

リサイクルパルプ繊維を活用した塗り壁材の開発

工芸科 村松重緒 前田研司 田村克浩*
丸富製紙株式会社 八木英一 若林安紀**
有限会社原田左官工業所 原田宗亮

Development of Plastering Materials Using Recycled Pulp Fibers

MURAMATSU Shigeo, MAEDA Kenji, TAMURA Katsuhiro,
YAGI Eiichi, WAKABAYASHI Aki and HARADA Muneaki

Various tests were conducted to investigate the effective amount of cellulose microfiber (CMF) to be added to improve the surface strength of earth-based and mortar-based plaster wall materials, prevent cracking under bending, and prevent surface cracking. The goal was to develop a plaster wall material with excellent workability and commercial value. While the addition of CMF did not improve material strength, no problems due to its addition were observed. Adding 0.1 parts CMF to clay-based plaster wall materials improved the ease of mixing and application, as well as the finish. When added to mortar-based wall coating materials, the hydration reaction caused the material to thicken, making it harder to mix and apply, but the finished product was not affected. The addition of CMF did not have an observable effect on hygroscopic properties.

Keywords : plastering materials, recycled pulp fibers , CMF, workability

土系塗り壁材・モルタル系塗り壁材の表面強度向上・曲げに対するクラックの発生抑制・表面ひび割れ抑制に対して効果的なCMF添加量を検討し、施工性に優れ商品価値を有する塗り壁材を開発することを目的に各種試験を行った。CMF添加は、強度向上に寄与しないが、添加による問題は見受けられなかった。土系塗り壁材への添加により、練りやすさ・塗りやすさ・仕上がりが向上し、CMF添加量は0.1部が良好であった。モルタル系塗り壁材への添加は、水和反応で増粘するため、練りやすさ・塗りやすさは悪化するが、仕上がりは問題なかった。吸放湿性に対するCMF添加効果は認められなかった。

キーワード：塗り壁材、リサイクルパルプ繊維、CMF、施工性

1 はじめに

静岡県はバイオマス材料であるセルロースに着目し、高度の解纖処理を行ったセルロースナノファイバー（以下、CNFと略記する）の用途開発、利用推進を行っている¹⁾。CNFはバイオマス由来・レオロジー特性・保湿性等の優れた特性をしていることが知られている²⁾が、処理コストがかさむことから、中程度の処理により製造されるセルロースマイクロファイバー（以下、CMFと略記する）が注目され始めている。

丸富製紙㈱は、工程から発生する損紙と呼ばれる製品にならないセルロース材料の有効活用を目的に解纖装置を導入し、(有)原田左官工業所とともに建材用途を模索してきた。CNFを添加した漆喰材³⁾は先行事例があるが、CMFを添加した塗り壁材は、予備試験にてコテすべり向上が確認されており、製品化も期待される。

そこで本研究では、CMFを添加した商品価値を有する塗り壁材を開発することを目的に各種実験を行ったので、その結果について報告する。

* 現 富士工業技術支援センター 製紙科 ** 退職

2 方法

2.1 CMF の製造と物性評価

CMF の製造は丸富製紙㈱が行った。CMF は、家庭紙原紙（トイレットペーパー用）を巻き替える際、原紙ロールの巻き芯周辺や端部から発生する損紙（針葉樹パルプ／広葉樹パルプ=25/75～20/80）の一部をスラリー化し、酵素添加後、スーパーマスコロイダーMKZA10-20JMIV改（増幸産業㈱製）を用いて、摩碎処理により得た。CMF 原料である家庭紙損紙を写真 1、CMF スラリー（固形分濃度 1.6%）を写真 2 に示す。なお、2 時間の摩碎処理を行った回数 n を n_{pass} と表記する。0pass は摩碎処理を行わず家庭紙損紙を離解したものである。

上記により得られた CMF について、位相差顕微鏡 BF43F（オリンパス㈱製）を用いた観察、粒子径分布測定装置 MT3300EX II（マイクロトラック・ベル㈱製）を用いた粒度分布測定、レオメーター MerlinVR（Rheosys 製）および共軸二重円筒（C25）を用いた粘度測定を行った。なお、対照試料として、上市されている BiNFi-s 標準（㈱スギノマシン製）、レオクリスタ（第一工業製薬㈱製）についても、同様の試験を行った。



写真 1 家庭紙損紙

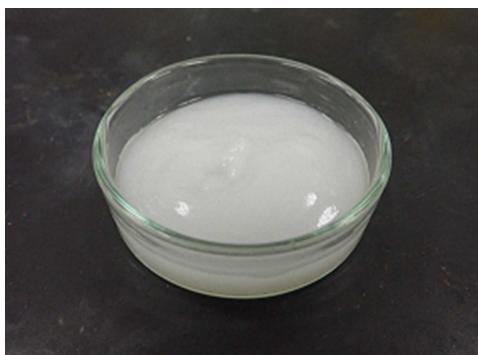


写真 2 CMF スラリー（固形分濃度 1.6%）

2.2 CMF 添加塗り壁材試作品の調製

CMF 添加塗り壁材試作品の調製は、(有)原田左官工業所が行った。資材は、CMF スラリー（2pass、固形分濃度 1.6%）、土系塗り壁材（風土：7号珪砂（0.1mm アンダー）=2:1）、モルタル系塗り壁材（ポリープル：寒水石 1 厘目（0.4mm）=2:1）、バインダー（HR 樹脂混和液（二瀬窯業㈱製アクリル樹脂エマルジョン、固形分濃度 45%））を用いた。CMF 添加塗り壁材試作品の構成材料を表 1、土系塗り壁材を写真 3、モルタル系塗り壁材を写真 4、HR 樹脂混和液を写真 5 に示す。調製した塗り壁材スラリーは、塗り厚 1mm を目標に、MDF またはスタイルフォームに 2 度塗り後、乾燥し、得られた塗り壁材試作品は各種試験に供した。



写真 3 土系塗り壁材



写真 4 モルタル系塗り壁材

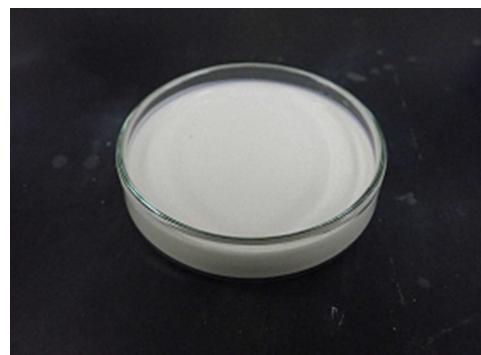


写真 5 HR 樹脂混和液

表1 CMF 添加塗り壁材試作品の構成材料

塗り壁材		HR樹脂	CMF添加量
基材	骨材		
土系 (風土)	寒水石 一厘目	あり	0~0.4部
モルタル系 (ポリーブル)	7号珪砂	あり なし	0~0.6部 0~0.7部

2.3 CMF 添加塗り壁材試作品の表面強度

2.2で調製したCMF添加塗り壁材試作品について、テーバー摩耗試験、デュポン硬度試験を行った。

テーバー摩耗試験は、JIS K 5600-5-9:1999 塗料一般試験方法－第5部：塗膜の機械的性質－第9節：耐摩耗性（摩耗輪法）を参考に、テーバー式摩耗試験機 AB101（テスター産業株製）を用い、摩耗輪：CS-17、回転数：100回転、回転速度：60min⁻¹、荷重：4.9N（0.5kg）/輪、にて測定した。

デュポン硬度試験は、JIS K 5970:2003 建物用床塗料 7.9 耐衝撃性（JIS K 5600-5-3:1999 塗料一般試験方法－第5部：塗膜の機械的性質－第3節：耐おもり落下性）を参考に、デュポン式衝撃試験機 No. 469（株上島製作所製）を用い、撃ち型の半径：6.35mm、おもりの質量：0.5kg、落下高さ：300mm、にて測定した。

2.4 CMF 添加塗り壁材試作品の曲げ特性

2.2で調製したCMF添加塗り壁材試作品について、曲げ特性試験を行った。

曲げ特性試験は、JIS K 7171:2022 プラスチック曲げ特性の求め方を参考に、オートグラフ AG-50kNXDPlus（株島津製作所製）を用い、試験片：80mm×10mm×4mm、支点間距離：64mm、試験速度：1.67mm/s、支点・力点の半径：5mm、にて測定した。

2.5 CMF 添加塗り壁材スラリーの評価

2.2で調製したCMF添加塗り壁材スラリーについて、練りやすさ・塗りやすさ・仕上がり（塗布直後・乾燥後）の評価を、(有)原田左官工業所にて左官歴5年の30代女性職人から、聞き取り調査した。評価点数は食品の官能評価方法を参考に9段階（非常に悪い・とても悪い・やや悪い・わずかに悪い・どちらでもない・わずかに良い・やや良い・とても良い・非常に良い）とした。

2.6 CMF 添加塗り壁材試作品の乾燥時の重量変化

2.2で調製したCMF添加塗り壁材試作品の乾燥時の重量変化を測定した。CMF添加塗り壁材スラリーは、石膏ボード表面に塗布した。塗布直後から約24hごとに重量測定し、重量減少率を算出した。

2.7 CMF 添加塗り壁材試作品の吸放湿試験

2.2で調製したCMF添加塗り壁材試作品を、JIS A 6909:2021 建築用仕上塗材 7.29 吸放湿試験を参考に、吸放湿試験を行った。CMF添加塗り壁材スラリーはスタイルフォーム表面に塗布した。

3 結果及び考察

3.1 CMF の製造と物性評価

CMFスラリー（固形分濃度1.6%）の粒度分布を図1に示す。図1より、0passはモード径（分布の極大値）に2つのピークが認められた。丸富製紙株の抄紙原料は、バージンパルプに損紙を追加したものを使用しており、バージンパルプ由来のピークと損紙由来のピークが計測されたと考えられる。また、pass数を増すにつれ、粒度は低下し、よりシャープに変化すること、CNFの径は約3～100nmである⁴⁾が、得られたCMFはCNFの約1,000倍の粒径であることが確認された。

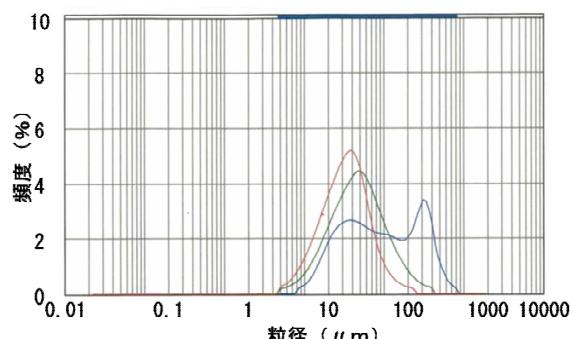


図1 CMF（固形分濃度1.6%）の粒度分布

—0pass —2pass —5pass

粘度測定結果を図2、図3に示す。図2より、CMFは、0pass品が最も粘度が高かった。バージンパルプ由来の長纖維が混入した影響と考えられる。解纖を行った2pass品が最も粘度が低く、スラリーとしては最も扱いやすいと考えられる。5pass品は2pass品よりも粘度が上昇しており、フィブリル化が進んだ影響と考えられる。図3より、CMFはCNFよりも粘度が低いことが確認された。

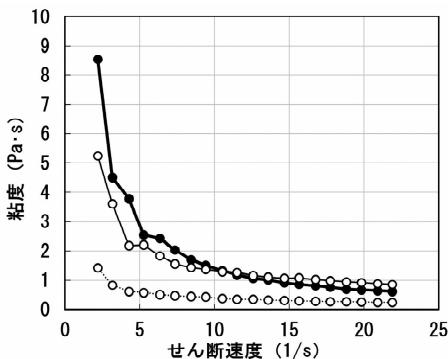


図 2 粘度測定結果 (CMF)

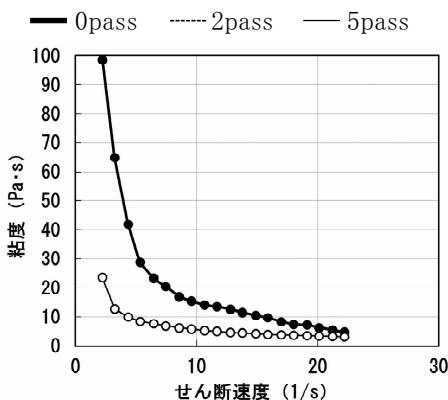


図 3 粘度測定結果 (CNF)

— レオクリスタ — BiNFi-s(標準)

位相差顕微鏡観察画像を写真6、写真7に示す。写真6、写真7より、CMFは纖維長が長く、纖維の一部がフィブリル化している様子が確認された。BiNFi-s 標準は細かい纖維とフィブリル化した纖維が確認されたが、レオクリスタは纖維径が10nm以下と非常に細く透明⁵⁾なため確認できなかった。



写真6 位相差顕微鏡観察画像 (CMF)

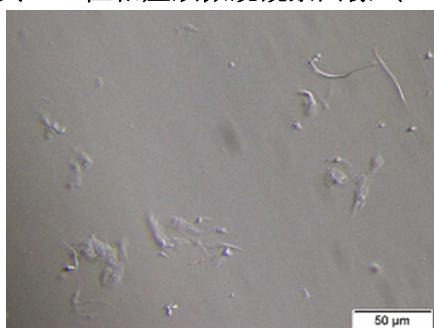


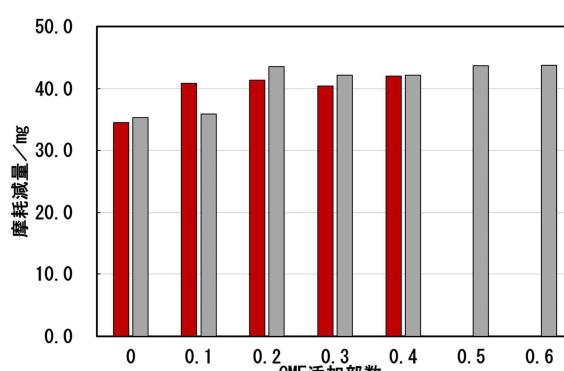
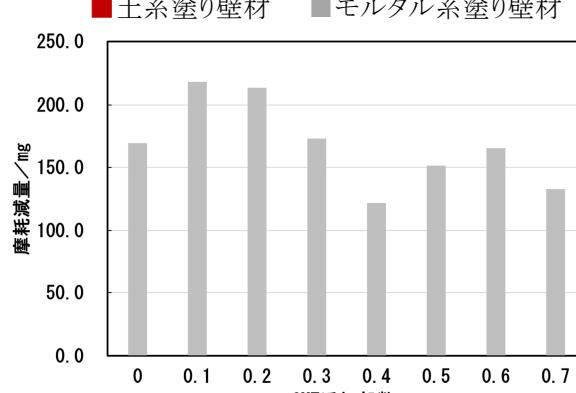
写真7 相差顕微鏡観察画像 (BiNFi-s 標準)

3.2 CMF 添加塗り壁材試作品の表面強度

テーパー摩耗試験結果を図4、図5に示す。

図4より、HR樹脂ありでは、CMF添加で耐摩耗性が低下（摩耗減量が増加）したことが確認された。ただし、表面強度は向上しないが大幅に低下もしておらず、CMF添加の問題は少ないことが確認された。耐衝撃性は、「衝撃による変形で割れ、はがれが生じない。」という結果が得られた。基材(MDF)が衝撃の一部を吸収している様子が見られたものの、表面強度向上にHR樹脂使用が有効であることが確認された。

(HR樹脂なしでは、土系塗り壁材が定着せずはがれが生じたため、モルタル系塗り壁材のみの結果となっている。図5より、摩耗減量が大幅に増加した。CMF添加部数と摩耗量の相関は認められなかつた。CMF添加により塗り壁材スラリーが増粘し、均一に混ぜることが難しくなったため、摩耗減量にはばらつきが生じたと推察された。耐衝撃性については、「衝撃による変形で割れ、はがれが生じた。」という結果が得られ、HR樹脂を使用しないと表面強度が低下し脆くなること、壁等への塗布といった利用用途が限られることが確認された。

図4 テーパー摩耗試験結果 (HR樹脂あり)
■ 土系塗り壁材 ■ モルタル系塗り壁材図5 テーパー摩耗試験結果 (HR樹脂なし)
■ モルタル系塗り壁材

3.3 CMF 添加塗り壁材試作品の曲げ特性

曲げ特性試験結果を図6、図7に示す。図6、図7より、CMF添加による曲げ応力への影響は認められなかった。また、CMF添加量を増やすことで、破壊時のストロークが短くなり、しなりにくくなることが確認された。なお、HR樹脂なしでは、CMF添加で曲げ応力が向上したものも確認されたが、ばらつきも認められ、添加効果の判断は難しい。原因として、CMF添加で増粘して練りにくくなり、塗り壁材スラリーの濃度ムラが生じた可能性が考えられる。破壊までのストロークは、HR樹脂ありと比較して大幅に低下したことから、HR樹脂を使用しないと脆くなる、HR樹脂を使用するとしなりやすくなり、曲げへの抵抗性が向上することが確認された。

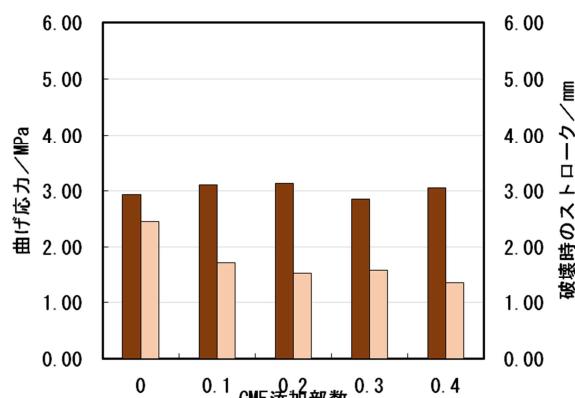


図6 曲げ特性試験結果
(土系塗り壁材・HR樹脂あり)

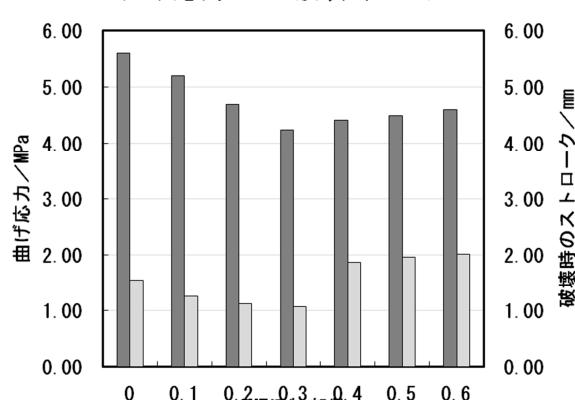


図7 曲げ特性試験結果
(モルタル系塗り壁材・HR樹脂あり)

3.4 CMF 添加塗り壁材スラリーの評価

聞き取り調査の結果、CMFを添加することで、土系塗り壁材は練りやすさ・塗りやすさ・仕上がりの全てが向上、モルタル系塗り壁材(HR樹脂あり)

り)は仕上がりは無添加と変わらず塗りやすさは向上、モルタル系塗り壁材(HR樹脂なし)は練りやすさ・塗りやすさが悪化したが仕上がりは問題なかった、CMF添加量は0.1部が良好であった、とのことであった。

3.5 CMF 添加塗り壁材試作品の乾燥時の重量変化

測定結果を図8～図10に示す。図8～図10より、塗り厚約1mmの塗り壁材試作品では、試験開始から24時間後に20%程度の重量減少が確認されたが、その後は重量変化がほとんど生じなかった。このことから、塗り厚1mmにした場合、乾燥に要する時間は24時間以内であると考えられる。HR樹脂なしのモルタル系塗り壁材は、24時間以内に乾燥後、重量が増加して約7日前後で重量変化が落ちていた。塗り壁材中のモルタル成分が、水和反応により環境中の湿気を吸収し、重量が増加したと考えられる。

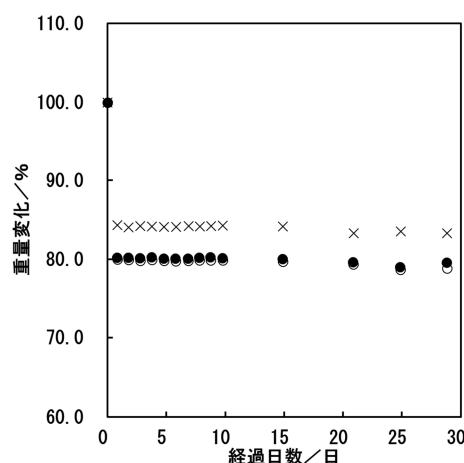


図8 CMF 添加塗り壁材試作品の重量変化
(土系塗り壁材・HR樹脂あり)

× CMF0部 ○ CMF0.1部 ● CMF0.3部

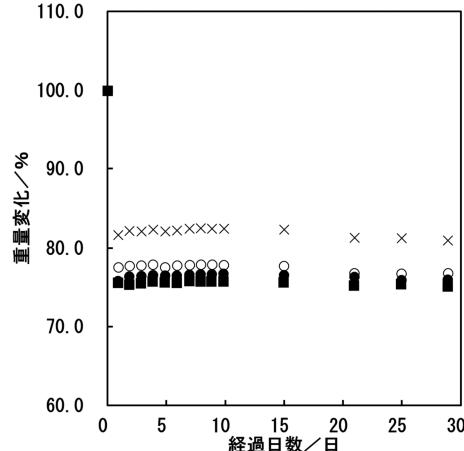


図9 CMF 添加塗り壁材試作品の重量変化
(モルタル系塗り壁材・HR樹脂あり)

× CMF0部 ○ CMF0.1部 ● CMF0.3部 ■ CMF0.5部

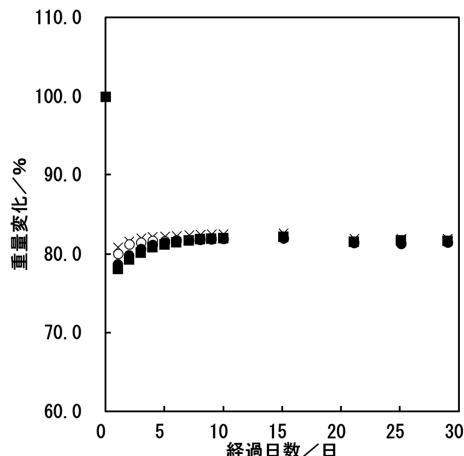


図 10 CMF 添加塗り壁材試作品の重量変化
(モルタル系塗り壁材・HR樹脂なし)

× CMF0 部 ○ CMF0.1 部 ● CMF0.3 部 ■ CMF0.5 部

3.6 CMF 添加塗り壁材試作品の吸放湿試験

試験結果を図 11、図 12 に示す。図 11 より、土系塗り壁材は、CMF 添加したものは CMF を添加していない試料と比べて、約 30% 吸放湿量が増加した。吸放湿量の絶対値としては低く、CMF 添加量との相関は認められなかった。図 12 より、モルタル系塗り壁材は、HR 樹脂の有無で吸放湿量に差が生じ、HR 樹脂がない方が吸放湿しやすいことが確認され、CMF 添加量との相関は認められなかった。

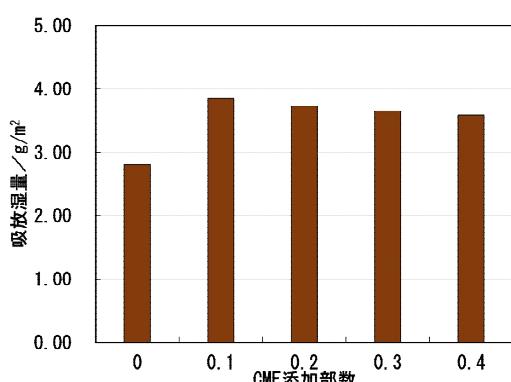


図 11 吸放湿試験結果（土系塗り壁材）
■ HR 樹脂あり

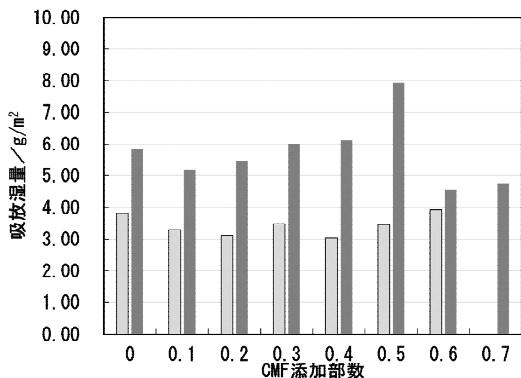


図 12 吸放湿試験結果（モルタル系塗り壁材）
■ HR 樹脂あり ■ HR 樹脂なし

4 まとめ

土系塗り壁材、モルタル系塗り壁材の表面強度向上・曲げに対するクラックの発生抑制・表面ひび割れ抑制に対して効果的で最適な CMF 添加量を検討し、施工性に優れ商品価値を有する塗り壁材を開発することを目的に各種試験を行い、以下の結果を得た。

- CMF 添加は強度向上に寄与しないが、添加による問題は少なかった。また、HR 樹脂の添加が表面強度向上に効果が認められた。
- 土系塗り壁材への CMF 添加は、練りやすさ・塗りやすさ・仕上がりが向上した。
- モルタル系塗り壁材への CMF 添加は、水和反応で増粘するため、練りやすさ・塗りやすさは悪化するが、仕上がりは問題なかった。
- 土系塗り壁材への CMF 添加で、吸放湿量が約 30% 増加した結果も得られたが、吸放湿量の絶対値は低く、CMF 添加効果は認められなかった。

謝辞

有限会社原田左官工業所原田宗亮社長には、塗り壁材資材の提供、塗り壁試作品の試作、塗り壁処方の情報提供をいただいた。丸富製紙株式会社八木英一生産技術・新製品開発部長、若林安紀氏には、CMF 製造・利用状況の情報提供、CMF の提供いただいた。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

- 1) 村松重緒：セルロースナノファイバーの建築資材への利用、ナノファイバー学会誌, 15(1, 2), 47-53 (2024) .
- 2) 林徳子：木質系バイオマスの効果的利用に向けた特性評価、「Nanocellulose Symposium2018 「CNF 材料を俯瞰する」－原料検討から自動車まで－」、初版（㈱田中プリント、京都）、京都大学生存圏研究所 編集, pp. 1-8 (2018).
- 3) 河野敏夫 他：漆喰材. 特許第 6692474 号 (2020. 9. 3) .
- 4) ナノセルロースフォーラム：ナノセルロースとは、「図解よくわかるナノセルロース」、初版（日刊工業新聞社、東京）、pp. 20-21 (2016) .
- 5) 神野和人：セルロースナノファイバー「レオクリスタ®」、応用糖質科学, 9(2), 125 (2019) .