

火山砕屑物を素材とする静電塗工技術を用いた 超高性能調湿建材の開発 第2報 静電粉体塗装を施した模擬内装試験片の 吸放湿性の評価

位 田 達 哉*

Development of Ultra-high-performance Humidity Control Building Materials using Electrostatic Coating Technology based on Volcaniclastic Materials

Tatsuya Inden *

Abstract: More recently, with the activation of volcanoes, recycling of volcaniclastic materials are required. In Japan, which has a climate of high temperature and humidity or low temperature drying, improvement of living environment comfort is required not only from building facilities but also from building materials.

In this paper, the selection of volcaniclastic materials for powder electrostatic coating, test construction, and moisture absorption and desorption as humidity control properties were investigated. The summaries of the results are as follows;

- 1) The particle size distribution of volcanic debris varies depending on the area where it is collected.
- 2) An environmentally friendly hybrid powder coating was devised by substituting volcanic debris into the powder coating, and it was found that the substitution ratio could be increased up to 90%.
- 3) Interior specimens of gypsum board coated with electrostatic powder coating of volcanic debris showed higher moisture absorption and desorption performance as the replacement rate of volcanic debris increased, and the performance was five times higher than that of ordinary vinyl cloth finish.

Key words: Volcanic ash, Electrostatic coating, Magnetic paints, Humidity control, Water Vapour Adsorption/Desorption Property

1. 緒 論

本研究は、地球環境保全や生活の質向上の観点から、廃棄物として扱われている火山砕屑物の資源としての価値創造を実現し、広域環境からみた省エネルギー化の実現および居住環境の快適性向上を達成するため、低負荷で快適な室内空間の構築を意図した超高性能調湿建材の実現を目的としている。建築構成材としての実用化のため、マイクロ・ナノ加工技術ができる静電塗工に着目し、帯電させた火山砕屑物発泡体を用いた静電粉体塗装を応用した建材開発を進めている。吸着素材とバインダー両者による調湿の相乗効果を狙うことにより、次世代

に相応しい環境配慮型の超高性能調湿建材の実現を目指している。

静電粉体塗装とは、塗料噴霧装置（静電スプレーガン）に負極の高電圧を直接かけて両極間に静電界を作り、塗料微粒子を負に帯電させ塗装する方式である¹⁾。被塗物をアースすることにより正極にする必要があるが、帯電した塗料を電気力線に沿って飛行し塗着するため塗料ミストの飛散が少なく、塗料の節減や塗装しない箇所に帯電させなければ塗材が付着せず、建築内装工事においては、厳密な養生が不要となるものと考えられる。しかしながら、主要な建築材料であるコンクリート、木材、石膏ボードなどは不導体に近いためほぼ通電せず、建築室内への静電粉体塗装技術の適用には課題が残されている。既報²⁾では、黒板塗料として普及している磁性をもった微粉末を混入した塗料（マグネットペ

* 理工学部, 専任講師

Tel/fax : 03-5481-3284, E-mail : indent@kokushikan.ac.jp

イント, 以下MPと略記) を表面に塗布することで通電性を付与できることを見出した。

本報では, 粉体塗装に適した火山砕屑物の選定をしたうえで, 我が国で代表的な内装下地建材である石こうボードを対象として静電粉体塗装を施し, 調湿性能としての吸放湿性に及ぼす火山砕屑物置換率の影響について実験的に検討したのでその結果を報告する。

2. 火山砕屑物の選定のための粒度分布測定

2.1 実験の目的

火山砕屑物を粉体塗料として用いるにあたり, コロナガンからの射出や静電気力による付着を考慮するならば, 粉末度の高いものを選定することが望ましい。また, 同量を塗装した場合, 粉末度が高いほど比表面積も高くなると想定すると, 調湿機能の観点からも有利であると考えられる。

そこで, 次章の実験で用いる火山砕屑物を選定するため, 噴火直後に採取地の異なる火山砕屑物入手し, 粉末度を評価するために粒度分布を評価した。

2.2 使用材料および機材

2.2.1 使用材料および調製方法

火山砕屑物は, 2019年11月7日に鹿児島県桜島の大規模噴火後に降灰したものをを用いた。火山砕屑物の採取地点はすべて桜島内とし, 昭和火口(記号:S), 有村



Fig.1 Volcaniclastic materials collection points (©OpenStreetMap contributors)

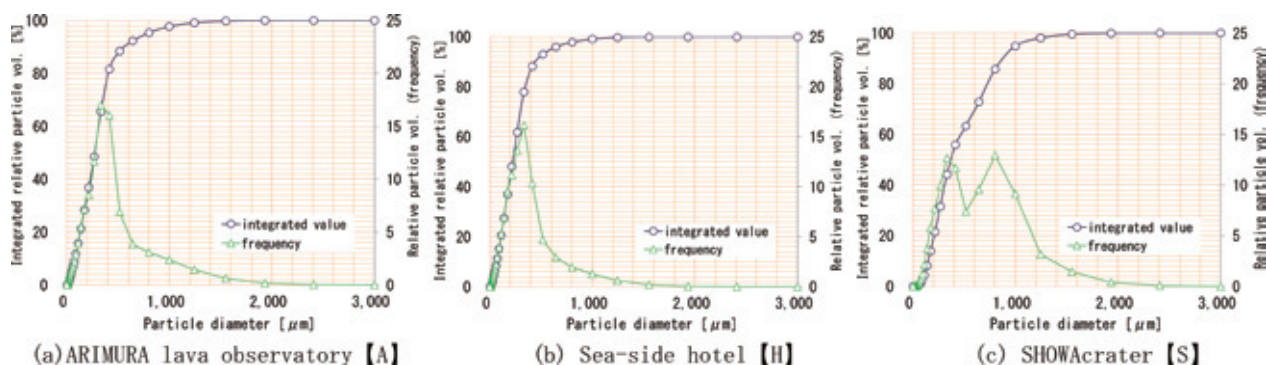


Fig.2 Particle size distribution

溶岩展望所(記号:A), 桜島シーサイドホテル(記号:H)とした(Fig.1)。昭和火口は立ち入りのできる範囲で最も火口に近い地点, 有村溶岩展望所および桜島シーサイドホテルは, 噴火口から直線距離でほぼ同距離の地点であり, 噴火口の距離と降灰物粒度との関係性を調べるために選定した。

これを自然乾燥させた後に梱包して実験室へ送り, 2mmふるいを通すものを $110 \pm 5^\circ\text{C}$ の恒温炉乾燥で恒量としたものを試料とした。

2.2.2 測定項目および方法

粒度分布の評価のため, レーザ回折式粒度分布測定装置(S社製SALD-3100)を用いて粒度分布を測定した。

2.3 測定の結果および考察

粒度分布の測定結果をFig.2に示す。

粒度分布曲線から, 有村溶岩展望所(A地点)とシーサイドホテル(H地点)では明確な差はみられなかったが, 昭和火口(S地点)とは明らかに曲線の形状が異なる結果となった。今回, 風向きの影響は考慮していないが, 概ね距離が同じであれば粒度分布曲線も同じような傾向になることが示唆される。一方, 昭和火口では二峰性を示しており, 粒径の荒い粒子は飛来せず噴火口の近くに降灰している傾向を確認することができた。

降灰物の粒子平均径は, 昭和火口で $372 \mu\text{m}$, 有村溶岩展望所で $232 \mu\text{m}$, シーサイドホテルで $192 \mu\text{m}$ であった。噴火口からの距離が長くなるにつれて粒子の平均径は細くなっており, 粒子径の細かく軽いものほどより遠くで降灰していることの裏付けが得られた。

今回の実験では, 静電粉体塗装に使用するコロナガンの粉体吐出口の閉塞を防ぐため, 最も平均粒径の細かい桜島シーサイドホテルから採取した火山砕屑物を用いて粉体塗装の試験施工を実施することにした。

3. 内装塗装仕上げとしての試験施工

3.1 実験の目的

粉体塗料と火山砕屑物発泡体を混合した粉体による環境配慮型のハイブリッド塗料の実現可能性を評価するた

め、既製品の粉体塗料に対する火山砕屑物の置換率を水準として静電粉体塗装の試験施工を行った。

3.2 使用材料および機材

粉体塗料は、R社製のポリエステル樹脂系粉体塗料（標準焼き付け温度：260℃・20分）を使用した。

被塗装建材は、我が国で最も標準的な内装下地建材である石こうボード（耐水型）とし、これに既報²⁾の成果を参考としてMPを3層下塗りした下地材を用いた。

静電粉体塗装にはコロナ帯電方式ガン（C社製 POWDER OATING SYSTEM Model 94244）、塗料の焼き付けには自動車塗装用のハンディ型短波長赤外線ヒーター（Hedson社製IRT1 PrepCure）を用いた。また、試験片表面の温度の測定には、非接触式の表面温度計を用いた。

3.3 実験の方法

3.3.1 粉体塗料の調整

使用する粉体塗料は、既製のポリエステル樹脂系粉体塗料に火山砕屑物を置換した。置換率は、体積比で0, 1, 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95, 99および100%とした。

3.3.2 静電粉体塗装および焼き付け

静電粉体塗装の手順は、既報と同様とした。

吐出圧は予備実験から0.8Paと定め、試験片を塗装機本体のアースに取って通電させ、静電塗装ガンで粉体塗料が貼り付かなくなるまで吹き付けた。塗装対象からガン先までの距離は300mmとした。その後、近赤外線ヒーターで表面温度を260℃で20分間焼き付けた後、常温まで自然放冷した。

3.4 実験の結果

Fig.3は、吹付け後の各試験片の仕上がりを示したものである。火山砕屑物の量が少ない置換率25%程度までは粉体静電塗装特有の光沢が確認できるのに対し、置

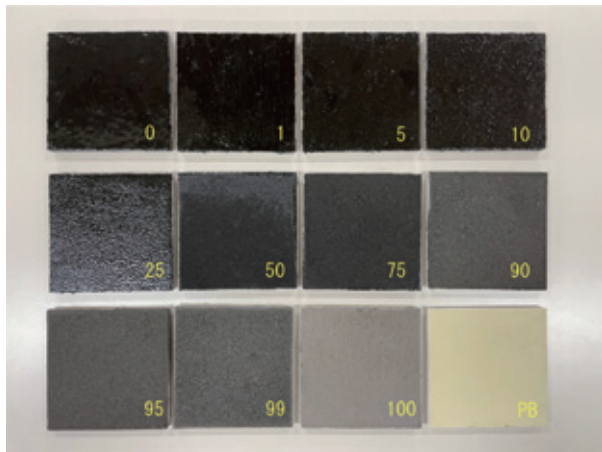


Fig.3 Surface properties of powder coated specimens (Values are volcanoclastic materials replacement rates)

換率50%以上では光沢が失われ、マットな仕上がりになった。置換率90%を越えると下地である石こうボードへ緩く定着しているが、振動を加えることで剥がれ落ちた。置換率100%では静電気力で一旦は定着するものの、焼き付け温度が低すぎるため一体化にまで至らなかった。火山砕屑物のMelting Pointは、既報で実施したTG-DTAの結果より1300℃程度であることがわかっているため、樹脂がバインダーの役割を担っているものと考えられる。

以上の結果より、内装建材としてみなした場合、置換率90%を限度として火山砕屑物を利用できる可能性があることがわかった。ただし、火山砕屑物置換率の上昇に伴い耐摩耗性や耐衝撃性といった力学的な性能が低下すると考えられることから、建築仕上材として用いるための適切な性能試験による検証が必要と考えられる。

4. 調湿性能としての吸放湿性の評価

4.1 実験の目的

前章で作製した試験片の調湿性能を評価するため、吸放湿性試験を実施した。居室における1日のサイクルにおける気温と湿度の変化を想定した試験であり、居室に調湿建材を用いた場合に発揮する調湿性能の評価に繋がるものである。

4.2 試験片

試験片は、前章で作製したもの（Fig.3）のほか、比較用として無垢の石こうボード（PB）および標準的な石こうボードにビニルクロス貼り仕上げしたもの（PB+W）を用いた。ただし、置換率95, 99および100%の試験片は静電粉体塗装ができないものとみなして除外した。

試験片の養生環境は、温度 $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$ とし、相対湿度はJIS A 1470-1:2014「調湿建材の吸放湿性試験方法」に準じ、中湿域（50% RH）において恒量となるまで養生した。

4.3 実験の方法

養生後の試験片を対象として、JIS A 1470-1に準拠して吸放湿性能試験を行った。湿度応答法によって中湿域（75-50% RH）における単位面積あたりの質量変化を測定した。そして、吸湿・放湿量の1時間ごとの変化量として吸湿・放湿勾配を算出するとともに、吸湿・放湿過程の吸湿・放湿量を算出した。

4.4 実験の結果および考察

代表的な試験片の吸放湿曲線をFig.4に示す。また、各試験片の吸湿量、放湿量および蓄湿量の結果をTable1に示す。無垢の石こうボードと比較すると、ビニルクロス貼りおよび火山砕屑物置換率25%以下のものは吸放湿性能は劣っていたが、置換率50%以上にな

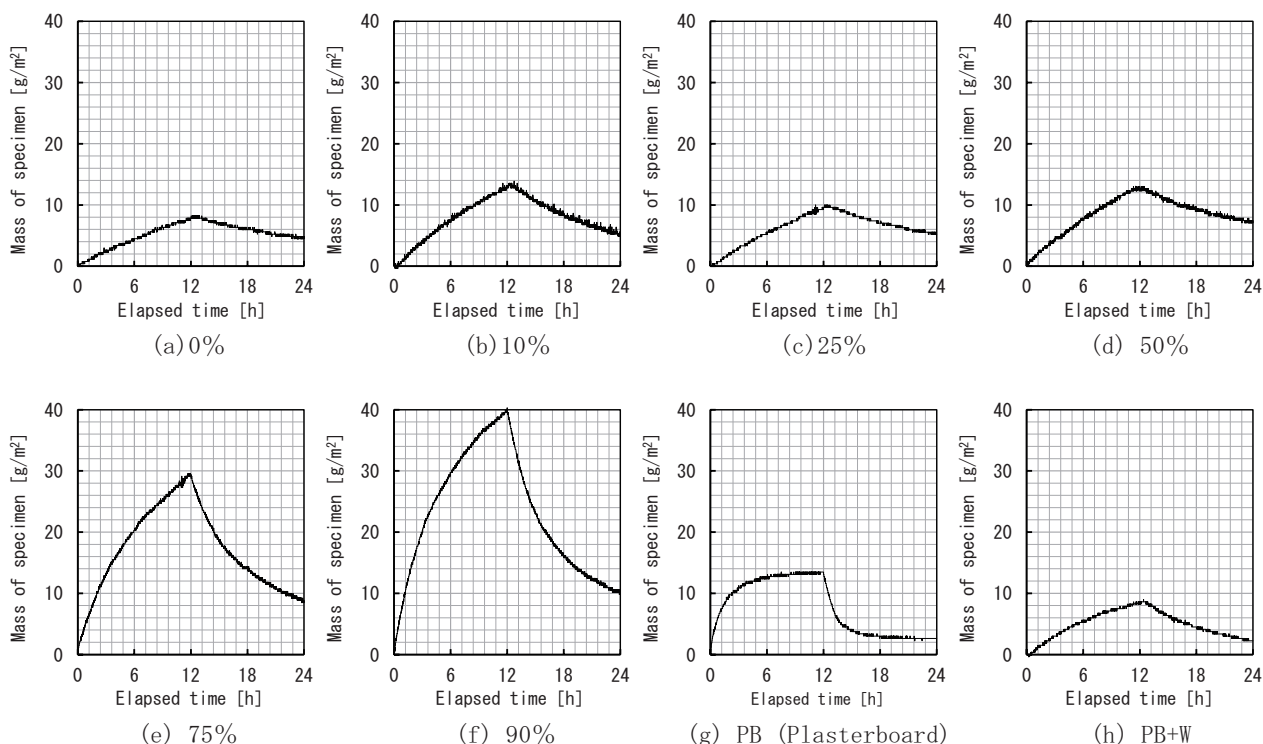


Fig.4 Water vapour absorption/desorption curve (excerpt)

Table Results of water vapour absorption/desorption

Specimen number	Absorption [g/m ²]	Desorption [g/m ²]	Content [g/m ²]
PC-0	7.84	3.36	4.48
PC-1	8.26	3.75	4.50
PC-5	9.98	4.81	5.17
PC-10	13.0	5.96	7.08
PC-25	13.5	8.65	4.89
PC-50	14.2	9.37	4.87
PC-75	29.5	21.0	8.48
PC-90	40.3	30.5	9.79
PC-95	38.1	32.1	5.97
PC-99	39.4	32.2	7.12
PC-100	37.9	32.7	5.20
PB	13.5	10.8	2.62
PB+W	8.62	6.37	2.25

ると無垢の石こうボードよりも吸放湿性は高まった。ポリエステル粉体塗料は疎水性であり吸放湿性に悪影響を与えるが、50%以上の置換により塗装膜にそのものに吸放湿性を付与することができ、置換率90%では3倍、一般的なビニルクロス仕上げと比較すると5倍の吸湿量および放湿量を示した。数値解析上、8畳の居室(3.6×3.6×2.4mと想定)の壁・天井に使用したとすると、12時間で2リットル近く吸湿できることになる。

Fig.5は火山砕屑物置換率と吸湿量・放湿量・蓄湿量の関係を示したものであるが、置換率90%を上限として火山砕屑物の置換率が高まるほど吸放湿性は高まることがわかった。ただし、置換率90%では火山砕屑物が

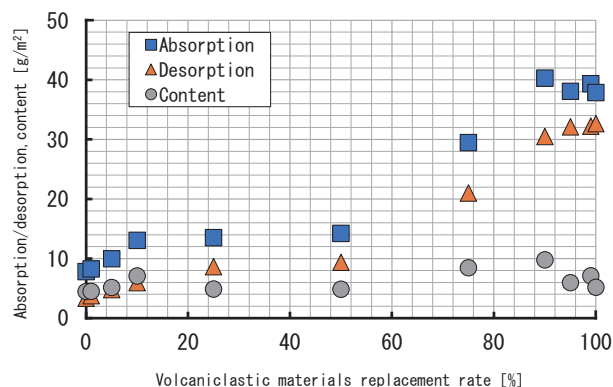


Fig.5 Relationship between volcaniclastic materials replacement rate and water vapour absorption/desorption content

十分に定着しておらず、内装建材として露出させて用いるためには構法的な工夫が必要であり、今後の検討課題としたい。

5. 結 論

本報では、粉体静電塗装に用いる火山砕屑物の選定、試験施工および調湿性能としての吸放湿性について検討した。その結果、以下の知見を得た。

火山砕屑物は採取の地域による粒度分布や平均粒径の関係を確認した。

粉体塗料に火山砕屑物を置換した環境配慮型のハイブリッド粉体塗料を考案し、90%を限度に置換率を高められることがわかった。

石こうボードに火山碎屑物を静電粉体塗装した内装模擬試験片は、火山碎屑物置換率が高まるほど吸放湿性能が高まり、一般的なビニルクロス仕上げと比較して5倍以上の性能を発揮した。

本工法の実用化にあたり耐摩耗性や耐衝撃性などの供用中の損傷や耐久性についての評価が課題となる。火山碎屑物の置換率との関係について引き続き検討する。

謝 辞

本研究は、高橋産業経済研究財団研究助成事業（令和2年度）からの助成を受けて実施した。ここに厚くお礼申しあげる。

参考文献

- 1) 北米パウダーコーティング協会：パウダーコーティングハンドブック，第1版第1刷，オーム社，2000.11
- 2) 位田達哉：火山碎屑物を素材とする静電塗工技術を用いた超高性能調湿建材の開発（第1報 調湿素材の調製およびマグネットペイントを応用した粉体静電塗工の試み），国士舘大学理工学部紀要，13，pp.27-31，2020.3