

施工状態を考慮した木摺り漆喰天井の健全度評価と剥落防止技術の開発

DEVELOPMENT OF ROBUST-APPROACH REPAIRING METHOD OF WOODEN LATH AND PLASTER CEILING CONSIDERING QUALITY CONDITIONS

岡健太郎
Kentaro OKA

In recent years, it is necessary to secure the non-structural material in the event of a disaster. Lathing plaster ceiling of the traditional building is no exception. It is necessary to a healthy degree to properly evaluate respect for the value of such as culture, history, design, technology and authenticity of the traditional building. In this study, we have developed the repair method of existing ceiling by the acrylic resin. This technique does not require traditional skills. Therefore, to improve the health of the building at a low cost, it is possible to protect the history, culture, technology and safety. (English summary)

Keywords : *Iwate bank, Plasterer finishing material, Wooden lath and plaster, Ceiling collapse, Repair of existing member, Acrylic resin*
岩手銀行旧本店本館、左官系仕上り材料、木摺り漆喰工法、天井板剥落、浸透性樹脂、既存部材補修

1. はじめに

近年、建造物の長期使用を考える際に、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を捉え、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確保に向けた動きがある¹⁾²⁾³⁾。このような状況下で建造物全体の長期的な品質を考えると、地震等の外力に対する耐震性が明確に求められる構造部材に対して、仕上部材は使用性、美観性、躯体の保護等の多様な性能が求められる。それらの部材は、地震等の外力が作用した際に、部位と工法の組み合わせによっては、外観上の故障だけでなく部材の剥離、剥落なども起きる懸念があり、建物の機能や使用性ひいては使用者に影響を与える可能性もある。

なお、文化財建造物の仕上部材に関しては、現在の JASS 等の指針類で一般化されていない工法で施工された場合があることに加えて、施工時に適用された新規の技術特性が十分に精査されないまま用いられている可能性もある⁴⁾ため、施工当時の技能者や、使用材料、年代によって差異が生じ、同種の施工状態や劣化状態となる可能性は低くなるものと考えられる。また、文化庁の統計⁵⁾では、1996年に登録文化財制度が創設されて以降、文化財に相当する建造物は10000棟以上増加し、国宝・重文を合わせると2016年現在で15703棟程度ある。文化財に指定・登録された建造物は、保存活用の形態に合わせた保護措置がなされるが、登録数に伴って保護措置が必要な建造物が増加する状況下で、適用された工法の施工状態、劣化状態を踏まえ、それに対応し得る、文化財保護の観点に立脚した適切な補修・修復方法の検討は、十分になされているわけではない。

本研究では、近代以降の文化財建造物で普及したと言われる⁶⁾⁷⁾⁸⁾、木摺り漆喰天井部材に着目し、施工時の影響による品質のばらつきを含めた既存部材の健全度評価方法を踏まえて、ひび割れ等による外観上の劣化に加え、人的被害の発生要因となるような大面積での剥離・剥落の抑制技術を新たに開発する。加えて、岩手銀行旧本

表 1 岩手銀行旧本店本館の概要

所在地	岩手県盛岡市中ノ橋 1-2-20
設計	辰野金吾 葛西萬司
竣工	1911(明治44)年4月30日
名称の変遷	1911-1930 盛岡銀行本店、1936-1960 岩手殖産銀行本店、1960-1983 岩手銀行本店、1983-2012 岩手銀行中ノ橋支店
構造及び形式	壁 体:煉瓦造(イギリス積み)、2階建(塔屋3階) 小屋組:木造ブラットラス、銅板葺
重文指定	1994(平成6)年12月27日(文部省告示第151号)
補修対象箇所	旧営業室の天井(天井高 9m、面積 180m ²)のうち、木摺り漆喰工法が適用された左官仕上げ部分
 	
建物外観	
復元後の旧営業室の様子	

店本館を対象に、開発した補修工法により、既存漆喰天井の補修を実施した状況を整理・分析し、文化財建造物における左官部材の修復に関する基礎的資料とすることを目的としている。

2. 既存部材の健全度を踏まえた補修工法に関する実験概要

2.1 岩手銀行での既存部材の採取

表1に岩手銀行旧本店本館（以下、岩手銀行）の概要、表2に実験要因と評価項目、表3に使用部材及び材料を示す。既存の漆喰天井部材における検討に際して、岩手銀行の修復工事に併せて、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。今回の復元にあって撤去予定することとなった、複数の年代で施工された天井部材の一部を採取することができ、本研究で扱う既存木摺り漆喰部材の試験体として活用した。

表 2 実験要因と評価項目

実験	試験体	実験要因	実験方法	評価項目
1	M44	木摺り下地の寸法	画像解析	小幅板 1 枚毎の幅(cm) 目透かしの幅(cm) 目透かし率 GR(%) アンカー率 AR(%) 平均アンカー幅 AAW(mm) 集中度偏差
2	S10	引掛り・はみ出し 補修の有無 加振の方向、加速度	3 次元振動台を用いた加振実験	各加速度での損傷程度 補修の有無による損傷程度 補修の効果、信頼性

注) JIS R 5201 及び JIS A 6909 では「強さ」という用語が用いられているが、JCI-SF6 の表現に合わせて本文中では「強度」に統一した。

表 3 使用部材及び材料

実験	材料	記号	内容
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 本燃り 引張強度:240N 以上

表 4 画像解析の各評価項目の考え方

考え方	説明と算出式
目透かし幅 (cm)	天井全体における目透かし幅の傾向を評価することで、木摺り下地に対する漆喰の引掛りの状態を推測すると同時に、施工年代ごとの品質のばらつきの傾向を把握する
目透かし率 GR(%)	漆喰層の質量は、漆喰の引掛りによって支持されるため、評価対象面積に存在する目透かしの面積比を算出することで、漆喰層の剥落抵抗性を推測する $GR(\%) = \frac{\sum S_{wlc}(\text{cm}^2)}{\sum S_{pc}(\text{cm}^2)} \quad (1)$ ここに、 S_{wlc} : 評価対象領域の目透かし領域(cm^2) S_{pc} : 天井部材の評価対象領域(cm^2)
アンカー率 AR(%)	小幅板に対する小幅板上面の漆喰アンカーの面積比を算出することで、漆喰の引掛りが目透かしから脱落する可能性を評価し、漆喰層の脆性的な剥落の要因を推測する $AR(\%) = \frac{\sum S_{pa}(\text{cm}^2)}{\sum S_{wl}(\text{cm}^2)} \quad (2)$ ここに、 S_{pa} : 小幅板上面の漆喰アンカー領域(cm^2) S_{wl} : 小幅板部分の領域(cm^2)
平均アンカー幅 AAW(mm)	小幅板上面の漆喰アンカー領域の面積を、目透かしの外周長さで除し、漆喰アンカーの平均幅を把握する。 $AAW(\text{mm}) = \frac{\sum S_{pa}(\text{cm}^2)}{L_{WL}(\text{cm})} \times (2n-2) \times 10 \quad (3)$ ここに、 L_{WL} : 小幅板の長さ(cm) n : 評価対象部分の小幅板の枚数(枚)
集中度 S と集中度偏差	下地に配置したグリッドを基準とし、1 マス毎に漆喰の食い込みや引掛りのばらつきを把握することで、施工精度や塗り込みの強さを評価する(表 5、6 を参照) $S = \frac{\sum_{j=1}^{m-1} \sum_{i=1}^{n-1} \{ (A_{(i,j)} \times A_{(i+1,j)}) + (A_{(i,j)} \times A_{(i,j+1)}) \}}{m(n-1) + n(m-1)} \quad (4)$ ここに、 A : 評価値、 $A_{(i,j)} = \{1, 0\}$

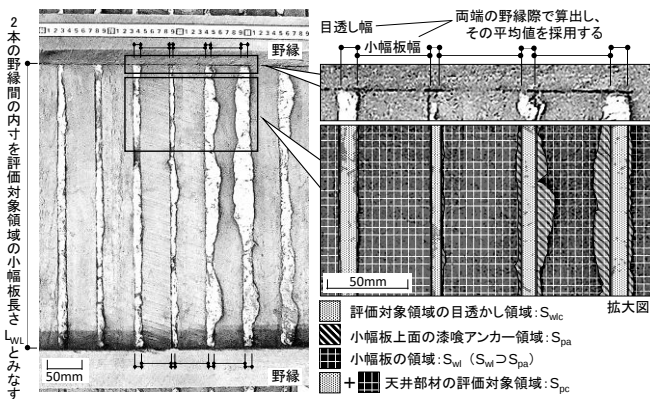


図 1 画像解析における各領域の判断例

表 5 集中度 S 及び集中度偏差の算出手順

内容	動作
親グリッドの配置	各列の目透かし幅を基準に 1 マスの幅を決定し、親グリッドの中心軸が目透かしの軸線を通るように配置する。親グリッドの縦横のマス数は任意であるが、野縁方向の親グリッド幅は目透かし幅の 5 倍程度にするのが望ましい。本研究では 1 マスの幅は配置する列の目透かし幅と同じにし、親グリッド 1 つあたり野縁方向 5 マス、小幅板方向 40 マスとする。
子グリッドの設定	配置した親グリッドを小幅板方向に仮想的に分割し、集中度偏差を算出するための子グリッドを設定する。本研究では親グリッドを 8 分割した 5×5 マスを子グリッドとする。
評価値 A の算出	子グリッド内において、あるマスに対して隣接する右マス、もしくは下マス内に連続して漆喰が存在する場合を 1、そうでない場合を 0 とし、各マスの評価値 A を算出する。つまり、1 マスあたりの評価値 A の最大値は 2、最小値は 0 となる。この動作は、全ての小グリッドで実施する。
集中度 S の算出	式(4)に示すように、算出した評価値を小グリッド毎に合計し、小グリッドあたりの評価値総和の最大値(接辺数)で除し、集中度 S を求める。
集中度偏差の算出	目透かし 1 列毎の漆喰引掛りばらつきを評価するため、小グリッド毎の集中度 S の標準偏差を親グリッド毎に算出する。

表 6 式(4)における分子(評価値 A)の判断方法の例

2本の野緑間、小幅板長手方向と平行に40マスを配置

i 軸: 野緑方向
 j 軸: 小幅板方向

本研究では子グリッドを5×5マスとしたいため、各軸の変域は $1 \leq m \leq 5, 1 \leq n \leq 5$ とする。

i 軸の1マスの幅は各列の目透かし幅と同じとする

子グリッド (それぞれ本枠で囲んだ部分)

漆喰の有無(有り:1, 無し:0)

評価値 A

評価マス

隣接するマス

$A_{(i,j)}$

右マス $A_{(i+1,j)}$

下マス $A_{(i,j+1)}$

$A_{(i,j)} \times A_{(i+1,j)}$

$+ A_{(i,j)} \times A_{(i,j+1)}$

a

0

1

0

$0 \times 1 + 0 \times 0 = 0$

b

0

0

0

$0 \times 0 + 0 \times 0 = 0$

c

1

0

1

$1 \times 0 + 1 \times 1 = 1$

d

1

1

1

$1 \times 1 + 1 \times 1 = 2$

e

1

1

1

$1 \times 1 + 1 \times 1 = 2$

2.2 実構造試験体の画像解析による木摺りと漆喰の食い込みの評価

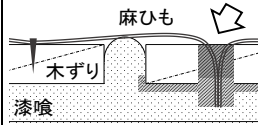
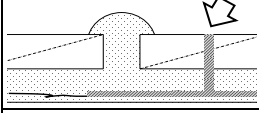
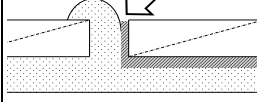
表 4 に画像解析の各評価項目の考え方、図 1 に画像解析における各領域の判断例、表 5 に集中度 S 及び集中度偏差⁹⁾の算出手順、表 6 に式(4)における分子(評価値 A)の判断方法の例を示す。木摺り漆喰工法における漆喰層の支持力は、目透かしの幅及び、その部分に食い込んだ漆喰(以下、引掛り)の形状に影響される¹⁰⁾ことを踏まえ、天井裏から天井面に対して垂直に撮影された画像を用いて、小幅板の幅や目透かしの幅、木摺り下地の小幅板上面における漆喰の平面的な広がり(以下、アンカー)を評価し、漆喰の引掛りが目透かしから脱落するような脆性的な剥落に影響を与える要因を検証することで、天井部材の健全度を簡易的に推測することを目指す。

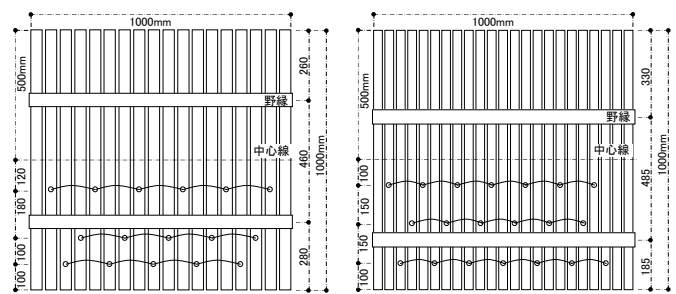
2.3 実構造試験体を用いた補修の施工性及び効果の実験的検討

2.3.1 本補修工法開発のアプローチ

木摺り漆喰天井部材は、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¹¹⁾。さらに、木摺り漆喰工法の壁や天井部材の地震被害等による損傷は漆喰層の剥落が多く、目透かしから漆喰の引掛りが脱落する剥

表 7 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の穴を開け、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、下地や漆喰の空隙、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りと考えられるため、今後も検証が必要である。



a) M44 b) S10
図 2 木摺り下地側の平面図と施工位置



写真 1 加振フレーム 写真 2 実構造部材の取付け状況

落性が多い¹²⁾¹³⁾。故に、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。

2.3.2 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ものを応用したものである。この樹脂は熱硬化性樹脂を主剤としており、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100～1000mPa・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粘度が80～100mPa・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上、補修部位材料と混和して使用することも可能である。このように、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。

2.3.3 本補修工法の概要

表 7 に本研究での既存左官天井部材の補修手段の例を示す。これは、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。この工法は既存部材を存置したまま補修を行うため、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。

2.3.4 実構造部材に対する試験施工について

図 2 に木摺り下地側の平面図と施工位置を示す。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緩衝材の上に置いて補修施工を行った。

2.3.5 本補修工法の振動実験による性能評価

写真 1 に加振治具、写真 2 に実構造部材の取付け状況を示す。補修効果を含む剥離・剥落抵抗性を部材単位で評価するために、3 次元振動台による振動実験を実施した。今回の実験で用いる治具を全て鋼材で作製し、試験対象の部材以外が剛体であると仮定した上で、入力波が部材へ直接作用するようにした。また、試験体の垂下後に図 2 の試験体中心線に沿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した。

3. 既存部材の健全度を踏まえた補修工法に関する実験結果

3.1 実構造試験体の画像解析

写真 2a)b)に画像解析に用いた各実構造試験体 M44 及び S10 の下地側の状況を、図 3 に画像解析結果の 2 試験体での比較を示す。目透かし幅は M44 試験体が 0.97～1.19mm、S10 試験体が 0.34～0.91mm であり、3.1 における実構造試験体の実測値と概ね一致した。また、S10 の目透かし幅は M44 に対して平均で約 70%と小さい傾向があるが、目透かし率 GR では 90%に増加するので、S10 は M44 に対して

小幅板の目透かしが狭い間隔で存在することが言える。このことは S10 の木摺り板の幅が M44 のものより約 20%狭いことから判断できる。一方で S10 のアンカー率 AR は、M44 に対して約 30%であり、漆喰の食い込みが少ないことを示している。また、アンカー率は目透かし幅と相関がみられ、目透かし幅が漆喰の食い込み及び引掛りに影響を与えることが分かる。同様に、平均アンカー幅 AAW も M44 の 2.55mm に対して S10 は 0.57mm と小さく、S10 においては漆喰の引掛りによるアンカー効果はほとんど期待できないと言え、目透かしから引掛りが脱落するような脆性的な剥落の要因となる可能性がある。また、M44 のアンカー率 AR は S10 に対して約 330%である一方で、集中度偏差は 133%に留まっていることから、木摺りに対する漆喰の食い込み及び引掛りが相対的に高い水準にあり、ばらつきも少ないことが言える。S10 はアンカー率が極端に少ない上に集中度偏差は M44 の 75%に留まっており、木摺りと漆喰の引掛りが少ない状態が部材全体に広がっていると理解できる。

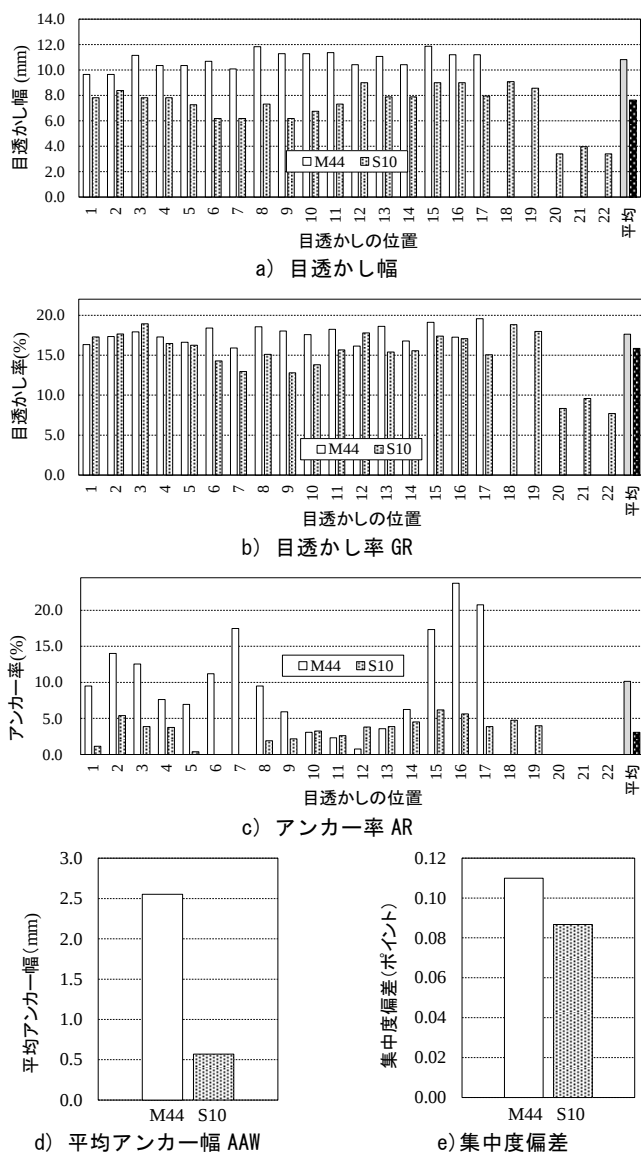


図3 画像解析結果の2試験体での比較

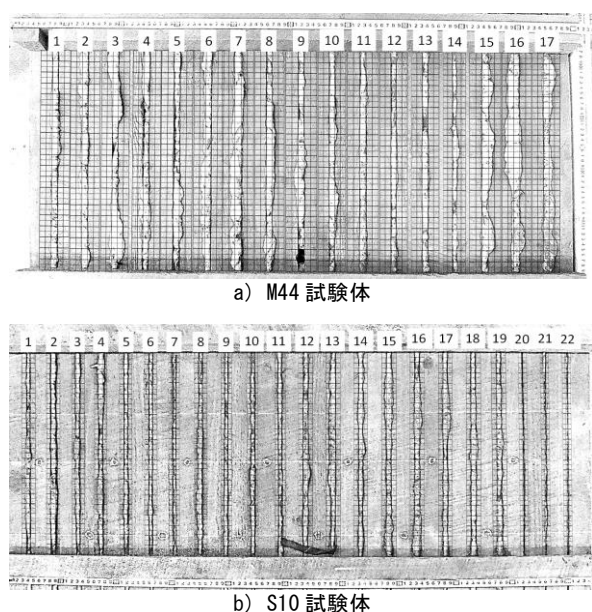


写真2 画像解析に用いた実構造試験体の下地側の状況

表8 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	仕上り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	仕上り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	仕上り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、小皿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	仕上り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け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

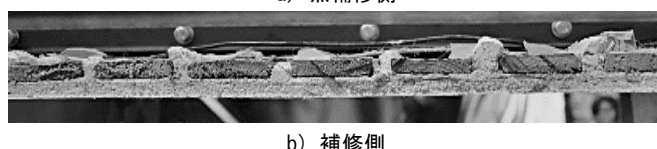
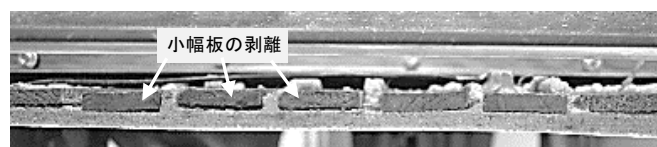


写真4 M44の最終加振後の各断面

3.2 本補修工法の振動実験による性能評価結果

表8に実構造部材の加振段階ごとの状態を、写真2にS10、M44の最終加振後の無補修・補修側の各断面を示す。なお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。本検討における振動実験では、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と比較して漆喰の塗り厚が薄く自重が軽いことに加え、目透かしや引掛け等が確保され、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ままであった。

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。本実験では、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抜けることにより、鉛直方向の支持力が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。その意味で、剥離剥落の危険性がある箇所の補修、発生の抑制は必要といえるので、文化財保護の視点を踏まえた予防保全の観点からも、本研究で開発した木摺り漆喰天井部材における樹脂注入による補修工法は一定の信頼性を有すると考えられる。

4. 岩手銀行漆喰天井の剥落抑制技術による補修工事について

4.1 施工環境の調査、施工性の改善

岩手銀行の修復工事では、竣工当時の姿に復原するだけでなく、新たな用途での使用性を高めることも目的とする。特に旧営業室は岩手銀行の中で最も広い空間であり、工事後はイベントスペースとして活用される計画である故、現状の意匠を保存すると共に安全性の向上を図るべく、竣工時には用いられていない新規技術も採用した修復が検討された。

図4に旧営業室天井・小屋裏の見下げ図、写真4に旧営業室上階の小屋組、写真5に旧営業室天井の支持部材を示す。実構造試験体での結果を踏まえて、岩手銀行の実施工準備に入った。旧営業室の小屋裏は銀行時代に物置として利用されていた。そのため簡易的な床板が小屋裏を全周する形で張られており、小屋裏内部の行き来に困難な点は無く、天井補修の準備作業も円滑に行われた。大半の床板は下弦材へ荷重が流れるように施工されていたが、一部の床板は吊り木受けへ直接載せられているものがあり撓みやすく、下地及び漆喰層へ変位を与える懸念があった。また、営業室の小屋裏はフトコロが約800mmある。本工法は天井の下地に施工を行うため、今回は作業性を考慮して仮設の吊り足場を設置する。この足場は施工の領域に合わせて移動できる形状とし、天井部材への影響を避けるため足場の荷重はトラスの下弦材へ流すこととした。

4.2 実施工の流れ

図5に岩手銀行における補修部分の概念図、写真6に岩手銀行現地での施工の様子、表9に岩手銀行天井部材補修の実施工の手順を示す。天井の仕上げ面から視認できるひび割れは小屋裏からは把握できないため、モールドの位置等を基準にひび割れの位置を座標化し、天井裏の下地へマーキングする。ひび割れの長さは約35475mmあり、主にモールドの入隅に沿って発生していたが、小屋裏の床板が原因と見られるひび割れもあった。

本工法は、樹脂注入箇所の増減によって、天井面全体を対象とした平面的な補修から、ひび割れや脆弱な部分に沿った局所的な補修を行うことが可能である。今回の施工はひび割れが発生している部分を中心に補修を行うこととし、営業室天井の全面積180m²のうち、ひび割れに沿った局所的な領域21m²の天井面を対象とした。また、樹脂注入用の穿孔位置は、ひび割れと平行に両側へ配置することを意識しつつ、漆喰の食い付きが物理的に不足しやすい野縁際に沿うこととした。加えて、既存の床板の下において、写真5に示す様に、伏せた体勢で施工を行う箇所があることが予想されたため、補修領域をA～Mの13工区に分け、難易度が低いと思われる工区から先に施工し、作業員の習熟度を考慮した施工計画を立てた。施工期間

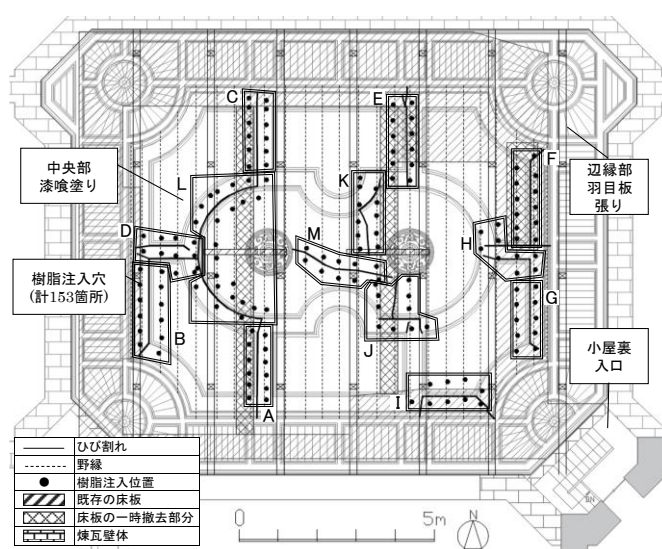


図4 旧営業室天井・小屋裏の見下げ図



写真4 旧営業室上階の小屋組



写真5 営業室天井の支持部材

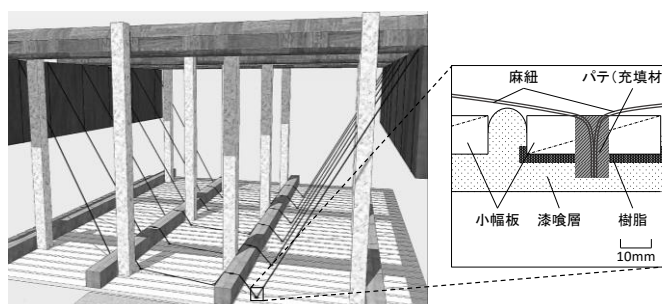


図5 岩手銀行における補修部分の概念図



a) 伏せた体勢での施工

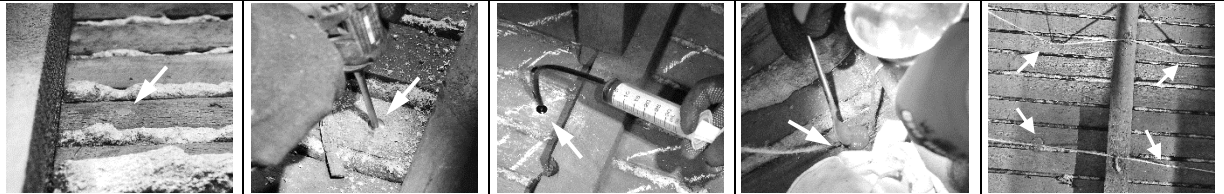


b) しゃがんだ体勢での施工

写真6 施工現場における足場板上での施工の様子と体勢

はシャンデリア等の照明工事を挟んだ2週間ほどの期間で行うため、各工程を追っかけ施工にて実施した。全工区においてひび割れの増加や樹脂の漏れ出し等による異常は無く、全工程合わせて13日間で施工が完了した。

表 9 岩手銀行天井部材補修の実施工の手順

内容		仕上げ面側	天井裏側	
対象部材	物理的性質の評価	漆喰仕上げ面のひび割れ、中塗り・上塗り界面の剥離、漆喰の浮きなどを評価する。	目視、触診、打撃試験によって、小幅板の浮きや痩せ、漆喰の劣化度、引掛り部分の状態等の健全度を評価する。また、小幅板の寸法など、対象部材の仕様を可能な限り把握する。	
	補修方法の検討	劣化の程度によって、補修方法と範囲を検討する。損傷箇所が明確であれば、局所的な補修も考慮する。		
	損傷箇所のマーキング	壁やモールド、照明取付穴等(天井裏から位置が推測できるもの)の位置を基準に、視認できる損傷箇所の座標を把握する。	把握した損傷箇所を天井裏から分かるようにする。(ひび割れに沿って水系を張る、下地にマーキング(除去可能なものを用いる)を付ける等)	
穿孔作業	穿孔位置の検討	選択した補修方法で樹脂注入用の穴が必要な場合、その位置を予め下地にチョーク等でプロットする。穿孔・樹脂注入の際に、ひび割れの拡大や樹脂の滲出が懸念されるため、穿孔位置はひび割れの直上を避ける。		
	穿孔深さの検討	確認した部材の厚さを基に、穿孔深さを検討する。例えば、補修方法①の穿孔深さの基準は、小幅板厚+漆喰塗り厚×0.5とする。同じ建造物、同じ空間の天井でも下地や漆喰の厚さに差異がある可能性があるため、穿孔部位ごとに深さの検討が必要な場合もある。		
	穿孔状況の評価	穿孔位置の直下にて、仕上面の状況を確認する。ひび割れの発生・拡大等の異常があった場合は速やかに作業を中断できるように天井裏側との連絡手段を確保する。	小幅板のめくり上がりや漆喰層の貫通に注意しながら、所定の深さまで穿孔を行う。この際、仕上面側に配置した状況確認班と常に連絡を取り合い、異常が認められた場合は速やかに作業を中断する。また、樹脂の浸透に影響が出るため、穴内外に残存する削りカスをブロワーや掃除機で除去する。	
補修処理	1 次注入	ひび割れなどから樹脂が滲出する懸念がある場合は、天井裏と連絡を取り合いながら、仕上面の状況を確認する。	1 回目の樹脂を注入する。注入量は、穿孔した穴の体積と同量とする。穿孔時と同様に、仕上面側に配置した状況確認班と常に連絡を取り合い、異常が認められた場合は速やかに作業を中断する。	
	2 次注入以降	1 次注入と同様に、天井裏と連絡を取り合いながら、仕上面の状況を確認する。	浸透状態は穴内部の樹脂の光沢を目視で確認し、底部の露出をもって浸透終了とみなす。終了した穴から 2 次注入を行うが、1 次注入から 60 分経過後までには浸透状態に関わらず全ての穴へ 2 次注入を行う。その際も穴体積と同量の樹脂を準備するが、穴から溢れ出る場合はその時点で注入を中断する。樹脂の浸透が早い場合や小幅板の浮きが目立つ場合は、3 次注入も同様の方法、注入量で実施する。	
	麻紐の挿入	注入終了後も樹脂は浸透を続けているため、終了後 10 分程度は仕上げ面の確認を続行する。	樹脂注入後、速やかに麻紐を差し込む。この際、麻紐はひび割れを跨ぐ配置とし、樹脂が硬化するまで粘着テープやステーパーを用いて仮止めを行う。	
	充填剤注入		樹脂と漆喰を同質量ずつ混合した充填材で麻紐を固定しつつ穴を埋戻す。	
	麻紐の締結		充填剤の硬化後、挿入した麻紐を、天井の支持材(小屋組や梁)に締結する。	
補修の様子				
	穿孔位置の検討 → 穿孔作業 → 樹脂の注入 → 麻紐の挿入、穴埋め → 麻紐の締結			

4.3 補修施工のまとめと課題

本工法は仕上げ面の仕様を変更せずに部材の補修が実施できる利点がある一方で、本工法の要となる天井下地面への接近作業に課題が残されていると考えられた。フトコロが深いため、仮設の吊り足場を設置する必要があった上、既存の吊り木等の部材の位置が不規則であるので、吊り足場の形状をその都度変更する仕様としたが、その際の足場の配置の検討や、安定性の確保に注意する必要があった。また、既存の床板が多く設置されており、可能であれば一時的に撤去した上で施工を行うが、撤去が困難な部材ある場合、その際の施工は吊り足場の上に伏せる体勢を強いられるため、良好な施工環境とは言い難い。これは施工場所が小屋裏の場合だけでなく、階上の床側から階下の天井を補修する場合も同様の問題が考えられるため、補修対象部材の下地側の状況から施工環境を想定した上で、補修計画を策定する必要があると言える。

5. まとめ

- 1) 木摺り下地小幅度や目透かしの寸法、漆喰のアンカー量などのパラメータを設け、木摺り下地の裏側(天井裏)から天井部材の耐震性能を非破壊で評価する方法を検証した。天井裏からの写真を用いた画像解析や目視検査によって施工状態や脆弱部分の推測ができるため、歴史的観点や当時の技法の個性から意匠や材料の変更が困難な左官部材で特に有効である。
- 2) 実構造試験体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。

- 3) 下地に穿孔し浸透性アクリル樹脂を注入し、麻紐を用いて漆喰と下地を締結する補修工法を新たに開発した上で、実施工検討として岩手銀行旧営業室の漆喰天井に適用した。営業室天井の全面積 180m²のうち、ひび割れに沿った局所的な領域 21m²の天井面に対して補修を実施し、全工程合わせて 13 日間で施工を行った。

参考文献

- 1) 日本建築学会，地球環境委員会：災害時のレジリエンス対応技術と資源ストック利活用の接点，2014 年度日本建築学会大会(近畿)地球環境部門 PD 資料，pp.1-6，2014.9
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 長谷川直司：歴史的建造物の保存再生に求められる技術，平成 26 年度 独立行政法人建築研究所講演会資料，p.53，2014.3
- 5) 文化庁：国宝・重要文化財等都道府県別指定件数一覧，<http://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/shokai/shitei.html>，(参照 2016.11)
- 6) 山田幸一：日本の壁，駈々堂出版，大阪，pp.133,165-177,230-231，1982.5
- 7) 近藤豊：擬洋風建築の研究，理工学社，東京，pp.228,239,241，1999.8
- 8) 木村勉：近代建築解体新書，中央公論美術出版，東京，pp.2,91，1994.3
- 9) 松山祐子，橋高義典，田村雅紀：景観材料のエイジング評価に及ぼす色彩特性の影響に関する研究 その 2 れんが風仕上げのモザイクパターンがエイジング評価に及ぼす影響，日本建築学会構造系論文集(586)，pp.23-27，2004.12
- 10) 岡健太郎，田村雅紀，後藤治：材料物性と下地仕様の観点からみた木摺り漆喰天井部材における基本性能と健全度評価に関する実験的検討，日本建築学会構造系論文集，82，731，pp.33-40，2017.1
- 11) 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
- 12) 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
- 13) 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