

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

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 volcanoclastic 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. This paper investigated enhancing the pore structure of volcanic ash, applying electrostatic powder coating to interior finishing and use of volcanic ash as powder electrostatic coating. The summaries of the results are as follows;

1. Volcanic ash can be expected to become porous by acid decomposition. There is a possibility that the pore structure can be controlled by the method of acid decomposition.
2. Non-conducting building materials can be electrostatically coated with magnetic paints, indicating the applicability to building rooms.
3. By mixing volcanic ash and powder paint, electrostatic powder coating that can be expected to have a humidity control function becomes possible.

Key words: Volcanic ash , Acid decomposition, Electrostatic coating, Magnetic paints, Humidity control

1. 緒 論

近年、桜島、浅間山や口永良部島をはじめ、日本各地で火山活動が活発化している。日常的に火山灰と呼ばれている火山砕屑物（噴火に伴う降灰物）は廃棄物として扱われ、埋立て処分をされている。特に、桜島は日常的に噴火を伴う火山活動を続けているのが特徴であり、2008年までは年間40万t程度であった降灰量であったが、この年を境に降灰量が急増し、2014年には年間330万tにまで急増している。これらの火山砕屑物は、埋め立て処分をされているのが現状であり、世界有数の火山国である我が国において、未利用天然資源である火山砕屑物（いわゆる火山灰）を再資源化できる新技術の確立

は急務である。また、我が国は高温多湿・低温乾燥の気候地域であり、室内環境においては空調機器に依存する状況となって久しく、冷暖房高効率のための高气密化に伴う結露やカビの発生などの不具合は後を絶たない。地球規模での省エネルギー推進の気運が高まるなか、高断熱・高气密の追求によって健康障害が顕在化している。そこで、機械制御に依らないパッシブな調湿機能を有する建材を用いた建築の構法システムを導入することによって、自然に近い環境で室内空気質を向上できるものと考えられる。火山砕屑物は、非常に細かい微粒子の中に無数の穴が開いた多孔質になっている。これによって優れた調湿機能を発揮することができ、快適な空間作りに寄与するものと期待が高まっている。火山砕屑物の主体は岩片であることから金属元素が含有されていることが知られているが、この金属元素を選択的に処理すること

* 理工学部, 専任講師

ができれば、調湿機能を最大限発揮できる細孔径分布に調製できると考えた。すなわち、既存の調湿建材以上の性能を発揮できる調湿素材の実現が可能となる。

建築工事における内装の仕上げ塗装は、刷毛やローラーなどを用いる押しつけ塗装が一般的である。既製品や取付け型の金物の場合にはディッピングなどの浸漬塗装がなされることがあるが、壁面や天井面を構成する内装下地として広く普及している石こうボードや木枠などは依然として塗工による手作業が主流であり、その仕上がりは塗工の技能によって左右される。一方、仕上がりの美しい霧化形塗装は被塗物の大きさや形状をあまり選ばず、刷毛目などが発生しないため美しい仕上がりとなるが、塗料が飛散しロスも多く、また汚損防止のために周辺の養生なしでは作業することができない。現地現物の製造が特徴となる建築物のなかでも特に複雑に区分され汚損が許されない建築室内においては不適な塗装であるとされている。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料が付着せず、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、石こう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。

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。本報では、薬品処理によって調製した火山砕屑物の細孔構造の変化を調査するとともに、ポーラス形状の制御可能な静電技術に着目し、静電粉体塗装というマイクロ・ナノオーダーの技術を応用した建材開発を試みる。

2. 火山砕屑物を用いた調湿素材の調製に関する実験

2.1 実験の目的

化学分析法や機器分析法で用いられる酸分解法に着目し、火山砕屑物に含まれる金属元素を溶出させることによる多孔質化を目的とする。火山砕屑物構成元素の同定および定量することにより溶出可能な金属元素について検討するためのバックデータの取得し、酸分解方法の違いが火山砕屑物の比表面積および細孔径分布に及ぼす影響について明らかにする。

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、2014年8月の噴火直後、鹿児島県の桜島から降灰したものをを用いた (Fig.1)。これを実験室に持ち帰り、水分が蒸発するまで大気中に静置したのち、2mmふるいを通過するものを $110 \pm 5^\circ\text{C}$ の恒温炉乾燥で恒量としたものを試料とした (Fig.2)。これを、濃塩酸 (conc.HCl : 36%)、希硫酸 (dil.H₂SO₄ : 10%)、熱濃硫酸 (heat.conc.H₂SO₄ : 98%) およびりん酸 (conc.H₃PO₄ : 85%) の4種の酸に浸漬させ、50gの火山灰にそれぞれの酸溶液を100ml投入した。一部の試料については、設定温度300°Cの電気炉で4時間熱処理を施した。実験概要はTable1に示すとおりである。

2.2.2 測定項目および方法

形態観察および構成元素の同定のため、電界放出型走査電子顕微鏡 (EDS)、元素組成の定量分析のため電子線マイクロアナライザ (EPMA) をそれぞれ用いた。また、酸分解試料のBET比表面積および細孔径分布を測定するため、高性能・多検体・全自動ガス吸着量測定装置 (細孔測定範囲 : $0.35 < D < 500\text{nm}$) を用いた。3時間真空排気後、液体窒素温度における窒素吸脱着等温線 (5点) からBET比表面積、液体窒素温度における窒素吸脱着等温線 (45点) からマイクロポアおよびメソポアの細孔容積をBJH法により求めた。

2.3 測定の結果および考察

2.3.1 構成元素の同定

EDSによる測定の結果、Si, C, Al, Fe, Ca, Na, Mg, Cuといった金属元素に加えてOを検出したことから、これらの金属は酸化物として存在していると考えられる (Fig.3)。元素マッピングでは、細孔が集中しているところにFeが見受けられた。この理由は不明である



Fig.1 Collected volcanic ash Fig.2 Sifting with 2mm sieve

Table1 Conditions for acid decomposition

Solution	Solute	Conc. [%]	Heating temp. [°C]
conc. HCl	HCl	36	—
dil. H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	10	—
heat. conc. H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	98	300
conc. H ₃ PO ₄	H ₃ PO ₄	85	300
blank	—	—	—

が、火山碎屑物内部に高濃度のFeが集中して配置されており、このFeを選択的に除去することで細孔構造を向上させる可能性が示唆される。

EPMAによる構成元素の定量分析の結果（ZAF補正）を整理したものがTable2である。質量濃度の過半はSiで構成されており、Al, Ca, Feも多く含有されている。この中では、K, Ca, Na, Mg, Al, Feはイオン化傾向も高く、塩酸や硫酸と反応して水素↑を発生することから、酸と反応させることで、火山灰に含まれる金属を除去し、比表面積や微細孔の増加が期待できると考えられる。なお、微量に含まれるPbは塩酸や硫酸には反応

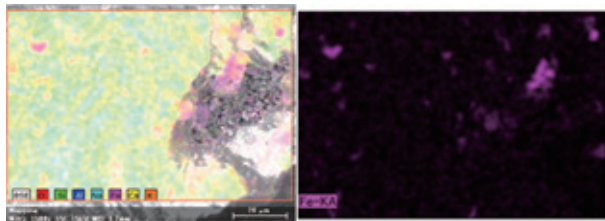


Fig.3 Elemental mapping [Left: all elements, Right: pick up Fe]

Table2 Quantitative analysis results of constituent elements

Elements	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe
Mass fraction [wt%]	3.0	6.4	14.4	53.2	1.3	11.4	0.7	9.6

しないが、Cuは硝酸や熱濃硫酸と反応することから、適切な酸処理によって金属元素を除去できる可能性が示唆される。

2.3.2 細孔構造に及ぼす酸分解の影響

吸着等温線をFig.4に示す。ブランクと比較して、全体的に細孔容量の増加が認められた。特に希硫酸においてはその増加が顕著であった。IUPAC分類²³⁾の吸脱着等温線パターンは、全体的にII型であると判断できるが、濃塩酸、希硫酸、りん酸処理の場合にはヒステリシス（IV型）が認められ、メソ孔（2nm<孔径<50nm）をもつ固体表面への吸着が示唆される。すなわち、酸処理によってII型からIV型へ移行することがわかった。また、Table3のように、BET比表面積も酸処理によって増加することがわかった。

各試料の細孔径分布をFig.5、積算した全細孔容量をTable4に示す。ブランクと比較すると、希硫酸、熱濃硫酸およびりん酸において細孔容量の増加が認められた。一方、塩酸においては顕著な細孔容量の増加は認められなかった。本研究の趣旨である調湿性能について検討するため、吸放湿容量を支配するとされている細孔径10nm以下および30nm以上の細孔容量を整理したものがTable5である。火山灰の細孔容積と比較すると、細孔径10nm以下の細孔容積は、すべて増加しており、特

Table3 BET specific surface area

Symbol	BET specific surface area [m ² /g]	
	Multipoint	Single point
conc. HCl	3.320	3.53
dil. H ₂ SO ₄	7.020	6.95
heat. conc. H ₂ SO ₄	5.499	2.90
conc. H ₃ PO ₄	2.959	2.16
blank	2.049	1.09

Table4 Total pore volume

Symbol	Pore volume [×10 ⁻² cc/g]	
	Adsorption	Desorption
conc. HCl	6.5	4.6
dil. H ₂ SO ₄	12.6	11.2
heat. conc. H ₂ SO ₄	10.4	10.7
conc. H ₃ PO ₄	8.2	8.7
blank	6.8	6.6

Table5 Pore volume (≤10nm, ≥30nm)

Symbol	Pore volume [×10 ⁻³ cc/g]	
	≤10nm	≥30nm
conc. HCl	0.56	1.9
dil. H ₂ SO ₄	1.3	3.1
heat. conc. H ₂ SO ₄	0.58	4.1
conc. H ₃ PO ₄	0.50	1.5
blank	0.12	1.4

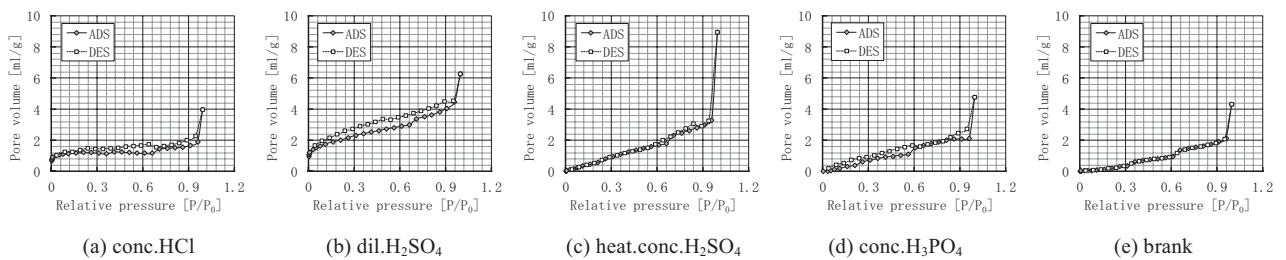


Fig.4 Adsorption isotherm

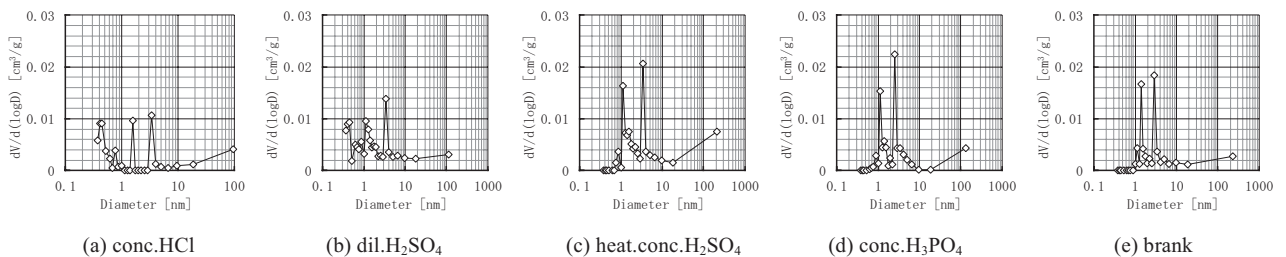


Fig.5 Pore size distribution

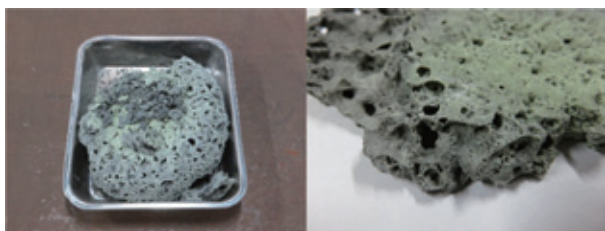


Fig.6 Heated foam by phosphoric acid treatment

に希塩酸による増加が顕著であった。また、細孔径30nm以上の細孔容積については、希硫酸および熱濃硫酸で顕著であり、硫酸系の酸処理によって、調湿性能の向上が期待できることがわかった。

りん酸処理をした火山砕屑物については、Fig.6のように発泡現象が生じ、細孔構造に明らかな変化を確認することができた。この発泡条件を制御することによって、細孔構造の管理が可能であるものと考えられる。この発泡条件と細孔径分布との関係については、継続して検討する予定である。

3. マグネットペイントを施した内装建材への静電粉体塗装の適用に関する実験

3.1 実験の目的

静電粉体塗装の内装建材への適用を試みるため、代表的な内装建材（電導性、非電導性）への適用可能性を実験により確認する。

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を使用した。

塗装対象とした内装建材は、電導性のものとして鋼板およびアルミ板、非電導性のものとして木材およびコンクリートとし、試験片寸法は200×100mmとした。静電粉体塗装は被塗物に電気が流れることが前提のため、伝導性を有する鋼板は適用可能である。ただし、一般に木材やコンクリートは電導性をほぼ有していないとされる材料であり、静電粉体塗装の適用はできない可能性がある。そこで、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であるマグネットペイント（以下、MPと略記する。）を表面に塗布し、通電性を付与できるかを検証する計画とした。加えて、比較対象としてマグネットペイントを塗布しない木材にも静電粉体塗装を試みた。マグネットペイントは、合成樹脂塗料、プライマー塗料、水性アクリルエマルジョン塗料の3種類を用いた。

静電粉体塗装機として、CENTRAL MACHINERY社のPOWDER OATING SYSTEM (Model 94244)を用いた。

3.3 実験の方法

マグネットペイントを施す試験片は、塗り厚と塗料の付きやすさを評価するため、それぞれの種類について1層～5層塗装した。

静電塗装は、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を吹き付けた。吹付け後、180℃に保持した乾燥炉を用いて20分間焼き付けを行い、室温まで自然冷却した。

3.4 実験の結果

3.4.1 電導性の試験片に対する粉体静電塗装

鋼板には当然のことながら静電粉体塗装を施すことができ、焼き付け後に光沢のある仕上がりとなった。(Fig.7)

3.4.2 非電導性の試験片に対する粉体静電塗装

木材は、多少の静電気で粉体塗料は付着したが、焼き付け後は塗料が溶解して木材に浸透し、静電粉体塗装を施すことはできなかったと判断できる。しかしながら、MPの種類や塗り厚によらず、これらを塗布した試験片は3種類とも静電粉体塗装を施すことができた (Fig.8)。すなわち、マグネットペイントの塗布により、非誘電体の建材であっても粉体静電塗装が適用できることがわかった。

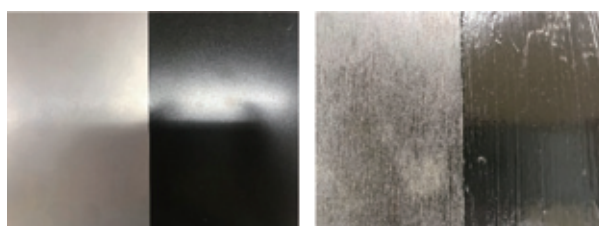


Fig.7 Steel plate before and after painted

Fig.8 Difference between solid and MP painted

4. 静電粉体塗料としての火山砕屑物の利用に関する実験

4.1 実験の目的

調湿性能を有する塗装技術の開発を意図し、静電粉体塗装の塗料に火山砕屑物を混入した静電粉体塗装の実現可能性を調査した。

4.2 使用材料

火山砕屑物は、2章で用いたものと同ロットのものを用いた。

粉体塗料は、前章で使用したポリエステル樹脂系粉体塗料のほか、D社製の熱硬化型エポキシ樹脂系粉体塗料、熱硬化型ポリエステルウレタン樹脂系粉体塗料および熱硬化型エポキシ/ポリエステル樹脂系粉体塗料（ハイブリッド）の4種類の塗料を使用した。下地には、鋼板（200×200mm）を用いた。

4.3 実験の方法

静電粉体塗装に火山砕屑物を使用するため、下記2種類の方法で実験を行った。

(1) 火山砕屑物を混合したマグネットペイントを下地へ塗布した後の静電粉体塗装をした場合

試験片に予め火山砕屑物とマグネットペイントを混合したものを塗布し、その上に静電粉体塗装をした。火山砕屑物とマグネットペイントの比率は、塗布限界まで火山砕屑物を混入したもの、塗布限界量の半分の火山砕屑物を混入したもの、マグネットペイントと同体積を混入したものの3水準とした。

(2) 火山砕屑物と粉体塗料の混合粉体を静電粉体塗装した場合

粉体塗料と火山砕屑物を混合した粉体を塗料とし、これを静電粉体塗装機で吹き付けた。粉体体積に対して、1, 3, 5, 15および30倍の火山砕屑物を混入したものの5水準とした。

それぞれ吹付けした試験片は、電気式乾燥炉を用いて180℃で20分間焼き付けを行い、その後20℃まで自然放冷した。

4.4 実験の結果および考察

4.4.1 火山砕屑物を混合したマグネットペイントを下地へ塗布した後の静電粉体塗装をした場合

火山砕屑物の混入率が高まるにつれてマグネットペイントが塗り付けにくくなり、表面の凹凸が増加した。いずれの試験片でも静電粉体塗装を施す事ができたが、火

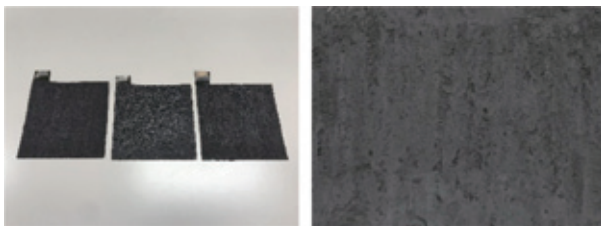


Fig.9 Painted on volcanic ash and MP



Fig.10 Painted with volcanic ash and powder paint
From the top left, the volcanic ash contamination rate is 1x, 3x, 5x, 15x, and 30x. The lower right is a blank sample.

山砕屑物を覆う形で塗装をすることになるため、粉体塗料そのものに透気性がなければ、火山砕屑物の調湿効果を阻害してしまう可能性があるため、今回の研究の趣旨から外れるものと考えられる。

4.4.2 火山砕屑物と粉体塗料の混合粉体を静電粉体塗装した場合

火山砕屑物の混入率に関わらず、ワーカビリティに変化はなく、静電粉体塗装を施すことができた (Fig.10)。ただし、火山砕屑物のみを静電塗装では、付着はするものの焼き付け温度が不足し塗装にまでは至らなかった。1/30という少量でも樹脂粉体があればバインダーとして働くため、火山砕屑物を定着させる工法として有効であるものと考えられる。

5. 結論

本報では、火山砕屑物の多孔質化の検討、内装建材への粉体静電塗装の適用可能性を明らかにするとともに、火山灰を含む静電粉体塗装を施した試験片の調湿効果について検討した。その結果、以下の知見を得た。

- 1) 火山砕屑物は簡易な酸分解によって多孔質化が期待でき、酸の種類や加熱の方法などによって細孔構造を制御できる可能性があることがわかった。
- 2) 非電導性の建材であっても磁性塗料によって静電塗装ができ、建築室内への適用可能性を示した。
- 3) 火山砕屑物と粉体塗料を混合させることで、調湿機能を期待できる静電粉体塗装が可能であることがわかった。

次報では、細孔構造を調整した火山砕屑物を用いた調湿素材を用い、粉体静電塗装で作製した試験片の調湿性能について報告する。

謝辞

本研究は、住友財団環境研究助成 (助成番号173208) および高橋産業経済研究財団からの助成を受けている。また、粉体塗料の一部は、大日本塗料株式会社からの提供を受けた。ここに厚くお礼申しあげる。さらに、実験の実施にあたっては、東海大学の植谷和義教授、当時国士舘大学学部生の加藤優および佐飛敬亮の両君の協力を得た。記して謝意を表する。

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) 近藤精一、石川達雄、阿部郁夫：吸着の科学 第2版、丸善、2003.10
- 3) 小野嘉夫、鈴木勲：吸着の科学と応用、講談社サイエンスフィク、2003.11