外装用高耐久性土壁調超軽量仕上げ材料の開発

DEVELOPMENT OF HIGHLY DURABLE MUD WALL-STYLE SUPERLIGHTWEIGHT
FINISH MATERIALS FOR EXTERIOR FINISHES

篠崎 征夫*

Yukuo SHINOZAKI

Recently, mud wall-style diatomaceous earth finish materials have been used for exterior finish work for buildings. However, the finish materials are not preferable as the exterior finishes exposed to severe environmental conditions such as cold regions, because they have originally been developed for interior finish work. In this paper, highly durable mud wall-style superlightweight finish materials using superlightweight polymer-modified mortars are developed for exterior finish work. Mud wall-style finish materials are experimentally prepared using carbon fiber-reinforced polymer-modified mortars and a superlightweight aggregate, and tested for strength, density, water absorption, thermal conductivity, adhesion, adhesion durability and freeze-thaw durability. From the test results, their excellent durability is confirmed.

Keywords : Exterior finishes, Mud wall-style, High durability, Superlightweight polymer-modified mortar, Microballoon, Carbon fiber reinforcement

外装仕上げ、土壁調、高耐久性、超軽量ポリマーセメントモルタル、マイクロバルーン、炭素繊維補強

1. はじめに

近年、環境共生材料などの名のもとに、建物の外装材として土壁調のけいそう土仕上げ材料が盛んに採用されるようになってきた。しかしながら、これら材料は、もともとけいそう土の有する吸・放湿性や脱臭性能などに注目した内装材料として開発されたものであるため、環境条件の厳しい外装、中でも寒冷地などにおける使用にあたっては、その耐久性が懸念される。このようなことから、著者は、これまで開発してきた超軽量ポリマーセメントモルタルをベースにして、耐久性に優れた土壁調の外装仕上げ材料を開発した。本材料は、無機と有機のマイクロバルーンを軽量骨材とし、炭素繊維を補強材として用いたポリマーとセメントの複合体で、これらのバランスよい材料構成によって、いままでにない高耐久性を実現している。

本研究では、開発に成功した外装用土壁調超軽量仕上げ材料の基本物性の他に、温冷繰返し試験（熱サイクル試験）、凍結融解試験などの促進劣化試験及び屋外暴露試験による耐久性評価試験を実施し、その耐久性が極めて優れていることを明らかにしている。

2. 外装用土壁調超軽量仕上げ材料の概要

本材料は、マイクロバルーン（超軽量微小中空発泡体）、炭素繊維、水溶性樹脂、セメント混和用ポリマーディスパージョンなどを主構成材料とする半液体状のペースト材料と、セメント、軽量骨材、種々の種石やけいそう土、顔料などをバランス良く組み合わせたモルタル材料である。本材料を壁に塗り付け後に、かき落としなどの伝統的な技法（工法）を加えることによって土壁調の仕上げを行うもので、これら材料や工法の組合わせによって、様々なテクスチャーが表現可能である。種類としては、ほりの深い仕上げを行う塗厚10～15mmで仕上げる厚塗り仕上げ材と、こて塗りの他に、経済性を考慮した吹付けやローラーばけなどで施工可能な塗厚3～5mmで仕上げる薄塗り仕上げ材の2種類から構成される。

3. 使用材料

3.1 ペースト材料

ペースト材料は、マイクロバルーン（ポリ塩化ビニリデン発泡体、直径20～200 μ m）と炭素繊維（直径18～32 μ m、長さ6mm）、水溶性樹脂（メチルセルロース）、ポリマーディスパージョン（エチレン酢酸ビニルエマルジョン）などをあらかじめ練り混ぜて構成される。表-1には、ペースト材料の組成を示す。

* ㈱竹中工務店技術研究所 主任研究員

Chief Researcher, Research & Development, Takenaka Research & Development Institute

表-1 ペースト材料の組成

構成材料	配合比 (%)
エチレン酢酸ビニルエマルジョン (全固形分、45.0%)	10.23
炭素繊維	1.36
ポリ塩化ビニル発泡体 (固形分、11.0%)	26.65
その他	0.77
水道水	60.99

3.2 セメント

セメントとしては、白色ポルトランドセメントを用いた。表-2には、白色ポルトランドセメントの物性を、また、表-3には、その化学成分を示す。

表-2 白色ポルトランドセメントの物性

密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	凝結			安定性	圧縮強さ (N/mm ²)		
		水量 (%)	始結 (h-min)	終結 (h-min)		3d	7d	28d
3.05	3660	28.6	2-29	3-34	良	33.8	47.5	64.7

表-3 白色ポルトランドセメントの化学成分

化学成分 (%)					
MgO	SO ₃	ig. loss	全アルカリ	Cl ⁻	ハンター-白色度
0.68	2.77	2.85	0.25	0.004	92.5

3.3 軽量骨材及び種石

軽量骨材としては、シラスバルーンを用いた。表-4には、シラスバルーンの物理的性質及び化学成分を示す。また、仕上げ材の種石としては、厚塗り仕上げ材A；赤みかげ石粒径5mm以下、厚塗り仕上げ材B；石灰岩粒径5mm以下、薄塗り仕上げ材の種石についてはいずれも寒水石粒径1.5mmを使用した。

表-4 シラスバルーンの性質

かさ密度 (g/cm ³)	平均粒径 (μm)	化学成分 (%)					
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	ig. loss
0.14 ~0.17	80	75 ~77	12 ~14	1~2	3~4	2~4	2~5

3.4 はっ水剤

はっ水剤としては、塗布タイプの表-5に示すシラン系化合物を用いた。

表-5 はっ水剤の化学組成及び性質

化学組成	外観	粘度 (mPa・s)	密度 (g/cm ³)
シラン系化合物	無色透明液体	10以下	0.84~0.86

4. 試験方法

4.1 試製仕上げ材の調製

表-6に示す調合に従って、モルタル用ミキサーを用いて、あらかじめペースト材料とセメント及び軽量骨材を水を加えながら均一になるまで約2min練り混ぜて後、種石を混入して更に約1min練り混ぜて試製仕上げ材を調製した。

表-6 試製仕上げ材の調合

試製仕上げ材の種類	ペースト材料 (kg)	セメント (kg)	軽量骨材 (kg)	種石 (kg)	水 (kg)	単位容積質量 (kg/l)
厚塗り仕上げ材A (外装用)	11.0	14.0	0.7	27.0	3.9	1.21
厚塗り仕上げ材B (外装用)	11.0	14.0	0.7	21.0	3.8	1.20
薄塗り仕上げ材C (外装用)	11.0	14.0	0.7	15.0	3.8	1.25
薄塗り仕上げ材C (内装用)						
薄塗り仕上げ材D (外装用)	11.0	14.0	0.7	40.0	5.8	1.33
薄塗り仕上げ材D (内装用)						

注) 外装用；はっ水剤を塗布したもの

内装用；はっ水剤の塗布なし

4.2 単位容積質量試験

JIS A 1171 (ポリマーセメントモルタルの試験方法) に準じて、試製仕上げ材の単位容積質量を測定した。

4.3 曲げ及び圧縮強さ試験

JIS R 5201 (セメントの物理試験方法) に準じて、試製仕上げ材の試験体 (寸法、40×40×160mm) を成形し、2d湿空 (20±2℃、80% (RH)) 養生後、脱型してから、26d乾燥 (20±2℃、65±5% (RH)) 養生して、試験体を作製した。インストロン万能試験機を用いて、クロスヘッド速度2mm/minで試験体の曲げ及び圧縮強さ試験を行った。

4.4 気乾密度及び吸水率試験

4.3と同様の方法で試験体 (寸法、40×40×160mm) を作製した。外装用については、作製した試験体に、はっ水剤を塗布した。塗布は、はけを用いて塗布量200g/m²を計量しながら行い、24h乾燥後に試験に供した。これらの試験体については、JIS A 1171 (ポリマーセメントモルタルの試験方法) に準じて、48h後の吸水率を測定した。また、比較として内装用 (はっ水剤塗布なし) についても同様の試験を行った。更に、吸水率試験前の試験体質量から気乾密度を算出した。

4.5 熱伝導率試験

京都電子工業 (株) 製の迅速熱伝導率計 QTM-500を用いて、4.3と同様に作製した試験体の熱伝導率を測定した。

4.6 接着強さ及び接着耐久性試験

被着体としてのコンクリート下地のモデルとして、JIS A 5371 付属書2 (規定) 舗装用平板に規定するコンクリート平板 (寸法、300×300×60mm) を用い、その表面をワイヤブラシで清掃後、吸水調整材を塗布し乾燥後、厚塗り仕上げ材A (外装用) 及びB (外装用)；10mm、薄塗り仕上げ材C (外装用)；5mm、薄塗り仕上げ材D (外装用)；3mm塗り付けて試験体を作製し、28d乾燥 (20±2℃、65±5% (RH)) 養生した。なお、外装用について

は、4. 4に示す同様の方法ではつ水剤を塗布した。

また、薄塗り仕上げ材C及びDについては、外装用の他に、比較として内装用（はつ水剤塗布なし）についても合わせて同様の方法で検討した。

1) 標準時接着強さ試験

28 d 乾燥 ($20 \pm 2^\circ\text{C}$, $65 \pm 5\%$ (RH)) 養生した試験体に引張試験用鋼製ジグをエポキシ樹脂接着剤で張り付け、ジグの周辺をカッターでコンクリート地板に達するまで切込みを入れた後、建研式引張試験機を用いて接着強さを測定した。なお、試験体数は3個とした。

2) 水中浸漬後の接着強さ試験

28 d 乾燥養生を行った試験体について、四側面及び底面をエポキシ樹脂でシールし、5 d 乾燥養生した。その後、引張試験用鋼製ジグをエポキシ樹脂接着剤で張り付け、ジグの周辺をカッターでコンクリート地板に達するまで切込みを入れてから48 h 水中浸漬を行い、水中から取り出した後直ちに、1)と同様の方法で接着強さ（試験体数3個）を測定した。

3) 温冷繰返し試験(熱サイクル試験)後の接着強さ試験

表-6に示す試製仕上げ材の中で、使用時に苛酷な環境条件下に暴露されることが予想される厚塗り仕上げ材のA（外装用）についてだけ本試験を行った。4. 6と同様に作製した試験体を28 d 乾燥養生した後、四側面及び底面をエポキシ樹脂でシールし、5 d 乾燥養生した。これらの試験体を温冷繰返し試験機（熱サイクル試験機）⁹⁾に入れ、0、50、100、150及び300サイクル試験終了ごとに試験体を取り出し、各サイクルごとの接着強さの変化を、4. 6 1) 標準時接着強さ試験方法と同様の方法で測定した。なお、熱サイクルは105 minで試験体の表面が室温から70℃に達するまでヒーターで加熱し、70℃に達したら水道水を散

図-1 温冷繰返し試験(熱サイクル試験)概略図

図-2 温冷サイクル図

水して15 minで室温まで冷却する。これを1サイクルと設定して、300サイクルまで試験を実施した。図-1に温冷繰返し試験（熱サイクル試験）装置の概略図を、また、図-2には温冷サイクルを示す。

4) 凍結融解後の接着強さ試験

表-6に示す厚塗り仕上げ材及び薄塗り仕上げ材の各材料について、4. 6と同様に作製した試験体を28 d 乾燥養生した後、二分割して四側面及び底面をエポキシ樹脂でシールし、5 d 乾燥養生した。その後、外装用については4. 4に示す同様の方法で、はつ水剤の塗布を行った。各試験体について、JISA 1435（建築用外壁材料の耐凍害性試験方法（凍結融解法））に準じて試験を行った。各試験体について48 h 水中浸漬後、直ちに図-3に示すように、 -20°C 2 h 気中凍結、 10°C 2 h 水中融解を1サイクルとし、10サイクル、30サイクル、50サイクル、100サイクルの各サイクル行った直後の吸水などに伴う質量変化及び各サイクルごとの接着強さの変化を、4. 6 1) 標準時接着強さ試験方法と同様の方法で測定した。なお、100サイクル以降も、質量変化を中心に、試験体の状況を観察しながら凍結融解試験を継続し、300サイクルまで試験を実施した。100サイクル以降の接着強さ試験についても、試験体の状況に応じ接着強さ試験が可能と判断されたものについて実施した。なお、比較として、薄塗り仕上げ材については、内装用のものについても同様の試験を行った。図-3に本試験における凍結融解サイクルを示す。

図-3 凍結融解サイクル

5) 屋外暴露後の接着強さ試験

表-6に示す厚塗り仕上げ材B（外装用）、薄塗り仕上げ材C（外装用及び内装用）及びD（外装用及び内装用）について、4. 6と同様に作製した試験体を28 d 乾燥養生した後、（株）竹中工務店技術研究所屋上（千葉県印西市大塚）に静置し、屋外暴露試験を開始した。

1か月、3か月、6か月、12か月及び24か月ごとに試験体を室内に取り込み、7 d 乾燥養生したのち、4. 6 1) 標準時接着強さ試験方法と同様の方法で接着強さ試験を実施し、その経時変化について検討した。

4.7 凍結融解に対する抵抗性試験

厚塗り仕上げ材A（外装用）及びB（外装用）、薄塗り仕上げ材C（外装用及び内装用）及びD（外装用及び内装用）について、吸水試験後の試験体（寸法、 $40 \times 40 \times 160$ mm）を用いて、JIS A 1435に規定する気中凍結水中融解法に準じて試験を行った。0、30、60、100、200及び300サイクルごとに、試験体の質量変化及び動弾性係数の測定を行い、写真撮影を行った。

5. 試験結果及び考察

5.1 基本物性

仕上げ材の単位容積質量、気乾密度、曲げ及び圧縮強さ、弾性係数、熱伝導率、吸水率及び各試験条件下の接着強さを一覧表にまとめて表-7に示す。まず、強さについてみると、厚塗り仕上げ材A及びB、薄塗り仕上げ材C及びDは、一般のセメントモルタル系仕上げ材に比べて圧縮強さは小さいが、仕上げ材としては十分な強さを有しており、特に問題はない。全体的には、いずれの材料も、仕上げ材として十分満足する値といえる。また、弾性係数については、通常のモルタルの $(2 \sim 3) \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ に比べ、 $(0.68 \sim 1.1) \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ と弾性係数の小さいのが特長としてみられる。また、いずれも気乾密度が $0.8 \sim 1.2 \text{ g/cm}^3$ と極めて軽量であると共に、熱伝導率も $0.17 \sim 0.30 \text{ W/mK}$ と小さく、断熱性に優れている。このように、この仕上げ材は、従来のセメントモルタル系の仕上げ材にはみられなかった特長を有している。これら軽量性と断熱性の関係については、有機と無機のマイクロバルーンのバランス良い材料構成に起因するものと判断される。また、吸水率については、はっ水剤の処理により大幅に改善される。

表-7 仕上げ材の基本物性値

試験項目	厚塗り 仕上げ材A	厚塗り 仕上げ材B	薄塗り 仕上げ材C	薄塗り 仕上げ材D
単位容積質量 (kg/l)	1.21	1.20	1.25	1.33
気乾密度 (g/cm ³)	1.10	1.08	0.86	1.20
曲げ強さ (N/mm ²)	1.36	1.49	1.28	1.35
圧縮強さ (N/mm ²)	2.49	2.72	2.16	2.56
弾性係数 ($\times 10^4 \text{ N/mm}^2$)	1.10	1.10	0.68	1.10
熱伝導率 (W/mK)	0.30	0.26	0.17	0.30
吸水率 (vol%)	1.3	1.3	2.3 (23.4)	2.1 (20.4)

注) () は、内装用（はっ水剤塗布なし）

5.2 接着強さ及び接着耐久性

1) 標準時接着強さ

表-8には、仕上げ材の標準時接着強さを示す。仕上げ材の接着強さは、JIS A 6909（建築用仕上塗材）に規定する本仕上げ材相当品（外装セメント系厚付け仕上塗材及び外装セメント系薄付け仕上塗材）の基準値を十分満足している。接着性が良好であるのは、仕上げ材に含まれるポリマーの効果によるものと考えられる。⁸⁾

2) 水中浸漬後の接着強さ

表-8には、仕上げ材の水中浸漬後の接着強さを示す。薄塗り仕上げ材B及びC（内装用）に若干接着強さの低下がみられるが、外装用のものについては、JIS A 6909に規定す

る試験方法に比べて厳しい試験にもかかわらず、その基準値を十分満足している。接着強さ試験後の試験体の破壊状況はほとんど仕上げ材自体の凝集破壊であった。

表-8 仕上げ材の接着強さ

試験項目	厚塗り 仕上げ材A	厚塗り 仕上げ材B	薄塗り 仕上げ材C	薄塗り 仕上げ材D
標準時 (N/mm ²)	0.74	0.69	0.67	0.93
水中浸漬後 (N/mm ²)	0.60	0.59	0.61 (0.48)	0.82 (0.48)

注) () は、内装用（はっ水剤塗布なし）

3) 温冷繰返し試験(熱サイクル試験)

温冷繰返し試験（熱サイクル試験）における各サイクル試験終了後の厚塗り仕上げ材A（外装用）の接着強さを図-4に示す。この図にみられるように、温冷繰返し試験（熱サイクル試験）のサイクル数の増加に伴い、仕上げ材の接着強さは、初期値の 0.7 N/mm^2 よりむしろ順次増加する傾向にある。これは、仕上げ材の弾性係数が小さいことによって、仕上げ材とコンクリート地との接着界面における熱応力の緩和効果が期待できるためと、散水による水分の供給並びに加熱による水和反応の進行に基づくものと考えられる。また、接着強さ試験後の試験体の破壊状況は、ほとんど仕上げ材自体の凝集破壊であった。以上の結果、温冷繰返しや乾湿繰返しなどの劣化要因に対しても、厚塗り仕上げ材A（外装用）は、極めて優れた接着耐久性を有しているといえる。

図-4 温冷繰返し(熱サイクル)試験後の接着強さ

4) 凍結融解後の接着強さ

図-5及び図-6に凍結融解試験開始後の各サイクルにおける質量変化率及び接着強さを、また、図-7には凍結融解300サイクル後における厚塗り仕上げ材A（外装用）と薄塗り仕上げ材C（内装用）の接着強さ試験後の試験体の破壊状況を示す。厚塗り仕上げ材A及びB、（外装用）については、質量変化も小さく、合わせて接着強さの低下も小さい。凍結融解300サイクルに達しても、何ら外観変化も認められず、

凍結融解に対する抵抗性に極めて優れていることが確認できる。薄塗り仕上げ材については、凍結融解サイクル数の増加に伴う吸水による質量増加がいずれも著しいが、凍結融解50～100サイクルにかけてコンクリート下地が凍害を受けてひび割れの発生の見られるものが増えてきたことなどから、これらの進行に起因するものと考えられる。しかしながら、表面の仕上げ材の接着強さについては、コンクリート下地の凍害によるひび割れの発生にもかかわらず大きな低下は見られず、全体的に良好であった。なお、凍結融解サイクルの進行に伴い、コンクリート下地が凍害を受けて損傷したため、損傷の程度によって薄塗り仕上げ材D（内装用）については凍結融解100サイクルで、薄塗り仕上げ材C（外装用）及び薄塗り仕上げ材D（外装用）については凍結融解180サイクルで試験を中止した。凍害による下地コンクリートの損傷の小さかった薄塗り仕上げ材C（内装用）だけは、凍結融解300サイクルまで試験を継続し、接着強さの低下のないことを確認した。

以上のように、試製仕上げ材は、コンクリート下地の凍害にもかかわらず、ほとんど凍害を受けないほど凍結融解に対する抵抗性に優れている。その理由としては、ポリマーディスパージョンや水溶性樹脂などの混入による効果^{5), 8)}、さら

図-5 接着耐久性試験における凍結融解サイクルに伴う質量変化率

図-6 凍結融解試験後の接着強さ

厚塗り仕上げ材A(外装用) 薄塗り仕上げ材C(内装用)

図-7 300サイクルの凍結融解試験における
接着強さ試験体の破壊状況

には変形能力が大きい軽量骨材としてのポリ塩化ビニリデン発泡体の緩和効果なども加わったバランスの良い材料構成によるものと推察される。

5) 屋外暴露後の接着強さ

図-8に、厚塗り仕上げ材B（外装用）及び薄塗り仕上げ材C（外装用及び内装用）及びD（外装用及び内装用）の屋外暴露2年日までの接着強さの経時変化を示す。いずれの材料についても、接着強さの低下はみられず、一連の室内実験結果と同様の結果である。なお、接着強さ試験後の試験体の破壊状況は、いずれも仕上げ材白体の凝集破壊であった。

図-8 屋外暴露試験後の接着強さ

5.3 凍結融解に対する抵抗性試験

図-9及び図-10には、厚塗り仕上げ材A（外装用）及びB（外装用）、薄塗り仕上げ材C（外装用及び内装用）及びD（外装用及び内装用）の凍結融解300サイクルまでの質量変化及び相対動弾性係数の変化を示す。薄塗り仕上げ材B（外装用）に相対動弾性係数の低下が若干認められるものの、60%を下回ることなく、その他のものについてもほとんど低下はみられない。いずれの仕上げ材についても外観変化及び質量変化はほとんどみられず、凍結融解に対する抵抗性に極めて優れていることが確認できる。また、はつ水剤の有無にかかわらず、試製仕上げ材は、凍結融解に対する抵抗性に非常に優れている。この理由は、5.2 4)と同様と考えられる。

図-9 凍結融解サイクルに伴う質量変化率

図-10 凍結融解サイクルに伴う相対動弾性係数の変化

6. まとめ

外装用高耐久性土壁調超軽量仕上げ材料の開発を目的として実施した、以上の試験結果を取りまとめると、次のとおりである。

- (1) 試製外装用高耐久性土壁調超軽量仕上げ材は、既存の同様の材料^{3), 7)}と比べて、基礎物性は大きな差がないが、超軽量で断熱性に優れている。
- (2) 試製外装用高耐久性土壁調超軽量仕上げ材は、既存の同様の材料^{3), 7)}と比べて、その凍結融解に対する抵抗性及び接着耐久性が相当に優れている。
- (3) 試製外装用高耐久性土壁調超軽量仕上げ材の以上述べたような卓越した特性は、この材料が白色ポルトランドセメントと無機及び有機質マイクロバルーンをベースとし、これにポリマーディスパージョンや水溶性樹脂などを混和した一種のポリマーセメントモルタルを、炭素繊維で補強して製造することによって由来するものと考えられる。従って、本研究で開発した外装用高耐久性土壁調超軽量仕上げ材は、寒冷地における使用が可能となり、しかも湿式施工の外装用仕上げ材として、相当に苛酷な環境下でも使用できるものと推察される。

参考文献

- 1) Y. Shinozaki: Development and Application Research on Multifunctional Super Lightweight Mortar-Application to Thermal Insulation and Condensation-Proof Construction Method-, Proceedings of the 22nd International SAMPE Technical Conference, Boston, USA, pp. 986 ~ 997, 1990. 11
- 2) 篠崎征夫: 超軽量モルタルを用いた断熱・結露防止工法の開発, 日本建築学会技術報告集 第2号, pp. 20~23, 1996. 3
- 3) 篠崎征夫: 土壁調超軽量外装化粧仕上げ材料の凍結・融解抵抗性, 日本建築学会大会(中国)学術講演梗概集 A-1, pp. 1025-1026, 1999. 9
- 4) 鎌田英治, 木内一之, 吉野利幸: 硬化セメントペーストの凍害と細孔構造の役割について, セメント技術年報 No. 30, pp. 292-296, 1976. 6
- 5) 柳場重正, 川村満紀, 小泉徹: ポリプロピレン系ポリマーセメントコンクリートの諸性質, セメント技術年報 No. 32, pp. 312-319, 1978. 5
- 6) 篠崎征夫: 超軽量セメントモルタルの開発と仕上材料への応用, 日本建築学会大会学術講演会研究発表論文集, pp. 229-232, 1996. 9
- 7) 篠崎征夫, 雁部剛志: 超軽量モルタルを用いた外装化粧仕上げ材料の耐久性, 日本建築学会大会学術講演会研究発表論文集, pp. 57-60, 1997. 10
- 8) 大濱嘉彦: ポリマーセメントモルタルの接着耐久性, 工業材料 Vol27, No. 7, pp. 51-54, 1979. 7
- 9) 山崎健一, 前田孝一, 馬場明生, 小川晴生: タイル直張り工法の安全性に関する研究(その4モデル試験体の熱冷繰り返しによるムーブメントの測定実験), 日本建築学会大会学術講演会研究発表論文集, pp. 213-216, 1993. 9
- 10) 安田亘, 原田進, 名知博司, 小野正, 久保田憲一: 特殊軽量モルタルを用いたタイル直張り工法の開発, 日本建築学会大会(中国)学術講演梗概集 A-1, pp. 1051-1052, 1999. 9

(2002年7月10日原稿受理, 2002年10月15日採用決定)