

漆喰仕上げ部の塗重ねによる長期耐用に向けた力学特性及び吸水特性への影響

DB16169 佐藤みのり

1. はじめに

図 1 に複層塗り工法の手順を示す。

伝統的な建築材料である漆喰は、古くから土壁の上に仕上げ材として用いられるなど、その高い耐久性や防火性等から、日本建築において長い歴史を持っており、さまざまな建物に使用されてきた。しかし、現在は建物の乾式化や工期が長くなり費用がかさむことなどから、漆喰塗りの施工は純日本式建築や伝統建築物の修復に限られてくるとともに、職人の減少・高齢化により技能の伝承が困難になっている。一方、漆喰は環境に優しい自然素材として、また、シックハウス対策など健康に良い建築材料として見直されつつある。

複層薄塗り漆喰の場合、他の左官材料に比べて圧縮・曲げ・引張強度が低いため、図 1 のように塗り厚を薄く、塗り回数を多くする。一方近年、厚塗り漆喰仕上げでは石膏ボード等の上に施工することが多く、簡素化された工程となっている。少ない塗り回数の施工で、短い工期となる上、現在の漆喰は、工場で消石灰に繊維類、糊などを調合した既調合製品も多く用いられており、現場調合漆喰よりも手軽で、工期も短縮できる。しかし、厚塗り漆喰壁について、寒冷地では、積雪・凍結による剥離、ひび割れ、カビ・苔の発生と劣化問題が報告されている。

本研究では上記の問題を踏まえ、調査・実験を行い、漆喰仕上げ部の塗重ねによる長期耐用に向けた力学特性及び吸水特性への影響を調査する。

2. 研究概要

2. 1 研究目的

図 2 に複層薄塗り工法と厚塗り工法の漆喰壁の断面図を示す。

伝統的な漆喰壁を施工する際、漆喰を薄く 5 層に重ね塗りをする。一方、最近では事前に砂やポリマーを混和させた既調合漆喰が扱われるようになり、3 層（複層薄塗り工法のムラ直し、鹿子ずり、中塗り）を厚塗りによる 1 度塗りで完成させることができる。この既調合漆喰を用いて厚塗りで仕上げることで、施工における時間や手間を省略させ、生産性の向上を目標とする。また、同時に寒冷地における漆喰壁の問題点をふまえ、寒冷地にも対応できる漆喰調合を明確にする。

2. 2 既存漆喰壁の調査

秋田県の小坂鉦山事務所は、厚塗り漆喰仕上げの漆喰

を用いることで、下塗り・中塗り・上塗りの 3 層で施工完成させた建造物であり、冬期における問題が発生している。そのため、現地調査並びにヒアリング調査を行う。

2. 3 使用材料

表 1、表 2 に使用材料と調合、表 3 に実験要因と水準、表 4 に実験項目^{2) 3)}を示し、図 3 に強度試験、透水試験の方法を図示する。

表 1 の材料配合で 10 cm×10 cm の性能試験用試験体を各 3 枚ずつ作成する。各試験体はそれぞれ図 4 のように塗り厚を変えて作成する。また、表 2 のような調合で強度試験用にモルタル供試体成形用型枠を用いて 4 cm×4 cm×16 cm の試験体も各 3 本ずつ一層塗りで作成する。A3、B3 は性能試験、強度試験共に 3 層塗りで作成する。

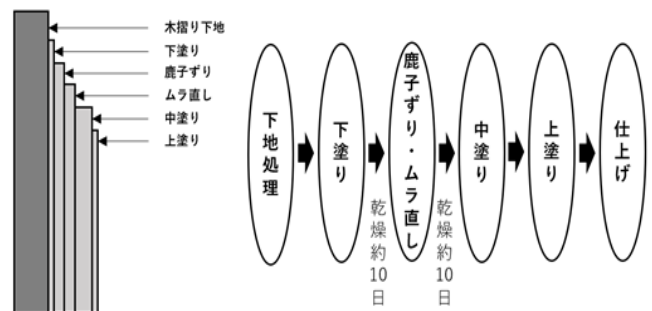
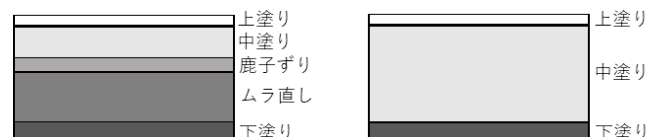


図 1 複層薄塗り工法の施工手順



a)複層薄塗り工法

b)厚塗り工法

図 2 複層薄塗り工法と厚塗り工法の漆喰壁の断面図

表 1 使用材料と調合（強度試験用）

詳細	記号	消石灰	砂	スサ	ノリ	塗り
スサ 4% 材齢 28 日	A1L4	20000	20000	800	900	40
	A1S4	20000	14000	800	900	40
スサ 2% 材齢 28 日	A1L2	20000	20000	400	900	40
	A1S2	20000	14000	400	900	40
スサ 0% 材齢 28 日	A1L0	20000	20000	0	900	40
	A1S0	20000	14000	0	900	40
塗重ね工法	A3	20000	20000	800	900	20
		20000	4000	700	800	7.5
		20000	14000	700	800	12.5
既調合漆喰	B3	既存調合漆喰（ポリマー含む）				20
		既存調合漆喰（ポリマー含む）				7.5
		既存調合漆喰（ポリマー含む）				12.5

備考）(A:B) = (塗り重ね式：厚塗り式)、AB*：塗り数、
(S:L) = (砂少：砂多)、-1~4：スサ含有比率

3. 既存漆喰壁の調査結果（小坂鉱山事務所）

3. 1 外観の劣化状況分析

写真 1 に小坂鉱山事務所の調査による漆喰壁の劣化状況を示す。

漆喰壁上部には、屋根から伝ってきた雨だれにより生じたと思われるひび割れが発見された。また、漆喰壁下部には剥離、ひび割れ、壁のはらみが生じていた。これらは、施工の際の固い基壇部に対しての配慮不足や、積雪時の雪による引張力が原因だと考えられる。そのほか、改修部分にコケ、カビの発生がみられた。これらの劣化原因として、上記に挙げた推測のほかに、伝統的な複層薄塗り工法でなく厚塗り工法であることにも着目する。

3. 2 中塗り漆喰壁調査

図 4 に既存中塗り漆喰壁の配合分析結果を示す。
小坂鉱山事務所を調査した結果、下塗りと上塗りの割合と塗り厚は伝統工法の漆喰壁とあまり変化なく、施工方法に大きく違いがみられるが中塗り部分であることがわかった。そこで、小坂鉱山事務所における漆喰壁の中塗り部分の砂量を測定し、漆喰全体量に対する砂の量の割合を算出した。中塗り漆喰壁片を 3 つ採取し、P-1、P-2、P-3 として測定を行った。

その結果、図 4 のように各漆喰壁片の全体量のうち約半分量が砂で構成されていることがわかった。これは、伝統工法のムラ直しの消石灰に対しての砂量と類似している。また、中塗り漆喰壁片 P-1、P-2、P-3 のいずれにもスサはほとんど検出されなかった。一方、伝統調合における鹿子ずりや中塗りの要素がみられないため、伝統調合の漆喰壁とは性能が異なることが推測できる。これらのことから、本研究においては漆喰壁の中塗り部分にさらに着目して進めていく。

4. 各種調合の漆喰試験体における力学特性

4. 1 曲げ強さ

図 5a)b) にスサ量が消石灰量に 4%、2%、0% と、異なる一層試験体 3 種類（それぞれ砂量は消石灰量に対し 100%、70%）の曲げ試験結果を c)~e) に、砂量が消石灰量に対して 70%、100% と異なる一層試験体 2 種類（それぞれスサ量は消石灰量に対し 4%、2%、0%）の曲げ試験結果を図 5f) に、既調合漆喰で作成した試験体と伝統調合で作成した試験体の曲げ試験結果を示す。また、図 5h) に試験体 A3 の曲げ試験後の状態を示す。

同量の砂量（漆喰量に対し 100%）で比較すると(図 5a))、最大荷重は試験体 A1L2、A1L0、A1L4 の順に大きく、スサを含む試験体 A1L4、A1L2 は最大荷重に達した後に延性破壊となるが、スサを含まない試験体 A1L0 は脆性破壊をすることがわかった。また、同量の砂量(漆喰量に対して 70%)で比較すると(図 5b))、最大

表 2 使用材料と調合（吸水試験用）

記号	塗り層	材料 (g)				塗り厚 (mm)
		消石灰	砂	スサ	ノリ	
A3	ムラ直し	20000	20000	800	900	7.0
	鹿子ずり	20000	4000	700	800	2.5
	中塗り	20000	14000	700	800	4.5
B3	ムラ直し	既調合漆喰（ポリマー含む）				7.0
	鹿子ずり	既調合漆喰（ポリマー含む）				2.5
	中塗り	既調合漆喰（ポリマー含む）				4.5
A2L4-1~4	ムラ直し	20000	20000	800	900	0/3.5/7.0/10.5/14
A2S4-1~4	中塗り	20000	14000			
A2L2-1~4	ムラ直し	20000	20000	400	900	0/3.5/7.0/10.5/14
A2S2-1~4	中塗り	20000	14000			
A2L0-1~4	ムラ直し	20000	20000	0	900	0/3.5/7.0/10.5/14
A2S0-1~4	中塗り	20000	14000			
A2S0-1~4	ムラ直し	20000	20000	0	900	0/3.5/7.0/10.5/14
A2S0-1~4	中塗り	20000	20000			

表 3 実験要因と水準

要因		水準
砂量 (S, L)		70% (S), 100% (L) (対消石灰量の割合)
スサ量 (0, 2, 4)		0% (0), 2% (2), 4% (4) (対消石灰量の割合)
試験体厚み (1~4)	砂 70%	3.5 mm (1), 7.0 mm (2), 10.5 mm (3), 14 mm (4)
	砂 100%	3.5 mm (1), 7.0 mm (2), 10.5 mm (3), 14 mm (4)
試験体サイズ		4×4×16cm, 10×10cm
養生期間		28 日間

表 4 実験項目と実験方法

試験項目	試験方法
フロー試験	JIS-R5201 フロー試験機を用い漆喰の流動性を評価
曲げ強さ	JIS-A-1106 アムスラー式試験機を用い行う曲げ試験
圧縮強さ	JIS-A-1108 アムスラー式試験機を用い行う圧縮試験
吸水試験	10ml の水の給水時間を計測 (図 5)

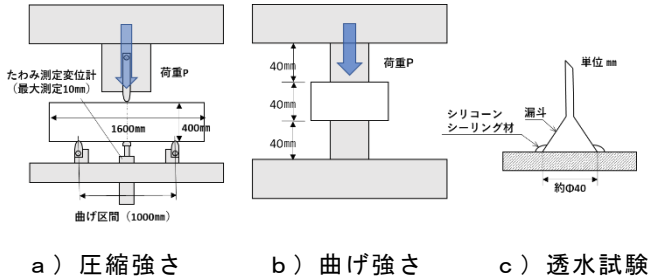


図 3 試験方法の詳細



写真 1 寒冷地の状況（小坂鉱山事務所）

荷重は試験体 A1S4、A1S2、A1S0 の順に大きく、最大荷重に達した後の降伏に関しては砂量 100% でのスサ量比較と同様の結果になった。

同量のスサ量（漆喰量に対して 4%）の比較では(図 5c))、70% の砂を含む試験体 A1S4 のほうが、100% の砂を含む試験体 A1L4 より若干曲げ強度が大きくなった。同量のスサ量（漆喰量に対して 2%）での比較では(図 5d))、100% の砂を含む試験体 A1L2 のほうが、70% の砂を含む試験体 A1S2 より 2 倍ほど曲げ強度が大きくなった。また、同量のスサ量（漆喰量に対して 0%）の比較では(図 5e))、砂を 70% 含む試験体 A1S0 のほうが、100% の砂を含む試験体 A1L0 より若干強度が大きくなった。

さらに既調合漆喰で作成した試験体と 3 層構成で作成した試験体の比較に関しては(図 5(f))、最大荷重はどちらも 80N 程で大きな違いは見られないが、最大荷重到達後、既調合漆喰の試験体 B3 は脆性的な破壊をしていくのに対し、薄塗り複層の試験体 A3 は延性的な破壊するのが読み取れる。また、曲げ試験を行った際、複層仕上げの試験体 A3 は界面で剥離した(図 5(h))。

上記のことから、厚塗り仕上げよりも、複層塗り仕上げの方が、最大荷重が大きくなることわかる。全 8 種類の試験体を最大荷重と降伏の仕方から比較すると、塗り重ねて施工する伝統工法である試験体 A3 が最も性能が良く、その次に A1S4、A1L2 が続くことがわかった。

4. 2 圧縮強さ

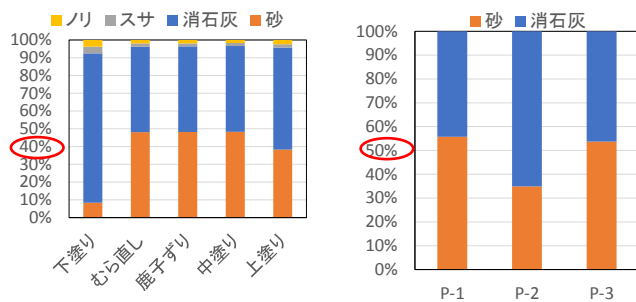
図 6a)b)にスサ量が消石灰量に 4%、2%、0% と異なる一層試験体 3 種類(各砂量は消石灰量に対して 100%、70%)の圧縮試験結果を c)~e)に、砂量が消石灰量に対し 70%、100% と異なる一層試験体 2 種類（各スサ量は消石灰量に対し 4%、2%、0%）の圧縮試験結果を、図 6f)に既調合漆喰で作成した試験体 B3 と伝統調合の試験体 A3 の圧縮試験結果を示す。スサ量で比較すると、漆喰に対し 4% のスサを含む試験体 Bf のほうが、2% のスサ含む試験体 A3 よりも圧縮強さが多少大きくなった。

5. 各種調合の漆喰試験体における給水量試験

図 7 に吸水試験結果を示す。

表 1 に示した調合で作成した試験体で残存水量による吸水試験を行った。

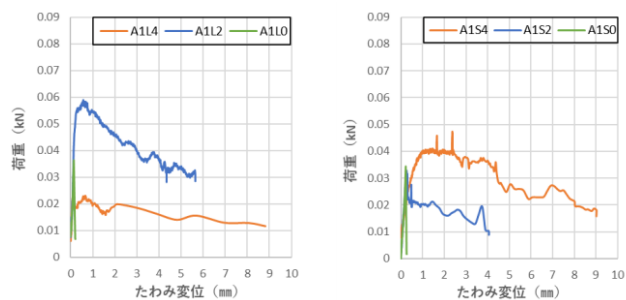
図 7a)のように砂量で比較したときに、表面の層の調合において、10ml 吸水するのに必要な所要時間は A2S4-3>A2L4-3、A2S0-3>A2L0-3 となっている。このことから、砂を多く含んでいる試験体の方が同時間における残存水量は少ないことがわかる。また図 7b)のように繊維量で比較したとき、10ml 吸水するのに必要な所要時間は A2S4-2>A2S2-2>A2S0-2 となっている。このこ



a) 複層薄塗り

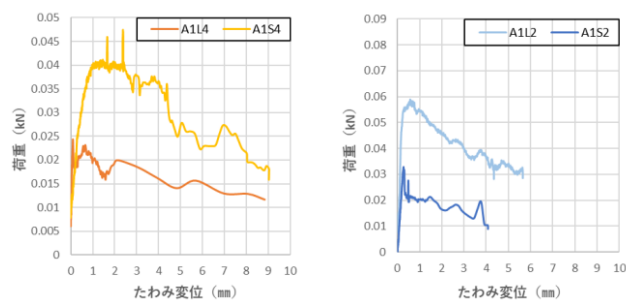
b) 厚塗り漆喰

図 4 各漆喰仕上げの調合詳細



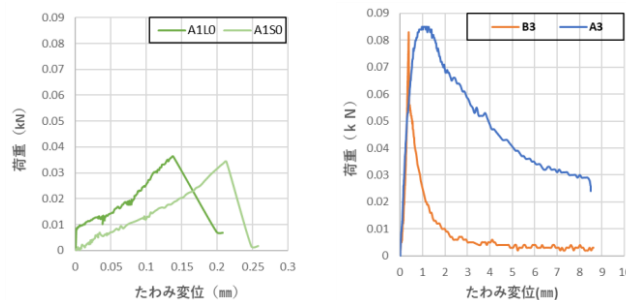
a) スサ量比較 (砂 100%)

b) スサ量比較 (砂 70%)

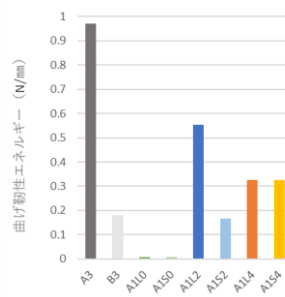


c) 砂量比較 (スサ 4%)

d) 砂量比較 (スサ 2%)



e) 砂量比較 (スサ 0%) f) 既調合漆喰と伝統的漆喰の比較

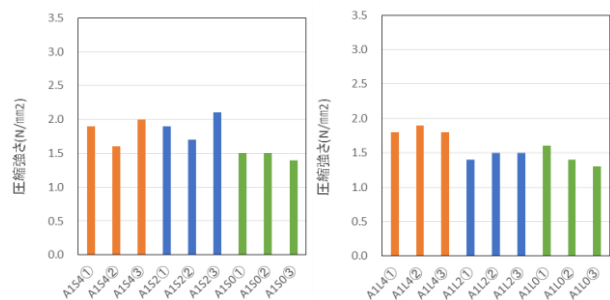


g) 曲げ靱性エネルギー

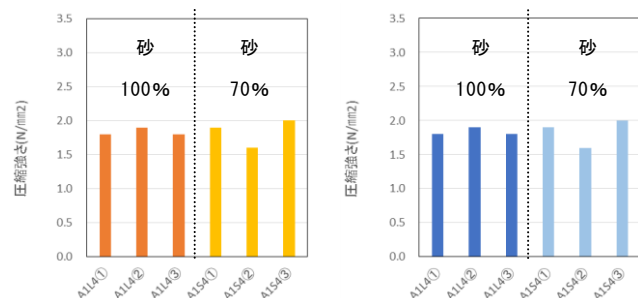


h) 試験体 A3 の界面での剥離

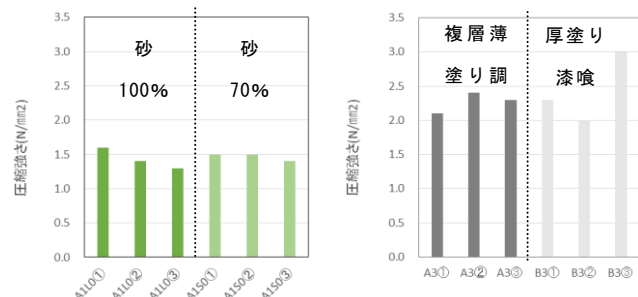
図 5 スサ量、砂量の違いによる曲げ強さ結果



a)スサ量比較（砂 100%） b)スサ量比較（砂 70%）



c)砂量比較（スサ 4%） d)砂量比較（スサ 2%）



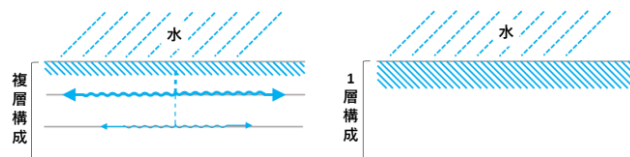
e)砂量比較（スサ 0%） f)伝統調合と既調合漆喰

図 6 圧縮強さ結果

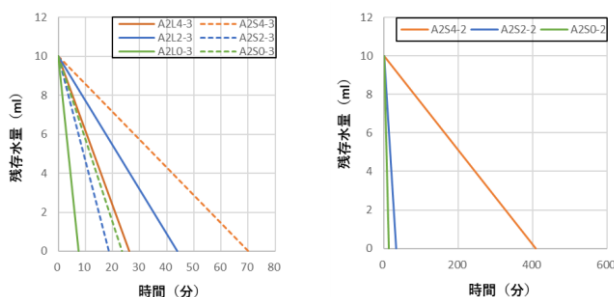
とから、繊維を多く含む試験体の方が同時間における残存水量は多くなることがわかる。これは、試験体にスサの混入により、保水しているスサによって、それ以上の水分を通ずらくなることが原因と考えられる。また、スサは漆喰壁中の亀裂を微少にする働きがあり、水が通りやすい亀裂が少なくなることも原因と考えられる。さらに、図 7(c)のように試験体表面から界面までの距離で比較すると、界面までの距離が長い試験体よりも短い試験体の方が同量の水を速く吸水した。これは図 8 のイメージ図のように、水分の接地面から界面までが近いと、すぐに水分が界面に達して界面上に水が流れやすいと考えられる。さらに図 7(d)のように、試験体中にポリマーを含むと、時間における残存水量は少なくなった。

6. まとめ

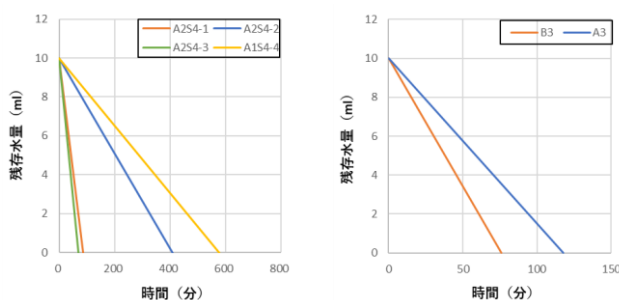
- 1) 同じ厚さの試験体において、一層塗りの試験体よりも複層塗りの試験体の方が曲げ強度が大きくなり、さらに伝統的な調合の複層塗りが一番曲げ靱性エネルギー



(a)吸水概念図



b)砂量比較 (S, L) c)繊維量比較 (0, 2, 4%)



d)海面比較 (3, 7, 10.5, 14 mm) e)ポリマー有無

図 7 残存水量試験結果

ギーが大きくなる。また、同じ複層塗りでも、既調合漆喰の試験体だと、脆性破壊をする。

- 2) 砂量、スサ量が一定量を超え多すぎると強度が低下することがわかった。
- 3) 圧縮強度に関しては、各調合による大きな違いは見られなかったが、複層塗りの試験体の方が若干強度は大きくなった。
- 4) スサ量が多く、砂量が多すぎず、複層仕上げである漆喰壁が、雨などの水を通しにくいことがわかった。

参考文献

- 1) 日本規格協会：建築 I 材料 JIS A 6909 建築用仕上塗材、2014
- 2) 一般社団法人 日本左官業組合連合会：伝統的左官施工法、2015.4
- 3) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 15 左官工事、2008.10

謝辞

本研究は、2019 年度大学ブランディング研究によるものである。また、小坂町立総合博物郷土館安田隼人氏はじめ協力関係者に助力を賜り感謝いたします。