

文豪井上靖・上の家の保存再生に向けた既存漆喰仕上げ壁の復原工事と性能評価

DB19044 梅田栞合

1. はじめに

ストック化社会に貢献するために、歴史的建築物の保存再生や耐久性の調査をし、建築物・建材の価値を持続させることが必要だ。そこで本研究では、築 150 年を経過した文豪井上靖の老家である“上の家”を研究対象とし、現存する漆喰仕上げ土壁の補修・復原保存改修の実施工と性能評価を行う。2021 年 10 月から産学連携により静岡県伊豆市と協働で、“文学の里”として地域文化の継承を目標に取り組みを行い、最終的にこの“上の家”を地域コミュニティの場として活用することを目指す。

2. 研究の流れ

図 1 に研究の流れを、表 1 に研究対象の建物概要を、表 3 に実験内容を示す。まず研究 1 では、改修工事前の土壁の劣化状態の調査、力学特性試験を行う。次に、研究 2 では 1 階の既存土壁の補修・保存改修³⁾⁴⁾を行う。研究 3 では、1 階北面東側の既存土壁と上塗り漆喰補修、外観なまこ壁の漆喰補修を行う。研究 4 では既報⁵⁾をふまえて、補修後の土壁・漆喰仕上げの性能評価を行う。

3. 文豪井上靖・上の家の土壁劣化状態調査

3.1 劣化要因の推定(研究 1)

図 2a)に 150 年前に施工された既存建物の北面西側の土壁を示す。当該部の壁は、2 階の壁荷重が大きく作用する部位であり、地震時に屋根からの大きな荷重が基礎接続部にかかることがわかる⁵⁾。そのため、土壁の土台付近壁土の剥離、崩落が壁幅全体に起きたと考えられる。さらに建物全体が右下に沈下していることから、当該部の壁全体に斜めに貫くひび割れの原因は、妻壁全体のせん断変形に伴うせん断破壊により生じたといえる。また調査により、当該壁の屋内側は、板張り仕上げとなっており、両面が「荒壁+中塗り+漆喰上塗りの真壁造り」となっていなかった。ここは旧道に面した玄関の表空間「ハレの間」に対して、一番奥まった「ケの間」(勝手口)であることから、板張りで簡素な造りとなったと推測する。また、おもて(土壁側)からも、柱奥の荒壁の隙間から反対側の板張りが直ぐ見える状態であり、小舞中心面の両側で壁剛性を確保するのではなく比較的簡易な造りであった。

以上より、補修の方針は、1) 荒壁の充填補修、2) 中塗りのひび割れ樹脂充填／表面部樹脂含浸補修／漆喰剥がれ部の切断・貼付補修、3) 上塗り漆喰補修 4) 土壁の性能評価の大きく 4 つを行うこととなった。

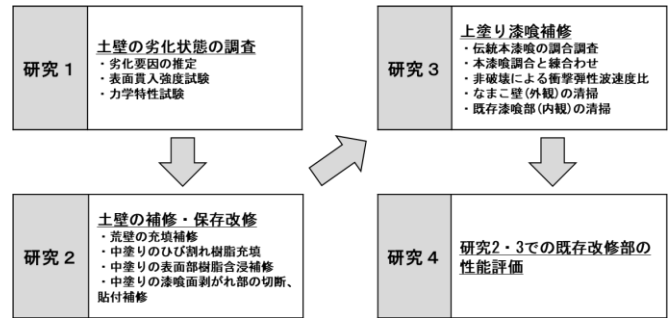


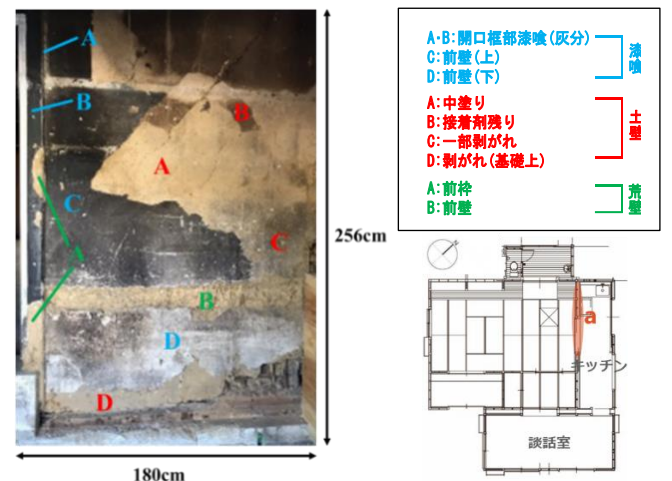
図 1 研究の流れ

表 1 研究対象の建築物概要

名称	上の家(通称)
所在地	静岡県伊豆市湯ヶ島 189
建築年代	明治初年(1873 年 明治 6 年の説もある)
建築主	井上潔(井上靖の曾祖父)
構造	木造 2 階建
延床面積	91.09 m ² (1F : 57.97 m ² 、2F : 33.12 m ²)
<p>a) 北側正面 b) 井上靖(1907-1991)¹⁾</p>	

表 2 土壁・本漆喰の修復に向けた材料配合²⁾

	荒木田土 (kg/m ²)	大井川産 陸砂 (kg/m ²)	水 (kg/m ²)	イナワラ (kg/m ²)
土壁部	11.3	3.45	4.72	0.5
	漆喰粉 (kg/m ²)		水 (kg/m ²)	
本漆喰部	5.0		3.25	



a) 1 階 北面西側の既存土壁

b) 1 階 平面図

図 2 研究対象とする明治期の既存漆喰壁

3.2 土壁の表面貫入強度試験(研究1)

土壁の劣化状態を調査するため、表 3a)のパワーフォースゲージを用いて表面貫入強度試験を行った。図 2a)は対象土壁を各仕上部ごとに分類した様子を示す。パワーフォースゲージ先端の1mmを土壁に貫入させるために必要な貫入強さ(N)を各仕上部、5回ずつ計測を行った。

図 3 に各仕上部の貫入強さ平均と標準偏差を示す。漆喰部のB前枠の貫入抵抗72.3Nが最大で、仕上部のD基礎上の貫入抵抗3.8Nが最小で、最大と最小の差が68.5Nであった。土壁の変形に伴い、漆喰が剥がれることにより土壁表面が風化することで大きく強度低下をし、大幅な埋め直し補修が必要となった。

4. 既存漆喰仕上げ土壁の力学特性試験

4.1 土壁試験体の作製(研究1)

実施工で用いる伝統調合²⁾と同等の材料配合、土:砂:水:スサ=31.4:9.6:少量:1.4で、角柱40×40×160mmの土壁試験体を9本作製し、力学特性の評価を行う。

荒壁土は材料を練り合わせ3週間発酵させた後、型枠に打設する。そして3週中乾燥をした後、脱型を行った。また強度の均一化を図るため、乾燥機を用いて含水率が平衡状態に達するまで乾燥を行う。結果として、60℃で3時間20分の乾燥を行った。また、作製した9本のうち3本に1回樹脂含浸、3本に2回樹脂含浸を行い、樹脂塗装試験体を作製する。樹脂は、主剤:促剤:硬化剤=100:2:4で調合した特殊アクリル樹脂を使用した。

4.2 曲げ・圧縮・せん断試験(研究1)

表 3 に試験概要図を示す。3点曲げ試験では、曲げ荷重とたわみ量の関係の評価をした。また、樹脂含浸試験体は、地震により荷重がかかった際に、壁が屋外側の面外に飛び出ることを想定し、樹脂含浸した面を引張側にして曲げ試験を行う。図 4 に曲げ強さとたわみ曲線を示す。さらに、図 5 に曲げ破壊エネルギーを示す。耐震性能評価より最大許容変形量をたわみ5mmとし、5mmまでの曲げ強さとたわみ曲線下の面積を算出し、それを曲げ破壊エネルギーとする。また、図 6 に曲げ強さ、図 7 に圧縮強さ、図 8 にせん断強さを示す。

以上より引張・曲げが生じる表面部に複数のアクリル樹脂塗布をすることで、浸透部の曲げ強度を中心に各種強度が改善する一方、内部との強度差が生じるため、表面破壊時の破壊性状が脆性的になるため、曲げ破壊エネルギーは同程度の変化が留まることがわかった。

5 既存漆喰仕上げ土壁の補修・保存改修

5.1 荒壁の充填補修(研究2)

表 2 に土壁の原料調合を示す。土壁の原料は伝統的調合²⁾を採用し、土:砂:水:スサ=31.4:9.6:少量:1.4を用い、土は関東の荒壁に使用する荒木田土を使用した。水は全体の10%(1.18kg)ずつ加えて攪拌し、イナワラと荒木田土が満遍なく混ざり適度な固さになるまで水の割合を増加させ、最終的

表 3 実験内容(研究1,2,3,4)

	項目	内容
研究1	表面貫入強度試験	a)パワーフォースゲージのアタッチメントの1mm部分に印を付け、土壁に印の部分まで押し付けその時の値(必要な力)を測定する。
研究2	ひび割れ幅と深さの相関	ひび割れを大小に分け、b)針試験器と針金を用いてひび割れ深さを測定し、c)クラックスケールを用いてひび割れ幅を測定する。
	土壁の表面樹脂含浸補修	【対象面積】1.795㎡ 【樹脂配合率】硬化剤/主剤=6% 【塗布量】950g/㎡(1回目)、700g/㎡(2回目) 【塗布方法】刷毛(端部・凹み部分)、ローラー(平面部) 【塗布回数】2回(ただし1ヶ所あたり、刷毛・ローラー往復を1回とする) 【施工時間】約1時間/㎡・1回 【養生時間】約2時間(2回目までの存置時間)
研究3	漆喰面剥がれ部の切断・補修	【樹脂配合率】硬化剤/主剤=6% 【塗布方法】刷毛 【塗布回数】2回 【養生時間】約2時間(2回目までの存置時間)
	漆喰面剥がれ部の切断・貼り付け補修	【樹脂配合率】硬化剤:主剤:炭カル粉=100:6:300 【塗布面】中塗り表面、漆喰裏面(改良圧着工法) 【塗布方法】刷毛、鏝 【塗布回数】1回 【養生時間】約1.5時間 【施工方法】圧着養生(対面の壁と突っ張り、又はウエイト付き類杖)
研究4	反発強度(非破壊)試験	対象土壁を100mm四方に区分けし、d)リバウンド式硬度計を使用し、機械インピーダンス(HLD値)を測定する。各部分2回測定を行い、その平均値をマッピング図として表す。



a) パワーフォースゲージ



b) 針貫入深さ試験器

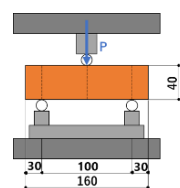


c) クラックスケール

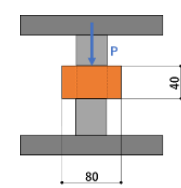


d) リバウンド式硬度計

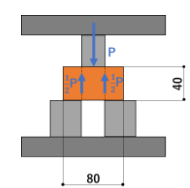
使用する実験機器(研究1-4)



e) 曲げ試験



f) 圧縮試験



g) せん断試験

力学特性試験概要図(研究1)

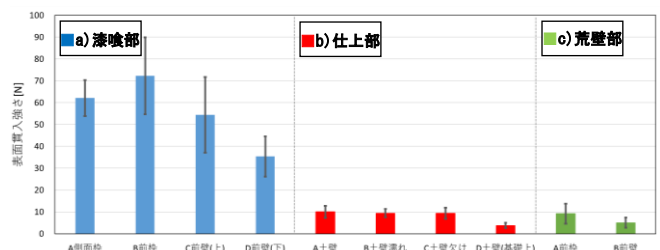


図 3 劣化壁の表面貫入強さ(研究1)

に水 40% (4.72kg) を配合した。この壁土を使用し、剥落した既存土壁の剥落部を埋める。また、土壁の表面は、採取した 150 年前の粘土を調査し練り直したものを用い、色彩特性に配慮した仕上げを行った。

5.2 中塗りのひび割れ樹脂充填(研究 2)

写真 1a) は補修前ひび割れの様子を示す。ひび割れを大小に分け、表 3b) の針貫入深さ試験器と針金を用いてひび割れの深さを測定し、表 3c) のクラックスケールを用いてひび割れ幅を計測した。図 9 は、ひび割れ幅と深さの相関を示す。1~3mm 程度のひび割れ大の範囲は、正の相関が確認でき、ひび割れ幅に比例しひび割れ深さも大きい傾向がある。従って、ひび割れ大は注射器で特殊アクリル樹脂注入を行った(写真 1b)。ひび割れ小は、ひび割れ幅とひび割れ深さの相関が低いいため、再生壁土：樹脂=1：1.2 で調合した仕上げ塗り材を作製し、目止めを行った(写真 1c)。

5.3 中塗りの表面部樹脂含浸補修(研究 2)

土壁の表面剥離を防ぐため、特殊アクリル樹脂(主剤：促進剤：硬化剤=100：2：4) を使用し土壁全体を 2 回樹脂含浸した。(写真 2a)

5.4 中塗りの漆喰面剥がれ部の切断・貼付補修(研究 3)

漆喰が浮いている箇所は、当該部分を複数のパーツに分割して一度取り外し(写真 2b)、樹脂プライマー補修を行うことで(写真 2c)、強度改善と次工程の下地処理を行った。続いて、同様のアクリル樹脂に炭カル粉末を混ぜたパテ材を接着剤として塗布し(写真 2d)、元の場所に貼付けた。これにより、漆喰層の補強、付着状態を改善しつつ、元来の内装を維持した。

5.5 上塗り漆喰補修仕上げの施工(研究 3)

北面東側の土壁部も、西側の土壁と同様の配合で作製した壁土で、剥離部分を補修した。伝統配合を踏まえ、水：既調合漆喰粉=3250(ml)：5.0(kg) で調合した本漆喰で 2 回に分けて上塗り補修を行ない、養生期間 35 日を経て補修仕上げを完了した(写真 3)。

6. なまこ壁の復原に向けた補修(研究 3)

写真 4 になまこ壁補修の様子を示す。なまこ壁の補修ではまず始めに、長年の雨などによるカビや地震の影響により浮いてしまった漆喰層の除去を行った。その後、土壁の上塗り漆喰仕上げと同様の本漆喰を用いて、刷毛で 1 回目塗りを行う。1 週間乾燥させた後、鏝と手仕上げで最終仕上げ塗りを行った。

7. 非破壊試験による HLD 値評価

7.1 補修前後の土壁の HLD 値評価(研究 4)

表 4 に土壁の補修前後による硬度分布の変化を示す。非破壊試験により樹脂含浸前後の硬度比較をし、土壁の性能評価を行う。実験方法は対象土壁を 10cm 四方に区分けし、表 3d) のリバウンド式硬度計を使用し、HLD 値を計測した。各部分 2 回測定を行い、その平均値をマッピング図として示す。青系

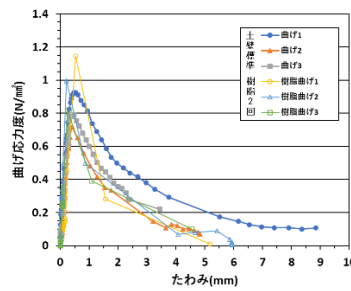


図 4 曲げ強さたわみ曲線

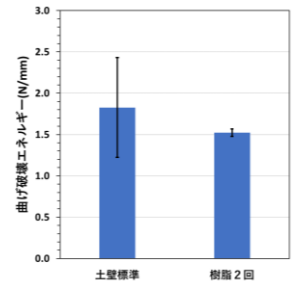


図 5 曲げ破壊エネルギー

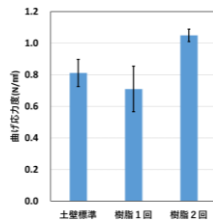


図 6 曲げ強さ

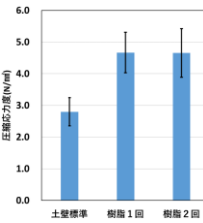


図 7 圧縮強さ

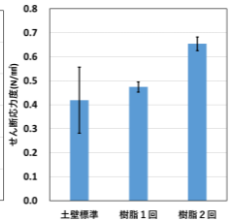


図 8 せん断強さ

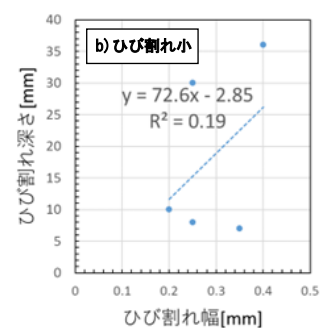
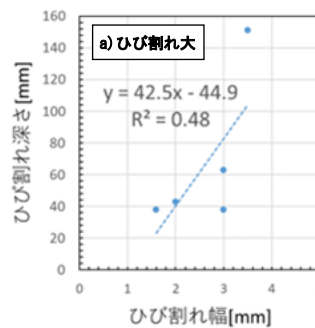


図 9 劣化壁のひび割れ幅と深さの相関関係(研究 2)

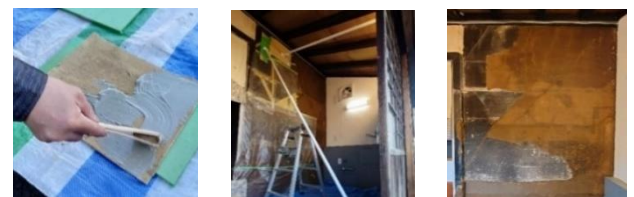


a) 補修前ひび割れの様子 b) 特殊アクリル樹脂注入 c) 目止め

写真 1 中塗りのひび割れ樹脂充填



a) アクリル樹脂補修 b) 剥がれかけ漆喰面の切断 c) 樹脂プライマー補修



d) アクリル樹脂の塗布 e) 圧着養生 f) 漆喰養生後

写真 2 中塗りの表面補修と剥がし漆喰の補修

が漆喰、橙系が土壁を表し、いずれも色が濃い程硬度が大き
いことを表す。HLD 値を 1) の式で示す。

結果として、漆喰部の補修前後の HLD 値は 278 と 315 であ
り、補修後は補修前と比較して 13% 強度増加した。また土壁
部の補修前後の HLD 値は 188 と 234 であり、補修後は補修前
と比較して 25% 程度硬度が増加し、それに伴い外力への抵抗
性も向上したと捉えることができる。

$$\text{HLD 値} = V/V_0 \times 1000 \dots \text{式 1)}$$

V = インパクトの反発速度 (m/s)、 V_0 = インパクトの発射速度 (m/s)

7.2 補修前後の漆喰壁の硬さ値評価 (研究 4)

表 5 に漆喰壁の補修前後による硬度分布の変化を示す。補
修前後の硬度比較をし、漆喰仕上げ土壁の性能評価を行う。
対象土壁の高さ 0~100cm は 10cm 四方に、100~200cm は 20cm
四方に区分けし、リバウンド式硬度計を使用して HLD 値を計
測した。実験方法は 7.1 と同様とする。

結果として、壁全体で補修後は補修前と比較して 15% の硬
度増加を確認した。また、表 5 下部に補修前後の HLD 値と壁
高さの関係を示す。補修前は土壁の剥落により壁下部の硬
度が測定可能限界値を下回っており、高さが上昇するにつれ硬
度が増加している。一方で、補修後は穴の埋め直しにより壁
下部が平均よりも約 15% 高い値を示し、壁全体としての性能
改善がみられた。

8. まとめ

本研究により、以下の知見が得られた。

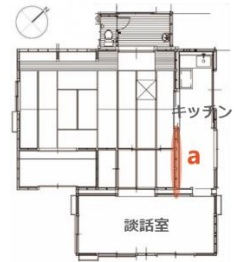
- 1) 力学特性試験により、アクリル樹脂塗装は靱性においては
あまり期待できないが、曲げ、圧縮、せん断の全てにおいて
強度改善し、補修材料としての有意性を確認した。
- 2) 樹脂含浸後は含浸前と比較し漆喰は 13% 増、土壁は 25% 増の
硬度を發揮し、樹脂補修により外力抵抗性を向上できる可
能性を示した。
- 3) 漆喰仕上げ補修後は補修前と比較し、壁全体として約 15%
の硬度改善を確認した。

参考文献

- 1) 井上靖：みなさんの名言・格言、
<https://meigenshu.jimdofree.com/> (引用 2022. 7)
- 2) 錦見勇ほか：伝統的建築物の左官壁に対する浸透性アクリ
ル樹脂を用いた補修と材料劣化抵抗性の改善、日本建築学
会関東支部, 2015. 3
- 3) 木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会：伝統
構法を生かす木造耐震設計マニュアル, 学芸出版, 2004. 3
- 4) 澤村正紀、森勲、吉川文崇：2019 年「地域文化財専門家・
サポーター」研修 文化財建築物調査報告書, 伊豆市教育委
員会
- 5) 梅田菜合ほか：文豪井上靖生家の保存・再生プロジェクトの計画・実施
その1 既存建物の改修計画と学生協働の取り組み
その2 漆喰仕上げ土壁の補修・保存改修の実施工と性能評価, 日本建築土
学会研究報告集, 2022. 10

謝辞

本研究にあたり、伊豆市教育委員会、伊豆市観光協会天城
支部、工学院大学・西森陸雄教授、職業能力開発総合大学校・
岡健太郎特任助教、株式会社樹・丸山紘明氏、工学院大学・
田村研究室補助学生による多大な助力に謝意を表す。



a) 1 階 北面東側の補修既存土壁

b) 1 階 平面図



c) 漆喰補修前

d) 漆喰補修後

写真 3 北面東側土壁の上塗り漆喰補修



a) カビの除去 (補修前)

b) 緩仕上げ

c) 補修後なまこ壁

写真 4 なまこ壁補修

表 4 土壁の補修前後による HLD 値分布比較

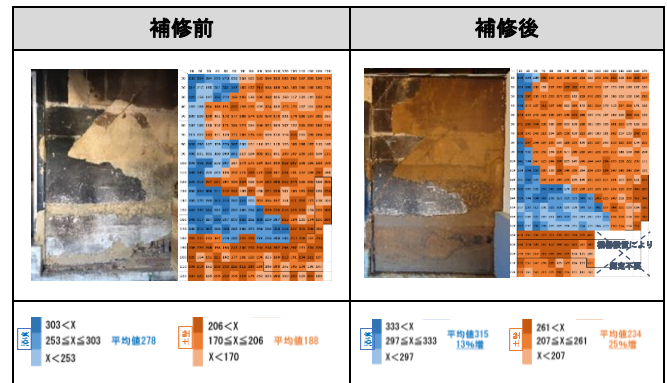


表 5 漆喰壁の補修前後による HLD 値分布比較

