

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：37702

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18162

研究課題名(和文) 調湿機能を向上させた火山灰材料の開発と吹付け建材への応用

研究課題名(英文) Development of Volcanic Ash with Humidity Control Function and its Application to Spraying Building Materials

研究代表者

位田 達哉 (INDEN, Tatsuya)

第一工業大学・工学部・講師

研究者番号：40434279

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：火山灰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、火山灰の調湿性能を向上させるとともに、その内装仕上建材の性能を発揮できる吹付け建材について検討した。

その結果、本研究の提案する火山灰の湿式吹付け施工においては、水結合材比1～4の範囲で、水：火山灰=1:4(体積比)かつJASS15M-103フロー70～90mmを満たす調合が最適であることがわかった。また、これらの湿式吹付け建材が調湿性能評価基準を満足することを確かめた。さらに、火山灰の酸分解および加熱発泡処理によりポラス化が促進され、調湿性能の向上が期待できることがわかった。

研究成果の概要(英文)：In order to achieve value creation as a resource of volcanic ash, energy saving and improvement of comfort of living environment, Wet blast building materials as interior finish building materials were examined.

As a result, it was found that formulation satisfying water: volcanic ash = 1: 4 (volume ratio) and 70 to 90 mm (JASS 15 M-103 flow) is optimum. Moreover, it was confirmed that the test piece satisfied the humidity conditioning performance evaluation standard. In addition, it was found that the acid decomposition and the heat foaming treatment of the volcanic ash promoted the porosification, and improvement of the humidity conditioning performance could be expected.

研究分野：建築材料、建築施工、改修設計・改修工事

キーワード：仕上材料 火山灰 調湿 吸放湿性 平衡含水率 酸分解 加熱発泡 廃棄物利用

1. 研究開始当初の背景

近年、桜島の降灰量が急増しており、大量の火山灰を再資源化できる新技術・新工法の確立が求められている。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つて久しい。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シックハウス症候群をはじめとする健康障害の顕在化などの問題が生じている。居住者だけでなく地球環境の観点からも、環境負荷を抑えつつ室内空気質の向上を図ることが急務である。

2. 研究の目的

本研究は、火山灰の調湿性能を向上させた吸着建材の実用化を目的とし、低負荷で快適な室内空間を達成する内装建材の開発とその利用方法を提案するものである。

廃棄物として扱われている火山灰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、火山灰の調湿性能を向上させるとともに、その内装仕上建材の性能を発揮できる工法として吹付け建材としての適用可能性を実験的に検討した。また、火山灰の高性能調湿素材としての活用について検討した。

3. 研究の方法

3.1 吹付け材としての適用に関する実験

3.1.1 使用材料・調合および混練

A. 使用材料

火山灰は、2014年10月に桜島から噴出した降灰物を桜島南東部より採取し、 $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ で炉乾燥したのち2mmふるいを通すものを用いた(図1)。JIS A 1109:2007に準じた絶乾密度および吸水率は、それぞれ $2.34\text{g}/\text{cm}^3$ および2.59%であった。また、結合材として、壁紙施工用でん粉系接着剤(D社製F☆☆☆☆)を用いた。



図1 火山灰試料

B. 調合および混練

マトリクスの水結合材比は、体積比で0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8および10の9水準とし、それぞれの水結合材比に対して、吹付け可能と考えられる範囲で結合材:火山灰比を変化

させる計画とした。調合の記号は、結合材1に対する体積比で表し、水、結合材、火山灰の順でそれぞれの体積比を記す。

混練には容量2ℓモルタルミキサー(JIS R 5201 準拠)を用いた。予め水と結合材を均一に練り混ぜて十分に馴染んだことを確認してから火山灰を投入し、高速で5分間練り混ぜた。1回の混練量は1ℓとした。

3.1.2 評価項目および試験方法

A. 流動性の評価

フレッシュ時の基本的な物性として、JIS R 5201:2015「セメントの物理試験方法」(以下、JIS フローと略記)およびJASS 15 M-103:2007「セルフレベリング材の品質規格」(以下、塩ビフローと略記)に準拠したフローをそれぞれ測定した。特に、塩ビフローについては、内径 $\phi 50\text{mm}$ 、高さ51mmの塩化ビニル製パイプを用い、パイプの引抜き直後にフロー値を測定した。

B. 施工性の評価

施工性を評価するための吹付け実験として、チップ口径 $\phi 6.0\text{mm}$ の重力式モルタルリシガンおよび静音型コンプレッサーを用いて単板(210mm \times 297mm)に吹付け、吹付けの作業難度、吹付け時の垂れの有無、材料分離の有無、仕上がりの表面性状(平滑か凹凸があるか)を評価した。施工条件は、圧縮空気圧力0.6MPa、ガン先から単板までの吹付け距離は1,000mmとし、吹付けにあたっては、JASS23:2006「吹付け工事」に準拠した。

3.2 吹付け材の調湿効果に関する実験

3.2.1 試験片の作製

前項の結果から、成形可能な範囲で火山灰を多く含む調合を選定し、試験片を作成した。使用材料、混練および吹付け方法については前項と同様とした。実験の水準は、調合のほか重ね吹きの回数とし、単層から5層までの5水準を作製した。前層を吹付けした後、24時間養生して硬化を確認したうえで同様の手順で次層を吹付けた。試験片の養生環境は、温度 $23\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ とした。試験片の記号は、水-結合材-火山灰の体積比に加え、重ね吹き回数を括弧書きで記す。

それぞれの試験片の表面形状について、全焦点三次元表面計測定機(A社製 Infinite Focus G5)を用い、焦点移動法に基づく光学式非接触三次元測定によって平均的な仕上がり面を測定した。測定条件は、水平方向の取込間隔を $1.76\mu\text{m}$ とし、15mm \times 15mmの範囲をスキヤニングした。解析項目は、プロファイル形式解析、粗さ解析および三次元モデリング解析とし、それぞれの試験片における凹部底面を基準とした厚さ方向の寸法および表面積のほか、モデリング画像を取得した。

3.2.2 評価項目および試験方法

A. 吸放湿性の評価

吸湿量、放湿量および蓄湿量をJIS A 1470-1:2014「建築材料の吸放湿性試験方法-第1部:湿度応答法」に準じ、湿度応答法によって測定した。ただし、湿度条件は、中

湿域 (75~50%RH) および高湿域 (95~70% RH) とし、それぞれ吸湿および放湿の1サイクルを測定した。

なお、試験片は、実施する試験条件に合った相対湿度 (中湿域 : 50%RH, 高湿域 : 70% RH) において恒量となるまで養生した後を使用した。

B. 平衡含水率の評価

平衡含水率を、JIS A 1475 : 2004「建築材料の平衡含水率測定方法」に準じ、チャンバー法によって測定した。温湿度は、恒温恒湿槽 (E社製 SH-240) によって機械制御し、相対湿度は、33, 53, 75, 85 および 93%RH の5水準のなかで、吸湿過程および放湿過程のそれぞれの湿度における試験片の質量を測定した。なお、各調合における試験片は3つとし、その平均値を測定値とした。

3.3 火山灰を用いた高性能調湿素材の検討

A. 高性能調湿素材としての狙い

火山灰の構成元素を EPMA によって定量分析したところ、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とを確認した。この元素の中では、K, Ca, Na, Mg, Al, Fe はイオン化傾向も高く、塩酸や希硫酸と反応して $H_2 \uparrow$ 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た。また、微量に含まれる Pb は、塩酸や希硫酸には反応しないが、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。そこで、化学分析法や機器分析法で用いられる酸分解法を用いてこれらの手段が火山灰の比表面積や細孔径分布に及ぼす影響について調査した。

B. 酸分解試料の作製

酸として、濃塩酸 (36%)、希硫酸 (10%)、熱濃硫酸 (98%) およびりん酸 (85%) の4種を用い、50g の火山灰にそれぞれの試薬 100ml を投入して処理した。特に、熱濃硫酸およびりん酸を投入した試料については、SUS304 製の密閉容器へ投入し、300℃に設定した電気炉内で4時間の加熱をおこなった。

C. 比表面積および細孔径分布の測定方法

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 (Q社製 AUTOSORB-1-MP) を用いた。試料は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、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。

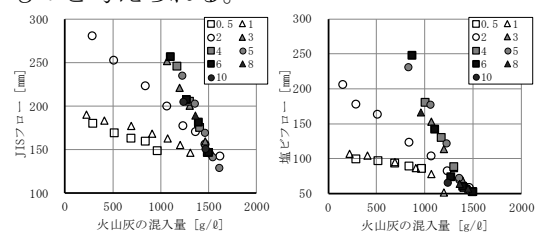
4. 研究成果

4.1 吹付け材としての適用に関する実験

A. 流動性の評価

火山灰の混入量と JIS フローおよび塩ビフローの関係を図2に示す。全ての調合において、いずれのフローも火山灰を加えるほど低下した。JIS フローと塩ビフローは概ね相関

関係にあり、簡易的に測定できる塩ビフローで代用できることを確認した。JIS フローはフローテーブルに収まらない調合もあったため、本実験においては、より多くのデータが収集できる塩ビフロー試験は有効であるものと考えられる。



a. JIS フロー b. 塩ビフロー
図2 火山灰の混入量とフローとの関係

B. 施工性の評価

施工性の評価結果を表1に示す。

表1 施工性の評価結果

調合	吹付けの作業難度 ⁽¹⁾	吹付け時垂れの有無 ⁽²⁾	材料分離の有無 ⁽³⁾	仕上がり表面性状 ⁽⁴⁾
0.5-1-0.5	2			1
0.5-1-1	2			1
0.5-1-1.5	2			1
0.5-1-2	2			1
0.5-1-2.5	1			1
1-1-0.5	5		※	1
1-1-1	5			1
1-1-2	5			1
1-1-3	5			1
1-1-4	3			1
1-1-5	2		※	1
1-1-6	2		※	1
2-1-0.5	5	※		2
2-1-1	5	※		2
2-1-2	5			2
2-1-4	5			2
2-1-6	3			2
2-1-8	3			2
2-1-10	2	※		2
2-1-12	2	※		2
2-1-16	1	※		2
3-1-8	5			2
3-1-10	5			2
3-1-12	3	※		2
3-1-14	2	※		2
3-1-16	2	※		2
3-1-18	1	※		2
4-1-9	5	※	※	1
4-1-12	5	※		1
4-1-15	3	※		1
4-1-18	2	※		1
4-1-21	2	※	※	1
5-1-8	5	※		1
5-1-12	5	※	※	1
5-1-16	5	※	※	1
5-1-20	3	※	※	1
5-1-24	2	※	※	1
5-1-28	2	※	※	1
5-1-32	1	※	※	1
6-1-10	5	※	※	1
6-1-15	5	※		1
6-1-20	4	※		1
6-1-25	3	※	※	1
6-1-30	2	※	※	1
8-1-15	5	※	※	1
8-1-30	3	※	※	1
8-1-35	2	※	※	1
10-1-30	3	※	※	1
10-1-45	2	※	※	1

【注】1) 5: スムーズに吹付け可能、4: 吹付け可能、3: ガンを振ることで吹付け可能、2: 吹付け困難、1: 吹付け不能
2) ※: 吹付け後に試料の垂れがあったもの
3) ※: 吹付け後に試料の材料分離があったもの
4) 3: 全面的に5mm以上の凹凸があるもの、2: 全面的に1~3mm程度の凹凸があるもの、1: 全的に平滑

水結合材比に関わらず、施工性を確保できる範囲で最も火山灰の体積比率が高い調合は、水1に対して火山灰4の割合の関係にあることがわかった。火山灰をより多く含ませることが調湿機能の向上に寄与するならば、この条件が適度な調合比であると考えられる。ただし、水結合材比0.5の調合は粘性が高く、今回の実験条件では吹付けることが困難であった。また、水結合材比が4を超えると結合材が薄くなり、形状は保っているものの十分な付着の確保ができず、耐摩耗性や耐ひっかき性などの耐久性に問題が生じるものと考えられる。さらに、垂れや材料分離もみられることから、水結合材比は1~4の範囲が適切であると判断できる。

以上を整理すると、塩ビフロー70mm~90mm (JIS フロー180mm~200mm) を満たし、水結合材比1~4、水：火山灰=1：4が適度な調合比であることがわかった。

4.2 吹付け材の調湿効果に関する実験

A. 吸放湿性の評価

今回の実験では、調合ごとに一度に吹付けられる厚みが異なるため、単純に比較はできないが、例えば図3のように、水結合材比が低い調合ほど吸湿および放湿量は増大する傾向がみられた。これは、水結合材比の低い調合ほど吹付け時における試料の粘度が高く、図4のように仕上がり面の凹凸が顕著に現れたことで表面積が増加し、吸湿および放湿の効果が高まったものと考えられる。

図5は、重ね吹きの影響を調べるために調合ごとに吸湿量および放湿量の測定結果を比較したものである。すべての調合において、重ね吹きの層数が増すほど、吸湿量、放湿量および蓄湿量は増大した。特に、水結合材比の低い場合にその影響が顕著であったが、これは、吹き重ねるほど厚みが増したことに由来するものと考えられる。

図3および図5より、ヒステリシスループを描く傾向が見られるものの、重ね吹きの層数の少なく、厚みの薄い試験片ほど早期に吸湿が飽和する傾向が読み取れる。そこで、試験片の厚みと吸湿および放湿量との関係を図6に示す。試験片の厚みと吸湿および放湿量には相関関係がみられ、試験片の厚みはこれらの性能に大きく影響を及ぼすことを確認した。

調湿性能評価基準による判定基準によれば、5層吹付けを施した1-1-4(5)は、中湿域において等級1(例えば、12時間後で吸湿量29g/m²以上)を満足し、調湿建材としての性能を有していることがわかった。火山灰自体の多孔質構造を発達させることによって、さらなる調湿機能の向上が示唆される。

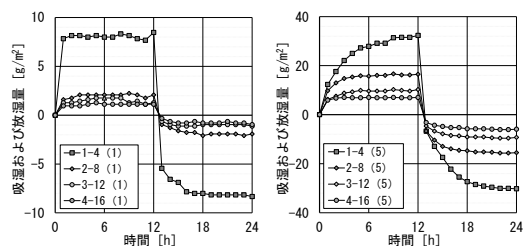
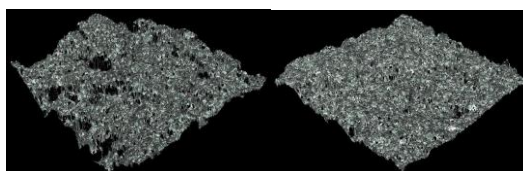
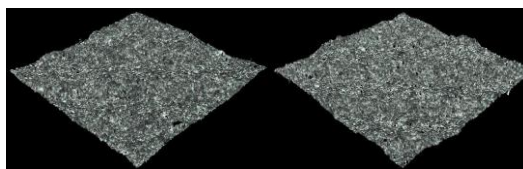


図3 水結合材比が吸放湿性に及ぼす影響

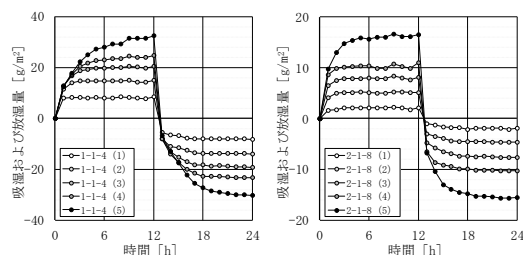


a. 1-1-4 (3) b. 2-1-8 (3)

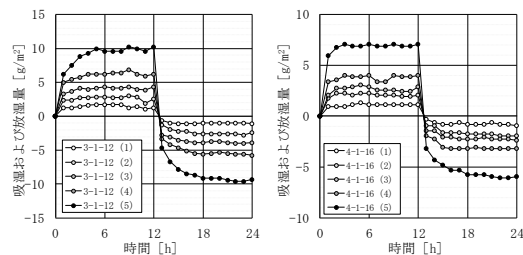


c. 3-1-12 (3) d. 4-1-16 (3)

図4 試験片の表面性状



a. 1-1-4 b. 2-1-8



c. 3-1-12 d. 4-1-16

図5 吹き重ね回数が吸放湿性に及ぼす影響

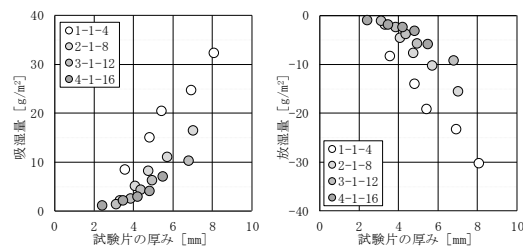


図6 試験片の厚みと吸湿・放湿量との関係

B. 平衡含水率の評価

図7は各試験片の平衡含水率曲線の一例を示したものである。水結合材比が平衡含水率に及ぼす影響は、水結合材比の増大とともに同湿度条件における平衡含水率は低下する傾向にあった。その一方で、重ね吹きの層数と平衡含水率に優位な相関は認められなかった。これは、平衡含水率の指標が単位質量または単位体積あたりの吸放湿量であることによるものと考えられる。軽微な差ではあるが、重ね吹き層数が3層を超えたあたりから平衡質量含水率は低下する傾向にあったが、これは、吹付けの回数を増やすことによって試験片表面の凹凸具合が緩慢となって表面が均質化し、吸湿や放湿の性能に直接関与する表面積が低下したものと示唆される。これは、概ね3層までの吹付けが凹凸を形成するピークであり、それ以上の吹き重ねによってゆず肌状になっていく全焦点三次元表面計測機の測定傾向とよく一致していた。

図8は吸湿過程の平衡含水率に及ぼす表面積の関係を示したものである。特に、相対湿度53%RHを抜粋したものを図9に示す。すべての調合で表面積の増大とともに平衡含水率は向上する傾向にあり、吹付けによって凹凸を形成することで調湿性能が向上することがわかった。

4.3 火山灰を用いた高性能調湿素材の検討

吸着等温線については、火山灰そのものの結果と比較して、硫酸系の酸分解では細孔容量が増加することがわかった。また、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。

BET比表面積においては、採取をしたままの火山灰と比較して、どの試料もBET比表面積は高い値を示し、比表面積の増加が認められる。比表面積の観点からは、酸処理による顕著な差は認められなかった。

全細孔容量は、希硫酸、熱濃硫酸およびりん酸において増加が認められた。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。また、細孔径を区分して評価すると、細孔径10nm以下の細孔容積は、すべての酸処理によって増加しており、特に希塩酸による増加が顕著であった。さらに、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、火山灰の調湿性能の向上が期待できることがわかった。

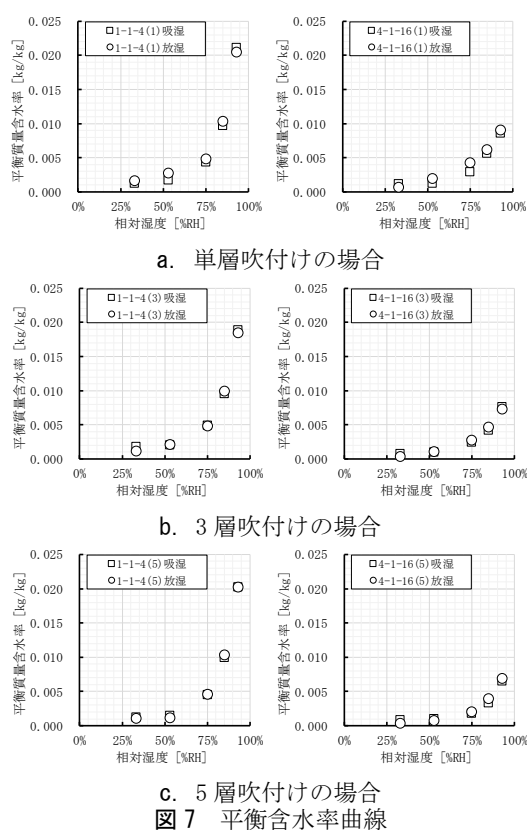


図7 平衡含水率曲線

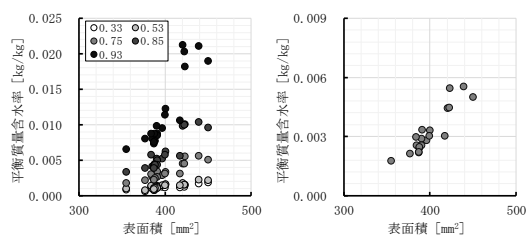


図8 平衡質量含水率と表面積との関係 (全ての相対湿度) 図9 平衡質量含水率と表面積との関係 (相対湿度53%RH)

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計2件)

- (1) 火山砕屑物を用いた調湿機能を有する吹付け建材の開発(第2報 湿式吹付け建材の三次元表面形状が平衡含水率に及ぼす影響), 位田達哉, 日本建築学会九州支部研究報告集, 56, pp.109-112, 2017.3
- (2) 火山砕屑物を用いた調湿機能を有する吹付け建材の開発(第1報 湿式吹付け建材としての適用および吸放湿性の評価), 位田達哉, 日本建築学会九州支部研究報告集, 55, pp.61-64, 2016.3

〔その他〕

ホームページ等

<http://indenlab.azurewebsites.net/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

位田達哉 (INDEN, Tatsuya)

第一工業大学・工学部建築デザイン学科・講師 研究者番号: 40434279