

令和5年・6年度助成研究

# 木彫彩色文化財の修復におけるクリーニングと剥落止めの同時作業の可能性について

—江戸時代以降の仏像修復を想定して—

込山 真生 (東北芸術工科大学大学院)

## 1. 研究目的・背景

本研究は彩色が施された木彫仏像を対象とし、その修復作業で行われる剥落止めのうち、初期作業として行われる「仮止め」の接着力と副次的な洗浄効果に着目したものである。現在一般的に用いられる膠、膠とふのりの混合液による仮止めにおいて、処置回数による洗浄効果と接着力の差異を検証した。加えて、ふのりと性質が近い水溶性の合成樹脂であるメチルセルロース（以下、MC）を使用したときの結果と比較した。

仮止めは、和紙などを介して低濃度の接着剤を対象に塗布し、水で湿らせた脱脂綿で軽く押さえ、剥離箇所を圧着しながら余分な接着剤を取り除く作業を指す。このとき、顔料の固定とともに毛細管現象によって表面に付着している汚れがわずかに除去される。

仮止めは広く実践されているが、仮止めで得られる接着力と洗浄効果の関係や、作品への影響について研究された例は少ない。また、用いる接着剤の種類や濃度は作業者の経験や感覚に基づいて選択される。

## 2. 研究方法

本研究では彩色が施された仏像への処置を想定し、接着剤の種類、濃度、処置回数による接着力と洗浄効果を検証した。粉状劣化及び汚損状態を疑似再現したサンプルに、牛膠、ふのり、MC 0.5 %、1.0 %、2.0 %水溶液で 1～3 回仮止めを行った。ふのりは牛膠と 1:1 で混合したものを使用した。MC は信越化学製のメトローズ 400 番、1500 番を採用した（以下、MS400、MS1500）。溶媒にはイオン交換水を用いた。

## 3. 実験結果

サンプルに各接着剤を 1～3 回塗布し、余分な接着剤を脱脂綿で吸い取った。処置後、粉状化に対する接着力と、汚損した状態に対する洗浄効果を比較した。なお、事前実験の結果、2.0 %牛膠・ふのり混合液、MS1500 は均一に塗布できない、彩色層が剥がれる傾向がみられたため、実験対象から除外した。

### （3-1）接着力の比較

仮止めは粉状化した彩色層の固化に加えて、基底材と彩色層を接着することが求められる。そこで仮止め後のサンプルについて次の 3 点に着目し、実験を行った。

- ・(3-1-1) 乾燥後の劣化傾向 (乾燥劣化試験)
- ・(3-1-2) 彩色層と基底材間の接着効果 (クロスカット試験)
- ・(3-1-3) 粉状化に対する接着効果 (綿棒によるローリング試験)

### (3-1-1) 乾燥劣化試験

接着剤の種類、濃度、塗布回数 (1、2、3回) ごとに10枚1セットのサンプルに仮止めを行った。平均値を出すため、サンプルは1回の実験毎に3セット使用した。サンプルには識別のため 1~10 の番号を振った。接着剤を指定の回数塗布したサンプルを室温で約168時間乾燥させた。乾燥後に彩色層の損傷状態を目視で確認し、記録した。

#### 【結果】

牛膠・ふのり混合液は比較的損傷率が高くなり、濃度や塗布回数に関わらず損傷率が約30~40%になった。牛膠は1.0%塗布1~2回目の損傷率が特に低く、20%以下となった。しかし1.0%牛膠は塗布3回、2.0%では塗布2回目以降ヒビが現れやすくなかった。MS400は損傷率が特に低く1.0%塗布2回以外、2割以下となった。

また、各損傷は塗布回数の増加に伴って浮きの発生率が低下し、剥離の発生率が増加した。

### (3-1-2) クロスカット試験

3-1-1で使用したサンプルのうち1、5、10枚目にクロスカット試験を行い、彩色層と基底材間の接着力を比較した。試験後、碁盤状に残った彩色層を計上し、%で表した。このとき50%以上を仮止めとして最低限の接着力がある状態と定めた。

#### 【結果】

どの条件でも牛膠・ふのり混合液の残存率は平均30~40%となった。MS400は、濃度0.5%と2.0%塗布1回目以外は平均60%以上塗膜が残存した。MS1500は平均70%以上塗膜が残った。0.5%牛膠は塗布回数の増加に応じて残存率が減少した。反対に2.0%では塗布回数に応じて残存率が増加した。

### (3-1-3) 表面(粉状化)に対する接着効果

3-1-1で使用したサンプルから、対象を1セットにつき1枚無作為抽出した。抽出したサンプルに綿棒を往復20回転がし、綿棒の表面に付着する胡粉の量を比較した。

仮止め前のサンプルに綿棒を転がしたときの付着状態を3点、線状・全体に薄く付着したものを2点、目視で胡粉の粒子が確認できたものを1点、確認できないものを0点と定めた。本実験では1.5点以下かつ、2または3点を2つ以上含まないものを有効とした。

#### 【結果】

粉状化に対して有効な塗布回数は、0.5%で3回以上、1.0~2.0%では2回以上であることが分かった。1回目ではどの接着剤も1.5点以上となり、綿棒に胡粉が付着した。

## (3-2) 接着力実験の総括

乾燥劣化試験、クロスカット試験、ローリング試験より、共通して接着力を確認した条件は、1.0、2.0%牛膠及び0.5%MS400、MS1500(各塗布2回)であった。

剥離やひびの発生率はやや増加したが、2.0 %牛膠、MS400（各塗布3回）も粉状化に対する接着力に効果が確認できた。また、ローリング試験においては濃度に関わらず牛膠・ふのり混合液が最も粉状化に対する効果が大きく、牛膠、MS1500、MS400の順に効果が小さくなつた。これは試料の推定分子量の大小と同じであり、相関性が予想される。

牛膠（剃毛・アルカリ処理）の分子量については、宇高氏（2012年）、ふのり抽出液は、早川氏（2022年）が論じている。また、富士フィルム社製MC（番数400, 4000）の分子量を踏まえると、今回使用した各接着剤の分子量は以下のように予想される。

- ①牛膠：数万～数十万
- ②ふのり抽出液（加熱）：数百万
- ③MS400：約8万4千
- ④MS1500：8万～14万以内

#### 4. 洗浄効果の検証

サンプル表面に疑似的に汚れを付着させ、各接着剤で仮止めを行つた。処置前後、汚れの付着前後のサンプル表面をデジタルマイクロスコープと色差計で観察、計測した。

仏像は経年による塵埃（不溶性）や、線香によるヤニ・煤（油性と不溶性）により汚損している場合が多い。実際の汚損状態を再現するため、本実験では不溶性の汚れとして、降下塵埃と主成分が類似するとの粉と、油性の汚れとして線香を採用した。

##### 【結果】

塵埃汚れ（との粉）では、汚損前から最も黄み（ $b^*$ ）・色差（ $\Delta E_{ab^*}$ ）が減少した溶液は0.5%MS400, MS1500の塗布1回目（約3.0減少）であった。牛膠とMC溶液は塗布2回目以降、1.0より減少しなかつた。牛膠・ふのり混合液の黄み・色差は濃度、塗布回数に関わらず0.5より減少しなかつた。

ヤニ汚れを再現したサンプルでは、仮止め後の黄み・色差は、塗布回数の増加に伴つて汚損後の数値より減少した。牛膠は0.5%溶液の使用時に色差が12以上低下し、1.0%以上の牛膠及びMCは色差が8～11低下した。牛膠・ふのり混合液は、濃度に関わらず塗布回数に応じて黄み・色差が減少した。加えて塗布3回目での黄み・色差の減少値は各接着剤の中で最大となつた。

##### 【洗浄効果実験 総括】

洗浄効果の検証では、不溶性、油性の汚れに対して各接着剤で仮止めを行つたときの汚れの落ち方を比較した。結果、不溶性の汚れでは0.5%のMC溶液（各塗布1回）が有効性を示した。次いで1.0%MS1500（塗布1回目）の色差が減少した。加えて、塗布2回目以降はとの粉の粒子が接着されることを確認した。油性の汚れは、微アルカリ性である牛膠・ふのり混合液（塗布3回）の評価が最も高くなり、次いで0.5%牛膠（塗布1回）の色差が減少した。MC溶液でも目視で確認可能な程度まで黄み・色差が低下することが判明した。

以上より、不溶性・油性両方の汚れに有効な接着剤は、0.5%牛膠、MS400、MS1500溶液となつた。

## 5. 研究総括

本研究は、彩色が粉状劣化した木彫仏像の修復を想定した実験を行った。彩色が粉状劣化した木彫仏像の修復を想定し、粉状劣化と汚損物質が付着した彩色層に対する初期作業である「仮止め処置」の効果に着目した実験を行った。実験では、剥落止めや仮止めに使用される接着剤 4 種（牛膠、牛膠・ふのり混合液、MC 溶液 2 種）を用い、接着力や乾燥後の損傷傾向、さらに塵埃やヤニ汚れに対する洗浄効果を比較した。

実験の結果、両方の実験において最も有効性が高い接着剤は、0.5 %MS1500 であり、塗布回数は 1~2 回が適当であることがわかった。次点で 1.0 %MS400, 1.0 %2.0 %牛膠（各塗布 2 回）が該当した。

また MC 溶液は、線香のヤニ・煤汚れに対して牛膠や牛膠・ふのり混合液よりも色味の変化が小さかった。ただし、ヤニ・煤汚れに微アルカリ性の溶液が効果的である可能性があるため、MC 溶液の pH を 8~10 程度に調整することで、牛膠・ふのり混合液と同程度の洗浄効果を得られる可能性がある。

剥落止めに使用される膠やふのりは、使用実績が長く劣化傾向が予測しやすい。その反面、タンパク質など資化性が高い有機物を含み、作業環境の温湿度の影響を受けやすい。

そこで本研究では、膠やふのりの比較対象として MC を選択した。MC は膠より初期接着力が低いとされる。一方で、カビ類の発生率が低く、他のセルロースエーテル系接着剤と比べ熱や光による変色率が小さい部類に属する。そして常温で使用できるため、屋外環境での一時的な応急修復などに活用が見込める。

また MC は、20.0°Cにおける 2.0 %水溶液時の粘度 (mPa·s) ごとに分類して販売されており、粘度や接着力の選択肢が幅広い利点がある。現在 MC の分子量の記載は規定されていないが、食品添加物の規格基準によれば 1~50 万程度とされている。

文化財修復での使用頻度が高いグレードの MC(番数 20~4000)であれば、膠と同程度の分子量から比較的低い、または接着の低い高分子接着剤というように、目的・用途に応じた使用方法を検討しやすいと考えられる。

---

### 参考文献

- 樋口誠二・岡部昌子「顔料彩色層（胡粉、黄土）の粉状剥落の防止処置について」保存科学 26 号、1987 年 3 月 25 日、15-22 頁  
「厚生労働省 生理処理用品材料規格」薬食審査発 0325 第 24 号 2015 年 3 月 25 日、2 頁  
福本勉郎「II.接着の基礎」電気学会雑誌 101 卷 11 号、1981 年 12 月、1022-1023 頁  
宇高健太郎【ほか】『[報告]膠の性質と湿熱劣化処理の影響に関する研究—表面観察による検証—』保存科学 No.58、113 頁  
日本産業規格 JIS K 5600-5-6 <https://kikakurui.com/k5/K5600-5-6-1999-01.html>、アクセス 2024 年 12 月 12 日  
早川典子・金 曼貞・柏谷 明美「〔報告〕文化財修復に使用されるフノリの精製効果に関する評価」保存科学 No.61 2022 年、67 頁