

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：34419

研究種目：挑戦的研究（開拓）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H05511・20K20436

研究課題名（和文）X線CTを用いた多孔質材料内部の歪の分布測定と熱&水分移動・応力・歪連成解析

研究課題名（英文）Measurement of strain field in porous materials using X-ray CT and analysis of heat & moisture transfer, stress and strain

研究代表者

安福 勝（Abuku, Masaru）

近畿大学・建築学部・教授

研究者番号：20581739

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 20,000,000円

研究成果の概要（和文）：凍結融解などにより劣化する多孔質な建築材料の耐久性を予測・評価するため、材料内部の熱&水分移動と変形を連成する数値解析を行った。数値解析では、ポロメカニクス理論に基づく有限要素解析を行う解析ソルバーの作成を行った。次に、汎用有限要素モデリング・ソフトウェアと解析ソルバーの連携を可能にする有用なツールを開発した。最後に、数値解析結果を検証するための実験室実験を行った。実験では、X線CTにより材料内部の3次元構造とその歪の分布を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、水分の凍結融解や乾湿の繰り返しなどにより劣化する多孔質な建築材料（凝灰岩・砂岩・レンガなど）の耐久性の予測・評価方法を、温度や含水（水）率などの変化で評価する従来の方法から、材料の劣化（亀裂・剥離など）を予測する、より高度な方法に発展させた。

研究成果の概要（英文）：We conducted numerical analyses in which heat & moisture transfer and deformation in porous materials are simultaneously simulated, in order to predict and evaluate the durability of porous building materials suffering from deterioration due to freeze-thaw and so on. For this purpose, an analysis solver was developed based on poromechanics and a finite element analysis. Next, a useful tool was developed to enable linkage between a generic finite element modelling software and the analysis solver. Finally, we conducted laboratory experiments to verify results of numerical analyses. In the experiments, we clarified the three-dimensional structure of the material and the strain field in the material.

研究分野：建築環境工学・建築物理

キーワード：X線CT デジタル画像相関 変形 ひずみ 有限要素法 ポロメカニクス 凍結 耐久性

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。

1. 研究開始当初の背景

(1) 従来、水分の凍結融解や乾湿の繰り返しなどにより劣化する多孔質な建築材料（凝灰岩・砂岩・レンガなど）の耐久性の予測・評価は、実験的・経験的な方法か、熱・水分移動を解析し、材料内部の温度や含水（氷）率を予測する方法を用いて行われる。前者の方法は、簡易的・実用的な方法として用いやすいが、適応範囲が限定的になるという制約がある。一方、後者の方法は、高度な専門知識を必要とすることと、予測した結果が温度や含水（氷）率という物理量なので、耐久性や劣化という現象そのものを予測していないという課題がある。

(2) 多孔質材料を対象とした熱力学と連続体力学を統合した Coussy（参考文献①）のポロメカニクスの理論は建築材料の研究を大きく進展させた。この研究を起点として、建築材料の凍害や塩害の研究が深まり、多孔質材料の耐久性や劣化の研究は新しい展開を見せているといえる。

(3) X線CTは建築材料のみならず、広く様々なものの3次元形状を可視化する技術として急速に普及した。これにより得られた3次元データに画像相関法を適用したデジタル画像相関（DVC）により材料内部の変形の分布を可視化することが可能になってきており、これを活用した材料の研究も近年盛んにおこなわれている。

2. 研究の目的

本研究は、建築材料の耐久性の予測・評価方法を、温度や含水（氷）率の変化で評価する従来の方法から、材料の劣化を予測できる、より高度な方法に発展させることを目的とする。そのために、以下の3つの目標を達成する。

(1) さまざまな原因で劣化する材料内部の変形を、ポロメカニクスに基づく数値解析により予測する。

(2) 屋外に曝される文化財のように、形状や境界条件が複雑な解析対象を数値解析で扱えるようにするため、汎用有限要素モデリング・ソフトウェアを活用した数値解析を可能にする。

(3) X線CTとDVCを用いて材料内部のひずみの分布を測定する。またその結果を数値解析の結果を比較し、数値解析の妥当性を検証する。

3. 研究の方法

本研究の全体像を図1に示す。本研究の方法は、大きく分けて、(1)数値解析、(2)汎用有限要素モデリング・ソフトウェアの活用、(3)実験室実験の3つからなる。これら3つを実現することが、図中に示す目標(1)～目標(3)に対応する。

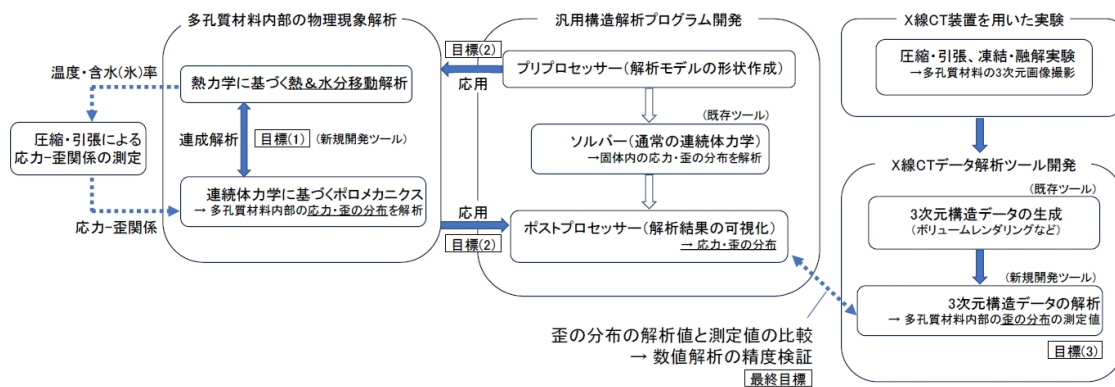


図1 研究の全体像

(1) 数値解析

ポロメカニクスの理論に基づき、材料内部の熱・水分移動と変形の連成解析を有限要素法により行う。これにより、温度、含水（氷）率、応力、ひずみの予測を行う。

(2) 汎用有限要素モデリング・ソフトウェアの活用

本研究では汎用有限要素モデリング・ソフトウェア Femap を活用し、それと本研究で開発した数

値解析ソルバーの連携を可能にするツールを開発する。これにより、解析対象の複雑な形状をコンピュータ上で再現すること、適切な有限要素モデルをある程度自動生成すること、部位に応じた多様な物性値を設定すること、複雑な境界条件を設定すること、解析結果を分かりやすく可視化することなどを可能にする。

(3) 実験室実験

X線CTとDVCを活用して凍結などに伴う材料内部のひずみの分布を計測する。本研究で主力機器として活用したX線CT装置を図2に示す(参考文献②③)。まず、図2に示すように、試験体の圧縮試験と同時にX線CT装置による撮影を実施した。次に、Tudiscoらが開発したDVC用ソフトウェアTomoWarp2(参考文献④)を用いてひずみの分布を求め、その結果をひずみゲージによる測定結果と比較する。これによりDVCの妥当性を検証する。その後、数値解析の検証を目的としてX線CTとDVCを活用した実験室実験を行う。

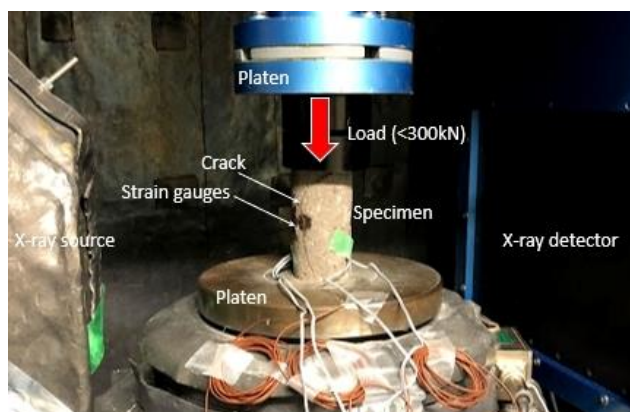


図2 本研究で用いた主なX線CT装置

4. 研究成果

(1) 材料内部の熱・水分移動と変形の連成解析を有限要素法により行う汎用解析ソルバーを開発した(参考文献④)。ソルバーの構成の概要を図3に示す。

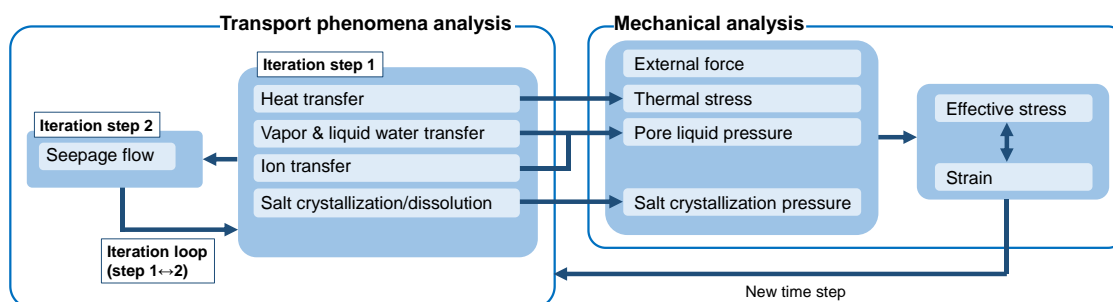


図3 汎用解析ソルバーの概要

(2) 汎用解析ソルバーと汎用有限要素モデリング・ソフトウェアFemapの連携を可能にした。これにより、様々な形状や物性値、境界条件の設定が容易に行える実用的解析ツールを作成した(参考文献⑤)。

(3) 上記(1)(2)で開発した解析ツールの動作確認を行った。実施した解析のすべてを研究成果として論文等に報告しきれていないわけではないが、具体的には以下のような解析を行った。

- ・Derluyn(参考文献⑥)の行った数値解析の再現(亀裂の広がりまでを予測するケースを除く)
- ・浸透流を伴う地盤内部の水分移動(参考文献⑤)
- ・石材内部の熱・塩イオン・水分の移動(参考文献⑤)
- ・建築材料(セラミック材料)の凍結・融解過程(参考文献⑦⑧)
- ・地盤内部の溶液の凍結・融解過程(未発表)
- ・円筒形のモルタル試験体の凍結過程(参考文献⑨)
- ・モザイク壁体の塩害進行過程(参考文献⑨⑩)

(4) ひずみゲージを表面に貼り付けた凝灰岩の試験体を対象に圧縮試験を行った(参考文献③)。この間の破壊に至るまでの時点でX線CT装置を用いた試験体の撮影を行った。撮影したデータにDVCを用いてひずみの分布を算出した。ひずみゲージを用いて測定したひずみとDVC

により算出したひずみとは、破壊にいたる直前までの間はおおむね一致する結果となった。

(5) 凍結過程について数値解析と（X線CTを用いた）実験室実験の両方によりひずみの分布を定量化することができた。しかしながら、この研究が最終目標とした、数値解析と実験室実験の結果の比較による数値解析モデルの精度検証という点においては、現在のところ望ましい結果が得られてはいない。数値解析と実験室実験の両面から問題点を整理して、ひずみの分布の解析結果と測定結果が一致することを目指したいと考えている。本検討課題については、今後十分な検討をさらに重ねたうえで論文等として報告したいと考えている。

(6) 多孔質材料の劣化メカニズム・材料物性や、本研究課題の活動の一環としては当初は計画に入れていなかった多孔質材料の塩類風化に関する研究においても、多くの研究成果を得て、研究発表・論文発表を行うことができた。これらの内容については「5. 主な発表論文等」を参照いただければ幸いである。

<引用文献>

- ① O. Coussy. 2004. Poromechanics, John Wiley & Sons, Ltd.
- ② 麓隆行、新しい機構のX線CTの開発とポリマーコンクリートの圧縮試験への適用、土木学会論文集E2（材料・コンクリート構造）：69(2)、2013、182-191
- ③ M. Abuku, T. Fumoto, S. Hiranuma, E. Kim, S. Wakiya, H. Derluyn. X-ray CT and Digital Volume Correlation of Tuff Stone under Uniaxial Compression, in: Proceedings of the International Conference on Tomography of Materials & Structures (ICTMS2019), Cairns, Australia, July 22-26, 2019, 2p.
- ④ E. Tudisco, E. Andò, R. Cailletaud & S.A. Hall. 2017. TomoWarp2: A local digital volume correlation code, Software X: 6, 267-270.
- ⑤ M. Abuku, K. Ishii. 2021. PMSolver: Development of a generic FEM code for heat, moisture and salt transfer and deformation in porous materials, in: Proceedings of the Fifth International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures (SWBSS 2021), 187-189.
- ⑥ H. Derluyn. 2012. Salt transport and crystallization in porous limestone: Neutron-X-ray imaging and poromechanical modeling, PhD Thesis, ETH Zurich, 221p.
- ⑦ K. Fukui, C. Iba, D. Ogura. 2023. Deformation of fired clay material during rapid freezing due to supercooling, Journal of Building Physics, 46(6), 762-788.
- ⑧ K. Fukui, C. Iba, D. Ogura. 2023. Coupled hygrothermal and mechanical simulations during freezing and thawing of a highly anisotropic building material, Journal of Building Physics, 46(6), 659-685.
- ⑨ 箭野早耶華、モザイク装飾の物理的劣化に関する研究、令和4年度近畿大学大学院修士論文、2023、53p.
- ⑩ S. Yano, M. Abuku, J. Sasaki, D. Ogura. 2021. Numerical simulation of sodium chloride crystallization in mosaic wall, in: Proceedings of SWBSS 2021 (Fifth International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures), 191-193.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 脇谷草一郎	4. 巻 第235集、第2章
2. 論文標題 鷲ノ山石製割抜式石棺の劣化要因に関する調査報告	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 高松市埋蔵文化財調査報告	6. 最初と最後の頁 6-33
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24484/sitereports.19739	査読の有無 無
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 麓隆行, 山本大悟, 村田隆男, 高田良章	4. 巻 21
2. 論文標題 X線CT法を用いた氷点下での空気無混入モルタル内部の体積変化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 コンクリート構造物の補修・補強・アップグレード論文報告集	6. 最初と最後の頁 19-154
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 麓隆行, 高木雅斗	4. 巻 77(2)
2. 論文標題 X線CTを用いた乾燥によるモルタル内部の密度および体積変化分布の評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集A2(応用力学)	6. 最初と最後の頁 I_349-I_358
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscejam.77.2_I_349	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 麓隆行, 裏泰樹, Stephen A. Hall	4. 巻 76
2. 論文標題 X線CTによる圧縮応力下のコンクリート内部の3次元ひずみ分布計測向上のための基礎研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集A2(応用力学)	6. 最初と最後の頁 I_337-I_346
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscejam.76.2_i_337	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 麓隆行, 川本幸宏, 村田隆男, 高田良章	4. 巻 20
2. 論文標題 X線CT法を用いた凍結融解作用によるモルタル内部の体積変化に関する基礎検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集 Proceedings of the Concrete Structure Scenarios, JSMS	6. 最初と最後の頁 303-308
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 杜之岩, 脇谷草一郎, 高妻洋成	4. 巻 81
2. 論文標題 乾湿風化による軟岩製石造文化財の劣化メカニズムの検討 (その1: 下浦砂岩の不飽和領域に生じる劣化のモデル化を目的とした物性値の実測)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 文化財科学	6. 最初と最後の頁 443-448
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 768
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 -

1. 著者名 Kazuma Fukui, Chiemi Iba, Daisuke Ogura	4. 巻 46(6)
2. 論文標題 Deformation of fired clay material during rapid freezing due to supercooling	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Building Physics	6. 最初と最後の頁 762 788
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/17442591231154	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 Kazuma Fukui, Chiemi Iba, Daisuke Ogura	4. 巻 46(6)
2. 論文標題 Coupled hygrothermal and mechanical simulations during freezing and thawing of a highly anisotropic building material	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Building Physics	6. 最初と最後の頁 659 685
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/17442591231165992	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41件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Aika Kimura, Masaru Abuku, Takayuki Fumoto, Tomoko Uno, Chiemi Iba
2. 発表標題 Fundamental study on desalination methods for brick chimneys, Part 1 Desalination by ion diffusion
3. 学会等名 Proceedings of SWBSS 2021 (Fifth International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures), pp.273-274 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Abuku M. and Ishii K
2. 発表標題 PMSolver: development of a generic FEM code for heat, moisture, and salt transfer and deformation in porous materials
3. 学会等名 Proceedings of SWBSS 2021 (Fifth International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures), pp.187-189 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoko Uno, Masaru Abuku, and Chiemi Iba
2. 発表標題 Environmental factors for salt weathering of modern Japanese brick chimney
3. 学会等名 Proceedings of SWBSS 2021 (Fifth International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures), pp.41-48 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nobumitsu Takatori, Kotaro Sakai, Daisuke Ogura, Soichiro Wakiya, and Masaru Abuku
2. 発表標題 Measurement of sodium chloride solution permeability and sorptivity in tuff stone
3. 学会等名 Proceedings of SWBSS 2021 (Fifth International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures), pp.163-171 (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 SWBSS 2021 (Fifth International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures), pp.173-181 (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 crystallization in mosaic wall
3. 学会等名 Proceedings of SWBSS 2021 (Fifth International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures), pp.191-193 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福井一真、伊庭千恵美、小椋大輔
2. 発表標題 凍結融解過程の焼成材料の変形の異方性 熱水分・力学連成解析における物性値の異方性の考慮
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 麓 隆行、高木 雅斗
2. 発表標題 X線CTを用いた乾燥によるコンクリート表面からの密度および体積変化の評価に関する基礎検討
3. 学会等名 中性子線を用いたコンクリートの検査・診断に関するシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 麓隆行，高木雅斗，間路直弥
2. 発表標題 X線CTを用いた乾燥によるモルタル内部の密度および体積変化分布の評価
3. 学会等名 第24回応用力学シンポジウム、S03D-03
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村藍香、安福勝、麓隆行、宇野朋子、伊庭千恵美
2. 発表標題 レンガ造煙突の脱塩方法に関する基礎的研究 その 1)イオンの拡散を利用した脱塩
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究報告集、第61号（環境系）、pp.109-112
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 日本建築学会近畿支部研究報告集、第61号（環境系）、pp.113-116
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 コーラ修道院聖堂とその壁画・モザイクの保存 その1) 建築的特徴と保存上の問題に関する考察
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究報告集、第61号(環境系)、pp.133-136
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安福勝、伊庭千恵美、岸本嘉彦
2. 発表標題 多孔質建材の湿気物性に関連する近年の進展と課題
3. 学会等名 日本建築学会 環境工学委員会 熱環境運営委員会 第50回熱シンポジウム「建築熱環境を考える：これまでの50年とこれからの50年」、pp.103-108(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村藍香、安福勝、麓隆行、宇野朋子、伊庭千恵美
2. 発表標題 レンガ造煙突の脱塩方法に関する基礎的研究 その1) イオンの拡散を利用した脱塩
3. 学会等名 日本建築学会大会(東海) 学術講演梗概集、2ページ
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(東海) 学術講演梗概集、2ページ
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 コーラ修道院聖堂の劣化と保存修復
3. 学会等名 日本建築学会大会（東海）学術講演梗概集、2ページ
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)劣化と保存修復事業
3. 学会等名 日本文化財科学会第38回大会、2ページ
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、2ページ
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、2ページ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村 藍香、安福 勝、麓 隆行、宇野 朋子、伊庭 千恵美
2. 発表標題 レンガ造煙突の脱塩方法に関する基礎的研究 その1) イオンの拡散を利用した脱塩
3. 学会等名 日本文化財科学会第38回大会、2ページ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 麓 隆行, Dmitry Ivanov, 北河 悠斗, Stephen A. Hall
2. 発表標題 X線CTとDVCを用いた圧縮応力下における模擬試験体内部に設けた粗骨材粒子周辺のペーストの変形に関する基礎検討
3. 学会等名 応用力学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takayuki Fumoto, Masaru Abuku and Stephen A. Hall
2. 発表標題 Measurement of moisture content and volume change distribution inside cement past specimens using X-ray CT image
3. 学会等名 XV International Conference on Durability of Building Materials and Components, DBMC 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杜之岩、脇谷草一郎、高妻洋成
2. 発表標題 Deterioration mechanism of Japanese sandstone during the drying and wetting cycles
3. 学会等名 14th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone(ICOMOS-ISCS) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安福勝
2. 発表標題 高瀬石仏の保存環境予測と整備事業評価
3. 学会等名 奈良文化財研究所保存科学研究集会（招待講演）
4. 発表年 2021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4）液水拡散係数の異方性を考慮した2次元熱水分移動の数値解析
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 麓 隆行，Dmitry Ivanov，北河 悠斗，Stephen A. Hall
2. 発表標題 X線CTとDVCを用いた圧縮応力下における模擬試験体内部に設けた粗骨材粒子周辺のペーストの変形に関する基礎検討
3. 学会等名 応用力学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takayuki Fumoto, Masaru Abuku and Stephen A. Hall
2. 発表標題 Measurement of moisture content and volume change distribution inside cement past specimens using X-ray CT image
3. 学会等名 XV International Conference on Durability of Building Materials and Components, DBMC 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杜之岩、脇谷草一郎、高妻洋成
2. 発表標題 Deterioration mechanism of Japanese sandstone during the drying and wetting cycles
3. 学会等名 14th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone(ICOMOS-ISCS) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaru Abuku, Takayuki Fumoto, Shuya Hiranuma, Eikou Kim, Soichiro Wakiya, Hannelore Derluyn
2. 発表標題 X-ray CT and Digital Volume Correlation of Tuff Stone under Uniaxial Compression
3. 学会等名 International Conference on Tomography of Materials & Structures (ICTMS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shuya Hiranuma, Masaru Abuku, Takayuki Fumoto, Soichiro Wakiya, Daisuke Ogura
2. 発表標題 Measurement of liquid water uptake by brittle tuff stone taken around Takase stone buddhas, Oita, Japan, by X-ray projection
3. 学会等名 International Conference on Tomography of Materials & Structures (ICTMS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Abuku
2. 発表標題 Conservation of Takase stone Buddhas, Oita, Japan: Evaluation of countermeasures based on field survey and numerical approach
3. 学会等名 2019 ' International Symposium on Dazu Studies and the 20th Anniversary Celebration of the Dazu Rock Carvings Inscribed into the World Heritage List, Dazu, Chongqing, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安福勝
2. 発表標題 高瀬石仏の保存環境予測と整備事業評価
3. 学会等名 奈良文化財研究所保存科学研究集会（招待講演）
4. 発表年 2021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 平沼柘哉，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 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 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 (北陸)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金永鍋, 安福勝, 麓隆行, 脇谷草一郎, 平沼柊哉
2. 発表標題 一軸圧縮下における凝灰岩のX線CTとDigital Volume Correlation
3. 学会等名 日本建築学会大会 (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による非正常塩析出性状の分析
3. 学会等名 日本建築学会大会 (北陸)
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4) 液水拡散係数の異方性を考慮した2次元熱水分移動の数値解析
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 K. Fukui, C. Iba, and D. Ogura
2. 発表標題 Effects of anisotropy of properties of fired clay materials on strain evolution and results of coupled hygrothermal and mechanical simulations during freezing and thawing
3. 学会等名 Proceedings of the 8th International Building Physics Conference (IBPC2021), Copenhagen, Denmark, 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021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	麓 隆行 (Takayuki Fumoto) (30315981)	近畿大学・理工学部・教授 (34419)	
研究分担者	脇谷 草一郎 (Soichiro Wakiya) (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・室長 (84604)	

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
研究協力者	福井 一真 (Fukui Kazuma) (00908767)	神戸大学・工学研究科・助教 (14501)	

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			
フランス	LFCR			