高流動コンクリートへのタイル張りにおける熱冷繰返し引張接着強度に及ぼす影響

INFLUENCE OF HOT-COLD CYCLE ON ADHESIVE STRENGTH OF TILE INSTALLED ON SUPER WORKABLE CONCRETE

村井 正 ——*1 柿崎正義 ——*2
小笠原和博 ——*3

Tadashi MURAI ——*1 Masayoshi KAKIZAKI ——*2
Kazuhiro OGASAWARA ——*3

キーワード：
高流動コンクリート，タイル張り，熱冷繰返し，引張接着強度

Keywords：
Super workable concrete, Tile installation, Hot-cold cycle, Adhesive strength

The objective of this study was to discuss the durability of adhesion strength of tile installed on super workable concrete. Specimens were made as on-site casting concrete and precast concrete, and tiles were installed for both concrete using manual method and prefabrication method. After hot-cold cycle was applied for specimens, adhesion strength of tile was measured. As a result, adhesion strength of tile installed super workable concrete was not decrease. The study indicated the durability of adhesion strength of tile installed on super workable concrete was equal to that installed on ordinary concrete.

1. はじめに

近年，流動性と材料分離抵抗性に優れた高流動コンクリートの研究が盛んで，実用段階に入っているが，タイル先付け工法に高流動コンクリートを適用すると，セメントペーストのタイル面への漏出や，振動機の接触によるタイルの割れ等の不具合が解消し，タイル面の仕上がりが良好になることが期待される。また，高流動コンクリートへのタイル張りを検討するためには，タイル先付け工法に加え，現在のところ広く採用されている後張り工法についても，タイルの剥離防止上の観点から，タイルの接着性を確認する必要がある。

筆者らは，1994～95年にかけて，実大寸法の壁面の一部を使用してタイル張りを行い，タイル面の仕上がりとタイルの引張接着強度の検討を行っている¹⁾。その結果，高流動コンクリートを適用したタイル先付け工法は，普通コンクリートの場合と比較すると，仕上がりが良好になることが検証された。また，高流動コンクリートのタイルの引張接着強度(コンクリート材齢14ヶ月)は，タイル先付け工法・後張り工法とも普通コンクリートと同等であった。

しかし，実躯体の壁面では，日射や気温変化により，実験を行った壁面より大きい応力が作用する可能性がある。そこで，本研究では，試験体に熱応力を繰返し作用させ，タイルの引張接着強度の変化を調べた。実験は次の2種類の試験体について行った。

- 現場打ちコンクリートを想定し，型枠面にタイル施工した試験体²⁾(以下，本文中では縦打ちと記す)
- プレキャスト(複合)コンクリート部材を想定し，ベッド面にタイル施工した試験体(以下，本文中では平打ちと記す)

また，これらの試験体のコンクリート表面状態の違いを調べるため，

コンクリート表面粗さの測定を行った。これらの実験結果より，高流動コンクリートへのタイル張り壁面のタイル剥落に対する安全性を評価するため，タイルの接着耐久性およびコンクリート打込み方向の違いによるタイルの接着特性の相違の検討を行った。

2. 実験概要

2.1 コンクリート打込み方向とタイル施工面

図1に，縦打ち・平打ちのコンクリート打込み方向とタイル施工面の関係を示す。

図1. コンクリート打込み方向とタイル施工面の関係

2.2 実験の要因と水準

表1に実験の要因と水準を，表2に水準の組合わせを示す。「タイル施工法」の後張り工法では，コンクリート表面状態の相違による引張接着強度の違いを調べるため，コンクリート直張りとし，「コンクリート面」および「張付けモルタル種類」を要因として取上げた。また，「コンクリート面」の凹凸面は，凹凸を付与した中空ポリエチ

*1 (株) INAX 建材事業本部建材技術研究所 研究員
(〒479-0002 愛知県常滑市久米字鎗場36)

*2 鹿島 技術研究所 専門部長・工博

*3 (株) INAX 建材事業本部建材技術研究所 担当課長

*1 Engineer, INAX Corporation, Technical Research Laboratory Building Material Headquarters.

*2 Senior Manager, Kajima Technical Institute, Dr. Eng.

*3 Chief, INAX Corporation, Technical Research Laboratory Building Material Headquarters.

表1. 実験の要因と水準

要因	水準
A: コンクリート種類	A ₁ : 高流動コンクリート A ₂ : 普通コンクリート
B: タイル施工法	B ₁ : タイル先付け工法 B ₂ : 後張り工法(直張り)
C: コンクリート面 (後張り工法のみ)	C ₁ : 合板型枠面 C ₂ : 表面処理合板型枠面 C ₃ : 凹凸面
D: 張付けモルタル種類 (後張り工法のみ)	D ₁ : ポリマーセメントモルタル(P/C*=7%) D ₂ : 普通モルタル

※) P/C: セメントに対するポリマー固形分の混入割合(重量比)

レンシートをコンクリート型枠用合板に取付けることにより、コンクリート表面に直径10mm、深さ3mmのあり形状の凹部を14mm間隔の格子点状に設置した面である。試験体は、表2の各試験条件につき、縦打ちでは2体、平打ちでは3体作製した。

2.3 コンクリートの品質管理目標

普通コンクリートの調査設計は、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18±2.5cm、空気量4.5±1.5%とした。高流動コンクリートは、設計基準強度および空気量を普通コンクリートと同一とし、スランプフローを65±5cmに設定した。表3にコンクリートの計画調査を示す。

2.4 使用材料

表4に使用材料を示す。また、図2にコンクリート供試体の圧縮強度(JIS A 1108に準拠)を、図3に張付けモルタル供試体の圧縮強度(JIS R 5201に準拠)を示す。なお、図2および3の圧縮強度の値は3個の供試体の平均値である。また、それぞれの圧縮試験用供試体は、熱冷繰返し試験前(コンクリート供試体は材齢8週、張付けモルタル供試体は材齢4週)までは封かん養生とし、熱冷繰返し試験中(コンクリート供試体は材齢8～12週、張付けモルタル供試体は材齢4～8週)はタイル張り試験体と同一の環境においた。

2.5 試験体の作製

タイル張り試験体のコンクリートの大きさは410×310×150mmとし、配筋は行わなかった。コンクリートの打込みは、縦打ち・平打ちとも型枠内に1層で行った。締固めは、高流動コンクリートでは、縦打ち・平打ちとも行わなかった。普通コンクリートは、縦打ちでは、コンクリート棒形振動器を使用し、挿入3箇所、1箇所に加振時間5秒の条件で行った。平打ちは箱形振動器を用い、挿入2箇所、加振時間は1箇所5秒間の条件で実施した。タイル先付け工法は、タイルシート法を採用してタイルを施工した。後張り工法は、コンクリート打込み後気中で4週養生を行い、モザイクタイル張りでタイルを張付けた。実験は、両工法の試験体のコンクリート材齢を同一にするため、タイル先付け工法はコンクリート打込み後8週、後張り工法はタイル張り後4週気中で養生した後に実施した。

2.6 実験方法

2.6.1 熱冷繰返し試験

タイル張り試験体の熱冷繰返し試験は、コンクリート材齢8～12週に、日本建築工学会の「M-101 セメントモルタル塗り用吸水調整材の品質基準」における熱冷繰返し抵抗性試験に準じて行った。図4に熱冷繰返し試験中のタイル表面温度を示す。加熱は、発熱体により試験体のタイル面側から105分間行い、タイル表面温度が70℃になるようにした。引き続き、タイル表面に15±5℃の冷却水を15分間散水することにより、室温まで冷却した。この加熱・冷却の過

表2. 水準の組合わせ

No	コンクリート	施工法	コンクリート面	張付けモルタル
1	高流動	タイル先付け工法	—	—
2	普通	—	—	—
3	高流動	後張り工法	合板型枠面	ポリマーセメントモルタル
4	コンクリート		—	普通モルタル
5	—		表面処理合板	ポリマーセメントモルタル
6	—		型枠面	普通モルタル
7	—	凹凸面	凹凸面	ポリマーセメントモルタル
8	—		—	普通モルタル
9	普通		合板型枠面	ポリマーセメントモルタル
10	コンクリート		—	普通モルタル
11	—	表面処理合板	表面処理合板	ポリマーセメントモルタル
12	—		型枠面	普通モルタル
13	—		凹凸面	ポリマーセメントモルタル
14	—		—	普通モルタル

表3. コンクリートの計画調査

コンクリート種類	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	AE減水剤	分離低減剤
高流動	55.4	51.2	170	307	915	907	12.3	0.772 (4倍液)	0.4
普通	55.4	46.6	175	316	824	980	—	0.790	—

※) 使用材料

セメント: 普通ポルトランドセメント

高性能減水剤: 高縮合トリアジン系化合物

AE減水剤: リグニンスルホン酸化合物

分離低減剤: 低界面活性水溶性セルロースエーテル

粗骨材のかさ容積: 高流動…0.533m³/m³, 普通…0.601m³/m³

表4. 使用材料

材料	材料の仕様
型枠 せき板	合板型枠面: 日本農業規格に規定される コンクリート型枠用合板2種 表面処理合板型枠面: 合板表面に樹脂系塗料を塗布 したコンクリート型枠用合板 凹凸面: 凹凸付与した中空ポリレンシートを コンクリート型枠用合板に取付けたもの
タイル	50二丁モザイクタイル 磁器質、乾式製法 サイズ: 95×45×7mm
張付け モルタル	現場調査モルタル(C:S=1:1) セメント: 普通ポルトランドセメント, 骨材: けい砂(FM=1.89) ポリマーディスページョン: SBR系合成高分子エマルジョン
目地材	既製調査目地材

図2. コンクリート供試体の圧縮強度

図3. 張付けモルタル供試体の圧縮強度

図4. 熱冷繰返し試験中のタイル表面温度

程を1サイクルとし、300サイクル繰返した。写真1に熱冷繰返し試験機内の様子を示す。

2.6.2 接着力試験

熱冷繰返し試験前後(以下、本文中では熱冷繰返し試験前・後をそれぞれ熱冷前、熱冷後と記す)に、建研式接着力試験機を用いてタイルの接着力試験を行い、タイルの引張接着強度とその破断箇所の割合を調べた。写真2に接着力試験の様子を示す。また、写真3に接着力試験の破断面の一例を示す。破断箇所の割合は、接着力試験後の破断面を目視で観察することにより求めた。引張接着強度、破断箇所の割合とも、4個のデータの平均値とした。

2.6.3 コンクリート表面粗さ

合板型枠面および表面処理合板型枠面について、コンクリート表面粗さの測定を行った。表面粗さは中心線平均粗さをパラメータとして取上げた。測定は、触針式表面粗さ測定器を用い、JIS B 0601「表面粗さの定義と表示」に準じ、カットオフ値8mmの条件で行った。測定方向はせき板の木目方向に対し平行および垂直方向とし、1つの試験条件につき2体の試験体の表面粗さの測定を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 縦打ちの接着特性

図5に各試験体の熱冷前後の引張接着強度を、図6に破断箇所の割合を示す。また、図7に後張り工法における各要因の引張接着強度の平均値を示す。

3.1.1 熱冷前と熱冷後の違い

図5より、熱冷後の引張接着強度は熱冷前の1.03~1.93倍で、熱冷前と同じか、増加する傾向がある。ただし、No.13で熱冷後の引張接着強度が 1.84N/mm^2 で、熱冷前の引張接着強度 2.06N/mm^2 の89.3%に減少した。しかし、熱冷後の引張接着強度の 1.84N/mm^2 という値は、実建物での50二丁モザイクタイルの引張接着強度の文献値²⁾である 1.15N/mm^2 、 1.21N/mm^2 と比較しても十分大きい。また、図6より破断箇所の割合をみると、タイル先付け工法(No.1, 2)では、両コンクリートとも、熱冷後はタイルーコンクリート界面破断が減少し、コンクリート破壊が増加した。後張り工法(No.3~14)では、熱冷後には、タイルー張付けモルタル界面破断が減少し(熱冷前の平均値35.0%，熱冷後11.4%)，コンクリート破壊が増加する(熱冷前の平均値24.4%，熱冷後46.3%)傾向がみられる。これらの熱冷前後の違いの原因は、熱冷後にコンクリート・張付けモルタルの圧縮強度が増加していることより(図2, 3)，タイルーコンクリートあるいは張付けモルタル界面の接着強度が増加したことが考えられる。コンクリート・張付けモルタルの圧縮強度の増加の原因としては、熱冷繰返し試験中の熱および冷却水の影響により、セメントの水和反応が促進されたことが挙げられる。以上の結果より、熱冷後でも引張接着強度の顕著な低下は認められないため、本研究で用いた高流動コンクリートは普通コンクリートと同等の接着耐久性を持つと言える。後張り工法について張付けモルタルーコンクリート界面破断を調べると、コンクリート種類およびコンクリート面による違いは認められないが、張付けモルタル種類によって傾向が異なっている。熱冷前は、張付けモルタルーコンクリート界面破断の割合の平均値は、普通モルタルが22.0%であるのに対し、ポリマーセメントモルタルは0.3%である。一方、熱冷後では、普通モルタルが11.2

写真1. 熱冷繰返し試験機内の様子

写真2. 接着力試験の様子

(a)タイル先付け工法

(b)後張り工法

写真3. 接着力試験の破断面の一例

%，ポリマーセメントモルタルが7.7%と、両モルタルの張付けモルタルーコンクリート界面破断の面積割合は同程度になっている。

3.1.2 タイル先付け工法の接着特性

図5より、引張接着強度は、熱冷前後ともに高流動コンクリートの方が普通コンクリートより大きい。これは、図2より、高流動コンクリートの方が普通コンクリートより圧縮強度が大きいことに影響されている。図6より破断状態を調べると、両コンクリートともにタイルーコンクリート界面破断およびコンクリート破壊である。この破壊形態は、タイル裏足凹部にコンクリートが完全に充填した状態で破断していることを示している。したがって、高流動コンクリートは締固めを行わなかったが、普通コンクリートと同様にタイル裏足凹部へは完全にコンクリートが充填していたと言える。

3.1.3 後張り工法の接着特性

(1) コンクリート種類による違い

図7(a)より、後張り工法においても、タイル先付け工法と同様に、高流動コンクリートの方が引張接着強度が大きい。この原因も、タイル先付け工法と同様に、高流動コンクリートの方が普通コンクリートより圧縮強度が大きいことが影響していると考えられる。

(2) コンクリート面による違い

図7(b)より、引張接着強度は凹凸面、表面処理合板型枠面、合板型枠面の順に大きくなっている。図5より、凹凸面についてコンクリート種類別に引張接着強度を調べると、高流動コンクリートが平均 2.28N/mm^2 、普通コンクリートが平均 1.78N/mm^2 と、コンクリート種類によって差が認められる。合板型枠面、表面処理合板型枠面の引張接着強度はコンクリート種類による差はみられない。

(3) 張付けモルタルによる違い

図7(c)より、熱冷前では、引張接着強度は普通モルタルよりポリマーセメントモルタルの方が大きい。熱冷後では、普通モルタルの引張接着強度が熱冷前の1.61倍に増加しているのに対し、ポリマーセメントモルタルは1.05倍の増加にとどまっており、ポリマーセメ

図5. 各試験体の熱冷前後の引張接着強度(縦打ち)

※破断箇所は以下に示すとおり

○タイル先付け工法 (No. 1, 2)

○後張り工法 (No. 3~14)

図6. 接着力試験における各試験体の破断箇所の割合(縦打ち)

図7. 後張り工法における各要因の引張接着強度の平均値(縦打ち)

ントモルタルと普通モルタルの引張接着強度の差は小さくなっている。図3より張付けモルタルの圧縮強度を調べると、熱冷後の圧縮強度は普通モルタルが熱冷前の1.1倍、ポリマーセメントモルタルが1.2倍であり、熱冷後の圧縮強度の増加割合はほぼ同じである。試験体の結果と張付けモルタル供試体の圧縮強度の結果の傾向の違いは、試験体と供試体の熱冷前の養生条件の違いの影響を大きく受けていると考えられる。ポリマーセメントモルタルの最適養生方法は、ごく初期に湿潤状態におきセメントの水和反応を促進し、その

後乾燥養生しポリマーフィルムの強度を発現させることである⁴⁾。しかし、この方法は普通モルタルの強度発現にとっては不利な条件と言える。本研究でのタイル張り試験体の養生条件は、ポリマーセメントモルタルの強度発現に有利で、普通モルタルには不利な条件であったことが考えられる。そのため、ポリマーセメントモルタルは熱冷前に既に高いレベルの引張接着強度が得られ、その結果として熱冷後の引張接着強度の増加量は普通モルタルより小さくなったと考えられる。

図8. 各試験体の熱冷前後の引張接着強度(平打ち)

※破断箇所は以下に示すとおり
○タイル先付け工法(No. 1, 2)

○後張り工法(No. 3~14)

図9. 接着力試験における各試験体の破断箇所の割合(平打ち)

(a) コンクリート種類

(b) コンクリート面

(c) 張付けモルタル種類

図10. 後張り工法における各要因の引張接着強度の平均値(平打ち)

3.2 平打ちの接着特性

図8に各試験体の熱冷前後の引張接着強度を、図9に破断箇所の割合を示す。また、図10に後張り工法における各要因の引張接着強度の平均値を示す。

3.2.1 熱冷前と熱冷後の違い

図8より、熱冷後の引張接着強度は、縦打ちと同様、熱冷前の1.02~2.43倍に増加した。ただし、No. 3の熱冷後の引張接着強度は1.53N/mm²と、熱冷前(1.58N/mm²)の97%に減少しているが、標準偏

差(熱冷後で0.406N/mm²)を考えるとばらつきの範囲内と考えられる。図9より、破断箇所の割合も、縦打ちと同様の傾向が認められた。すなわち、タイル先付け工法(No. 1, 2)では、熱冷前と比較して熱冷後はタイル-コンクリート界面破断が少なくなり、コンクリート破壊が多くなった。後張り工法(No. 3~14)では、熱冷後はタイル-張付けモルタル界面破断が少なくなった(熱冷前の平均値53.8%, 熱冷後28.8%)。張付けモルタル-コンクリート界面破断の割合について、熱冷前後を比較すると、No. 5を除いて、熱冷後の変化

量はいずれの組合わせとも±15%の範囲にとどまっていた。No.5では熱冷前1%から熱冷後70%と大きく増加しているが、No.5の引張接着強度は熱冷前1.49N/mm²、熱冷後1.56N/mm²と熱冷後でも十分な値を保持していた。これらの結果より、平打ちにおいても、縦打ちの場合同様、熱冷後でも引張接着強度の顕著な低下は認められないため、今回使用した高流動コンクリートは普通コンクリートと同等の接着耐久性を持つと言える。

3.2.2 タイル先付け工法の接着特性

図8より、引張接着強度は縦打ちの場合と同じ傾向を示しており、高流動コンクリートの方が普通コンクリートより大きい。これは、図2より、高流動・普通コンクリートの圧縮強度の違いに大きく影響されたと考えられる。図9より破断箇所を調べると、縦打ちの場合と同様に、高流動・普通コンクリートともに、タイル裏足凹部にコンクリートが完全に充填した状態で破断していた。

3.2.3 後張り工法の接着特性

(1) コンクリート種類による違い

図10(a)より、コンクリート種類に関しては、タイル先付け工法と同様、高流動コンクリートの方が引張接着強度が大きい。これは図2より、縦打ちと同様に、高流動・普通コンクリートの圧縮強度の違いに大きく影響されていると考えられる。

(2) コンクリート面による違い

図10(b)より、凹凸面の引張接着強度は最も大きい。合板型枠面および表面処理合板面は同程度である。

(3) 張付けモルタルによる違い

図10(c)より、熱冷前の引張接着強度は、普通モルタルよりポリマーセメントモルタルの方が引張接着強度が大きい。熱冷後の普通モルタルが熱冷前の1.88倍に増加しているのに対し、ポリマーセメントモルタルは1.08倍の増加にとどまっており、ポリマーセメントモルタルと普通モルタルの差は小さくなっている。なお、この傾向は縦打ちの場合と同様である。

3.3 縦打ちと平打ちの違い

3.3.1 コンクリート表面の中心線平均粗さ

図11に縦打ちと平打ちのコンクリート表面の中心線平均粗さを示す。図11より、表面処理合板型枠面の中心線平均粗さは、試験条件および測定方向によらず5μm程度である。したがって、本研究で用いた高流動コンクリートの表面状態は、コンクリート打込み方向によらず、締固めを行わなくても普通コンクリートと同等であったと言える。合板型枠面では、コンクリート種類による差はないが、木目と平行より垂直の方が大きい。また、平打ちより縦打ちの方が大きい傾向がある。縦打ちと平打ちの中心線平均粗さの相違の原因の一つとして、合板自体の表面粗さが異なっていたことが考えられる。

3.3.2 引張接着強度

(1) タイル先付け工法

図5および8より、高流動・普通コンクリートとも縦打ちと平打ちの引張接着強度はほぼ同等であった。また、図6および9より、縦打ち・平打ちともタイル裏足凹部へのコンクリートの充填は良好であった。したがって、タイル先付け工法におけるコンクリート打込み方向の違いは、タイルの引張接着強度には影響を与えないと言える。

(2) 後張り工法

図5および8より、後張り工法では、全体的に平打ちより縦打ちの

図11. 縦打ちと平打ちのコンクリート表面の中心線平均粗さ

方が引張接着強度が大きい傾向が認められる。この原因の一つとして、張付けモルタルの材料強度の違いが考えられる。図3より、圧縮強度を調べると、ポリマーセメントモルタルは平打ち44.8N/mm²、縦打ち46.4N/mm²、普通モルタルは平打ち63.7N/mm²、縦打ち65.6N/mm²と、いずれも縦打ちの方が大きい。また、その他の原因として、張付けモルタルを塗付ける際のこて圧、タイル張り時のタイルの叩き強さ等の違いが影響を与えたことが考えられる。

4. まとめ

以上の結果より、本研究で用いた高流動コンクリートおよび普通コンクリートについて、次のことがわかった。

- (1) 今回加えた熱応力の範囲では、高流動コンクリートは、タイル先付け工法・後張り工法とも、引張接着強度の顕著な低下は認められず、良好な接着耐久性が得られた。
- (2) 高流動コンクリートは、タイル先付け工法・後張り工法とも普通コンクリートと同等の接着耐久性が得られた。また、タイル先付け工法では、高流動コンクリートは締固めを行わなくてもタイル裏足凹部へは完全にコンクリートが充填していた。
- (3) 本研究の条件では、コンクリート打込み方向の違いは、タイルの引張接着強度へは影響を与えない。
- (4) 上記(1)～(3)の結果より、本研究で用いた高流動コンクリートは、タイル先付け工法においては、現場打ちコンクリート・ブレイキャスト(複合)コンクリート部材とも、締固めを行わなくても普通コンクリートと同等の接着信頼性が得られる。また、タイル面の仕上がりも良いため、タイル表面の清掃およびタイルの補修工事の作業員数やコストの削減が可能である。後張り工法においては、普通コンクリートと同様の施工方法で、普通コンクリートと同等の接着信頼性が得られる。

参考文献

- 1) 村井 正, 柿崎正義, 小笠原和博: 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, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 19, No. 1, pp. 121~126, 1997
- 2) 小笠原和博, 柿崎正義, 村井 正: 高流動コンクリートへのタイル張りに関する研究 その2. 熱冷繰返しによる接着特性の検討, 日本建築学会大会学術講演会梗概集 A-1, pp. 455~456, 1997
- 3) 丸一俊雄, 藤井銑純: 最新 タイル工事施工マニュアル, 井上書店, p. 88, 1996
- 4) 大濱嘉彦: 建築用ポリマーセメントモルタルの性状と調査に関する研究, 建築研究報告, p. 102, 1973. 10

[1998年3月24日原稿受理 1998年7月8日採用決定]