

漆喰仕上げ土壁建築における漆喰面剥離現象の検証と 簡易補修技術の提案

VERIFICATION OF PLASTER PEELING AND PROPOSAL OF SIMPLE REPAIR TECHNIQUE FOR PLASTER FINISHED EARTH WALL CONSTRUCTION

土田健太
Kenta TSUCHIDA

Stucco peeling degradation is seen in many traditional wall constructions. Therefore, we studied a simple repair method using stucco thin plate. Focusing on expansion distortion due to water absorption and shrinkage strain due to drying as a cause of stucco peeling deterioration. It was confirmed that the distortion of the end portion of the wall surface was large and the strain was liable to remain. In order to suppress the strain, we made a thin stucco sheet with mesh. We conducted various tests to propose simple repair method using stucco sheet

Keywords : Plaster, Peeling deterioration, Simple repair, Distortion
漆喰, 剥離劣化, 簡易補修, ひずみ

1 はじめに

1. 1 漆喰土物建築がおかれる現状

伝統的工法により作成された土蔵や塀などの漆喰仕上土壁建築において、「浮き」と呼ばれる仕上層の面剥離現象は多くみられる(写真 1)。漆喰層が剥がれ落ち、中塗り土が露出した状態では、風雨による浸食を防ぐことが難しく、劣化は進む一方である。漆喰の「浮き」に対する補修方法は少なからず存在するが、写真のように、漆喰層が剥落してしまっている劣化に対しては、全面塗り替え以外に補修工法の選択肢がないのが現状である。したがって、建築物の維持保全に向けて、漆喰層の剥離・剥落要因の特定、及び全面塗り替え以外の補修工法が必要であると考え。

そこで本研究では、漆喰仕上層の水分移動にともなうひずみに着目し、剥離現象の検証を行う。また、漆喰薄板を用いた面補修工法の開発を念頭に、補修用漆喰シートの作成及び各種試験を通して、その有用性や耐久性について検証した。

1. 2 研究の流れ

研究 1 では、漆喰の補修に関する調査を、既往研究及び、既存補修工法の調査を、文献を通して行った。研究 2 では、2013 年に本研究室で作成した実大漆喰仕上土壁試験体を用いて、吸水や乾燥を行い、漆喰仕上層での水分移動に伴うひずみ変化の測定を行った。また、微破壊試験や破壊試験を通して、漆喰の付着状態及び、内部劣化状態を測定し、吸水ひずみとの関係を考察する。研究 3 では、漆喰そのものの物性を評価するために、漆喰薄板を作成し、吸水や乾燥に伴うひずみ変化の測定を行った。また同時に、部分補修工法の開発に向け、グラスファイバーやポリプロピレンメッシュを伏せこんだ漆喰薄板試験体も作成し、各種物性の調査を行った。研究 4 では、以上研究結果を踏まえ、漆喰薄板を用いた簡易補修を行い、ひずみの測定や、微破壊非破壊試験等の試験を通して、材料や工法の検証を行った。



写真 1 漆喰剥離劣化

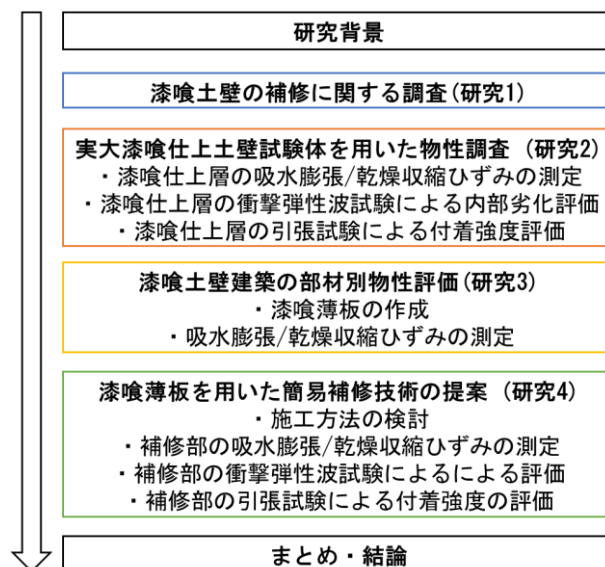


図 1 研究の流れ

2 実験概要

表 1 に使用材料を、表 2 に実験の要因と水準を示す。本研究では、漆喰層の水分移動によるひずみに着目して、剥離劣化要因の推定を行った。そこで、本研究室にて 2013 年に作成された実大土壁試験体を用いて、各種実験を行い、水分移動とひずみの関係を実験により明らかにしていった。吸水試験では、ひずみゲージ(PL-60)を仕上げ漆喰表面に装着し、一定回数吸水を行った際のひずみをデータロガーにて測定した。使用した霧吹きは、1 プッシュ=約 0.18ml であるが、本研究では主に、噴霧回数を使用して結果を示している。また、吸水終了後も測定を続け、乾燥期間でのひずみ変化を時間ごとに測定を行った。微破壊試験では、弾性波速度比測定器を用いて HLD 値の測定を行った。漆喰仕上表面の微破壊試験を通して、内部劣化の状態を評価を行った。

研究 3 にて作成する漆喰薄板は、寸法 100×100mm、作成時の型枠の厚みを 1mm~4mm を一定とした。漆喰の調合は、実大土壁試験体で使用されたものと同様の仕様とした。また、漆喰仕上の剥離剥落に対する簡便な補修工法の提案に向け、グラスファバー(GF)やポリプロピレン(PP)メッシュを伏せこんだ漆喰薄板の作成も行った。

研究 2、研究 3 を通して得られた結果を踏まえ、研究 4 にて補修を行い、各種試験にてその妥当性を検証し、簡易補修技術の提案につなげる。

3 漆喰剥離に関する調査(研究 1)

3. 1 漆喰剥離の実態

漆喰土壁建築において、漆喰仕上層の剥離劣化は多くみられる。渡邊ら¹⁾の行った、秋田県横手市増田町にある 1600 年代に竣工された土蔵の調査でも、漆喰・中塗り層の剥離剥落が確認されている。この調査結果が示すように、壁面に対して半分程度が剥離し浮いた状態のまま、放置されている建築は多いと考えられる。

しかし、漆喰仕上剥離・剥落に対する補修方法の選択肢は多いとは言えない。表 3 に示すように、漆喰の「浮き」に対する補修工法は難しいながらもいくつかの選択肢があるのに対して、剥落してしまった箇所をどのように補修するのかという提案はされていない。漆喰が剥落し、土壁が露出した状態では雨や風などの外部影響により土壁劣化がさらに進行してしまう。こうした劣化の進行を抑え、建物の長期維持を行っていくために、剥落した箇所の部分的な補修が必要であると考ええる。

4 実大漆喰仕上土壁試験体を用いた物性調査(研究 2)

4. 1 実大試験体の概要

表 4 に実大漆喰仕上土壁試験体の概要を示す。本試験体は、錦見勇ら²⁾が 2013 年に作成した漆喰土壁試験体であり、雨風や直射日光の当たらない屋内に保管されていたものである。寸法は 1m×1m であり、10cm 角のグリッドで区分けをしており、試験箇所を示す際は、アルファベットと数字の行列で(A1, G4 など)を表す。また、既に他の実験も行われており、漆喰が剥離した箇所や、荒壁土層まで達する深さの穴が存在するが、そうした箇所を除いた既存部部にて各種試験を行った。試験箇所以外の目立った浮きや剥離の症状は見られず、経年の劣化は進んでいると考えられるが、外観からは劣化の確認はできない。

表 1 使用材料

分類	項目		内容
研究 2 研究 4	実大土壁試験体		2013 年作成(表 4)
研究 3 研究 4	漆喰	水	実大土壁試験体(研究 2)と 同様の調合で作成
		消石灰	
		スサ	
		ノリ	
	PP メッシュ		ポリプロピレンメッシュ
	GF メッシュ		グラスファイバーメッシュ
	補修用漆喰		市販の既調合漆喰
漆喰薄板 シリーズ	(N)	漆喰のみ	
	(GF)	GF メッシュ伏せこみ	
	(PP)	PP メッシュ伏せこみ	

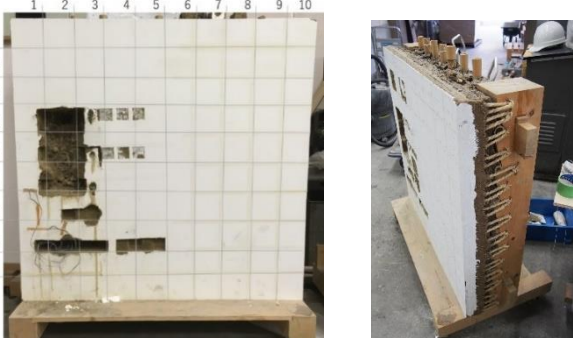
表 2 実験の要因と水準

項目	実験要因	水準	
研究 1	文献調査	書籍、論文	
		同一霧吹きで一定	
研究 2	ひずみ測定	ひずみゲージ(PL-60)で一定	
研究 4	衝撃弾性波	弾性波速度比(HLD 値)	
	付着強度試験	付着強度(N/mm ²)	
研究 3	漆喰薄板作成	寸法	10cm×10cm
		厚さ	1mm-4mm(型枠)
		仕様	伏せこみなし(N) GF メッシュ伏せこみ(GF) PP メッシュ伏せこみ(PP)
	吸水	同一霧吹きで一定	
	ひずみ測定	ひずみゲージ(PL-60)で一定	

表 3 漆喰補修に関する報告

補修の仕方・剥離に関して (佐藤嘉一郎:土壁・左官の仕事と技術,学芸出版社,p.131,2001.2)
いわゆる「浮き」であるから、隙間への充填か、浮きを押さえるかのどちらかであるが、土壁に充填することは非常に難しい。浮きが少しだけならば、接着剤を医療用の注射器などで注入し、上から押さえつけてドライヤーで急速に乾燥させると、うまくつくこともある。面積が多い場合にははげこを使用するとよいが、釘を打ち込むとその振動で剥離してしまうこともあるので、木ねじを使って貫板などにゆっくりねじ込み、少し長めの麻苧を巻き付けて壁を抑える。麻苧の替りに麻布・寒冷紗・ガラス繊維のメッシュを使う方法もある。

表 4 実大漆喰仕上土壁試験体の概要

	
項目	構成材量
躯体	杉
木舞	さらし竹(直径 25~30cm)
荒壁土	しめ縄 (荒木田土:土)=405:11.5:50(kg)
大むら直し土	(荒木田土:砂:ひだしす:水) =53.8:44.9:1.4:17.2(kg)
小むら直し土	(荒木田土:砂:ひだしす:ふるった藁:水) =26.9:23.1:9.1:6:8.6(kg)
漆喰仕上塗り	(貝灰:石灰:シラガ:サラン:水) =8.23:20.65:0.85:1.28:36(kg)

4. 2 部位によるひずみ差の確認

漆喰仕上層での水分移動に伴うひずみの変化を測定するために、実大試験体の複数個所にひずみゲージ(PL-60)を取り付け、霧吹きによる吸水をおこない、ひずみの変化を測定した。図2に各領域にの10回噴霧した際の最大ひずみの行列平均を示す。結果から、a)の青点線で囲まれた試験体上端部=A行のひずみが最も大きいという結果が確認できた。対して、最下段部のJ行のひずみは比較的小さいことから、同一壁面内であっても場所によりひずみ易い部分と、ひずみ難い部分があることが指摘できる。そして、ひずみ易い部分は壁面周辺部に集中していることが分かった。これは、実際の建築物において、周辺部での漆喰剥離劣化が目立つことと重なる。

4. 3 同一行内でのひずみ

図3、図4に先ほどの結果のうち最も平均ひずみの大きかったA行の水分移動に伴うひずみの変化を示す。噴霧回数10回での吸水ひずみを見ると、実大試験体の最上部両端のA-1とA-10の吸水膨張ひずみが他の部分に比べて特に大きいことが確認できる。A-1とA-10は他の部分と比べ、二辺が解放されていることから、左右上下の拘束力が他の部分より小さいことが結果に影響していると考えられる。実際の建築で見られることの多い端部での剥離劣化も、この実験結果が示す通り、拘束力の比較的小さい端部での漆喰のひずみが大きいことが要因である可能性が指摘できる。図4の乾燥に伴うひずみ変化では、全体の傾向として、一定時間まで緩やかに膨張を続けることが確認できた。しかし、端部であるA-1は他の部分と比較すると急激に膨張を続け、その後収縮している様子が確認できる。12Hを超えたあたりから、すべての箇所で収縮していくが、乾燥時間36Hでもひずみがゼロに戻らないことが確認できる。したがって、この結果からは、ひずみが残留している可能性が指摘できる。そして、この残留ひずみは特に端部のA-1で大きいという結果となった。

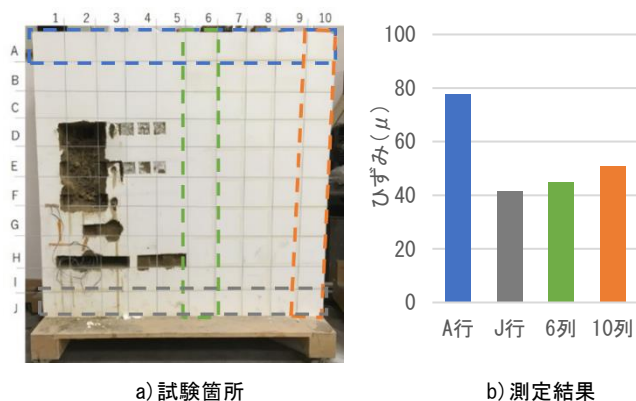
実際の建物においても、同様の現象は起きると考えられる。雨などの影響で漆喰層に水分移動が起きた場合、膨張収縮の幅がもっとも大きく表れるのは壁面端部であることが予想され、繰り返し膨張収縮を重ねることで、漆喰が脆弱化していくと考えられる。したがって、漆喰剥離のリスクは壁面端部で大きいことが予想される。

4. 4 中塗土層のひずみとの比較

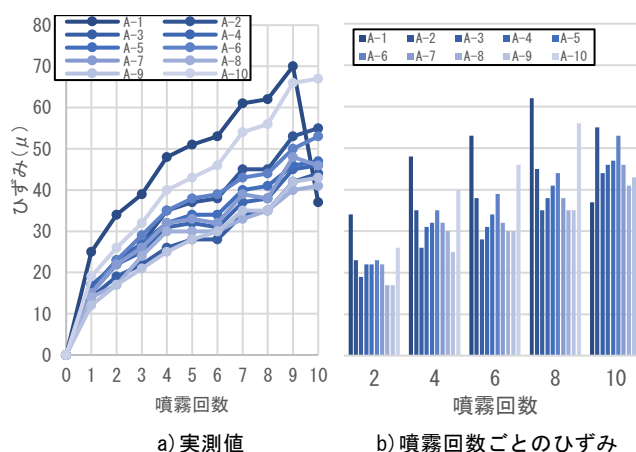
図5に中塗土層の水分移動に伴うひずみを示す。漆喰層と同様に、中塗土層にひずみゲージ(PL-60)を装着し測定を行った。

比較対象としたA-1漆喰仕上層のひずみと比べ、吸水にともなう中塗土層のひずみ変化は緩やかに上昇することが確認できる。一方で、乾燥に伴う収縮方向へのひずみ変化は大きく、乾燥時間720分を超えたあたりから、マイナスへ変化している。同じ乾燥時間での漆喰のひずみと比較すると、ひずみの差が開く一方であることが確認できる。この中塗土層のひずみ変化は、水分を含んだことによる塑性変化の可能性が考えられる。

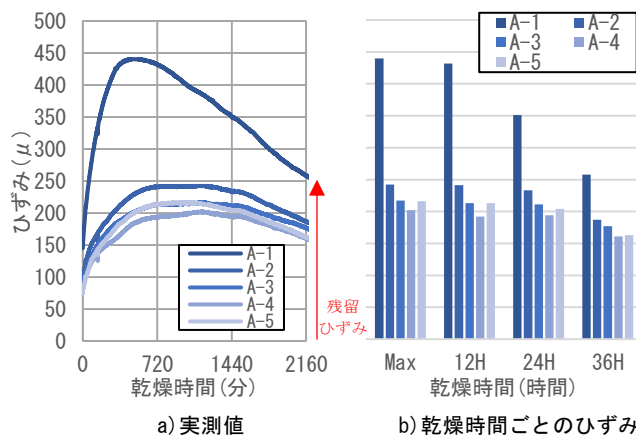
中塗土層が示すこのひずみ変化は、漆喰仕上に付着した水分が、中塗土層に浸透してきた場合にも起きる可能性があると考えられる。そして、中塗土層が膨張収縮を繰り返すことで内部劣化が進むと同時に、漆喰仕上面とのひずみ差も開き、剥離へとつながると予想できる。仕上層と中塗層で素材が異なることに起因する、水分付着時のひずみ差が剥離劣化の原因となる可能性が指摘できる。



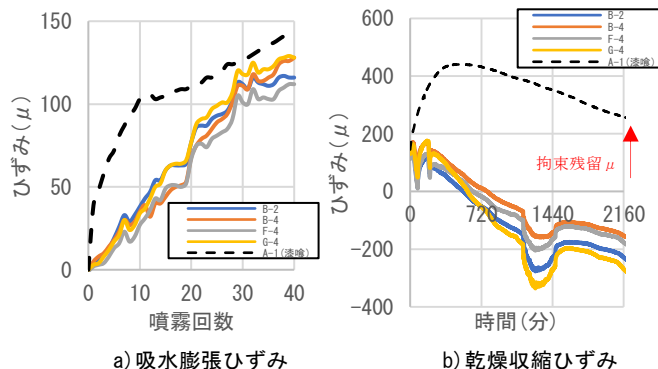
a) 試験箇所
b) 測定結果
図2 10回噴霧吸水時の最大ひずみ(平均)



a) 実測値
b) 噴霧回数ごとのひずみ
図3 A行での吸水膨張ひずみ結果



a) 実測値
b) 乾燥時間ごとのひずみ
図4 A行での乾燥収縮ひずみ



a) 吸水膨張ひずみ
b) 乾燥収縮ひずみ
図5 中塗土層の水分移動に伴うひずみ

4. 5 微破壊試験による内部劣化の推定

図 6 に衝撃弾性波試験の結果を示す。実大試験体を 2500 メッシュで HLD 値の測定を行った。強度分布図が示す通り、上端部のエネルギー吸収率が高いことが確認できる。したがって、実大試験体の上端部は内部空隙が多く発生していると考えられる。しかし、それが漆喰の浮きなのか、それとも内部の土壁の空隙なのかは HLD 値だけでは確定できない。なお、次に示す付着強度及び破断面の面積率から、漆喰の浮きは発生していないという結果が得られた。したがって、HLD 強度分布により観察される上端部のエネルギー吸収率の高さは、内部の土壁が疎に劣化してきていることを表しているものと考えられる。

4. 6 漆喰の付着強度

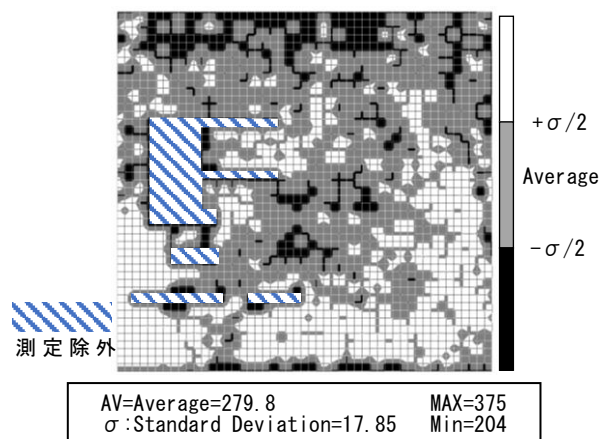
実大試験体の A1～5、B1～5、C1～5 の領域で、漆喰仕上層の引張試験を行った。漆喰仕上表面にエポキシ樹脂接着剤を用いて治具を接着し、デジタルフォースゲージ及び、テクノテスターにて引張試験を行った。図 7 に漆喰の付着強度を示す。同行で比較すると、試験体周辺部になるにつれて、付着強度が小さくなる傾向にあることが確認できる。この結果は、吸水膨張や乾燥収縮ひずみの結果と同様に、周辺部という環境が影響していると考えられる。また、次の破断面の面積率測定でも言及するが、試験箇所が多く、漆喰と土壁の界面破壊ではなく、土壁内部での凝集破壊であった。先ほどの HLD 値に照らし合わせると、今回の実大試験体において、微破壊試験によるエネルギー吸収率の高い箇所は漆喰の「浮き」ではなく、土壁内部の劣化による空隙増加である可能性が指摘できる。したがって、漆喰の剥離劣化の要因として、漆喰内部の中塗土層の劣化が、大きな影響を与えていることが考えられる。

4. 7 引張判断面の面積率測定

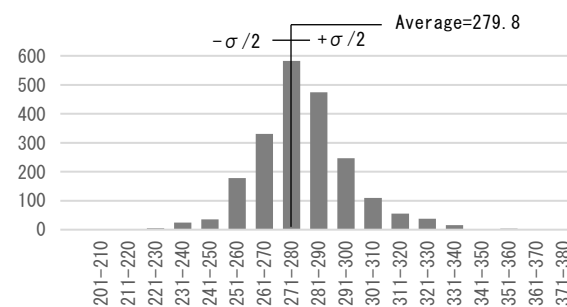
図 8 に漆喰仕上層の引張試験後破断面の面積率測定の結果を示す。漆喰仕上に治具を装着し引張試験を行い、漆喰側に付着している破断面を漆喰側は断面、土壁側の破断面のことを土壁は断面とする。両破断面のうち、漆喰の部分だけの面積(赤)を測定し、土と漆喰合わせて 100%の面積となるように割合を算出した。破断面の様子を見ると、漆喰部分(赤)が漆喰は断面と土壁は断面で対称になっていることが確認できる。そして、c)の各素材面積率を見ても、両破断面で凡 80%以上を土が占めていることが確認できる。

4. 8 劣化要因の推定

以上の結果から、引張試験の際に、土壁内部での凝集破壊が起きていることが確認できる。したがって、本試験体では、付着強度の低下は漆喰層の「浮き」を示しているのではなく、内部土壁の劣化が影響したものであると考えられる。そもそも漆喰は、中塗土をはじめとした「土」素材を雨や風などの影響から守るために塗られている。したがって、漆喰層によって中塗土は守られているのだが、今回の結果から、経年により、漆喰仕上内部であっても徐々に劣化が進むことが考えられる。内部劣化脳要因としては、先ほど測定した吸水や膨張に伴うひずみ変化である。漆喰を通して浸透してきた水分が中塗土層に到着することで、膨張収縮、そして変形していき、漆喰層とのひずみ差が広がっていくと同時に、土壁自身の内部拘束力も弱まっていくものと考えられる。したがって、剥離劣化の確認できる漆喰仕上土壁建築においては、まず、中塗土層の改質など何らかの補修を行ってから仕上げに取り掛かる必要があると言える。



a) 機械インピーダンスによる強度分布図



b) HLD 値の度数分布

図 6 衝撃弾性波試験結果

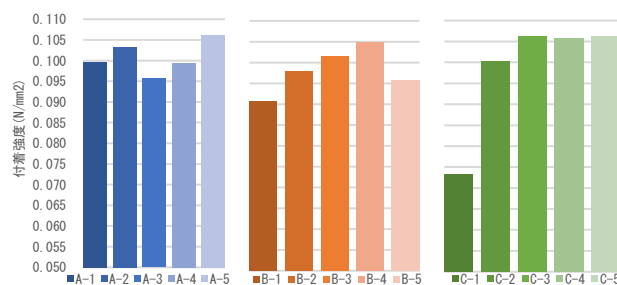
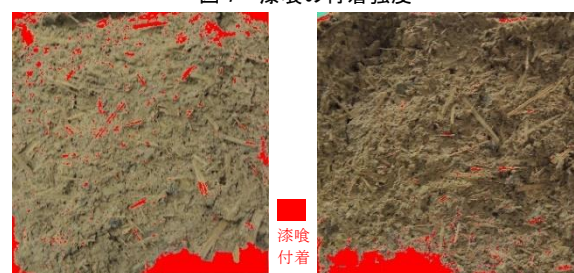
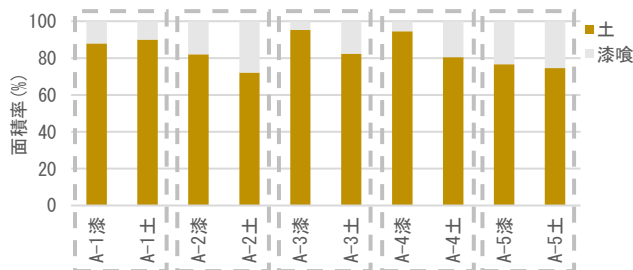


図 7 漆喰の付着強度



a) 漆喰側破断面

b) 土壁側破断面



c) 破断面の各素材面積率

図 8 漆喰仕上層引張試験結果

5 部材別物性評価(研究3)

5.1 漆喰薄板試験体の作成

写真2に本研究で作製した漆喰薄板を示す。厚さ5mmのMDFボードを下地とし、厚さ1mm～4mmの木枠を設け、左官鏝で塗り込んで10cm×10cmの漆喰薄板試験体を作成した。また、簡易補修技術の提案に向けて、PPメッシュ、GFメッシュを伏せこんだ試験体も同時に作成した。面材として、一体性を持った補修シートを作成するために、各種メッシュを伏せこんだ。作製した漆喰薄板の記号及び、平均の厚みと仕様を表5に示す。以上のシリーズをもって、各種試験を行い、実大試験での結果との比較を行う。

5.2 漆喰の厚みと吸水膨張/乾燥収縮ひずみの関係

図9に伏せこみなしの漆喰薄板を用いた吸水試験での、乾燥収縮ひずみの結果を示す。まず、全体の傾向として、実大試験体の仕上げ漆喰に比べて、漆喰薄板試験体の方が、ひずみが大きいことが確認できる。これは、漆喰薄板が土壁による拘束力が働かない状態で吸水しているからだと考えられる。乾燥期間では、先ほどの実大試験同様、しばらくのは膨張を続けることが確認できる。b)に示す通り、最大ひずみ(MAX)の大きさは4(N)以外は、同様の大きさまで上昇していることが確認できる。そして、720分を超えたあたりから乾燥収縮が始まり、すべてのシリーズにおいて μ の値が減少していく。しかし、最も薄い試験体である1(N)シリーズは、他のシリーズに比べ、残留ひずみが大きい傾向にあることが確認できる。

5.3 メッシュによるひずみ抑制

図10にGFメッシュとPPメッシュを伏せこんだ試験体と、伏せこみなし(N)の乾燥収縮ひずみ試験の結果を示す。先ほどの結果同様、メッシュ伏せこみのない1(N)シリーズは、ひずみが残留することが確認できる。一方で、GFメッシュを伏せこんだシリーズ1(GF)とPPメッシュを伏せこんだシリーズ1(PP)では、残留ひずみが大幅に小さくなっていることが確認できる。したがって、メッシュを伏せこむことで、ひずみ抑制効果が期待できることが確認できた。また、GFとPPではGFの方がひずみ抑制効果が大きいのことも確認できた。

5.4 実大試験体との比較

図11に実大試験体漆喰と漆喰薄板のひずみ比較を示す。中塗土層に拘束されていない1(N)のひずみは特に大きい値を示している。そして、緩やかに乾燥収縮をしていくものの、ひずみの残留が大きいことが確認できる。実大試験体のひずみも徐々に減少傾向を示すが、乾燥時間36Hでも乾燥ひずみが確認できる。一方で、メッシュを伏せこんだ試験体1(GF)や1(PP)の残留ひずみは低い値を示している。

5.5 メッシュ伏せこみの効果と剥離劣化進行

以上の結果より、メッシュを伏せこむことにより、ひずみ抑制効果が期待できることを確認した。また、漆喰薄板のひずみが、実大試験体に比べて非常に大きな値を示すことから、実大試験体での漆喰仕上は、中塗土による拘束力が働いていることも確認できた。そして、「浮き」が発生した際には、この土壁による拘束力がなくなるために、浮きのない部分に比べひずみが大きく表れることで、更なる剥離劣化を助長するという可能性が考えらる。



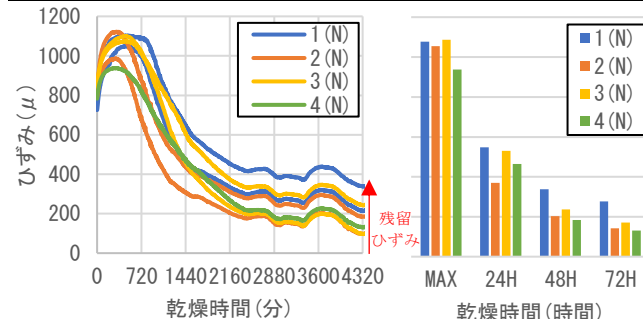
a) 試験体外観

b) 測定風景

写真2 漆喰薄板関連

表5 漆喰薄板試験体の厚みと仕様

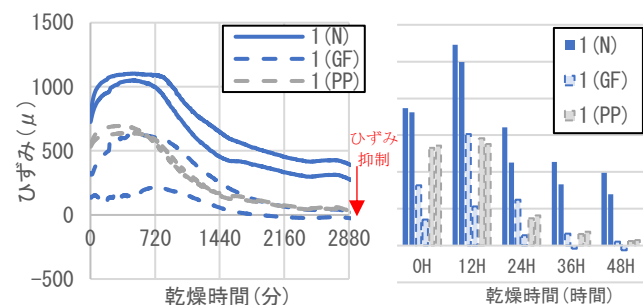
記号	型枠(mm)	平均厚み(mm)	仕様
1(N)	1	2.11	漆喰のみ
1(GF)		30.4	GF伏せこみ
1(PP)		2.88	PP伏せこみ
2(N)	2	3.02	漆喰のみ
2(GF)		3.89	GF伏せこみ
3(N)	3	3.85	漆喰のみ
3(GF)		4.17	GF伏せこみ
4(N)	4	5.53	漆喰のみ
4(GF)		6.92	GF伏せこみ



a) 実測値

b) 各乾燥時間でのひずみ

図9 乾燥収縮ひずみと漆喰厚みの関係



a) 実測値

b) 各乾燥時間でのひずみ

図10 メッシュのひずみ抑制効果(乾燥収縮)

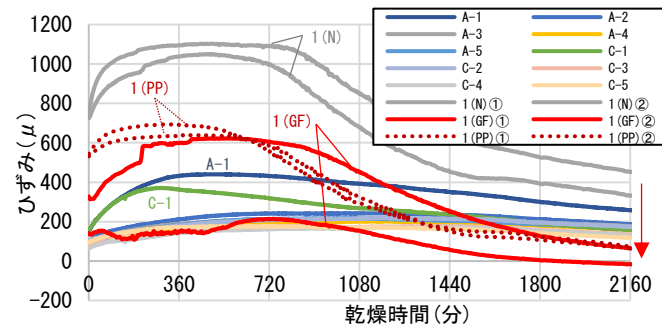


図11 実大試験体漆喰と漆喰薄板のひずみ比較

6 漆喰薄板を用いた簡易補修技術の提案(研究 4)

6. 1 補修工法の検討

写真 3 に漆喰薄板による補修の様子を示す。使用したのは、メッシュ伏せこみのない 1(N)、グラスファイバーメッシュを伏せこんだ 1(GF)、そしてポリプロピレンメッシュを伏せこんだ 1(PP)である。剥離劣化を再現した 10×10cm の中塗り土露出部分を作成し、そこに同様の寸法の漆喰薄板を張り付けて補修を行った。貼り付けの際には、市販の既調合漆喰を用いた。

6. 2 補修箇所と既存部のひずみ差

図 12 に補修部分とその周辺の吸水膨張/乾燥収縮ひずみを示す。点線で示した B-2, B-4 が今回補修した箇所である。点線で示した補修箇所の大幅なひずみ抑制効果が確認できる。しかし、補修部分とその周辺既存部とのひずみ差が開くことで、目地部分の隙間が大きくなっていくことが予想される。乾燥収縮ひずみにおいてもメッシュの効果は確認できる。

6. 3 補修箇所の付着状態

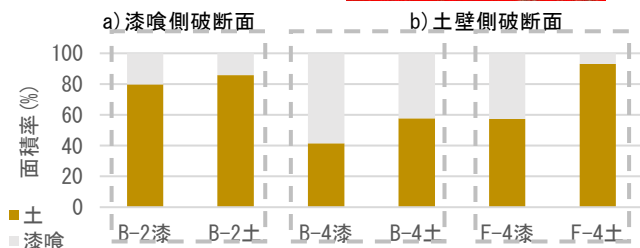
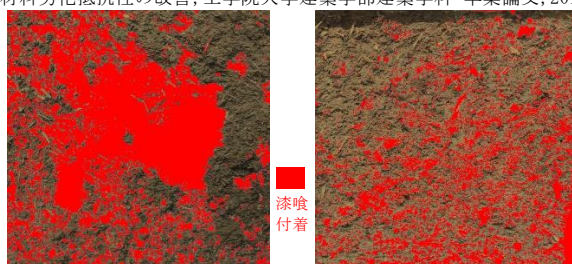
図 13 に付着強度試験を行った際の破断面の面積率測定結果、図 14 に補修部の付着強度を示す。漆喰側は断面に漆喰付着の割合が多いことから、界面破壊を起こしていることが確認できる。したがって、付着強度も既存部分に比べ低下している。接着の素材や工法の検討次第で、改善可能性はあると考える。

7 まとめ

剥離劣化した漆喰建築の部分的補修方法の検討を行った。実大試験体上端部において、水分移動のひずみが顕著であることが確認できた。また、中塗り土が吸水により変形することから、漆喰剥離劣化の要因であることが考えられる。メッシュを伏せこむことでひずみを抑制することが可能であるが、部分補修での付着工法に課題が残る結果となった。

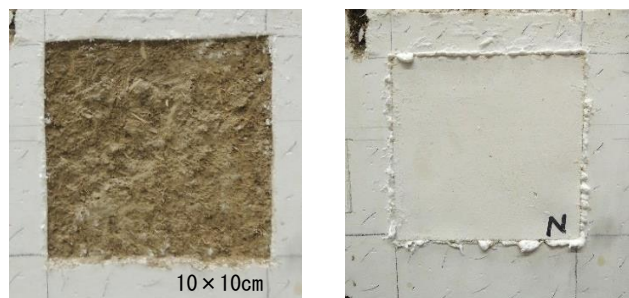
参考文献

- 1) 渡邊桃子:土蔵建築物の左官壁に対する劣化・剥落の補修工法と維持保全手法, 工学院大学建築学部建築学科 卒業論文, 2016
- 2) 錦見勇:伝統的建築物の左官壁に対する浸透性アクリル樹脂を用いた補修と材料劣化抵抗性の改善, 工学院大学建築学部建築学科 卒業論文, 2015



c) 破断面の各素材面積率

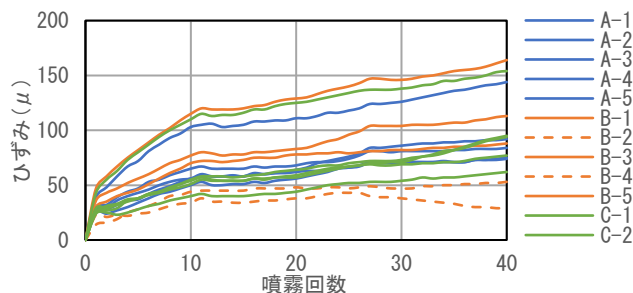
図 13 補修部分の付着面積測定



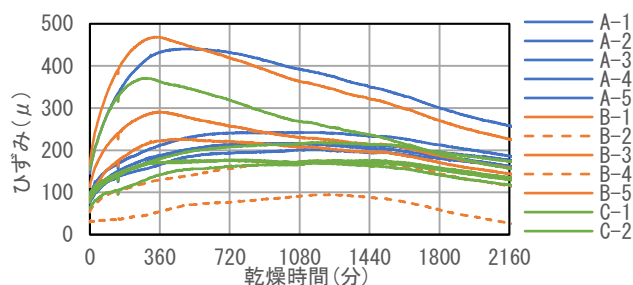
b) 漆喰剥離部

c) 補修後

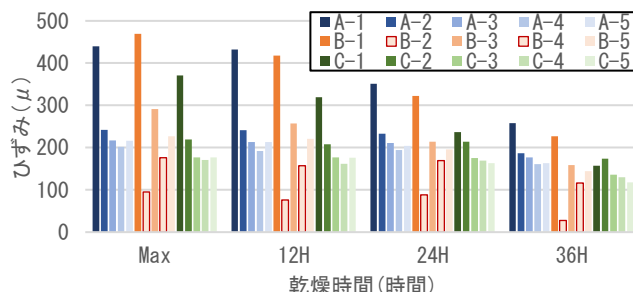
写真 3 漆喰薄板による補修



a) 吸水膨張ひずみ

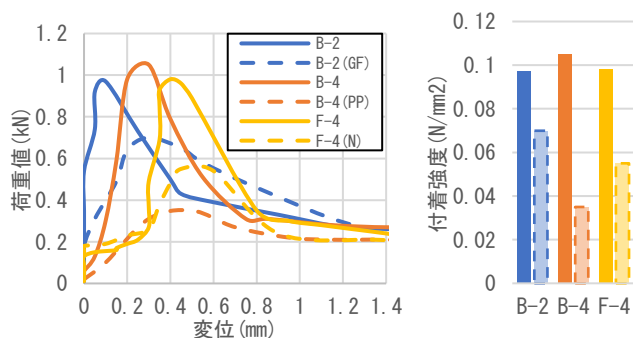


b) 乾燥収縮ひずみ



c) 時間別収縮ひずみ

図 12 補修部とその周辺部を含むひずみ



a) 実測値比較

b) 付着強度

図 14 補修部の引張試験結果