

各種本漆喰の材料的性質を踏まえた漆喰塗り壁建材の空気質改善効果

DB18215 中村 未希

1. はじめに

漆喰は古くから建築材料として使われている日本の伝統的な素材の一部である。近年、DIY の流行や COVID-19 の影響により、「漆喰壁」の多様性や抗菌性が再び注目されている。また、漆喰壁は「呼吸する壁」としても注目されており、漆喰壁が呼吸をすることで二酸化炭素を吸収し徐々に壁が固まり、耐久性も増していく。さらに、漆喰壁を形成する素材がすべて天然素材であることから、環境にも優しく、シックハウス対策としても優れている建材である。

漆喰の特徴としては、模様を変えられたり、様々な材料を加えられたり、とオリジナルの壁を作ることができることのみならず、調湿性や消臭性、抗菌性、不燃性、長耐久性など様々な機能面も備えている。以前はよく使われていたが、現代に進むにつれて施工性や価格からほかの壁材が使われるようになっていき、2020 年に JISA 6919 として内装上塗り用既調合漆喰は JIS 化されたものの、伝統的な本漆喰は内装材に漆喰が使われる割合が減少している。

本研究では、漆喰の主原料に石灰、貝灰、土佐漆喰を用いた本漆喰試験体を複数作製し、それぞれが持つ材料的性質から室内環境がどのように変化するかを調査していく。

2. 研究概要

2.1. 研究の流れ

表 1 に研究の流れを示す。まず、漆喰そのものや、石灰、貝灰、土佐漆喰の文献調査を行う (研究 1)。漆喰に関する既存の研究等の調査を行う。次に、石灰、貝灰、土佐漆喰の違いを見るための実験を行う (研究 2)。最後に、試験体を複数作成し、VOC、臭い、調湿の機能性評価試験を行う (研究 3)。また、表 2 に使用材料と試験体概要、表 3 に実験要因と水準、表 4 に実験方法を示す。研究 2、3 で行う実験材料に、石灰、貝灰、砂、スサ、ノリ、水を使用する。漆喰の主成分だけを変え、他の材料は同量として試験体を作成する。土佐漆喰は既調合のものを使用する。

2.2. 実験方法と実験内容

研究 2 でフロー試験と三連型枠に入れ、乾燥後の収縮率等の調査を行う。フロー試験時の調合を表 5 に示す。フロー試験は、フロー試験機を用い、15 打フローとする。収縮率等の調査は、40mm×40mm×160mm の三連型枠に練った漆喰を流し込み、十分乾燥させた後に乾燥後の各漆喰の大きさ、重さを計測する。

研究 3 では、試験体作製、表面粗さと含水率の計測、VOC 除去試験、臭い除去試験、調湿試験を行う。試験体は、各漆喰厚さと仕上げ方法を変えた、4 種類ずつの計 12 種類作製する。石灰漆喰と貝灰漆喰は現場調合、土佐漆喰は既調合とする。この調合は、表 5 に示す。試験体の大きさは 100mm×100mm にカットした石膏ボードに下塗り材、漆喰を塗り、乾燥後、有効吸着面積が 8100mm²となる

表 1 研究の流れ

研究 1	漆喰に関する文献調査
	石灰、貝灰、土佐漆喰に関する文献調査
研究 2	各種本漆喰の鉱物特性を評価するための実験
研究 3	各種本漆喰の試験体作成
	各種本漆喰を用いた模擬壁部材の VOC 吸着機能性試験
	各種本漆喰を用いた模擬壁部材の臭い吸着機能性試験
	各種本漆喰を用いた模擬壁部材の調湿機能性試験

表 2 使用材料と試験体概要

	漆喰種類	調合条件	下地材料	下塗り材	仕上げ材料	使用材料	仕上げ方法	記号
研究 2	石灰	現場	/	/	/	石灰、砂、スサ、ノリ	/	A
	貝灰	現場	/	/	/	貝灰、砂、スサ、ノリ	/	B
	土佐	既	/	/	/	/	/	C
研究 3	石灰	現場	石膏ボード 9mm 厚	既調合 plaster 薄塗り	漆喰 2mm	石灰、砂、スサ、ノリ	鏡	A2-a
		現場	石膏ボード 9mm 厚	既調合 plaster 薄塗り	砂漆喰+漆喰 4mm		磨き	A2-b
	貝灰	現場	石膏ボード 9mm 厚	既調合 plaster 薄塗り	漆喰 2mm	貝灰、砂、スサ、ノリ	鏡	A4-a
		現場	石膏ボード 9mm 厚	既調合 plaster 薄塗り	砂漆喰+漆喰 4mm		磨き	A4-b
	土佐	現場	石膏ボード 9mm 厚	既調合 plaster 薄塗り	漆喰 2mm	/	鏡	B2-a
		現場	石膏ボード 9mm 厚	既調合 plaster 薄塗り	砂漆喰+漆喰 4mm		磨き	B2-b
	既	現場	石膏ボード 9mm 厚	既調合 plaster 薄塗り	漆喰 2mm	/	鏡	B4-a
		現場	石膏ボード 9mm 厚	既調合 plaster 薄塗り	砂漆喰+漆喰 4mm		磨き	B4-b
	既	現場	石膏ボード 9mm 厚	既調合 plaster 薄塗り	漆喰 2mm	/	鏡	C2-a
		現場	石膏ボード 9mm 厚	既調合 plaster 薄塗り	砂漆喰+漆喰 4mm		磨き	C2-b
	既	現場	石膏ボード 9mm 厚	既調合 plaster 薄塗り	漆喰 2mm	/	鏡	C4-a
		現場	石膏ボード 9mm 厚	既調合 plaster 薄塗り	砂漆喰+漆喰 4mm		磨き	C4-b

備考) 砂は 6 号珪砂を使用、既調合 plaster は下塗り用石膏 plaster 使用。土佐漆喰の既調合は原産地で水合わせ製造された土佐漆喰固有配合の意味。

表 3 実験要因と水準

	要因	水準
研究 2	漆喰種類の比較	石灰、貝灰、土佐漆喰
	品質の比較	フロー、乾燥重量、体積、密度
研究 3	使用主材料	石灰、貝灰、土佐漆喰
	模擬壁材平板サイズ	一定 (100mm×100mm)
	塗り厚	2mm(漆喰のみ)、4mm(砂漆喰+漆喰)
	養生期間	含水率 2.0 以下
	表面粗さ	粗い(鏡仕上げ)、平滑(磨き仕上げ)
	空気質改善効果	VOC 吸着量評価、臭い吸着量評価、調湿効果
	測定時間	0.5.15 分 (臭い)、0.2.12.24 時間 (VOC)、0.3.6.9.12.15.18.21.24 時間 (調湿)

ようにアルミテープを貼り付ける。仕上げ方法は、表面粗さが違うことによる除去量の違いを調べるために、鏝仕上げと磨き仕上げの2種類とする。仕上げの様子を図1に示す。磨き仕上げの目標値に既往の研究のノロ仕上げの値を設定する。ノロ仕上げの試験体を無作為に5か所測定し、平均値を出したグラフを図2に示す。表面粗さ、含水率の測定には、それぞれ表面粗さ測定器と含水率測定器を使用し、表面粗さは試験体を無作為に選定した5

か所、含水率は試験体を無作為に選定した3か所を測定する。各試験に用いる試験体は、含水率が2.0以下となったものとする。

VOC吸着試験、臭い吸着試験、調湿試験は、すべて約3.1Lの密閉容器を使用した簡易測定方法とする。各試験をする環境を、温度20°C、湿度60%±10%一定とする。VOC除去試験では、ホルムアルデヒドを用いてVOC除去機能を計測する。密閉容器内にホルムアルデヒドを充満させ、その中に試験体を入れる。測定時間を複数設定し、気体採取器を使用してホルムアルデヒドの濃度変化量を測定する。臭い除去試験では、アンモニアを用いて臭い除去機能を計測する。密閉容器内にアンモニアを充満させ、その中に試験体を入れる。測定時間を複数設定し、気体採取器を使用してアンモニアの濃度変化量を測定する。調湿試験では、吸湿試験に塩化カリウムを、放湿試験に炭酸カリウムを用いて調湿機能を計測する。密閉容器内に塩化カリウムと炭酸カリウムをそれぞれ充満させ、その中に試験体を入れる。3時間おきに試験体の重量とその変化量を見る。吸湿試験は容器内を温度20°C、湿度80±10%、放湿試験は容器内を温度20°C、湿度45±10%とする。

表4 実験方法

	項目	方法
研究2	フロー試験	フロー試験器を用い、0打フロー、15打フロー値(mm)の調査を行う。
	試験体製造	石膏平ボードに既調合のプラスターを3mm塗り、乾燥後漆喰または砂漆喰を塗る。
研究3	表面粗さ	粗いものと平滑なもの、2種類作製する。粗いものは鏝仕上げ、平滑なものは磨き仕上げ。算術表面粗さ Ra(μm)
	VOC除去試験	3.1Lの密閉容器使用の簡易測定方法。ホルムアルデヒドのみを使用し、密閉容器内の発生化学物質試験体吸着量、時間の測定を行う。北川式検知管を使用。計測時間は、0.2.12.24時間。
	臭い除去試験	3.1Lの密閉容器使用の簡易測定方法。アンモニアのみを使用し、密閉容器内の発生化学物質試験体吸着量、時間の測定を行う。北川式検知管を使用。計測時間は、0.5.15分。
	調湿機能試験	3.1Lの密閉容器使用のカニ測定方法。吸湿と放湿を調査し、3時間ごと(12時間ずつ、24時間)に試験体の重量の測定。

<p>図1 a) VOC,臭い試験の装置構成</p>	<p>図1 b) 調湿試験の装置構成</p>
<p>a-1) 試験の様子</p>	<p>b-1) 試験の様子</p>
<p>a-2) 試験方法</p>	<p>b-2) 試験方法</p>

2.3. 各種本漆喰用消石灰の鉱物特性(研究1)

石灰漆喰の特徴は、既存の研究より、石灰は石灰石を焙焼して得られる生石灰を消化すると六角柱状(カルサイト型)に結晶の発達したものであることがわかっている²⁾。

貝灰漆喰の特徴は、既存の研究より、貝灰は貝がらを焙焼して得られる生石灰を消化すると六角板状(アラゴナイト型)に結晶が発達したものであることがわかっている²⁾。

石灰と貝がらの化学成分を図3に示す。図3より、一般的な成分の合計が石灰石が99.53%、貝がらが96.38%で貝がらには一般的な成分のほか約3%他の元素成分が入っていることが、また、アルカリ分は石灰石の0.386ppmに対して貝がらには67.044ppmで約174倍の差異があることがわかる²⁾。

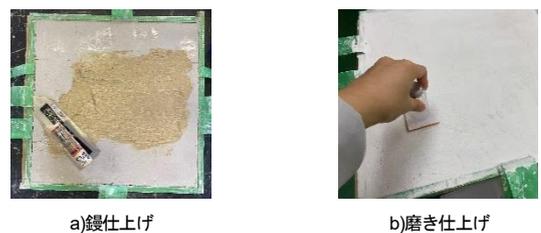


図1 各種本漆喰の仕上げ方法

表5 各種本漆喰の漆喰調合

研究		石灰	貝灰	土佐	砂	スサ	ノリ	
		石灰漆喰(A)	20000			20000	800	900
研究2	貝灰漆喰(B)		20000		20000	800	900	
	土佐漆喰(C)	土佐漆喰固有配合(本漆喰、発酵ワラスサ、砂)による長期養生品						
研究3	砂漆喰	石灰漆喰	20000		48700	700	700	
		貝灰漆喰		20000		48700	700	700
		土佐漆喰			20000	20(L)		
	漆喰	石灰漆喰	20000			14000	800	900
		貝灰漆喰		20000		14000	800	900
		土佐漆喰	土佐漆喰固有配合(本漆喰、発酵ワラスサ、砂)による長期養生品					
	磨き用漆喰	石灰漆喰	20000					900
		貝灰漆喰		20000				900
土佐漆喰		土佐漆喰固有配合による長期養生品を1.18mmのふるいで漉したものを使用。						

備考) 表記(砂漆喰土佐漆喰の砂以外)すべて(g)

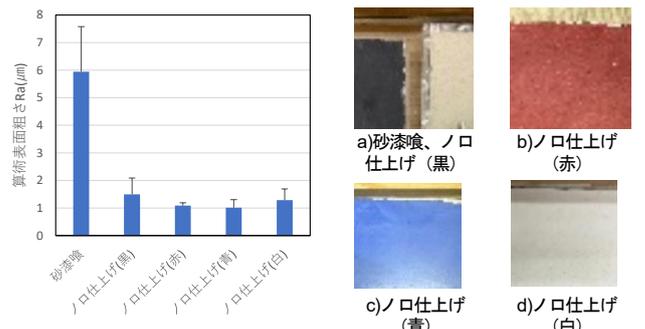


図2 左官技術者施工の実試料の表面粗さ値

土佐漆喰は、江戸時代に高知県で誕生した比較的新しく、土佐伝統の塩焼灰と発酵わらすで製造した水ごね漆喰である。ノリを含まないため雨に対して非常に強く、高知県の気候に対応した耐久性がある。また、製造から出荷まで長い期間と多数の工程管理が必要で、施工後の色はクリーム色で施工後半年から数年で徐々に白色に近づいていく。

2.4. 各種本漆喰のフレッシュ性状評価 (研究2)

フロー試験の結果を図4に示す。フロー前は、貝灰、土佐、石灰漆喰の順に緩く、15打フロー後最も広がったのは貝灰だった。フロー増加率が最も高かったのは土佐漆喰で、最も低かったのは貝灰漆喰であった。

2.5. 各種本漆喰の表面性状(鏝・磨き) (研究2・3)

鏝仕上げは、試験体作成時最終仕上げの際に鏝のみで仕上げ

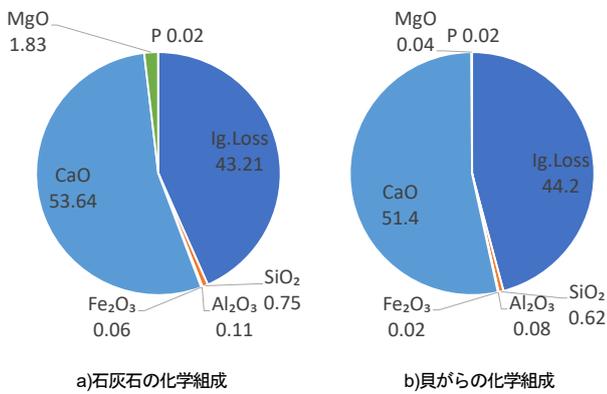


図3 石灰原料の石灰石化学組成と貝灰原料の貝殻化学組成

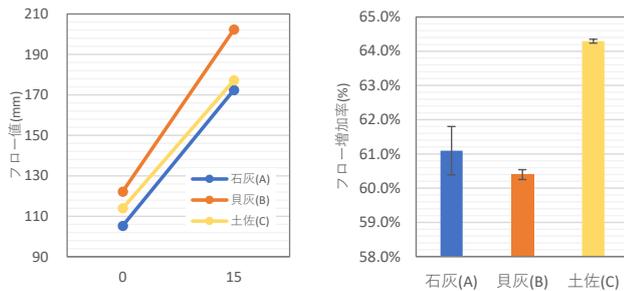
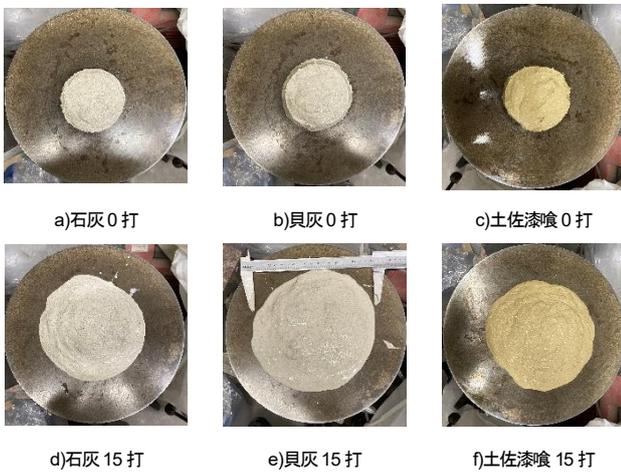


図4 各種本漆喰のフロー試験結果と試験時の様子

る。磨き仕上げは、鏝仕上げした後、乾燥の過程でタイル等の表面が滑らかなものを用いて磨きを行う。各試験体、表面粗さを5か所計測し、平均を出したものを図5に示す。貝灰漆喰は、あまり表面粗さの数値が小さくならず、土佐漆喰は磨きを行わなくても表面粗さの数値が小さかった。これは、スサを発酵させ、長期間置くことで滑らかになっていることが理由でないかと考える。

2.6. 各種本漆喰の収縮性状評価 (研究2)

各漆喰の乾燥後、型枠から外し、大きさと重さの計測を行った。その結果を図6に示す。最も収縮が大きかったのは土佐漆喰で、小さかったのは貝灰漆喰であった。重さが最も軽かったのは土佐漆喰、重かったのは石灰漆喰であった。また、型枠から外した際に残っていた漆喰を手でこすってみると、石灰、土佐漆喰は面状に、貝灰漆喰は粉上に剥離した。

2.7. 各種本漆喰のVOC除去性評価 (研究3)

VOC試験の結果を図7に示す。石灰漆喰は、4mm厚(A4-a,A4-b)よりも2mm厚(A2-a,A2-b)の方が残存率が高いことから、4mm厚の方がより吸着できるということがわかる。これは、砂漆喰を塗ることによって密度が大きくなり、吸着体積範囲が大きくなっているからである。貝灰漆喰は、大きな差は見られないが、磨き仕上げ(B2-b,B4-b)よりも鏝仕上げ(B2-a,B4-a)の方が残存率が高い。この結果より、磨き仕上げの方が吸収が良かったということがわかる。土佐漆喰は、ほとんど差がみられなかった。

また、3種類の残存率を比べると、土佐漆喰が最も小さく、貝灰

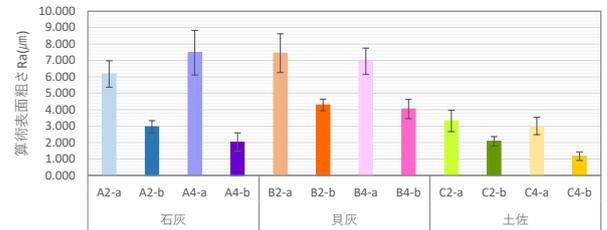


図5 各種本漆喰の試験体の表面粗さ

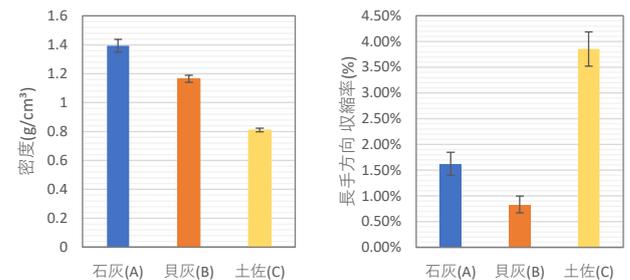
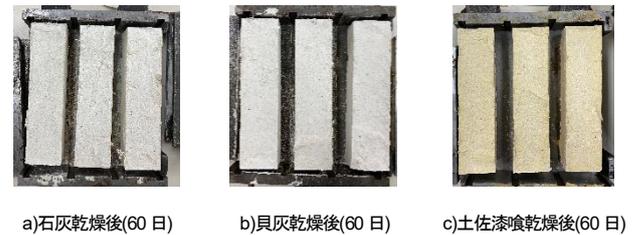


図6 各種本漆喰の乾燥後の様子と結果

漆喰が次に小さい。この結果から、貝灰漆喰は自然消化の俵灰であるため、石灰漆喰よりも密度と粒子が小さい可能性があり、それにより空隙が多く、吸うのではないかと考える。土佐漆喰は、最も密度が小さく、隙間の多い空隙構造で、かつ、収縮も最も大きい。しかし、吸着効果は大差はないが、最も効果があることがわかったため、3種類の漆喰の中で最も吸着効果が高いのではないかと考える。

2.8. 各種本漆喰の臭い除去性評価（研究3）

臭い試験の結果を図8に示す。石灰漆喰は、5分後、15分後それぞれ、大きな差は見られない。貝灰漆喰は、5分後、磨き仕上げ(B2-b, B4-b)の方が残存率が高い。15分後の残存率はA2-aが最も低く、A2-bが最も高い。土佐漆喰は、5分後、4mm厚(A4-a, A4-b)の方が残存率が高い。15分後は若干4mm厚の方が残存率が高い。

これらの結果より、石灰漆喰の残存率が最も低く、貝灰漆喰の残存率が最も高いことがわかる。

2.9. 各種本漆喰の調湿性評価（研究3）

調湿試験の結果を図9に示す。3種類すべての漆喰で、2mm厚(A2-a, A2-b)の方が吸湿率が大きいことがわかる。これより、2mm厚は早く吸湿し、早く放湿することが、4mm厚はじっくり時間をかけて吸放湿することがわかる。種類別でみても、土佐漆喰が最も吸湿率が高いことがわかる。

3. まとめ

- (1) フロー試験、乾燥後のデータより、石灰漆喰と貝灰漆喰を同量調合した場合、貝灰漆喰の方が石灰漆喰よりも緩くなること、土佐漆喰が最も密度が小さく、収縮率が大きいことがわかった。
- (2) VOC試験より、厚みが大きい方が吸着体積範囲が増え、よく吸着すること、収縮率が最も高いが、吸着率にあまり差がないことから、土佐漆喰が最も吸着効果が高いのではないかと、ということが考察できた。
- (3) 臭い試験より、石灰漆喰が最も吸着することが考察できた。
- (4) 調湿試験より、2mm厚は早く吸湿し、早く放湿することが、4mm厚は時間をかけて吸放湿することが考察できた。

参考文献

- 1) 西澤ら、漆喰仕上げ壁の長期耐用に影響する不燃性と意匠性の評価、日本建築学会関東支部研究報告集、2019
- 2) 白須賀公平・下城麻衣子・竹田俊二、石灰と貝灰、Inorganic Materials, Vol.2, No.254, 49-54, 1995
- 3) 中田ほか、各種内装左官仕上げのVOC除去特性の比較、日本建築学会関東支部、2018
- 4) 中田ほか、各種内装左官仕上げの臭い除去・抗菌特性の比較、日本建築学会関東支部研究報告集、2018
- 5) 牧野ほか、各種内装左官仕上げの調湿性能の測定・比較、日本建築学会関東支部研究報告集、2018

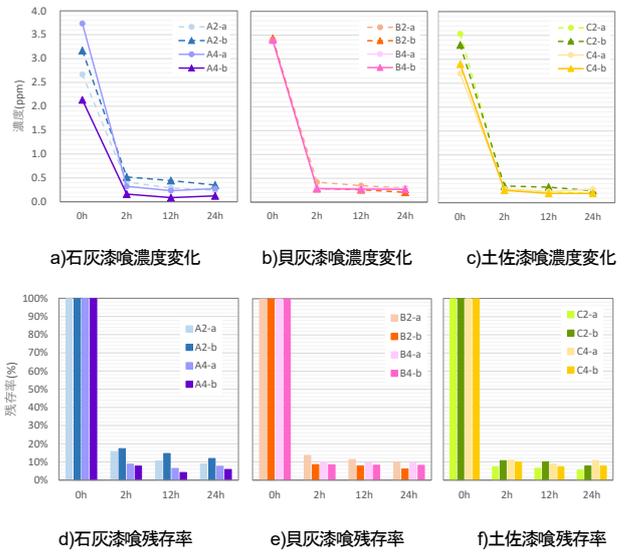


図7 各種本漆喰のVOC除去性評価（濃度変化と残存率）

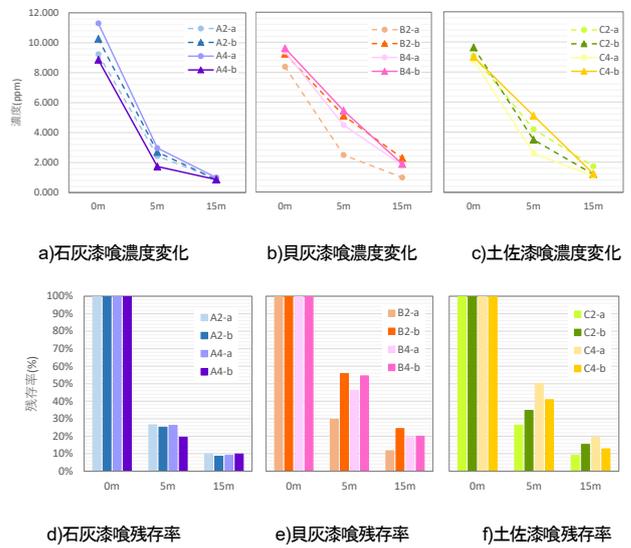


図8 各種本漆喰の臭い除去性評価（濃度変化と残存率）

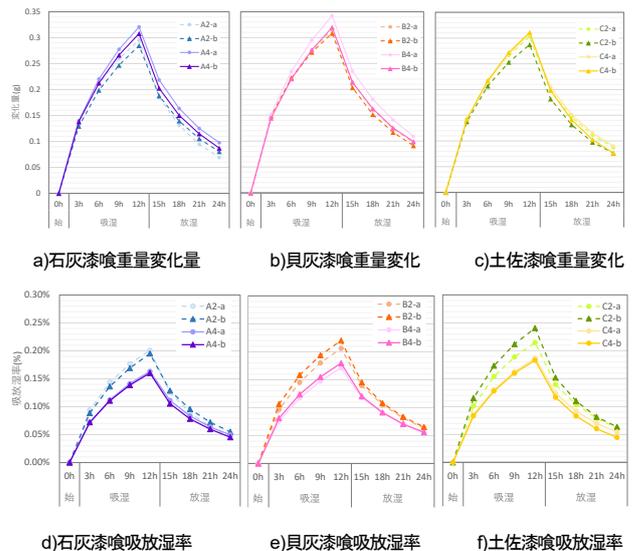


図9 各種本漆喰の調湿性評価（重量変化と吸放湿率）