

論文 タイル型枠先付け工法への高流動コンクリートの適用化

村井 正^{*1}・柿崎正義^{*2}・小笠原和博^{*1}

要旨：タイル型枠先付け工法における設計施工のための技術資料を得ることを目的に、同工法に高流動コンクリートを適用した場合の接着特性ならびに仕上がり状態を究明した。また、比較試験としてタイル後張り工法における接着特性についても検討した。その結果、高流動コンクリートによる型枠先付け工法では振動締固めを行わなくてもコンクリートとタイルの接着は良好であった。また、タイル表面の仕上がり状態は極めて良く、実施工では清掃及び補修工事の作業員数やコストを低減することができる。後張り工法の接着特性は、高流動コンクリートと普通コンクリートでは差が認められなかった。

キーワード：高流動コンクリート、タイル型枠先付け工法、接着強さ、仕上がり

1. はじめに

最近建物の長寿命化、耐久性向上及び美観上から外壁にタイルを使用した建物が多くなっている。従来より外装タイルの施工法には型枠先付け工法と後張り工法があるが、型枠先付け工法での不具合としてコンクリート棒形振動機の接触によるタイルのひび割れ、セメントペースト分の漏出しによるタイル表面の汚れ、ジャンカによるタイルの接着不良等があり、後張り工法の不具合としてタイルあるいは下地モルタルの剥離・剥落等がある。しかし最近では流動性と材料分離抵抗性に優れた締固め不要の高流動コンクリートが出現したことにより型枠先付け工法の諸問題は大幅に改善できることが予想される。筆者らは実構造物のコンクリート壁面を用いて型枠先付け工法に高流動コンクリートを適用した場合のタイルの接着特性ならびに仕上がり状態について調べた[1]。その結果タイルの仕上がり状態は極めて良いが、材齢45日前後における接着強さは通常の水準より多少低い傾向がみられた。そこで、本研究は長期材齢における接着特性及び接着特性に影響を及ぼすコンクリートの表面状態を測定して考察を加え、タイル型枠先付け工法における設計施工のための技術資料を得ることを目的とした。比較実験として後張り工法におけるコンクリート躯体の表面性状ならびにタイル種類の違いによる接着特性について検討した。

2. 実験概要

2. 1 実験の要因と水準

実験に取上げた要因と水準を表1に示す。タイルは使用頻度の高い50二丁モザイクタイルと二丁掛タイルを使用した。比較試験の後張り工法はコンクリートとセメントモルタルの接着を調べるためコンクリート下地に直接タイルを張付ける直張りで行った。タイル張り面は合板型枠を用いてコンクリートを打設した面及び型枠に専用の凹凸付きシートを取り付けてコンクリートを打設し、表面に多数のあり状の穴を設けた面

表1 実験の要因と水準

要因	水準
A:コンクリートの種類	A1:高流動コンクリート A2:普通コンクリート
B:タイルの施工法	B1:型枠先付け工法 B2:後張り工法(直張り)
C:タイルの種類	C1:50二丁モザイクタイル C2:二丁掛タイル
D:手張り工法時の コンクリート表面状態	D1:合板型枠面 D2:凹凸面

*1 INAX 建材事業本部建材技術研究所(正会員)

*2 鹿島 技術研究所第四研究部専門部長、工博(正会員)

(以後凹凸面という)[2]について行った。実験に使用したタイル及び使用材料を表2に示す。

2. 2 コンクリートの品質管理目標

調査設計は通常の建築工事で使用頻度の高い条件である設計基準強度24N/mm²、スランプフロー65±5cm、空気量4.5±1.5%とした。比較用の普通コンクリートは設計基準強度と空気量は高流動コンクリートと同じとし、スランプは18±2.5cmに設定した。測定は各項目ともJIS規格、土木学会「コンクリート標準示方書、基準編」に準じて行った。それらの測定結果は表3に示すように高流動コンクリート・普通コンクリートとも管理目標を十分に満足していた。また、タイルを型枠先付け工法で施工した箇所の近傍から採取したコア供試体の圧縮強度は図1に示すようにいずれのコンクリートとも設計基準強度の24N/mm²を上回っていた。

2. 3 コンクリートの調査

表4にコンクリートの調査を示す。材料として、セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は松館産砕砂と庭構産陸砂の混合砂(f.m 2.77)、粗骨材は松館産碎石(単位容積質量1.67 kg/l)、高性能減水剤は高縮合トリアジン系化合物、分離低減剤は低界面活性水溶性セルロースエーテルを用いた。

2. 4 試験体の作製

コンクリート躯体の形状・寸法、コンクリート投入口、タイル施工位置等を図2に示す。型枠先付け工法はタイルシート法を採用し、タイルユニ

表2 タイル及び施工材料

タイル	50二丁	磁器質 乾式製法	95×45×7mm
	二丁掛	磁器質 乾式製法	227×60×11mm
張付け モルタル	50二丁	磁器質タイル用既調合モルタル SBR系ポリマー添加 ポリマーセメント比 6%	
	二丁掛	小口・二丁掛用既調合モルタル ポリマーは上記に同じ	
目地材	既調合目地材		

表3 コンクリートの品質

コンクリート	圧縮強度(N/mm ²)	スランプ(cm)	スランプフロー(cm)	空気量(%)
高流動	29	—	67	5.0
普通	30	18.2	—	3.8

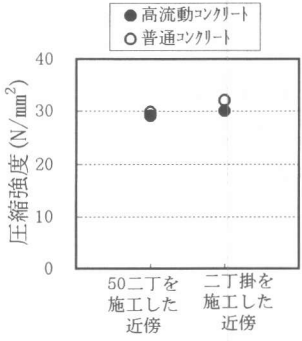
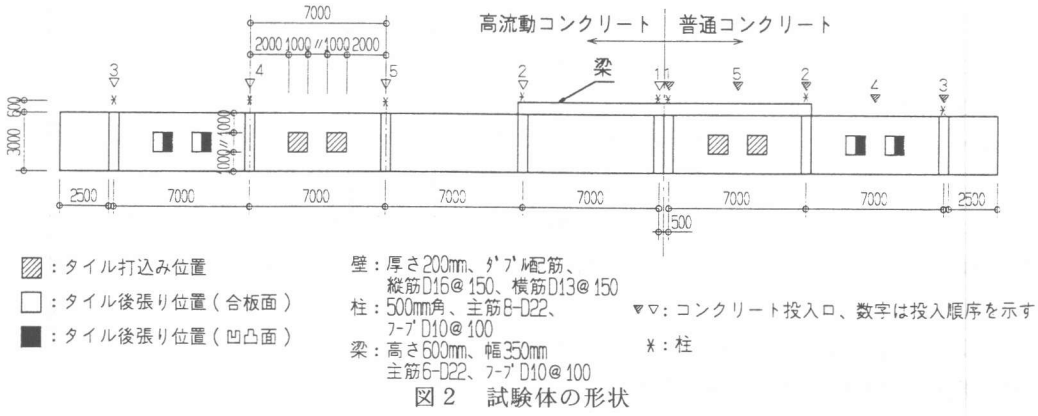


図1 コア供試体圧縮強度(材齢28日)

表4 コンクリートの調査

コンクリート	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m ³)						
			水	セメント	細骨材	粗骨材	高性能減水剤	A E 減水剤	分離低減剤
高流動	53.0	54.1	175	330	977	838	9.9	0.99	0.46
普通	53.0	46.8	167	315	860	988	—	3.28 (5倍液)	—



ットを合板型枠に取り付けてコンクリートを打込むことにより両者を一体化した。コンクリート部材の締固めは高流動コンクリートでは実施しなかったが、普通コンクリートではコンクリート棒形振動機を用いて行った。その条件は、コンクリートの一層の打込み高さが約1m、棒形振動機の挿入間隔は約1m、一ヶ所あたりの加振時間は柱・壁で40～60秒とした。後張り工法はコンクリート打込みから35日後にタイルを張付けた。施工法は50二丁モザイクタイルではモザイクタイル張り、二丁掛タイルでは密着張りであり、直張りの標準的な施工に従ってポリマーセメントモルタルでこすり塗りを行った後、続けて同じポリマーセメントモルタルを塗り付けてタイル張りを実施した。タイル張りの面積は一条件につき型枠先付け工法が約1m²、後張り工法が約0.5m²である。

2. 5 試験項目及び方法

試験項目は、コンクリートの表面粗さ、接着強さと破断状態ならびに仕上がり状態とした。

(1) 表面粗さ

表面粗さは、コンクリートの表面状態と接着強さとの関係を調べるために、合板型枠にコンクリートを打込んだ表面をJIS B 0601「表面粗さの定義と表示」に準じて、表面粗さ計を用いて試験した。試料は実構造物より約50mm角の大きさで採取し、試験は型枠の木目に対して垂直方向と水平方向で行った。評価に用いた表面粗さのパラメータを表5に示す。

表5 表面粗さのパラメータ

測定パラメータ	解 説
中心線平均粗さ	 $\frac{1}{L} \int_0^L f(x) dx$
最大高さ	 MAX-MIN

(2) 接着強さと破断状態

接着強さは、建研式接着力試験機を用い、50二丁モザイクタイルはタイル全形で、二丁掛タイルは小口サイズに切断して試験した。破断状態は、接着強さ試験後の破断面を目視で観察し、破断面別の面積比率を求めた。試験個数は5個とし、試験材齢は型枠先付け工法ではコンクリート打込み後44日と14ヶ月、後張り工法ではタイル張り後47日と13ヶ月とした。

(3) 仕上がり状態

型枠先付け工法による仕上がり状態は、型枠脱型後にタイル面へのセメントペースト分の漏出し、タイルのひびわれ、目地の仕上がりを目視により調べた。セメントペースト分の漏出しはタイルに対するセメントペースト分の付着状態を用紙に写しとり、セメントペースト分が付着したタイルの枚数の割合及び付着した面積の割合を求めた。

3. 実験結果及び考察

3. 1 型枠先付け工法による接着特性

(1) 接着強さ

型枠先付け工法の接着強さを図3に示す。材齢44日では普通コンクリートと二丁掛タイルの組合わせは1.42N/mm²であり、一般的な値1.0～1.5N/mm²と比べて平均的な水準であった。他の組合わせのものは0.74～0.79N/mm²の範囲にあり、通常の接着強さの水準より多少低い傾向があった。しかし材齢14ヶ月ではいずれも1.84～1.98N/mm²の範囲にあり、コンクリート種類及びタイルの種類

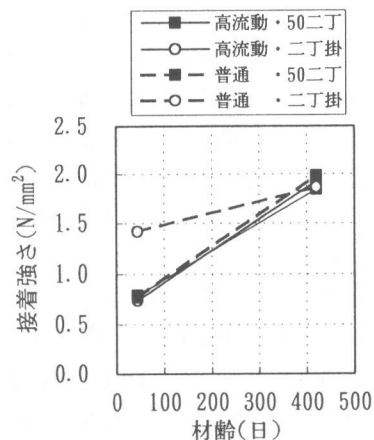


図3 型枠先付け工法の接着強さ

による差がみられず値も平均的な水準であった。材齢14ヶ月では接着強さの増大がみられることから、材齢44日で接着強さが弱かった原因はコンクリートの表層の強度発現が遅かったためと考えられる。高流動コンクリートは普通コンクリートに比較して強度発現が多少遅い傾向があり、このことが影響したことも考えられる。

（2）破断状態

破断面の面積比率を図4に示す。破断状態にはコンクリート種類による差はみられなかった。50二丁モザイクタイルと二丁掛タイルではタイルとコンクリートの界面破断(破断面B)とコンクリート破壊(破断面E)の割合が多少異なるが、これは裏足凸部の面積割合がタイル種類によって異なるためである。いずれもタイルの裏足凹部はコンクリートが充填された状態でコンクリートが破壊し、裏足凸部はタイルとコンクリートの界面で破断しており、高

流動コンクリートは振動締固めを行わなくてもタイル裏足部にコンクリートが十分に充填されていた。材齢14ヶ月では、タイル破壊(破断面A)がみられるが、これは接着強さが $1.86 \sim 1.98 \text{ N/mm}^2$ と強かったため一部でタイルが破壊したものと考えられる。

（3）コンクリート表面状態の影響

コンクリートの表面粗さの測定結果を図5に示す。高流動コンクリートと普通コンクリートの表面粗さには差がみられなかった。これは、両者とも型枠表面にピンホールが少なく、コンクリートと型枠の表面状態が一致していたためである。高流動コンクリートは粘性が高いために一部ではコンクリート表面のピンホール等が問題とされることがあるが、本研究に使用した調合の高流動コンクリート[3][4]ではこのような現象はみられなかった。これより、型枠とタイルとの違いがあるものの、高流動コンクリートは振動締固めを行わなくてもタイル裏面にピンホールの発生が少なく、タイルとの接着は良いものともと考えられる。

3. 2 後張り工法による接着特性

（1）接着強さ

後張り工法の接着強さを図6に示す。後張り工法の接着強さは材齢47日では $1.89 \sim 3.76 \text{ N/mm}^2$ (平均 2.55 N/mm^2)、材齢13ヶ月では $2.82 \sim 4.41 \text{ N/mm}^2$ (平均 3.70 N/mm^2)であり、また高流動コンクリートと普通コンクリートの接着強さの差はみられなかった。50二丁モザイクタイルは二丁掛タイルに比較して接着強さが高い傾向がみられたが、これは二丁掛タイルのほうが試験面積が大きく、試験時に曲げの力が作用しやすいためと考えられる。合板型枠面と凹凸面を比較すると、合板型

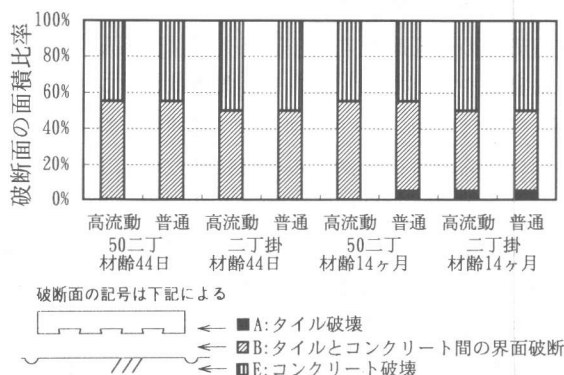


図4 型枠先付け工法の破断面の面積比率

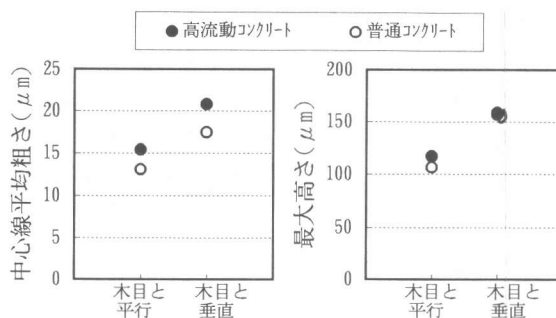


図5 コンクリートの表面粗さ

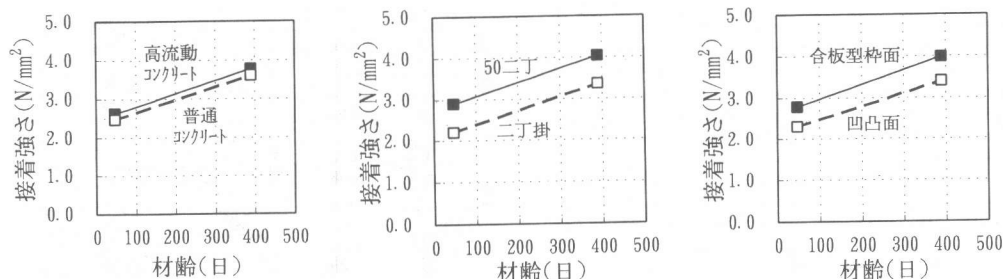


図6 後張り工法の接着強さ

枠面のほうが高い傾向があったが、これは接着強さがいずれも高い水準であるために、コンクリート表面に凹凸を付与した効果がみられなかったためと考えられる。また、いずれの条件においても、材齢13ヶ月では47日と比較して、接着強さは増大した。

(2) 破断状態

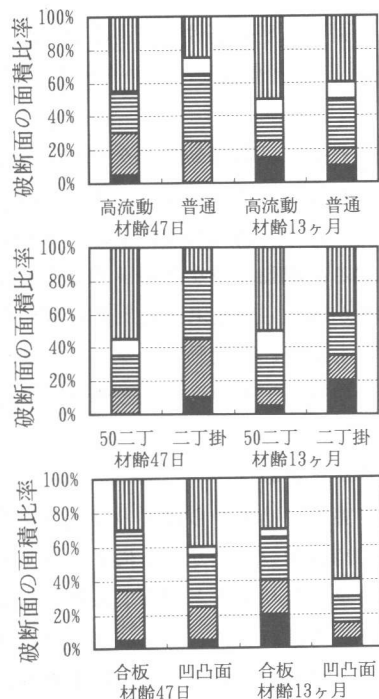
破断面の面積比率を図7に示す。平均ではコンクリート破壊(破断面E)の比率が40%で最も多く、張付けモルタルの破壊(破断面C)が約28%で次に多い傾向があった。これに対して、コンクリートと張付けモルタルの界面破断(破断面D)の比率はコンクリートの種類、タイルの種類、コンクリート表面状態にかかわらず少なく、両者の接着が良好であるといえる。

(3) コンクリートの表面状態の影響

コンクリートの表面粗さは高流動コンクリートと普通コンクリートでの差が認められないため(図5)、コンクリートとセメントモルタルとの接着には影響を及ぼさなかったものと考えられる。

3. 3 タイル表面の仕上がり状態

型枠先付け工法におけるタイル表面へのセメントペースト分の漏出し状態、タイルのひびわれ、目地の仕上がりを表6に示す。また、コンクリート種類による二丁掛タイルの仕上がり状態を図8、9に示す。これより、高流動コンクリートのセメントペースト分の漏出しは普通コンクリートの2.3~12.2%(面積比率)に比較して極めて少なかった。高流動コンクリートは流動性に優れているために一定以上の間隙があると漏出しが多くなることが考えられる。しかし、型枠先付け工法においてセメントペースト分の漏出しが問題となるのはタイルと仮目地材との間の僅かな間隙であり、このような小さな間



破断面の記号は下記による

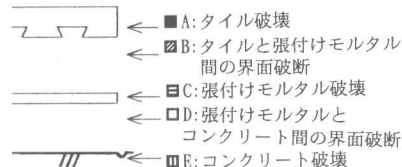
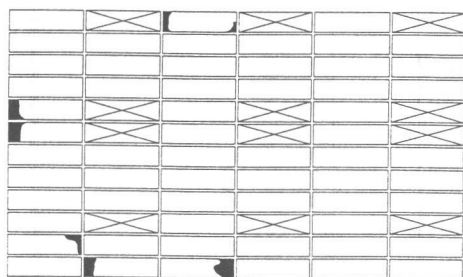


図7 後張り工法の破断面の面積比率

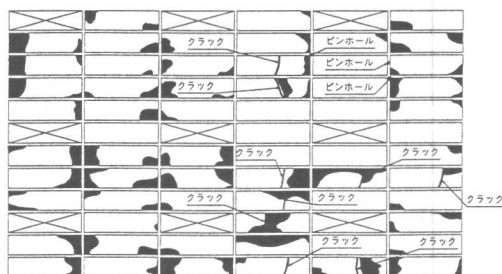
表6 タイル表面の仕上がり状態

評価項目	コンクリート及びタイル	高流動コンクリート		普通コンクリート	
		50二丁	二丁掛	50二丁	二丁掛
タイル表面へのセメントペースト分の付着	枚数	2	6	50	58
	枚数比率(%)	1.1	10.0	27.2	92.1
	面積(cm²)	6	95	184	1049
	面積比率(%)	0.1	1.2	2.3	12.2
目地に生じたヒソホール	箇所	0	0	2	3
	枚数	0	0	5	9
タイルのひびわれ	枚数	0	0	5	9
	比率(%)	0	0	2.7	14.3



■ セメントペースト分の漏出し位置
 ☒ タイルなし(セパレーター取付け、仮タイル設置)

図8 型枠先付け工法の仕上がり状態
 (高流動コンクリート、二丁掛)



■ セメントペースト分の漏出し位置
 ☒ タイルなし(セパレーター取付け、仮タイル設置)

図9 型枠先付け工法の仕上がり状態
 (普通コンクリート、二丁掛)

隙に対しては高流動コンクリートの分離抵抗性の高さが逆に漏出し防止に役立っているものと考えられる。普通コンクリートは目地部にピンホールが生じたのに対して、高流動コンクリートでは全くなく、目地部の仕上がりも極めて良好であった。また、タイルのひびわれは締固めを不要とする高流動コンクリートでは全くなかったのに対し、普通コンクリートはコンクリート棒形振動機が当たったと考えられるひびわれが3~14%発生していた。

以上より、高流動コンクリートを用いた型枠先付け工法の実施工ではタイル表面の清掃及びタイルの補修工事の作業員数やコストを低減することができるものと考えられる。

4. まとめ

本実験の結果から以下のことが言える。

- 1) 高流動コンクリートにタイル張りした場合の接着強さは型枠先付け工法、後張り工法共に普通コンクリートと同等であり、約1年の材齢まででは強度低下は認められなかった。
- 2) 高流動コンクリートによる型枠先付け工法では振動締固めを行わなくてもタイル裏足部へのコンクリートの充填が良好であり、締固めの程度の善し悪しによる接着のばらつきを改善することができる。
- 3) 本実験で使用した高流動コンクリートでは普通コンクリートに比較してタイル型枠先付け工法におけるタイル表面の仕上がり状況が極めて良かった。実施工ではタイル表面の清掃及びタイルの補修工事の作業員数やコスト低減が可能である。

参考文献

- [1]小笠原和博、柿崎正義、伊藤哲也：高流動コンクリートへのタイル張りに関する研究、日本建築学会大会梗概集、pp. 691~692、1995. 8
- [2]大津達也ほか：コンクリートの表面形状とモルタルの付着性に関する研究、日本建築学会大会梗概集、pp. 29~30、1991. 9
- [3]柿崎正義ほか：逆打ちコンクリート工法に伴う地下階柱・壁への高流動コンクリートの適用、日本建築学会技術報告集第1号、pp. 24~29、1995. 12
- [4]柿崎正義、山崎基、阿部保彦：階高の高い倉庫建築物への高流動コンクリートの適用、日本建築学会技術報告集第3号、pp. 1~6、1996. 12