

高粘度液体による延焼抑制技術の漆塗り建材への適用性評価と原状回復技術の開発

DB19265 水野ちはる

1. はじめに

現在、初期消火に用いられる消火器として、粉末消火器、浸潤剤入り消火器または純水消火器が主流である。このうち粉末消火薬剤、浸潤剤入り消火薬剤は消火建物への汚損影響が大きく、重要文化財などへの設置には適していない。そこで文化財等の歴史的建造物の屋内火災の初期消火装置として、小型消火器の高粘度消火器(3L 型)の設置が検討されている。高粘度液体は粘土鉱物を含みチクソ性を有する。高粘度液体の主成分は水であるため、汚損リスクを大幅に軽減できる可能性があり、純水消火剤よりも優れた消火性能、延焼抑制効果を有しているといえる。本研究では、研究 1 で美術工芸における文化財建築に使用する漆塗試験体の塗装工程調査を行い、研究 2 で作製した漆塗試験体を用いて、高粘度液体による汚損程度を既存の消火薬剤の中で一番汚損性が低い純水消火薬剤と比較し漆塗に消火薬剤を塗布し、所定の乾燥処理後、汚損の程度を定量的に色彩値、光沢度により表面粗さ評価する

2. 実験概要

2.1 使用材料

表 1 に使用材料、表 2 に実験要因と水準を示す。檜板目材に漆塗りをし、表 5 の蟬色仕上げ工程により施し、文化財建造物に準じた漆塗りを作成する。左側45mmを健全部とし、右側45mmに消火薬剤 3 種各々を塗布し、純粋消火薬剤(w)、高粘度液体エチレングリコール無(b)、高粘度液体エチレングリコール有(a)による汚損の程度を比較する。試験体の表面状態に傷のない通常状態のものとメタルハイドランプ色促進耐光性試験によって屋外で半年劣化させた状態の試験体を用いて通常状態の屋内経年劣化を想定させた状態の時の汚損の程度についても比較する。研究 3 では高粘度液体エチレングリコール有を使用し除去方法を検討する。高粘度液体は水を含ませると除去できる可能性があるためガラス板を用いて拭き取り紙であるポリエステル紙とガーゼに水を含ませ水分負荷量を検討したうえで、試験体に塗布した高粘度液体エチレングリコール有を乾燥させた後に、拭き取り紙を乗せ、水を含ませ時間経過後に除去を行う。

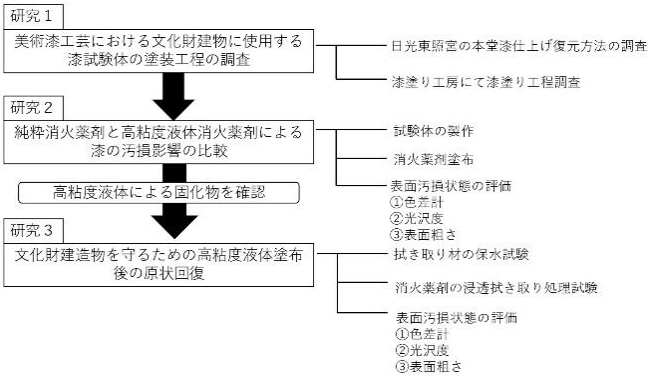


図 1 研究フロー

表 1 使用材料

項目	内容
研究 2・3	下地材
	檜板目(90mm×90mm×15mm)
	仕上材
	天然漆上・下地天然漆(中国産)
	消火薬剤
研究 3	純水消火薬剤(純水 95%、エタノール 5% (以下、「純水」と表記))
	高粘度液体(SA:2.25%、エチレングリコール 0%)
	高粘度液体(SA:2.25%、エチレングリコール 15%)
	試験基盤材
	保水試験用ガラス板(76mm×52mm×1.3mm)
研究 3	水
	純水
	拭き取り紙
	文化財仕様被着体接触部ポリエステル紙
	医療用ガーゼ(綿100%、タイプ I)

表 2 実験要因と水準

	要因	水準					
研究 2	試験体 処理状態	A 通常:表面に傷がなくきれいなもの B 劣化:表面に傷があり劣化しているもの					
	消火薬剤塗布薬剤	w:純水消火薬剤(純水 95%、エタノール 5%) b:高粘度液体(エチレングリコール無) e:高粘度液体(エチレングリコール有)					
	劣化試験体表面 処理方法	1:拭き取り 2:水あらい 3:水つけ保管ふき					
	ふき取り	p:被着体接触部ポリエステル紙のみ g:医療用ガーゼ(綿100%、タイプ I)のみ pg:被着体接触部ポリエステル紙と医療用ガーゼ g5:医療用ガーゼ 5 枚					
	乾燥時間	3 日・2 週間・1 か月					
	浸透時間	3 時間・6 時間・9 時間					
	恒温槽温湿度	温度 27 度、湿度 80%(2021 年 8 月の東京平均温湿度) 温度 5 度、湿度 57%(2021 年 8 月の東京平均温湿度)					
研究 3	A:通常			B:劣化			
	塗布 厚み	放置時間	置き 時間	塗布 厚み	放置時間	置き 時間	
	3.0mm	3 日	3 時間	3.0mm	3 日	3 時間	
			6 時間			6 時間	
			9 時間			9 時間	
		1 か月	3 時間		1 か月	3 時間	
			6 時間			6 時間	
			9 時間			9 時間	
	除去 方法	a:拭き取り階数 0 回 漆塗りの表面をこすらないようにし、ポリエステル紙とガーゼ ×5 枚取り除く b:拭き取り階数 1 回 A)作業後、50mm×30 mmに切ったガーゼ 5 枚をサンプル の上に乗せその上に面積 14 mm×37 mm、荷重 60.0gの金属 柱を乗せる。手で金属柱に 0.4 kg〜0.6 kgをかけながら、約 3 秒を目安にサンプル全体を拭き取るように移動させる。 c:拭き取れるまで A)B)の作業後、表面の状態を確認し、白濁膜が約 9 割除去 できれば終了する。除去できていなければガーゼを新しいも のと交換し、再度ふき取りを行う。白濁膜が約 9 割除去できる までふき取り作業を繰り返し、終了するまでの拭き取り回数を 記録する。※白濁膜が 9 割除去できていない場合でも 10 回 目のふき取りが終わった時点で終了する。					

表 3 本研究で用いた漆試験体の漆塗装工程

	基本工程	摘用	材料・工具	M 修理修繕工程				N新規漆工程		
				1 本直し	2 真揃き 合せ	3 揃き 合せ	4 上塗り 直し	1 肌色 仕上げ	2 立塗り	3 箔押し
0	現状	見取り・記録								
1	旧塗装掻き落とし	素地を傷めなぬ掻き落とし	前鉋、平鑿	○	○	○				
2	木地整備	素地の荒れを整える	砥石、サンドペーパー	○	○	○	○			
3	刻半彫り	干割れ、接合部を彫り込む	三角鑿	○	○	○		○	○	○
4	埋木、矢引木	欠損部に同質材を漆で接着	糊、生漆、木匱	○	○	○		○	○	○
5	木地固め	木地を生漆で含浸補強	生漆	○	○	○		○	○	○
6	木地固め払い	漆膜を荒らし漆の密着をよくする	サンドペーパー	○	○	○		○	○	○
7	刻半彫り	刻半彫り部分を充填	糊、生漆、木粉、麻細、竹匱	○	○	○		○	○	○
8	刻半揃え	刻半彫り平滑に整える	砥石、サンドペーパー	○	○	○		○	○	○
9	引込地	刻半彫りの肌を切粉を付けて整える	生漆、砥の粉、地の粉、木匱	○	○	○		○	○	○
10	引込地空砥ぎ	漆膜を荒らし漆の密着をよくする	砥石、サンドペーパー	○	○	○		○	○	○
11	地直し地付け	素地を平滑にするために地を付ける	生漆、自己の、糊、木匱	○	○	○		○	○	○
12	地空砥ぎ	漆膜を荒らし漆の密着をよくする	砥石、サンドペーパー	○	○	○		○	○	○
13	地直し地付け	木地を平滑にするために地を付ける	生漆、地の粉、糊、木匱	○	○	○		○	○	○
14	地空砥ぎ	漆膜を荒らし漆の密着をよくする	砥石、サンドペーパー	○	○	○		○	○	○
15	布着せ	麻布を張る	麻布、糊、生漆、木匱	○	○	○		○	○	○
16	布目揃え	布の境、布肌を整える	砥石、サンドペーパー、平鑿	○	○	○		○	○	○
17	布目揃り	布目の下地を揃り込む	生漆、地の粉、糊、木匱	○	○	○		○	○	○
18	布目揃り空研ぎ	漆膜を荒らし漆の密着をよくする	砥石、サンドペーパー	○	○	○		○	○	○
19	地付け	地を付ける	生漆、地の粉、糊、木匱	○	○	○		○	○	○
20	地空砥ぎ	漆膜を荒らし漆の密着をよくする	砥石、サンドペーパー	○	○	○		○	○	○
21	地付け	地を付ける	生漆、地の粉、糊、木匱	○	○	○		○	○	○
22	地空砥ぎ	漆膜を荒らし漆の密着をよくする	砥石、サンドペーパー	○	○	○		○	○	○
23	切粉付け	切粉を付ける	生漆、砥の粉、地の粉、糊、木匱	○	○	○		○	○	○
24	切粉水研ぎ	素地を平坦に砥ぐ	砥石	○	○	○		○	○	○
25	錆付け	錆びを付けて肌を整える	生漆、砥の粉、木匱	○	○	○		○	○	○
26	錆水研ぎ	素地を平滑に砥ぐ	砥石	○	○	○		○	○	○
27	錆固め	錆肌を生漆を含浸させる	生漆	○	○	○		○	○	○
28	錆固め払い	漆膜を荒らし漆の密着をよくする	砥石、サンドペーパー	○	○	○		○	○	○
29	錆い錆	凹部に錆を付ける	生漆、砥の粉、木匱	○	○	○		○	○	○
30	錆い錆水研ぎ	錆びを砥ぎ平滑にする	砥石	○	○	○		○	○	○
31	錆固め	錆肌を生漆を含浸させる	生漆	○	○	○		○	○	○
32	錆固め払い	漆膜を荒らし漆の密着をよくする	砥石、サンドペーパー	○	○	○		○	○	○
33	下塗り	塗り漆を塗る	塗り漆	○	○	○		○	○	○
34	下塗り水砥ぎ	塗膜を砥ぎ平滑にする	炭、(耐水ペーパー)	○	○	○		○	○	○
35	中塗り	塗り漆を塗る	塗り漆	○	○	○		○	○	○
36	中塗り水砥ぎ	塗膜を砥ぎ平滑にする	炭、(耐水ペーパー)	○	○	○		○	○	○
37	上塗り	塗り漆を塗る	塗り漆	○	○	○		○	○	○
38	蠟職砥	平滑に砥ぐ	炭、(耐水ペーパー)	○	○	○		○	○	○
39	胴擦り	砥ぎ傷を消すために磨く	コンパウンド	○	○	○		○	○	○
40	揩漆(1回目)	上擦り漆を塗り綿に擦り込む	上擦り漆、綿	○	○	○		○	○	○
41	磨き(1回目)	菜種油で磨く	菜種油	○	○	○		○	○	○
42	揩漆(2回目)	上擦り漆を塗り綿に擦り込む	上擦り漆、綿	○	○	○		○	○	○
43	磨き(2回目)	菜種油で磨く	菜種油	○	○	○		○	○	○
44	金箔押し (1回目)	箔押し漆を擦り込み、金箔を押す	箔押し漆、金箔、綿	○	○	○		○	○	○
45	金箔押し (2回目)	箔押し漆を擦り込み、金箔を押す	箔押し漆、金箔、綿	○	○	○		○	○	○
46	コーティング	クリアー塗料を表面に填霧	クリアー塗料	○	○	○		○	○	○



a) 漆塗り見本帳



b) 下塗り上塗り漆



c) 漆塗り修繕



d) 日光での漆塗り工程調査

2.2 漆塗り試験体作製方法

表 5 に試験塗装工程を示す。試験体は栃木県日光市にある文化財建物漆塗専門技能者により、檜板目材(90mm×90mm×15mm)に塗装された漆塗材を使用する。文化財に使用している漆塗りで製作され、肌色仕上げで重ね塗りされた試験体とした。試験体の製作工程は、現場製作・調査により確認を行い、文化財対応のため修理(M:1~4)と新規(N:1~3)の7種類に分けられている。双方ともに、原木の素地仕上げが主要な工程となるが、修理Mの場合、旧塗装の掻き落とし工程(1)が生じる。本研究では新規 N1(肌色仕上げ:3~43)を健全試料として作製し、劣化試料は半年想定紫外線促進劣化を与えて上塗り層の劣化が生じた状態を想定して作製し、それらの表面部への高粘度液体固化物の付着状況の前後をその後の試験で評価した。なお、長期の屋外の場合と考えられ、今回は対象外とした。

表 4 漆塗り試験体表面の評価方法

	項目	試験概要
		左側健全部と右側処理部をそれぞれ測定し表面の粗さの変化を比較する。Ra を計測する。Ra は「算術平均粗さ」と呼ばれる高さ方向のパラメーターであり、粗さ計で測定した粗さ曲線の一部を基準長さで抜き出し、その区間の凹凸状態を平均値で表す。 測定力(N) 0.75MN
試験 2	表面粗さ Ra (μ m)	
	色彩計 L*a*b*	JIS Z8730 色の表示方法物体色の色差明度 L*はa*b*を測定。a*b*は色味を表しプラス方向なるほど暖色マイナス方向になるほど寒色表している。L*は明るさを表し 0~100 までで数値が大きくなるほど明るくなる。色差計を用いてb)に示す 4 か所を測定し処理部分の 3 か所の平均値と健全部を比較する。
	光沢度 (%)	漆は何度も重ね塗りすることでつやがあり凹凸のない表面になる。そのため傷や汚れがなければ光沢がある。消火剤によってできた白濁膜の影響を光沢度試験によって汚損度を計測する。



a) 表面粗さ



b) 色差計



c) 光沢度

2.3 試験体の消火薬剤の塗布・処理・評価方法

表 4 に漆塗り試験体表面の評価方法を示す。液体漆塗り塗布後の試験体概要を示す。試験体は純粋消火薬剤、高粘度液体エチレングリコール無、高粘度液体エチレングリコール有の消火薬剤を塗布した場合の比較を行うために、右側半面(90mm×45mm)にのみ消火薬剤を塗布しマスキングテープを含む左側反面を健全部とする試験体を作成した。高粘度液体が延焼防止効果を発揮する 3 mm になるように質量は 10g を塗布した。純水消火薬剤の塗布量を 3g とし試験を実施した。処理方法は、「そのまま」(1)、拭き取り(2)は塗布 3 日後に、試験体の表面をウエスで拭き取る。水洗い(3)は、塗布 3 日後に、垂直に立てた試験体に対し、50cm 離れた位置からホースを用いて、放射状の散水を想定した水を 15 秒間かけ、その後ウエスで拭き取る。処理前後の試験体表面の色差計・光沢度・表面粗さを比較する。色彩特性は $L^*a^*b^*$ 値により調査することで消火薬剤の成分が浸透の有無を確認する。光沢度では反射率を用いて漆塗りの特性である艶や表面を確認する。表面粗さ Ra では表面の傷や固化物による表面状態の変化を確認する。

3 高粘度液体残存物の除去方法

水を付加させて除去を行うにあたり、ガラス板を用いて付加させる水分量を検討する。重ねる物は、何も無し(N)、ポリエステル紙 1 枚(P)、ガーゼ 1 枚(G)、ポリエステル紙 1 枚とガーゼ 1 枚を重ねた物(P+G)、ガーゼを 5 枚重ねた物(G5)、ポリエステル紙 1 枚とガーゼ 5 枚を重ねた物(P+G5)とした。霧吹きを用いて水をかけていき、ガラス板から水が流れ落ちた時点で水をかけるのを終了し、この時の水分量を最大水分付加量とし試験を実施した。その後、恒温槽で温度 27℃湿度 80%に保ち 1 時間ごとに取り出し水分量を計測する。最大水分負荷量を検討した後に 30mm×20mm になるように試験体を切断し除去試験を行った。塗布厚みが 3.0 mm になるように、試験体に高粘度液体を 1.8 g 塗布し、高粘度液体を乾燥させるために室温が 25℃に保たれた場所で 3 日(D)、または 1 ヶ月間(M)放置し乾燥させた後、試験体と同じ大きさに裁断したポリエステル紙 1 枚とガーゼ 5 枚を試験体に乗せ、水を 1.1 g 付加する。温度 27℃、湿度 80%の恒温槽に 3 時間、6 時間、9 時間入れ、所定時間経過後に試験体を取り出し、除去作業を行う。除去方法は a) 漆塗り表面を擦らず、P+G5 を取り除く。b) 拭き取り回数 1 回:a)の作業 50mm×30mm に裁断したガーゼ 5 枚を漆塗りの端に乗せ、その上に重り面積 14 mm×37 mm、荷重 60.0g の金属切板を乗せる。手で重りに荷重(0.4 kg~0.6 kg)をかけながら、約 3 秒を目安に漆塗り全体を拭き取るように移動させる。

4 試験体の実験結果および考察

4.1 漆材への清掃後の表面状態変化(研究 2)

図 2~4 に色彩値変化を示す。純粋消火薬剤に比べ高粘度液体塗布後の方が a^*b^* の値は低下し、彩度が失われている。 L^* では高粘度液体塗布後の試験体は数値が高くなり、高粘度液体の乾燥によってできた膜により、白濁化している。ここで高粘度液体に含まれるエチレングリコールの有無にはいずれも数値に変化なく、関係ないといえる。図 5 に消火薬剤塗布後の光沢度の結果を示す。高粘度液体塗布後、純粋消火薬剤から 20~40 程度まで低下しており、純粋消火薬剤では処理後の差がなかったのに対して、高粘度液体塗布後ではウエスでの拭き取り(2)処理、水洗い処理(3)では、高粘度液体の粘性ウエスと白濁膜の摩擦によって表面が粗くなり反射率が低下したと考えられる。図 6 に表面粗さ Ra を示す。高粘度液体塗布後の乾燥によってできた白濁膜は凹凸をつくり、表面状態が粗くなっている。

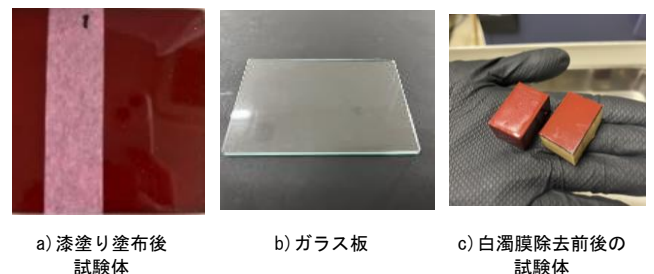


図 2 試験体

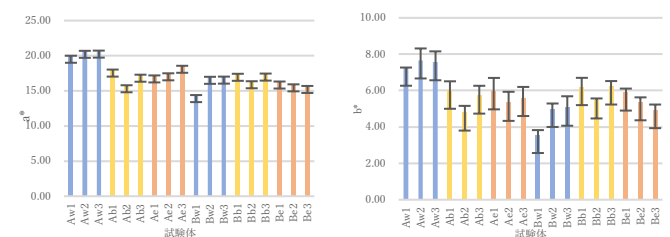


図 2 消火薬剤塗布後の色彩値の比較 a^* (研究 2)

図 3 消火薬剤塗布後の色彩値の比較 b^* (研究 2)

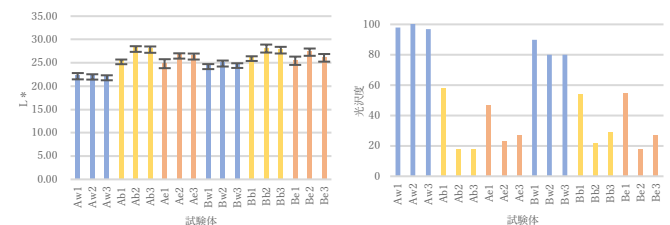


図 4 消火薬剤塗布後の色彩値の比較 L^* (研究 2)

図 5 消火薬剤塗布後の光沢度比較(研究 2)

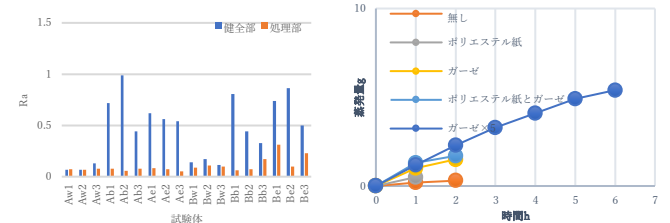


図 6 表面粗さ Ra 処理部と健全部の比較(研究 2)

図 7 湿潤確認試験結果(研究 3)

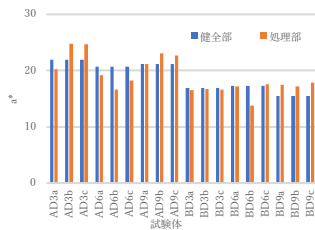


図8 乾燥3日後健全部と除去処理後の色彩値の比較 a* (研究3)

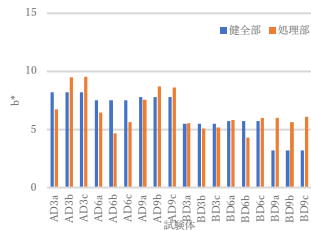


図9 乾燥3日後健全部と除去処理後の色彩値の比較 b* (研究3)

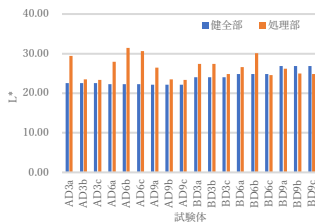


図10 研究3乾燥3日後健全部とふき取り処理後の色彩値の比較 L* (研究3)

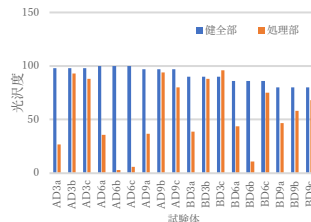


図11 光沢度3日後健全部と除去処理部の比較結果 (研究3)

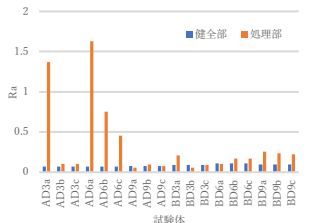


図12 表面粗さ Ra3 乾燥後無処理と処理部の比較 (研究3)

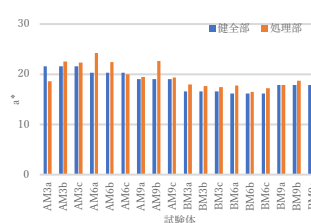


図13 乾燥1か月後無処理と除去処理後の色彩値の比較 a* (研究3)

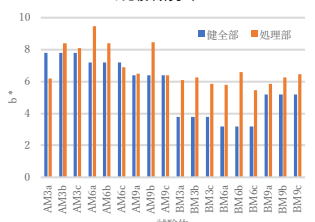


図14 研究3乾燥1か月後健全部と除去処理後の色彩値の比較 b* (研究3)

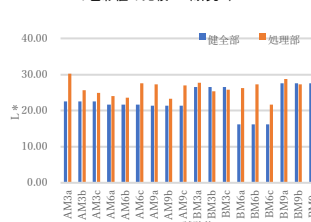


図15 乾燥1か月後健全部と除去処理後の色彩値の比較 L* (研究3)

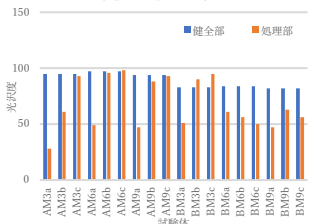


図16 光沢度乾燥1か月後健全部と処理部の比較 (研究3)

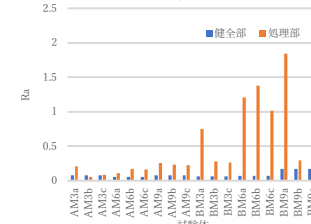


図17 表面粗さ1か月後健全部と処理部の比較 (研究3)

4.2 美術品汚れに対する拭き取り材の保水試験結果 (研究3)

図7に保水試験結果を示す。ガーゼ5枚重ねると水分量は5.4gという結果となり、最も保水できた。実際の文化財に使用する際に傷つける恐れがあるため、ガーゼ5枚の下に文化財のしみ取りなどに使用されるポリエステル紙を下に重ねる。

4.3 高粘度液体塗布3日乾燥後の除去後表面変化 (研究3)

図8~10に色彩値変化を示す。湿潤時間3時間条件の場合、P+G5を剥がす際、試験体表面に固着する様子はなく、白濁膜は水を含んだためジェル状に戻っており、綺麗に拭き取ることができ、色彩値変化も無処理の状態の数値まで復元できた。図11に光沢度、図12に表面粗さRaを示しており湿潤時間6、9時間と時間が経過すると、条件の場合、P+G5がサンプル表面に固着し剥がしにくく反射率が低下、表面も荒くなった。

3.2 高粘度液体塗布1ヶ月乾燥後の除去後表面変化 (研究3)

図13~15に色彩値変化を示す。いずれの湿潤時間条件においてもP+G5を剥がす際、試験体の表面に固着せず、白濁膜はジェル状へ戻っていたため拭き取りやすく3日間の乾燥よりも無処理の状態に近い値となった。図16に光沢度変化、17に表面粗さRaの変化を示す。試験体縁付近に拭き残りが発生してしまったため反射率が低下と表面粗さは見られたが、乾燥期間3日条件のように全く拭き取れないケースはなく、除去しやすい結果となった。

5 まとめ

- 1) 試験2では表面的な劣化について評価し高粘度液体消火剤による白濁膜の固化物が表面にできていたため、色差計、光沢度、表面粗さの観点から評価すると、汚損している。またその汚損はエチレングリコールの有無に関係しない。しかし白濁膜は反応物ではなく高粘度液体による固化物のため水に浸透させることで除去できる可能性がある。
- 2) 試験3では、湿潤高温の夏の状態であれば3時間のつけ置きで高粘度液体の固着は弱まり表面状態の汚損を除去できる可能性が高い。3時間以上の時間を付けることで再び乾燥化が進み固着が始まり除去がしづらい。
- 3) 乾燥期間1ヶ月の場合、いずれの湿潤時間条件でも乾燥期間3日に比べ白濁膜を除去しやすい。
- 4) 以上の結果から、平滑な漆塗り表面に形成された白濁膜に水を加え湿潤させれば、白濁膜を除去することが可能であることが分かった。

参考文献

- 1) 田村他, 定放射熱を受けた劣化古材における高粘度液体の着火遅延・燃焼抑制効果, 火災2021年度日本火災学会研究発表会梗概集, 2021.5
- 2) 根本他, 木密外壁材に塗布した高粘度液体による燃焼抑制効果と炭化形態保持性 2019年度日本建築学会関東支部研究報告集, 2020.3
- 3) 小清水他, 延焼中の茅葺屋根に対する高粘性液体の延焼抑止効果, 2018年度日本建築学会関東支部研究報告集, 2019.3

謝辞

本研究は株式会社能美防災との共同研究であり、ご協力いただいた株式会社能美防災の皆様、東京藝術大学大学院美術研究科保存修復日本画研究室荒井経教授に塗装に関して助言を賜りました。この場をお借りして厚く申し上げます。