

早稲田大学大学院 創造理工学研究科

博士論文審査報告書

論 文 題 目

小舞土壁の力学特性に及ぼす下地形態、
練り土の性質および塗付け方法の影響に関する研究

The Influence of the Configurations of Lath, the Properties
of Wall Clay and the Plastering Methods on Mechanical
Behavior of Clay Wall on Bamboo Lathing

申 請 者

山田	宮土理
Midori	YAMADA

建築学専攻 建築材料研究

2014 年 2 月

小舞土壁は、柱・梁・貫などの木製の軸組に、竹を格子状に編んだ小舞下地を取り付け、稲藁を混入した土を塗り付けて壁体を構築する伝統構法である。使用材料の殆どが天然素材であり、環境負荷の低減、室内空気の浄化、快適性の向上などの点で優れていることから、近年、住宅等の小規模建築への使用が期待されている。ところが、建築生産合理化の流れの下、この構法は衰退の一途を辿り、その間、耐震性などの性能評価がなされてこなかったため、今日、その採用を断念せざるを得ない場合も多い。

こうした状況を受け、木質構造分野においては、特に重要な構造耐力について、実大試験体を用いたせん断加力実験が多数行われている。これらの成果により、2003年には土塗壁等の壁倍率に関する告示（以下、告示という）が改正され、土塗壁の壁倍率は上方に修正された。しかし、天然素材の使用、地域による下地形態の違い、左官工の経験や技能に依存した材料の仕込み・調合・塗り付け方法など、構造耐力に影響を及ぼす因子の種類は多く、これらの影響が不明なため、現行の壁倍率は低く設定されている。

一方、材料施工分野では、材料物性や調合に関する実験に終始しており、施工後に実現される土壁の性能に基づき、荒壁土および中塗土（以下、両者を総称して練り土という）が具備すべき性質を論じた研究はない。

本研究は、乖離したこの両分野のはざまを埋めるものであり、小舞土壁の構造耐力に関係する力学特性と、下地形態、練り土の性質および塗り付け方法との関係を明らかにすることを目的としている。

本論文は、6章から構成されている。

第1章は、緒論であり、本研究の背景、および既往研究の現状と問題点を明確にし、本論文の目的と項目について述べている。

第2章は、荒壁土および中塗土の材料特性に関する研究である。藁スサを混入した練り土を対象とした従来研究では、施工軟度、乾燥収縮率、圧縮強度といった材料特性に関する基礎データの収集が主目的であったが、本研究では、塗り付け作業性ならびに下地に塗り付けた各層に生じるはく離・ひび割れの性状および力学的性質を対象とし、その総合的評価を試みている。

荒壁土に関する実験では、荒土の粒度、スサの長さおよび混入率の異なる23種類の荒壁土を、小舞下地の両面に塗り付けて平板を作製し、乾燥後、その中央部から小試験片を切り出し、切断面におけるはく離長さを測定して表裏一体性を評価している。また、中塗土に関する実験では、中土の粒度、スサの寸法および混入率の異なる36種類の中塗土を、荒壁層を模擬した下地に塗り付け、下地拘束を受けながら乾燥した際に生成する表面ひび割れの性状を分析している。実験の結果、荒壁土・中塗土とも、壁土の粒度が細かい調合ほど練り土の塗り付け作業性は良好であったが、荒壁層の表裏一体性を確保するために必要なスサ量および中塗層の表面ひび割れを抑制可能なスサ量は

共に増える傾向にあった。また、スサ量が増えると弾性係数、圧縮強度および吸収エネルギーは概して低下するが、荒壁層・中塗層の各々について、これら力学的性質とスサ混入率との関係を明らかにし、調合を決定する際の根拠としている。さらに、荒壁層の表裏一体性に対し、荒壁土を最初に塗付ける小舞下地の面（横竹側・縦竹側）、ならびにうら返し塗りを施す際のおもて塗り層の乾燥状態（乾燥・半乾燥・湿潤）およびおもて塗り層裏面への水湿しの有無などを要因とした実験を行い、その影響・効果を確認している。

以上より、従来、調合の決定には相当回数の試し練りが必要であったが、壁土の粒度または粘性・保水性を測定し、各層に期待する力学的性質を設定すれば、およそその調合が定まるため、この労力の大幅な削減が期待できる。

第3章は、水平力に対する小舞土壁の破壊性状および抵抗機構に関する研究である。これまでの実大壁試験体によるせん断加力実験では、壁土の種類・調合、下地形態、塗付け方法などを要因とした実験は殆どなく、事例によって強度特性や破壊性状が異なっていることの原因については明らかになっていない。本章では、告示に適合する仕様の壁試験体を4体作製し、正負交番せん断加力実験を行っている。なお、試験体の軸組・壁厚等の断面寸法は告示に準拠しているが、架構の寸法を短縮し、高さ中央に横貫1段を設けた小型試験体を用いている。荷重と変形角の関係のほか、加力中に生じる部材間のずれ・変形と外観に現われる損傷、さらに試験体解体時に確認した内部損傷を克明に観察・分析している。

その結果、小舞土壁における軸組以外の抵抗要素は、既往研究と同様、土壁層の隅角部の圧密、貫上下面の荒壁層の圧密、間渡竹による荒壁層のこじり、および小舞竹による荒壁層のこじりの4つであることを確認している。また、土壁層は、横竹側および縦竹側の荒壁層ならびにその両側の中塗層の4層から構成されているが、各層の主たる抵抗要素の種類は異なり、さらに各要素の抵抗力と変形角の関係も異なるため、隣接する2層間に挙動差が生じ、これがはく離の原因になっていると断定している。

第4章は、要素試験体による抵抗要素の力学特性の評価に関する研究である。第3章で確認した4つの抵抗要素を模擬した要素試験体を考案し、対角を単調に圧縮するせん断加力実験を行っている。各抵抗要素の抵抗力と変形角の関係に影響を及ぼす要因として、土壁層の乾燥収縮によるちり際の隙間、同様の原因による貫上下面の隙間、間渡竹端部を差し込むために軸組に設けた欠込みのゆるみ、および小舞竹端部と軸組とのクリアランスの4点を取り上げ、これら要因の組合せが異なる要素試験体を78体作製している。これらの試験体の荷重と変位の関係および破壊性状を比較することによって、各要素の抵抗機構を明らかにしている。

第5章は、抵抗要素の組合せが小舞土壁の力学特性に及ぼす影響に関する研究である。第4章で測定した各抵抗要素の荷重と変位の関係における抵抗

の開始点、最大点、下降域の勾配などに着目した分析に基づき、土壁の初期剛性および靱性の向上に有効と考えられる抵抗要素やその他の条件を抽出し、その組み合わせが異なる実大断面小型試験体を9体作製し、第3章と同様の正負交番せん断加力実験を行っている。

壁倍率の算定に用いる特性値を求めたところ、「初期剛性K」については、予期した通り、間渡竹端部のゆるみが小さく、荒壁土および中塗土の弾性係数が大きく、総厚に対して中塗層が厚いほど、K値は増大した。しかし、一般的な建築構造の靱性指標である「塑性率 μ 」は、値が大きいほど靱性が高いと評価されるが、ここでは靱性が高いと予想した試験体ほど小さな値となった。その理由は、 μ 値が降伏点変位に対する終局変位の比のことであり、靱性を高めた試験体では降伏点変位も増大したことにある。以上から、塑性率では、小舞土壁の靱性を適正に評価できないことを指摘している。

一方、破壊性状について詳細な分析を行っている。土壁層は、隅角部の圧密を伴いながら回転するが、靱性を高めた試験体では、間渡竹端部のゆるみが大きく、小舞下地のせん断変形の開始が遅いため、降伏時では、隅角部に軽度の損傷が認められたものの、容易に補修できる程度のものであった。これに対し、初期剛性の大きな試験体では、変形角が小さい段階から、土壁層を構成する4層の抵抗要素が効き始め、各層が異なった挙動を示すため、各層界面のはく離や間渡竹のこじりによる損傷など、いずれも補修が困難な土壁層内に損傷が及んでいることを結論付けている。

第6章は結論であり、各章の結果を総括して述べている。

以上を要するに、本研究は、従来、未解明であった小舞土壁の構造耐力に関係する力学特性と下地形態、練り土の性質および塗付け方法との関係について新しい知見を多数見出している。また、既往研究における壁倍率の向上を意図した初期剛性を高める手段の多くが、逆に降伏時の耐力・変形能力を低下させ、数十年に一度程度発生する中地震においても補修の困難な損傷が発生する危険性を高め、元来の伝統土壁が有する優れた靱性が損なわれていることを指摘している。本研究の成果は、天然素材を用いた伝統構法の性能評価に新たな展開をもたらし、その利用可能性の向上に寄与するところ大である。よって本論文を博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。

2014年2月

審査員	主査	早稲田大学	教授	博士(工学)	早稲田大学	輿石直幸
		早稲田大学	教授	工学博士(早稲田大学)		嘉納成男
		早稲田大学	教授	工学博士(早稲田大学)		曾田五月也
		早稲田大学	教授	工学博士(東京大学)		小松幸夫