

木摺り漆喰天井における木摺り下地面への補修樹脂充填度の可視化

DB14128 小林将希

1. はじめに

現在日本には多くの木摺り漆喰天井の文化財建築物が存在している。しかしその多くが老朽化により天井表面にひび割れが生じ、漆喰の各層の浮きにより漆喰天井の剥落を誘発させる要因の一つになっている¹⁾。文化財建築物を長期的に活用していくためには、文化的価値を持つ天井の、価値を損なわない形で保存が必要となってくる。木摺り漆喰天井を補修するにあたり、木摺りと漆喰の界面に樹脂を浸透させて両者をくっつける方法があり、その方法として目透かしから流し込む、木摺りに穴を空けて樹脂を注入する 2 種類がある。しかし、適切な注入量や注入箇所の間隔は示されていない。本研究では木摺りの目透かし部分から特殊アクリル樹脂²⁾を注入するうえで透明な下地を用意して樹脂の浸透状態を可視化し、適切な注入量と注入間隔を明確にすることで適切な補修を可能にすることを目的に実験を行う。研究は図 1 に示すように非破壊による外観測定として衝撃弾性波法による表面硬度の測定と塑性粘度の異なる液体の注入試験を行う。

2. 研究概要

2.1 使用材料

表 1 に研究での使用材料を示す。衝撃弾性波法による表面硬度試験²⁾では模擬天井試験体、建物 K の天井、硬さ試験機を用いる。注入試験では塩ビシートの透明下地に模擬補修材を注入する。また液体の粘性をデジタル粘度計で測定する。

2.2 実験要因と水準

表 2 に実験要因と水準を示す。衝撃弾性波法による表面硬度試験では 2 つの木摺り漆喰天井を使用して行う。模擬天井では縦 860 mm、横 840 mm 四方を 20 mm 間隔で 1806 回、建物 K の天井では縦 500 mm、横 900 mm 四方を 100 mm 間隔で 45 回、注入試験では模擬補修材を使用して 600fps カメラで 2.4 秒撮影を行う。0.5ml で 5 回の注入を行い透明下地と漆喰の間に隙間の有無の 2 種類で実験を行った。また、3 種類の隙間間隔の試験体を 4 つ作成し、4 種類の塑性粘度の違う液体の注入を行い隙間間隔と塑性粘度の違いで浸透度への影響の差を確認する。

2.3 実験方法

2.3.1 衝撃弾性波法による漆喰層表面硬度の評価

表 2 に実験方法を示す。研究 1 では衝撃弾性波法により、天井ごと等間隔で測定を行い数値によって漆喰層又は漆喰と下地間にある隙間を評価する。模擬天井、建物 K の 2 カ所の漆喰天井を測定、データ化をして健全部分とひび割れ部分の比較を行い、漆喰層の浮きを検証する。また、木摺りの幅、目透かしの幅、漆喰の幅を測定し、天井の裏から漆喰天井の

状態を評価し、木摺り幅と目透かし幅の関係が漆喰の剥落にどのように影響しているか評価する。

2.3.2 模擬試験体への水の注入試験・樹脂注入試験

研究 2 では補修方法を確定させるために模擬補修材を使用して注入試験を行う。模擬天井の木摺りと目透かしの間から塑性粘度の異なる模擬補修材を注入し、浸透度を可視化して評価する。模擬天井の一部（振動実験で使用し落下した漆喰層）を使用し木摺りの幅に合わせて軟式塩ビシートを木摺りの代わりに使用する。目透かし部分から模擬補修材を流し水の流れ方を可視化し充填度を評価する。高速度カメラ (600fps) で 2.4 秒撮影し、画像解析を行う。これにより補修に必要な樹脂の量や、注入間隔を想定する。デジタル粘度計を使用してそれぞれの塑性粘度を測定し、樹脂の粘性と漆喰への浸透

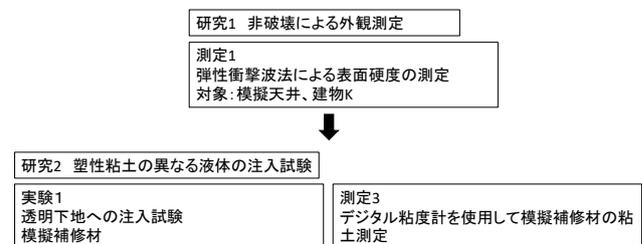


図 1 実験の流れ

表 1 使用材料

実験内容	使用材料、実験器具	使用目的
研究 1 衝撃弾性波法による表面硬度測定	木摺り下地模擬天井 (目透かし幅 6 mm、12 mm スサ含有率 2.8%、5.6%)、建物 K の木摺り下地天井	木摺り下地の漆喰天井の劣化を評価する
研究 2 注入試験	木摺り下地模擬天井、塩ビシート、水、模擬補修材(メチルセルロース調合)0.5%、1%、1.5%、2%、デジタル粘度計	塩ビシートで透明下地を作成し、可視化する

表 2 実験要因と水準

	実験要因	水準
研究 1	衝撃弾性波法による表面硬度測定	模擬天井、建物 K (長野県諏訪市) 縦 860 mm、横 840 mm 四方を 20 mm 間隔 1806 回、縦 500 mm、横 900 mm 四方を 100 mm 間隔
研究 2	注入試験 模擬補修材	注入量 0.5ml 木摺りと下地の隙間 1、2、3 mm 模擬補修材 0.5%、1%、1.5%、2% 注入評価 長さ、面積

表 3 実験方法

	実験方法
研究 1 衝撃弾性波法による表面硬度測定	衝撃弾性波により表面の硬度を測定する。天井ごと等間隔で測定を行い数値に基づいて色分けしマップ図とヒストグラム図を作成し、漆喰層又は漆喰と下地間にある隙間を評価する。
研究 2 塑性粘度の異なる液体の注入試験	漆喰天井の木摺りと目透かしの間に補修材を流し込み補修する方法を検討している。まずは補修材がどのように流れ込むか可視化するため塩化ビニルでの透明下地試験体を作成し模擬補修材と水を注入して樹脂の粘性と漆喰への浸透程度の相関関係を評価し最適な注入方法を選定する。

程度の相関関係を評価する。なお、本実験の粘性液体は、既往研究²⁾の特殊アクリル樹脂の流動特性があり、接着剤の調合により、せん断応力が小さな降伏値に達する前は流動がなく、その後せん断速度に比例したせん断応力が生じて水のようなニュートン流動を示す。

3. 衝撃弾性波法による漆喰層表面硬度の評価

3.1 模擬天井の衝撃弾性波法による漆喰層表面硬度の評価

図2(a)にHLD測定値、(b)に試験方法写真、(c)HLD値ヒストグラム、(d)に試験体の基本情報を示す。木摺り下地の模擬天井を衝撃弾性波法による漆喰層表面硬度の評価を行った。この試験体には目視で確認できるような目立ったひび割れ等は確認できなかった。縦860mm、横840mm四方を20mm間隔で中心を狙い42×43の1806回反発試験を行った。図2(a)を見ると多少のばらつきはあるものの黒で色分けされている脆弱部分はほとんどが外周部に見受けられる。これは試験体をつくる際にノコギリによって切断しているため、それに伴ってできた各層の浮きによるものだと考えられる。模擬天井は脆弱部分が所々にあるが平均値が298.5で±σ/2の範囲がグレーで示されている。グレーで示された部分は全体の40%を占めているため模擬天井は健全であると考えられる。測定値の分布を見てみると270~340の範囲で数値が固まっている。

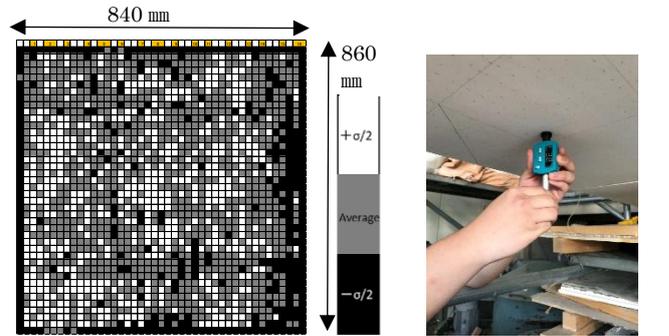
3.2 建物Kの衝撃弾性波法による漆喰層表面硬度の評価

図3(a)に測定値、(b)に測定場所の写真、(c)にHLD値ヒストグラム、(d)に天井の情報、図4(a)にひび割れ部分の測定場所写真、(b)に測定値と情報を示す。建物Kに行き反発試験を行った。縦50mm、横90mm四方を100mmの範囲で測定した。数値を見てみると模擬試験体よりもばらつきはなく比較的同じくらいの数値になっていた。しかしひび割れ部分に近い場所では脆弱な部分となっていた。数値で見ると、健全部の最大値が334に対してひび割れ部分の最大値は269とかなり差があることが測定で分かり、最小値についても224、148と差がかなりあった。目視で確認できる劣化部分は測定データからも劣化度合いが確認できた。建物Kの天井の漆喰は調合が分からないため、調合の違いによる強度の差まで確認することができず、調合の違いを他の試験体と比較することができないのが現状であるが同一建物内でひび割れ部分とそうでない部分の数値の違いが測定で確認できた。

4. 透明木摺り試験体への色つき水注入試験

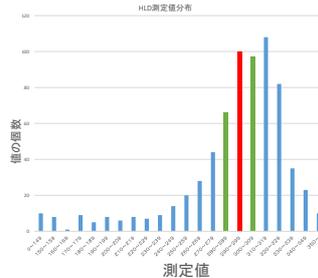
4.1 透明木摺り試験体への模擬補修材注入試験結果

図5(c)に隙間無の試験体写真、(d)に隙間有の試験体写真、図6(a)、(b)に隙間無試験体への模擬補修材1mlの注入の様子1回目、5回目、(c)~(e)に隙間有試験体へのセルロース水1mlの注入の様子1回目、3回目、5回目、図7に隙間有無試験体への模擬補修材の注入による広がった面積と距離、図8に模擬補修材の注入による速度、図5(c)、(d)のように



a) HLD値マッピング図

b) HLD値測定状況

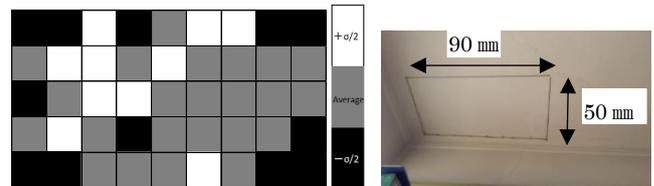


c) HLD値ヒストグラム

作製	2015/12/16
場所	八王子キャンパス
部材	木摺り下地漆喰天井
測定日	2017/3/29
HLD値平均(A)	298.5
標準偏差(σ)	35.0
最小値	378
最大値	131

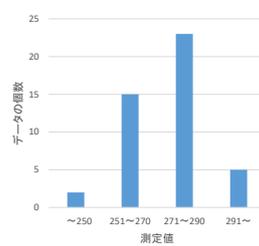
d) 試験体の基本情報

図2 木摺り漆喰天井の実態調査結果 (模擬天井)



a) HLD値マッピング図

b) HLD値測定状況

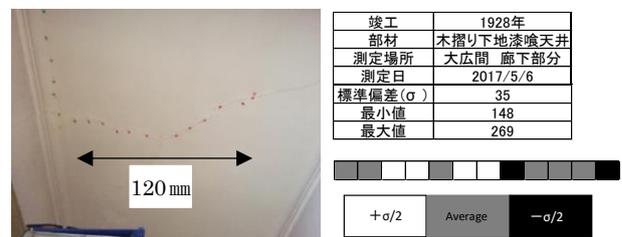


c) HLD値ヒストグラム

竣工	1928年
部材	木摺り下地漆喰天井
測定場所	大広間 廊下部分
測定日	2017/5/6
HLD値平均(A)	275.9
標準偏差(σ)	18.5
最小値	224
最大値	334

d) 試験体の基本情報

図3 木摺り漆喰天井の実態調査結果 (建物K)



a) 建物Kひび割れ状況

b) ひび割れ部分測定値

図4 木摺り漆喰天井のひび割れ部分実態調査結果 (建物K)

漆喰表面と透明下地の間に2mmの隙間を空けたもの(透明下地が湾曲していて隙間が均一でないため、均一のものを作成し実験したものを4.3に示す)と隙間をなくしたものの2種

類を用意して注入試験を行った。水と違い粘性のある液体だったためゆっくりと染み込んでいく様子が確認できた。しかし、隙間無の試験体への注入では横に長く広がっていったが、透明木摺りに液体が吸水されないことで毛細管現象のような広がり方をしていた。隙間有の試験体への注入ではゆっくりと広がり、半円状のきれいな広がりが見られた。

4.2 注入試験から想定した 1m²あたりの注入回数

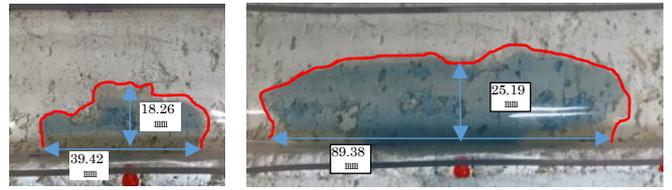
1ml の注入状況から 1m²あたりの注入回数、量を想定すると、1レーン 20回×22レーンで 440回。1ml×5回注入したため 5ml×440回で 2200ml 必要となる。しかし、隙間無と隙間有の 2種類の試験体があったが、今回は綺麗な浸透の様子が見られた隙間有の試験体での結果をもとに想定している。

4.3 調合の異なる模擬補修材の塑性粘度測定結果

図 9 に調合の異なる模擬補修材の塑性粘度測定結果を示す。模擬補修材は粘度を変える薬品メチルセルロースを混ぜ調合を 0.5%ずつ変えて作り測定した。水と測定した 4種類の塑性粘度の異なる液体の計 5種類の液体の塑性粘度を測定することができた。水と比べて 0.5%調合が変わるだけで粘性がかなり変わっていることが図 9 で示すように確認できた。これらの液体の注入結果を次の 4.4 に示す。

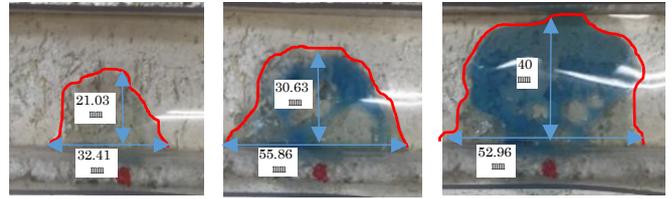
4.4 調合の異なる模擬補修材の透明試験体への注入試験

図 10(a)、(b)に試験体写真、(c)～(f)に注入結果の写真、図 11 に注入結果のグラフを示す。新たに模擬補修材を注入するための試験体を作成した。図 10の試験体写真のように 1mm、2mm、3mm と下地と漆喰の間に隙間を空け、それぞれに調合の異なる模擬補修材 3種類と水の 4種類の液体を注入した。隙間が大きい方が広く浸透すると予想していたが、図 11 を見てわかるように隙間が小さいほうが浸透面積は広がった。浸透



a) 隙間無 (1 回目)

b) 隙間無 (5 回目)



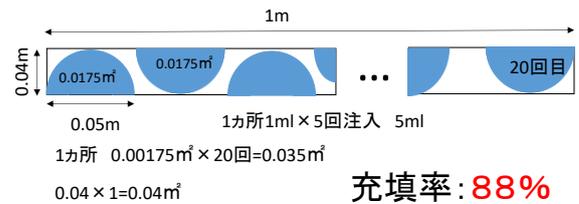
c) 隙間有 (1 回目)

d) 隙間有 (3 回目)

e) 隙間有 (5 回目)

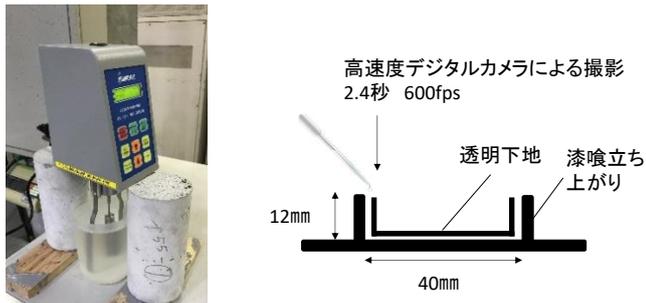


f) 模擬補修材の拡大面積・距離の平面図



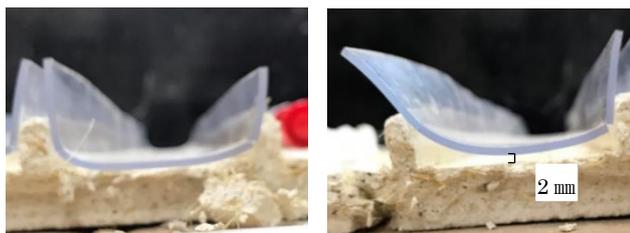
g) 注入試験から想定した 1 m²あたりの注入量

図 6 模擬補修材の注入写真



a) 粘性測定写真

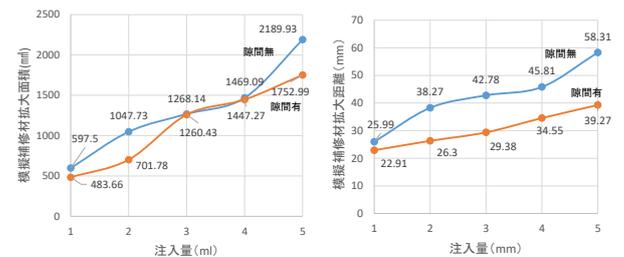
b) 実験の方法 (断面図)



c) 隙間無の試験体写真

d) 隙間有 (2 mm) の試験体写真

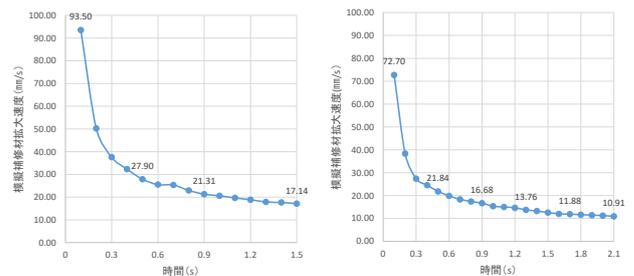
図 5 模擬補修材の注入試験の試験体



a) 模擬補修材の拡大面積 (mm²)

b) 模擬補修材の拡大距離 (mm)

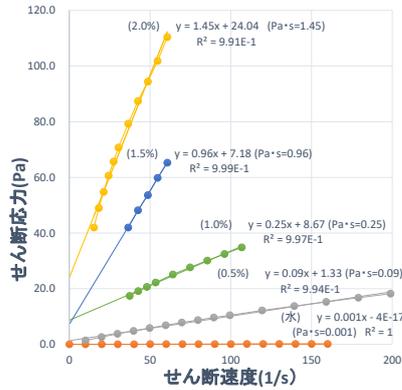
図 7 模擬補修材注入後の木摺り下への拡大面積・距離



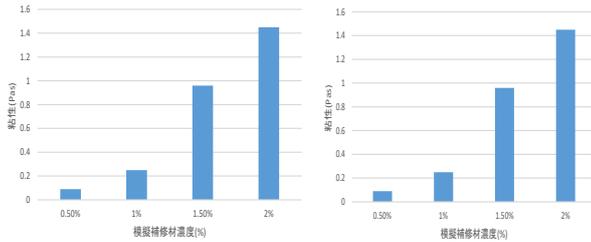
a) 注入速度 (隙間無) (mm/s)

b) 注入速度 (隙間有) (mm/s)

図 8 模擬補修材の注入開始後の注入速度の変化



a) せん断応力・せん断速度関係



b) 粘性 (Pa·s)

c) 降伏値 (Pa)

図9 割合の異なる模擬補修材のビンガム特性

する様子を見てみると1mmの隙間のほうは毛細管現象のように浸透していき、隙間が大きくなるにつれて液体に粘性があることで隙間の間に液体が溜まってしまふ現象が確認できた。1.0%、1.5%では隙間が大きくなるほど浸透幅が小さくなっているが、0.5%では逆の傾向になっていた。従って隙間幅に応じて適切な樹脂の塑性粘度が変わることが分かった。

5. まとめ

- 1) 衝撃弾性波法による漆喰層表面硬度の評価をし、健全部分とひび割れ部分の数値の違いを把握できた。
- 2) 水、模擬補修材の注入にあたり流れる速度、浸透面積、浸透距離を確認できた。
- 3) 模擬補修材の注入試験の結果より注入間隔と注入量を想定した結果、1mmあたり440カ所の注入が必要と想定できた。また、1レーンあたり88%の充填が見込めると想定できた。
- 4) 木摺りと下地間にある隙間によって模擬補修材の注入の際に浸透する面積、距離にかなり影響することが確認できた。また、隙間が狭いことで毛細管現象が起こり広く浸透すること、隙間が広いことで底面部への浸透が小さく、側面部への浸透が大きいことが確認できた。
- 5) 塑性粘度の違いによって同じ隙間でどの程度浸透に差が出ているか確認できた。
- 6) 塑性粘度の異なる液体の注入結果より浸透面積は1.5%の粘性の液体が一番適しているが施工のやり易さを考慮すると1.0%の液体が補修に適していると実験によって確認できた。

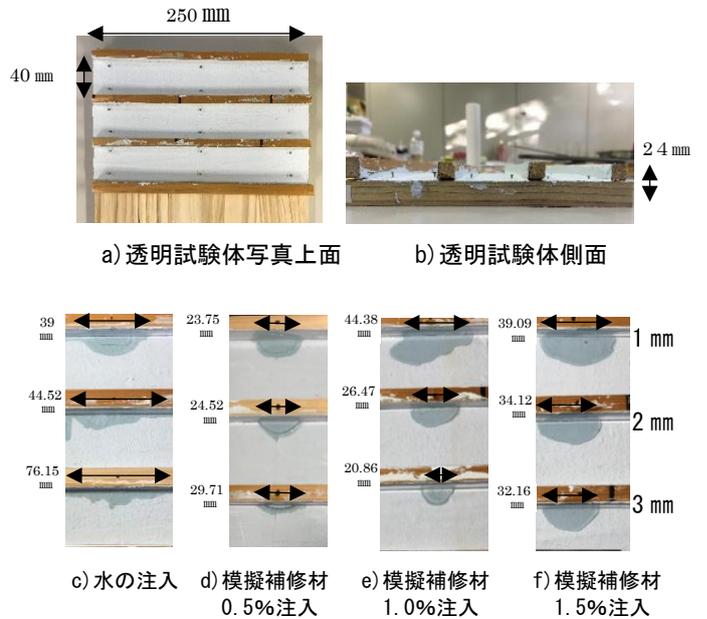


図10 異なる模擬補修材の透明試験体への注入試験写真

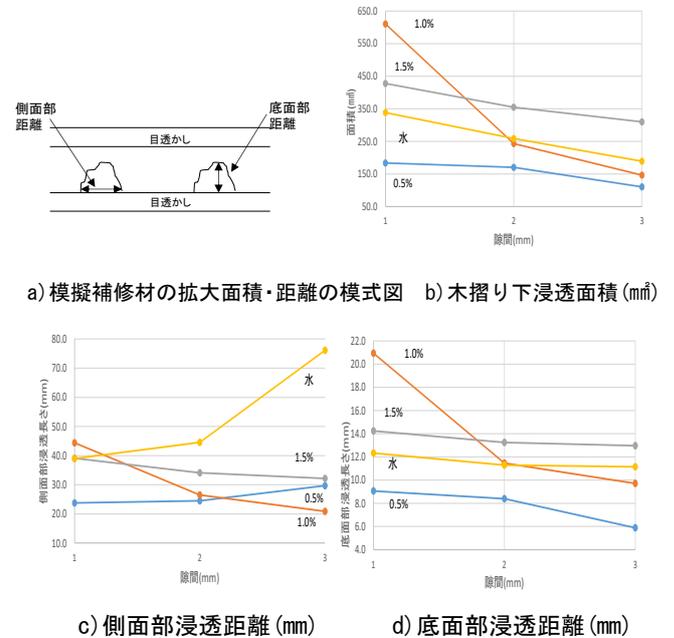


図11 模擬補修材の充填状況の可視化データ

参考文献

- 1) シンポジウム東日本大震災からの教訓、これからの新しい国づくり日本建築学会 2012.3
- 2) 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集 2017.3

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 によるものであり、首都大学東京材料研究室、実建物調査関係者各位に助力を賜り感謝いたします。