

論文 外装タイル張り外壁の剥落防止を目的とした含浸造膜剤の面内引張補強効果に関する基礎的研究

那須 光*1・畑中 重光*2・三島 直生*3・長谷川 哲也*4

要旨: 筆者らは、安価かつ施工が容易な、部分補修を可能とする外装タイル外壁の剥落防止工法の開発を目的とした研究を行っている。本報では、45mm角のタイルと目地モルタルを用いて、外装タイル外壁の表層を再現した供試体に対し、外壁表面に透明な塗膜を形成し、仕上げ層の面内引張強度の補強を行うことの出来るウレタン系含浸造膜剤を塗布した時の、造膜による補強効果に注目した実験を行った。その結果、チクソトロピー性を付与した含浸造膜剤であれば、タイルと目地の間に最大0.5mmの隙間があっても、塗布回数を増やすごとに膜を厚くし、引張強度を大きくすることが出来ると分かった。

キーワード: 外装タイル, 剥落防止, 目地モルタル, 含浸造膜剤, 面内引張試験

1. はじめに

既存 RC 建築物に使用されている外装タイル張り外壁は、優れた美観および耐久性を有する外壁仕上げである。しかし、施工不良や、長期間の温度変化などにより躯体コンクリートと付着モルタルの間に浮きが生じるなどの経年劣化が問題視されており、さらに、このタイル等が剥落した場合には、器物損壊および人身事故に至ることが懸念される。

このような問題に対して、2008年の法改正により外装タイル張り外壁等の劣化・損傷の調査が厳格化された。今後は、外装タイル張り外壁の補修・改修に関する需要が増加すると予想され、色・テクスチャなどが変わらない、安価かつ施工が容易な部分補修を望む声も大きい。

そこで本研究では、多孔質材料の表層部分の品質改善を行うことのできる高含浸性強化剤を応用した含浸造膜剤を開発し¹⁾、これを用いた外装タイル張り外壁剥落防止工法の開発研究に取り組んでいる。本報では、タイルと目地の隙間における含浸造膜剤の補強効果のうち、造膜による面内方向の引張強度の補強について注目した実験を行った。

2. 含浸造膜剤を用いた外装タイル外壁剥落防止工法

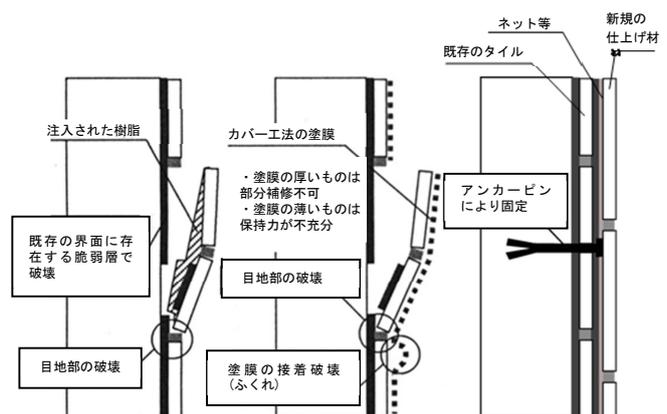
2.1 既存の外装タイル剥落防止工法

図-1に、既存の外装タイル剥落防止工法を示す。図-1(a)に示す樹脂注入工法は、モルタルの剥離部分に樹脂を注入することによって仕上げを固定する工法で、最も歴史が長く、多くの実績がある工法であり、材料施工技術がかなり確立している。しかし、注入圧によって、剥離部分の周囲の浮きを増加させる危険性や、既存界

面に存在する脆弱層で剥離する恐れなどがある。

図-1(b)に示す表層カバー工法は、透明度の高い皮膜により外装タイル張り外壁の表層をカバーする、既存の意匠を継続したまま剥落防止対策を行うことのできる工法である。ただし、壁面の保持耐力の面で十分な性能を有しているとは言い難く、また、防水性の膜を塗布して形成させた場合、躯体内部の水分の蒸発時に発生する水蒸気圧により、目地部分から膜が膨れ、造膜部分の接着破壊が生じる恐れがある。

図-1(c)に示すピンネット工法は、劣化した既存のタイル仕上げ層を繊維ネットとアンカーピンを併用し、躯体への留め付け、その上に新たな仕上げを形成し、剥離・剥落を防止するものである。ただし、既存の意匠を更新するため、部分的な補修が行えず、全面改修となるため、費用が増し、工期が伸びる。



(a) 樹脂注入工法 (b) 表層カバー工法 (c) ピンネット工法

図-1 既存の外装タイル張り外壁剥落防止工法

*1 三重大学 大学院工学研究科建築学専攻大学院生 (正会員)

*2 三重大学 大学院工学研究科建築学専攻教授 工博 (正会員)

*3 三重大学 大学院工学研究科建築学専攻准教授 博士 (工学) (正会員)

*4 日本診断設計株式会社 博士 (工学) (正会員)

2.2 開発を進めている剥落防止工法の概要

図-2 に、開発を進めている外装タイル剥落防止工法の概要を示す。タイルの表面に含浸造膜剤による塗膜が形成され、タイルの落下を防ぎ、同時に、同薬剤が経年で脆弱化した目地部に含浸し、強化する。さらに薬剤は、目地切れしたタイルと目地の隙間を充填し、タイル、目地および塗膜を一体化させる。一体化した仕上げ層はアンカーピンによりコンクリート躯体に留め付ける。

塗膜による接着力と目地内部に含浸した薬剤の定着力により剥離外力に抵抗するため、従来の塗膜のみによる剥落防止工法よりも壁体保持耐力に優れる。また、目地に対し薬剤が含浸することで、躯体内部の水分の蒸発時、および目地部に発生する水蒸気圧の上昇時の塗膜の膨れを防止するものである。

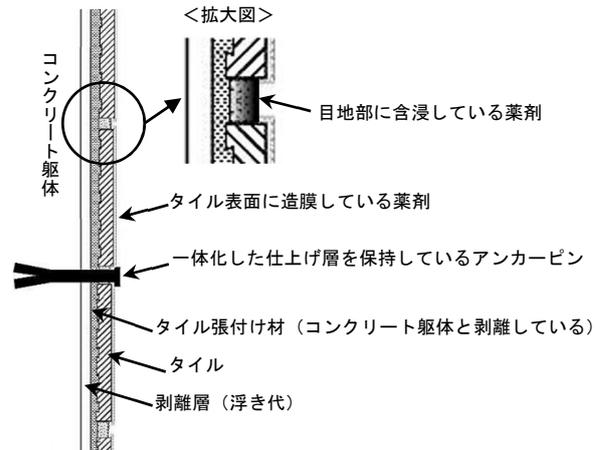


図-2 開発中の剥落防止工法の概要

2.3 含浸造膜剤

含浸造膜剤は、本研究室がこれまでに開発を行ってきた高含浸性強化剤を応用している。高含浸性強化剤は、コンクリートやレンガ、木材などの多孔質材料の微細な連続空隙の内部にまで含浸し、その後硬化することで材料自体を強化することができる薬剤である。表層に塗膜を形成するだけの一般的な塗材とは異なり、表層の深くまで一体的に強化されることから、施工後の塗膜剥離やふくれが回避できる。

含浸造膜剤には、ウレタン系の樹脂を使用した。含浸造膜剤は機能の異なる2剤から構成され、それぞれ、含浸強化剤と造膜剤と呼ぶ。どちらも表-1 に示す成分から構成されるが、その構成比が異なり、含浸強化剤は含浸効果が高く、造膜剤は含浸しにくい反面、形成される薬剤の膜厚が相対的に厚く、引張強度も高い。

薬剤全体に対する樹脂固形分の質量百分率を樹脂固形分率と呼び、低いほど含浸効果が高くなるが、1回の塗布による補強効果は小さくなる。各薬剤の配合を図-3 に示す。

これまでの実験²⁾より、造膜剤の粘性が低い場合、タイルと目地の間の隙間の大きさによっては、垂れによりうまく膜が形成されないことが判明している。そのため、本実験では、既存の造膜剤とそれに脂肪酸系の高分子を添加し、チクソトロピー性を付与したものの2種類の造膜剤を用いた。図-4 に、B型回転粘度計を用いて測定した、硬化前の造膜剤のコンシステンシー曲線を示す。チクソトロピー性を付与した造膜剤は下に凸なコンシステンシー曲線を描いており、また粘度が増加している。また、今回論文中に示してはいないが、それぞれの造膜剤の樹脂自体の硬化後の引張強度は、既存のものが 38 N/mm²、チクソトロピー性を付与したものが 22 N/mm² であり、チクソトロピー性を付与した造膜剤の樹脂の方が引張強度が若干小さい。

表-1 含浸造膜剤の成分と機能

成分		機能
樹脂固形分	硬化剤	溶剤の揮発後に硬化し、強度および接着性を確保する。
	添加剤	硬化剤に靱性を持たせ、脆性的な破壊・劣化を抑制する。
	添加剤 A	アクリル系
	添加剤 B	特殊ポリオール系
溶剤		有機系の揮発性溶剤で、薬剤の含浸性を確保する。

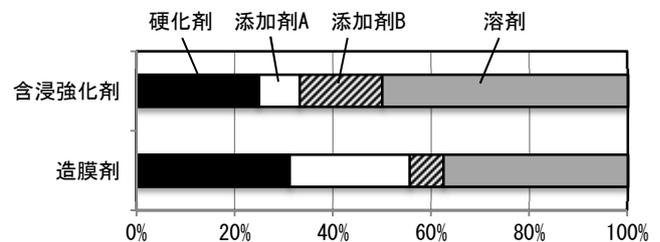


図-3 含浸造膜剤の配合 (wt. %)

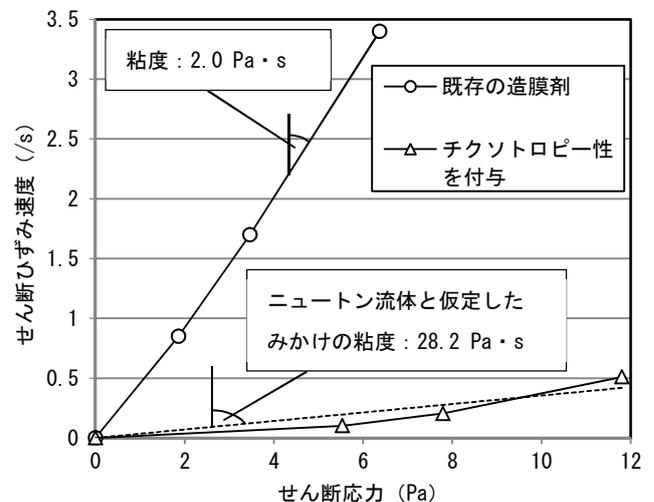


図-4 造膜剤のコンシステンシー曲線

3. 実験概要

3.1 実験の要因と水準

本実験の要因と水準を表-2に示す。造膜剤へのチクソトロピー性の付与の有無、造膜剤の塗布回数および隙間幅を要因とした。チクソトロピー性の付与無しの供試体をN供試体、チクソトロピー性の付与有りの供試体をT供試体と呼ぶこととする。塗布は供試体と同じ幅のローラーを用いて行い、鉛直に固定したタイル-目地供試体の上を1回転がすことで塗布1回とした。また、重ね塗りを行う場合には、塗布を1回行うごとに40分のインターバルを設けた。

隙間幅とは、タイルと目地の隙間のことを指し、本実験ではタイルと目地は付着していない状態を再現して供試体とした。

3.2 供試体概要

供試体は、市販の45mm角タイル（厚さ7mm）2枚を5mm間隔で面状に並べ、その隙間に目地を施工後、目地硬化後に目地切れを再現し、これに含浸造膜剤を塗布して作製した。

図-5にアタッチメントを設置した供試体の断面図を図-6に供試体の平面図を、写真-1にアタッチメントを設置した供試体を示す。

以下に供試体の作成手順を示す。

- 1) 目地モルタルの養生後、タイルと目地を一度バラバラにし、目地を片側だけタイルにエポキシ樹脂で接着する。
- 2) 目地およびタイルの裏側を木工用ボンドで台紙用のボール紙に固定しつつ、タイルと目地の隙間幅を倍率15のスケールペを用い、目視で調整する。
- 3) タイルと目地を設置したボール紙を鉛直に設置した木板に両面テープで張り付ける。この時、2枚のタイルが縦に並ぶように設置する。
- 4) 含浸強化剤を1回塗布し、40分間養生する。
- 5) インターバルタイムを40分として造膜剤を1回、3回、5回とそれぞれ塗り重ねる。
- 6) 台紙用のボール紙から供試体を切り離すため、水に浸しボール紙が柔らかくなってから、それを除去する。
- 7) エポキシ樹脂で接着した目地とタイルの境界を補強するため、裏側からプラスチック板を瞬間接着剤によって接着する。

3.3 実験方法

本実験では、油圧式引張試験機を用いて、供試体の面内方向に対する最大引張荷重を測定した。同実験では、タイルの層が外壁から剥離して、タイルの自重が引張力として目地にかかっている状態を想定している。試験手順は、供試体に引張試験用アタッチメントをエポキ

シ樹脂で接着した後に、引張試験装置に設置し、引張荷重を行い、最大荷重を記録した。その後、破壊した供試体断面を図-6に示す切断位置において切断し、断面をマイクロскопによって観察し、破断面の膜厚を計測した。供試体は各水準につき3体とした。

表-2 要因と水準

要因	水準
チクソトロピー性の付与	無し (N 供試体), 有り (T 供試体)
造膜剤の塗布回数 (回)	1, 3, 5
隙間の幅 (mm)	0.001 (≒0), 0.1, 0.3, 0.5

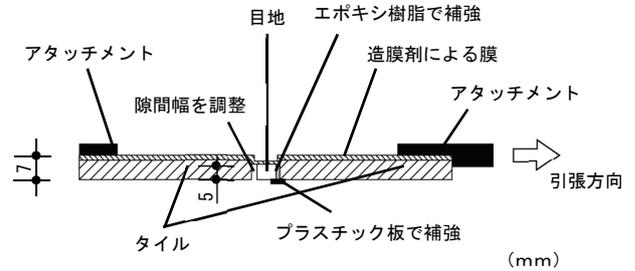


図-5 アタッチメントを設置した供試体の断面図

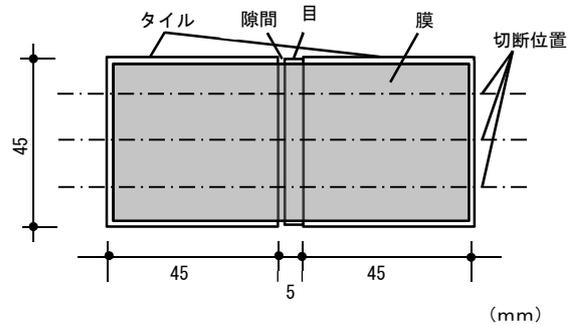


図-6 供試体平面

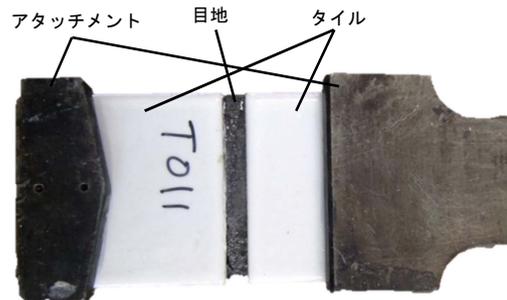


写真-1 供試体の例

4. 実験結果と考察

4.1 目視観察結果

含浸造膜剤の硬化後、供試体の表面を観察したところ、チクソトロピー性を付与していないN供試体のうち、塗布回数の多いものにおいて、表面に造膜剤の垂れが見られた。一方、T供試体では、造膜剤の垂れは見られなかった。また、塗布回数が少なく、隙間幅の大きな供試体において、隙間に膜が一部しか形成されていない供試体が見られた。

4.2 造膜剤の塗布回数と塗布量の関係

塗布回数と塗布量の関係を図-7に示す。ただし、プロットは各水準の平均値を示す。塗布量は、塗布前の造膜剤の質量をあらかじめ測定しておき、塗布毎に減少する造膜剤の質量より計測した。図-7によれば、造膜剤の種類によらず、塗布回数の増加と共に、ほぼ線形的に塗布量が增大していることがわかる。また、塗布量にはタイルと目地の間の隙間幅の影響は見られない。N供試体とT供試体の比較からは、チクソトロピー性を付与したT供試体の方が、塗布量がわずかに少なくなっている。

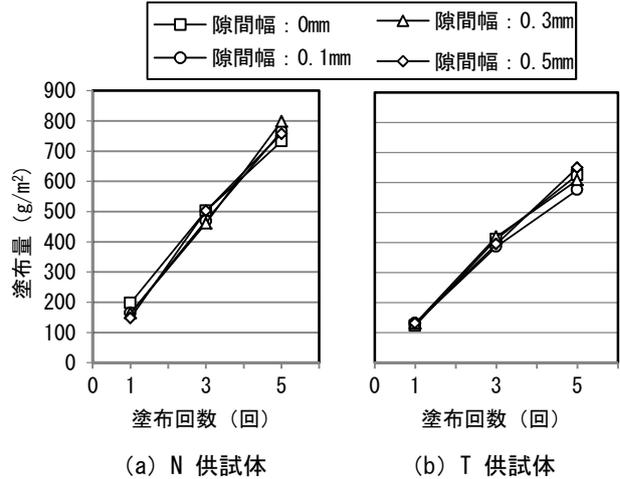


図-7 造膜剤の塗布回数と塗布量の平均との関係

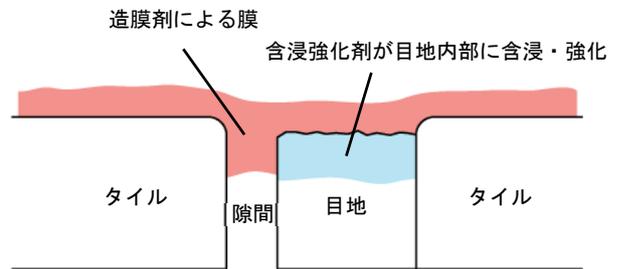
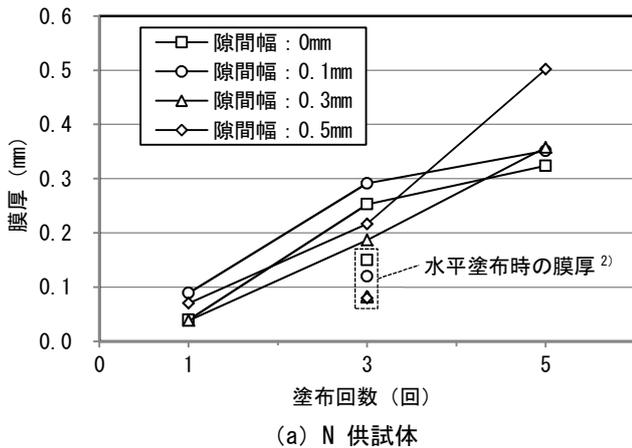
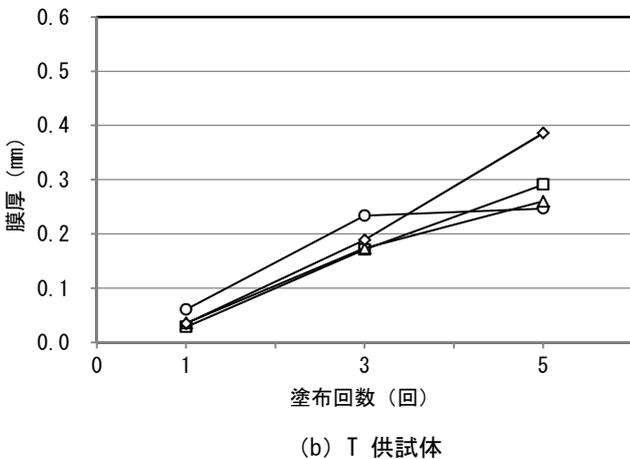


図-9 供試体断面イメージ (目地周辺拡大)

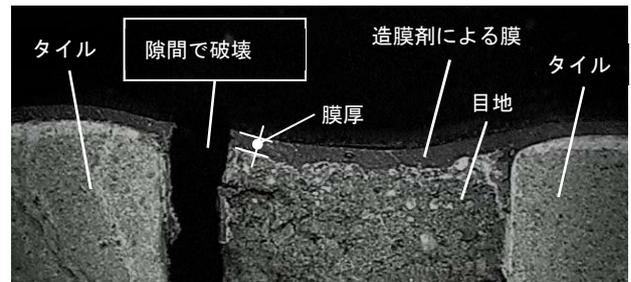


(a) N 供試体

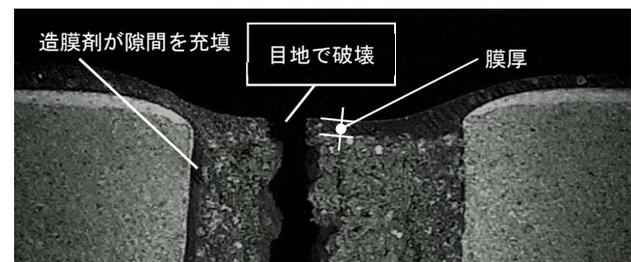


(b) T 供試体

図-8 造膜剤の塗布回数と破断面の膜厚の平均との関係



(a) N 供試体 - 隙間幅 0 mm - 塗布回数 5 回



(b) N 供試体 - 隙間幅 0.3 mm - 塗布回数 5 回

写真-2 供試体断面の拡大写真の例

4.3 破断面の膜厚および供試体の破壊位置の観察

図-8 に各供試体の造膜剤の塗布回数と破断面の膜厚との関係を示す。プロットは各水準の平均値を示す。膜厚は写真-2 に示すように膜の上端から目地の下端までとした。N 供試体では、塗布回数 5 回の時、膜厚が 0.3 ~ 0.5 mm、T 供試体では、塗布回数 5 回の時、膜厚が 0.2 ~ 0.4 mm である。N 供試体、T 供試体ともに塗布回数が増えるにつれ、膜厚が増加しており、また、隙間幅と破断面の膜厚に相関は無いと考えられる。これらの傾向は塗布回数と塗布量との関係と同様である。本実験では供試体を鉛直に設置し、造膜剤の塗布を行ったが、以前に行った水平に供試体を設置して塗布を行った時の結果²⁾の一部(3回塗布)を図-8(a)に示す。水平での塗布では造膜剤が隙間から流れ落ちてしまうため、膜厚が十分に確保できず、本実験の結果よりも小さくなっている。

図-9 に目地周辺を拡大した供試体断面図のイメージを、写真-2 にマイクروسコープを用いて撮影した供試体破断面の拡大写真の例を示す。供試体は、写真-2(a)に示すように隙間で破壊したものと、写真-2(b)に示すように目地で破壊したものの2つに分かれた。

図-10 に各供試体について、破壊位置をまとめたものを示す。ただし、ここでの観察数とは1つの供試体につき図-6に示した3ヶ所の切断面で観察したものをそれぞれカウントしており、各水準に合計9つの観察数がある。目地での破壊は、写真-2(b)に示すようにタイルと目地の隙間が、造膜剤によって充填・強化され、隙間部分の引張強度が目地部分の引張強度を上回ったために発生したと考えられる。図-10によれば、ばらつきが多く傾向がつかみにくいものの、多くの供試体が目地で破壊しており、造膜剤の隙間の充填による補強が効果的に行われていると考えられる。隙間で破壊したものは、充填による補強が十分に得られなかったと予想され、その理由として、塗布回数が少なく、造膜剤の量が少なかったこと、隙間幅が小さく、造膜剤が隙間に入り込まなかったこと、などが考えられる。

4.4 造膜剤の塗布回数と引張強度の関係

図-11 に、実験により得られた引張強度と造膜剤の塗布回数との関係を示す。引張強度は、実験により測定された引張最大荷重を、破断面の膜と目地の断面積の和で除して求めた。プロットの形は隙間幅を、プロットの色は破壊位置を示す。破壊位置の区分けは、各供試体、3ヶ所観察した破壊位置の内、3ヶ所全てが目地で破壊したものを目地で破壊した供試体とし、1ヶ所でも隙間で破壊していたものは隙間で破壊した供試体とした。

図-11 より、隙間幅と引張強度の間に、相関は見られないが、破壊位置に関しては、塗布回数が増えるほど、隙間での破壊よりも目地での破壊の方が、引張強度が大

きくなっている。図-11(a)に示すN供試体は、図-11(b)に示すT供試体と比較して、塗布回数3回および5回に関して引張強度のばらつきが大きい。また、N供試体では、隙間で破壊した供試体の中に、引張強度が0の供試体が見られる。この供試体では隙間において膜が全く形成されなかったと考えられる。一方、T供試体は、隙間で破壊した供試体であっても、ある程度の強度が得られている。さらに、T供試体の塗布回数1回では、隙間で破壊した供試体が多くみられるが、これは塗布量が少なく、膜が部分的にしか形成されなかったためと考えられる。

図-12 に、図-11 に示した引張強度の内、目地で破壊した供試体のデータについて、塗布回数ごとに平均したものを示す。隙間幅については、図-11 より引張強度への影響が見られなかったため、併せて1つのプロットとした。また、塗布回数0回の引張強度として、実験に使用した目地モルタルの引張強度³⁾を加えた。

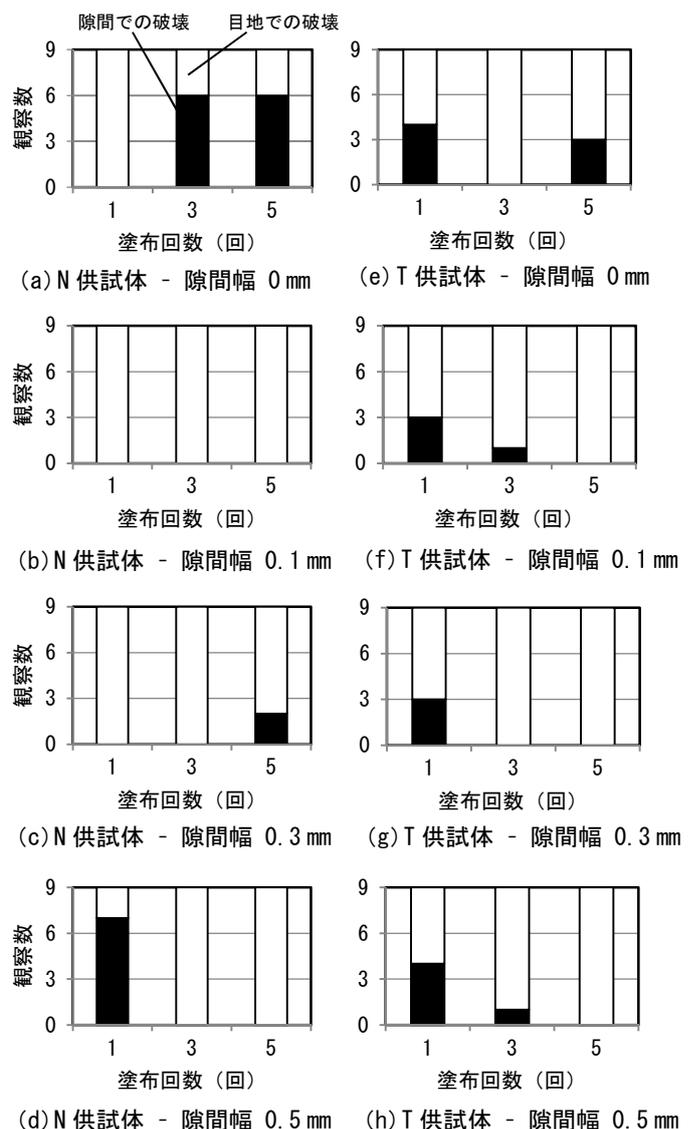


図-10 造膜剤の塗布回数と破壊位置の関係

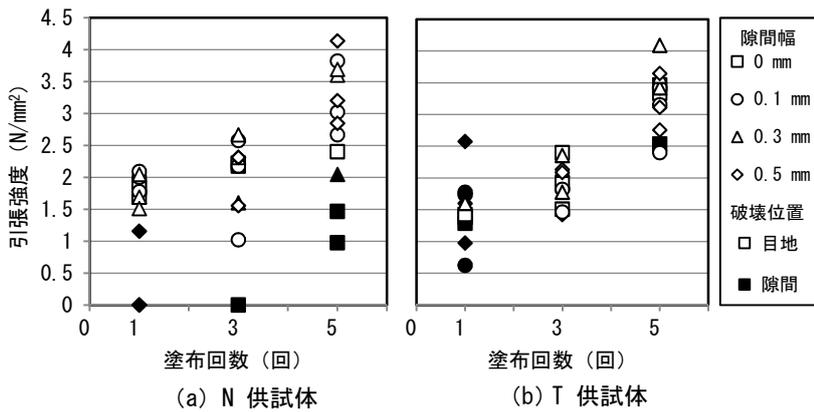


図-11 造膜剤の塗布回数と引張強度の平均との関係

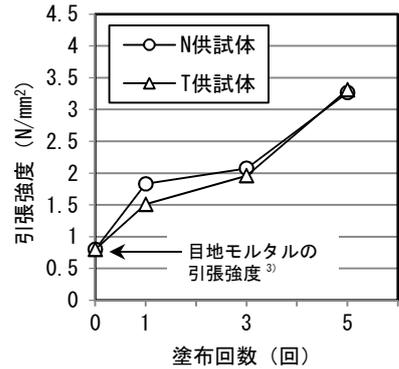


図-12 造膜剤の塗布回数と目地で破壊した供試体の引張強度の平均との関係

図-12 より、塗布回数の増加に伴い、引張強度が増加していることが分かる。供試体の引張強度は、1 回の塗布で 1.5~2.0 N/mm² 程度、5 回の塗布で 3.0 N/mm² 程度である。

図-13 に目地で破壊した供試体の最大引張荷重の推定値と実測値を示す。推定値は、供試体の幅、目地の厚さおよび測定した破断面の膜厚を用いて、目地および膜の断面積を計算し、それに目地モルタルおよび造膜剤の樹脂の引張強度をそれぞれ乗じたもの足し合わせて求めた。よって、推定値に含浸強化剤による効果は含まれておらず、その分、実測値の方が大きくなると予想された。

図-13 によると、N 供試体では予想と異なり、推定値の方が実測値より大きく、T 供試体では予想通りに、実測値の方が推定値より大きい。いずれの供試体においても、ばらつきはあるものの、各材料強度および断面積から、最大引張荷重を推定できることが示された。

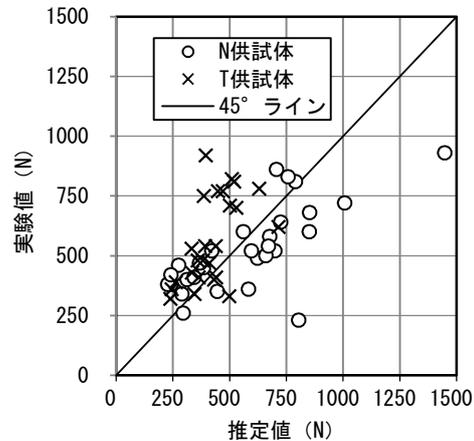


図-13 目地で破壊した供試体の最大引張荷重の推定値と実測値

5. まとめ

本実験で、得られた知見を以下に示す。

- 1) 本実験で使用した造膜剤の引張強度および破断面の膜厚は、鉛直面への塗布かつ、塗布回数 5 回以下の時、塗布回数の増加に伴い増加し、隙間幅 0.5 mm 以下では隙間幅の影響を受けない。
- 2) 供試体の破壊位置は、目地とタイルの隙間よりも目地の方が多く、造膜剤が目地切れした隙間を充填することにより、隙間における面内方向の引張強度の改善が効果的に行われていると考えられる。
- 3) 目地で破壊した供試体について、造膜剤の塗布回数 1 回で 1.5~2.0 N/mm² 程度、塗布回数 5 回で 3.0 N/mm² 程度の引張強度が得られる。
- 4) 引張強度に関して、チクソトロピー性を付与した造膜剤を塗布した供試体の方が、チクソトロピー性を付与していない造膜剤よりも、引張強度が安定して得られるため、扱いやすいと考えられる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、森香耶子さん（三重大学卒業生）及び保存科学(株)の皆様の助力を得た。また、本研究費の一部は、平成 23・24 年度科学研究費補助金挑戦的萌芽研究（研究代表者：畑中重光）によった。

参考文献

- 1) 那須光，長谷川哲也，畑中重光，三島直生：タイル目地モルタルに対する含浸造膜剤の含浸深さに関する基礎研究，日本建築学会学術講演梗概集 A-1，材料施工，pp.1149-1150，2012.07
- 2) 那須光，長谷川哲也，三島直生，畑中重光：外装タイル張り外壁の剥落防止を目的とした含浸造膜剤の補強効果に関する基礎研究，日本建築学会東海支部研究報告集，2014（印刷中）
- 3) 那須光，長谷川哲也，畑中重光，三島直生：タイル目地モルタルに対する含浸造膜剤の引張補強効果に関する基礎研究，日本建築学会学術講演梗概集 A-1，材料施工，pp.815-816，2013.07