タイル張り仕上げの剥離防止性能評価に関する研究

RESEARCH ON PERFORMANCE EVALUATION METHOD OF FINISHING TILE BONDING

起橋 孝徳*, 梶田 佳寛**, 河野 政典***

Takanori OKIHASHI, Yoshihiro MASUDA and Masanori KONO

The influence by the testing time was examined about the shrinkage compliance examination of tiled finish. As a result, the shrinkage compliance examination and the value of the destruction point with short loading time is found to show better performance than the case where the shrinkage progresses over a long period of time. Moreover, it proposed the method of evaluating the decrease of tile adhesion from the result of the shrinkage compliance examination. And, it was clarified that the decrease tendency of the bond strength of the tile finish can be estimated by using the proposed shrinkage transmission remaining rate.

Keywords : *tile, direct bonding, tracking of strain, creep, adhesive strength, drying shrinkage*

タイル, 直張り, ひずみ追従性, クリープ, 接着強度, 乾燥収縮

1. はじめに

タイル張り仕上げは、剥離・剥落を生じることが問題となっており、タイル張りの安全性に関する評価方法が求められている。タイル張り仕上げの剥離は、施工時に十分な接着強度を確保している部位でも生じることがある。このため、従来行われてきた接着強度の管理では、接着不良の有無については評価できるが、タイル張り仕上げの経年による剥離の危険度を評価することは難しい。

既往の研究¹⁾では、タイル張り仕上げの経年による剥離は、タイルと下地コンクリートの間のひずみ差によって生じることが指摘されており、このひずみ差をタイル張り仕上げを施した試験体に強制的に与える「ひずみ追従性試験」による研究が行われている^{2)~7)}など。しかし、これらは一部に繰り返し載荷を行ったもの^{5,6)}があるものの、ほとんどは短期間の試験であり、いずれの試験でも与えられるひずみの進行は実際の建物に比べて著しく速いため、下地コンクリートの乾燥収縮やクリープ等によって長期的に漸増するひずみがタイル張り仕上げに及ぼす影響を正しく評価できていない恐れがある。

本研究では、下地コンクリートのひずみが徐々に進行する場合のタイルの挙動について実験的検討を行ってひずみ追従性試験と比較し、載荷速度による相違を把握した。また、下地コンクリートのひずみの増大に伴ってタイルの下地追従性が低下した後のタイルの接着性能について、ひずみの計測値を用いた新たな評価方法を提案するとともに、接着強度との関係を明らかにした。

2. ひずみ追従性試験の載荷速度による影響

2.1 実験目的

タイル仕上げの剥離防止性能の評価に際して、既往の研究で行わ

れているひずみ追従性試験は、載荷時間が短く載荷速度が速いため本来より高いひずみ追従性能を示す恐れがある。そこで、載荷速度の違いによる影響を把握することを目的とした実験を行った。

2.2 実験概要

通常行われているひずみ追従性試験は、荷重の増大によってひずみを進行させている。これに対して、継続して作用する一定荷重と乾燥によってひずみが徐々に進行する場合の、タイルと下地コンクリートのひずみを計測する実験（以下、クリープ追従性試験と称す）を行った。また、同時に製作した試験体を用いて、短時間のひずみ追従性試験を行ってタイルと下地コンクリートのひずみの関係を比較し、載荷速度の影響について検討した。実験要因と水準を表1に示す。試験体は6体製作し、このうち3体（No.1～No.3）をクリープ追従性試験に、残りの3体（No.4～No.6）をクリープ追従性試験期間中の乾燥収縮計測とひずみ追従性試験に使用した。ひずみ追従性試験の載荷時期はクリープ追従性試験終了時とし、載荷開始前の試験体は、クリープ追従性試験と並行して無載荷状態における乾燥収縮ひずみの計測を行った。なお、ここで使用した試験体はひずみ計測の後に、後述する3.3の接着強度試験に供する。

表1 実験要因と水準

試験名称	載荷方法	下地処理
クリープ 追従性試験 試験体 No.1～3	載荷荷重:108kN(一定) 軸力比:1/3 σ_B 3ヵ月間継続載荷	下地処理なし(NT)
		超高圧水洗浄(HW)
ひずみ 追従性試験 試験体 No.4～6	載荷荷重:350kN(最大) 軸力比:1/1 σ_B 3ヵ月気中養生後短期載荷	下地処理なし(NT)
		超高圧水洗浄(HW)

* (株)奥村組技術研究所

** 宇都宮大学工学研究科 教授・工博

*** (株)奥村組技術研究所 博士(工学)

Technical Research Institute, Okumura Corporation

Prof., Dept. of Design and Engineering for Global Environment, Architecture Course, Utsunomiya Univ., Dr. Eng.

Technical Research Institute, Okumura Corporation, Dr. Eng.

試験体を使用した材料を表 2 に、コンクリートの調合を表 3 に示す。下地コンクリートの呼び強度は 27N/mm^2 とした。標準水中養生におけるコンクリート供試体 ($\phi 100 \times 200\text{mm}$) の強度は、材齢 28 日で 32.1N/mm^2 、91 日では 36.0N/mm^2 であった。

試験体の下地処理方法とタイル割付を図 1 に示す。試験体のタイル張りは、コンクリートを $10 \times 10 \times 32\text{cm}$ の鋼製型枠に打設した際の側面に当たる長辺 2 面に行った。下地処理は、各試験体の片面では水洗い以外の下地処理を行わず (NT : Non Treatment)、別の片面にはコンクリートの材齢 2 週間目に水圧 100MPa の超高压水洗浄処理を施し (HW : High pressure Water treatment)、1 体の試験体の表裏で下地処理の有無による比較を行うこととした。タイルの張り付けはコンクリートの材齢 4 週間目に行い、張付材料には既調合モルタルを使用した。乾燥収縮試験やクリープ追従性試験の載荷

表 2 使用材料

材料種類		諸元
コン ク リ ー ト	セメント	普通ポルトランドセメント、密度 : 3.16g/cm^3
	細骨材	千葉県富津産山砂、表乾密度 : 2.60g/cm^3 、 吸水率 : 1.27%
	粗骨材	桜川産砕石、表乾密度 : 2.65g/cm^3 、 吸水率 : 0.62%、実積率 : 61.5%
	混和剤	A E 減水剤
仕 上 タ イ ル	タイル	陶磁器質タイル (JIS A 5209(2008)吸水率に よる区分 I 類)、裏足有、45 角二丁
	張付材	タイル張付け用プレミックスモルタル
	目地材	タイル化粧目地材

表 3 コンクリート調合

水セメント比 W/C	単位量 (kg/m^3)				混和剤 添加率
	W	C	S	G	
60%	175	292	845	962	$C \times 1.0\%$

図 1 試験体形状および下地処理・タイル張り方法

図 2 ひずみ計測位置

は、タイル施工から 2 週間の封緘養生の後に開始した。

ひずみ計測位置を図 2 に示す。ひずみは、コンクリート面に 4 点と各タイルに 1 点の計 16 点で、載荷軸力方向にひずみゲージを貼付して計測した。タイルひずみと対比する際の下地コンクリートひずみは、コンクリートのひずみ分布が試験体の載荷軸力方向には一様で、断面方向には平面保持されているものと仮定し、各計測点で得られた値からタイルのひずみ計測位置直下における下地表面の値を算出して用いた。

(a) クリープ追従性試験方法

クリープ追従性試験では、タイル仕上げを施したコンクリート角柱試験体をクリープ試験機に組み込んで 3 ヶ月間連続載荷し、その間の下地コンクリートとタイルのひずみを計測した。試験体の養生環境は、気温 20°C 、湿度 60%とした。載荷開始時と終了時のコンクリート材齢は 42 日と 144 日であったが、試験体と同一養生した供試体 ($\phi 100 \times 200\text{mm}$) の各材齢強度は 32.3N/mm^2 と 32.0N/mm^2 であり、この間の強度変化は見られなかった。また、載荷開始時と終了時の張付材の材齢は 14 日と 116 日であり、モルタル供試体 ($\phi 50 \times 100\text{mm}$ 、封緘養生) の材齢 28 日と 122 日の強度は 42.0N/mm^2 と 42.1N/mm^2 であった。試験体に作用する応力は、載荷開始時のコンクリート強度 ($=32.3\text{N/mm}^2$) の $1/3$ とし、コンクリートの断面積から載荷荷重を 108kN とした。なお、載荷期間中の荷重はロードセルによって計測し、設定値の $\pm 2\%$ 以内であるように管理した。載荷状況を写真 1 に示す。

写真 1 クリープ追従性試験載荷状況

図 3 ひずみ追従性試験における載荷スケジュール

(b) ひずみ追従性試験方法

ひずみ追従性試験は、アムスラー型万能試験機を用いて試験体を圧縮荷重し、荷重中の下地コンクリートとタイルのひずみを計測した。載荷スケジュールを図3に示す。載荷時には、最大荷重に至るまでの荷重を4段階に分け、荷重が各段階に至る都度除荷して繰り返し載荷した。載荷荷重は、コンクリートが圧壊しない範囲として最大 350kN までとし、載荷速度をコンクリートの圧縮強度試験方法 JIS A 1108 に定められている $0.6 \pm 0.4 \text{ N/mm}^2/\text{秒}$ の下限値である $0.2 \text{ N/mm}^2/\text{秒}$ とした。

2.3 実験結果と考察

(a) クリープ追従性試験結果

乾燥収縮によって生じた下地コンクリートのひずみとタイルのひずみの関係を図4に示す。乾燥収縮は、ひずみ追従性試験用に製作した3体の試験体で計測し、タイルのひずみは各下地処理面から中央と端部のタイル各1枚の計12点を計測対象とした。下地コンクリートの乾燥収縮ひずみは平均 269μ であった。下地コンクリートのひずみは計測点によって異なったが、タイルのひずみには大きな差が無いため、これは張付材の厚さなどによって仕上げ層による拘束度合いが異なったことなどによると考えられる。ここで、下地コンクリートのひずみに対するタイルのひずみの比を既往の研究⁹⁾に倣い「ひずみ伝達率」と称する。乾燥収縮におけるひずみ伝達率は平均 0.64 で、計測期間中はほぼ一定であった。

クリープ追従性試験における下地コンクリートのひずみの履歴を図5に示す。これ以降、凡例に特記したものを除き、図には全ての試験体の計測結果を記し、図中のひずみは収縮を正として表記する。ひずみは、載荷期間中に平均で 260μ から 842μ に増進した。この内、乾燥収縮ひずみを除く 313μ がクリープひずみであり、本試験体のクリープ係数は 1.2 であった。

クリープ追従性試験によって生じた下地コンクリートとタイルのひずみの関係を図6に示す。ひずみ伝達率は、試験開始直後に期間中で最も大きな値を示した。試験開始直後のひずみ伝達率は平均 0.64 で、乾燥収縮のみが作用する場合とほぼ同じであった。

タイルのひずみが減少に転じた時の下地コンクリートひずみを既往の研究⁹⁾に倣い「破壊ポイント」と称する。下地処理の有無による比較では、下地処理なしの試験体では半数以上のタイルで破壊ポイントが計測された。一方、超高压水洗浄した試験体では、タイルのひずみの減少はほとんど見られず、下地処理によって剥離に対する抵抗性が向上することが確認できた。なお、破壊ポイントを超えてタイルひずみの計測値が0になったタイルでは張付材料の側面にひび割れが観察され、剥離が生じていることが推測できた。

タイルの張付位置による比較では、端部タイルの方が中央タイルよりも小さな下地コンクリートひずみで破壊ポイントを示しており、タイルの剥離が端部タイルから始まる様子が窺える。その一方で、中央タイルが破壊ポイントを示した時点でも、ひずみが減少に転じていない端部タイルがあった。これは、どちらか片側の端部タイルが剥離することによって、残った端部タイルと中央タイルの応力状態の差がなくなり、中央タイルが先に剥離したためと考えられる。

(b) ひずみ追従性試験結果

ひずみ追従性試験の繰り返し載荷によるひずみ履歴の例を図7に示す。下地コンクリートとタイルのひずみの関係は、下地コンクリ

図4 ひずみ追従性試験体の乾燥収縮による試験前ひずみ

図5 クリープ追従性試験時下地コンクリートひずみ履歴

図6 クリープ剥離試験結果

図7 ひずみ追従性試験繰り返し載荷時のひずみ履歴例

ートのひずみが破壊ポイントを上回った後でも、繰り返し载荷による再载荷で除荷直前の状態と同じ関係を示す再現性があることが確認できた。このため、ひずみ追従性試験結果は、最大値の包絡線で示すこととした。

ひずみ追従性試験では、タイルのひずみ計測値がタイル剥離によって負の値を示した。これは、载荷開始前の乾燥収縮による影響と見られる。ひずみ追従性試験においては、载荷開始前に生じる試験体のひずみ評価が重要であり、本来は、ひずみ追従性試験前の試験体では乾燥収縮を生じない養生を行うべきであると考えられる。しかし、ここではクリープ試験中の乾燥による収縮を計測した後の試験体を使用したため、ひずみ追従性試験中の下地コンクリートとタイルの計測値に対して、载荷開始前の乾燥収縮ひずみによる影響を考慮して、式(1),(2)による補正を行った。

$$\varepsilon_C = \varepsilon_{Cm} + \varepsilon_D \text{ ----- (1)}$$

$$\varepsilon_T = \varepsilon_{Tm} + \alpha_0 \times \varepsilon_D \text{ ----- (2)}$$

ここに、

- ε_C : 下地コンクリート全ひずみ
- ε_T : タイル全ひずみ
- ε_{Cm} : ひずみ追従性試験中に生じた下地コンクリート計測ひずみ
- ε_{Tm} : ひずみ追従性試験中に生じたタイル計測ひずみ
- ε_D : 载荷試験前乾燥収縮ひずみ
- α_0 : 载荷試験初期ひずみ伝達率

補正に当たって、タイルのひずみを正しく算出するためには、計測値に対して乾燥収縮時のタイルひずみ、もしくは、乾燥収縮時のひずみ伝達率を用いて補正することが必要である。しかし、ここでは载荷速度による影響を比較することを目的としているため、载荷開始前のひずみについてもひずみ追従性試験と同様に生じたものと見なして、载荷試験における初期ひずみ伝達率を使用してタイルの全ひずみを算出した。

ひずみ追従性試験結果を図8に示す。ひずみ追従性試験で下地コンクリートに与えた最大ひずみは、クリープ追従性試験よりも大きく、平均で1173μであった。これによって、下地処理を行わなかった試験体では、全ての端部タイルと1/3の中央タイルで破壊ポイントが計測された。また、超高压水洗浄した試験体でも、半数以上の端部タイルで破壊ポイントが計測された。破壊ポイントの比較から、ひずみ追従性試験でもクリープ追従性試験と同様に、タイルの剥離は端部タイルから始まる様子が窺えた。また、下地処理によって剥離に対する抵抗性が向上することが確認できた。

(c) 载荷速度による相違

クリープ追従性試験とひずみ追従性試験から得られた初期ひずみ伝達率と破壊ポイント発現割合の比較を表4に示す。ひずみ追従性試験による初期ひずみ伝達率は平均0.80で、クリープ追従性試験よりも25%大きい傾向にあった。これは、クリープ追従性試験ではひずみを与えられる期間が長いことにより、張付モルタル層内でせん断変形に対するクリープが生じるためと考えられる。

破壊ポイントは、試験終了時まで発現しないタイルもあったため

図8 ひずみ追従性試験結果

表4 最大ひずみ伝達率と破壊ポイント発現割合の比較

		クリープ追従性試験		ひずみ追従性試験	
		NT	HW	NT	HW
初期ひずみ伝達率	平均	0.63	0.65	0.81	0.79
	標準偏差	0.11	0.10	0.05	0.06
破壊ポイント発現割合	600μ以下	7/18	0/18	0/18	0/18
	試験終了時	11/18	1/18	12/18	8/18

平均値を計算することはできないが、最小のものでは、ひずみ追従性試験では下地処理なしが636μ、超高压水洗浄したもので915μであるのに対して、クリープ追従性試験では下地処理なしが361μ、超高压水洗浄したもので852μであり、クリープ追従性試験ではひずみ追従性試験よりも破壊ポイントが小さくなる傾向が見られた。また、同じ下地コンクリートひずみにおける破壊ポイントの発現率を比較すると、ひずみ追従性試験よりもクリープ追従性試験の方が高くなった。この原因として、载荷を開始した材齢の違いによる影響も考えられるが、張付材の強度にはクリープ試験時に破壊ポイントが発現し始めた時期からひずみ追従性試験時までの間で大きな変化はなかった。一方、長期の载荷環境下のコンクリートなどでは、静的载荷で得られた強度よりも小さな値でクリープ破壊が生じることから、これは、载荷時間が長いクリープ追従性試験では、与えられたせん断応力で張付モルタルにクリープ破壊が生じることが主たる原因であると考えられる。

クリープ追従性試験では、破壊ポイント以降の下地コンクリートのひずみの増進に対してタイルのひずみは徐々に小さくなり、接着面の破壊が徐々に進行する様子が窺える。これに対して、ひずみ追従性試験におけるタイルのひずみは破壊ポイント以降に急減する傾向にあった。これは、タイルのひずみ伝達率が低下することによって、下地コンクリートに軸力が再分配されてひずみが増大し、更なるひずみ伝達率の低下を生じるサイクルが、高応力下ほど急激に進行するためと考えられる。

これらのことから、タイル仕上げの長期にわたる接着性能を評価

するためには、載荷速度についての考慮が必要であることがわかった。クリープ追従性試験は、従来の試験方法よりも実建物に近い評価ができると考えられる。また、従来のひずみ追従性試験では危険側の評価となり易いが、載荷開始前に生じるひずみや載荷速度の相違による差を考慮することで、より実建物に近い状態における評価ができると考えられる。本実験の範囲では、長期にわたってひずみが進行する場合を評価するためには、ひずみ伝達率はひずみ追従性試験で得られる値の8割程度とする必要がある。

3. タイルのひずみ追従性と接着性能の関係

3.1 実験目的

クリープ追従性試験やひずみ追従性試験では、破壊ポイントが下地処理によって増大する結果が得られた。しかし、破壊ポイントが計測されたタイルでも剥離を生じたものとそうでないものがあり、破壊ポイントだけではタイル仕上げの剥離抵抗性を適切に示すことが出来ていない。タイル仕上げの剥離防止を評価するためには、破壊ポイント以上のひずみを生じた下地コンクリートに対して、タイルが維持する接着性能を把握することが重要と考えられる。そこで、

図9 ひずみ伝達残存率の概念

図10 クリープ追従性試験におけるひずみ伝達残存率

クリープ追従性試験やひずみ追従性試験の結果から、ひずみの進行によりタイルの接着性能の低下度合いを評価する方法を提案する。また、これによって得られる値とタイル仕上げの接着強度の関係を実験で把握し、タイル仕上げの剥離抵抗性の評価が可能であることを検証する。

3.2 タイルの剥離抵抗性評価方法の提案

破壊ポイントを過ぎた試験体でも、ひずみが残留しているタイルは完全な剥離には至っていないため、剥離に対する抵抗性が残っていると考えられる。また、ひずみ伝達率は破壊ポイントを過ぎた後も繰り返し載荷に対する再現性があり、下地コンクリートに対するタイル仕上げのひずみ追従性の評価指標として使用することが可能と考えられる。しかし、ひずみ伝達率は、使用する材料や施工方法によって数値が異なる。そこで、ひずみ伝達率を剥離に対する抵抗性の評価指標として標準化するため、クリープ追従性試験やひずみ追従性試験の任意の時点におけるひずみ伝達率の、初期ひずみ伝達率に対する割合を「ひずみ伝達残存率」と定義した。ひずみ伝達率とひずみ伝達残存率の関係を図9に示す。

クリープ追従性試験におけるひずみ伝達残存率の履歴を図10に、ひずみ追従性試験におけるひずみ伝達残存率の履歴を図11に示す。ひずみ伝達残存率は、破壊ポイントに至らない試験体においても下地コンクリートのひずみの増大に伴って徐々に低下した。この傾向は、クリープ追従性試験で特に顕著であり、長期的な加力下では張付材料のクリープによってタイル仕上げのひずみ伝達率が低下することを示していると考えられる。

3.3 実験方法

クリープ追従性試験とひずみ追従性試験を行った後の試験体に対して、建研式接着力試験器によるタイル仕上げの接着強度試験を行い、提案した評価方法のひずみ伝達残存率との相関を検討した。

3.4 実験結果と考察

タイル仕上げのクリープ追従性試験やひずみ追従性試験結果と接

図11 ひずみ追従性試験におけるひずみ伝達残存率

図 12 ひずみ伝達残存率と引張強度試験結果の関係

着強度の関係を図 12 に示す。図中のひずみ伝達残存率は、クリープ追従性試験やひずみ追従性試験によってタイルの接着性能が劣化した状態を示すものとして、各試験における最終値を使用し、ひずみ伝達残存率が計測誤差から 0 未満になった場合や 1 を超えた場合には、それぞれの値を 0.1 とした。また、接着強度試験結果の破断位置の凡例は、タイルの張付面積に対して過半を占める破断位置によって区分した。

ひずみ伝達残存率が 0.75 以上のタイルでは破壊ポイントは発現しておらず、接着強度は 0.8N/mm² 以上の広範囲に分布していた。一方、ひずみ伝達残存率が 0.75 を下回ったものでは全てで破壊ポイントが発現し、接着強度は 0.9N/mm² を下回った。ひずみ伝達残存率と接着強度の関係は、ひずみ伝達残存率が 0.75 以上の場合は相関が見られないが、ひずみ伝達残存率が 0.75 未満の範囲では比例関係にあり、この範囲では、クリープ追従性試験とひずみ追従性試験のいずれの場合でも、下地処理の方法に関わらず、接着強度とひずみ伝達残存率は相関係数が 0.94 となる高い相関を示した。

接着強度試験時の破断位置は、破壊ポイントが計測されない範囲では様々な破壊状態が混在する結果であったが、破壊ポイントが計測されたものでは張付材と下地コンクリート、もしくは、タイルとの界面における破断が大半を占める結果となった。

引張試験では圧縮試験とは異なり、微細なひび割れや気泡などが弱点となって材料本来の強度よりも低い値を示す場合がある。このため、破壊ポイントが計測されない範囲では多様な破壊状態を示して強度試験結果に相関が現れなかったと考えられる。一方、破壊ポイントが計測されたものでは、ひずみが界面近傍に損傷を与えることによって、引張試験時の界面破断を生じ易くさせるとともに、ひずみ伝達残存率を低下させるために相関が観察されたものと考えられる。なお、タイル仕上げの接着強度の基準値⁸⁾⁹⁾である 0.4N/mm²を上回るものの中でも、破壊ポイントが計測されて接着強度が急激

に低下したものがあため、この値を維持していることは必ずしも接着性能が初期の状態を保っていることを示すものではないことが分かった。

以上の結果から、材料や施工方法によるタイルの下地追従性や接着強度とひずみ伝達残存率の関係を把握することによって、下地コンクリートに生じるひずみの大きさから、破壊ポイント以降のタイル仕上げの接着強度の低下傾向を推測することが可能になると考えられる。

4. まとめ

タイル張り仕上げの剥離防止性能の評価に用いられているひずみ追従性試験について、ひずみを与える際の荷重速度による影響を確認するとともに、ひずみ追従性試験で得られる結果とタイルの接着性能の関係について実験的検討を行った。その結果、主に以下のことが明らかになった。

- ①クリープ追従性試験における初期のひずみ伝達率は、無荷重で乾燥収縮ひずみが作用する場合とほぼ同じである
- ②荷重時間が短いひずみ追従性試験では、ひずみが長期にわたって進行する場合に比べて、ひずみ伝達率や破壊ポイントの値が大きくなる
- ③本研究で定義したひずみ伝達残存率を用いることによって、下地コンクリートのひずみの大きさから、タイル仕上げの接着強度の低下傾向を推測することが可能になる

謝辞

本研究を進めるにあたり、実験に御協力頂いた日本化成㈱の守屋氏と竹中氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 名知博司,小野正: 外装タイル張り仕上げのひずみ追従性設計法の提案, 日本建築学会構造系論文集,第 615 号,pp31-37,2007.5
- 2) 三枝一仁,馬場明生,前田孝一,山崎健一,松島泰幸,渡辺博司: タイル直張り工法の安全性に関する研究 (その 2 躯体の歪に対する追従性の実験), 日本建築士学会,大会学術講演会研究発表論文集,pp205-208,1993.9
- 3) 名知博司,小野正: タイル直張り仕上げのひずみ追従性に及ぼすタイル要因の影響, 日本建築学会構造系論文集,第 563 号,pp15-22,2003.1
- 4) 名知博司,小野正: 外装タイル張り仕上げのひずみ追従性および引張接着強度に及ぼす下地処理要因の影響, 日本建築学会技術報告集,第 19 号, pp15-18,2004.6
- 5) 伊藤学,渡邊康則,永尾弘孝,高松誠: ヤング係数が低いポリマーセメント系タイル張付け材の開発 その 2 下地要因と繰返し応力、せん断応力の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集.A-1,pp741-742,2004.8
- 6) 佐々木仁,添田智美,中山昌尚,高山勝行: 外装タイル仕上げにおける剥離防止性能に関する基礎実験 その 1 タイル先付け仕上げの単調圧縮荷重試験, その 2 温度ひずみ解析に基づいた繰返し型ひずみ追従性試験法の提案, その 3 直張り仕上げの繰返し型ひずみ追従性試験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集.A-1,pp689-694,2007.8
- 7) 稲葉洋平,佐々木正治,関田徹志,巴史郎: 外壁タイルの付着性能に関する検討 その 3 追従性試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集.A-1,pp695-696, 2007.8
- 8) 国土交通省大臣官房官庁営繕部: 公共建築工事標準仕様書 (平成 22 年版), 建築工事編
- 9) 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,1996.10

(2011年2月8日原稿受理, 2011年7月11日採用決定)