

木摺り漆喰吊り天井の力学的挙動と 持続可能な利活用に向けた健全度評価手法の提案

岡 健太郎

【論文要旨】

東日本大震災では多くの建築物で吊り天井部材の損傷が報告されたことから、平成25年国土交通省告示第771号をはじめ、天井材等の非構造部材の落下における安全対応指針の制定などが進められた。その対応として既存建築物にも改修範囲が広げられており、天井部材撤去による直天井化や仕上材の変更による軽量化などが提案・施工されている。

一方で、現段階において耐震改修の検討対象となる既存天井は、昭和30年代以降に導入された主に乾式仕上材と鋼製下地で構成されるものに留まっている。それ以前の年代では木製の吊り下地、及び左官仕上げの天井が広く普及していたが個体差が大きく、統一的な耐力評価や改修、補修が困難であることを指摘されている。

本研究の対象である木摺り漆喰天井はその代表例で、幅40mm程度の小幅板を10mm程度の目透かしに張った木摺り下地に漆喰仕上げしたものである。この工法は、幕末期から導入された西洋由来の建築技術が適用された近代洋風建築で多く用いられるようになった以降、日本古来の工法と融合することによって発展された経緯があり、後年の体系化へ繋がる技術の系譜を示す歴史遺産として貴重である。また装飾性の観点からも再製作が容易ではないことが多く、既存材料を活用した安全性の確保及び、そのための補修を行う必要性が極めて高い。現状では、木摺り漆喰天井において漆喰の剥落等による被害事例が報告されている一方で、歴史的・力学的等の観点に立脚した知見が不足しており、既往の実験的検証においては、木摺り下地と漆喰の付着強度に着目したマイクロ視点での報告に留まっているのが現状である。工法の年代的変遷を整理すると共に、天井全体で見た耐力推定や破壊メカニズムの解明、並びに非破壊の健全度診断手法や補修手法などを策定することができれば、木摺り漆喰天井の健全度や脆弱箇所・補修必要箇所等における適切な判断・診断に繋がり、増加傾向にある歴史的建築物の保存・改修、並びに外的要因への対策に資すると考える。

以上の背景により本研究では、木摺り漆喰工法を用いた天井部材、並びにその木製吊り下地の適切な健全度診断と継続的な活用を図るため、文献調査による当該工法の変代別変遷を整理して一般的な部材仕様を把握し、吊り下地から漆喰層までの各部位の力学的特性を明らかにすると共に、既存部材による非破壊健全度診断を試みた。これらを踏まえて、振動試験による破壊挙動との関連性を探ると共に、当該工法による既存天井部材の外観保護・継続活用を見据えた健全度診断手法を提案することを目的とした。

本研究は、第1章から第9章までで構成される。

第1章：序論

研究背景、目的、流れ、用語の整理を示した。近年、天井部材の損傷事例が顕在化してきている中で、近代洋風建築で多用された木摺り漆喰天井も例外ではなく、歴史的建築物の保護、継続活用の観点から問題提起を行った。そのうえで、知見が不足している当該工法に関する年代の変遷、健全度評価手法、破壊メカニズムを検証することで適切な維持保全を行う必要性を示した。

第2章：木摺り漆喰特性の力学的挙動と健全度評価・維持保全手法に関する既往の研究

木摺り漆喰工法に関する既往の研究を整理した。当該工法は、壁体に関しては耐震性の観点で昭和初期から検証されている一方、天井に関する知見は損傷が顕在化した近年以降のものに留まる上、木摺り下地と漆喰界面の力学的特性における検証報告のほかは、天井吊り下地の耐力推定に関する難しさを示唆した内容に留まる。また木摺り漆喰部材の損傷形態は漆喰層の剥落が壁・天井問わず多くみられ、長期（経年変化）・短期（地震など）の各要因が複合的に絡んでいるとされていた。それを踏まえて、漆喰剥落に影響する因子を特性要因図によって細分化し、本研究の検討分野との対応を整理した。また、既存天井材の保存事例を挙げ、「安全性の確保」と「材料・意匠等の保持性」は一般的にトレードオフになりやすく、保存価値や空間用途によって保存形態が異なることを示した。

第3章：木摺り漆喰工法に関わる歴史的変遷の調査

天井木摺り下地の諸寸法は漆喰の剥落抵抗性や耐力と密接に関連する可能性がありながらも、歴史的変遷は今まで明らかとなっていなかった。そこで幕末期～昭和期に建設された歴史的建築物の修理報告書や、同時期に刊行された建築技術書などから、天井木摺り下地や木製吊り天井下地の仕様に関する記述を抽出して年代別に整理し、寸法の変遷や、野縁、吊木、吊木受けなどの諸部材が分化する過程を示した。これにより、修理対象の歴史的建築物の竣工年代から、おおよその天井納まりを推測するための基礎データを収集した。

第4章：木摺り漆喰工法における基礎力学的特性の実験的検討

木摺り漆喰部材の耐力は、漆喰強度と下地仕様の組み合わせの結果と考えることができる。本章では第3章等の調査結果を踏まえた一般解として、漆喰材料および木摺り下地・漆喰の間の力学的特性を評価した。漆喰調合と木摺り下地の仕様は第3章の文献調査で得られた情報により代表値を決定した。調合は富調合の下塗り、貧調合の斑直しを代表として曲げ・せん断・圧縮強度を評価したのち、小型の木摺り漆喰試験体（要素試験体）を用いて、「目透かし部漆喰の食い込み深さ」「木摺り下地小幅板の断面形状」「小幅板と漆喰の面的付着」などをパラメータに漆喰引張試験を行い、最大荷重、破壊モードとの関係を明らかにした。

第5章：実在する建築物から採取した木摺り漆喰吊り天井を対象とした各種評価

実際の経年材（実建物からの採取部材）に対して新規試験体（要素試験体など）の再現性があれば、既存部材の損傷・滅失等を伴う強度試験などを最低限にしつつ保有耐力を推定することが期待できる。本章以降では、ある歴史的建築物の木摺り漆喰天井（昭和初期の施工）を対象に、天井仕様調査とそれを再現した試験体による吊り下地部の強度試験、ならびに採取天井部材を用いた漆喰引張試験を実施して、経年した天井の一例として考察した。特定の建物を例にした個別解にはなるが、第4章までの検討内容と比較することで、文献調査結果や要素試験体結果との整合性を明らかとした。

第6章：実在する建築物から採取した

木摺り漆喰吊り天井に対する非破壊試験による力学的健全度評価

歴史的建築物における部材保護の観点から、既存部材に対する非破壊試験による健全度評価手法の検討として、天井裏からの撮影画像を用いた目透かし部への漆喰食い込み形状から施工状態を評価する方法、並びにエコーチップ硬さ試験機を用いた天井仕上面の反発度分布による脆弱部推定を試みた。画像解析では、木摺り下地小幅板の水平投影面積に対する、目透かし部に食い込んだ漆喰の占有率などから、木摺り下地と漆喰の嵌合状態を評価し、発生しうる破壊モードなどの推定に必要な情報を整理した。また反発度試験では、漆喰の浮きや劣化状態によって打撃エネルギーの収支が変化する仮説を立て、測定値の面的な分布図やクラスター分析によって相対的に脆弱部分を割り出す方法を示した。

第7章：実験結果を基にした木摺り漆喰天井の保有耐力に関する解析的検討

第4・5章の試験結果を踏まえて、木摺り下地と漆喰の付着強度、ならびに吊り天井下地接合部の強度から、天井部材一般部（平面部）を想定した保有耐力を推定すると共に、想定荷重（地震時荷重）に対する保有耐力の比率を余裕度として評価し、今まで明確な知見が示されていなかった木製吊り天井部材の潜在的な耐力を明らかとした。また、木摺り下地と漆喰の引張試験で実施した各パラメータ・最大荷重の関係を基に、漆喰の剥離現象（最大荷重）に与える各パラメータの影響度を統計解析によって求め、効果的な補修のための基礎的データとした。

第8章：木摺り漆喰天井部材における外力抵抗条件ごとの剥離・剥落状況の実験的検証

木摺り漆喰天井試験体に振動を与え、第4～7章の検討結果との関連性の確認や、耐震性評価及び破損時の状況（漆喰食い込み部の損傷、剥落のメカニズム）を把握した。振動対象は第5章で用いた採取部材のほか、それを模擬した新規製作試験体であり、経年材と新規材の再現性の確認も行った。漆喰剥落時において、木摺り下地部分の応答加速度は10000～30000galを記録しており、鉛直方向の振動に限って言えば、相当に大きな加速度まで耐えること、並びに第7章で推測した余裕度とも概ね合致することを示した。また、剥落形態は試験体の端部（木摺り下地や漆喰の拘束条件が片持ちになっている部分）から内側へ連鎖的に伝播する傾向があり、実際の天井では貫通ひび割れ部分がそれに相当する可能性がある。

第9章：本研究の結論と今後の展望

全体の総括として、これまで明らかでなかった木摺り下地仕様や漆喰調合の年代の変遷や力学的諸特性、現地採取試験体とそれを再現した試験体との間で力学的な再現性などが確認できた他、画像解析や反発度測定による破壊モードや脆弱化部分の推定、保有耐力の算定などを通して、木摺り漆喰吊り天井の潜在的な耐力を明らかにできたことを述べた。当該工法は手作業や伝習的による性格が強く、特に天井部材はほとんど研究がなされていない領域であったが、本研究によって保有耐力や破壊性状などが明らかとなり、既存の木摺り漆喰天井の施工状態・劣化状態を評価し、明確な根拠を持ったうえでの補修・保存活用を図るための基礎的な情報を示すことができたといえる。同時に、面内外の変形を始めとする多くの課題も顕在化したため、第2章で整理した各因子と紐づける形で整理した。今後は、反発度測定値と実強度の紐づけや、破壊モードごとの保有耐力回帰式の検討、吊り天井部材の面内・面外・層間変形、天井と壁の取り合い部における挙動などを考慮した耐力評価、雨漏りや腐朽などを劣化因子とした剥落の要因について検討を行う必要がある。