

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 24 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01596

研究課題名(和文) 歴史的組積造建物及び遺跡の塩類風化メカニズム解明と予防的保存対策の開発

研究課題名(英文) Elucidation of salt weathering mechanism of historical masonry building and ruins and development of preventive preservation measure against it

研究代表者

小椋 大輔 (Daisuke, Ogura)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：60283868

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、屋外文化財を対象に、塩類風化メカニズムを明らかにし予防的保存対策を提案することを目的として検討を行い、以下の主な結果を得た。1) 既存の熱水分塩同時移動方程式を、材料表面で電荷を有する場合を考慮した式に拡張した。2) 塩水を含んだ煉瓦の乾燥過程のX線CT撮影を行い、塩析出過程を明らかにした。3) 凝灰岩の塩溶液の飽和時透塩水係数を測定し、ある濃度以下では材料表面の電気二重層が影響を与えハーゲンポアズイユ式の適用が難しいことを明らかにした。4) ハギア・ソフィア大聖堂を対象に数値解析モデルを用いて、吹き降り雨等が壁体含水率に及ぼす影響と、保存対策となる外装材の物理特性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、屋外文化財を長期的に塩類風化進行から守るための理論と技術の開発であり、特に水分供給を絶つことが難しい屋外文化財では、非常に困難な技術と言われていたものである。塩類風化を抑制するメカニズムの解明に必須と考えられる熱水分塩移動理論の拡張、その物性値の測定、またそのメカニズムの定量的な評価方法の構築、また具体的な文化財を対象とした検討結果については、本研究で得られた知見は学術上、実際上は少なくないと考えられる。この成果を元に継続的に研究が行われることで、世界中の塩類風化の被害を受けている屋外文化財へ適応が考えられ、その利用価値は非常に高いと考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to clarify the mechanism of salt weathering and to propose preventive conservation measures for outdoor cultural properties, and the following main results were obtained: 1) The existing equation for the simultaneous transfer of heat, water and salt was extended to take into account the case of an electric charge on the surface of the material. 2) X-ray CT imaging of the drying process of bricks containing salt water was carried out to clarify the salt precipitation process. 3) The permeability at saturation of salt solutions in tuff was measured and it was found that below a certain concentration, the Hagen-Poiseuille equation is difficult to apply due to the influence of the electric double layer on the material surface. 4) A numerical analysis model of the Hagia Sofia Cathedral was used to investigate the effect of blowing rain, etc. on the moisture content of the walls and the physical properties of the exterior materials that can be used as conservation measures.

研究分野：建築環境工学、保存科学

キーワード：文化財 塩類風化 メカニズム 温湿度 歴史的煉瓦造建造物 磨崖仏

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

塩類風化は多孔質体内部に析出した塩が圧力を生じることにより多孔質体を破壊する現象であり、塩の種類、水や塩の供給移動、温湿度等の周囲の環境条件が大きく影響する。塩類風化を引き起こすメカニズムについては、材料中の塩水の移動、析出、力学的破壊について数値解析モデルがいくつか提案されており、例えば Derlyun により硫酸ナトリウムの移動、析出について妥当性が検証されている。ただし、水分供給を絶つことが難しく塩類風化が生じている屋外文化財が置かれている環境下における、個々の材料中の塩水の移動や、析出過程の挙動の予測は未だ十分に明らかになっていない。

塩類風化を引き起こす過程で、定量的に塩の種類、塩水の移動、塩の析出において材料の含塩水率や塩水分移動の物性値といった基礎物性値が不十分であり、その挙動についても不明な点が多い。個々の文化財の劣化メカニズムを考慮した保存対策を検討するためには、これらメカニズムの定量的把握を踏まえた予測技術を作成し、それを用いた保存対策の検討が求められている。対策としては、文化財の置かれている環境を制御することによる塩類風化の抑制を行うことと、一旦蓄積した塩を適切なタイミングで何らかの脱塩を実施することが必要である。これらの定量的な予測は未だ十分ではない。

### 2. 研究の目的

本研究は、水分供給を絶つことが難しく塩類風化が生じている屋外文化財を対象に、塩類風化メカニズムを明らかにし、それを抑制する方法論を構築し、予防的保存対策を開発することを目的としている。その目的の元で、主に以下に述べる研究を行った。

- 1) 電気二重層を有する多孔質材料中の熱水分塩同時移動の解析モデルの作成と粘土中における塩溶液の浸透現象の再現性の検討
- 2) 飽和透塩水係数の塩濃度の依存性に関する検討
- 3) マイクロフォーカス X 線 CT 撮影による塩の析出メカニズムの検討
- 4) 蛍光 X 線を用いた石材表面に蓄積する塩分量の測定手法の検討
- 5) 元町石仏の覆屋改修による塩類風化抑制に関する数値解析モデルを用いた検討
- 6) ハギアソフィア大聖堂の壁体の塩類風化に雨水浸透が及ぼす影響に関する数値解析モデルを用いた検討
- 7) 煉瓦を対象とした電氣的脱塩手法を用いた保存対策の基礎的な検討

### 3. 研究の方法

水分供給を絶つことが難しく塩類風化が生じている屋外文化財を対象に、塩類風化メカニズムを明らかにし、それを抑制する方法論を構築し、予防的保存対策を開発することを目的としている。屋外文化財の歴史的煉瓦造建造物や磨崖仏を対象として、その材料である煉瓦や凝灰岩を対象として検討を行った研究を手法別に分類して説明する。

#### 3.1 理論の構築

- 1) 電気二重層を有する多孔質材料中の熱水分塩同時移動の解析モデルの作成と粘土中における塩溶液の浸透現象の再現性の検討

既往の基礎理論を元に、十分考慮できていない電気二重層を有する塩水移動現象のモデル化を行った。また、過去に行われた実験結果に関して解析モデルを用いた結果との比較により妥当性の検討を行った。

#### 3.2 実験室実験による物理現象の把握

- 2) 飽和透塩水係数の塩濃度の依存性に関する検討

透水係数測定装置を使って、異なる塩濃度に応じて飽和透塩水係数の測定を行った。

- 3) マイクロフォーカス X 線 CT 撮影による塩の析出メカニズムの検討

SPring-8 BL20B2 を用いて、塩水を含ませる前と含ませた後の煉瓦の蒸発過程を X 線 CT 撮影を行い、両者の画像の差分をとることで空隙部を特定し、そこに存在する塩水、析出塩の同定する方法をとり、どの部位で塩析出が生じているのかを検討した。

#### 3.3 実験手法の開発

- 4) 蛍光 X 線を用いた石材表面に蓄積する塩分量の測定手法の検討

#### 3.4 屋外文化財の実態把握と数値解析モデルを用いた塩類風化メカニズムの解明と対策の検討

- 5) 元町石仏の覆屋改修による塩類風化抑制に関する数値解析モデルを用いた検討
- 6) ハギアソフィア大聖堂の壁体の塩類風化に雨水浸透が及ぼす影響に関する数値解析モデルを用いた検討

### 3.5 脱塩手法の実験的検討

#### 7) 煉瓦を対象とした電氣的脱塩手法を用いた保存対策の基礎的な検討

実験室実験により煉瓦の両端に湿布材を付加した電極を設置し、通電を行い、その後材料の分割粉碎し、粉碎したものを水に溶かしてイオンクロマトグラフィーにより残留している塩濃度を測定して脱塩量を評価した。また、同時に蛍光 X 線分析により材料断面の塩濃度分布の撮影を行い脱塩の程度を評価した。

## 4. 研究成果

本研究は、水分供給を絶つことが難しく塩類風化が生じている屋外文化財を対象に、塩類風化メカニズムを明らかにし、それを抑制する方法論を構築し、予防的保存対策を開発することを目的としている。屋外文化財の歴史的煉瓦造建造物や磨崖仏を対象として、その材料である煉瓦や凝灰岩を対象として主に以下を明らかにした。

### 1) 電荷を有する多孔質材料中の熱水分塩同時移動と浸透現象と粘土中における塩溶液の浸透現象の再現性の検討

粘土のような電荷を有する多孔質材料中における塩溶液の浸透現象を材料と塩溶液間の静電気力および塩濃度差を駆動力とした流れの連成問題として明らかにすることを目的とし、その基礎となる多孔質材料中における熱と水分および塩の同時移動方程式を、松本の熱水分同時移動方程式を塩を含んだ場合に拡張することで表した。また既往の電気二重層に関する知見を元に、電気二重層を拡散層とヘルムホルツ層に分離することで、静電気力による塩溶液の平均的な化学ポテンシャルおよびその移動に関する基礎方程式を表した。加えて Kedem et al. の溶液の浸透移動理論をもとに、塩濃度差を駆動力とした溶液移動の基礎方程式を表すとともに、溶液の浸透移動を引き起こす材料の半透膜性能の指標である反射係数を電気二重層構造に関する考察をもとにモデル化した。

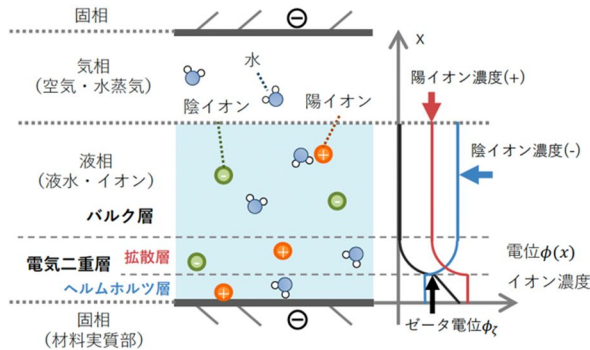


図 4-1 ある領域内の電位とイオン分布

静電気力に基づく浸透現象を考慮した多孔質材料中における熱水分塩同時移動理論による実現性の再現性を検証することを目的とした数値解析を行い、提案した熱水分塩同時移動理論は、既往の脱塩実験を十分再現できること、浸透現象は塩濃度差を駆動力としているため濾過膜モデルでは溶液の移動に伴い駆動力である塩濃度差が解消されるが、粘土膜の場合、静電気力の影響により濾過膜に比べ膜内の塩濃度差が解消されづらく、浸透による駆動力が長時間にわたり持続することを明らかにした。

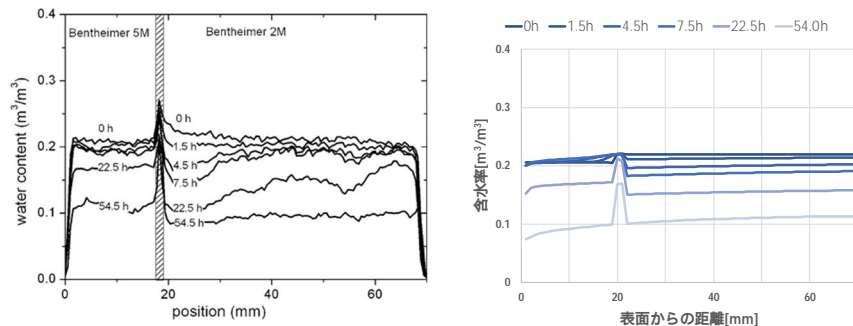


図 4-2 粘土を用いた脱塩実験結果(Voronina et al.,2013)と解析結果の比較

### 2) 飽和透塩水係数の塩濃度の依存性に関する検討

変水位透水実験により凝灰岩の飽和時における NaCl 溶液の飽和透塩水係数を測定し、塩濃度が飽和度に対し 10%以上の領域ではハーゲンポアズイコ則に基づき塩溶液の密度および粘性

係数を考慮することで透塩水係数を十分に再現出来ること、また塩濃度 0%、つまり純水と 10% 溶液の比較では、この予測式では再現できないことを明らかにした。後者の要因として、粘土粒子のような表面電荷を有する材料の表面に形成される電気二重層が透塩水係数に影響を与えている可能性を考察した。

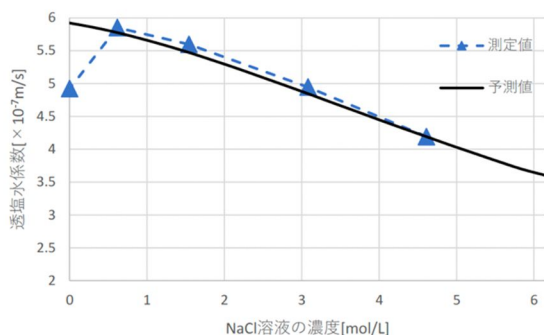


図 4-3 飽和透塩水係数 測定結果と予測値の比較

### 3) 蛍光 X 線を用いた石材表面に蓄積する塩分量の測定手法の検討

多孔質材料中の塩濃度分布を非接触・非破壊で測定する手法として、蛍光 X 線を用いた手法の適用可能性を明らかにすることを目的とし、異なる濃度の塩溶液およびそれらを含ませた凝灰岩表面の蛍光 X 線分析を行い、蛍光 X 線強度と塩濃度の関係について検討を行い、この手法の有用性を確認した。

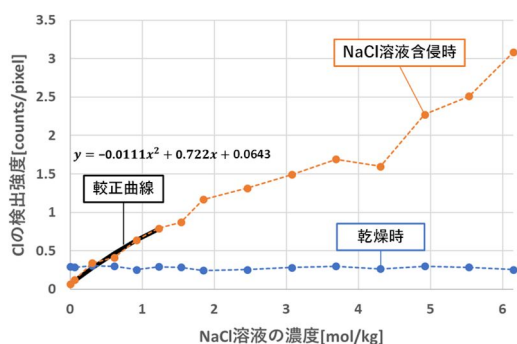


図 4-4 NaCl 溶液の濃度ごとの Cl の検出強度および較正曲線

### 4) マイクロフォーカス X 線 CT 撮影による塩の析出メカニズムの検討

塩溶液を含ませたレンガから水が蒸発する実験を行い、蒸発過程の試験体重量測定及び X 線 CT の画像解析により、材料内外での塩析出が水分移動に及ぼす影響について検討を行った。

大きな空隙から先に塩の析出と溶液の排出が生じ、小さな空隙においては塩析出の開始は遅いものの塩析出によって空隙が詰まる様子が確認された。材料表面での塩結晶生成は蒸発開始からほぼ蒸発開始から 60 分間に生じ、120 分以降にはほとんど生じていることが分かった。

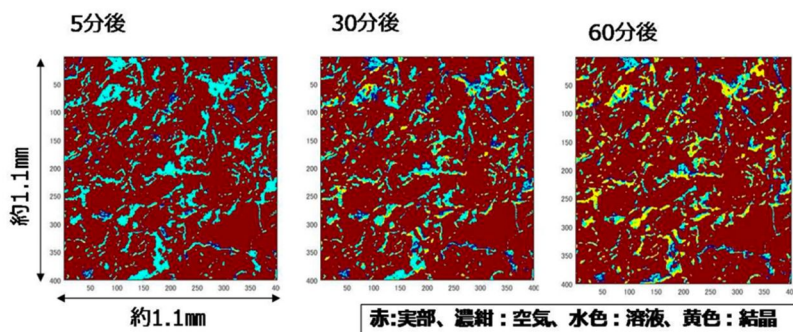


図 4-5 NaCl 飽和塩溶液を含浸させた煉瓦における塩析出の同定結果(試験体上面から 0.17mm)

### 5) 元町石仏の覆屋改修による塩類風化抑制に関する数値解析モデルを用いた検討

元町石仏における覆屋の改修による塩類風化抑制効果を、覆屋内温湿度環境の数値解析により明らかにした。数値解析では石仏を含む崖面を 2 次元で、覆屋壁体を 1 次元でモデル化し熱水分同時移動方程式を用いることでその熱水分性状を明らかにした。またこれらを連成することで覆屋内温湿度を算出する数値解析モデルを構築し、覆屋改修時期を含む 2014 年 11 月から 2017 年 10 月までの期間における覆屋内温湿度を概ね再現することでその妥当性を確かめた。

塩類風化抑制効果については、石仏からの塩の析出量は石仏からの水分蒸発量に比例し、塩類風化は析出した塩が相変化を生じる際に生じると仮定することで、石仏内の温湿度性状から塩の析出及び塩類風化の危険性を定量的に判断した。本解析モデルを用い、覆屋の改修を「断熱性向上」・「気密性向上」・「日射遮蔽性向上」の3要素に分けそれぞれの要素について検討を行い、全ての要素で石仏からの水分蒸発を抑制できたこと、また塩の相変化に関する検討では、全ての改修要素で石仏表面の温度・相対湿度が Thenardite 状態を取りづらくなったことから Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> の相変化に伴う塩類風化のリスクは減少したものと考えられることを明らかにした。

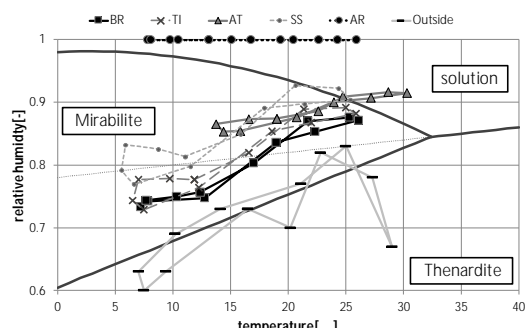


図 4-6 各分析条件における石仏の膝面の月平均温度と相対湿度をプロットした Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> の位相図 ( R.J.Flatt の位相図を基に作成 )  
( 図中 BR:改修前, TI:断熱, AT:気密, SS:日射遮蔽, AR:改修後 ( 全ての対策を実施 ) )

6) ハギアソフィア大聖堂の壁体の塩類風化に雨水浸透が及ぼす影響に関する数値解析モデルを用いた検討

ハギア・ソフィア大聖堂の第2コーニスの壁では、建物形状の凹部となる部位で含水率の高く、方位による違いもあること、また含水率と劣化の程度に高い相関関係があることがわかった。2次元数値解析モデルを作成し、大きな屋根に降った雨の壁面流下や吹き降り雨が壁体含水率に及ぼす影響を定量的に検討し、水蒸気の透過を変えずに液水の浸入を抑制できる材料が最も適切な対策となることを提案した。

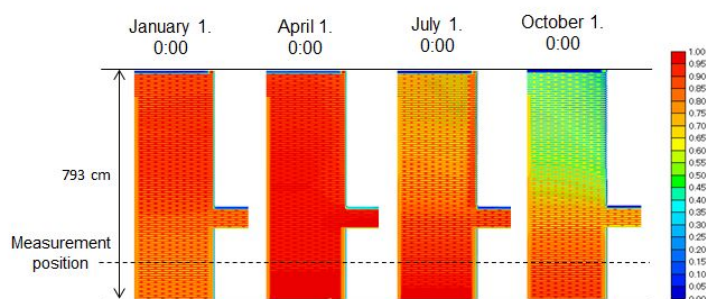


図 4-7 北西部エクセドラにおける水分飽和度の壁体内分布の年間変動

7) 煉瓦を対象とした電気的脱塩手法を用いた保存対策の基礎的な検討

煉瓦造建築の脱塩を目的としてイオンの電気泳動を利用した電気的脱塩の基礎的な検討を行った。通電していないものと比べて、通電したものの方が塩の減少割合が大きく、塩化物イオンと比べて、ナトリウムイオンの残存量が多いことを確認した。

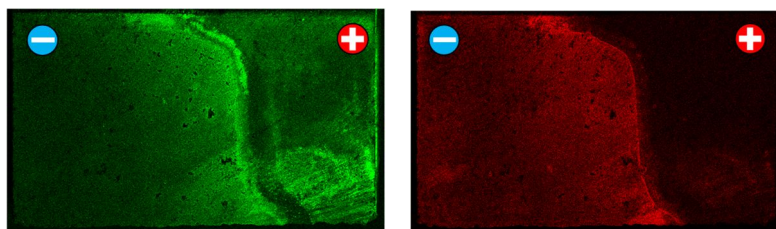


図 4-8 電気的脱塩実験後(通電 67 時間)の材料断面の Na ( 右 ) と Cl ( 左 ) の蛍光 X 線分析結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Etsuko Mizutani, Daisuke Ogura, Takeshi Ishizaki, Masaru Abuku, Juni Sasaki	4. 巻 45
2. 論文標題 Influence of wall composition on moisture related degradation of the wall surfaces in Hagia Sophia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Building Physics	6. 最初と最後の頁 271-301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/1744259121996017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高取伸光、小椋大輔、脇谷草一郎、安福勝、桐山京子	4. 巻 85
2. 論文標題 覆屋の改修が石仏の塩類風化に与える影響の熱水分移動解析による評価 元町石仏の保存に関する研究その2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会環境系論文集	6. 最初と最後の頁 137-147
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aije.85.137	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計40件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Nobumitsu Takatori, Kotaro Sakai, Daisuke Ogura, Soichiro Wakiya, and Masaru Abu
2. 発表標題 MEASUREMENT OF SODIUM CHLORIDE SOLUTION PERMEABILITY AND SORPTIVITY IN TUFF STONE
3. 学会等名 Proceedings of Fifth International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Etsuko Mizutani, Daisuke Ogura, Masaru Abuku and Hannelore Derluyn
2. 発表標題 EVALUATION OF CHANGE IN PORE NETWORK STRUCTURE CAUSED BY HALITE CRYSTALLISATION
3. 学会等名 Proceedings of Fifth International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sayaka Yano, Masaru Abuku, Juni Sasaki and Daisuke Ogura
2. 発表標題 NUMERICAL SIMULATION OF SODIUM CHLORIDE CRYSTALIZATION IN MOSAIC WALL
3. 学会等名 Proceedings of Fifth International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井紘太郎、高取伸光、小椋大輔、脇谷草一郎、安福勝
2. 発表標題 地盤に接する文化財の脱塩に関する研究 多孔質材料中における塩溶液の移動特性の検討
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 箭野早耶華、安福勝、佐々木淑美、小椋大輔
2. 発表標題 コーラ修道院聖堂の建築的特徴と保存上の問題に関する考察
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井紘太郎、高取伸光、小椋大輔、脇谷草一郎、安福勝
2. 発表標題 地盤に接する文化財の脱塩に関する研究 多孔質材料中における塩溶液の移動特性の検討
3. 学会等名 日本文化財科学会第38回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々木淑美、箭野早耶華、安福勝、小椋大輔
2. 発表標題 コーラ修道院聖堂と壁画・モザイクの保存 その1)劣化と保存修理事業
3. 学会等名 日本文化財科学会第38回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 箭野早耶華、佐々木淑美、安福勝、小椋大輔
2. 発表標題 コーラ修道院聖堂と壁画・モザイクの保存 その2)建築的特徴と保存上の問題に関する考察
3. 学会等名 日本文化財科学会第38回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高取伸光、酒井紘太郎、脇谷草一郎、小椋大輔
2. 発表標題 蛍光X線を用いた多孔質材料表面近傍の塩濃度分析手法に関する検討
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 水谷悦子、小椋大輔、安福勝
2. 発表標題 放射光X線CTを用いた焼成レンガにおける硫酸ナトリウム塩の析出性状の定量化と飽和透水係数に対する影響
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 采潤之介、小椋大輔、脇谷草一郎、水谷悦子
2. 発表標題 歴史的煉瓦造建築物の塩類風化対策に関する研究 塩を含む材料中の含水率、塩濃度の測定方法と電氣的脱塩方法に関する基礎的検討
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井紘太郎、高取伸光、小椋大輔
2. 発表標題 多孔質材料中における塩溶液の移動メカニズムに関する研究 低塩濃度領域における透塩水係数の塩濃度依存性について
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 箭野早耶華、安福勝、佐々木淑美、小椋大輔
2. 発表標題 モザイク装飾の物理的劣化に関する研究 その1) ビザンティン建築に残る壁面モザイクを対象とした塩類風化の数値解析
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 箭野早耶華、安福勝、佐々木淑美、小椋大輔
2. 発表標題 モザイク装飾の物理的劣化に関する研究 その1) ビザンティン建築に残る壁面モザイクを対象とした塩類風化の数値解析
3. 学会等名 日本文化財科学会第39回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 水谷悦子、小椋大輔、安福勝
2. 発表標題 多孔質材料中の硫酸ナトリウムの塩析出の定量評価と飽和透水係数の推定におけるCTの利用可能性
3. 学会等名 日本文化財科学会第39回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井紘太郎、高取伸光、脇谷草一郎、小椋大輔
2. 発表標題 蛍光X線を用いた多孔質材料表面近傍の塩濃度分析手法の検討
3. 学会等名 日本文化財科学会第39回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 采潤之介、小椋大輔、脇谷草一郎、水谷悦子
2. 発表標題 歴史的煉瓦造建築物の塩類風化対策に関する研究 塩を含む材料中の含水率、塩濃度の測定方法と電氣的脱塩方法に関する基礎的検討
3. 学会等名 日本文化財科学会第39回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西村奏香、小椋大輔、水谷悦子
2. 発表標題 歴史的煉瓦造建築物の塩類風化に関する研究 - 温湿度条件と塩の析出状況の関係について -
3. 学会等名 日本文化財科学会第36回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水谷悦子、小椋大輔、安福勝
2. 発表標題 マイクロフォーカスX線CTによるレンガの乾燥過程における塩析出性状に関する検討
3. 学会等名 日本文化財科学会第36回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高取伸光、小椋大輔、脇谷草一郎、安福勝、桐山京子、高妻洋成
2. 発表標題 元町石仏における脱塩を用いた塩類風化抑制手法に関する研究 セロファンで遮られたNaCl溶液の半透性と浸透圧の測定
3. 学会等名 日本文化財科学会第36回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村奏香、小椋大輔、水谷悦子
2. 発表標題 歴史的煉瓦造建築物の塩類風化に関する研究 -現地建物のレンガ及びモルタルのX線撮影による吸水実験-
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水谷悦子、小椋大輔、安福勝
2. 発表標題 歴史的組積造建築物の塩類風化による劣化メカニズムとその予測 - (その2)NaCl塩溶液を含ませたレンガの乾燥過程のマイクロフォーカスX線CTによる非定常塩析出性状の分析 -
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高取伸光、小椋大輔、脇谷草一郎、安福勝、桐山京子
2. 発表標題 元町石仏における脱塩を用いた塩類風化抑制手法に関する研究 セロファンで遮られたNaCl溶液の半透性と浸透圧の測定
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水谷悦子,小椋大輔,安福勝
2. 発表標題 歴史的組積造建築物の塩類風化による劣化メカニズムとその予測(その2)ポルツマン変換による焼成煉瓦の塩溶液拡散係数の同定とその低下要因の考察
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水谷悦子,小椋大輔,安福勝
2. 発表標題 歴史的組積造建築物の塩類風化による劣化メカニズムとその予測(その2)NaCl塩溶液を含ませたレンガの乾燥過程のマイクロフォースX線CTによる非定常塩析出性状の分析
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村奏香,小椋大輔,水谷悦子
2. 発表標題 歴史的煉瓦造建築物の塩類風化に関する研究 - 塩析出環境条件についての検討および現地材料の吸水実験 -
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高取伸光, 小椋大輔, 脇谷草一郎
2. 発表標題 浸透現象の物理的メカニズムと建築材料中の溶液移動に及ぼす影響に関する考察
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平沼柊哉, 安福 勝, 麓 隆行, 脇谷草一郎, 小椋大輔
2. 発表標題 大分市高瀬石仏の保存環境分析と対策の評価 その3 ) X線照射による凝灰岩の吸水速度の測定
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村奏香, 小椋大輔, 水谷悦子
2. 発表標題 歴史的煉瓦造建築物の塩類風化に関する研究 - 現地建物のレンガ及びモルタルのX線撮影による吸水実験 -
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高取伸光, 小椋大輔, 脇谷草一郎, 安福勝, 桐山京子
2. 発表標題 元町石仏における脱塩を用いた塩類風化抑制手法に関する研究 セロファンで遮られたNaCl溶液の半透性と浸透圧の測定
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平沼柊哉, 安福 勝, 麓 隆行, 脇谷草一郎, 小椋大輔
2. 発表標題 大分市高瀬石仏の保存環境に関する研究 その4) X線照射による凝灰岩の水分拡散係数の測定
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水谷悦子, 小椋大輔, 安福勝
2. 発表標題 マイクロフォーカスX線CTによるレンガの乾燥過程における塩析出性状に関する検討
3. 学会等名 日本文化財科学会第36回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平沼柊哉, 安福 勝, 麓 隆行, 脇谷草一郎, 小椋大輔
2. 発表標題 X線照射による大分市高瀬石仏で採取された凝灰岩の水分拡散係数の測定
3. 学会等名 日本文化財科学会第36回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村奏香, 小椋大輔, 水谷悦子
2. 発表標題 歴史的煉瓦建築物の塩類風化に関する研究 温湿度条件と塩の析出状況の関係について
3. 学会等名 日本文化財科学会第36回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高取伸光, 小椋大輔, 脇谷草一郎, 安福勝, 桐山京子, 高妻洋成
2. 発表標題 元町石仏における脱塩を用いた塩類風化抑制手法に関する研究 セロファンで遮られたNaCl溶液の半透性と浸透圧の測定
3. 学会等名 日本文化財科学会第36回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高取 伸光 小椋 大輔 脇谷 草一郎 安福 勝
2. 発表標題 熱水分塩同時移動方程式に基づいた数値解析による粘土中における塩溶液の浸透現象の再現性の検討
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高取 伸光 小椋 大輔 脇谷 草一郎 安福 勝 桐山 京子
2. 発表標題 電荷を有する多孔質材料中の熱水分塩同時移動と浸透現象
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究報告会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井紘太郎 高取伸光 脇谷草一郎 小椋大輔
2. 発表標題 元町石仏における石仏表面に蓄積する塩分量の測定および予測に関する研究 その1 蛍光X線を用いた石材表面に蓄積する塩分量の測定手法の検討
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究報告会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 采潤之介 小椋大輔 脇谷草一郎 水谷悦子
2. 発表標題 塩化ナトリウム溶液を含むレンガの電気的脱塩に関する研究 - 電気的脱塩の評価のためのICとXRFによる塩分布の推定と可視化 -
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究報告会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高取伸光 酒井紘太郎 脇谷草一郎 小椋大輔
2. 発表標題 元町石仏における石仏表面に蓄積する塩分量の測定および予測に関する研究 その2 数値解析による多孔質材料表面に蓄積する塩分量の予測
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究報告会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	伊庭 千恵美 (Iba Chiemi) (10462342)	京都大学・工学研究科・准教授  (14301)	
研究分担者	安福 勝 (Abuku Masaru) (20581739)	近畿大学・建築学部・准教授  (34419)	
研究分担者	佐々木 淑美 (Sasaki Juni) (60637883)	東北芸術工科大学・文化財保存修復研究センター・研究員  (31501)	



6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	石崎 武志  (Ishizaki Takeshi)  (80212877)	東北芸術工科大学・文化財保存修復研究センター・教授    (31501)	
研究分担者	脇谷 草一郎  (Wakiya Soichiro)  (80416411)	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・埋蔵文化財センター・主任研究員    (84604)	
研究分担者	水谷 悦子  (Mizutani Etsuko)  (90849796)	独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所・保存科学研究センター・研究員    (82620)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関