬のほうが、温度変化の少ない夏よりも大きく、試験体端部のタイル端部のひずみは夏期では、 100×10^{-6} 、冬期・秋期では 150×10^{-6} であった。

以上のことより、タイル表面のひずみ量は、下地コンクリートの乾燥収縮による影響よりも、日射熱による影響の方が大きいと考える。

(4) コンクリートとタイルのひずみ差

各季節毎のタイル表面ひずみとコンクリート裏面ひずみの差を図-7に示す。ひずみ差は、直打ち工法のNo.1では、中央部で小さく、端部で大きな値となった。

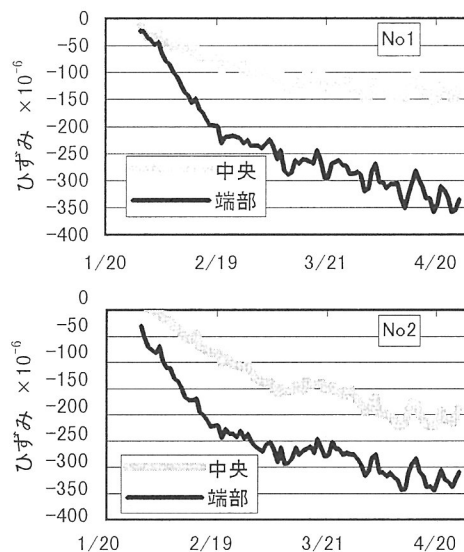


図-5 コンクリート裏面の中央部と端部のひずみ

緩衝モルタル工法のNo.2試験体では、ひずみ差の値そのものは大きい、端部と中央部との差は小さかった。また、長期材齢の春期と夏期の端部ひずみ差は、タイル表面の温度変化が大きかった春期のほうが 50×10^{-6} 程度大きな値となった。以上のことより、タイル接着面に働く応力は試験体端部の方が試験体中央部より大きく、また、1枚のタイルの中でも、タイル中央部よりタイル端部の方が大きいと考える。

3.3 タイル接着力試験の結果

引張り試験結果を図-8に示す。材齢28日では、すべてタイル裏面と下地材の界面で剥離し、直打込み工法の

No.1試験体のほうが若干引張り強度は大きかった。すべての試験体でJASS 19タイル工事に示されているタイル先付けプレキャストコンクリートでの接着力($0.6\text{N}/\text{mm}^2$)を超えていた。

材齢6ヶ月では、試験体No.1ではすべてタイル裏面と下地コンクリートの界面で剥離したが、緩衝モルタル工法では、一部モルタルの凝集破断が見られた。引張り強度は、緩衝モルタル工法では材齢28日の時より強度の増加がみられたが、直打込み工法では、プレキャストした試験片を除いて低下していた。また、その低下の程度は、試験体中央部より試験体端部の方が著しく、 $0.6\text{N}/\text{mm}^2$

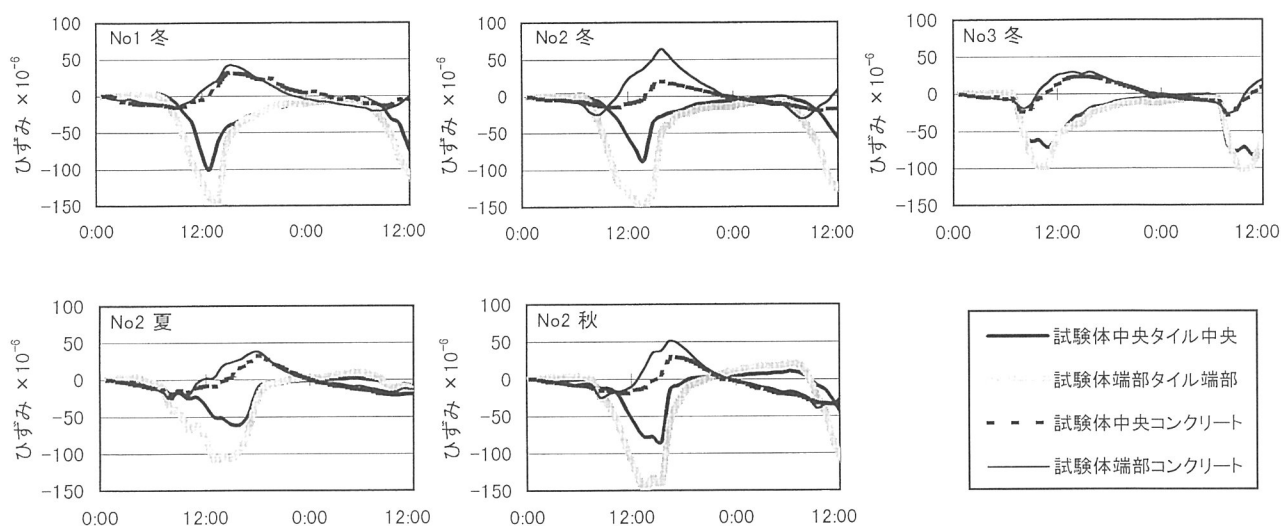


図-6 ひずみの日内変動（試験体中央部と端部）

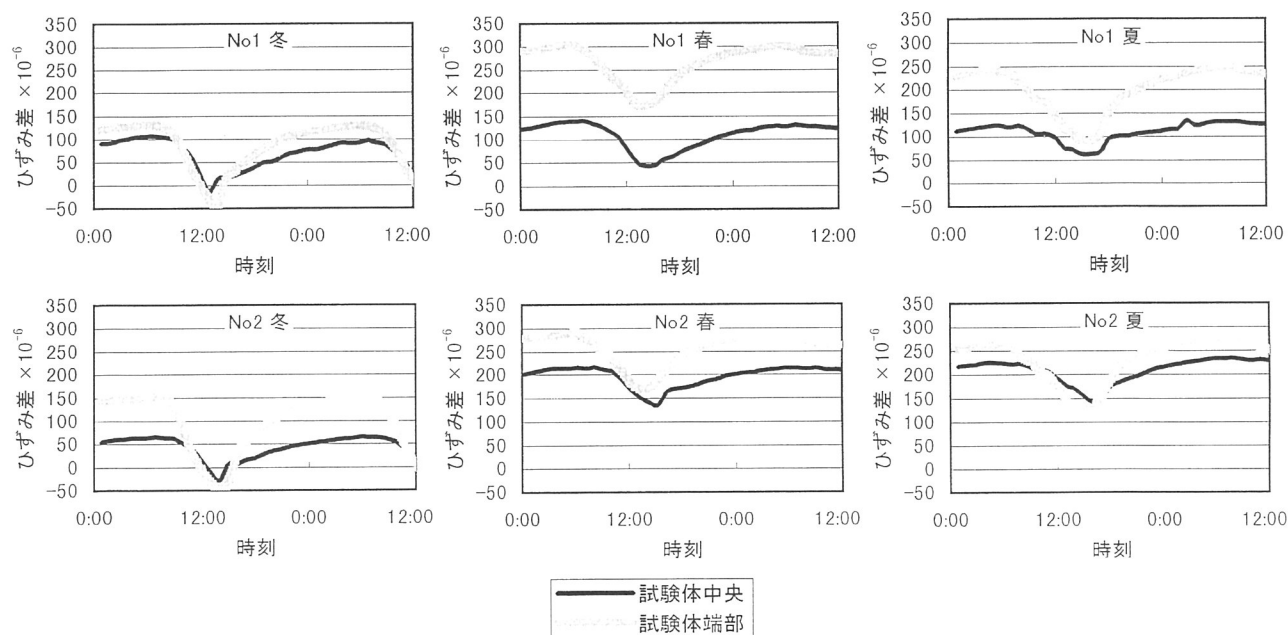


図-7 タイルとコンクリートのひずみ差の日内変化

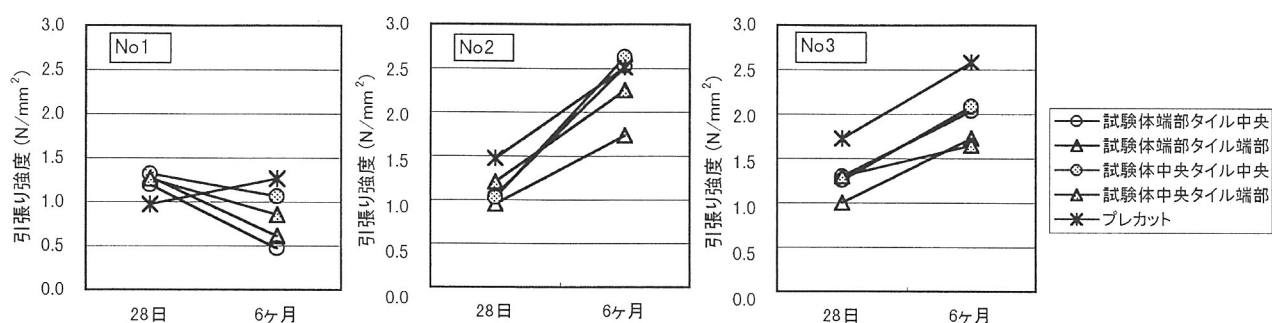


図-8 引張り試験結果

に満たないものも有った。緩衝モルタル工法では、試験体中央部タイルの方が強度の増加が大きく、また、1枚のタイルの中でもタイル中央部の方が強度の増加が大きい。材齢6ヶ月と材齢28日の強度比は、プレカットした、試験体の引張り強度はすべての試験体で長期に渡り安定しているが、面積の大きなタイルを、従来の直打ち込み工法によったものでは、6ヶ月後、試験体端部の引張り強度が、材齢28日の強度に比べ約半分まで低下している。また、日射による急激な温度変化を繰り返し受けた試験体No.3については、No.2の南面に向けた試験体より強度の増進が小さかった。

4. まとめ

半年以上にわたり暴露試験をおこなった結果、以下のことが確認された。

- ・タイル表面は、日射熱によって夏期の南面では47℃以上の高温になる。
- ・南面より東面のほうがタイル表面とコンクリート裏面の温度差が大きくなり、また、南面、東面とも夏より秋の温度差が大きくなる。
- ・コンクリートの乾燥収縮は、部材端部の方が大きく、急速に進行する。
- ・カーテンウォール部材では、部材中央部より部材端部の方がタイルに発生するひずみが大きく、タイルの剥離も部材端部に打ち込まれたタイルの端部から発生しやすいと考える。
- ・タイルに発生するひずみは、下地コンクリートの乾燥収縮によるよりも、日射による温度応力の影響の方が大きい。
- ・直打ち込み工法では、面積の小さなタイルの場合は、温度変化による応力を繰り返し受けても、接着力の低下は僅かであるが、面積の大きなタイルの場合は、接着力の低下が著しくなる

- ・タイルの裏面に低弾性のモルタルを緩衝材として介在させることで、接着面に発生する乾燥収縮、温度差による応力を小さくすることができ、接着力の低下を防げる。

以上から、カーテンウォールに大型タイルを打ち込み、製品とする場合、従来の直打ち込み工法では下地コンクリートの乾燥収縮や温度変化による応力の発生によって接着力が低下し、カーテンウォール部材端部のタイルでは、材齢6ヶ月時点で材齢28日の半分程度の接着力となり、先付けプレキャストコンクリート（JASS 19）で定めるタイルの接着力0.6N/mm²を満たすことができなかったが、今回開発した緩衝モルタルを介して打ち込んだ工法の場合は、その低下が認められず、本工法の優位性、現実性を確認する事ができた。

今後、さらに暴露試験を1年間継続しておこない、これまでに得られた本工法の優位性を確認すると共に、今回のデータを基に緩衝モルタルに働く応力の解析をおこない、その効果を実証していきたい。

[参考文献]

- 1) 小笠原他：実大試験体におけるタイル張り壁面の挙動に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、pp1303-1306、1994.9
- 2) 半谷他：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、日本建築学会学術講演梗概集、pp1127-1128、1996.9
- 3) 菅井他：PC a版に先付けされた大型タイルの剥離防止対策に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、pp1313-1314、1994.9