

博士論文概要

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

2013年12月

近年、環境負荷の少ない小舞土壁構法が見直されている。ところが、品質・性能を重んじる今日においてこの構法を採用するには、第一に構造耐力の確保が必要である。構造耐力に関しては、実大試験体を用いた加力実験が多数の研究機関で行われており、近年ではこれらの結果の蓄積によって壁倍率の告示が改正されるなど、建築法規上での評価は除々に向上している。しかし、この壁倍率による評価では、初期剛性が重視され、小舞土壁の有する優れた靱性が適正に評価されているとは言い難い状況にある。また、小舞土壁では、使用材料の殆どが各地で入手可能な天然素材であることに加え、特に左官技術については試行錯誤の伝承によって修練したものであるため、練り土の性質や塗付け工程などに地域差があり、その結果として施工後の品質・性能にも優劣の差が大きい。

本研究は、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工程の影響を明らかにし、初期剛性のみならず、元来の優れた特徴である靱性を生かす条件を見い出すことを目的とした。

本論文は6章から構成されている。

第1章は緒論であり、研究の背景ならびに本論文に関連する既往研究とその問題点を整理し、本研究の目的および項目を示した。

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。

先ず荒壁土について、原土の種類、砂の混合率、藁スサの長さおよび混入率の異なる23種類の調合を対象とし、小舞下地を挟む荒壁土の表裏の一体性および圧縮特性を確かめた。表裏一体性は、小舞下地の表裏に荒壁土を塗り付けた平板(40mm厚、220mm角)の中央部から130mm角の試験体を切り出し、その切断面における表裏のはく離長さを求めて評価した。また圧縮特性は、小舞下地の無い平板(40×140×180mm)から40×40×80mmの角柱試験体を3体切り出し、圧縮応力-ひずみ関係を測定した。その結果、粘性・保水性に富んだ壁土を用いる場合ほど、鏝塗り作業性が良好で、かつ表裏の一体化が可能となる藁スサ混入率の範囲は、大きい側に移行することがわかった。また、この条件の範囲内で藁スサの量を少なくすると弾性係数と圧縮強度は向上するが、靱性値は低下することがわかった。さらに、同一調合では、長い藁スサを使用すると、弾性係数と圧縮強度は低下するが、靱性値は向上することが確認できた。

次に中塗土について、砂の混合率、藁スサの種類および混入率の異なる36種類の調合を対象とし、下塗りの荒壁層による拘束を考慮した平板試験体でひび割れ抑制効果を、荒壁土と同様の寸法の角柱試験体で圧縮特性を確かめた。その結果、粘性・保水性に富んだ壁土を用いる場合ほど、鏝塗り作業性が良好で、かつ有害なひび割れが発生しない藁スサ混入率の範囲は、大きい側に移行した。この条件の範囲内で、粘性・保水性に乏しい壁土を用いるほど藁スサの量が少なく済むため弾性係数と圧縮強度は向上するが、靱性値は低下することがわかった。また、同一調合では、使用する藁スサが短く細いほど、弾性係数および圧縮強度とともに

に、靱性値も向上する傾向が認められた。

第3章は、水平力に対する小舞土壁の抵抗機構および破壊性状に関する研究である。試験体は平成15年12月に改正された土塗壁等の壁倍率に関する告示（昭56建告1100）の仕様に準じて作製し、静的水平加力実験を行った。ただし、軸組の内法寸法は高さ1110mm・幅805mmであり、貫は高さ中央に1段配置した。

加力中および試験体解体後に破壊性状を詳細に観察した結果、既往研究と同様、軸組以外の抵抗要素として、隅角部の土壁層の圧密（Ⅰ）、貫の上下面の土壁層の圧密（Ⅱ）、間渡竹周辺の土壁層のこじり（Ⅲ）、土壁層で補剛された小舞竹の軸組へのめり込み（Ⅳ）の4つが確認できた。また、土壁層は荒壁層（横竹側）、裏返し塗り層（縦竹側）および両側の中塗層の4層で構成されており、各層の主たる抵抗要素は、荒壁層（横竹側）ではⅠ、Ⅱ、ⅢおよびⅣ、裏返し塗り層（縦竹側）ではⅠ、ⅢおよびⅣ、中塗層ではⅠと、異なっていることが確認できた。さらに、これらの抵抗要素には、ⅠおよびⅡでは練り土の乾燥収縮により生じるチリ際および貫上下の隙間、Ⅲでは間渡竹端部を差し込むために設けた欠込みの「ゆるみ」、Ⅳでは小舞竹端部の軸組との「クリアランス」が存在するため、各抵抗要素の効くタイミングがこれらの隙間の大小によって異なることが把握できた。

さらに、軸組のせん断変形に伴い、貫および横・縦の間渡竹もせん断変形するのに対し、土壁層はフレーム内で回転するため、荒壁層の表裏ではく離が生じやすかったが、間渡竹の「ゆるみ」が小さい場合は、荒壁層と中塗層の挙動差が大きくなり、その界面ではく離が生じやすくなるなど、抵抗要素の効き具合によって破壊性状が異なる可能性があることが示唆された。

第4章は、小型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つの抵抗要素について、その組合せが異なる小型要素試験体を78体作製し、対角を加力するせん断実験を行った。試験体の木製加力フレームの接合部はピン接合とし、フレームの内側の縦・横300mm角の部分に、上記の告示に準じて小舞下地を取り付け、この下地に荒壁土を表裏合せて40mm、その両面に中塗土を15mmずつ塗り付けた。

抵抗要素ⅠおよびⅡについては、それぞれ土壁層の四周および貫の上下面の隙間の有無を、Ⅲについては間渡竹の「ゆるみ」の大小を、Ⅳについては小舞竹端部の「クリアランス」の大小を要因とし、荷重－変形曲線および破壊性状の比較から、各要素が抵抗する変形角の範囲や荷重の分担割合などについて考察した。なお、小舞下地のみ試験体、中塗土を施さない荒壁試験体、間渡竹に割竹ではなく丸竹を用いた試験体も作製し、これらの影響を考察した。

次に、同様の実験を、練り土に使用する原土として新たに2種類を加え、また、荒壁土ではスサ混入量の少なくし、靱性値は低下するが弾性係数・圧縮強度を高めた調合を、中塗土の粒度を細かくして藁スサ混入量の多くした調合を加えて行った。さらに、水合せを行った荒壁土を用いた場合と、壁厚70mm内の荒壁層と中

塗層の層厚比（標準は 4 : 3）を 5 : 2 および 3 : 4 にした場合も加えて検討した。

さらに、塗付け工程に関係した要因として、通常、荒壁土は最初に横竹側から塗り付けるのに対して縦竹側から塗り付けた場合と、裏返し塗りは最初に塗付けた層の乾燥後に行うのに対して湿潤のうちに行った場合について、同様の検討を行った。

以上より、4 つの抵抗要素を単独または組み合わせた種々の場合について、荷重－変形曲線および破壊性状に現れる違いが明らかとなり、初期剛性および靱性について、それぞれの向上に有効な条件を整理することができた。

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 2 章および第 4 章で得られた知見を基に、初期剛性および靱性の向上に有効と思われる条件を組み合わせた壁試験体を作製し、第 3 章と同様の静的水平加力実験を行い、その効果を検証した。

選択した条件は、間渡竹の「ゆるみ」の大小、練り土の調合、荒壁層と中塗層の層厚比、ならびにチリ回り塗りの有無である。練り土の調合については、第 2 章の結果に基づき、荒壁土と中塗土のそれぞれに弾性係数および圧縮強度の優れた調合と靱性値の優れた調合の 2 種類を用いた。

間渡竹の「ゆるみ」については、小さい場合では、初期剛性は向上するものの、最大荷重および靱性に効果は見られないことが確認できた。

練り土の調合の影響については、荒壁土および中塗土に弾性係数・圧縮強度の大きい調合を用いた場合では、その力学的性質の影響のほかに、中塗土の乾燥収縮率が小さく、チリ際の際間が小さいため、中塗層の隅角部が微小変形時から抵抗したことも影響し、初期剛性は大きくなった。一方で、荒壁土および中塗土の靱性値が小さかったため、最大荷重および靱性は小さくなることがわかった。

荒壁層と中塗層の層厚比については、その比が 3 : 4 の場合には、微小変形時の主たる抵抗要素である中塗層が厚いことから、初期剛性は大きくなった。しかし、中塗層によって荒壁層の挙動が拘束されやすいため、塗付け各層にはく離が生じやすく、その結果として靱性は小さくなることが明らかとなった。

チリ回り塗りの有無については、有りの場合には、荒壁層のチリ際の際間に中塗土が充填されるため、荒壁層の隅角部が微小変形時から抵抗し、わずかに初期剛性は向上したが、最大荷重および靱性に効果は見られないことが確認できた。

以上の結果から、各抵抗要素の周辺に存在する隙間を極力小さくし、各抵抗要素に弾性係数の大きい材料を用いることで初期剛性を向上できることがわかった。しかし、塗付け各層の挙動の相違が大きく、はく離が生じやすいため靱性の低下は避けられない。元来の小舞土壁の優れた特徴である靱性を生かすためには、塗付け各層の挙動の相違を極力小さくし、各抵抗要素に靱性値の大きい材料を用いることが有用であることが明らかになった。

6 章は結論であり、各章の結果を総括して述べた。

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名 山田 宮土理 印

(2013年 11月 現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
論文	<p>題名：塗付け各層の一体性に影響を及ぼす要因 小舞土壁に用いる壁土に関する研究 その3</p> <p>掲載誌名：日本建築学会構造系論文集、第78巻、第693号、pp.1831-1839、2013.11</p> <p>連名者：山田宮土理、奥石直幸</p>
論文	<p>題名：藁スサを混入した荒壁土および中塗土の性質 小舞土壁に用いる壁土に関する研究 その2</p> <p>掲載誌名：日本建築学会構造系論文集、第78巻、第689号、pp.1209-1218、2013.7</p> <p>連名者：山田宮土理、奥石直幸</p>
論文	<p>題名：能登輪島の土蔵およびその修復に用いられた壁土の性質</p> <p>掲載誌：日本建築学会技術報告集、Vol.15、pp.377-382、2009.6</p> <p>連名者：奥石直幸、山田宮土理</p>
講演	<p>題名：壁土の性質に関する基礎的研究 第21報 荒壁の圧縮特性に及ぼす調合の影響</p> <p>掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）、Vol.A-1、pp.889-890、2013.8</p> <p>連名者：○山田宮土理、奥石直幸、佐藤絢一</p>
講演	<p>題名：壁土の性質に関する基礎的研究 第20報 荒壁の表裏一体性に及ぼす調合の影響</p> <p>掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）、Vol.A-1、pp.887-888、2013.8</p> <p>連名者：○佐藤絢一、奥石直幸、山田宮土理</p>
講演	<p>題名：土蔵の左官技術に関する研究 第3報 修理工事報告書に基づく塗付け工程および壁体層構成の分析</p> <p>掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）、Vol.A-1、pp.895-896、2013.8</p> <p>連名者：○鈴木郁、奥石直幸、山田宮土理</p>
講演	<p>題名：壁土の性質に関する基礎的研究 第19報 下地拘束のある状態で乾燥固化した中塗りの性質</p> <p>掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）、Vol.A-1、pp.433-434、2012.9</p> <p>連名者：○山田宮土理、奥石直幸、神品夏葉、佐藤絢一</p>
講演	<p>題名：壁土の性質に関する基礎的研究 第18報 中塗土の基本的性質</p> <p>掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）、Vol.A-1、pp.431-432、2012.9</p> <p>連名者：○神品夏葉、奥石直幸、山田宮土理、佐藤絢一</p>
講演	<p>題名：土蔵の左官技術に関する研究 第2報 壁体構成層の材料物性の試験結果</p> <p>掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）、Vol.A-1、pp.437-438、2012.9</p> <p>連名者：○鈴木郁、奥石直幸、山田宮土理、高木涼介</p>

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
講演	<p>題名：土蔵の左官技術に関する研究 第1報 解体ブロックからの各層性質試験用試料の作製方法 掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）、Vol.A-1、pp.435-436、2012.9 連名者：○高木涼介、興石直幸、鈴木郁、<u>山田宮土理</u></p>
講演	<p>題名：土素材を用いた建築生産に関する研究 第2報 伝統木造住宅と一般的な住宅の比較評価 掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）、Vol.A-1、pp.447-448、2012.9 連名者：○中村航、興石直幸、坂本和繁、<u>山田宮土理</u></p>
講演	<p>題名：土素材を用いた建築生産に関する研究 第1報 伝統構法に関する建築費、二酸化炭素排出量および労務歩掛り 掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）、Vol.A-1、pp.445-446、2012.9 連名者：○坂本和繁、興石直幸、中村航、<u>山田宮土理</u></p>
講演	<p>題名：壁土の性質に関する基礎的研究 第17報 吸湿が壁土の圧縮強度に及ぼす影響 掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、Vol.A-1、pp.901-902、2011.8 連名者：○神品夏葉、興石直幸、<u>山田宮土理</u>、森田将史</p>
講演	<p>題名：壁土の性質に関する基礎的研究 第16報 外力としての水分の影響を検討するための吸湿方法 掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、Vol.A-1、pp.899-900、2011.8 連名者：○<u>山田宮土理</u>、興石直幸、神品夏葉、森田将史</p>
講演	<p>題名：壁土の性質に関する基礎的研究 第15報 荒壁と中塗りの一体性に及ぼす影響 掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、Vol.A-1、pp.449-450、2010.9 連名者：○鈴木郁、興石直幸、<u>山田宮土理</u>、森田将史</p>
講演	<p>題名：壁土の性質に関する基礎的研究 第14報 原土の種類およびスサ混入量が荒壁の力学的性質に及ぼす影響 掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、Vol.A-1、pp.447-448、2010.9 連名者：○<u>山田宮土理</u>、興石直幸、鈴木郁、森田将史</p>
講演	<p>題名：壁土の性質に関する基礎的研究 第13報 荒壁の力学的性質の評価に用いる試験方法の考案 掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、Vol.A-1、pp.445-446、2010.9、 連名者：○森田将史、興石直幸、<u>山田宮土理</u>、鈴木郁</p>
講演	<p>題名：壁土の性質に関する基礎的研究 第12報 乾燥固化後の壁土の性質に及ぼすスサ混入率および水合せ期間の影響 掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）、Vol.A-1、pp.457-458、2009.8 連名者：○<u>山田宮土理</u>、興石直幸、神保奈央子</p>

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
講演	<p>題名：壁土の性質に関する基礎的研究 第 11 報 湿潤状態の壁土の性質に及ぼすスサ混入率および水合せ期間の影響 掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、Vol. A-1、pp. 455-456、2009. 8 連名者：○神保奈央子、興石直幸、<u>山田宮土理</u></p>
講演	<p>題名：壁土の性質に関する基礎的研究 第 10 報 スサを混入した練り土の性質試験方法の検討 掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）、Vol. A-1、pp. 175-176、2008. 8 連名者：○<u>山田宮土理</u>、興石直幸、位田達哉</p>
講演	<p>題名：壁土の性質に関する基礎的研究 第 9 報 湿式成形した壁土の一軸圧縮強度に影響を及ぼす要因 掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、Vol. A-1、pp. 173-174、2008. 8 連名者：○興石直幸、<u>山田宮土理</u>、位田達哉</p>
講演	<p>題名：壁土の性質に関する基礎的研究 第 8 報 擬似水合せを目的としたセルロースエーテルの効果 掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）、Vol. A-1、pp. 655-656、2007. 8 連名者：○興石直幸、<u>山田宮土理</u>、位田達哉</p>
講演	<p>題名：壁土の性質に関する基礎的研究 第 7 報 水合せが壁土およびスサに及ぼす影響 掲載誌名：日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）、Vol. A-1、pp. 653-654、2007. 8 連名者：○<u>山田宮土理</u>、興石直幸、位田達哉</p>
その他	<p>題名：水平力を受けた小舞土壁構法の破壊性状 掲載誌名：建材フォーラム、445 号、pp. 18-23、2013. 9、工文社 連名者：<u>山田宮土理</u></p>
その他	<p>題名：Campus Note 土壁に関する研究を通して 掲載誌名：FINEX、Vol. 23、No. 136、pp. 44-47、2011. MAY/JUN. 、日本建築仕上学会 連名者：<u>山田宮土理</u></p>
その他	<p>題名：小舞土壁に用いる壁土材料に関する研究 掲載誌名：建材フォーラム、409 号、pp. 16-17、2010. 9、工文社 連名者：<u>山田宮土理</u></p>
その他	<p>題名：土・建築・環境 エコ時代の再発見(原著:Building with Earth) 出版社、出版年月：西村書店、2010. 8 連名者：監訳:興石直幸・藤田香織、翻訳:前島彩子・<u>山田宮土理</u>・朝光拓也(著者:Gernot Minke)</p>