

## 既存建物の非構造・天井部材における補修モデルに関する研究

### ～木摺り漆喰天井部材の補修工法～

\*岡健太郎, \*\*田村雅紀, \*\*\*後藤治

#### 1. はじめに

近年、建築物の長期使用や長寿命化を考える際に、材料レベルでの力学特性や耐久性などの狭義の品質に加えて、損傷率、故障率、安全性を含めた広義の品質として捉え、平常時・災害時の時間変化を含む使用環境を考慮した品質の確保に向けた動きがある<sup>1)</sup>。このような状況下で建築物全体の品質を考えると、地震等の外力に対する耐震性を満足するために多くの規基準が設けられている構造部材に対して、その内外に付加される仕上材料は、居住性や美観性、躯体の保護等の多様な性能が要求されるものの、耐震性を含めた観点から、要求性能の確認が十分になされていない。

実際、東日本大震災では多くの建築物で外装材や天井材等の非構造材の崩落事故が発生した<sup>2)</sup>。また昨今は、平成 26 年に施行された建築基準法施行令 39 条をはじめ、天井材等の非構造部材の落下における安全対応策の指針の制定など、構造材及び非構造材を包括した建築物の耐震性能を再考する状況になっている。それらを踏まえた対策として、既存建築物における天井部材では、天井材の直天井化や軽量化、新規の工法による施工がいくつか提案されている<sup>4)</sup>。

一方で、長期使用した歴史的建築物及び文化財化した建築物においては、100 年を超えて長期使用されているものや地域性に伴う固有の影響などにより、JASS 等の指針等で体系化されていない工法で施工された非構造材が及ぼす耐震性の低下に関わる影響があることに加えて、文化的・歴史的観点や当時の技法の個別性から意匠や材料の変更を含めた補修や改修が困難な部位があることも考えられる。

以上を踏まえ、本研究では、文化財建築物で多用される漆喰仕上げによる左官材料に着目する。これらは、天井だけでなく内外壁など広範囲に適用されている上、特色ある技法で施工された建築物が今日でも全国に数多く使用されている状況を鑑みて、長期に渡る使用の結果、ひび割れ・浮きが発生する段階まで劣化が進み、地震等の大きな外力によって、美観性が顕著に損なわれたり、安全性・耐久性・使用性の低下が生じる可能性がある。実際、長期使用された建築物で室内外の仕上材に損傷が発生すると、人的被害や躯体への影響の有無に関わらず、以降の安全性や部材補修の問題等で建築物ごと解体される事例があることから<sup>2)</sup>、災害時の安全性確保の観点に立脚した対応策を検討し、対象となる漆喰を用いた左官天井の健全度を把握し、補修等により性能改善を行う必要がある。

更に、現在の技術動向を概観すると、湿式の漆喰天井に限定すれば、JASS15 等の現行指針に概ね沿った形での再施工<sup>5)</sup>や、建築物の外壁補修技術を応用した漆喰天井の仕上

面側からの補強法<sup>6)</sup>などが検討・実施されているが、既存の左官天井部材下地の仕様が多岐に渡る傾向がある<sup>7)</sup>。松本らの報告<sup>8)</sup>では、多くの文化財建築における木摺り漆喰工法が適用された部材は、現行指針の JASS15 で提示されている寸法を上回る傾向があり、JASS15 の 2007 年版には「左官工事は適用可能な下地と仕上げの組み合わせが多岐にわたる」という文言があることから、同一の建築物であっても部材の劣化程度に差異が生ずることが考えられている。以上のことから、対象部材の劣化状況や保存価値（文化・歴史・技術・オーセンティシティ等）に適合した維持保全の手法を具体的に提示する必要がある。

そこで本研究では、既存左官部材の維持保全方法の一つとして、可能な限り既存材料を存置しつつも意匠の変更を伴わないことを念頭に置いた、下地側から実施する左官部材補修工法の開発を行う。特に本稿では、岩手銀行旧本店本館で使用されていた既存左官天井から採取した実部材を用いて、木摺り漆喰天井部材の剥離・剥落を抑制することを目的とした補修工法に関する基礎的検討結果を報告する。

#### 2. 木摺り漆喰天井部材における補修工法の検討

##### 2.1 木摺り漆喰工法の捉え方

表 1 に本論文で用いる木摺り漆喰工法に関する用語を示す。現段階において木摺り漆喰工法の研究に関する報告は多くはなく、部材等の名称は明確に統一されているわけではない。以上のことから、本論文内では建築工事標準仕様書・左官工事「4.4 木摺り下地」（以下、JASS15）を参考に、本稿で取り扱う用語を整理した上で使用する。

本研究で扱う木摺り漆喰工法は、漆喰荷重の木摺り下地への機械的抵抗力と剥落抵抗性に加えて、漆喰自体が担保することが可能な抵抗力が相互に作用することで、部材としての強度が発現されると考えられる。従って、木摺り下地の目透かし部分に食い込んだ漆喰の引掛り及び、小幅板と漆喰の接触面における付着強さによる剥落への抵抗性を整理することが重要な要素となる。

表 1 本論文で用いる木摺り漆喰天井部材に関する用語

用語	分類	内容
木摺り下地	部材	漆喰を塗り付ける下地部材
小幅板		木摺り下地に用いる木材
目透かし		下地に設けられる、漆喰が入り込む隙間
引掛り	部位	形状を問わず、下地に塗り込められた漆喰が支持力を発生する形状になっているもの
食い込み	現象	目透かしへ漆喰が入り込むこと

\*工学院大学大学院建築学専攻・修士 2 年 \*\*工学院大学建築学部・教授

## 2.2 補修工法開発のアプローチ

木摺り漆喰工法が適用された天井部材は、木摺り下地に対して下塗り、斑直し、中塗り、上塗りというように、うす塗りで層状に施工されることが多く、積層された漆喰の荷重は、1 層目に塗られる下塗り層が主に負担していると考えられる。また、同一の建築物で施工された部材であっても、小幅板の寸法や目透かしの幅にばらつきが多いと言われている<sup>78)</sup>。さらに、既往の研究<sup>9)~11)</sup>において、木摺り漆喰工法を適用した壁や天井部材の地震被害等による損傷は、漆喰層の剥落によるものが多いことが報告されている。特に剥落を起こした部材では、木摺り下地の目透かしから漆喰の引掛り部分が引き抜けて、下地の木部が露出する剥落性状が多い傾向がある<sup>9)~12)</sup>。漆喰層の荷重のほとんどは目透かし部分の引掛りが負担しており、下地と漆喰の接触面の付着強さは部材の支持力として寄与されにくいと考えられる。このことから、小幅板と漆喰の接触面における付着強さを当該補修工法によって改善することで、剥落に対する抵抗性を向上させることが求められる。

## 2.3 本補修工法で使用する樹脂

本稿で示す工法で用いられた樹脂は、コンクリート構造物の補修材や防錆剤として用いられる低粘度のアクリル樹脂（以下、樹脂）を応用したものであり、粘性をはじめ、浸透性や硬化時間など、施工状況に合わせた補修性能の調整が比較的容易であり、建築物ごとに異なる劣化の程度や、使用材料と施工方法に起因するばらつきが大きい左官部材に対して適用性が高いと判断された。

この樹脂は熱硬化性樹脂を主剤としており、12~16wt%の硬化剤を混合することでアクリルモノマー及びメタクリルモノマーからなる組成物(83~88wt%)の硬化体が形成される。また、流動調整用添加剤や硬化剤の種類、添加量を変えることで、硬化速度・粘度等の性状を比較的自由度高く制御することができる。なお、JIS A 6024 のエポキシ樹脂注入工法で主に用いられる低粘度形のエポキシ樹脂は 100~1000Pa・S の粘度を有するポリマーであるが、本工法で用いるアクリル樹脂は常温における常温の粘度が 80~100Pa・S の低粘度で、多孔質な材料に対して高い浸透性を有しており、硬化時間は 30 分~7 日程度まで制御できる。また、この樹脂は補修部位材料と混和して使用することも可能であり、本工法の一部では既調合漆喰と樹脂を同量混合したものを使用して、左官部材の物性に類似させている。

## 2.4 本補修工法の概要

表 2 に本研究における既存左官天井部材の補修手段の例を示す。まず、木摺り漆喰天井部材に対しては、劣化状況や部材・作業への負担軽減を含めた 3 種類の方法を検討した。3 工法の共通点としては、低粘度のアクリル樹脂を、天井部材の脆弱な部分へ注入・浸透させ、一体化させるものである。これら①~③の工法は、同一の部材であっても既存部材の健全度や施工状況に応じて混在させて施工することが可能であり、既存部材の保存性を高めたまま補修を行うことが可能である。

表 2 本研究における補修手段の例

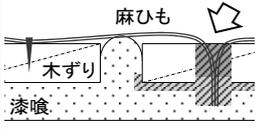
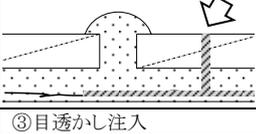
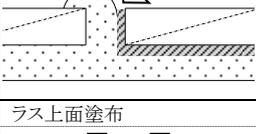
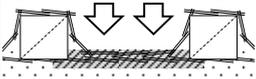
下地	補修断面図	用途
木摺り	①穿孔注入 	木摺りに約 φ10mm の穴を空け、樹脂を注入する方法。木摺りと漆喰の界面に大面積で樹脂を注入できる上、充填材によるアンカーの効果が期待できるので、補修効果は最も高いと考えられる。加えて、下地と支持部材を麻紐で締結することで、冗長性を付加させることが可能。
	②重ね塗り界面注入 	複数の層に塗り重ねて施工する漆喰部材の特性上、塗り重ね界面で剥離する可能性もあるので、その部分へ約 φ5mm で穿孔し、局所的に樹脂を注入して補修を行う方法。木摺りと漆喰の付着が比較的健全であった場合に用いる。
	③目透かし注入 	目透かしに沿って樹脂を流し込む方法。穿孔作業が必要なく、作業者の負担と天井部材への加工度が軽減できる利点がある。一方で、下地と漆喰の空隙、引掛り形状によって樹脂の浸透に差異が生じやすい方法でもあると考えられるため、今後も検証が必要である。
金属ラス参考)	ラス上面塗布 	左官天井は下地に金属ラスを用いているものも存在するので、本工法を発展させた形でラス下地の補修法も検討している。金属ラスは腐食した場合、下地ごと剥落する可能性がある。そこで、ラスの上面から樹脂を塗布すると同時に、既存天井の上部にラスを新規に覆い被せて天井部材の補強を図る方法を検討中であり、今後も試験を重ねる。
	ラス重ね張り+上面塗布 	

表 3 補修工法に関する実験の項目と内容

実験	試験体	要因	試験内容
1	小型模擬試験体	漆喰の調合 補修の有無、 漆喰層の塗り厚	JIS A 6909 付着強さ試験を参照し、小幅板と漆喰の接触面の付着力を補修・無補修で比較
2	既存部材	補修の有無、 加振方向、加速度	3 次元振動台を用いて、加速度、加振方向毎に既存部材への影響を補修・無補修で比較

表 4 補修工法に関する実験の使用材料及び部材

実験	材料	記号	内容
1	水	W	上水道水
	消石灰	C	JIS A 6902 左官用消石灰
	細骨材	S	大井川産陸砂(粒度 2.0mm 以下、絶対密度 = 2.68g/cm <sup>3</sup> 、吸水率 = 1.32%、F.M. = 2.83)
	すさ	F	アク抜き藁すさ(15mm 切) 密度 = 0.5g/cm <sup>3</sup>
	つまた糊	-	本実験では使用せず
	アクリル樹脂	-	主剤:硬化剤 = 100:4(質量比)で混合
	充填材	-	アクリル樹脂に同質量の既調合漆喰を混合
2	既存部材 1	M44	西側客溜まりから採取(明治 44 年施工)
	既存部材 2	S10	東側客溜まりから採取(昭和 10 年代施工)
	アクリル樹脂	-	主剤:硬化剤 = 100:4(質量比)で混合
	充填材	-	アクリル樹脂に同質量の既調合漆喰を混合
	麻紐	-	6 本撚り 引張強度:240N 以上

従って、漆喰を塗り直す更新が回避でき、コスト削減が図られる可能性が高い。また、木摺り漆喰を部分的に施工する高度な技術への要求が軽減され、下地側からの補修によって、漆喰天井の仕上げを損なうような影響を生じさせる可能性が低い。

なお表 2 の下部に、金属ラス下地の左官天井の補修案を示す。これら 3 工法の発展形として、ラスの上面に樹脂を塗布する方法をはじめ、既存部材の上から新規にラスを重

ねて下地材を補強する方法などに展開が可能である。

### 2.5 穿孔注入による補修法について（工法①）

表 2 に示すように、実工事における再現性および拡張性の高い補修工法を目指しているが、現段階においては工法①が、工法②及び③の要素を含み、適用範囲が広く、補修効果の高い工法と考えられる。従って、本稿では工法①を中心とした実験結果を報告する。

## 3. 木摺り漆喰天井部材における補修工法の開発

### 3.1 本補修工法における付着強さ試験の概要（実験 1）

#### 3.1.1 木摺り漆喰部材の小型模擬試験体について

表 3 に補修工法に関する実験の項目と内容、表 4 に補修工法に関する実験の使用材料及び部材、表 5 に小型模擬試験体の概要を示す。補修工法の基礎的検討に際し、木摺り漆喰天井部材を模した小型の試験体（以下、小型試験体）を試験室で作製した。木摺り漆喰天井部材において、漆喰の引掛りの脱落による損傷は、その部分の漆喰が最大強度に達する前に剥落する場合が多く、すき等の繊維状の含有物が多い材料の特性が発現されないため、引掛りが破断することによる破壊よりも脆性的な傾向を示す可能性がある。そこで今回は目透かしを省略した下地を用いて、漆喰調合を要因とした小幅板と漆喰の接触面における付着強さを評価する。また、同様の小型試験体に対して表 2 の工法①の方法で試験施工を行い、補修効果を確認する。

小型試験体の作製及び保管は気温 20℃・湿度 60% を目指した試験室にて行う。今回は漆喰のすき含有率、砂含有率、水消石灰比を実験要因として、養生期間 24 日の若材齢にて強度試験を実施し、安全側に立脚した相対的な比較を行う。小幅板は小型試験体 1 基あたり 4 枚（幅 40×厚さ 12×長さ 200mm）使用し、受け材（天井材の野縁に相当）2 本（幅 30×高さ 40×長さ約 200mm）へ隙間なく並べ、小幅板の幅方向に釘を 1ヶ所あたり 2 本ずつ用いて留付ける。最後に、漆喰の塗り厚に合わせて、下地の外周へせき板を取り付ける。なお、本実験では漆喰の塗り施工時に小型試験体の下地を架台から垂下することで実際の天井板の施工環境を模擬する。また、左官部材特有のコテ圧等の人為的な影響を生じにくくするため、小型試験体の作製は同一の作業者が実施し、塗り施工時と同様の向きのまま養生を行う。

#### 3.1.2 無補修の小型試験体における調合要因の比較

小型試験体の養生終了後、架台から取りはずして仕上面を上に向けて置き、JIS A 6909 を参考に 40×40mm のフィラーアタッチメントの中央が、それぞれの小幅板の長手方向の軸に位置するように漆喰の仕上面へ装着する。つまり、1 枚の小幅板の上部にアタッチメント 1 つを配置する。次に、アタッチメントの外周に沿って漆喰層に切欠きを入れた後、試験機を取り付けて上向きの荷重を加える。漆喰層が下地から剥離したところで除荷し、最大荷重を記録する。なお、養生中に漆喰が剥落する試験体が一部確認され、付着強さが極めて小さいことも予想されたため、切欠きの際には漆喰層が揺れ動かないように木材で下方向に押さえつけて行

い、付着強さ試験の試験機は小荷重でも測定可能なデジタルフォースゲージ（0.01N～50N）を用いる。

### 3.1.3 補修を実施した小型試験体の付着強さ

今回の補修効果の確認は、左官天井における剥離・剥落抵抗性への安全側に立脚した補修効果の検証を行うため、表 2 の工法①に準じた方法を採用する。養生終了後、架台から小型試験体を取り外して仕上面を下に向け、小幅板の中心部分へ 1 枚あたり 1 箇所の樹脂注入穴（φ 10mm）を穿孔する。穿孔深さは、小幅板の厚み+漆喰塗り厚×0.5 とする。注入後の養生期間は、JIS A 1612 を踏まえ、かつ今回使用する樹脂で制御できる最長硬化時間の 2 倍の 14 日とする。養生終了後、無補修試験体と同様の方法で試験を行うが、補修試験体では最大荷重 10kN の試験機を用いて、下地と漆喰の付着強さを測定する。

### 3.2 本補修工法における振動実験の概要（実験 2）

#### 3.2.1 評価対象建築物及び既存部材の採取

表 3 に実験項目と内容を、表 4 に使用材料及び部材を、表 6 に既存部材の評価対象建築物の概要を示す。既存の漆喰天井部材における検討に際して、岩手銀行旧本店本館（1911 年、辰野金吾・葛西萬司設計）の復原工事に併せて、既存の木摺り漆喰天井部材（以下、実構造部材）を約 1m 四方で実際に切断・採取した。この建築物は昭和初期に吹き抜け部分への増床や間仕切の増設等の改造が施されていたため、今回の復原にあたっては、撤去予定の天井部材の一部を採取することができ、本実験における実構造部材として活用した。

表 5 小型模擬試験体の概要

項目	内容
形状・寸法	木摺り下地を模擬 仕上面寸法：約 200×200mm
小幅板	杉荒材（厚さ 12×幅 40×長さ 200mm） 4 枚/1 基
受け材(野縁)	杉角材（幅 30×高さ 40×長さ 200mm） 2 本/1 基
釘	鉄釘(20mm) 小幅板の幅方向に 2 本ずつ 16 本/1 基
目透かし	なし（小幅板と漆喰界面の付着強さを評価）
せき板	漆喰塗り厚に合わせて下地の側面に取付け
漆喰の調合	水消石灰比 W/C（質量比）：75%、85%、90% すき含有率 F/V（体積比）：2、4% 砂含有率 S/V（体積比）：0、20、40%
漆喰塗り厚	約 10、20、30mm
作業方向	上向き（天井施工時の環境を模擬するため、漆喰仕上面が下向きになるように型枠を吊り下げる）
養生環境	気温 20℃、湿度 60%、養生期間 24 日 （実建物の天井施工時と同様、仕上面は下向き）

表 6 既存建物の非構造天井部材の評価例とする対象建築物の概要

名称	岩手銀行旧本店本館（国指定重要文化財）
設計	辰野金吾 葛西萬司
竣工	明治 44(1911)
構造	壁 体：煉瓦造(イギリス積み) 小屋組：木造トラス構造
調査箇所	木摺り漆喰天井
備考	2012 年に銀行用途廃止のち、2016 年まで耐震・修復工事を実施、以降は資料館・イベントスペースとして活用

表 7 実構造部材における試験施工の流れ

工事仕様	試験施工の流れ	木摺り下地側の平面図と施工位置
A: 施工前の確認	劣化状態の評価	<p>M44 試験体</p>
	寸法等の仕様の確認	
B: 穿孔の検討	位置	<p>S10 試験体</p>
	深さ	
C: 穿孔作業	穿孔	<p>○ 穿孔位置 (拡大して図示)                  - - - 麻紐の配置位置                  ● 樹脂の浸透イメージ</p>
D: 補修処理	1次注入	
	2次注入以降	
	麻紐の挿入	
	充填材の注入	
作業の様子	<p>A: 劣化状態の評価    B: 穿孔位置、深さの検討    C: 穿孔作業    D: 樹脂注入、麻紐差込    E: 充填剤による穴埋め    F: 麻紐の仮止め、固定</p>	

表 8 実構造部材の仕様

	M44	S10	
合計質量 (kg/m <sup>2</sup> )	23.31	37.29	
木摺り下地(杉材)想定質量 (kg/m <sup>2</sup> )	4.88	5.66	
漆喰層想定質量 (kg/m <sup>2</sup> )	18.43	31.63	
木摺り本数 (本/m)	18	23	
野縁太さ (mm)	52×52	56×56	
木摺り小幅板(杉材)の幅 (mm)	43~47	35~41	
木摺り小幅板の厚さ (mm)	7.6~9.9	8.3~11	
目透かし幅 (mm)	10~12	3~9	
漆喰層の構成 (mm)	下塗り	2~3	2~3
	斑直し	6~7	8~10
	中塗り	1~2	6~7
	上塗り	1	2
	合計	10~13	18~22

### 3.2.2 実構造部材に対する試験施工について (工法①)

表 7 に実構造部材における試験補修の流れ、表 8 に実構造部材の仕様を示す。補修対象の部材は建築物ごとに仕様の差異が大きい傾向のある左官部材であるため、施工前の健全度評価や仕様の調査が必要である。今回の実構造部材に対する試験施工でも、最初に仕上面の劣化状態の確認を行ってから、試験体の仕上面を下に向け、試験体の大きさに切断した 20mm 厚のスタイロフォームの上に置いて補修

施工を行った。工法①の場合、表 7 右側の平面図のように、樹脂は小幅板に沿って広がり、小幅板と漆喰の接触面が平面的に接着されると考えられるが、床に置いて作業を行う場合、木摺り下地の自重が樹脂の浸透に影響を及ぼす可能性があるため、樹脂の注入時には注入部分直下のスタイロフォームを抜去し、小幅板と漆喰の界面が圧着されないようにした。また、下地側からの補修作業は仕上面の意匠が変更されないという利点があるものの、作業中における仕上面の状況把握が難しいという側面があるので、実際の建物で施工を行う場合は、仕上面の状況把握を行う手段を策定しておくことが必要となる。今回の実験でも施工後に仕上面を確認したが、施工の影響によるひび割れの増加や樹脂の浸出は認められなかった。

### 3.2.3 本補修工法の振動実験による性能評価 (実験 2)

前述の 3.1 項の試験を発展させ、補修効果を含む剥離・剥落抵抗性を部材単位でも評価するために、3次元振動台による振動実験を実施した。表 9 に実構造部材への振動実験の入力波の種類と順番、写真 1 に加振フレーム、写真 2 に実構造部材の取付け状況を示す。実験を行うにあたり、天井板の野縁を挟み込むように鋼材の治具を圧接し、振動台上の加振フレームに吊り下げた。今回の実験では、天井を吊

り下げる治具及び加振フレームを全て鋼材で作製し、試験対象の部材以外が十分に剛体であると仮定した上で、入力波が部材に対して直接作用するようにした。また、試験体を吊り下げた後に表 7 右図の試験体中心線にそって漆喰層に切り欠きをいれ、補修の有無による影響を確認するための縁切りを行った。入力波は天井板の損傷状況や加振目的によってその都度決定したが、段階的に入力加速度が大きくなるようにした。なお最後に加振した M44 はすべて 900gal 以上の加速度を入力したが、これは先に試験した S10 が 900gal 以上でも顕著なダメージが認められなかったことを踏まえ、1 回目から大加速度を与えても大きな影響は与えないと判断したためである。

表 9 実構造部材への振動実験の入力波の種類と順番

部材	順番	入力波(gal)	周期(Hz)	時間(s)	加振方向
S10	1-1	300	2.5	120	Z 軸
	1-2	600			
	1-3	890			
	1-4	980	5	120	X 軸
	1-5				Z 軸
	1-6		2.5	600	Z 軸
	1-7				180
M44	2-1	980	2.5	300	Z 軸
	2-2				
	2-3				

表 10 実構造部材の加振段階ごとの状態

部材	順番	入力波(gal)	加振後の部材の状況
S10	1-1	300	仕上げ面のひび割れ進展は無く、剥落も発生せず。
	1-2	600	木摺り下地と漆喰の界面剥離が若干進行する。
	1-3	890	仕上げ面のひび割れ進展は無く、剥落も発生せず。木摺り下地と漆喰の界面剥離がさらに進行し、漆喰層の浮きが目視で認識できる箇所が増える。補修の有無による剥離程度に差異が生じ始める。
	1-4	980	仕上げ面のひび割れ進展は無く、剥落は発生せず。
	1-5		無補修側において、小幅板がそり上がって漆喰と剥離している箇所が認められる。その部分における漆喰の引掛りは、目透かしから抜ける形態となる。
	1-6		
	1-7		
M44	2-1	980	仕上げ面のひび割れ進展は無く、剥落は発生せず。木摺り下地と漆喰の界面に剥離は認められず、補修側、無補修側の顕著な差異は確認されなかった。S10 よりも漆喰層が薄く、自重が軽いことに加えて、目透かし部分の引掛りによる支持力が大きかったためと考えられる。
	2-2		
	2-3		



写真 1 加振フレーム



写真 2 実構造部材の取付け状況

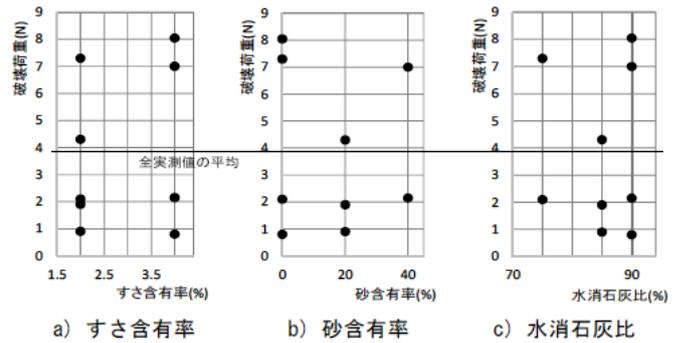


図 1 条件ごとの無補修の小型試験体の付着強さ試験結果

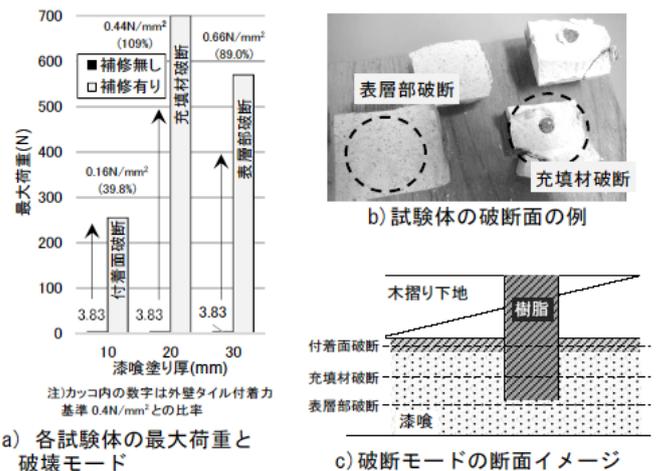


図 2 補修を実施した小型試験体の付着強さ



写真 3 S10 の最終加振後の各断面

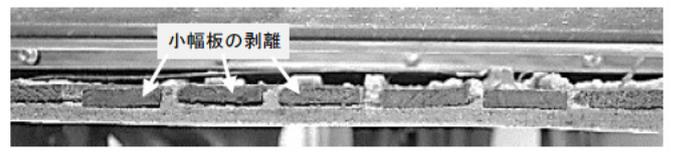


写真 4 M44 の最終加振後の各断面

#### 4. 木摺り漆喰天井部材における補修工法の性能評価結果

##### 4.1 本補修工法の付着強さ試験による性能評価（実験 1）

###### 4.1.1 無補修の小型試験体における調合ごとの比較

図 1 に条件ごとの無補修試験体の付着強さ試験結果を示す。実験の結果、各試験体の最大荷重の全平均は 3.83N であり、単位面積あたりの抵抗力 ( $0.0024\text{N}/\text{mm}^2$ ) で評価すると、外壁タイルの付着強さ基準  $0.4\text{N}/\text{mm}^2$  と比較して約 0.6% の値となっていた。漆喰調合による強度と木摺り下地の仕様に関する報告<sup>13)</sup>では、すき含有率が増加すると漆喰の曲げ、剪断強度共に増加し、目透かし幅と付着強さに相関関係が認められたが、目透かしを省略した下地においては、小幅板と漆喰の接触面における付着強さに、調合との相関関係は確認されなかった。加えて、養生中に漆喰が剥落する試験体もあったため、安全側に立脚した場合、小幅板と漆喰の接触面における付着強さは剥落の抵抗要素として期待できないことが改めて確認できた。以上のことから、目透かし部分の引掛りを考慮しない場合、小幅板と漆喰の接触面における付着強さは調合による影響は小さく、脆弱的な破壊を示す部分であると言える。

###### 4.1.2 補修を実施した小型試験体の付着強さ

図 2 に補修を実施した試験体の付着強さを示す。前述の実験における木摺りと漆喰の界面において、付着強さと調合との因果関係が認められなかったため、本論文では 4.1.1 における最大荷重の平均値 (3.83N) を用いて比較を行った。実験の結果、最大荷重は無補修の試験体と比較すると少なくとも 66.5 倍の付着強さの向上が認められた。漆喰と木摺りの界面で剥離することはなく、漆喰層における破断モードは図 2 c) に示す 3 つに分類できた。各破断モードで最大荷重にばらつきはあるものの、無補修の試験体と相対的に比較した場合、漆喰の荷重を負担する箇所として考慮できなかった木摺りと漆喰の界面に、剥落への抵抗性を高められることが分かった。

##### 4.2 本補修工法の振動実験による性能評価（実験 2）

表 10 に実構造部材の加振段階ごとの状態を、写真 3 に S10、写真 4 に M44 の最終加振後の無補修・補修側の各断面を示す。本検討における振動実験では、最終的に両天井板とも 980gal で加振を行ったが、仕上面のひび割れ進展は目視では認められず、剥落も発生しなかった。特に M44 は S10 と比較して漆喰層が薄く自重が軽いことに加え、施工状況が良好である故、木摺りと漆喰界面の顕著な剥離は認められず、無補修側、補修側共に十分な付着が保たれた。

一方で S10 は、無補修側よりも補修側の剥離幅が小さく、本補修工法による効果が認識される結果となった。また、今回は考慮していない木摺り下地の変形が発生した場合、下地の変形に追従できない漆喰層が剥落する可能性があるため、検討の余地がある。しかしながら、本試験では剥落こそしなかったものの、漆喰の引掛りが目透かしから引き抜けることにより、鉛直方向の支持力を低下したとみられる箇所があり、そのような部分は周辺の漆喰層が曲げや剪断応力を負担しているので不安定な状態といえる。

#### 5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 文化財建築物の既存の木摺り漆喰天井部材において、下地側から小幅板と漆喰の界面へ浸透性アクリル樹脂を注入する補修工法を開発した。この補修により、無補修の部材と比較して小幅板と漆喰の付着強さが少なくとも 66.5 倍向上し、漆喰の剥落への抵抗性を高められることを示した。
- 2) 目透かし部分の漆喰の引掛りによる支持力を排除した試験の結果、小幅板と漆喰の接触面の付着強さは、漆喰の自重を負担する要素として期待できないことが確認できた。この結果より、抵抗力の不足によって脆性的な剥落を起こす要因となりうる可能性がある。そのため、既存の木摺り漆喰天井部材を現状のまま活用する場合は、木摺り下地と漆喰の接触面における付着強さを高める補修を選択肢に含める必要がある。
- 3) 実構造部材に補修を施して最大 980gal の振動実験を行った結果、S10、M44 の両試験体とも、木摺り下地と漆喰の界面剥離が抑制されると共に、補修部分における漆喰引掛り部分の切断や目透かしからの脱落が抑制された。今後は、天井部材の変形を考慮した試験を重ねて行い、実構造物により近い条件で引続きデータ収集を行う。

#### 謝辞

本研究は株式会社樹丸山紘明氏及び株式会社ジャスト横島順一氏との共同研究であり、貴重なご助言を賜りました。また、実験の実施に際しまして、工学院大学山下哲郎教授をはじめ関係各位に多大なご助力を賜りました。

#### 参考文献

- 1) 田村雅紀, 野口貴文, 友澤史紀: コンクリート構造物における環境側面と社会ニーズ抽出手法に関する一考察, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.1, pp.1501-1506, 2005.6
- 2) 岡健太郎, 田村雅紀: 構造物の災害対応を含めた LCM 戦略, コンクリート構造物の補修・補強・アップグレード論文報告集, Vol.14, pp.295-302, 2014.10
- 3) 日本建築学会: 2011 年東北地方太平洋沖地震災害調査速報, 丸善出版, 東京, 2011.7
- 4) 日本建築学会: 天井等の非構造材の落下に対する安全対策指針・同解説, 丸善出版, 東京, 2015.1
- 5) 齋藤榮, 李榮蘭, 榎田佳寛, 小西敏正: 歴史的建築物明日館の修復・保存における左官工事について, 日本建築学会技術報告集, Vol18(40), pp.1117-1120, 2012
- 6) 杉江夏呼, 永井香織, 西谷章, 古谷誠章: 早稲田大学 2 号館(旧図書館)保存改修工事 その 1 建物概要と旧閲覧室の漆喰天井補強, 日本建築学会学術講演梗概集 2011, pp.849-850, 2011.7
- 7) 源愛日児: 木造軸組構法の近代化, 中央公論美術出版, 2009.8
- 8) 松本直之, 藤田香織: 近代木造建築の外周壁構法に関する研究 その 5 木摺下地の寸法と仕様に関する文献調査, 日本建築学会学術講演梗概集 2015, pp.441-442, 2015.9
- 9) 松本直之, 藤田香織: 近代木造建築の地震被害に関する研究 平成 23 年東北地方太平洋沖地震による振動被害を事例に, 日本建築学会学術講演梗概集 2013, pp.339-340, 2013.8
- 10) 松本直之, 藤田香織: 近代木造建築の外周壁構法に関する研究 その 4 旧伊達郡役所の静的増分解析と地震被害との比較検証, 日本建築学会学術講演梗概集 2014, pp.131-132, 2014.9
- 11) 岩田昌之, 津和佑子: 天井部材の構造安全性について, 文建協通信(121), pp.33-41, 2015.7
- 12) 田邊平學, 後藤一雄, 菊田守雄: 交番水平荷重を受くる木造有壁骨組(大壁)の実験, 建築學會論文集(13), pp.210-219, 1939.4
- 13) 岡健太郎, 田村雅紀, 後藤治: 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 その 5, 建築学会梗概集, 2015.9