

# ダンカンタイルコート技術資料

目立たないタイル補修部分とその補修強度向上に向けて

保存科学株式会社  
〒468-0043 名古屋市天白区菅田一丁目906番地  
保存科学ダンカン事業部  
Tel・Fax 052-808-0300  
e-mail hozonkagaku@wings.ne.jp

## 目次

1. 膜の引張り強度等に関する試験データ -----	P1
1-1 膜樹脂の引張り試験 -----	P1
1-2 目地モルタルと塗布された膜の引張り試験 -----	P3
1-3 タイル（目地はI目地）と塗布された膜の引張り試験 -----	P7
2. タイル目地切れ部分に対する補修効果確認試験データ -----	P11
2-1 目地切れを起こしたタイル面とそこに塗布された膜の架橋効果確認試験 -----	P11
3. 膜の面外引張り試験データ -----	P15
3-1 目地モルタル～膜の付着試験（膜の面外引張り試験） -----	P15
3-2 タイル～膜の付着試験（膜の面外引張り試験） -----	P18
3-3 版体のアンカーピン周囲を残しての抜け落ち試験 -----	P22
4. アンカーピンの引き抜き試験 -----	P27
4-1 コンクリートに打設したアンカーピンの引き抜き試験 -----	P27
5. 目地モルタルへの含浸深さ試験 -----	P30

## 【参考及び引用文献】

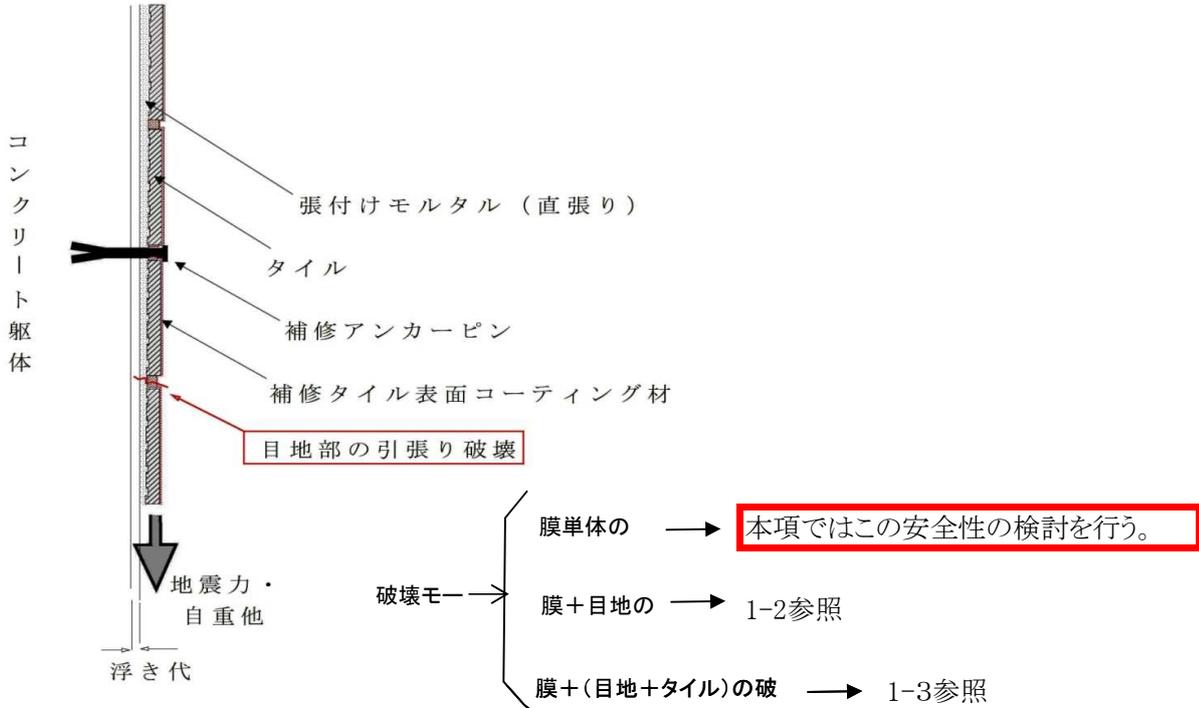
- 1) 那須光,長谷川哲也,畑中重光,三島直生  
タイル目地モルタルに対する含浸造膜剤の引張補強効果に関する基礎研究  
日本建築学会大会学術講演梗概集pp815～816,2013.8
- 2) 那須光,畑中重光,三島直生,長谷川哲也  
外装タイル張り外壁の剥落防止を目的とした含浸造膜剤の面内引張補強効果に関する基礎的研究  
日本コンクリート工学協会「コンクリート工学年次論文集,Vol.36,No.1,2014」, pp.1936～ 1941  
2014.7
- 3) 那須光,長谷川哲也,畑中重光,三島直生  
タイル目地モルタルに対する含浸造膜剤の含浸深さに関する基礎研究  
日本建築学会大会学術講演梗概集pp1149～1150,2012.9
- 4) 畑中重光,長谷川哲也  
文化財(煉瓦建造物)の保存技術への挑戦  
コンクリート工学Vol.51,No.1,pp132～136,2013.1
- 5) 長谷川哲也,畑中重光,三島直生,伊藤敬人,谷川恭雄  
小径ドリル型削孔試験機を利用した高含浸強化剤の性能評価  
シンポジウムコンクリート建造物の非破壊検査論文集(Vol.3), pp.357～362, 2009.8
- 6) 左口泰平,長谷川哲也,三島直生,畑中重光  
高含浸性強化剤による改質効果の評価手法に関する基礎的研究  
日本建築学会大会学術講演梗概集pp.265～266,2011.8

1. 膜の引張り強度等に関する試験データ

1-1 膜樹脂の引張り試験

① 試験の目的

カバー工法によってタイル浮き部が補修された場合に面内方向に発生する外力によって下図のように目地部に引張り破壊を生じることは無いかを検証する。

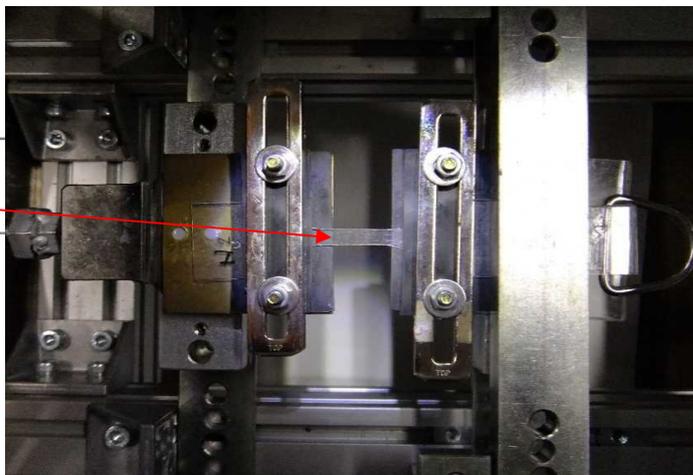
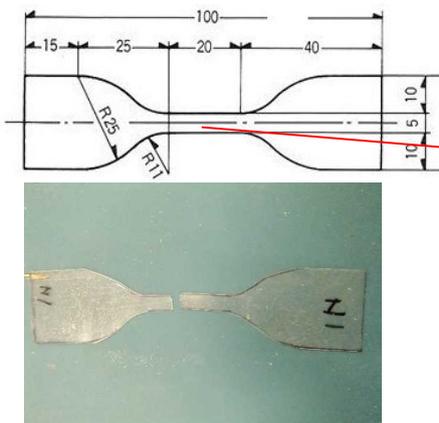


② 試験方法

厚さが約0.5mmのシート状になるように樹脂を型枠に流し込む。7日間、気中養生により溶剤を十分に揮発させた後、さらに60℃のオーブンで7日間養生させる。

養生を終えたシート状の樹脂硬化体から、カッターナイフで下図に示すダンベル3号形(JIS K 6251)を切り出し、これを試験片とする。

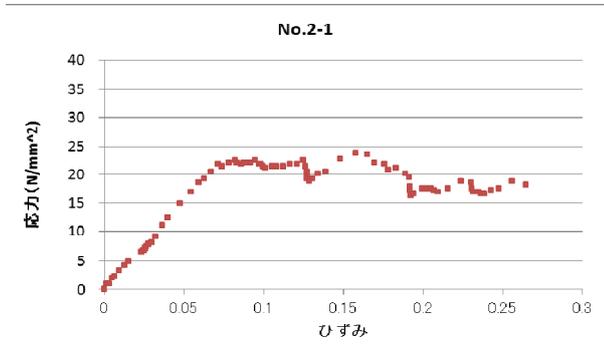
試験は、試験片が破断するまで引っ張り、加力開始から破断までの引張力と変位を測定する。測定された最大荷重値とあらかじめ測定しておいた試験片の厚さ、幅より引張強度を計算する。



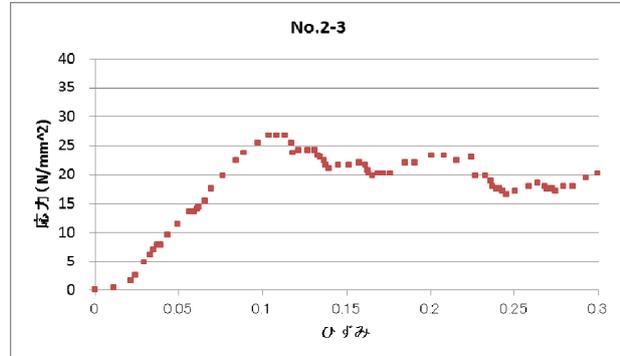
供試体の寸法と試験後の破断状況 供試体を治具にセットした状況

③ 試験結果

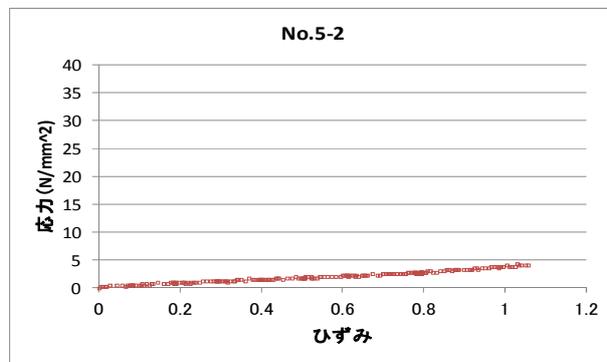
薬剤		引張り強度 (N/mm <sup>2</sup> )				伸び率 (%)			
		1	2	3	平均	1	2	3	平均
造膜剤	No2	23.8	26.9	26.8	25.8	21.0	17.0	11.0	16.3
プライマー	No5	3.1	4.3	4.0	3.8	85.0	105.7	93.0	94.5



造膜剤引張試験結果



造膜剤引張試験結果



含浸剤引張試験結果

④ 安全性の検討

膜の引張り強度は以下に示すように負圧時の風圧により決まり、本膜はその必要強度を満足している。

風荷重

建物高さ H = 20m 建物幅×長さ の想定 ; 15m×5m 地域 ; IIIと想定

採用風圧 外装材用風圧  $cf \cdot q = 1,500 \text{ Pa}$

上記に対し 必要膜強度は、90 N/cm (安全率 1.5込) となる。

自重(参考)

上下方向のピンのピッチを50cmとする

$3.5\text{cm}(\text{タイル厚} + \text{張付けモルタル厚} + \text{下地モルタル}) \times 50\text{cm}(\text{長さ}) \times 2.4(\text{比重}) = 4.2 \text{ N/cm}$

これに対し膜の強度は単位 cm あたり  $25.8 \times 10(\text{cmに換算}) \times 0.5(\text{膜の厚さ} 500 \mu)$   
 $= 129 \text{ N/cm}$

必要膜強度 90 N/cm (安全率 1.5込) < 当工法膜強度 129 N/cm

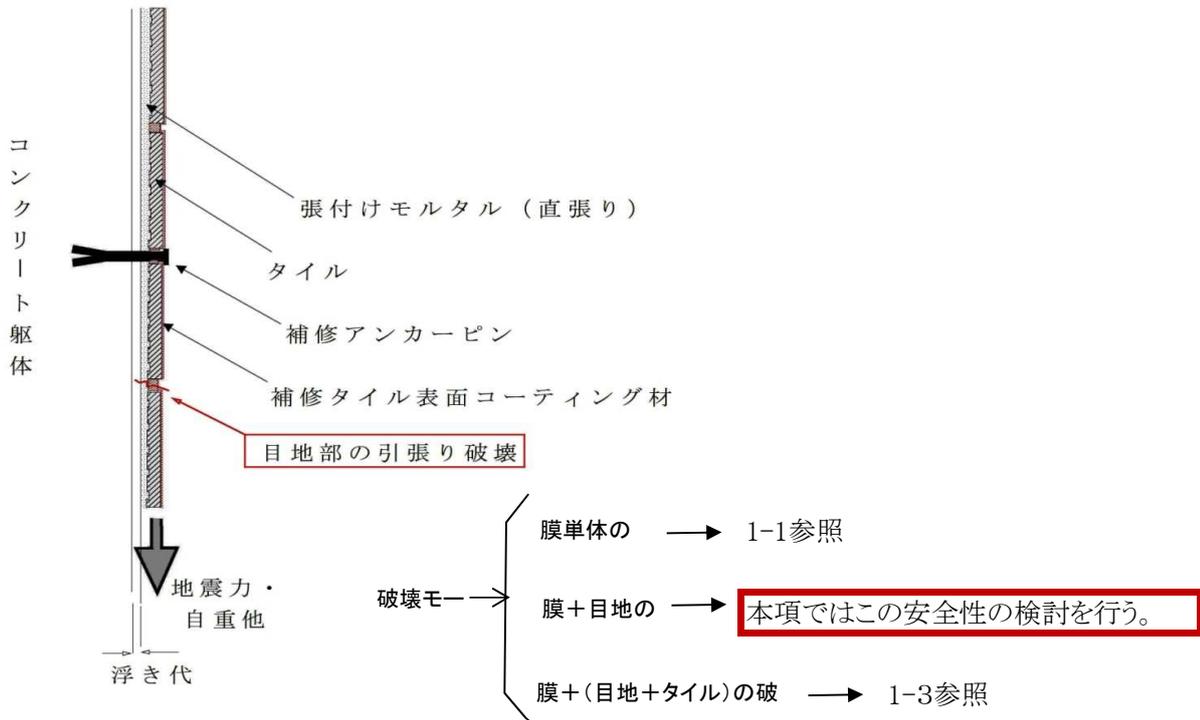
以上により膜の強度は、必要強度を上回っている。

なお、風荷重条件として高さが異なる場合には別途検討し、膜厚の修正が必要となる場合があります。

1-2 目地モルタルと塗布された膜の引張り試験

① 試験の目的

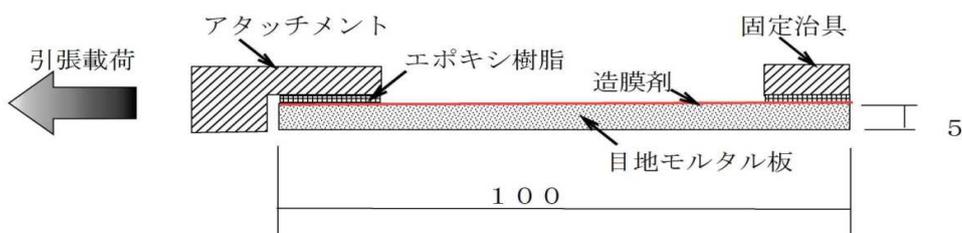
カバー工法によってタイル浮き部が補修された場合に面内方向に発生する外力によって下図のように目地部に引張り破壊を生じることは無いかを検証する。



② 試験方法

供試体

目地モルタル板の寸法は100mm×50mm、厚さ5mmとした。薬剤の塗布は、モルタル板の打設面についてのみ行い、含浸強化剤は120g/m<sup>2</sup>、造膜剤は、720g/m<sup>2</sup>を塗布した。塗布量から予想される膜厚は0.45mmである。



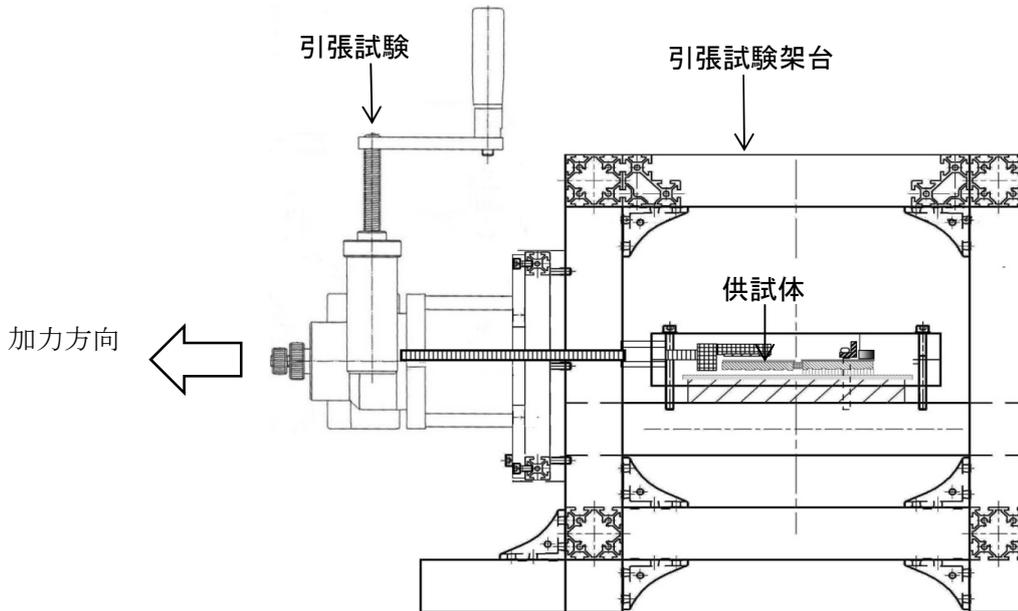
供試体の寸法



供試体にアタッチメントを取り付けた状況

試験方法

試験には仕上げ学会式簡易油圧引張試験器を使用し、引張強度を測定した。下図に引張試験を、下写真に試験後の供試体を示す。供試体の膜が形成されている面にエポキシ樹脂を用いて、引張载荷を行うためのアタッチメントと供試体固定のための治具を取り付け、水平方向に引張力を与えた。



引張試験架台に設置された引張試験器と供試体の立面図

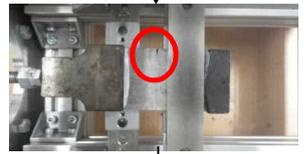
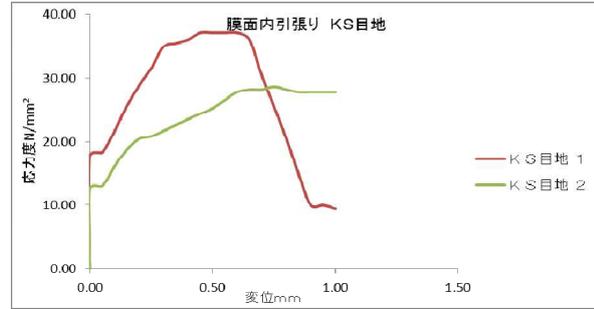
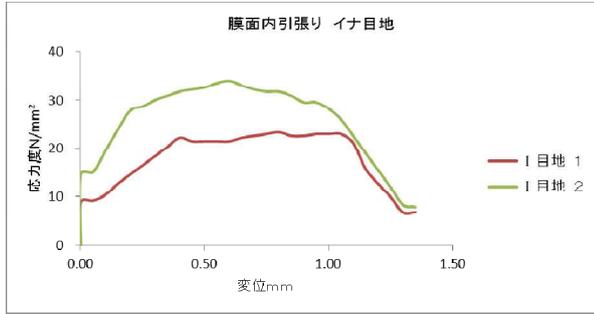


引張試験架台に設置された引張試験器と供試体の写真

③ 試験結果

引張り強度は変位発生時以降は目地モルタルの引張り強度もしくはタイルと目地モルタルの接着強度は無いものとして、断面積としては樹脂の断面積を応力計算に使用した。

目地種類	樹脂断面積引張り強度(N/mm <sup>2</sup> )			
	1	2	3	平均
I 目地	23.4	34.0		28.7
KS 目地	37.1	30.9		34.0



供試体破壊状況 (破壊ステップ)



供試体破壊状況 (破壊後塗布面)



供試体破壊後裏面

④ 安全性の検討

膜の引張り強度は前項に示したように負圧時の風圧により決まり、目地に塗布した膜についても必要強度を上回っている。

風荷重

建物高さ  $H = 20\text{m}$  建物幅×長さ の想定 ;  $15\text{m} \times 5\text{m}$  地域 ; IIIと想定  
採用風圧 外装材用風圧  $cf \cdot q = 1,500 \text{ Pa}$

上記に対し 必要膜強度は、 $90 \text{ N/cm}$  (安全率 1.5込) となる。

自重(参考)

上下方向のピンのピッチを50cmとする  
 $3.5\text{cm}$ (タイル厚+張付けモルタル厚+下地モルタル)  $\times 50\text{cm}$ (長さ)  $\times 2.4$ (比重)  
 $= 4.2 \text{ N/cm}$

これに対し目地に塗布した膜の強度は単位  $\text{cm}$  あたり

$28.7 \times 10$ ( $\text{cm}$ に換算)  $\times 0.5$ (膜の厚さ $500 \mu$ ) =  $143 \text{ N/cm}$  となっている。<sup>1)</sup>

必要膜強度 $90 \text{ N/cm}$ (安全率 1.5込) < 当工法膜強度 $143 \text{ N/cm}$
--

なお、風荷重条件として高さが異なる場合には別途検討し、膜厚の修正が必要となる場合があります。

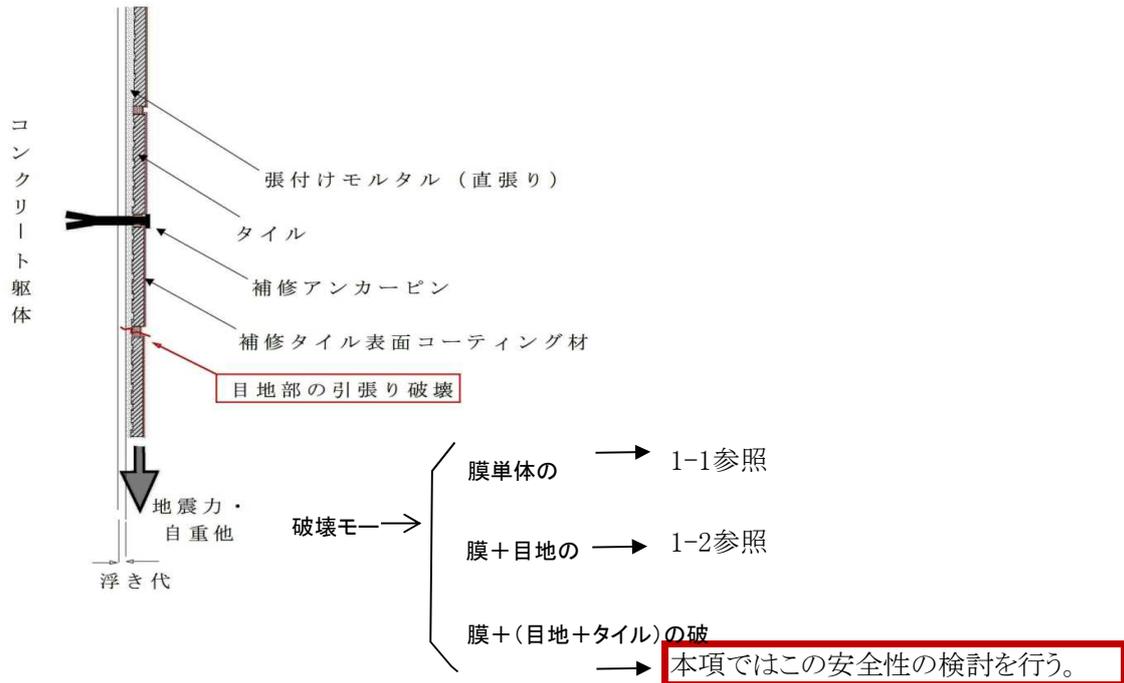
参考文献(巻末に添付)

- 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引張補強効果に関する基礎研究  
日本建築学会大会学術講演梗概集pp815~816,2013.8  
※ただし、この論文では引張応力の断面積を膜+目地モルタルとしている。

1-3 タイル（目地はI目地）と塗布された膜の引張り試験

① 試験の目的

カバー工法によってタイル浮き部が補修された場合に面内方向に発生する外力によって下図のように目地部に引張り破壊を生じることは無いかを検証する。

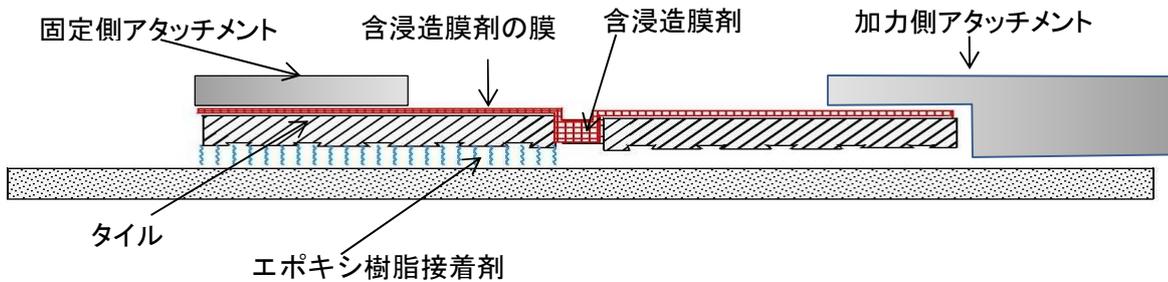


② 試験方法

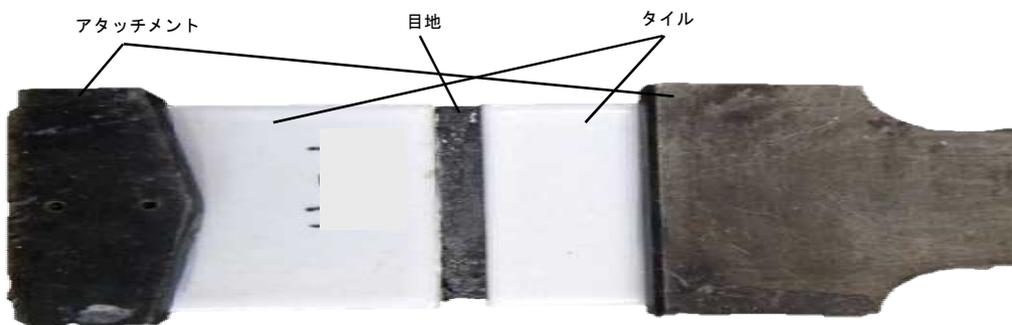
供試体

供試体は、市販の45mm角タイル（厚さ6. mm）2枚を5mm間隔で面状に並べ、その隙間に目地を施工後、含浸造膜剤を塗布して作成した。

下図にアタッチメントを設置した供試体の断面図を下写真にアタッチメントを設置した供試体を示す。



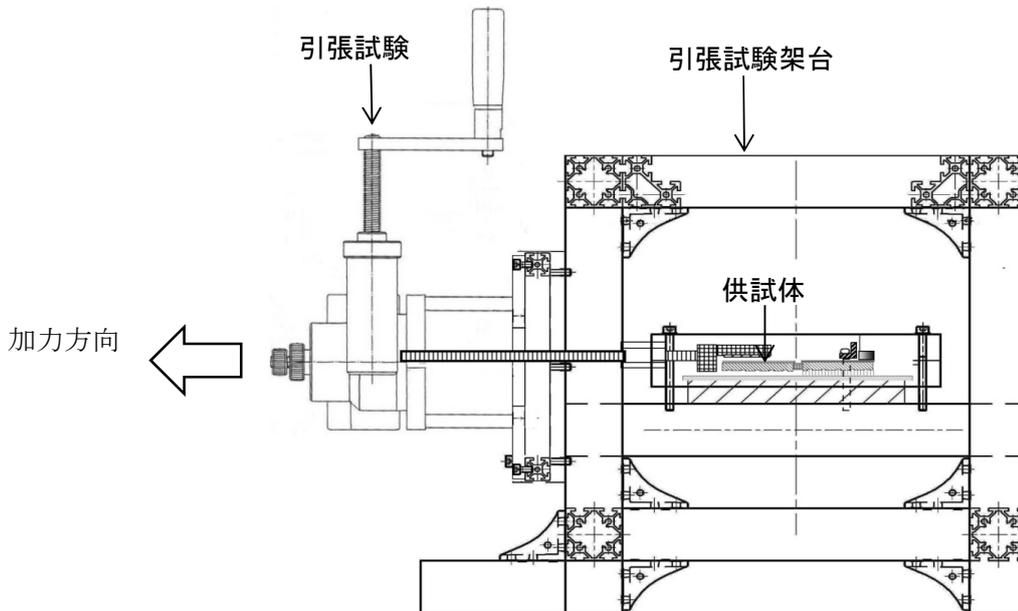
アタッチメントを設置した供試体の断面図



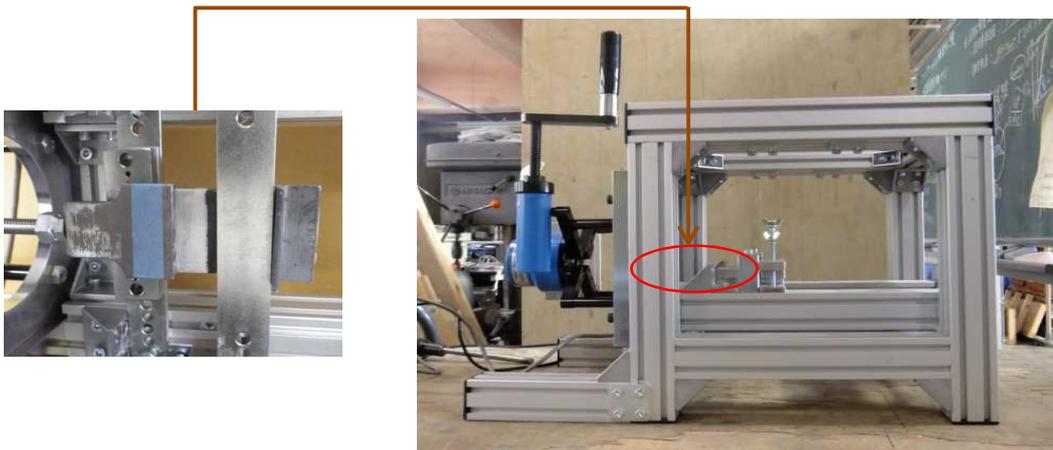
アタッチメントを設置した供試体写真

試験方法

本実験では、仕上げ学会式簡易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。また、耐力が自重に比較し十分に大きくは無いと思われるため、破断面に自重も作用する垂直载荷では無く、供試体を水平に置いた水平载荷を行った。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、引張载荷を行い、最大荷重・変位を記録した。



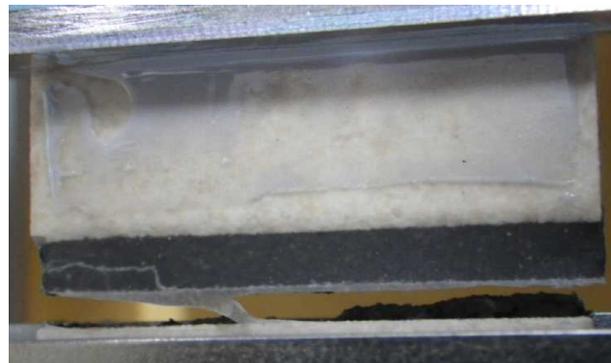
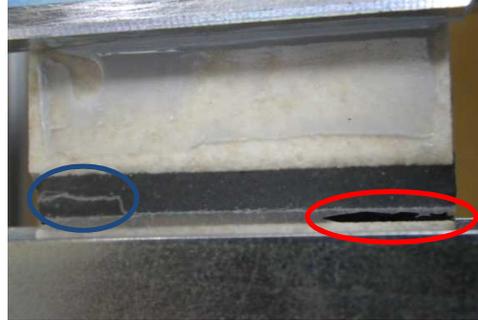
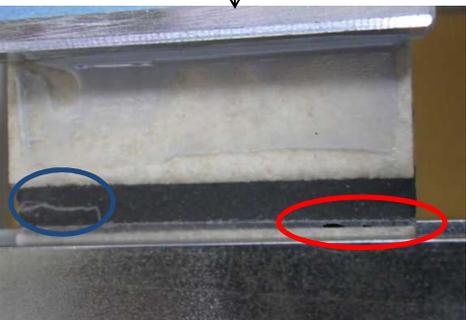
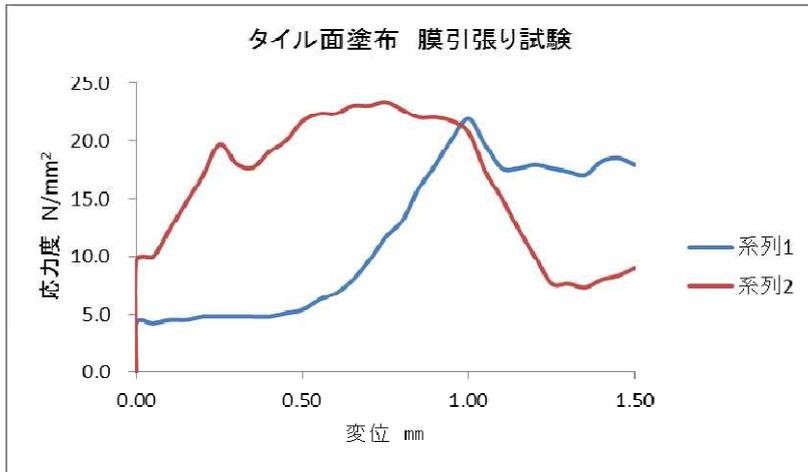
引張試験架台に設置された引張試験器と供試体の立面図



引張試験架台に設置された引張試験器と供試体の写真

③ 試験結果

造膜剤 No2	樹脂断面積引張り強度 (N/mm <sup>2</sup> )			
	1	2	3	平均
45角タイル+I目地	21.9	23.0		22.5



供試体破壊状況 (破壊ステップ)

④ 安全性の検討

膜の引張り強度は下記に示すように負圧時の風圧により決まり、タイル目地に塗布した膜についても必要強度を上回っている。

風荷重の概要

建物高さ H = 20m 建物幅×長さ の想定 ; 15m×5m 地域 ; IIIと想定

採用風圧 外装材用風圧  $cf \cdot q = 1,500 \text{ Pa}$

上記に対し 必要膜強度は、90 N/cm (安全率 1.5込) となる。

自重(参考)

上下方向のピンのピッチを50cmとする

$3.5\text{cm}(\text{タイル厚} + \text{張付けモルタル厚} + \text{下地モルタル}) \times 50\text{cm}(\text{長さ}) \times 2.4(\text{比重}) = 4.2\text{N/cm}$

これに対しタイル+目地に塗布した膜の引張強度は単位 cm あたり

$22.5 \times 10(\text{cmに換算}) \times 0.5(\text{膜の厚さ}500\mu) = 112 \text{ N/cm}$  となっている。

必要膜強度 90 N/cm (安全率 1.5込) < 当工法膜強度112 N/cm
---

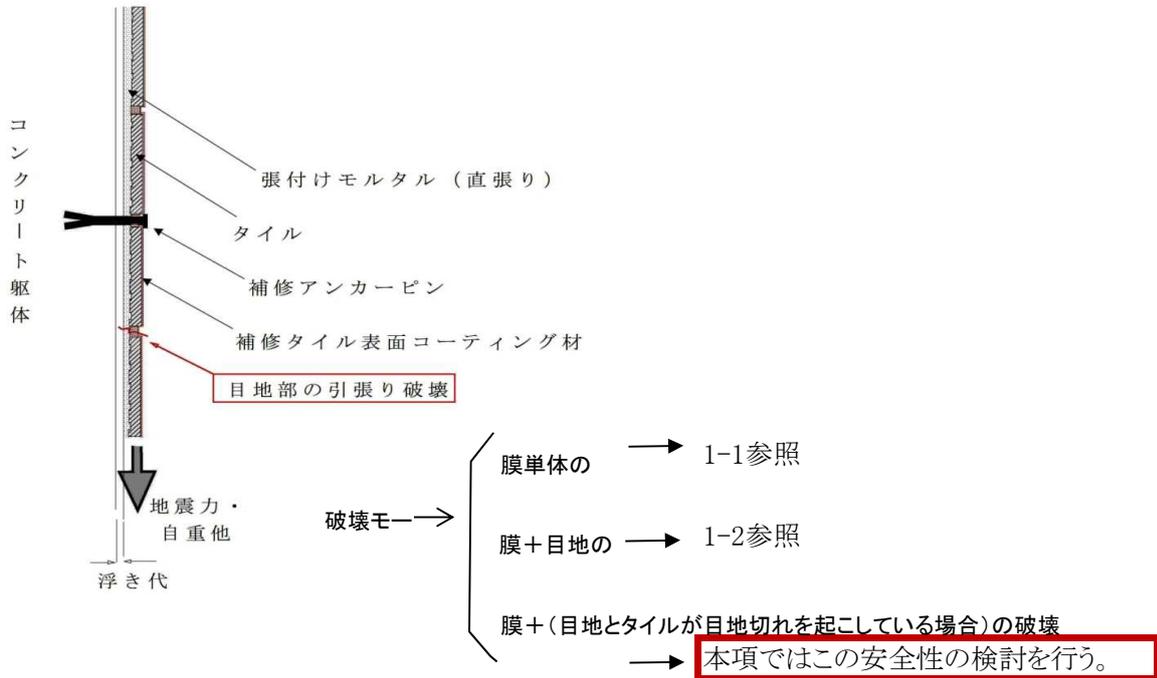
なお、風荷重条件として高さが異なる場合には別途検討し、膜厚の修正が必要となる場合があります。

2. タイル目地切れ部分に対する補修効果確認試験データ

2-1 目地切れを起こしたタイル面とそこに塗布された膜の架橋効果確認試験

① 試験の目的

カバー工法によってタイル浮き部が補修された場合に面内方向に発生する外力によって下図のように目地部に引張り破壊を生じることは無いかを検証する。

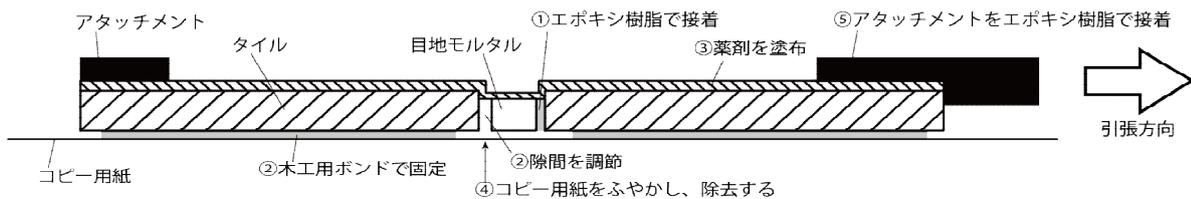


② 試験方法

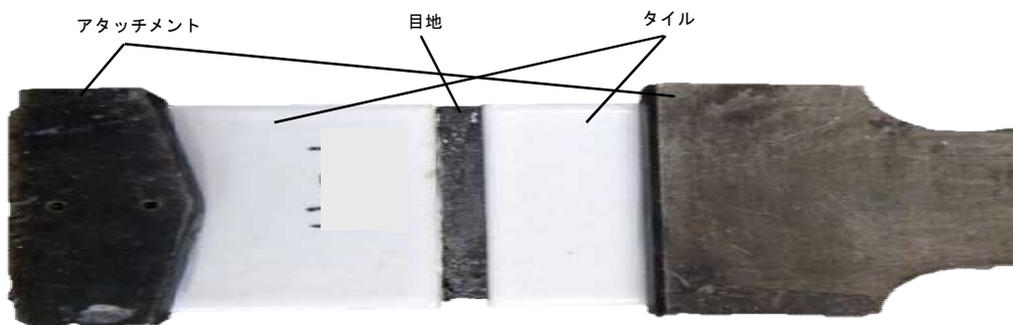
供試体

供試体は、市販の45mm角タイル(厚さ6. mm)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成した。

下図にアタッチメントを設置した供試体の断面図を下写真にアタッチメントを設置した供試体を示す。



アタッチメントを設置した供試体の断面図

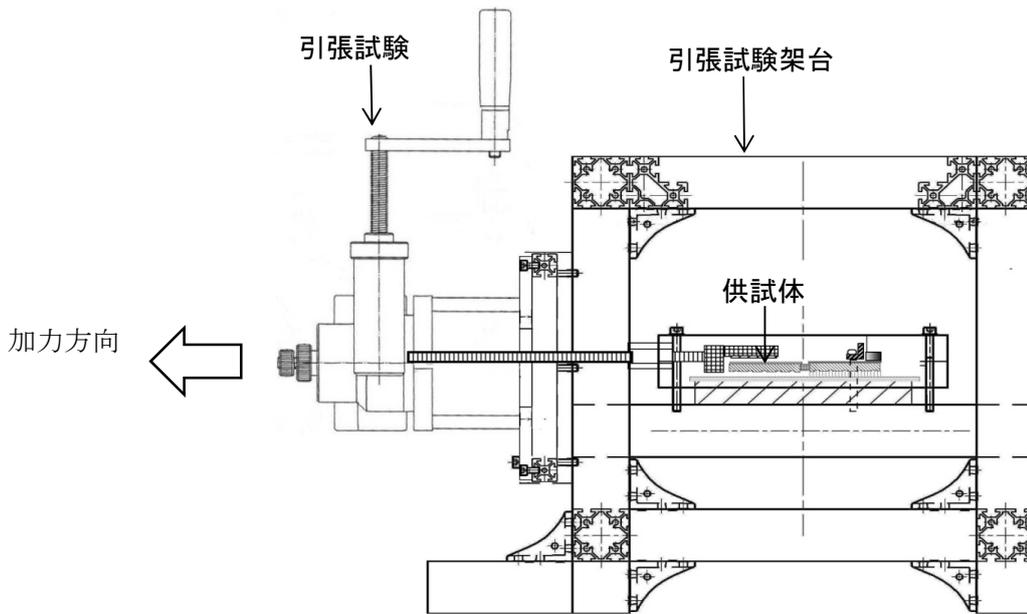


アタッチメントを設置した供試体写真

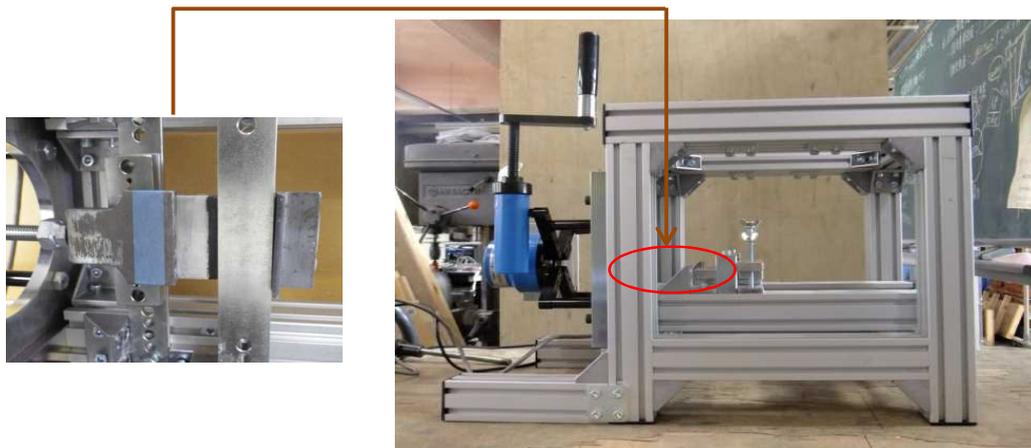
試験方法

本実験では、仕上学会式簡易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。また、耐力が自重に比較し十分に大きくは無いと思われるため、破断面に自重も作用する垂直载荷では無く、供試体を水平に置いた水平载荷を行った。

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、引張载荷を行い、最大荷重・変位を記録した。



引張試験架台に設置された引張試験器と供試体の立面図



引張試験架台に設置された引張試験器と供試体の写真

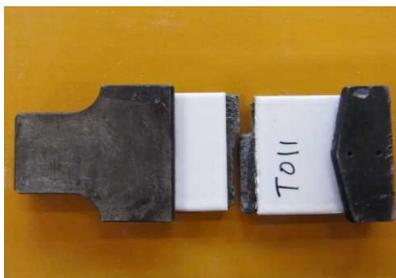
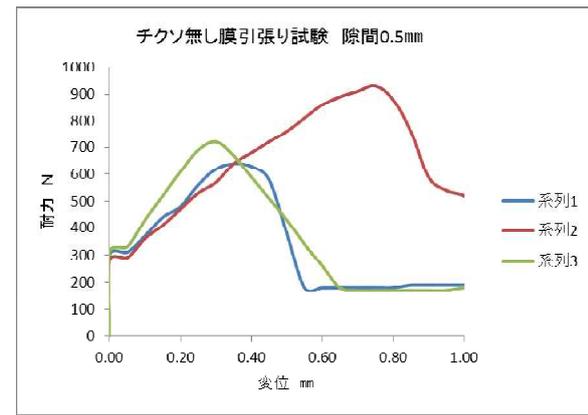
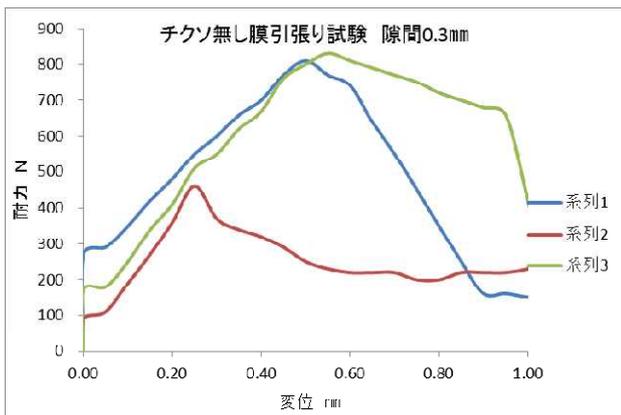
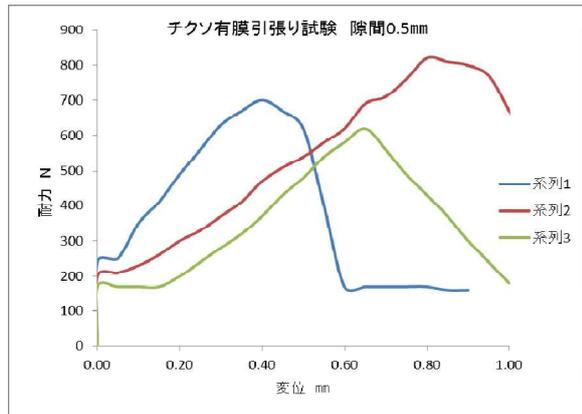
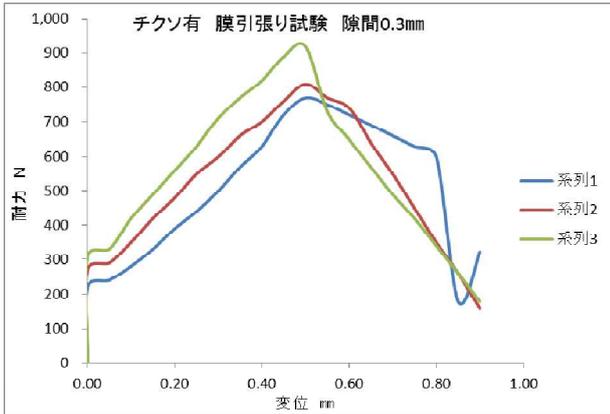
③ 試験結果

造膜剤に粘性を付与した場合

隙間 0.3mm 塗布量 5回塗り	樹脂引張り強度 (N)			
	1	2	3	平均
45角タイル	770.0	810.0	920.0	833.3
隙間0.5mm 塗布量 5回塗り	樹脂引張り強度 (N)			
	1	2	3	平均
45角タイル	700.0	820.0	620.0	713.3

通常の造膜剤

隙間 0.3mm 塗布量 5回塗り	樹脂引張り強度 (N)			
	1	2	3	平均
45角タイル	810.0	460.0	830.0	700.0
隙間0.5mm 塗布量 5回塗り	樹脂引張り強度 (N)			
	1	2	3	平均
45角タイル	640.0	930.0	720.0	763.3



破壊後の供試体

目地～タイルの  
接着破壊は無く



目地内部の凝集  
破壊が起きてい  
る



④ 安全性の検討

膜の引張り強度は下記に示すように負圧時の風圧により決まり、タイル目地に塗布した膜についても必要強度を上回っている。

風荷重

建物高さ H = 20m 建物幅×長さ の想定 ; 15m×5m 地域 ; IIIと想定

採用風圧 外装材用風圧  $cf \cdot q = 1,500 \text{ Pa}$

上記に対し 必要膜強度は、90 N/cm (安全率 1.5込) となる。

自重(参考)

上下方向のピンのピッチを50cmとする

$3.5\text{cm}(\text{タイル厚} + \text{張付けモルタル厚} + \text{下地モルタル}) \times 50\text{cm}(\text{長さ}) \times 2.4(\text{比重}) = 4.2\text{N/cm}$

これに対しタイル+目地に塗布した膜の引張強度は単位 cm あたり

$700\text{N} / 5\text{cm}(\text{タイル幅あたりの強度}) = 140\text{N/cm}$  となっている。<sup>2)</sup>

必要膜強度 90 N/cm (安全率 1.5込) < 当工法膜強度140 N/cm

なお、風荷重条件として高さが異なる場合には別途検討し、膜厚の修正が必要となる場合があります。

参考文献(巻末に添付)

2) 那須光, 畑中重光, 三島直生, 長谷川哲也

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日本コンクリート工学協会「コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, 2014」, pp.〇〇〇～〇〇〇〇, 2014.7

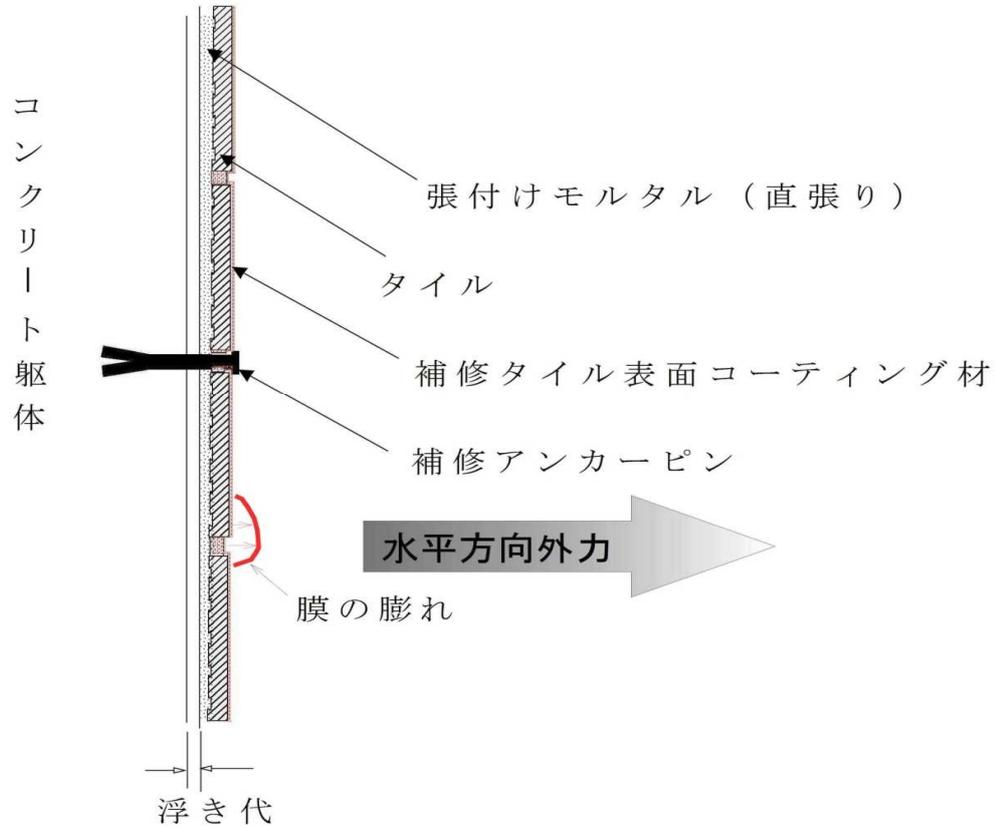
※ただし、この論文では引張応力の断面積を膜+目地モルタルとしている。

3. 膜の面外引張り試験データ

3-1 目地モルタル～膜の付着試験（膜面外引張り試験）

① 試験の目的

カバー工法によってタイル浮き部が補修された場合に面外方向に発生する外力によって下図のように目地部からの膜の剥がれ、膨れ、引張り破壊が生じることは無いかを検証する。



② 試験方法

目地モルタルにて50×50×5の板を作成し、十分養生を行った後、プライマーを150g/m<sup>2</sup>膜剤を720g/m<sup>2</sup>塗布する。

目地モルタル版体を150×150×5のアルミ板にエポキシ樹脂で貼り付ける。

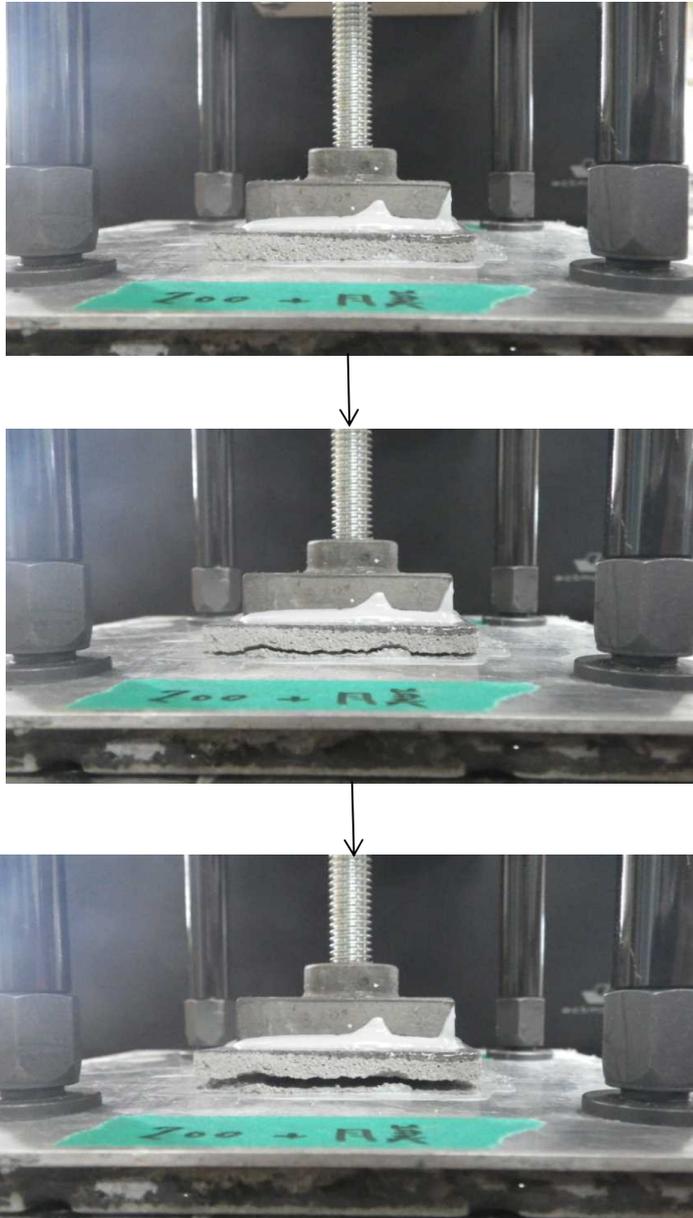
本実験では、仕上学会式簡易油圧式引張試験機を用いて、供試体の面内方向に対する最大引張荷重を測定した。



③ 試験結果

プライマー 塗布量	樹脂付着強度 (N/mm <sup>2</sup> )			
	1	2	3	平均
なし	0.21	0.21	0.40	0.27
100g/m <sup>2</sup>	0.19	0.55	0.50	0.41

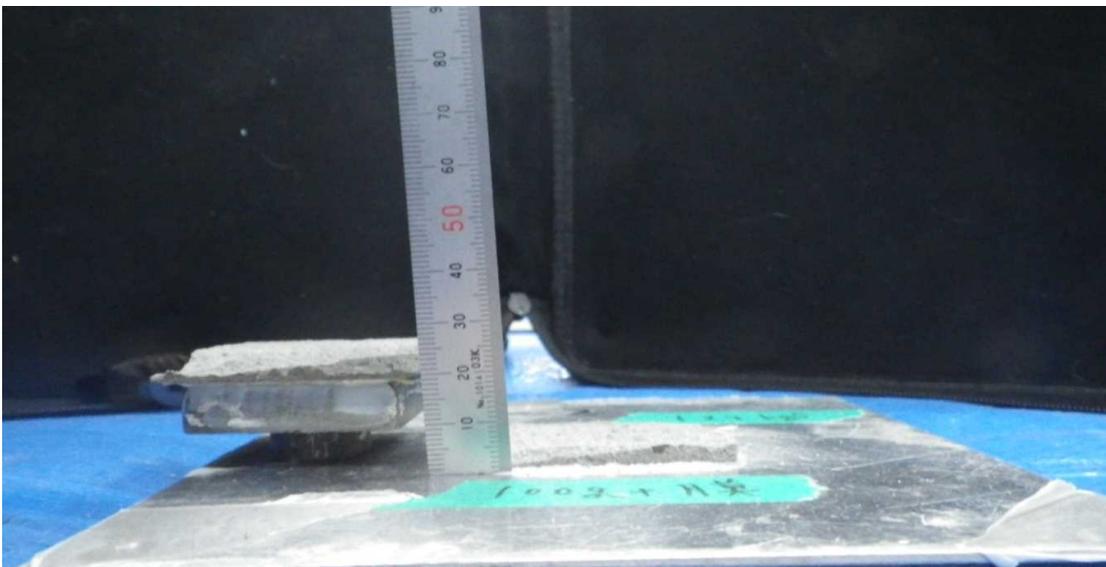
破壊はすべて目地モルタルの凝集破壊  
膜の界面・凝集破壊はない



供試体破壊ステップ写真



試験後供試体状況平面写真（モルタル内凝集破断）



試験後供試体状況平面写真（モルタル内凝集破断）

④ 安全性の検討

目地に対する膜の付着強度については、想定する風圧力による引張り力を十分上回っており問題ない。

$$1,500\text{Pa} = 1,500 / (1,000 \times 1,000) = 0.0015 \text{ N/mm}^2$$

上記に対し 必要膜強度は、 $0.00225 \text{ N/mm}^2$ （安全率 1.5込）となる。

これに対し目地に塗布した膜の面外引張強度は $0.41 \text{ N/mm}^2$

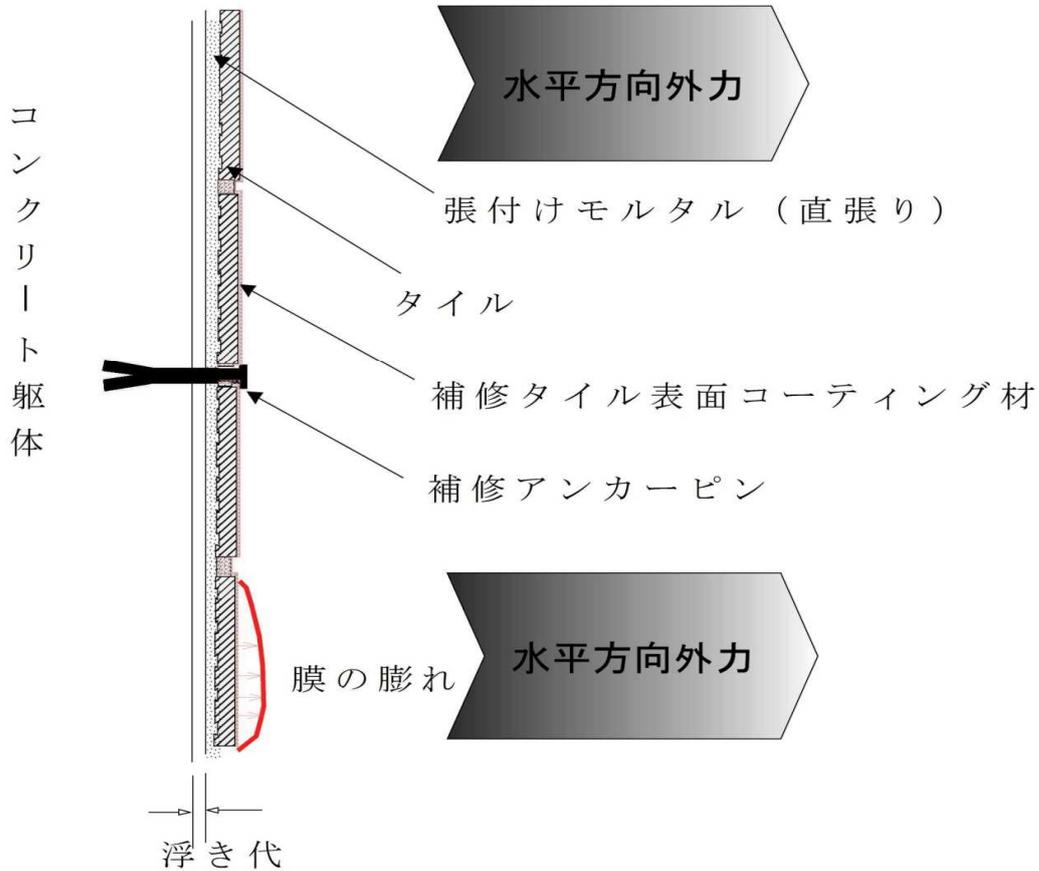
必要膜強度 $0.00225 \text{ N/mm}^2$ （安全率 1.5込） $<$ 当工法膜強度 $0.41 \text{ N/mm}^2$
--

※さらに、試験での破壊位置は目地モルタルの凝集破壊であり、目地と膜の接着破壊はこれより大きな値となしたがって問題は無いものと思われる。

3-2 タイル～膜の付着試験（膜の面外引張り試験）

① 試験の目的

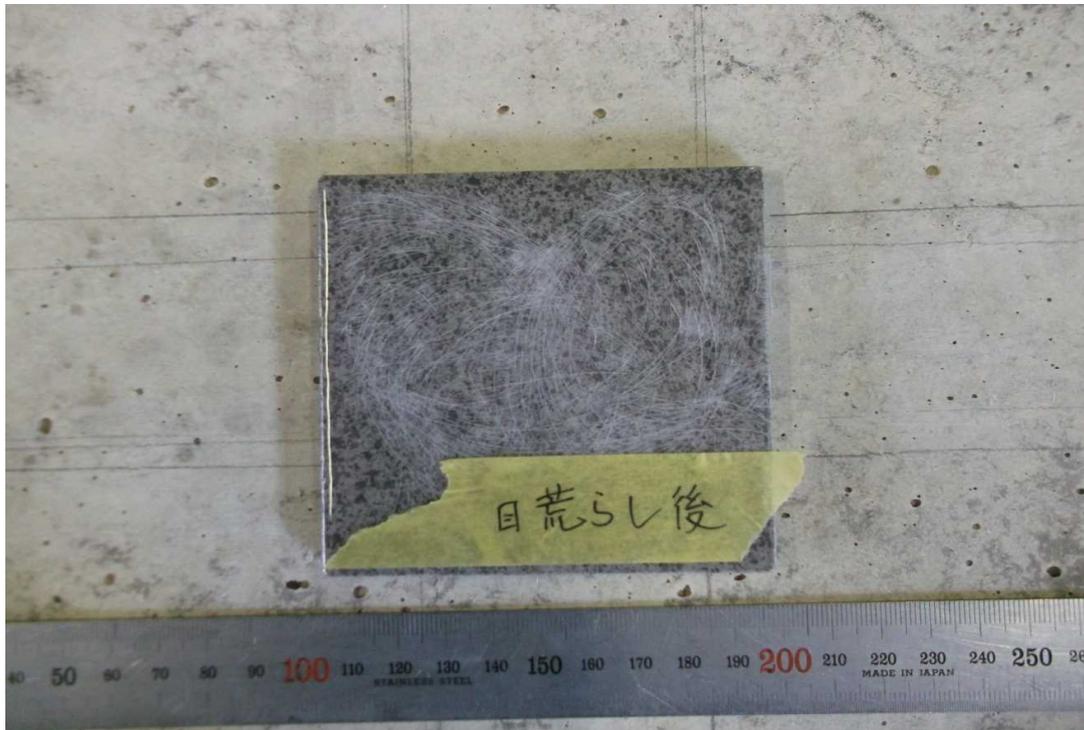
カバー工法によってタイル浮き部が補修された場合に面外方向に発生する外力によって下図のようにタイル面からの膜の剥がれ、膨れ、引張り破壊などが生じることは無いかを検証する。



② 試験方法

供試体

100mm角の施釉タイルの表面にプライマー150g/m<sup>2</sup>、膜剤720g/m<sup>2</sup>を塗布する。  
膜剤を十分養生後、アタッチメントの付着を良くするため造膜の上を目荒しする。  
同時に、タイル裏面をコンクリートにエポキシ樹脂で接着させる。



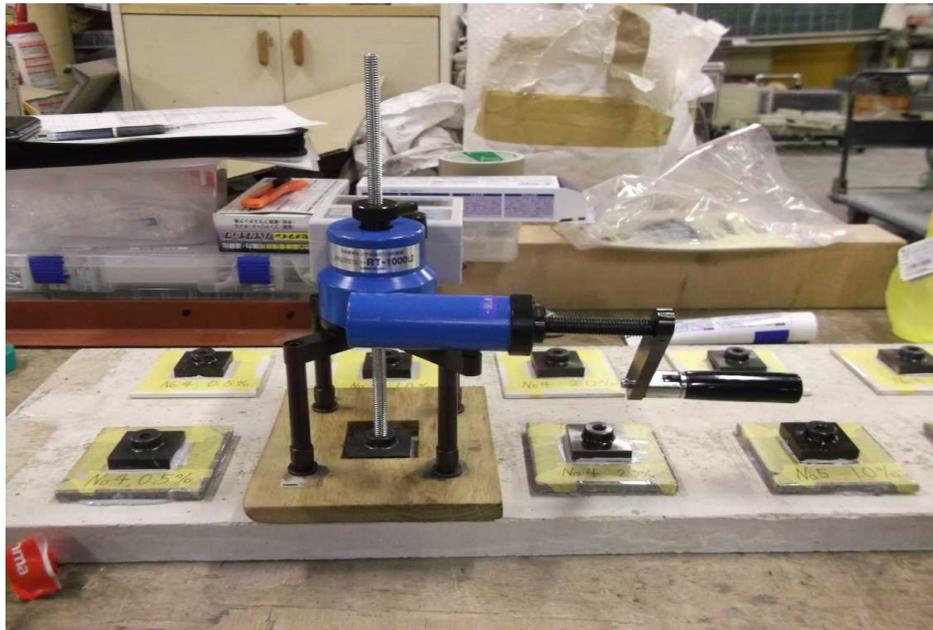
アタッチメントを取り付ける前に塗膜上を目荒しした状況



アタッチメント取り付け状況

試験方法

本実験では、仕上学会式簡易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。



③ 試験結果

造膜剤	タイル	含浸強化剤	付着強度 (N/mm <sup>2</sup> )	備考
No.4 70% 720g/m <sup>2</sup>	N床タイル平 MAX-100/3	No.5 45% 150g/m <sup>2</sup>	-	-
			3.5	膜の凝集破壊
			2.6	タイルのパンチング破壊
	N内装タイル 98角 SPKC-100/L	No.5 45% 150g/m <sup>2</sup>	-	-
			2.1	タイルのパンチング破壊
			2.8	タイルのパンチング破壊



## ④ 安全性の検討

タイルに対する膜の付着強度については、想定する風圧力による引張り力を十分上回っており問題ない。

$$1,500\text{Pa} = 1,500 / (1,000 \times 1,000) = 0.0015 \text{ N/mm}^2$$

上記に対し 必要膜強度は、 $0.00225 \text{ N/mm}^2$  (安全率 1.5込) となる。

これに対しタイルに塗布した膜の面外引張強度は $2.1 \text{ N/mm}^2$

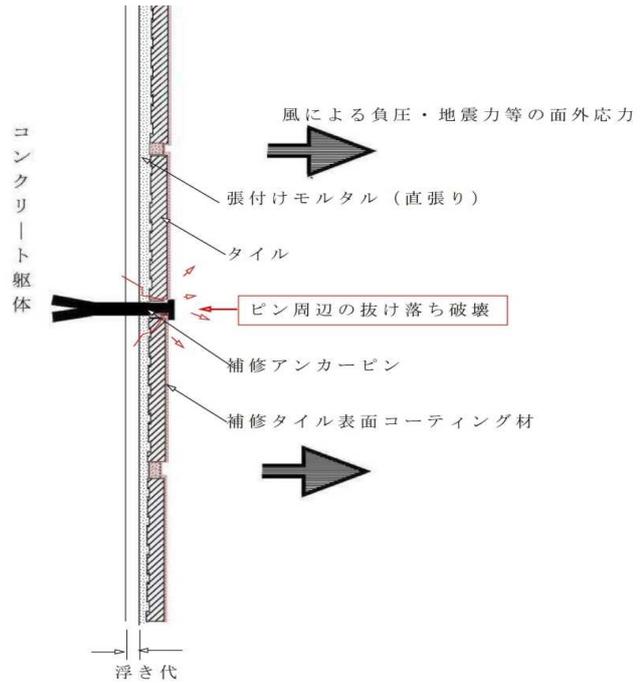
必要膜強度 $0.00225 \text{ N/mm}^2$ (安全率 1.5込) < 当工法膜強度 $2.1 \text{ N/mm}^2$
---

※さらに、試験での破壊位置はタイルのパンチング破壊であり、タイルと膜の接着破壊はこれより大きな値となしたがって問題は無いものと思われる。

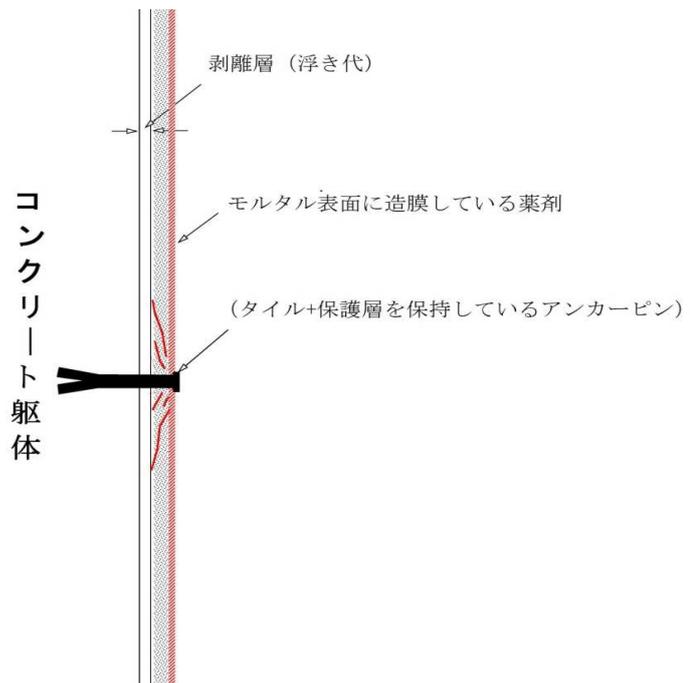
3-3 版体のアンカーピン周囲を残しての抜け落ち試験

① 試験の目的

浮いているタイル補修層は水平外力によって右図のようにピン周囲で破壊しピンのみが残ることが考えられる、しかし、ピンのワッシャーがタイルにかかっておればピン周辺を残して版体の抜け落ちとはならない。したがって本試験では安全側の検討として、このタイル版体を構成している材料の中で、いちばん耐力が無いと思われる目地モルタルと膜剤のみで供試体を作成し、その供試体がピンを残して抜け落ちる状況の安全性を検討した。



水平外力によって通常発生する破壊モード図



本試験で想定した条件で水平外力によって破壊モード図

② 試験方法

○ 供試体及びアタッチメントの取り付け

供試体は以下のように作成した。

目地モルタル板 (96×96×5)を作成する。

目地モルタルはINAX目地を使用

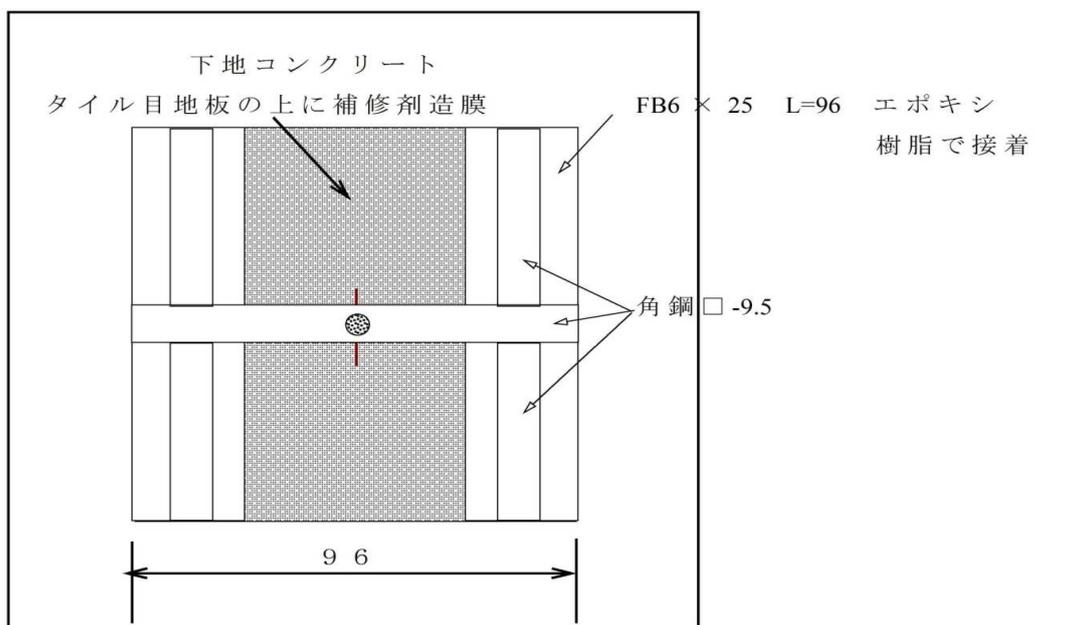
目地モルタルを気中約2ヶ月養生する。

目地モルタル板を約2ヶ月養生する。

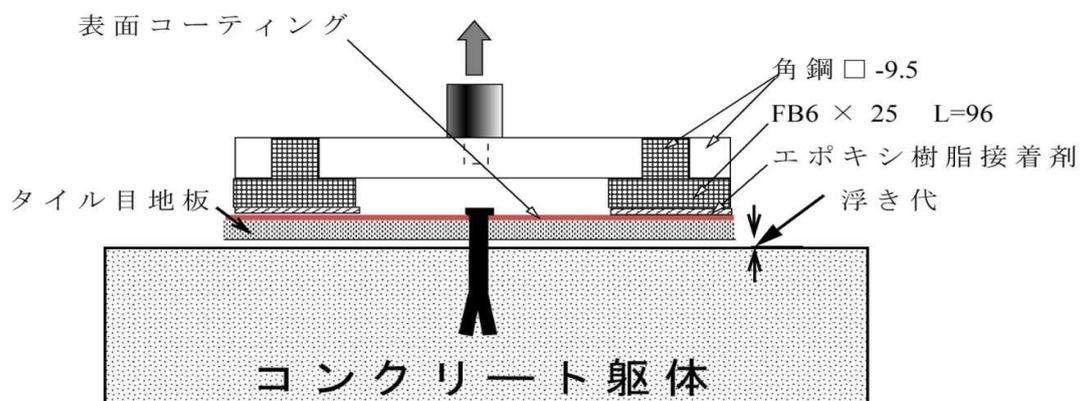
プライマーを100g/m<sup>2</sup>、造膜剤を300g/m<sup>2</sup>塗布する。

コンクリートの上にアンカーで塗膜を塗った目地モルタル板を止めつける。

下図のように引張り試験用アタッチメントを取り付ける。



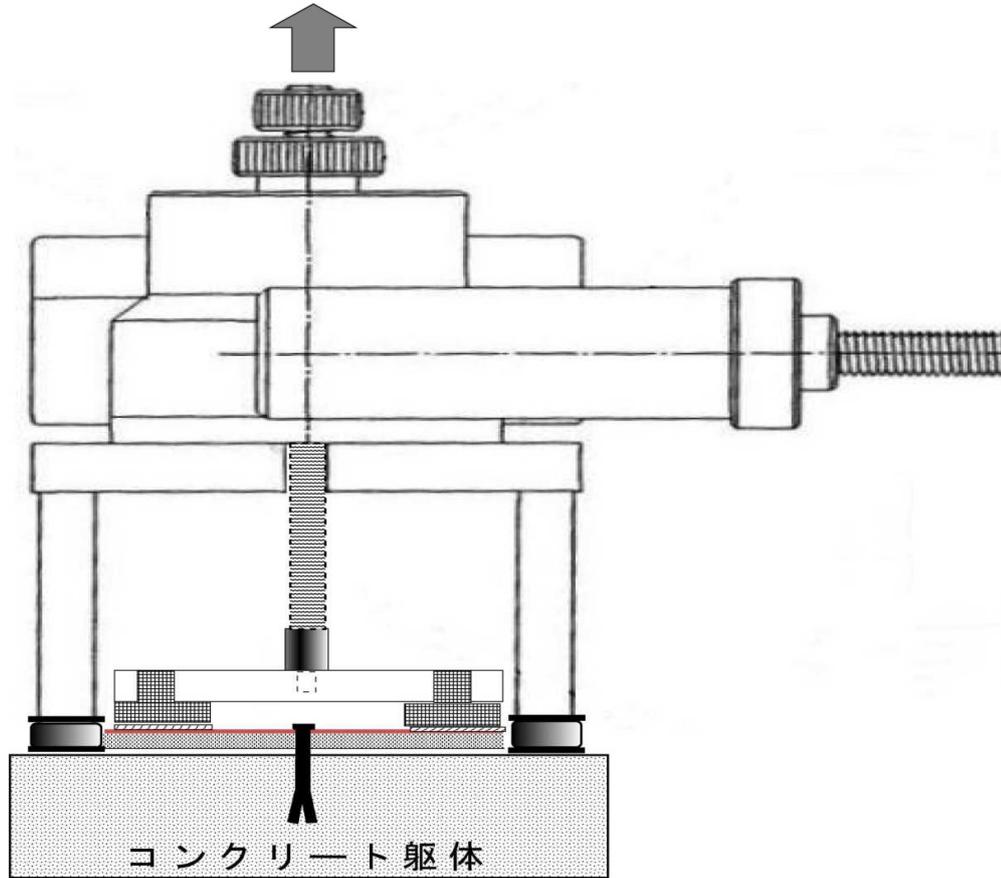
供試体とアタッチメント平面図



供試体とアタッチメント断面図

試験方法

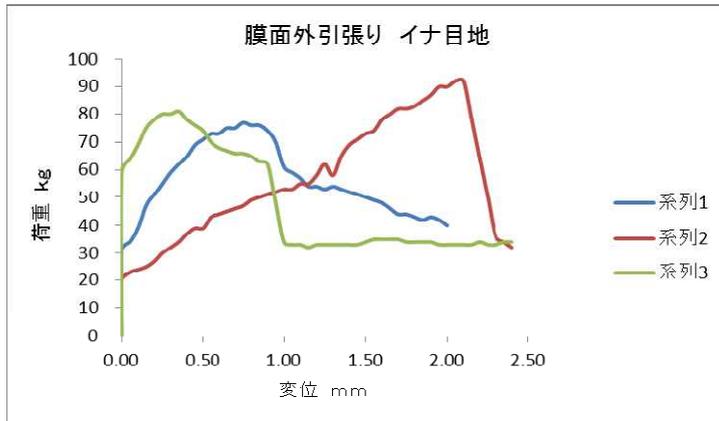
本実験では、下図のように油圧式引張試験機を用いて、供試体の面内方向に対する最大引張荷重を測定試験機を用いて、供試体の面内方向に対する最大引張荷重を測定した。同実験では、タイルの層が外壁から剥離して、水平外力が引張力として目地にかかっている状態を想定している。



引張り試験断面図

③ 試験結果

造膜剤 No2	樹脂周辺面外引張り荷重 (kg)			
	1	2	3	平均
I 目地	77.0	92.0	81.0	83.3



荷重・変位図



目地モルタル版破壊ステップ写真

④ 安全性の検討

アンカーピン周りの引張り強度は負圧時の風圧によって決まり、アンカー周辺の抜け落ち強度は下記に示すように、必要強度を上回っている。

風荷重の概要

建物高さ  $H = 20\text{m}$  建物幅×長さ の想定 ;  $15\text{m} \times 5\text{m}$  地域 ; IIIと想定

採用風圧 外装材用風圧  $cf \cdot q = 1,500 \text{ Pa}$  程度

アンカー打設間隔 縦横@500 平方メートルあたり4本と仮定

上記に対しアンカー必要引抜き強度は、 $570 \text{ N/本}$  (安全率 1.5込) となる。

これに対しアンカーピン周りの抜け落ち強度は

$83.3 \times 9.8 (\text{Nに換算}) = 810 \text{ N/本}$  となっており、必要強度を満たしている。

必要版体強度  $570 \text{ N/本}$  (安全率 1.5込) < 当工法版体強度  $810 \text{ N/本}$

なお、風荷重条件として高さが異なる場合には別途検討し、アンカーピンの打設本数の修正が必要となる場合があります。

4. アンカーピンの引き抜き試験

4-1 コンクリートに打設したアンカーピンの引き抜き試験

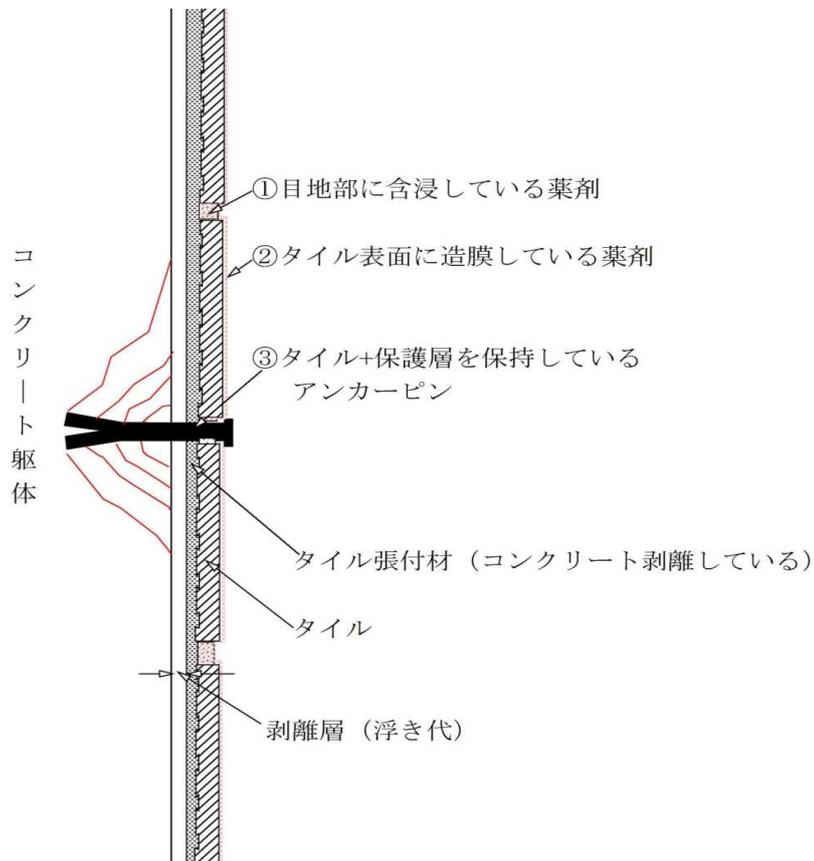
アンカーピンの強度の確認試験

カタログ記載の安全荷重の確認(最大耐力の確認)

アンカーピン 日本ヒルティ「HPS-1R」径5mm 穿孔深さ 30 mm

① 試験の目的

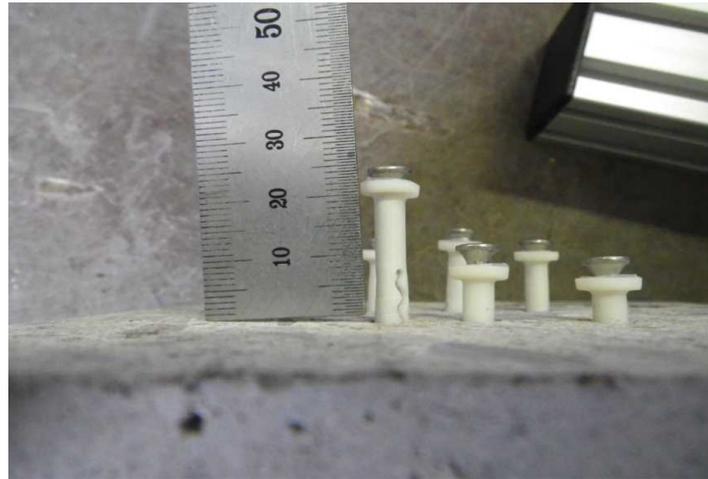
カバー工法によってタイル浮き部が補修された場合に面外方向に発生する外力によって下図のようにアンカーピンがコンクリート躯体から抜け落ちる可能性について検討する。



② 試験方法

使用するアンカーピンは日本ヒルティ株式会社の製品「HPS-1R」(穿孔径5mm、穿孔深さ30mm)とした。

アンカーピンをコンクリートに20mmほど打ち込み、コンクリート表面から出張った部分にアタッチメントをひっかけ(写真1)、仕上学会式簡易油圧引張試験器で引張载荷した。



アンカーピンをコンクリートに打ち込んだ状況



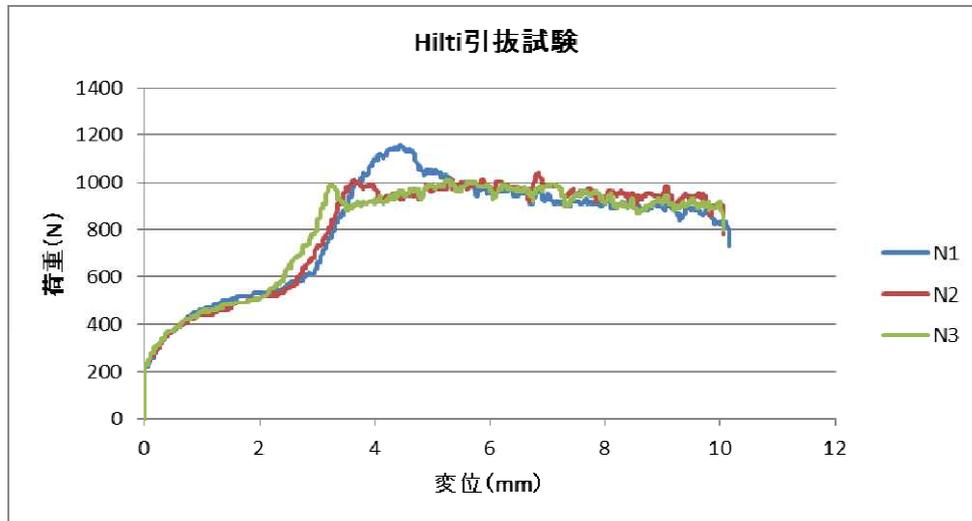
アンカーピンの頭部を治具でホールドした状況



試験器で引張試験を行っている状況

③ 試験結果

	最大引き抜き力 (N)			
	1	2	3	平均
アンカーピン	1,160.0	1,050.0	1,010.0	1,073.3



④ 安全性の検討

アンカーピンの引張り強度は負圧時の風圧によって決まり、アンカーピンの引抜き強度は下記に示すように、必要強度を上回っている。

風荷重の概要

建物高さ H = 20m 建物幅×長さ の想定 ; 15m×5m 地域 ; IIIと想定  
 採用風圧 外装材用風圧  $cf \cdot q = 1,500 \text{ Pa}$  程度  
 アンカー打設間隔 縦横@500 平方メートルあたり4本と仮定

上記に対しアンカー必要引抜き強度は、570 N/本 (安全率 1.5込) となる。

これに対しアンカーピンの引抜き強度は

1,073 N /本となっており、必要強度を満たしている。

必要版体強度 570 N/本 (安全率 1.5込) < 当工法版体強度1073 N/本

なお、風荷重条件として高さが異なる場合には別途検討し、アンカーピンの打設本数の修正が必要となる場合があります。

5. 目地モルタルへの含浸深さ試験

含浸剤の無機多孔質体への含浸深さは論文としていくつか発表されている。  
以下に論文で述べられている含浸深さとその論文名を示す。

○作成後約1ヶ月の目地モルタルへの含浸深さ・0.5mm～0.7mm

目地モルタル内には粉体の吸水防止剤が入っており、施工直後ではこの撥水効果が大きく含浸深さは少ない。(吸水防止効果が無い既存壁面では深く入る可能性が大きい)

引用文献(巻末に添付)

- 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含浸深さに関する基礎研究  
日本建築学会大会学術講演梗概集pp1149～1150, 2012.9

○アユタヤ遺跡の仏塔煉瓦への含浸深さ→10mm以上

引用文献(巻末に添付)

- 4) 畑中重光, 長谷川哲也  
文化財(煉瓦建造物)の保存技術への挑戦  
コンクリート工学Vol.51, No.1, pp132～136, 2013.1

○12.8Mpaのセメントペーストへの含浸深さ→塗布回数により2mm～10mm以上

引用文献(巻末に添付)

- 5) 長谷川哲也, 畑中重光, 三島直生, 伊藤敬人, 谷川恭雄  
小径ドリル型削孔試験機を利用した高含浸強化剤の性能評価  
シンポジウムコンクリート構造物の非破壊検査論文集(Vol.3), pp.357～362, 2009.8

○12.8Mpaのセメントペーストを400℃加熱したものへの含浸深さ  
→樹脂配合と塗布回数により2mm～10mm以上

引用文献(巻末に添付)

- 6) 左口泰平, 長谷川哲也, 三島直生, 畑中重光  
高含浸性強化剤による改質効果の評価手法に関する基礎的研究  
日本建築学会大会学術講演梗概集pp.265～266, 2011.8

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

正会員 ○那須光\*1 同 長谷川哲也\*2  
同 畑中重光\*3 同 三島直生\*4

外装タイル 剥落防止 含浸造膜剤  
ウレタン樹脂 目地モルタル 引張強度

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、経年劣化等により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。さらに、近年の法改正により外装タイル等の劣化・損傷の調査が厳格化されたことで、外装タイルの補修・改修に関する需要が増加すると予想される。この結果、安価かつ施工が容易な部分補修が必要になると考えられる。

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、これを用いた外装タイル剥落防止工法の開発研究に取り組んでいる。本報では、目地部における含浸造膜剤の補強効果を評価するため、目地モルタルを用いて板状の供試体を作製し、これに開発した含浸造膜剤を塗布した場合の面内引張強度の改善効果の把握を試みた。

2. 実験概要

2.1 使用材料および実験の要因と水準

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、造膜剤と含浸剤と呼ぶ。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、含浸剤は含浸効果が高く、造膜剤は強度が高い。また、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、低い程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。本実験では、1 種の含浸剤と、構成比の異なる 2 種の造膜剤を比較した。造膜剤についてはそれぞれ造膜剤 1 と造膜剤 2 とする。各薬剤の配合を図-1 に、樹脂のみの引張強度を図-2 に示す。

被塗布材料には、市販されている 2 種の既調合目地モルタルを使用した。それぞれ目地 1 と目地 2 と呼ぶ。目地モルタルの物性を表-2 に示す。また両目地に対し、含浸剤を樹脂固形分率 45% で 500g/m<sup>2</sup> 塗布した時の含浸深さを削孔試験によって評価したものを図-3 に示す。

表-3 に本実験の要因と水準を示す。薬剤の塗布方法は、無塗布、含浸剤のみ塗布、含浸剤と造膜剤 1 を塗布、含浸剤と造膜剤 2 を塗布の 4 水準とした。目地モルタルは目地 1 と目地 2 の 2 水準とした。

2.2 供試体の作製

目地モルタル板の寸法は 100mm×50mm、厚さ 5mm とした。薬剤の塗布は、モルタル板の打設面についてのみ行い、含浸剤は樹脂固形分率 50% で 120g/m<sup>2</sup>、造膜剤は、どちらも樹脂固形分率 62% で 720g/m<sup>2</sup> を塗布した。塗布は刷毛により行い、1 回で 120g/m<sup>2</sup> を塗布した。含浸剤は塗布を 1 回行い、造膜剤は塗布 2 回を 1 セットとし、3 セット塗布した。造膜剤塗布は含浸剤塗布の 30 分後に開始し、また、造膜剤塗布のセット間には 30 分間のインターバルを設けた。塗布量から予想される膜厚は 0.45mm である。

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。

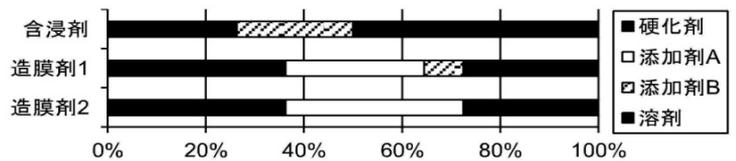


図-1 含浸造膜剤の配合

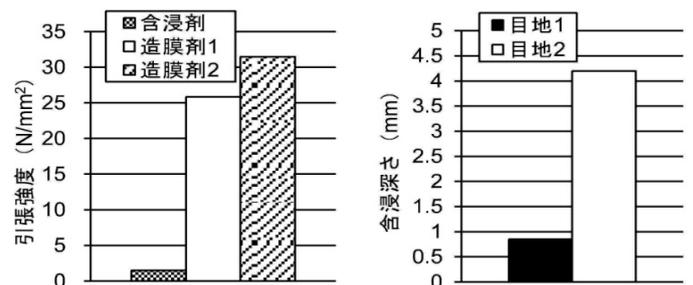


図-2 含浸造膜剤の引張強度

図-3 含浸剤の含浸深さ (45%、500g/m<sup>2</sup>)

表-2 目地モルタルの物性

	圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ強さ (N/mm <sup>2</sup> )	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)
目地 1	33.4	6.1	1.9	2.5
目地 2	19.5	4.8	1.6	5.0

表-3 要因と水準

要因	水準
薬剤の塗布方法	無塗布、含浸剤のみ、 含浸剤と造膜剤1、 含浸剤と造膜剤2
目地モルタルの種類	目地1、目地2

### 2.3 載荷方法

試験には建研式油圧引張試験器を使用し、引張強度を測定した。図-4 に引張試験方法の概要を、写真-1 に試験後の供試体を示す。供試体の膜が形成されている面にエポキシ樹脂を用いて、引張载荷を行うためのアタッチメントと供試体固定のための治具を取り付け、水平方向に引張力を与えた。

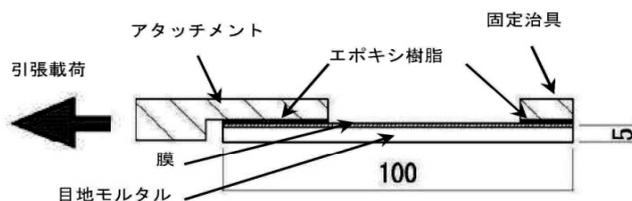


図-4 引張試験方法概要

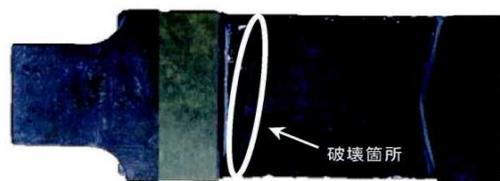


写真-1 引張試験供試体

### 3. 実験結果と考察

図-5 に引張強度を、図-6 に破壊断面の膜厚を示す。

目地1では、無塗布の時、引張強度が  $0.89 \text{ N/mm}^2$  であった。含浸剤のみを塗布した時、無塗布の時と比較して引張強度が 73 % 増加した。造膜剤を塗布した場合には、さらに、強度の増加が見られたが、薬剤自体の強度が高い造膜剤2を塗布した時よりも、薬剤自体の強度が低い造膜剤1を塗布した時の方が供試体の強度が高くなった。

目地2では、無塗布の時、引張強度が  $1.32 \text{ N/mm}^2$  であった。含浸剤のみを塗布した時、無塗布の時と比較して引張強度が 28 % 増加した。造膜剤を塗布した場合には、さらに、強度の増加が見られたが、造膜剤1と造膜剤2で強度の違いはわずかでであった。造膜剤を塗布した時の引張強度はどれも  $2.0 \text{ N/mm}^2$  程度であった。

### 4. まとめ

本報では、目地モルタルに対して含浸造膜剤を塗布した時の引張強度について評価を行った。以下に得られた知見等を示す。

- 1) 断面が  $50\text{mm} \times 5\text{mm}$  の目地モルタル板では、今回使用した含浸剤により、引張強度が  $0.89 \text{ N/mm}^2$  の目地1では 73 %、引張強度が  $1.32 \text{ N/mm}^2$  の目地2では 28 %、引張強度が増加した。
- 2) 含浸造膜剤により目地1、目地2の引張強度が  $2.0 \text{ N/mm}^2$  程度まで増加した。
- 3) 今回使用した造膜剤1と造膜剤2では、塗布した目地モルタル板の引張強度に違いは見られない。

今後は、引き続き、目地と膜との接着強度の検証等を行う予定である。

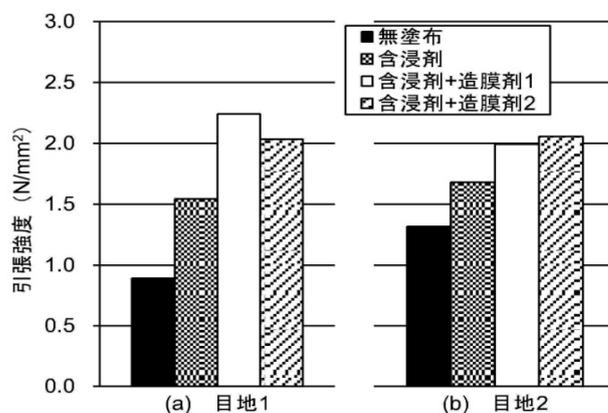


図-5 引張強度 (モルタル厚さ 5mm)

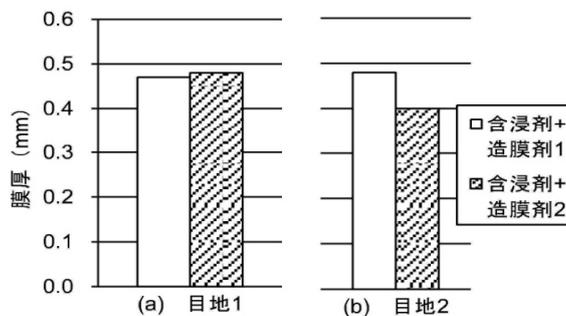


図-6 破壊断面の膜厚

#### 【謝辞】

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: 含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 2012, pp.1149-1150, 2012.07

\*1 三重大学大学院工学研究科・大学院生  
 \*2 日本診断設計株式会社・博士(工学)  
 \*3 三重大学大学院工学研究科・教授・工博  
 \*4 三重大学大学院工学研究科・准教授・博士(工学)

\*1 Graduate Student, Graduate School of Eng., Mie Univ.  
 \*2 Japan Architectural Examination Design Office CO., Dr. Eng.  
 \*3 Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.  
 \*4 Assoc. Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.

# 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でき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<sup>1)</sup>、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

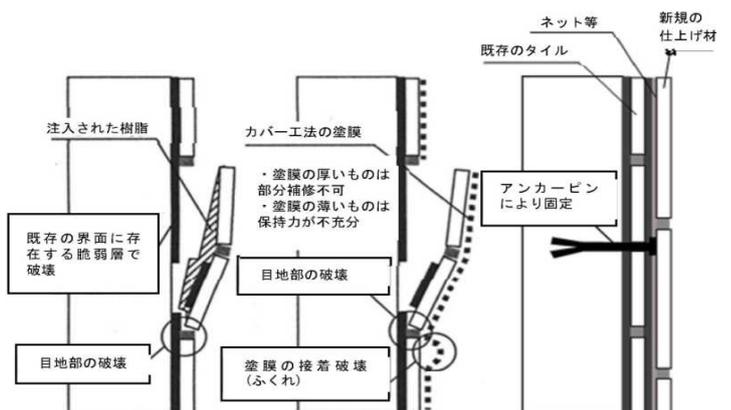
### 2.1 既存の外装タイル剥落防止工法

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。

## 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<sup>2)</sup>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/mm<sup>2</sup>、チクソトロピー性を付与したものが 22 N/mm<sup>2</sup> 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。

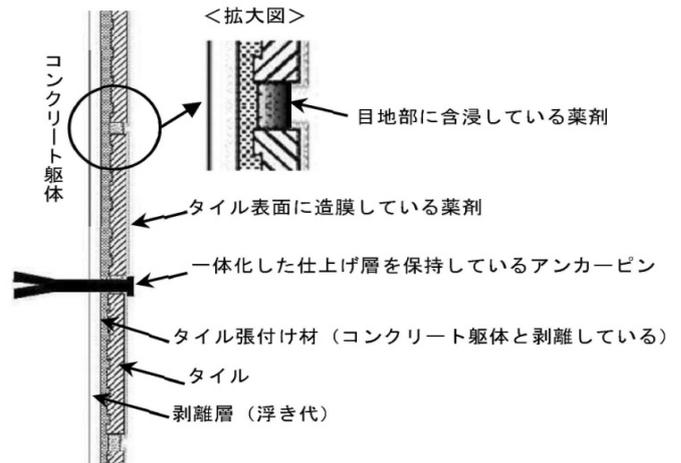


図-2 開発中の剥落防止工法の概要

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。

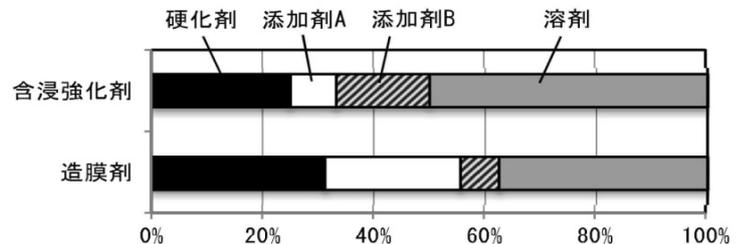


図-3 含浸造膜剤の配合 (wt. %)

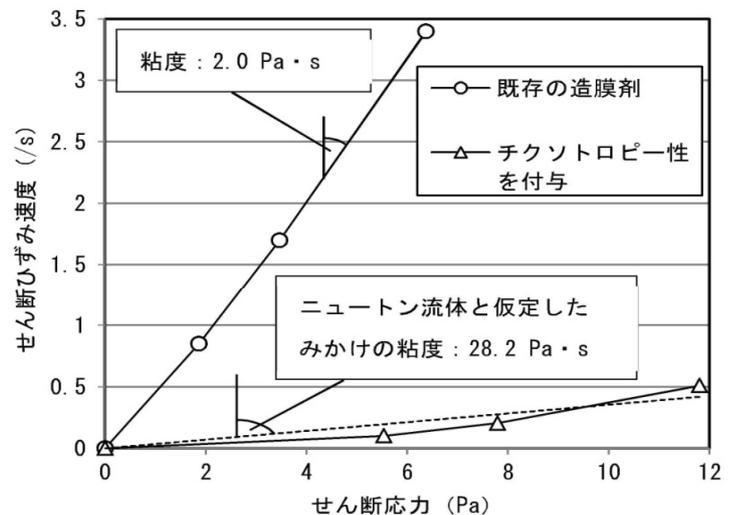


図-4 造膜剤のコンシステンシー曲線

### 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のスケールルーペを用い、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、断面を顕微鏡によって観察し、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

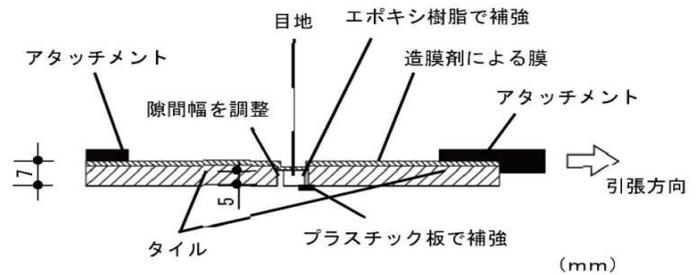


図-5 アタッチメントを設置した供試体の断面図

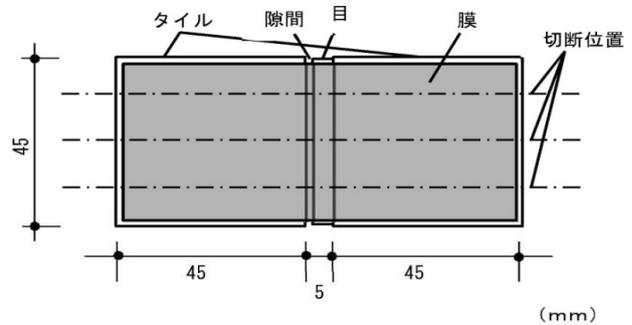


図-6 供試体平面

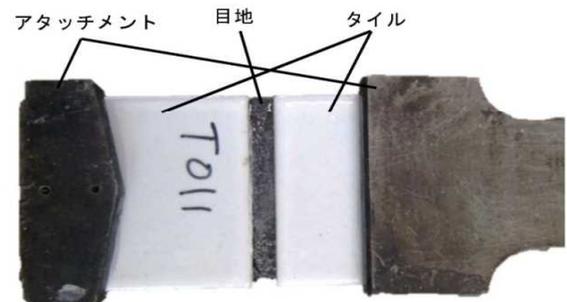


写真-1 供試体の例

#### 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増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。

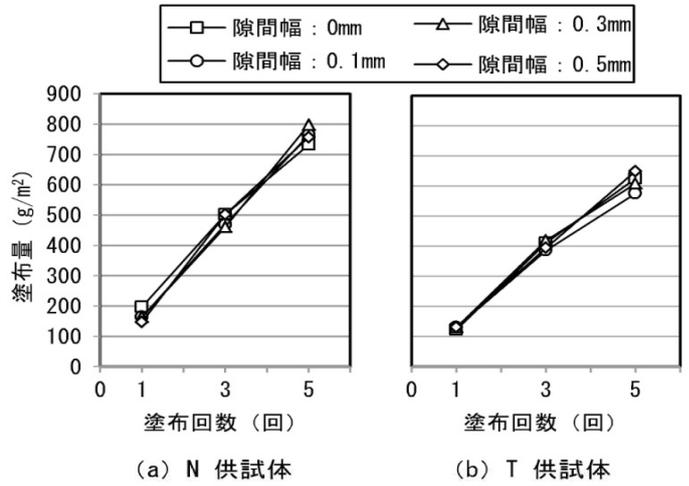
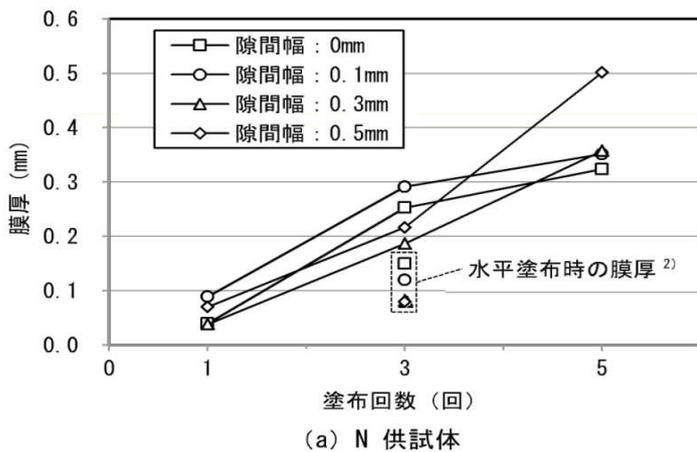
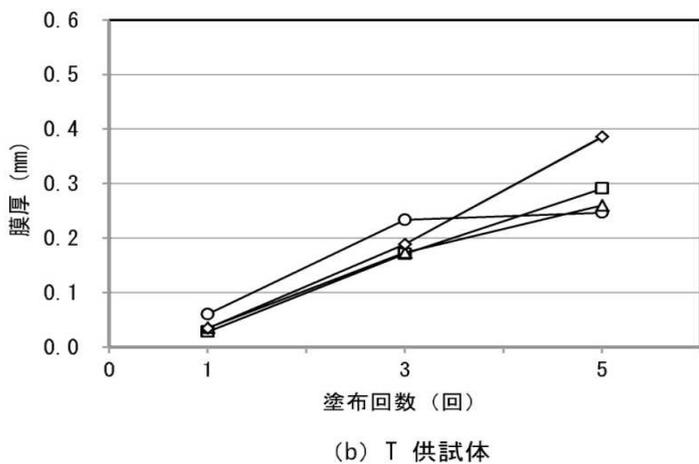


図-7 造膜剤の塗布回数と塗布量の平均との関係



(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

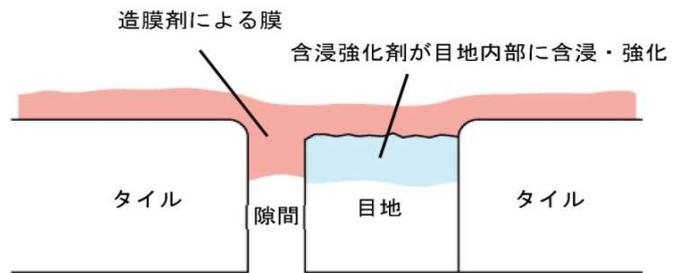
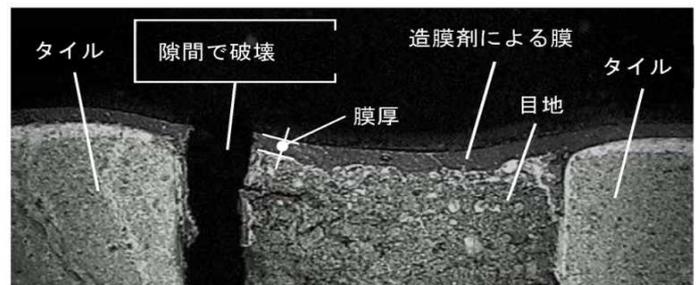
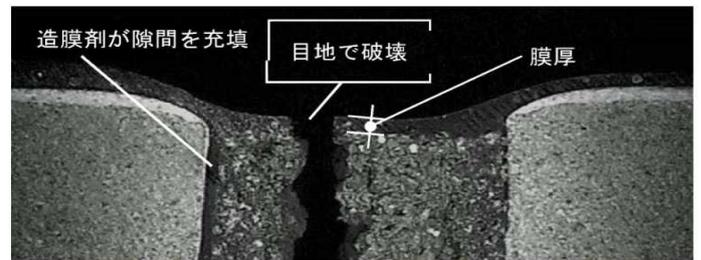


図-9 供試体断面イメージ (目地周辺拡大)



(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<sup>2)</sup>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 に顕微鏡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<sup>3)</sup>を加えた。

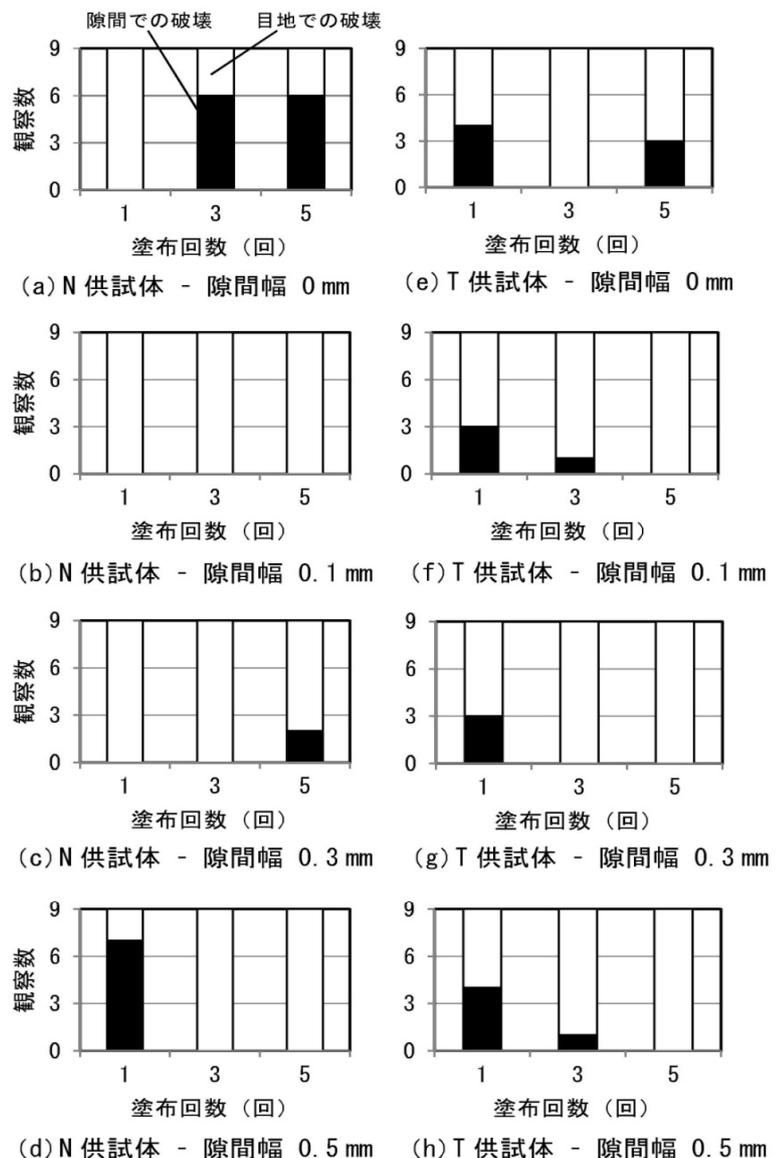


図-10 造膜剤の塗布回数と破壊位置の関係

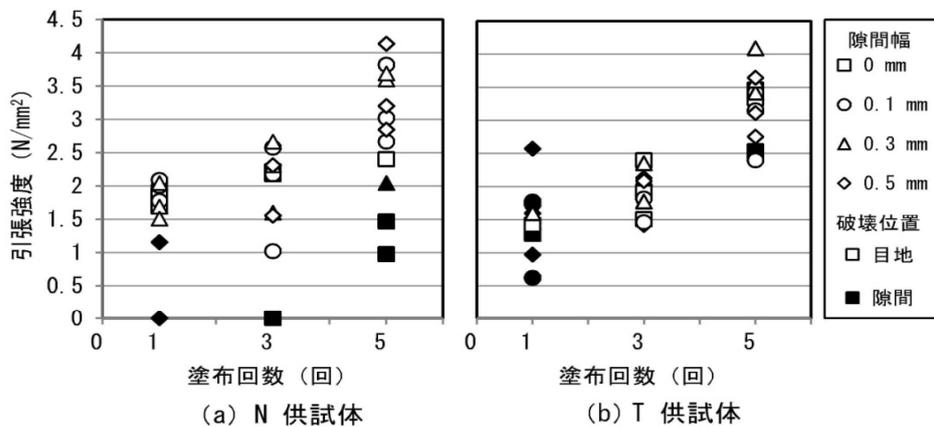


図-11 造膜剤の塗布回数と引張強度の平均との関係

図-12 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/mm<sup>2</sup>程度、5回の塗布で3.0 N/mm<sup>2</sup>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。

## 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/mm<sup>2</sup>程度、塗布回数 5 回で 3.0 N/mm<sup>2</sup>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。

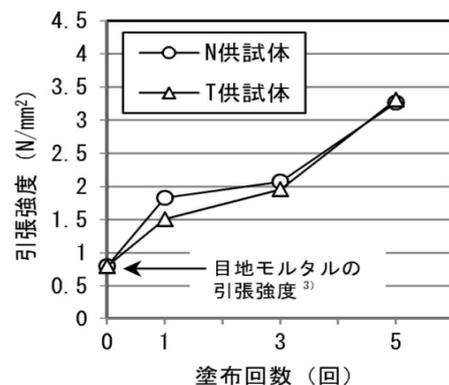


図-12 造膜剤の塗布回数と目地で破壊した供試体の引張強度の平均との関係

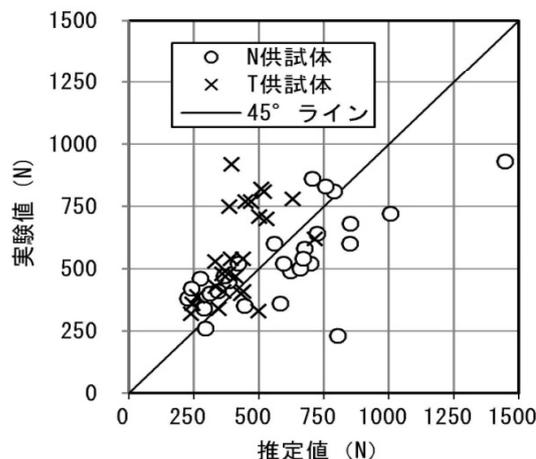


図-13 目地で破壊した供試体の最大引張荷重の推定値と実測値

## 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

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

正会員 ○那須光\*1 同 長谷川哲也\*2  
同 畑中重光\*3 同 三島直生\*4

外装タイル 剥落防止 含浸造膜剤  
目地モルタル 削孔試験 含浸深さ

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、劣化によりタイル等が剥落すると、器物損壊および人身事故に至ることが懸念される。また、近年の法改正により外装タイル等の劣化・損傷の調査が厳格化され、これにより、外装タイルの補修・改修に関する需要が増加すると予想される。特に、安価（部分施工等が可能）かつ、施工が容易な部分補修が重要になると考えられる。

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<sup>1)</sup>を応用した含浸造膜剤を開発し、これを用いた外装タイルの剥落防止工法の開発研究に取り組む。本報では、被塗布材料として目地モルタルを使用し、含浸造膜剤の含浸深さについて、2種類の測定方法で評価した。

2. 含浸造膜剤を用いた外装タイル剥落防止工法

図-1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、目地部に発生する水蒸気圧による塗膜の膨れを防止する。

3. 実験概要

3.1 使用材料

(1) 含浸造膜剤

本研究では、使用する含浸造膜剤として、ウレタン系の樹脂を使用した。表-1に、本実験で使用した含浸造膜剤の成分とその機能を示す。同薬剤は3成分で構成され、この中で、薬剤の硬化後も壁体に残る硬化剤および添加剤をあわせて、樹脂固形分と呼び、図-2に本実験で使用した樹脂固形分の配合（質量比）を示す。薬剤全体に対する樹脂固形分の質量割合を樹脂固形分率と呼ぶ。図-3に、硬化後の樹脂固形分のみで行った引張試験の結果を示す。図から分かるように、樹脂固形分の配合により、薬剤の樹脂物性が大きく変化する。

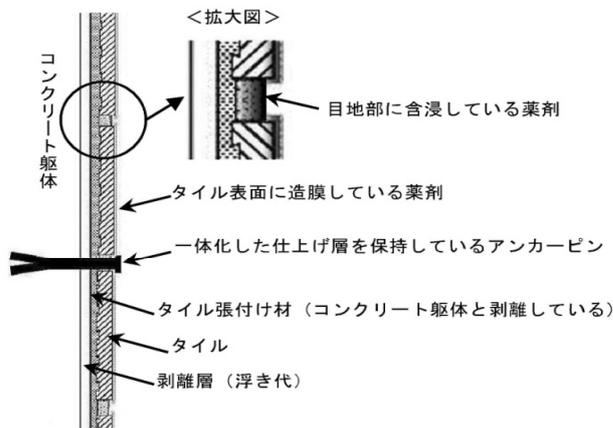


図-1 含浸造膜剤を用いた外装タイル剥落防止工法

表-1 含浸造膜剤の成分と機能

樹脂固形分	成分	機能
	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	硬化剤に韌性を持たせ、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	ポリエステル系	
溶剤	有機系の揮発性溶剤で、薬剤の含浸性を確保する。	

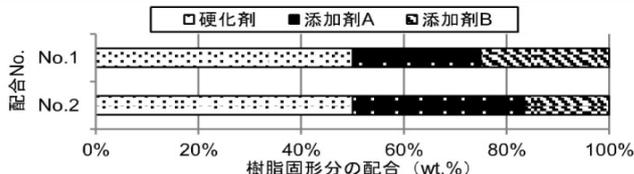


図-2 樹脂固形分配合

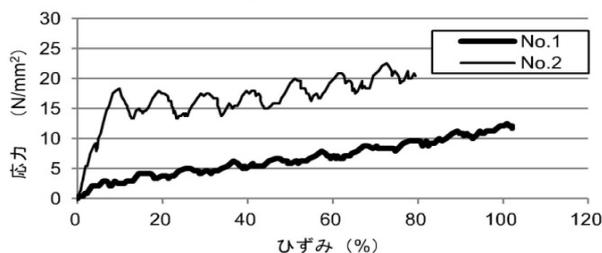


図-3 樹脂硬化体の応力-ひずみ曲線

表-2 目地モルタルの物性

圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ強さ (N/mm <sup>2</sup> )	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)
33.39	6.11	1.85	2.47

(2) 被塗布材料

被塗布材料には、市販されている4種類の既調合目地モルタルを使用した。本報では、その中で最も吸水率の低かった目地モルタルについてのみ示す。表-2に、その目地モルタルの物性について示す。

### 3.2 含浸造膜剤の調合および実験の要因と水準

図-4に含浸造膜剤の配合を、表-3に実験の要因と水準を示す。含浸造膜剤のA剤、B剤、C剤はNo.1の樹脂固形分の配合を用い、樹脂固形分率をそれぞれ60%、50%、40%とした。D剤はNo.2の配合を用い、樹脂固形分率は50%とした。

### 3.3 試験項目および試験方法

#### (1) 断面観察

試験体へ含浸造膜剤を塗布した後に試験体を割り、断面の観察から、薬剤により濡れ色に変色した部分の厚さを測定した。写真-1に観測された断面の例を示す。

#### (2) 削孔試験

小径ドリル型削孔試験装置<sup>2)</sup>により、削孔試験を行った。本測定方法はドリルで供試体を削孔し、削孔速度から深さ方向の削孔抵抗の分布を測定するものである。

### 4. 実験結果と考察

#### (1) 断面観察

図-5に試験結果を示す。濡れ色部の厚さは0.1~0.4mm程度である。B剤、C剤は、塗布回数が増えるほど濡れ色の範囲が大きくなるが、A剤、D剤は塗布回数による変化はあまり見られず、濡れの範囲も小さい。

#### (2) 削孔試験

図-6に試験結果の例を示す。目地モルタルには細粒の細骨材が含まれるため、削孔速度はばらつきが大きくなっている。薬剤を塗布したものは無塗布のものと比較して、深さ0.7mm程度まで、削孔速度が遅くなっている。樹脂固形分率が高く、塗布回数の多いものは、表面付近で削孔抵抗が大きく改善されており、丈夫な膜が造られたと考えられる。

図-7に、削孔抵抗の結果から推定される含浸深さの比較を示す。薬剤の配合および塗布回数による含浸深さの変化に、特定の傾向は見られない。

図-5に示す断面観察試験の結果と比較すると、濡れ色厚さは削孔試験により推定される含浸深さより小さい。このため、断面観察のみから含浸深さの推定することは難しいと考えられる。

### 5. まとめ

本報では、目地モルタルに対して含浸造膜剤を塗布したときの含浸深さについて評価を行った。以下に得られた知見等を示す。

- 1) 含浸造膜剤の塗布により目地モルタルの表層の削孔抵抗は改善される。
- 2) 削孔試験による評価によれば、薬剤の配合および塗布回数による含浸深さの違いは見られない。
- 3) 断面の目視による観察では含浸深さを推測することは難しい。

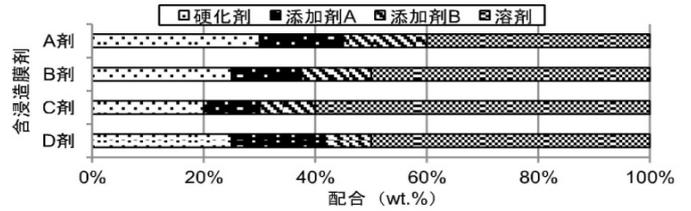


図-4 含浸造膜剤の配合

表-3 要因と水準

要因	水準
含浸造膜剤の種類	A剤、B剤、C剤、D剤
含浸造膜剤の塗布回数(回)	1、2、3

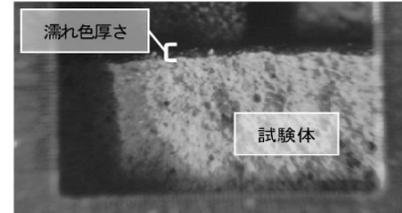


写真-1 塗布試験体断面

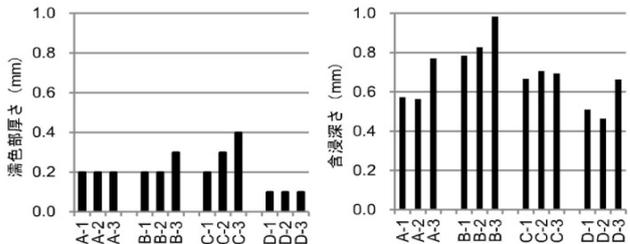


図-5 断面観察試験結果 図-7 削孔試験結果

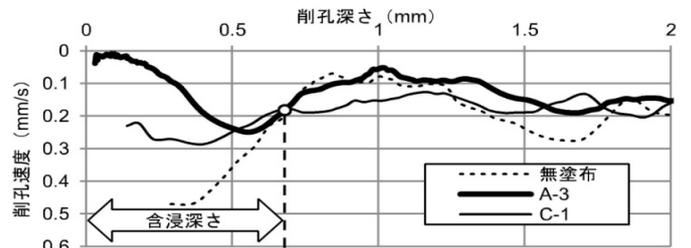


図-6 削孔試験結果の例

- 4) 今後は目地に含浸し、タイル表面に造膜した実際のモデルでの各種検証を行いたい。また、造膜はせずに、目地モルタルの強化・目地とタイルの接合を行うことの可能性も探っていきたい。

#### 【謝辞】

本研究を遂行するにあたり、左口泰平君（三重大学大学院修士）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）による。

#### 【参考文献】

- 1) 金子光二、長谷川哲也、左口泰平、畑中重光、三島直生：含浸強化剤の樹脂固形分率および塗布回数に含浸深さに及ぼす影響に関する基礎的研究，日本建築学会学術講演梗概集 A-1，材料施工 2010, pp.163-164, 2010.07
- 2) 長谷川哲也、畑中重光、三島直生、本田千絵美、谷川恭雄：小径ドリル型削孔試験機によるセメントペーストの圧縮強度推定，日本建築学会構造系論文集，第 621 号, pp.1-8, 2007.11

\*1 三重大学大学院工学研究科・大学院生

\*2 日本診断設計株式会社・博士(工学)

\*3 三重大学大学院工学研究科・教授・工博

\*4 三重大学大学院工学研究科・准教授・博士(工学)

\*1 Graduate Student, Graduate School of Eng., Mie Univ.

\*2 Japan Architectural Examination Design Office CO., Dr. Eng.

\*3 Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.

\*4 Assoc. Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.

# 文化財（煉瓦建造物）の保存技術への挑戦

畑中 重光\*1・長谷川哲也\*2

## 1. はじめに

我が国では近年（1996年）、文化財保護に関する法律の一部改正に伴い、文化財登録制度が導入された。このような事情を背景として、現在、歴史的建造物の補修・補強工事が増加しつつあるが、煉瓦造や石造建造物の調査・診断・補修・補強技術については、まだ十分な研究がなされておらず、場当たりの方法が採られることが多い。

特に、調査・診断方法について言えば、重要文化財などに指定された煉瓦造や石造建造物では、コア供試体の採取やはつり作業が許されない場合が多く、非破壊検査技術の適用性に関する検討が強く望まれている。また、補修・補強方法についても、外観を損なうことなく、遺構を残したままにするという大前提があるため、従来RC構造物で適用されてきた補修・補強方法がそのままでは採用できない場合が多い。

本稿では、煉瓦建造物の不易流行に関わる事例として、JCI研究委員会で学んだ文化財保存の考え方、および筆者らが取り組んでいるタイ国アユタヤ遺跡の保存事業の一端を紹介したい。

## 2. JCI研究委員会での活動

平成17年に日本コンクリート工学協会に設置された「建築・土木分野における歴史的構造物の診断・修復に関する研究委員会」（委員長：谷川恭雄・名古屋大学名誉教授）では、煉瓦造を中心とし、石造・RC造を含む歴史的建造物の調査・診断・補修・補強方法に関する既往の研究・事例を整理・分類し、問題点を抽出し、歴史的建造物のための新たな診断技術・補修工法を提示することなどの目的を持って活動した<sup>1,2)</sup>。そこで確認され、我々が認識しておくべき主な基本的事項を以下に挙げておく。

- ・煉瓦造や石造の目地には、漆喰やモルタルなどの結合材が用いられている。
- ・鉄筋コンクリート（RC）造が煉瓦造や石造などの組積造と決定的に異なるのはモノリシックな構造である点である。逆に、組積造ではパーツの組替えが可能である。
- ・歴史的構造物であるから、材料や外観を損なうことなく、遺構を残したまま、診断・補修・補強を行うこと

が望まれる。

- ・歴史的遺産として守るべきものは「オーセンティシティー（authenticity）」であり、それは「由緒正しさ」というニュアンスを伝える言葉と解することができる。
- ・歴史的構造物の保存・再生・活用には、①なぜ残すか、②何を残すか、③どう残すか、という大別して3つのテーマがある。

最後に記した「残す」べきものがまさに「不易」ということになろうか。煉瓦造や石造などの歴史的構造物の保存事業に関わる際に、セメントやコンクリートを専門分野とする我々が学ばなくてはいけないことも多い。ただ、コンクリート工学がこの種の構造物の保存・修復に寄与すべき学問分野として期待され、また貢献しなくてはいけないのも事実である。

## 3. アユタヤ遺跡の調査・補修

### 3.1 アユタヤの歴史概要

アユタヤ遺跡は、バンコクから北へおよそ80km、チャオプラヤー川とその支流に囲まれた中州にある。1350年から417年間にわたり、35代の王がこの地でアユタヤ王国の歴史を築いた。15世紀には、カンボジアのクメール王朝を滅ぼし、さらにタイ北部にあるスコタイ王朝を併合した。1767年にビルマ（現ミャンマー）軍のたび重なる攻撃によって滅ぼされた。寺院等の遺跡が多く点在するこの地は、1991年に世界文化遺産に登録された。参考のためアユタヤの位置を図-1に、アユタヤ地区の地図を図-2に示す。



図-1 タイ国とアユタヤの位置

\*1 はたなか・しげみつ／三重大学大学院 工学研究科 教授（正会員）  
\*2 はせがわ・てつや／日本診断設計(株) 代表取締役（正会員）

### 3.2 ワット・プラ・マハタートの現状調査

アユタヤ地区の遺跡には、ビルマ軍によって破壊された仏塔や仏像が数多く残っている。寺院の遺跡の一例として、2005年にワット・プラ・マハタートの仏塔群を調査した<sup>3)</sup>。遺跡の様子を写真-1～写真-3で紹介する。

#### (1) 構造的視点

図-2に示したように、アユタヤ地区は、チャオプラヤー川の中州状になっており、構造体にとって地盤条件が極めて悪い。そのため、ほとんどといって良いほど多くの仏塔が不同沈下を生じて傾いている(写真-3)。

ビルマ軍による攻撃で破壊された仏塔も多いと思われるが、中には、不同沈下が引き金になって上部から偏心荷重がかかり、大きな割裂ひび割れおよびせん断ひび割れを生じている仏塔や倒壊に至った仏塔も散見される。

#### (2) 材料的視点

##### 1) 外観

当初は、ほとんどすべての仏塔の表面に化粧漆喰(ス

タッコ)の仕上げが施されていたようであるが、現在では、漆喰が残っている仏塔は少なくなっている。すなわち、大部分の仏塔は、ほとんどの漆喰が消失して煉瓦が剥き出しになっている。写真-4は比較的多くの漆喰が残っている仏塔の例であるが、周囲の状況から判断して、このままほおって置けば仏像のレリーフもいずれ消滅してしまう危険性が高い。写真-5に示した仏塔でも同様のことがいえる。三角形部の周辺は漆喰で出来た見事なレリーフで飾られている。この漆喰のレリーフは当時の技術のすばらしさを証明するもので、伝承者の居なくなった現在の技術では復元するのは大変難しいものと思われる。写真中に示したように、A部とB部では表面の様相が異なる。すなわち同じ構造体でも方角によって劣化度合いが異なることが分かる。

##### 2) 劣化原因

以上の変状・劣化を材料的視点に基づいて考察すれば、以下の原因等が考えられる。

- a. 降雨、日射などの環境外力による劣化
- b. 塩類の析出による劣化
- c. 植物の生育による劣化
- d. 生物の食害による劣化(写真-6)

アユタヤ地区は年間を通じて最高気温が30~35℃と高く、湿度は70~80%程度(乾季を除く)である。寺院の建設後おおよそ600年以上も経過していることから、一般的には、主な原因として、項目a.が考えられるが、最近では、重要な劣化原因として「塩類風化」(項目b.)に着目した研究<sup>1),5)</sup>も報告されている。

また、ある程度まで表層劣化が進行した場合であろうが、煉瓦の目地に草木が生えるという不具合も多く生じている(写真-4)。

写真-6は、仕上げ漆喰の変状に着目したものである。

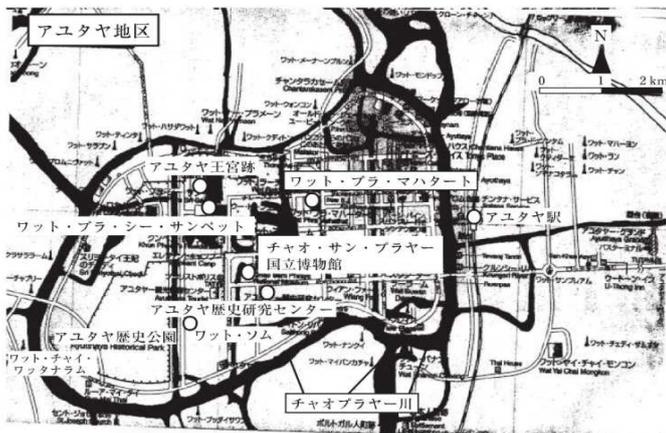


図-2 アユタヤ地区(黒い線が川)



写真-1 ワット・プラ・マハタートの様子(一部)



写真-2 木の根に包まれた仏像の頭部



写真-3 傾いた仏塔



写真-4 仏像のレリーフが危険な状態にある仏塔(植物の繁茂も気になる)

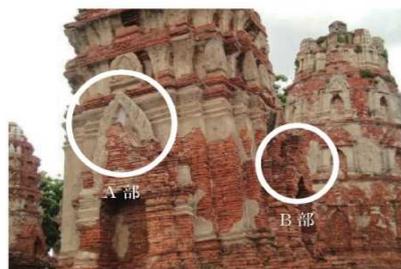


写真-5 方角で劣化状況の異なる仏塔



写真-6 昆虫による食害

拡大写真によれば、彫刻刀で抉られたようになって  
いる箇所がある。これは、生物が漆喰を食べた跡である  
と考えられる。抉られた溝から推定すれば、微生物で  
なく、もっと大きな昆虫並みのものが漆喰に混合され  
た有機成分を食べているものと思われる（タイの博物  
館資料によれば、漆喰に混合されたものとしては、例  
えば、動物の皮脂、餅米、バナナ、卵白、サトウキビ  
などが考えられる）。なお、このような変状は、我が  
国でも生じており、地蜂が漆喰を食べているという  
左官職人の話もある。

また、漆喰だけでなく、前述のように、煉瓦その  
ものが風化し（写真-7）、形が大きく変わっている  
仏塔も多い。建設当初は漆喰仕上げで表層が保護さ  
れていたと考えられるため、内部の煉瓦に生じた風  
化の多くは漆喰の剥落・消失の後から生じたと考え  
ることができる。ここで、アユタヤ遺跡で使用され  
た煉瓦は焼成煉瓦であるといわれていることに注  
目したい。もし仮に、すべての煉瓦が十分に高い  
温度で焼成されたものであれば、これらの写真に  
見られるような風化が生じるとは考えがたい。指  
先ですぐに粉体化するような箇所もあることから、  
低温で焼成された煉瓦も多く使われていることが  
想定された。写真-8は、高さ方向に劣化状態の  
異なる仏塔の例である。基礎から水分が上昇し構  
造体の表面で塩類風化



写真-7 溶解したように見える煉瓦  
(手で触れると砂状になる)

を生じたと考えると理解しうる。

### 3.3 アユタヤ遺跡の現地実験

アユタヤ遺跡群の保存に関わる現地実験は、2006  
年にタイ国政府芸術局から許可（写真-9 参照）を  
頂いた直後から開始するのだが、それまでの苦労話  
は紙面の関係で割愛する。以下、2010年に芸術局  
にて口頭で説明し、提出した報告書の中から一部  
を抜粋する。

#### (1) 研究目的

アユタヤ遺跡の建造物に生じている塩類風化等  
による劣化の現状を定量的に調査するとともに、  
小面積において材料の劣化防止処理を行いなが  
ら、建造物表層のレリーフなど、特に重要な文  
化遺産を保存することを第1の目的として、最  
適な処理方法の開発を目指した。

#### (2) 対象とした建造物の概要

今回の劣化防止処理を行った場所は、Wat Som  
および Wat Chai Watthanaram (Ayutthaya  
Historical Park, Ayutthaya Province) である。  
両寺院の概要を以下に記す。

##### 1) Wat Som

ワット・ソム（写真-10）は、アユタヤ歴史公  
園の事務所近くに位置する。そのクメール風の  
プラーン（仏塔）や装飾された化粧漆喰の形か  
ら、アユタヤ王朝初期に建てられたと推測され  
る。このプラーンは、アユタヤの中でも保存  
状態のよい化粧漆喰の装飾（写真-11）が残っ  
ているもののひとつで、高度な幾何学模様や多  
くの神話上の絵が見られる。この建物の歴史  
的背景は、まだ十分には知られていない。

##### 2) Wat Chai Watthanaram

ワット・チャイ・ワッタナラム（写真-12）  
は、アユタヤの南西部に位置する。1673年、  
プラサート・トーン王が母親のために建てた  
寺院の跡である。アンコール遺跡に似ており、  
境内中央にそびえる大プラーン（仏塔）は宇  
宙の精神的中心を表し、その周りを小プラー  
ンが取り囲んでいる。古代クメール様式の影  
響が見られる寺院である。



写真-8 高さ方向に異なる劣化状況



写真-9 芸術局の許可証

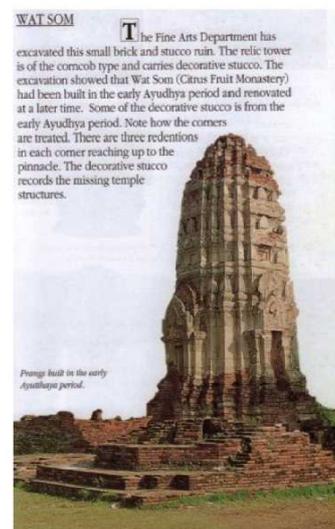


写真-10 Wat Som



写真-11 補修の対象としたレリーフ



写真-13 ドリル削孔試験



写真-12 Wat Chai Watthanaram



写真-14 高含浸性強化剤の吹付け

### (3) 本研究と並行して行った技術開発

国土交通省・建設技術開発助成制度の補助を受け、各種構造物の表層部強度を簡易に、かつ測定対象の損傷を最小限（直径3mm程度の孔）に抑えて定量的に評価できる携帯式削孔試験装置および含浸性の高い表層部強化剤の開発を進めた<sup>6),7)</sup>。その結果、

- ①携帯式削孔試験装置による構造物表層の劣化状況の把握
- ②劣化状況に応じた高含浸性強化剤の調合と施工方法の選定
- ③携帯式削孔試験装置による再チェック

という補修工程の一連の流れが出来上がった。

基本的には、これらの携帯式削孔試験装置と高含浸性強化剤を適用して補修実験に望んだのであるが、この際、対象物件に対して以下のような点にも留意した。

- ・削孔箇所としては、劣化（風化）程度の差異を意識し、2カ所の煉瓦を選定。
- ・煉瓦表層へ適用する高含浸性強化剤の配合比は、劣化した表層がおおよそ元の強度に戻るよう決定。
- ・構造体内部への高含浸性強化剤の適用にあたっては、地下からの水分浸透の抑制効果が得られるよう配合比を決定。

以下、現地実験について記す。

#### (1) Wat Som

##### 1) 診断・補修作業

- ・風化した煉瓦および健全な煉瓦について、表層から内部へ10mmの深さまで連続した強度分布を測定し、



写真-15 浮きの打音調査

処理前の劣化程度を評価（写真-13、なお、劣化度合いについては図-3参照）。

- ・高含浸性強化剤を用い、煉瓦の脆弱（劣化）部の強化および劣化防止処理（表層劣化防止）を実施（写真-14）。

- ・高含浸性強化剤およびエポキシ樹脂を用い、漆喰の劣化防止処理（剥落防止・表層劣化防止）を実施（写真-15～写真-17）。

##### 2) 評価

- ・脆弱部強化および劣化防止処理を行った煉瓦について、表層から内部へ10mmの深さまで連続した強度分布



写真-16 補修工事における養生



写真-18 木材への高含浸性強化剤の吹付け



写真-17 樹脂注入工程

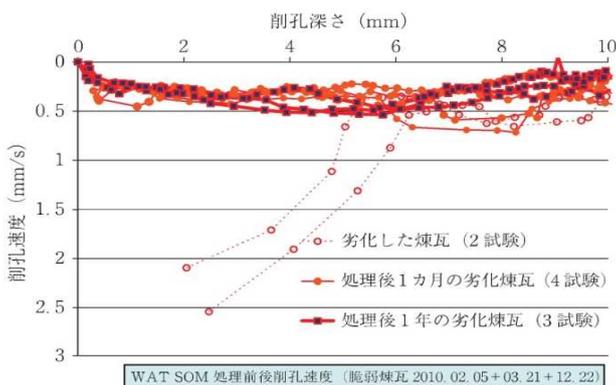


図-3 ドリル削孔試験による削孔速度-削孔深さ関係 (劣化煉瓦, 処理後1カ月, 1年のデータ) (深さ約6mmまで劣化, 処理後の削孔抵抗は内部までほぼ同様, 1年後も効果は安定)

布を測定し (測定時期は1カ月後, 1年後, およびその後の任意の時期とする), 処理効果について短期および長期的な評価を実施 (図-3)。

・劣化防止処理を行った煉瓦と漆喰について, 目視および打音調査を行い, 劣化処理の効果の持続性を評価。

## (2) Wat Chai Watthanaram

### 1) 補修作業

・高含浸性強化剤を用い, 漆喰の劣化防止処理 (剥落

防止・表層劣化防止) を実施。

・高含浸性強化剤を用い, 腐朽した木材の脆弱部強化および劣化防止処理 (剥落防止・表層劣化防止) を実施 (写真-18)。

### 2) 評価

・劣化防止処理を行った漆喰と脆弱部強化および劣化防止処理を行った木材について目視調査を行い, 劣化処理の効果の持続性を評価。

## 4. むすび

本稿では, 煉瓦建造物の保存技術への挑戦と銘打って (「流行」のつもりで) 筆者らが取り組んできたタイ国アユタヤ遺跡における現地実験について紹介した。冒頭にて, 煉瓦造や石造などの歴史的建造物の保存事業には, 我々コンクリート工学を専門とする技術者の協力が期待されていると記した。実のところ, これまでに関わったいくつかの事例を通じ, コンクリート工学の分野だけでは経験し得ない多くのことを学ぶ良い機会を与えてもらっていると, 逆に感謝している。

### 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会: 建築・土木分野における歴史的建造物の診断・修復研究委員会報告書, 382p., 2007. 6
- 2) 畑中重光: コンクリート工学に漂う文化の香り, コンクリート工学, Vol.44, No.7, 2006. 7
- 3) 長谷川哲也・畑中重光・Prinya Chindaprasirt・Thanudkij Chareeat: タイ国アユタヤ遺跡の劣化調査と修復方法の提案, 日本建築士上学会大会学術講演会研究発表論文集, pp.62~65, 2006. 10
- 4) 朽津信明・早川典子: 文化財の保存を目的とした煉瓦の樹脂処理効果に関する研究, 保存科学, No.40, pp.35~45, 2001
- 5) Kuchitsu, N., Ishizaki, T., Nishiura, T.: Salt Weathering of a Brick Monuments in the Ayutthaya Site, Thailand, Engineering Geology, No.55, pp.91-99, 1999
- 6) 畑中重光・長谷川哲也・谷川恭雄・伊藤敬人・三島直生: 建造物の表層強度分布測定装置および含浸強化剤の開発研究, 建設技術研究開発助成制度報告書, 282p., 2011. 3
- 7) 左口泰平・長谷川哲也・三島直生・畑中重光: 高含浸性強化剤による改質効果の評価手法に関する基礎的研究, 日本建築学会学術講演梗概集 (材料施工), pp.265~266, 2011. 8

## 小径ドリル型削孔試験機を利用した高含浸強化剤の性能評価

### PERFORMANCE EVALUATION OF PENETRATIVE REPAIRING AGENT BY DRILLING TYPE SURFACE STRENGTH TESTER

三重大学大学院工学研究科建築学専攻 長谷川哲也 畑中重光 三島直生 伊藤敬人  
名城大学工学部建築学科 谷川恭雄

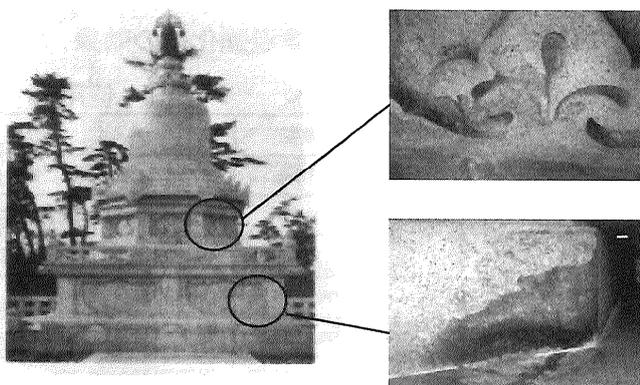
本研究では、コンクリートなど脆性多孔質材料全般に対して使用可能な高含浸強化剤の開発を試みている。しかし、表層から塗布するタイプの含浸強化剤は、その改善効果を定量的に評価する手法が無いのが現状であった。これに対して本報では、筆者らが開発した小径のドリル型削孔試験機を適用することで、硬化後の表層から内部に向けた連続した品質分布が得られ、含浸強化剤の含浸深さおよび品質改善の効果の定量化が可能となった。

**キーワード：高含浸強化剤，小径ドリル型削孔試験機，削孔含浸深さ，改善効果**

#### 1. 研究の背景

日本における明治以降の組積造、煉瓦造および鉄筋コンクリート造建築物や、海外の世界遺産に指定されているタイのアユタヤー遺跡における煉瓦造等建築物などをはじめとする歴史的な建造物のうち、現存するものの多くが建築材料の経年劣化により構造・意匠の両面において問題が発生し始めている。

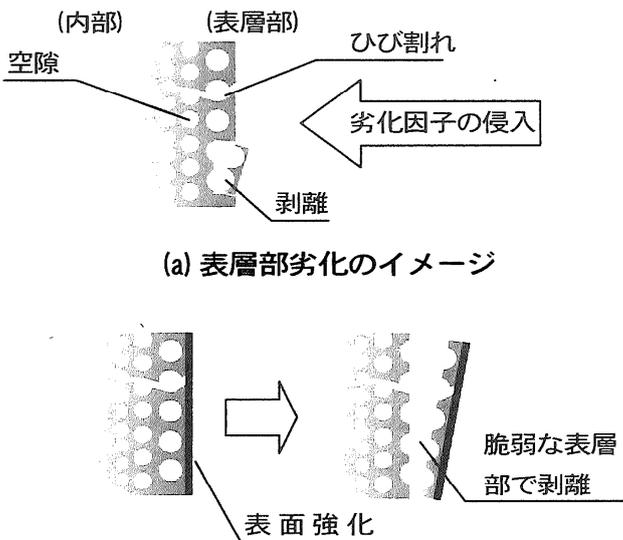
本研究では実験に先立ち、1904年に建立された愛知県名古屋市にある日泰寺奉安塔の劣化調査を行った。写真1にその一例を示すが、塔中央の彫刻の表層や土台部分などでは部分的に脆弱化もしくは、剥離している箇所もみられた。これらの劣化は雨がかりの無いへこんだ部分でみられたため、原因としては可溶性塩類による塩類風化が疑われた。このように、歴史的・文化的にも重要な構造物の外観を修復し保存することが強く求められているが、これらの表層部劣化に対する原因の究明および補修方法に関する学術的研究は非常に少なく、また、補修にあたっては歴史的建築物特有の制約（外観およびその使用材料を現状のまま保存しなくてはならないことなど）があるため、修復、保存方法が技術的に確立するまでには至っていない。



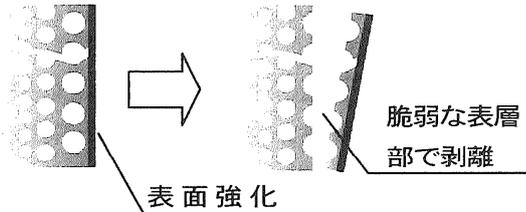
(a) 全景 (b) 劣化した表層部  
写真1 劣化した日泰寺奉安塔

#### 2. 研究の目的

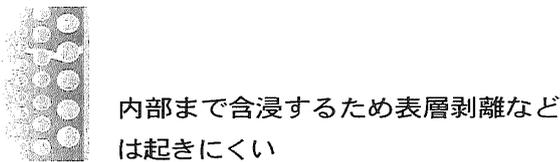
本研究では、コンクリート、石材、煉瓦、木材などの多孔質材料の表層劣化部分の強度を回復し、さらにその後の劣化の進行を防止できる高含浸強化剤の開発を目指している。本研究で開発している含浸強化剤のポイントは、接着力を持った上で高い含浸性を有することである。図1に高含浸強化剤の修復イメージを示す。表層の劣化としては図1(a)に示すような収縮や凍害などによるひび割れや剥離、塩類等の外部からの劣化因子の侵入などが挙げられる。これに対して一般的な塗布型の表面強化剤では同図1(b)に示すように含浸深さが浅いため、長期的に見ると既存の表層に形成された強化部裏面の脆弱部において応力集中が起こることにより剥離等が生じ、劣化を速めてしまう場



(a) 表層部劣化のイメージ



(b) 通常の表面強化剤を塗布した場合



(c) 高含浸強化剤を塗布した場合

合も報告されている。これに対して、本研究で開発している高含浸強化剤は、表面から塗布するだけである程度の内部まで接着力のある薬剤が浸透し、表層の剥離を避けることができるとともに、表層部に発生した微細なひび割れに対してもひび割れの奥まで浸透することにより補修効果を発揮することを目指している。

本論文では、新たに開発する3種類の配合率の薬剤の性能に関して既存の薬剤とともに比較試験を行い、高含浸強化剤の調合、適切な使用方法、および耐久性の改善効果について、定量的に評価し今後の開発方針を明確にすることを目指した。

### 3. 実験概要

#### 3.1 使用材料

本実験では、新たに開発する薬剤として樹脂固形分率を3種類にしたもの、および市販されている3種類の薬剤の計6種類の薬剤を使用した。使用薬剤と塗布回数を表1に、開発中の高含浸強化剤の成分の割合を図2に示す。

図1 表層劣化イメージと高含浸強化剤の効果

表1 使用薬

	表記	概要	塗布回数
市販品	Y 剤	エポキシ樹脂系含浸強化剤	3 回
	H 剤	アスベスト拡散防止性強化剤	15 回
	W 剤	石材強化剤(世界遺産で使用実績)	10 回
新規開発薬剤	20%—35 回	樹脂固形分率 20%	35 回
	20%—5 回	同上	5 回
	40%—20 回	樹脂固形分率 40%	20 回
	40%—5 回	同上	5 回
	80%—3 回	樹脂固形分率 80%	3 回

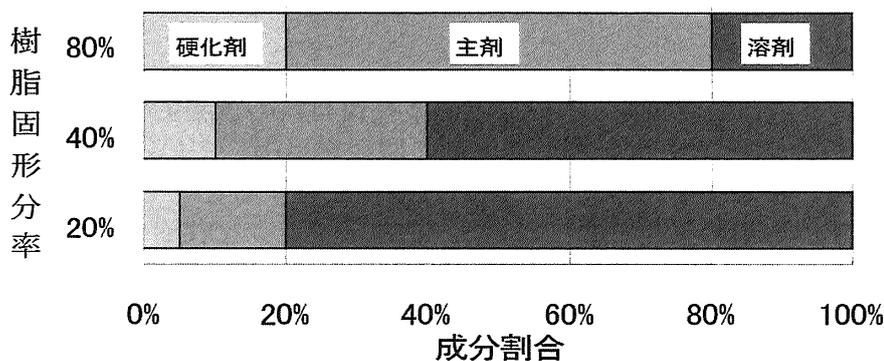


図2 新規開発薬剤の成分割合

それぞれの塗布回数は市販のもの  
の規定の回数、樹脂固形分率 20%、  
40%のものに関しては塗布回数の違  
いによる影響も比較するために 5 回  
だけ塗ったものと、薬剤が含浸しな  
くなるまで最大回数 (20%は 35 回、  
40%は 20 回) 塗ったものの二種類  
の塗布回数のもを作成した。被塗布材  
は、強化剤の比較を行いやすいセメ  
ントペーストを使用し、調合は劣化  
した多孔質材料の表層を想定して強  
度の低い W/C が 0.9 のものとした。  
調合試験材齢および圧縮強度を表 2  
に示す。

表 2 試験体の調合表および圧縮強度

W/C	単用量(g/L)			養生方法	圧縮強度 (MPa)
	水 W	セメント C	増粘剤 A		
0.9	740	823	5.88	水中養生	12.8

### 3・2 削孔試験

薬剤の含浸深さおよび耐摩耗性の改善効果を評価するため、小径ドリル式削孔試験を行った。

#### 3・2・1 試験装置

写真 2 に削孔試験機を、図 3 に測定結果のイメージ図を示す。本試験機はドリルで試験体を削孔し、削孔の難易度により深さ方向の強度分布を測定しようとするものである。

この削孔試験機は、被測定体のダメージは極めて少ない微破壊試験機であること、深さ方向の強度分布を測定できること、等が今までの試験方法には見られない特長である。この点でこの削孔試験機は、歴史的建造物への適用が期待されている。

#### 3・2・2 測定方法

試験体は、前項で示した調合のセメントペーストで、40×40×80 mmの角柱供試体を薬剤の種類毎に 3 本ずつ作成した。各薬剤別に 7 回削孔を行い、各々 1 秒毎のビット先端位置を削孔深さとして測定した。削孔試験はφ3 mmのダイヤモンドビットを用いて 4000 回転で行った。薬剤塗布面は図 4 に示すようにセメントペースト試験体の打設時における側面とし、削孔は薬剤塗布面の中央部分で行った。削孔間隔は 10 mmとし、削孔深さは 0~10 mmとした。計測は深さ 11mm に達した時点で終了とした。削孔時には先端ビットの摩耗抑制および削粉排出を目的としてビット先端部に水滴を垂らしながら湿式の削孔を行った。

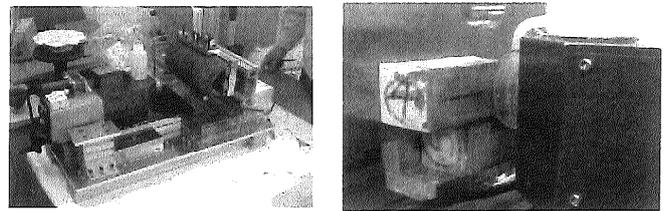


写真 2 削孔試験機

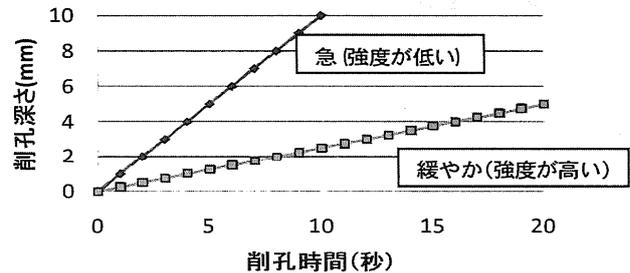


図 3 測定結果イメージ図

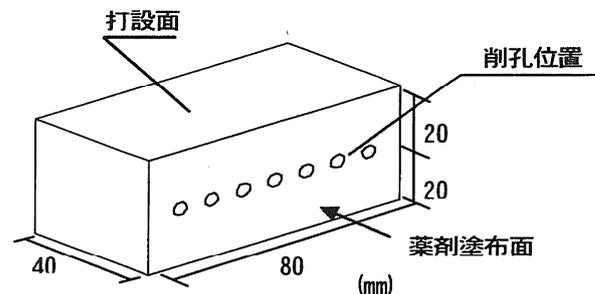


図 4 セメントペースト試験体

## 4. 実験結果とその考察

測定の結果得られた削孔深さと時間の関係から削孔速度と深さの関係を各薬剤毎に求めた。ここで、各薬剤とも 7 回の削孔のうちのほぼ中央値のデータが各薬剤を表すデータとし、以降の考察に用いた。図 5 に新規開発薬剤 40%-20 の測定結果の例を示し、中位のデータは太線で示した。

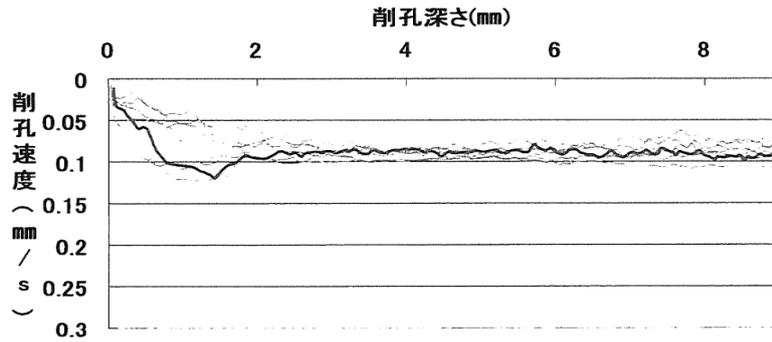


図5 40%20回塗布試験体の削孔深さと削孔速度の

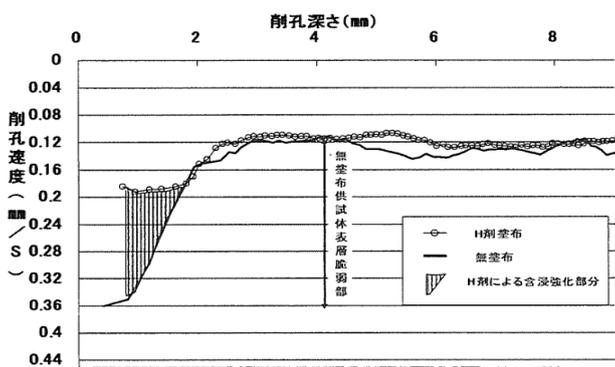


図6 薬剤無塗布試験体および市販H剤の中位の削孔深さと削孔速度

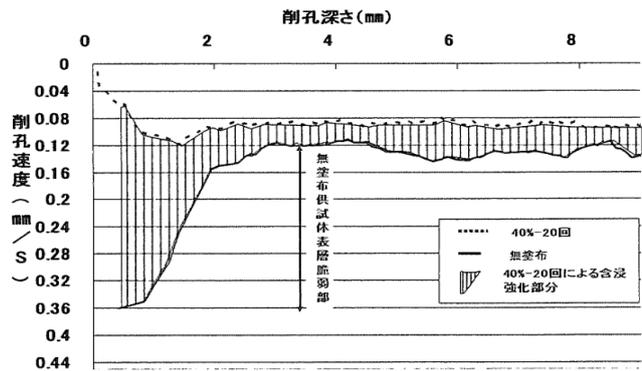


図7 薬剤無塗布試験体および新規開発薬剤40%20回塗布の中位の削孔深さと削孔速度

4・1 薬剤無塗布試験体

図6に、薬剤無塗布試験体および市販H剤の削孔深さと削孔速度を示す。

今回の被塗布体であるセメントペーストは、本来は表層と内部が均一な強度と予想されたが、測定の結果、同図中の無塗布のデータに示すように、表層の削孔速度が非常に速いことから、表面の強度が下がっていることが確認された。これは水中養生を行ったために、表面からの成分溶脱が発生し、表層が多孔質化し脆弱になったためと考えられる。この傾向は深さ2.9mmくらいまで続き、これ以深からはほぼ安定した速度となっていることから、2.9mmまでが脆弱範囲であり、これ以深の速度が健全部の強度を表していると判断できる。市販H剤を塗布した結果では、この脆弱化した部分が深さ約1.8mm付近まで強化されている。

図7に、薬剤無塗布試験体および新規開発薬剤40%20回塗布の削孔深さと削孔速度を示す。この薬剤を塗布することによって少なくとも計測可能範囲である10mmまでは健全部が強化されている。さらに表面から1mmまでは、より高く強化されている。これは多孔質化（脆弱化）した表層付近には健全部に比べより多くの強化剤が含浸、充填した結果と思われる。

4・2 薬剤の含浸深さ

図8(a)に市販薬剤、(b)に新規開発薬剤の削孔速度の測定結果を示す。

(a)の市販各薬剤は、薬剤無塗布のものよりも深さ方向2mm弱までは強化しているが強化量は健全部まで達していない。これに対し(b)の新規開発薬剤は、20%5回塗りと80%3回塗りで、深さ方向は2mm付近まで含浸し、強度はほぼ健全部の強度近くまで強化している。その他、40%20回塗り・40%5回塗り・20%35回塗りは、計測範囲全てが健全部より強化されていた。したがって今回計測を行った10mmよりも深く含浸していると考えられ、これらの薬剤の最大含浸深さを計測することはできなかった。

以上の結果により得られた今回の使用全薬剤の含浸深さと表層脆弱部分の関係を図9に示す。同図によれば、市販の薬剤は無塗布薬剤の脆弱部分の途中までしか含浸していない。新規開発薬剤では20%5回塗りが脆弱部分の途中までしか含浸していないが、その他は健全部まで含浸している。特に20%35回塗り・40%5回塗り・40%20回塗りはいずれも10mm以上含浸していた。

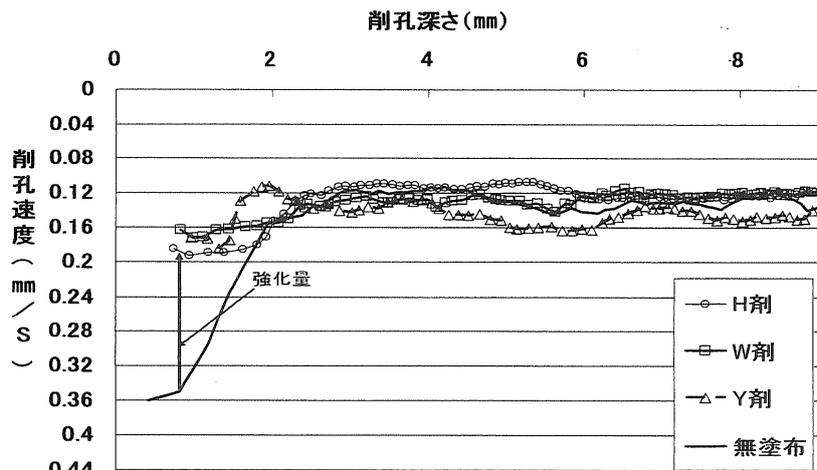
### 4・3 削孔抵抗の改善値

薬剤無塗布と比べて減少した削孔速度の値を薬剤の削孔抵抗の改善値とし、図10(a)に市販薬剤、(b)に新規開発薬剤のデータを示す。まず表層部に着目すると、いずれの薬剤を塗布した場合でも表層から深さ2mm~3mmまでの脆弱な部分は高い削孔抵抗値となっている。これは表層から2mm~3mmの範囲が多孔質化し、薬剤がより含浸しやすい状態であったためと考えられる。市販薬剤では深さ2mm~2.5mmしか改善されておらず、その改善値も表面近くでは0.12mm/sであるが、新規開発薬剤では80%3回と20%5回で表層から深さ2mm~3mmまで改善され、その改善値は表面近くでは0.2mm/sであった。40%20回・40%5回・20%35回では改善値はほとんど同じ値を示し、表面近くでは0.2mm/s、約3mm付近で0.04mm/sで、その後削孔終了までほぼ0.04mm/sと安定している。

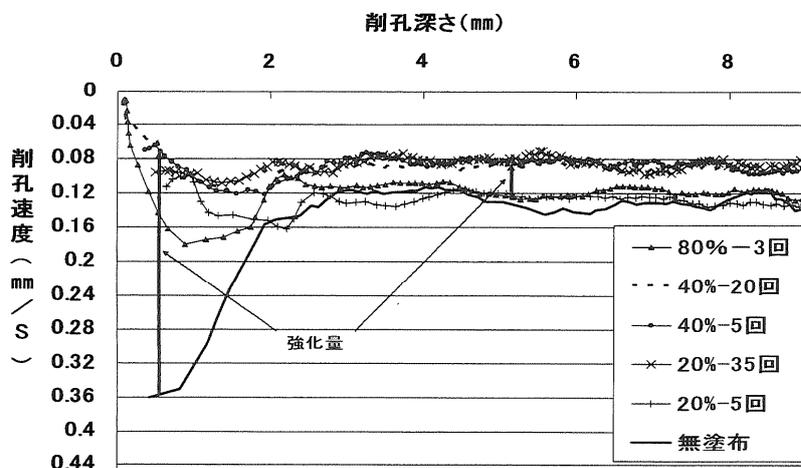
### 5. 結論

本実験では含浸強化剤の比較を行い、各薬剤の性能の一部が明らかとなった。以下に得られた知見を示す。

1) 市販薬剤ではその仕様書どおりに塗布した場合、表層の脆弱部



(a) 市販の薬剤



(b) 新規開発薬剤

図8 削孔速度の測定結果

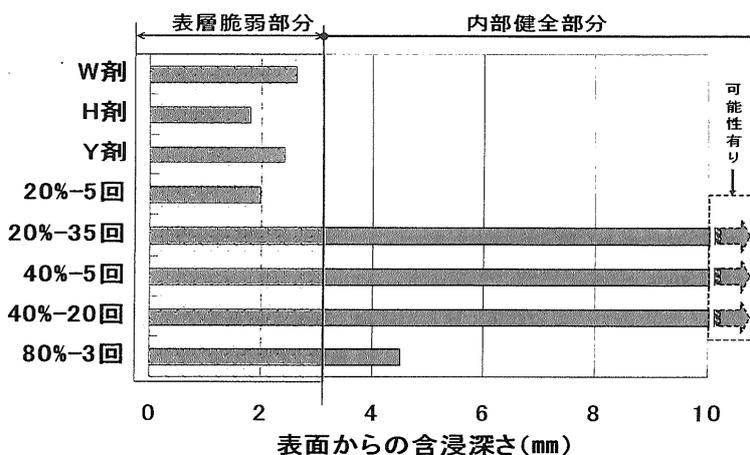


図9 含浸深さ測定値

の厚さの途中までしか含浸強化できなかった。したがって脆弱部の厚さによっては塗布したことが表層剥離の原因となる可能性があると思われる。新規開発薬剤は樹脂固形分率および塗布回数によっては脆弱部の厚さの途中までしか含浸強化できないものがあったが、おおむね脆弱部は健全部以上に強化しそれらは健全部の深部までも浸透し強化した。

- 2) 新規開発薬剤は樹脂固形分率によって含浸性が変化し、その割合が低くなるほど高くなり、樹脂固形分40%以上では10mm以上の含浸が確認された。
- 3) 新規開発薬剤の削孔抵抗（強化）の増大量は、内部では樹脂固形分率の変化、塗布回数によって変化する

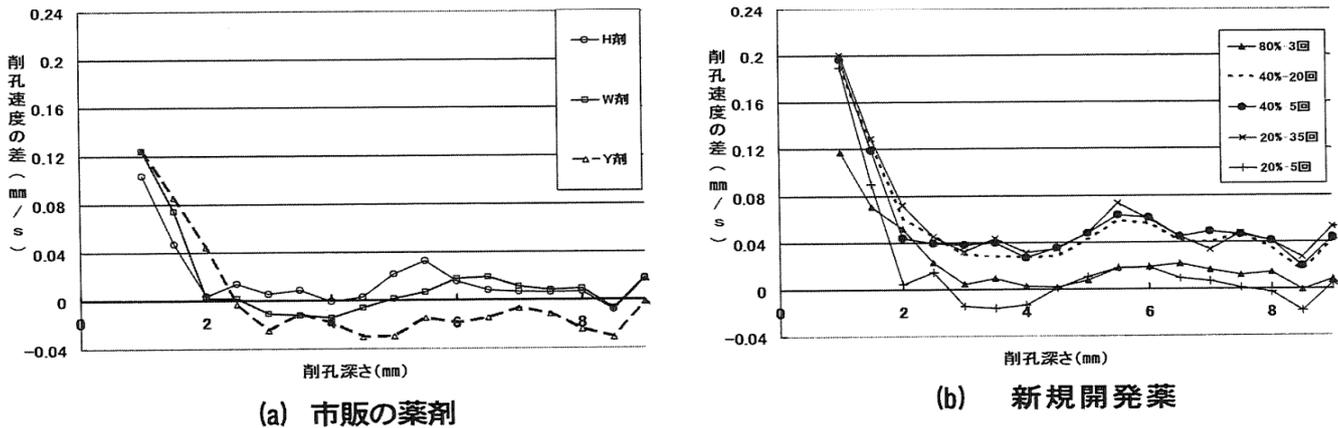


図 10 無塗布薬剤と比較した削孔抵抗改善値(差)

るが、表層ではそれらによらず一定であった。

### 6. 今後の課題

今回の実験では、10mmまでの含浸しか確認することはできなかったが、新規開発薬剤においてはさらに深くまで含浸している可能性は高く、正確に含浸深さを確認する必要がある。また、必要な強度（削孔抵抗）を回復させる深さを明確にし、それが実現できる新規開発薬剤の適切な配合を決定する必要がある。

新規開発薬剤を実際に補修剤として使用する場合には、その保存条件に耐える必要がある。したがって薬剤自体の耐久性をも視野に入れた研究を行う必要がある。

### 謝辞

本研究の一部は、平成 21 年度建設技術研究開発助成金（研究代表者：畑中重光）によった。付記して、謝意を表す。

#### 〔参考文献〕

- 1) 長谷川哲也, 畑中重光, 三島直生, 谷川恭雄, 小径ドリル型削孔試験機の開発と歴史的建造物の表層強度測定への適用  
日本コンクリート工学協会, コンクリート工学, Vol. 46, No. 6, pp. 10~17, 2008. 6
- 2) 長谷川哲也, 畑中重光, 歴史的建造物保存への足がかり（表層劣化状況の定量化）日本非破壊検査協会, 非破壊検査, Vol. 57, No. 2, pp. 72~76, 2008. 2
- 3) 長谷川哲也, 畑中重光, 谷川恭雄, 長谷川直司, 歴史的建造物の表面から内部への連続した強度評価のための小径ドリル型削孔試験機の開発研究, 日本建築学会技術報告集 第 13 巻第 26 号, pp. 421~426, 2007. 12
- 4) 長谷川哲也, 畑中重光, 三島直生, 本多千絵美, 谷川恭雄, 小径ドリル型削孔試験機によるセメントペーストの圧縮強度推定—建造物の表層強度推定手法に関する開発研究—日本建築学会構造系論文集, 第 621 号, pp. 1~8, 2007. 11
- 5) 本多千絵美, 長谷川哲也, 畑中重光, 三島直生, 谷川恭雄, 小径ドリル型削孔試験機によるセメントペーストの圧縮強度推定  
日本建築仕上学会 2007 年大会学術講演会, 1847, pp. 195~198, 2007. 10

高含浸性強化剤による改質効果の評価手法に関する基礎的研究

正会員 ○左口泰平\*1 同 長谷川哲也\*2  
同 三島直生\*3 同 畑中重光\*4

表面含浸剤 強化剤 削孔試験  
高含浸性 表層強度分布 無機多孔質体

1 はじめに

コンクリートをはじめとして各種の構造物を構成する多孔質材料の表層において、経年により、剥離や脆弱化等が発生し、耐久性・意匠の両面に問題が生じている。この原因の多くは、主に外部からの劣化因子の浸透による。材料の耐劣化性能を向上させるには、多孔質材料の表層部分の品質をある一定の深さまで連続的に改善することが有効であると考えられる。

本研究は、多孔質材料の表層部分の品質を改善できる高含浸性強化剤の開発を目的とする。本報では、4種類の調合の高含浸性強化剤を塗布した比較的低強度のセメントペースト供試体に対して削孔試験を行い、高含浸性強化剤による改質効果の評価方法を検討した。

2 実験概要

2.1 使用材料

(1) 高含浸性強化剤

本研究では、ウレタン系の樹脂に、添加剤を加えて被塗布材料への含浸性能を向上させたものを高含浸性強化剤<sup>1)</sup>と呼ぶ。被塗布材料への含浸後、硬化残存する固形分(主剤+硬化剤)を樹脂固形分、また高含浸性強化剤の全体量に対して含まれる樹脂固形分を樹脂固形分率と呼ぶ。高含浸性強化剤の成分とその機能を表-1に示す。

(2) 被塗布材料

被塗布材料として内部まで均一な強度を期待できるセメントペースト供試体を作成した。調合は劣化した多孔質材料の表層を想定して W/C が 0.9 のものとした。また供試体作成時に材料分離の低減のためにセルローズ系の増粘剤を使用した。高含浸性強化剤の含浸を妨げる可能性があったため、供試体を硬化後に 400°C に加熱することで増粘剤の除去を行った。

2.2 実験要因と塗布回数

表-2 に示すように、実験要因として高含浸性強化剤の樹脂固形分率と塗布回数を取り上げた。樹脂固形分率 10, 20, 40, 80% について、刷毛により、表中の塗布回数だけ繰り返し塗布を行った。樹脂固形分率が大きい調合に、含浸が不可能となる塗布回数が存在したため、実際の塗布はそれ以下の回数で行った。

2.3 試験方法

小径ドリル型削孔試験機<sup>2)</sup>により、削孔抵抗を測定した。本測定方法はドリルで供試体を削孔し、削孔速度から深さ方向の強度分布を推定しようとするものである。最大削孔深さは 10mm とした。

表-1 高含浸性強化剤の成分とその機能

成分		機能
樹脂固形分	主材	強度の向上
	硬化剤	硬化および弾性の付与
添加剤		強度および浸透性の制御

表-2 実験の要因と水準

樹脂固形分率 (wt.%)	塗布回数(回)										最大塗布回数 (回)
	2	4	6	8	10	15	25	40	60	100	
10	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
20	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
40	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	34
80	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	4

[注] ○: 塗布可能 ×: 塗布不可能

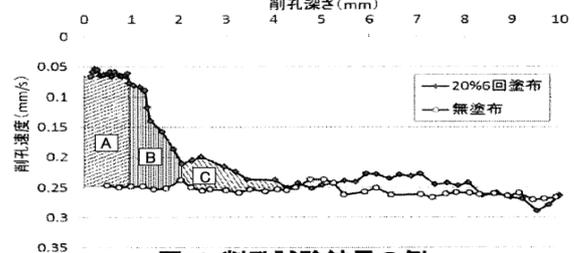


図-1 削孔試験結果の例

3 実験結果と考察

図-1 に削孔試験結果の例を示す。縦軸は削孔速度で、値が小さい(上側)ほど速度が遅く、削孔抵抗が大きいことを示す。本報では削孔抵抗を強度と見なすこととする。同図には、塗布および無塗布供試体の削孔試験結果を併示した。無塗布供試体の削孔速度は、供試体の表面から内部まで 0.25mm/s 前後の一定値であり、これが供試体元来の削孔抵抗であると考えられる。これに対して高含浸性強化剤を塗布した供試体は、表面から 1mm の深さまで削孔速度が 0.06mm/s であり(後述 A 部)、1mm から 4mm の深さにかけて削孔速度は漸増し(後述 B, C 部)、4mm 以深では 0.25 mm/s 前後となっている。このことから高含浸性強化剤の塗布により、表面から 4mm の深さまで強化されたと判断できる。この強化部分は、強化状況の違いから、同図中の斜線部で示した A, B, C の3つの領域に分割できる。領域 A は樹脂が十分に含浸し、対象とする被塗布体に対して高含浸性強化剤が強化できる上限まで達している部分。領域 B は深さと共に含浸量が減少し、強度に勾配が生じている部分。領域 C は含浸はしているものの、含浸量は微量であり、強度改善も微小な部分である。

上記で示した改質効果は、樹脂固形分率と塗布回数によって異なる。図-2(a)~(d)は、各供試体への削孔試験結果を平均化して樹脂固形分率ごとに表したもので、図

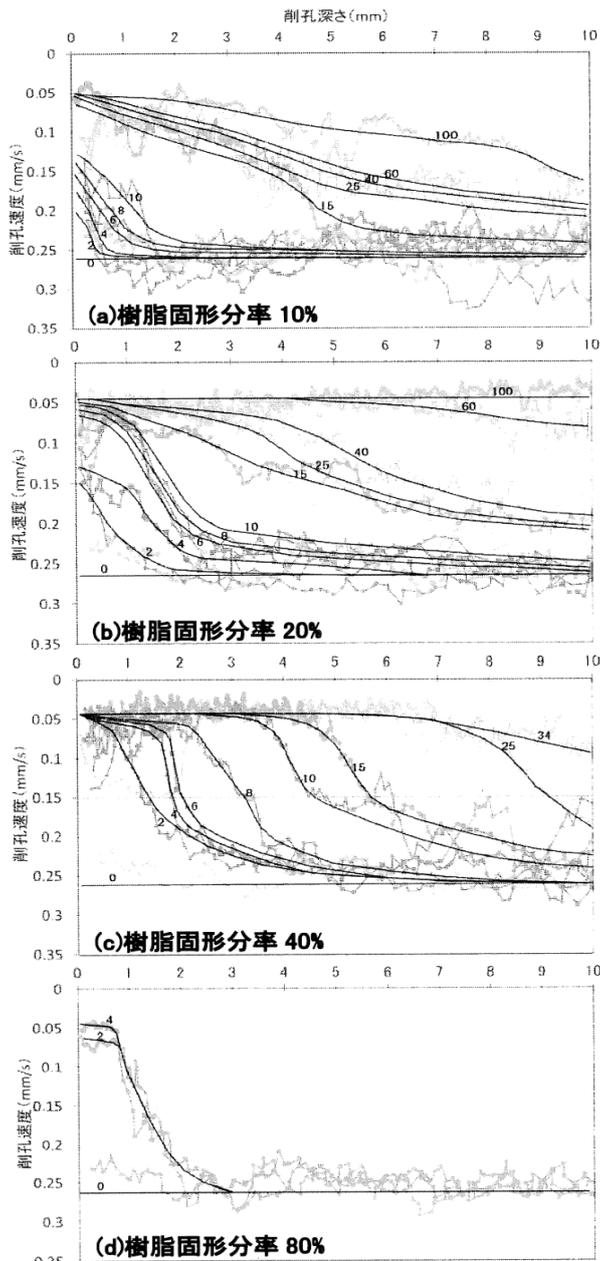


図-2 削孔試験結果(図中の数字は塗布回数を示す)

中の数字は塗布回数を表す。図-2(a)より樹脂固形分率 10%では、塗布回数が少ない場合は、領域 A は存在せず、領域 B も少なく、含浸強化部分のほとんどが領域 C である。塗布回数を増やしていくと領域 B が拡大し、領域 C の強度も増加するため両領域の境界は曖昧となる。ただし領域 A は僅かであり深くまで強化することはできない。

図-2(b)に示す樹脂固形分率 20%では、樹脂固形分率 10%と同様の傾向であるが、塗布回数が増えると領域 B の部分が領域 A となり、含浸強化が内部に進行している。

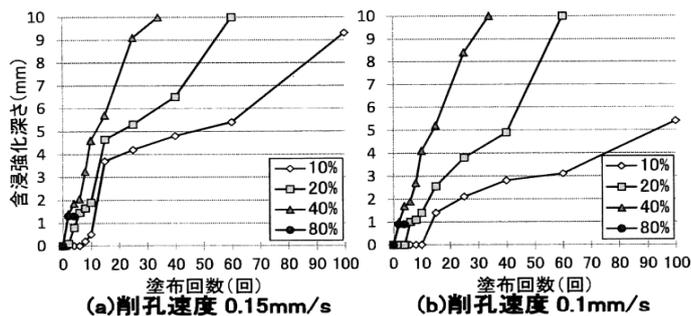


図-3 含浸深さと塗布回数の関係

図-2(c)に示す樹脂固形分率 40%では、少ない塗布回数でも表層は領域 A となり、塗布を重ねるとさらに深くまで領域 A が増加していく。すなわち、少ない塗布回数でも比較的深くまで強化することができる。

図-2(d)に示す樹脂固形分率 80%では、少ない塗布回数で極く表層(深さ約 1mm まで)は領域 A となるが、塗布回数を増してもこれ以上はほとんど含浸しない。

以上の結果より、樹脂固形分率が高いほど領域 A の割合が大きくなるものの、含浸深さは、浅くなる。また塗布回数が多いほど領域 A が拡大し、領域 B, C では強度が緩やかに上昇していく。

図-3 に、目標強度としての削孔速度を設定し、これに達した場合の含浸強化深さと塗布回数の関係を示す。図-3(a)は、目標強度として削孔速度が最大値の概ね半分となる 0.15mm/s とした場合、図-3(b)は、0.1mm/s とした場合である。なお、含浸強化深さが 10mm 以上のものもあったが、ここでは 10mm までを表示している。

図-3(a)によれば、目標削孔速度を 0.15mm/s と設定した場合、どの割合であっても、塗布回数が増えると共に、含浸強化深さは大きくなるが、樹脂固形分率が小さいほど、同じ含浸強化深さを得るための塗布回数は多くなる。図-3(a)と(b)を比較すると、設定する削孔速度が遅いほど、樹脂固形分率による影響は顕著となり、同じ含浸強化深さを得るための塗布回数は多くなる。

目標とする削孔速度の設定、および被塗布体の種類や状態などによって上記の関係は変化するが、条件に応じて今回と同様の試験および評価を行うことにより、目標とする強度を発現するための高含浸性強化剤の割合および塗布回数の選定が可能となると考えられる。

【謝辞】

本研究費の一部は、国土交通省建設技術研究開発助成金(研究代表者: 畑中重光)によった。付記して謝意を表す。

【参考文献】

- 金子光二, 長谷川哲也, 左口泰平, 畑中重光, 三島直生: 含浸強化剤の樹脂固形分率および塗布回数に及ぼす影響に関する基礎的研究(セメントペースト硬化体を対象とした検証), 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), pp.163-164, 2010
- 長谷川哲也, 畑中重光, 三島直生, 本田千絵美, 谷川恭雄: 小径ドリル型削孔試験機によるセメントペーストの圧縮強度推定, 日本建築学会構造系論文集, 第 621 号, 1-8, 2007 年 11 月

\*1 三重大学大学院工学研究科・大学院生  
 \*2 日本診断設計株式会社・博士(工学)  
 \*3 三重大学大学院工学研究科・教授・工博  
 \*4 三重大学大学院工学研究科・准教授・博士(工学)

\*1 Graduate Student, Graduate School of Eng., Mie Univ.  
 \*2 Japan Architectural Examination Design Office, Dr. Eng.  
 \*3 Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.  
 \*4 Assoc. Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.