

18. 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1 室内試験)

高見 錦一
崎山 和隆
山口 克彦

要 旨

厚みの薄い、裏面に突起物のない海外産の大型タイルをプレキャストコンクリートカーテンウォール部材に打ち込む工法として、タイル裏面にヤング係数の小さなモルタルを介在させてコンクリートを打設する工法を開発した。

小試験体を作製して引張り試験を行った結果、温冷繰り返し養生後においても付着強度の低下は少なく、 10kgf/cm^2 以上の付着強度を有することがわかった。

キーワード

海外産大型タイル／アリ足／緩衝モルタル／温冷繰り返し養生

目 次

1. はじめに
2. 工法概要と使用タイル
3. 予備実験
4. 室内試験
5. ま と め

18. A STUDY ON THE PRECAST PLACING METHOD OF LARGE-SIZED, FOREIGN-MADE TILES (PART 1 : INDOOR EXPERIMENT)

Kin-ichi Takami
Kazutaka Sakiyama
Katsuhiko Yamaguchi

Abstract

A method to place thin, large-sized, foreign-made tiles that are flat on the reverse side onto pre-cast concrete curtain wall members has been developed, in which the concrete is cast with tiles having an adhesive media, namely the mortar with small Young's modulus, applied on the reverse side.

Tensile tests using small specimens were performed. The results indicated that decline in adhesive strength is small even after curing the specimens under a repeated cycle of high and low temperatures, and adhesive strength of 10kgf/cm^2 or more has been demonstrated.

1. はじめに

建設業においても国際化が急速に進み、今後、海外資材を使用する事例がますます増えてくるものと考えられる。その中でも大型タイルは仕上げも美しく、国産品より価格が安いと、面積の大きい外壁に使用されたり、プレキャストカーテンウォールのような外壁の仕上げ材として使用される例が多くなってきている。

しかし、海外産の大型タイルは、その多くが乾式製法で製造されており、裏面にアリ足もなく厚みも薄いので、打ち込みタイルとして利用するにはいろいろな障害が予想された。したがって、国内産小口タイルの打ち込み工法と同様の方法で直打ち込みをして、プレキャストコンクリートカーテンウォール部材を製造した場合、タイルと下地コンクリートの乾燥収縮率や線膨張率の違いから起こる挙動差から、タイルに割れや剥離が発生するのが懸念される。本報告は、その1として裏足の無い海外産大型タイル（300×600×6mm）を、プレキャストカーテンウォール部材に打ち込む工法を開発するにあたり、予備的に行なった実験と温冷繰り返し試験の結果について述べる。

2. 工法概要と使用タイル

大型タイルをプレキャスト部材の表面仕上げ材として直打ち込みする場合、乾燥収縮や線膨張係数の差から下地コンクリートとタイルとの間にひずみが発生し、その応力の偏在によって、タイル端部から剥がれたり、タイルが下地の挙動に追従しきれずにタイルが割れてしまうという結果が予想される。

小口タイルの場合と同様に、直接タイルの上にコンクリートを打ち込めば、上記のような不具合が発生する恐れがあるのは言うまでもない。タイルとコンクリートとの間に乾燥収縮や温度変化によって挙動が生じて、それを緩衝する剛性の小さなモルタルを介在させれば付着力を保持でき、剥落も防げるのではないかと考え、本工法の開発に着手した。図-1に本工法の概要を示す。なお、打ち込みタイルが大型タイルであることから、タイル裏面に4ヶ所補助金物を張り付けるなど落下防止に備えた。

製造方法としては、最初にタイル裏面に金物を接着剤で張り付けておき、それを鋼製ベツ面にタイルの裏面が表となるように敷き並べ、その上にヤング係数の小さなモルタルを緩衝材として塗りつけた後、オー

ブンタイム内にコンクリートを打設するという順序で行なう。

本実験で使用した海外産タイルの基本物性値を表-1に示す。

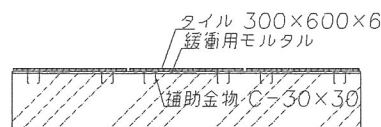


図-1 工法概要

表-1 タイルの基本物性値

吸水率	EN99	0.1%
曲げ強度	EN100	56N/mm ²
圧縮強度	UNI-5632	252N/mm ²
熱膨張係数	EN103	9×10^{-6}

（カタログより転記）

3. 予備実験

工法を確定するため、以下に挙げる種々の予備実験を行なった。

3.1 緩衝モルタル別の引張り強度

100×200mmの大きさを持つ海外産タイルを用いて、緩衝用モルタルをそのパラメーターとして引張り試験を行なった。モルタルは、当社でタイル張りに使用する一般張り付けモルタルと、大型タイル用の既調合モルタル、および海外で使用されている既調合モルタルの3種類とした。

それぞれのモルタル物性値を表-2に、引張り試験結果を図-2に示す。

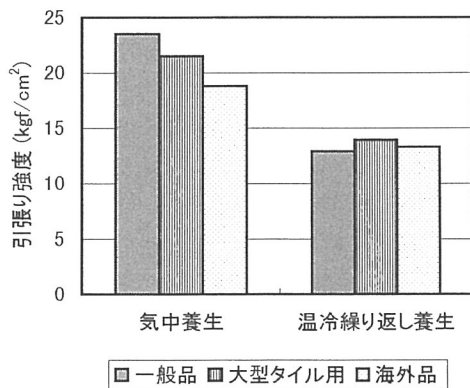
引張り試験は、住都公団特記仕様書に示されているタイルモルタル試験に準じて行なった。試験体は450×450×65mmの平板コンクリートにタイルを密着工法で張り付けた。気中養生のものは材齢28日で試験を行ない、温冷繰り返し養生を行なうものは気中養生28日経過後、-20℃と+50℃の温冷繰り返しを10サイクル行なった後に、それぞれ45×45mmの大きさに試験体を切り出して、建研式タイル引張試験機で試験を行なった。

試験の結果、一般張り付けモルタルは、圧縮強度を始めとするすべての強度で大きな値を示し、ヤング係数も大きな値を示した。一方、海外品と大型タイル用モルタルは、一般張り付けモルタルに比べて全体的に小さな値を示し、特に海外品のモルタルのヤング係数は小さな値であった。

試験体の引張り試験を行なった結果、気中養生では一般品が一番大きな付着力を示したが、温冷繰り返し養生をしたものは、一般品、海外品、大型タイル用とあまり大きな差異はみられなかった。ヤング係数の大きい一般品では、温冷繰り返し養生をした場合、気中養生したものに比べ、付着強度が大きく低下していた。

表－２ モルタルの物性

	(N/mm ²)		
	一般品	大型タイル用	海外品
圧縮強度	45.2	19.1	14.3
割裂強度	4.8	1.8	1.4
曲げ強度	10.5	4.5	4.3
ヤング係数	2.42 E +04	8.82 E +03	1.14 E +04



図－２ モルタル別の引張り強度

3.2 工法別のタイル引張り強度

打ち込み工法を下記の3種類とし、コンクリートの種別を普通コンクリートと軽量1種コンクリートの2種類として試験体を作製し、打ち込み後28日で引張り試験を行なった。試験片は試験体の中央部で3ヶ所づつ45×45mmの大きさに切り出した。試験結果を図－3に示す。

打ち込み工法

① 直打ち込み：

従来のタイル打ち込み工法と同様に、タイル裏面

にコンクリートを直接打設

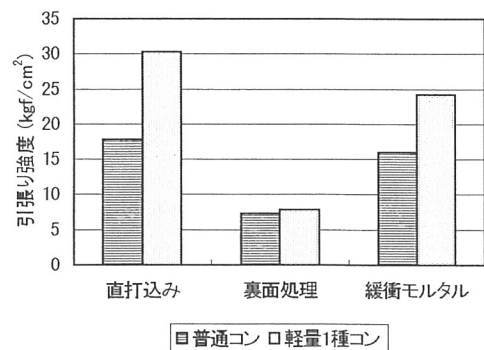
② 裏面処理：

従来の石の打ち込み工法と同様にタイルの裏面にエポキシ樹脂を塗布してコンクリートを打設

③ 緩衝モルタル工法（本工法）：

タイルとコンクリートの間にヤング係数の小さなモルタルを介在させてコンクリートを打設（タイルとコンクリート相互のひずみを吸収、また緩衝させるため）

軽量1種コンクリートの試験体では、直打ち込み工法が一番大きな値を示したが、普通コンクリートでは直打ち込み工法と緩衝モルタル工法ではあまり差はみられなかった。これは、下地コンクリートのヤング係数が普通コンクリートでは軽量1種コンクリートの約2倍の大きさであるため、直打ち込み工法の普通コンクリート下地においてタイルとコンクリートとの間に挙動差が起り引張り強度が低下したものと考える。

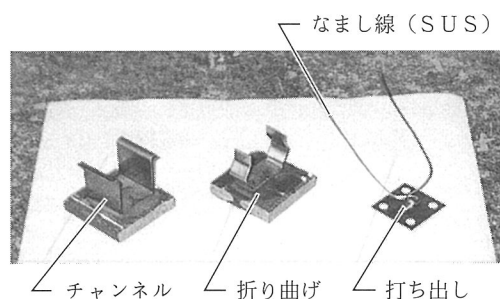


図－３ 工法別引張り強度

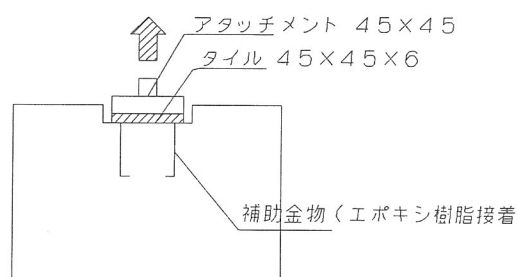
3.3 補助金物試験

タイル裏面に4ヶ所金物を取り付け、万一タイルが剥離してもその金物の支持で落下しないようにした。建物高さ60mを想定した時のタイル1枚に加わる風圧力は90kgfとなる。4ヶ所の内2ヶ所が有効に働いたとして、1ヶ所当たり45kgfの力が加わることとなる、安全率を2とすると補助金物一ヶ所当たり90kgfの耐力が必要となる。金物の形状を3種類考案し、タイル裏面に接着剤で張り付けて、コンクリートを打設した試験体を作製し、引張り試験を行なった。それぞれの金物形状を写真－1に、引き抜き試験方法の概要を図－

4に、その試験結果を表－3と図－5に示す。なお、タイルに金物を接着する材料に、引張り強度130kgf/cm²を有するエポキシ樹脂接着剤を用いた。



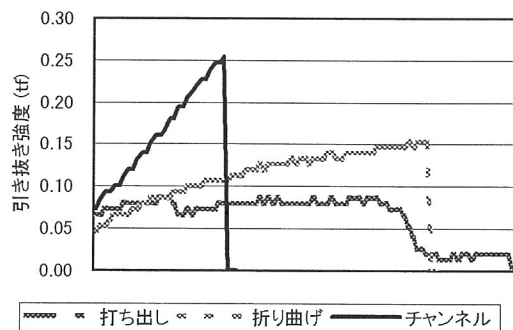
写真－1 金物形状



図－4 引き抜き試験概要

表－3 金物引き抜き強度

金物の種類	引 き 抜 き 強 度 (tf)			
	最 大			平 均
	1	2	3	
打 ち 出 し	0.107	0.120	0.086	0.104
折 曲 げ	0.153	0.147	0.194	0.165
チャンネル	0.180	0.194	0.254	0.209



図－5 引き抜き強度（一例）

破断位置はすべてタイルと金物の接着面であった。

チャンネルの場合、経過時間と共に直線的に強度が上昇しているが、折り曲げ金物や打ち出し金物の場合は、右肩上がりのなだらかな曲線状を示しており、所々低下しているところが見られている。これは、金物に取り付けたステンレスのなまし線や折り曲げプレートとコンクリートとの付着が切れたからだと考える。

4. 室内試験

上記の試験結果を考慮して、以降の実験では打ち込み工法として、引張り強度そのものは直打ち込み工法より若干小さいが、下地の挙動による強度低下の小さな緩衝モルタル工法を採用することとした。モルタルにはヤング係数の小さい国内産既調合のポリマーセメント系張り付けモルタルを使用し、補助金物にはチャンネルを採用した。

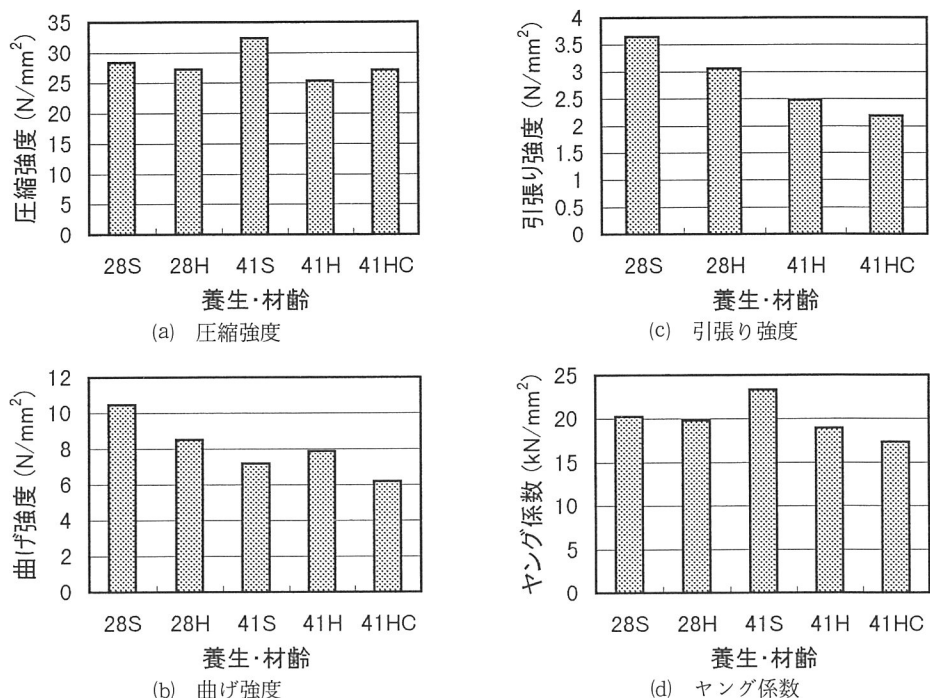
室内試験では本工法で、重要な役割を占める緩衝用モルタルの基本物性を把握するための試験と、許容応力値を推定するための物性試験を行なった。

また、小試験体を作製して住都公団が示す温冷繰返し養生試験を実施した。

4.1 使用モルタルの物性

緩衝材に使用するモルタルの基本的な物性値を調査するために、標準状態での緩衝モルタルの物性試験を行なうとともに、住都公団が示す温冷繰返し養生による物性試験を行なった。試験結果を図－6に示す。

蒸気養生した試験体の圧縮強度は、材齢28日から41日であまり変化はみられなかった。また、温冷繰返し養生によっても強度低下は認められなかった。しかし、曲げ強度と引張り強度は温冷繰返し養生によって若干の強度低下が認められた。



試験体形状 圧縮強度 $\phi 50 \times 10 \text{ cm}$ 曲げ強度 $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ 引張り強度 $\phi 10 \times 10 \text{ cm}$
 ヤング係数 圧縮試験体にコンクリートゲージ張り付け
 凡例 (材齢・養生) 28H: 蒸気養生後封かん養生, 材齢28日 28S: 標準水中養生, 材齢28日 41S: 標準水中養生, 材齢41日
 41H: 蒸気養生後封かん養生, 材齢41日

図－6 緩衝モルタルの物性

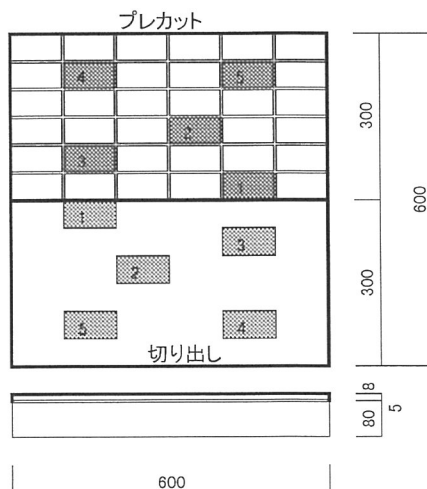
表－4 実験パラメータ

試験体名	工 法	試験片	試験日	試験体
MO-P-A28	モルタル 緩衝工法	プレカット	材齢28日	a
MO-P-HC			温冷養生後	b
MO-C-A28		切り出し	材齢28日	a
MO-C-HC			温冷養生後	b

4.2 温冷繰り返しによるタイル引張り強度

実際の製造工程に合わせて、 $600 \times 600 \times 91 \text{ mm}$ の小試験体を2体作製して、材齢28日気中養生での引張り強度と住都公団が示す温冷繰り返し養生後の引張り強度を測定した。また、引張り試験の試験片は、タイルの大きさによる影響を調べるために、コンクリート打ち込み前にタイルをカットしておいたものと、引張り試験直前にタイルの切り出しを行なったものの2種類を1つの試験体に打ち込んだ。試験体は、無筋コンクリートで $F_c = 21 \text{ N/mm}^2$ 、スランプ8 cmのコンクリートを使用した。なお、今回の試験体には、補助金物は取り付けなかった。実験のパラメーターを表－4に、試験体形状を図－7に示す。

試験体は、コンクリート打設後 45°C で蒸気養生を行い翌日型枠を脱型した。材齢28日まで 20°C の室内で養生した後、試験体aの引張り試験を実施した。試験体bは、材齢28日から温冷繰り返し養生をした後、材齢41日に引張り試験を行なった。

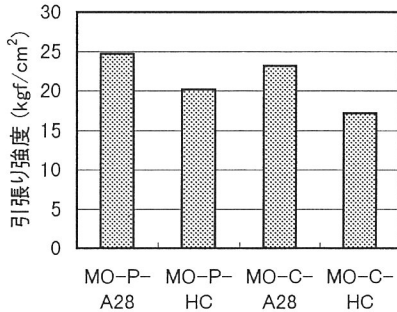


図－7 試験体形状図

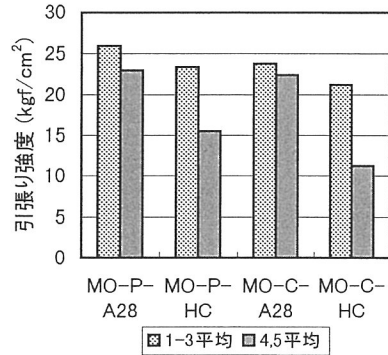
表－5 引張り強度一覧

試験体名	引 張 り 強 度 (kgf/cm ²)										破 断 位 置				
	1	2	3	4	5	平均	1～3	4.5	σ		1	2	3	4	5
MO-P-A28	23.9	30.2	23.7	25.7	20.1	24.7	25.9	22.9	3.7		B	B	B	B	B
MO-P-HC	21.1	24.4	24.4	18.6	12.3	20.2	23.3	15.5	5.0		B	B	B	B	B
MO-C-A28	25.7	19.3	26.2	21.4	23.3	23.2	23.7	22.4	2.9		E	B	E	B	B
MO-C-HC	24.5	19.8	19.2	10.4	12.0	17.2	21.2	11.2	5.9		E	B	B	B	E

破断位置 A : アタッチメントとタイル B : タイルとモルタル C : モルタル内部
D : モルタルとコンクリート E : コンクリート内部



図－8 試験体別引張り強度



図－9 試験片位置による引張り強度

試験結果を表－5に示す。すべての試験片で10 kgf/cm²以上の付着強度が有り、一部、下地コンクリート内部での破断があったが、ほとんどタイル裏面と緩衝モルタル境界面で破断した。

図－8に示すように、プレカットした試験片より切り出した試験片の方が、温冷繰り返し養生後の強度低下が大きかった。これは、タイルが大型化することにより、温冷繰り返しによる下地の挙動をモルタルが吸収しきれなかったためではないかと推測する。

図－9に示すように試験体中央部のNo.1～3の試験片の引張り強度は、温冷繰り返し養生によって、プレカットしておいたものも切り出したものも約2.5 kgf/cm²低下していた。一方、試験体端部のNo.4、5の試験片では、プレカットしておいたものは7.4kgf/cm²、切り出したものでは11.2kgf/cm²の強度低下であった。これは、試験体下地コンクリートが温度や乾燥によって一様に歪むのではなく、試験体端部において大きく歪んだものと考えられる。

5. まとめ

予備実験と室内で行なった温冷繰り返し試験によって、以下のことが確認された。

- ① ヤング係数の小さなモルタルを緩衝材としてタイルとコンクリートの間に挟んだ本工法では、下地の挙動による引張り強度の低下は小さい。
- ② 大型タイルは、通常の大きさのタイルより温冷繰り返しによる引張り強度の低下が大きい。
- ③ 部材端部のタイル引張り強度は、中央部より温冷繰り返しによる強度低下が大きい。

今後、これまでの室内試験結果を基に暴露試験体を作製して、暴露状態でのタイルとコンクリートのひずみを各季節毎に測定すると共に、暴露による引張り強度の低下量を確認して、大型タイル打ち込み工法としての基準を確立し、製造マニュアルを作成したいと考えている。

[参考文献]

- 1) 猪井ほか：PCa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（その1～その4）日本建築学会大会学術講演梗概集 pp1307～pp.1314 1994.9
- 2) 住都公団特別仕様書 5. タイルモルタル