

漆喰厚塗り工法の仕上げ部に関する力学特性の検討

DB17224 土橋 巧

1. はじめに

漆喰は、日本の伝統的な素材の一部である。一般的には「呼吸する素材」として知られており、シックハウスの防止など環境に良い自然素材の建築材料である。戦国時代、当時漆喰の持つ高い耐久性や、防火性等から採用されてきた¹⁾。施工方法として、現在では複層塗りと厚塗りの工法が採用されている³⁾。漆喰は他の左官材料と比較し、力学的強度が低いことから、図2のように塗り層を薄く、複数回に分け塗り重ねることで強度を高めつつ施工することができる³⁾。一方、厚塗りでは中塗り部位の中塗り部を厚く塗り、塗りの工程を合理化した工程となっている。これにより少ない手数の中、短工期で施工することができる。なお、既往の研究²⁾にて、厚塗りに関して長期耐用に課題があると指摘している。本研究では上記の問題を踏まえ、調査・実験を行い、厚塗り工法による漆喰仕上げ部に関する力学特性の検討と題し、力学特性の改善を調査する。

図1に研究フローを、図2に複層塗り工法及び厚塗り工法の断面図²⁾を、図3に伝統調合と既調合漆喰を、既往の研究で作成した試験体の曲げ荷重変形曲線を比較したグラフを記す。

2. 研究概要（研究背景・研究目的）

図3に試験体の曲げたわみ曲線を比較したグラフを記す。既往の研究²⁾にて、既往の研究の調合で、伝統調合の曲げ靱性エネルギーに一番近づくことができた調合は、消石灰に対して、砂 100%スサ 2%を混和した試験体であった。靱性低下が一番緩やかであるが、最大強度が一番低いことがわかった。調合により力学特性を改善する余地があると判断した。既調合漆喰に関して、伝統調合と最大荷重はほぼ同じであるが、伝統調合ほど曲げたわみ変形曲線の破壊靱性エネルギーを確保することができなかった。曲げ試験において、破壊後の靱性が急激に低下した。本研究では、これらの力学特性を改善することを目的とする。試験1では、漆喰厚塗り工法の仕上げ部に関して、調合による最大強度及び靱性を伝統調合に近づけるような力学特性の改善の検討を行う。調合は、既往の研究調合を参考に試験体の調合を改良し、曲げ試験、圧縮試験に加え、引張試験、剪断試験の結果の分析を行う。試験2では、この既調合漆喰の調合に砂量、スサ量を追加し。既調合漆喰の最大強度後の靱性を改善する調合の検討をする。

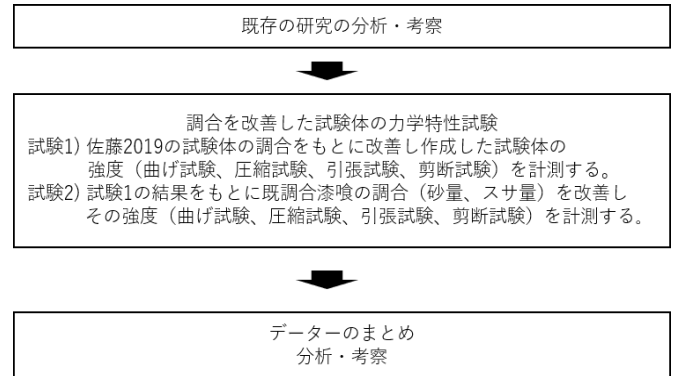
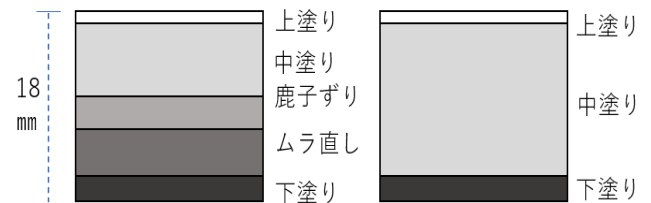


図1 研究フロー



a) 複層塗り工法断面図

b) 厚塗り工法断面図

図2 複層塗り工法及び厚塗り工法の断面図²⁾

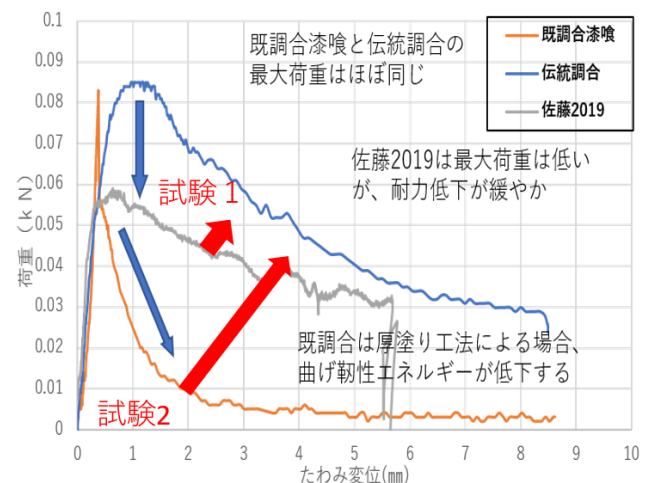


図3 試験体の曲げたわみ曲線²⁾を比較したグラフ

表1 使用材料

材料	材料
既調合漆喰	消石灰+砂+スサ+ノリ +保水材(メチルセルロース)
消石灰	中塗り用消石灰
ノリ	ツノマタ(海藻系)
砂	大井川の砂(3mm以下)
スサ	白毛スサ(麻)

3. 各種の調合改善した試験体の力学特性

3.1 試験体概要・試験方法（試験1）

表1に使用材料を、表2に試験体調合・材料分量を、表3に実験要因と水準を、表4に実験項目と実験方法を、図3に強度試験を、写真1に各種試験で使用した試験機を図示する。表1の材料配合で40mm×40mm×160mmの曲げ試験用の試験体を各種作製する。曲げ試験後の試験残片を、それぞれ圧縮試験用、せん断試験用の試験体とする。加えて同様の割合の配合で70mm×70mm×20mmの引張用の試験体を各種作製する。試験体の調合は、既往の研究を参考に調合を決定する。既往の研究より消石灰に対しスサ量は2、3、4%に対し、それぞれの量に応じた砂を配合したものを作製する。試験は強度を図るため、力学特性調査は、圧縮試験・曲げ試験・せん断試験・引張試験を行う。曲げ試験とせん断試験は、アムスラー式試験機を用いて、変位と圧縮強度を測定する。圧縮試験は圧縮強度を測定する。引張試験では、付着試験機を用いてコンクリートと漆喰の接着部位の強度を測定し試験を行う。

3.2 既調合漆喰の調合の改善案（試験2）

試験1の結果をもとに、既調合漆喰の分析を行い、強度と靱性を確保するために、調合改善を行う。調合の配分をふるい試験より調査した結果、スサ量0.3%、砂量58.0%、消石灰とノリの量41.7%になった。既調合漆喰の調合改善を施し、力学特性試験を行ない、最大荷重及び靱性を計測する。

4. 各種調合の漆喰試験体における力学特性（試験1）

4.1 各種調合の曲げ強さ

図4に各種調合の曲げ強さを示す。曲げ靱性エネルギーはA-90-2>A-90-3>A-100-2の順で大きくなった。スサ量が少なく、砂量が多い試験体がより多くのエネルギーを得ることができた。最大荷重に関して、A-100-2の試験体が一番大きく、他の試験体の最大荷重を比較するとあまり大差がなかった。しかし最大荷重は、砂量の多い試験体となる傾向が分かった。これらを総括して、曲げ試験では、スサ量が比較的少なく、砂量の多く入っている試験体の最大荷重が改良されやすいことが分かった。

4.2 各種調合の圧縮強さ

図5に各種試験体の圧縮強さを示す。最大荷重はA-80-2>A-90-3>A-90-2の順で大きくなった。スサ量を比較し、平均的に強度が大きくなったのは、スサ量で比較をすると2%>3%>4%となった。砂量で比較をした場合、砂量が多くなるのに比例して、最大荷重が大きい。これより、圧縮試験において、砂量が多くスサ量が比較的少ない試験体の最大荷重が大きくなることが分かった。

4.3 各種調合の引張強さ

図6に各種引張試験結果を示す。引張試験では、繊維質

表2 試験体調合・材料分量(曲げ・引張試験用割合)

記号	消石灰 (g)	ノリ (g)	スサ (g)	砂(g)
A-100-2	200.0	9.0	4.0	200.0
A-90-2				180.0
A-80-2				160.0
A-90-3			6.0	180.0
A-80-3				160.0
A-70-3				140.0
A-80-4			8.0	160.0
A-70-4				140.0
A-60-4				120.0

表3 実験要因と水準

要因	水準
砂量	60%, 70%, 80%, 90%, 100%(対消石灰量の割合)
スサ量	2%, 3%, 4%(対消石灰量の割合)
水分量	29%, 30%, 31%(対全体量の割合)

表4 実験項目と実験方法

実験項目	実験方法
曲げ試験	JIS A 1106 アムスラー式試験機による曲げ試験 $P(N/mm^2) = (\sigma \times bh^2) / L = (\sigma \times 40^3 mm) / 120 mm$ 試験体サイズ=40mm×40mm×160mm
圧縮試験	JIS A 1106 アムスラー式試験機による圧縮試験 $\sigma(N/mm^2) = P(N) / (40mm \times 40mm)$ 試験体サイズ=40mm×40mm×80mm
引張試験	付着試験機による引張試験 $\sigma(N/mm^2) = P(N) / (70mm \times 70mm)$ 試験体サイズ=70mm×70mm×20mm
剪断試験	JIS A 1106 アムスラー式試験機によるせん断試験 $\sigma(N/mm^2) = P(N) / (40mm \times 40mm \times 2)$ 試験体サイズ=40mm×40mm×80mm

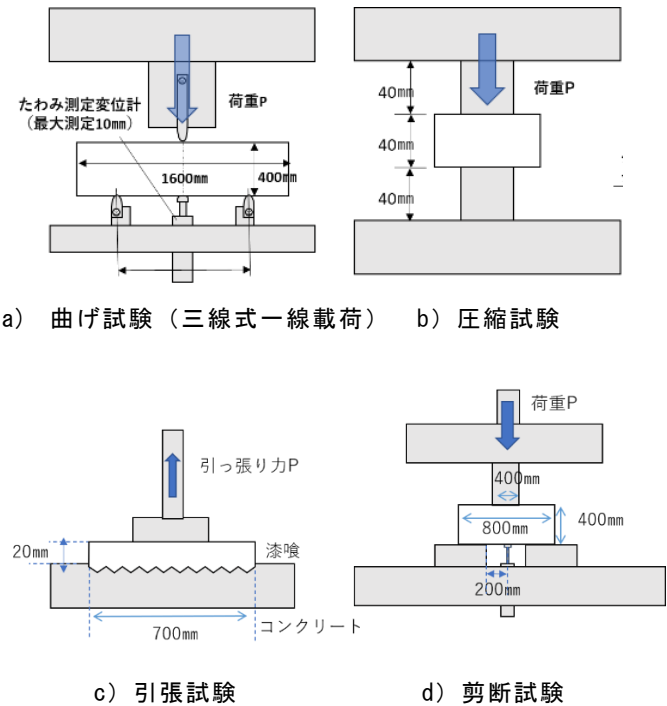


図3 力学試験の詳細図



a) アムスラー式試験機



b) 付着試験機

写真 1 各種試験で使用した試験機

の多いスサ 4%の試験体が、2%、3%と比較し、平均的に高い強度で粘りがあるが、2%、3%の試験体はそれほど変化がないことが確認された。最大強度は、A-90-2 の試験体であった。しかし同量の砂量のものと比較すると、数値に大きな差があることが確認された。一方、スサ量の多い試験体 A-60-4 は、コンクリートに接着したスサによる粘りが確認でき、最大荷重が大きくなった。

4.4 各種調合の剪断強さ

図 7 に各種調合の剪断試験結果を示す。曲げ靱性エネルギーは A-70-4>A-70-3>A-60-4 の順で試験体が大きくなる。最大荷重は砂量が比較的少ない A-100-2 の試験体が最も大きく見られた。しかし、破断後急激な靱性低下が起きた。砂量で比較すると、砂量の多い A-100-2、90-2、A-80-2、A-90-3 は、全体の中でも靱性が小さくなった。各種調合の剪断試験ではスサ量が多くなると緩やかに靱性低下することが分かった

5 既調合漆喰の調合改善した試験体における力学特性 (試験 2)

5.1 試験体の調合

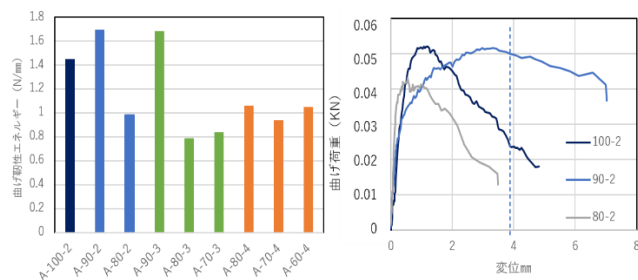
表 5 に既調合漆喰の調合を示す。3.2 より既調合漆喰の調合は、スサ量 0.3%、砂量 58.0%、消石灰とノリの量 41.7%になった。4 の結果と練っている状態より、砂量を約 10% (20g) 増量した試験体 (B-20-0) を、スサ量は約 1.0% (3g) 増量した試験体 (B-0-3) を、砂量を 5.0% (10g) 増量しスサ量約 1.0% (3g) 増量した試験体 (B-10-3) を提案した。それらの試験を行い、強度及び靱性の改善を目指す。漆喰は材齢 28 日とする。

5.2 既調合漆喰曲げ強さ

図 8 に曲げ試験強さを記す。既調合漆喰の最大荷重を比較すると B-10-3>B-0-3>B-original>B-20-0 となった。スサを入れた試験体は、飛躍的に最大荷重が伸びたのがわかる。曲げ靱性エネルギーに関しても、同様にスサを追加した試験体が大きくなった。

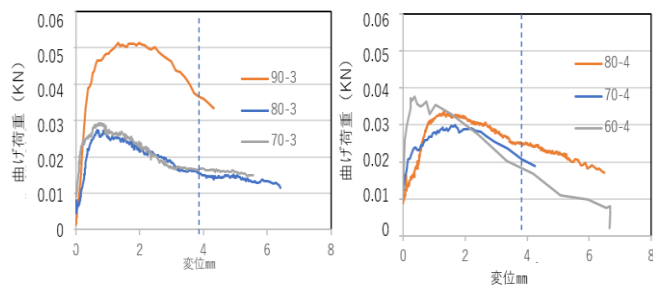
5.3 既調合漆喰圧縮強さ

図 9 に圧縮強さを示す。最大強度は、B-0-3>B-10-3>B-20-0>B-original の順になった。もとよりスサ量が少なかった調合にスサ量を加えた試験体は、B-original の約 3



a) 曲げ靱性エネルギー

b) スサ量 2%



c) スサ量 3%

d) スサ量 4%

図 4 各種調合の曲げ強さ比較

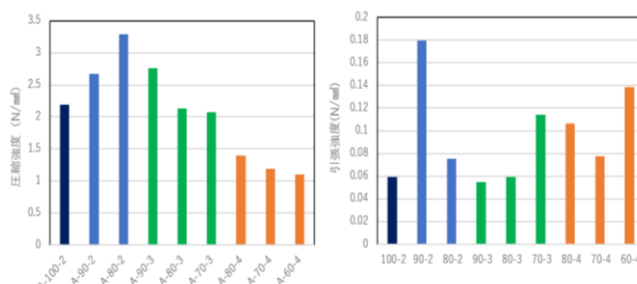
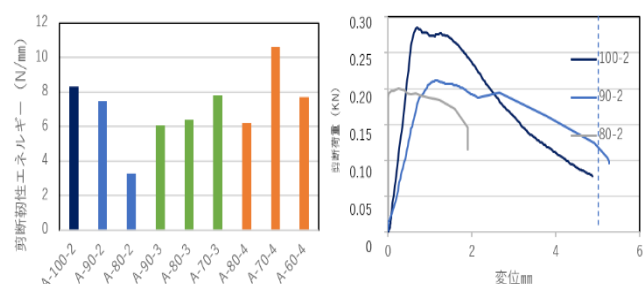


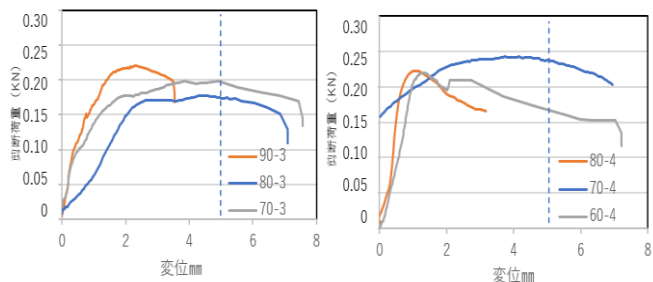
図 5 各種試験体の圧縮強さ

図 6 各種試験体の引張強さ



a) 剪断靱性エネルギー

b) スサ量 2%



c) スサ量 3%

d) スサ量 4%

図 7 各種調合剪断強さ比較

倍の強度を得た。

5.4 既調合漆喰引張強さ

図 10 に引張強さを示す。最大引張強度は B-10-3>B-20-0>B-original>B-0-3 の順に大きくなった。そして引張試験に関して、砂を追加した試験体は、既調合のもの、約 2 倍の強度を得ることができた。スサ量も同様に、追加した試験体の強度を出せることができた。骨材を混和した試験体は、強度が増す傾向にある。砂とスサ両方を増量した試験体に関して、そのままの調合で使った試験体よりも最大荷重も靱性も改善することができた。

5.5 既調合漆喰剪断強さ

図 11 に剪断強さを示す。最大強度及び曲げ靱性エネルギーの大きさは、B-10-3>B-0-3>B-20-0>B-original の順になった。これは消石灰の量に対しての、骨材の量が多いため、脆くなったことが考察される。最大荷重に関して、スサを増量した試験体が大きくなった。B-original のスサ量が 0.3% に対して、追加したことによってスサ量が約 1.0% の状態にスサ量を変化したため、スサが粘りをみせそこで靱性を大きく得ることができた。

6. まとめ

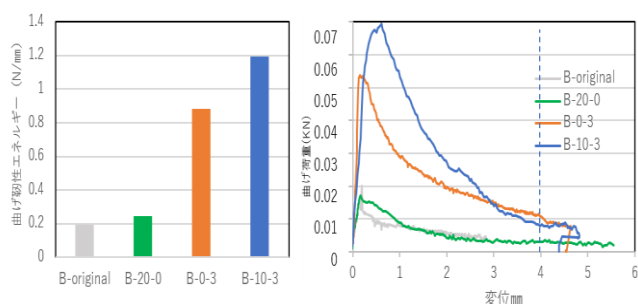
- 1) 曲げ試験、圧縮試験では、砂量が 90%・スサ量が 2% の試験体が比較的大きい強度と靱性を得ることができた。剪断・引張試験ではスサ量が 4% の試験体が靱性を大きく得た。
- 2) 砂を混和することで、最大強度及び延性を強くする特徴がある。そしてスサは、試験体が最大荷重を過ぎた後、急激な靱性低下を防ぐ特徴があることが分かった。
- 3) 砂量、スサ量が一定量を超えると、強度が低下することが分かった。
- 4) 既調合漆喰の試験体ではそのままの調合で使用するより、砂・スサを増量した試験体が、強度及び靱性を両方大きく得ることができた。破壊靱性エネルギーに関しても、スサを増加した試験体がより大きくなった。実際に使用する際には、スサと砂を若干増した方が、強度や靱性を確保できることが分かった。

参考文献

- 1) 建設業および建設従業者の現状，国土交通省 2012
- 2) 佐藤みのり他、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、日本建築学会関東支部、2019
- 3) 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

表 5 既調合漆喰の調合

記号	消石灰+ノリ (g)	砂 (g)	スサ (g)
B-original	145.95	203.0	1.05
B-20-0	145.95	223.0 (+20)	1.05
B-0-3	145.95	203.0	4.05 (+3)
B-10-3	145.95	213.0 (+10)	4.05 (+3)



a) 曲げ靱性エネルギー b) 既調合漆喰

図 8 既調合漆喰曲げ強さ比較

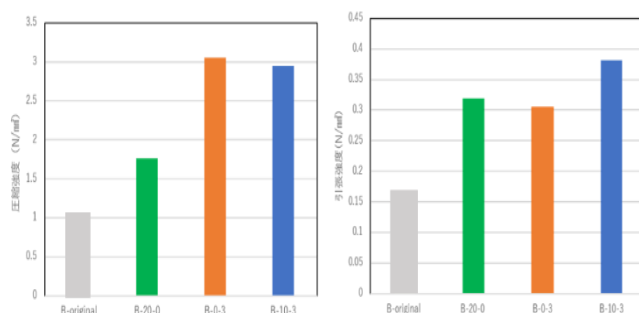
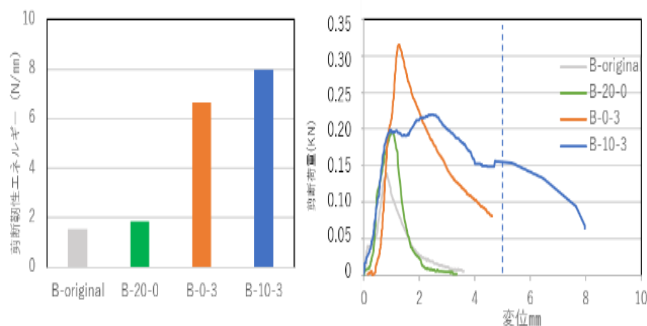


図 9 既調合漆喰
圧縮強さ

図 10 既調合漆喰
引張強さ



a) 剪断靱性エネルギー b) 既調合漆喰

図 11 既調合漆喰剪断強さ比較