

遺産的建造物におけるラス漆喰天井の劣化状態・検証実験

D114526 半座三紗子

1. はじめに

遺産的建造物とは文化を共有する集団の歴史、伝統、風習などを集約した象徴的な存在である。そして遺産的建造物は地域復興や観光復興において観光拠点形成となるように、日本の社会において重要な役割を果たしている。それらの洋館等における天井仕上げのひとつとしてラス漆喰天井が用いられている。図2で示すラスは明治時代に西洋から普及したもので、明治の終わりまではイギリスやアメリカで作られたものを輸入して使用していた。国産化がされたのは大正3(1914)年であった。現在それらの使用されていたラスは経年劣化が進み、さらに震災の影響もあり、ラス漆喰天井の落下が懸念されている。2011年に起きた東日本大震災では近現代の建造物を含む遺産的建造物にも一定の被害があった¹⁾。そのなかでも、九段会館ではラスの劣化が原因とみられる影響も見られた。こうした被害防止のために2014年4月に「天井脱落対策に係る一連の技術告示」が施工され、天井の落下防止工法を中心に概要がまとめられた。そこで、「特定天井」という概念が新たに規定された。特定天井とは脱落によって重大な危害を生ずる恐れがある天井のことで具体的には①吊り天井、②天井高さ6m、③水平投影面積200㎡、④単位面積質量2kg/㎡超、⑤人が日常利用する場所—といった5条件がすべて当てはまるものを指す。

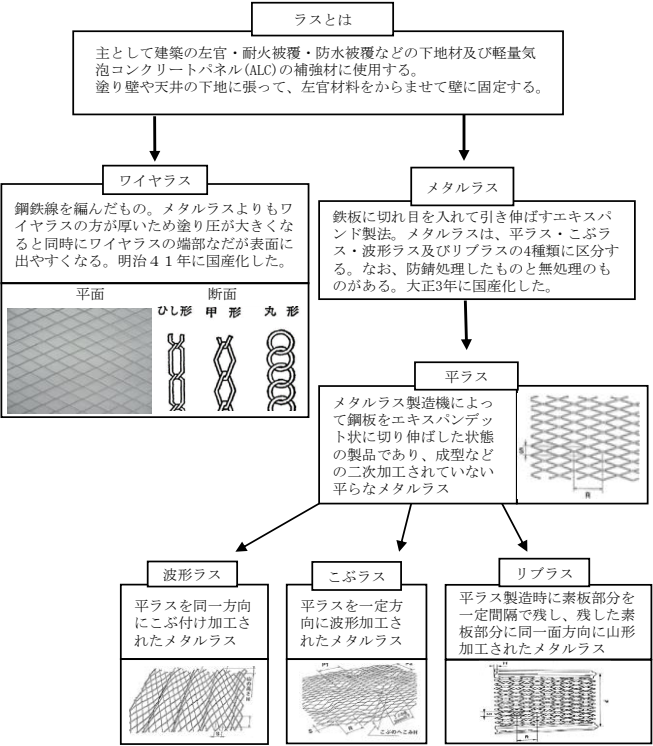


図2 ラスの分類と特徴

本研究ではこの特定天井にあたるラス漆喰天井が腐食し、剥落してしまう原因を過去の剥落したラス天井漆喰から図1の流れで分析し表1の材料を使用し、表2の要因と水準でラスや漆喰の形や成分を研究する。遺産的建造物に使用されている古くなったラス漆喰天井の補修をすることで経年劣化に対する耐久性や固定度などの性能を向上させ、長く利用される遺産的建造物となることを目指す。

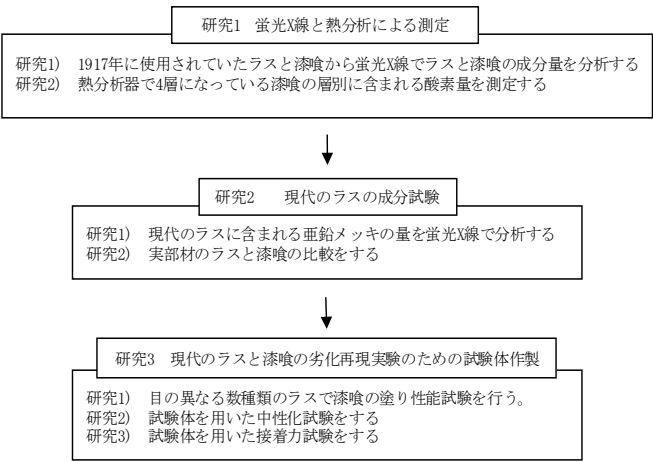


図1 研究のフロー

表1 使用材料

実験	材料	内容
1-1 1-2	ラス漆喰	1917年に実施工されていたラス漆喰天井部材
2-1 2-2 2-3 3-1 3-2 3-3	水	上水道水
	消石灰	JIS A 6902 左官用消石灰に準拠した消石灰
	骨材	大井川産陸砂(粒度2.0mm以下、絶対密度=2.68g/cm ³ 、吸水率=1.32%、F.M=2.83)
	スサ	白毛すさ(1~3層)、さらしすさ(南京すさ4層目)
	メトローズ	1袋45g 漆喰の場合、消石灰20kgに対し2~3袋使用
	ラス	ハイラス(R=19, S=8.5)薄板の厚さ0.5mm、幅610mm 長さ1820mm、質量900g/枚
		平ラス2号(R=26, S=16)薄板の厚さ0.4~0.7mm、幅610mm、長さ1820mm、質量0.50kg/m ²
		ハッピーラス 波形1号(R=26, S=14.5)
		リブラス
	ニシヤマラス	厚さ0.27~0.3mm 幅900mm 長さ

表2 実験要因と水準

実験	要因	水準
1-1 1-2	剥落したラス漆喰天井 仕上面寸法: 約500mm×500mm	1917年実施工要素 漆喰4層、ラス1層
2-1 2-2	ラス漆喰天井用ラス	ハイラス 一定 平ラス・ハイラス 一定
3-1 3-2 3-3	ラス漆喰天井の形状 野縁・野縁受け 漆喰塗り厚	ラス漆喰天井下地を模擬 杉角材(幅30×高さ40× 長さ300mm)一定 約12mm 一定

2. ラス漆喰天井実部材を用いた実験の概要

2.1 ラス漆喰実部材の分析

表3のラスの特徴⁵⁾と写真2の剥落したラス漆喰から、使用されていたラスは平ラスかハイレラスで絞られる。ラスの寸法は図3c)よりボンドの中心間距離とし、長目方向の対角線の距離をR、短目方向の距離をSとしている。ラスのサイズを測ると図3a)よりS=13, R=26ということから網目の小さいハイレラスではなく、平ラスであり、そのなかでも0号が使われていたということが表4a・bからわかる。図4に示す歴史的な流れを見ても、メタルラスは大正3(1914)年に国産化したことから平ラスが1917年に使用されていたことが裏づけされ、この年代に使用されていたラスは平ラスが多いという仮説が立てられる。ラスが特定されたところで、1917年に使用されていた漆喰天井が剥離した原因を解明する。写真を見て分かるとおり、一部のラスは漆喰に付着しているが、ほとんどが完全に剥離している。これはラスの腐食が原因とみられる。ラス漆喰天井は内部や屋根裏からのCO₂を吸収することにより、漆喰が中性化し、さらに湿度や温度の条件でラスの防錆処理が失われている場合により鉄部分が腐食し膨張することでラスが漆喰と剥離する。つまりラスが腐食する主な要因として、①漆喰の中性化によるもの。②漆喰を塗った時に完全に漆喰がラスを覆っていなかった③ラスに防錆処理がされていない。という3つが挙げられる。まず写真から分かるのは、②のラスが漆喰に覆われていないということである。漆喰の塗りこみが弱いとラスから山のように出た漆喰が隣の漆喰と重なることがない。そのためラスに対する付着面積が小さくなり、またラスも腐食しやすくなるため、剥離しやすい。ラス以外の剥落しやすい原因としては経年に伴う漆喰のひび割れ、ステープルの腐食、木製下地材の腐食による固定度の低下等が挙げられる。

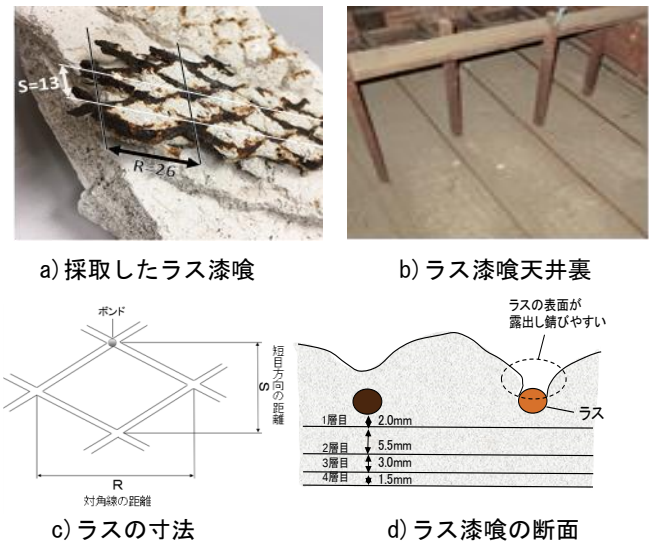


図3 ラス漆喰天井実部材の構成

表3 ラスの特徴分析と使用条件

ラス		特徴					
平ラス		JIS A 5505 製品。亜鉛鉄板によりつくられるものもある。特注品のサイズもある。					
ハイレラス		網目に剛性があり、亀裂防止になる。編み目は平ラスよりも小さい。網目の形状がやや亀平型。ラス下地が不要。カーブの塗り面が自由。亜鉛鉄板からなる。機会吹付左官に適し、コテ塗りは非常に簡易に早くできる					
ハッピーラス (波型ラス)		建築基準法施工令 108 条のモルタル塗り厚 20mm を十分確保でき、耐火性能がある。モルタル質量によるラス切れを起こすことがなく、モルタル下塗り層の中心にラスが入るため、耐震性にも優れている。					
リブラス		用途は鉄骨造の内外壁、はり、柱など。建物の不燃化高層軽量化、プレハブ建築内装材として使用可能。モルタル等の付着がよく、役物に最適					
ニシヤマラス		モルタルの塗りやすい能率的な形状で手間がかからず、間柱にそのまま貼り付けるだけの 1 工程ですむため、作業人数削減につながり、経済的。モルタルの塗り厚によって木造は防火構造・鉄骨増では耐火構造となる。剛性は大きく伸縮・たるみ・継ぎ目の不揃い等による亀裂が生じない。また。クラフト紙が裏打しており、内部からの木部の腐朽・虫害等から壁を守る。					
種類及び記号		材料又は表面処理、及び記号				用途	
平ラス	F	溶融亜鉛めっき ステンレス				建築の左官・耐火被覆・防火被覆などの下地材	
こぶラス 波形ラス リブラス A	K W RA						
ALC パネル用ラス	ALC	無処理				ALC パネルの補強材	
平ラスの寸法 (単位: mm)						ハイレラスの寸法 (単位: mm)	
呼び方	0 号	1 号	2 号	3 号	4 号	ハイレラス	ハイレラスⅡ
薄板の厚さ	0.4 ～ 0.6	0.4 ～ 0.6	0.4 ～ 0.7	0.5 ～ 0.7	0.5 ～ 0.8	0.5～0.6	
質量 (kg/m ²)	0.35	0.45	0.5	0.7	1.05	900 (g/枚)	1100 (g/枚)
備考	R	26～32				19	
	S	13～16				8.5	

表4 実験項目と評価方法

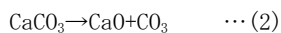
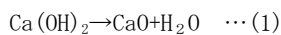
実験	実験項目		評価方法
1-1	ラス漆喰天井部材 (1917 年施工)	ラス(Fe)と漆喰(Ca)の成分分析	蛍光X線分析装置による成分分析
1-2		漆喰の炭酸化の有無	示差熱重量測定
2-1	ラス	成分分析	蛍光X線分析装置による成分分析
2-2		腐食試験	JIS A 5505 参照
3-1	小型試験体	塗り性能試験	おさえ厚一定
3-2		付着強度試験	引張試験による測定
3-3	角柱形状試験体	強度試験	曲げせん断圧縮強度試験
ラス漆喰天井の構造			
ラス漆喰天井部材			

2.2 ラス漆喰実部材の蛍光 X 線分析装置による成分分析

図 5 に蛍光 X 線を用いた漆喰とラスの成分分析の結果を示す。値は、蛍光 X 線による強度比(cps/uA)から想定した酸化物の質量割合で求めた。使用されていたラスは大まかに 4 層に分かれており(表 4)、天井側から順に 1 層目(下塗り)、2 層目(むら直し)、3 層目(中塗り)、4 層目(上塗り)となっている。そこで 4 層に分けられた漆喰と 1 層目についていたラスを採取し、さらに現代使われているラス(ハイラス)も分析し、比較する。漆喰の 4 層分を比較してみると、図 5 からわかる通り、塗り層による材料の含有量と分析された成分との割合が一致していることが分かる。しかし、図 4 より、当時使われていたラスと現代のラスを比較すると明らかに成分と割合が異なることが分かる。当時のラスには亜鉛めっきはほとんどされていない。漆喰 1 層目(図 5a)からも付着した亜鉛はほとんど検出されなかったため、1917 年代に使用されていたラスには亜鉛メッキが使用されていないと裏付けられる。

2.3 漆喰実部材の熱分析装置による熱重量測定

漆喰の中性化による原因があるかを調べるため、熱分析装置で層別に含まれる構成元素量を測定する。採取した漆喰は SiO₂ 固形分を中心とした砂質量割合(%)を量り、下塗りの場合は約 10%、むら直し・中塗りは約 50~60%程度の砂含有分を除く漆喰分を測定対象とした。熱分析のグラフは質量変化率(%)と示差熱変化(μV)を表し、漆喰に含まれている成分の燃焼温度の発熱・吸熱反応とその質量によって分析する。図 6 のグラフを見ると、漆喰の 4 層共に 100℃で初期減少である水(H₂O)の蒸発が見られないことから漆喰は水分を含んでおらず、木質系の繊維であるスサが燃える温度が約 260℃であることから発熱反応が起きていることが分かる。次に約 550℃になると消石灰(Ca(OH)₂)の構造水が脱水を始める(式(1))。さらに 850℃までに漆喰が炭酸化する反応の脱炭酸化反応式(2)が起これ、最後に漆喰に含まれる砂が溶ける構造水が吸熱する反応が見られる。



また、蛍光 X 線で測定した結果だけでは漆喰の炭酸化した割合が分からないため、熱分析の結果を合わせて分析した結果、図 7 のようになり、当時の漆喰に含まれる消石灰のうち 4 層すべてが約 8 割炭酸化した炭酸カルシウム(CaCO₃)となっていた。この結果からラスは酸化しやすい状態にあったことが分かった。漆喰が中性化していたことも含め、ラスが腐食してしまう要因がすべてそろっているため、このラス漆喰天井は非常に剥離しやすい条件にあったと考えられる。

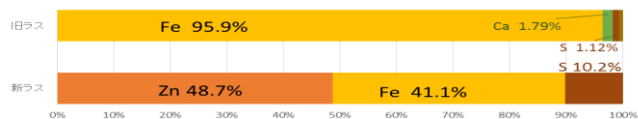


図 4 ラス実部材の化学組成比較(旧ラス、新ラス)

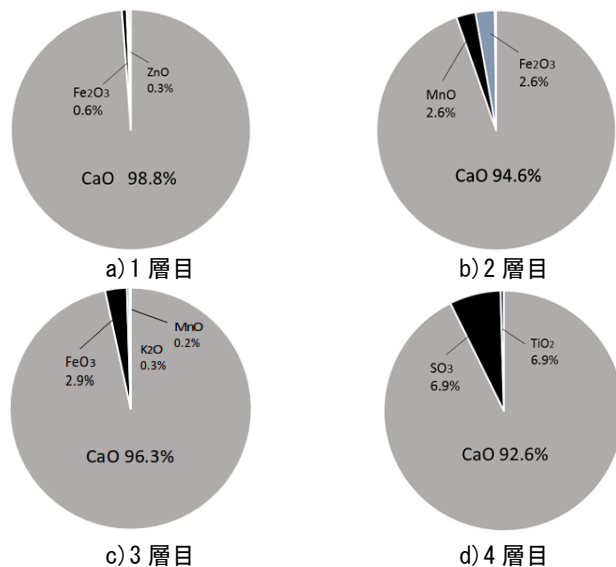
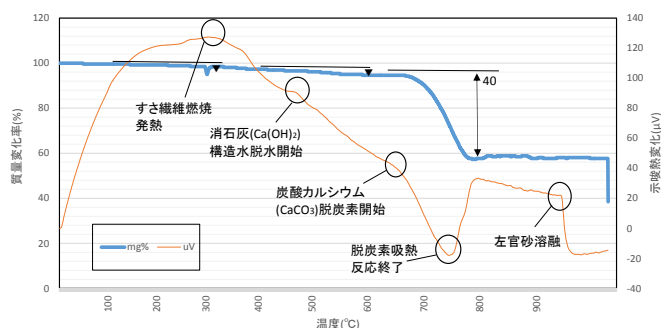
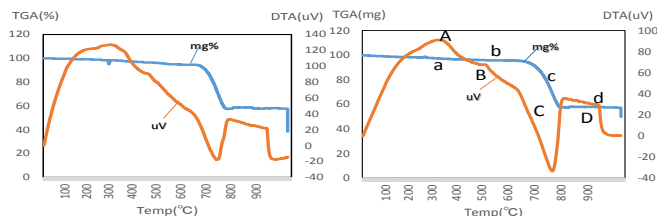


図 5 漆喰実部材の蛍光 X 線分析による層別化学組成比較

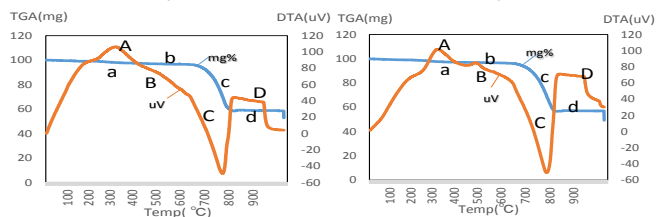


a) 1 層目 (b) 熱分析グラフの解説



b) 1 層目

c) 2 層目



d) 3 層目

e) 4 層目

図 6 漆喰実部材の示差熱・熱重量による層別構成元素量比較

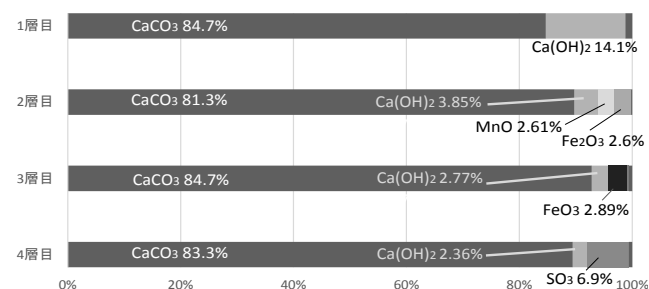


図 7 漆喰実部材の層別炭酸化割合(1~4 層)

3. ラス漆喰試験体を用いた劣化状態の検証実験の概要

ラスが普及していた当初の防錆処理がされていないラスの耐久性を求めるために試験体を作成する。試験体は表 5 にあるように、ラスに防錆処理がされているものとしていないもの、またラスの網目の大きさを変え、ラスの打ち付ける位置を変えることで漆喰の塗り厚による付着力の変化も比較する。そして漆喰の調合は表 6 の木摺り下地の調合をもとにして、砂と水の量を調整することでラス漆喰に適した調合を分析する。さらにそのラス漆喰を中性化したものと中性化させ塩水をかけたものとで腐食試験を行う。加えて、各試験体を 3 つずつ作りそれぞれの平均をとる。試験体は表 5 の試験体全体図のように引っ張り試験を行うためのジグ(45×45mm)の大きさに合わせ野縁にあたる木枠を作成する。木枠はラスを打ち付ける高さ上(15mm)下(5mm)とし、表 5 試験体断面図にあるように漆喰を塗る。またラスを打ち付ける前に漆喰を一定の高さで塗っておくことで安定した塗り厚を確保する。平行して 40×40×160mm の鋼製三連続型枠を用いて強度試験の試験体を作製する(写真 8c)。養生は気温 20℃、相対湿度 60%の試験室環境にて実施する。試験体から引っ張り強度を測定し、漆喰の耐久性を分析する。

4. まとめ

- 1) 過去に使用されていたラス漆喰天井は漆喰の塗り厚が通常(12~15mm)の約 2 倍の厚み(約 28mm)があった。
- 2) 当時ラス漆喰天井のラスには亜鉛めっきの防錆処理がされていなかった。
- 3) 漆喰に含まれる消石灰のうち 4 層全てが約 8 割中性化していたことからラスが錆びやすい状態にあり、非常に剥落しやすい状況にあったことが分析結果でわかった。
- 4) ラス漆喰天井模擬試験体を作製するにあたり、塗り性能試験を行ったところ、形状が特殊な波形ラスでは安定したかぶり厚が確保できず、網目が細かいラスではすさが引っかかってしまった為、改良を加えた試験体を作製した。
- 5) 作製した試験体で引張試験、腐食試験、またラスの塗り厚による強度を分析することで、漆喰の接着力を比較する試験を行い、さらに天井漆喰の最適な調合を見つける。

参考文献

- 1) 日経アーキテクチャー「九段会館、天井崩落メカニズムを推定」2017 年 2 月号
- 2) 真鍋恒博 一般財団法人建材試験センター「建材試験情報」2017 年 1・2 月号「各種建築部品・構法の変遷」Vol. 3
- 3) 毛利聡他「粘着型防水紙の活用による木造ラスモルタル外壁の品質向上の検討」日本建築学会構造系論文集 Vol. 81
- 4) 岡健太郎他 建築物の LCM における維持保全と保存的活用ストラテジー 日本建築学会関東支部研究報告書 2017. 3
- 5) 西山鉄鋼製作所製品技術情報 2017 年取得
- 6) 日本規格協会「メタルラス」JIS A 5505 2014. 8

表 5 ラス漆喰劣化再現実験のための試験体作製条件

	ラスの表面処理	防錆処理有り・防錆処理無し	
	ラスの種類	平ラス 2 号・ハイラス	
試験状態	漆喰の調合	砂	水
標準 中性化 中性化+塩水	ラスの位置 上・下	多い 多い	
		少ない 多い	
		少ない 少ない	
		なし 普通	

表 6 ラス漆喰劣化再現実験のための調合・塗り厚条件

施工箇所	塗り層	消石灰		砂	つものまたは銀杏草(g)	すさ(g)		塗り厚(mm)
		下塗り用	上塗り用			白毛	さらし	
天井ひさし	下塗り	1	-	0.1	1000	900	-	2.0
	むら直し	1	-	0.6	900	800	-	5.5
	中塗り	-	1	0.5	800	700	-	3.0
	上塗り	-	1	-	800	-	800	1.5

謝辞

本研究は H29 年度工学院大学ブランディング研究テーマ 2 によるものである。試験体作製に助力を頂きました富沢建材株式会社富澤英一氏および協力関係者各位の皆様へ深く御礼申し上げます。