

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22445

研究課題名(和文)多孔質材料の塩類風化および材料中の塩溶液移動の駆動力に関する研究

研究課題名(英文) Study on the driving force of salt weathering and salt solution transfer in porous material

研究代表者

高取 伸光 (Takatori, Nobumitsu)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：70880459

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では多孔質材料中に存在する塩溶液移動の駆動力を明らかにすることを目的とした。得られた研究成果を以下にまとめる。1) 変水位透水実験により凝灰岩の飽和時におけるNaCl溶液の透塩水係数を測定し、この結果より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塩濃度領域と、できない領域が存在することを明らかにした。2) 1) で用いた凝灰岩と同種の凝灰岩を用いた吸水実験を行った。その結果、変水位透水実験と同様に、純水よりも低塩濃度のNaCl溶液の方が吸水速度が早いという結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

建築物および文化財の保存において、塩類風化など塩による諸問題への対策は年々その重要度が高まりつつある。多孔質材料中における塩の移動を数値解析により精緻に再現できる技術の開発は、塩類風化の対策を考える上で重要な役割を担う。本研究は、多孔質材料中における塩溶液の移動に着目しその移動性状を精緻に検討したものであるが、これまで建築分野で考えられてきた純水の移動理論とは異なり、塩溶液の移動にはその濃度が大きく寄与することが明らかとなった。これらの成果は今後建築物や文化財の塩類風化を予測するうえで重要な示唆を与えるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study is to investigate the driving force of salt solution migration in porous materials. The main results are as follows:

- 1) The permeability of NaCl solution in saturated tuff was measured by the Falling-head method. It was found that there is a range of salt concentrations for which the permeability cannot be reproduced by considering only the density and viscosity coefficients of the salt solution.
- 2) Saline water absorption experiments were conducted with the same type of tuff used in experiment 1). The results showed that, as in the Falling-head method, the saline water absorption rate was faster in low-salt concentration NaCl solution than in pure water.

研究分野：建築環境工学

キーワード：多孔質材料 塩化ナトリウム溶液 透水係数 変水位透水試験 吸水実験 塩溶液

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

建造物や屋外文化財の多くはその材料内部に微細な空隙構造を有する多孔質材料であり、その空隙内には水や塩などの物質が入り出す(Fig. 1)。ここで、材料の乾燥および湿潤に伴い材料が膨張・収縮を繰り返した結果、材料が破壊される現象を乾湿風化と呼ぶ。一方、材料内に存在する塩が材料表面で析出し固着することで表面の構造が変化し建造物の外観を損う、あるいは材料内で析出することでその空隙構造を破壊する現象を塩類風化と呼ぶ。このような材料中の水や塩に由来する劣化現象を抑制する手法の開発は、建造物や屋外文化財の保存の観点から極めて重要な課題である。

塩類風化を抑制するためには、多孔質材料中の熱や水分、塩の移動に加え、水分や塩が材料骨格部に加える応力を定量的に把握することが重要である。しかし、現状移動問題と破壊問題は独立した学問として成立しており、連立問題として定量的に把握することが出来ない。

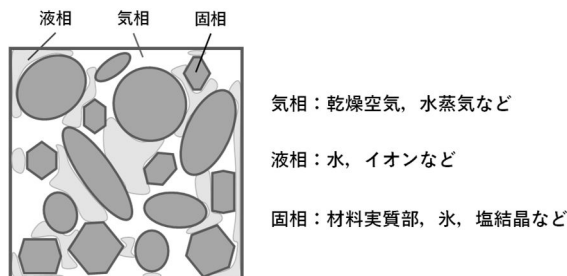


Fig. 1 多孔質材料の空隙構造の模式図

2. 研究の目的

本研究では塩類風化抑制のため、多孔質材料中の熱や水分、塩の移動に加え、水分や塩が材料骨格部に加える応力を定量的に把握することを最終的な目標とする。本研究では、その第一段階として多孔質材料中に存在する塩溶液移動の駆動力を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

2.で示した研究の目的を達成するため、以下の項目について検討を行った。

(1)透塩水実験による多孔質材料中の透塩水係数の塩濃度依存性についての把握

多孔質材料中における塩溶液の移動は Darcy 則に基づくと、透塩水係数と駆動力の積で表される。この検討では、土壌物理学分野で用いられる変水位透水実験方法を用い、凝灰岩の透塩水係数の塩濃度依存性を測定した。

(2)吸塩水実験による多孔質材料中における塩溶液の移動現象の把握

試験体の底面から塩溶液を吸わせる吸塩水実験を行うことで、毛細管現象による塩溶液の1次元吸塩水挙動を確認することができる。吸塩水挙動は透塩水係数と駆動力 (capillary pressure) の積で表されることから、(1)および(2)の結果から吸塩水時における塩溶液の駆動力について検討を行う。

4. 研究成果

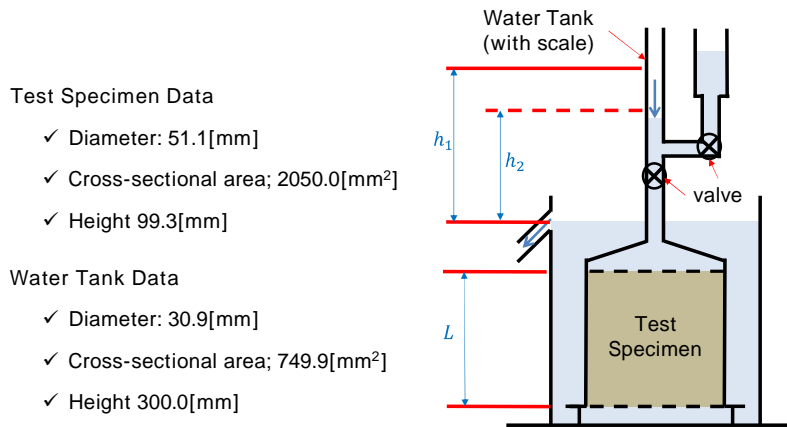
(1)透塩水実験による多孔質材料中の透塩水係数の塩濃度依存性についての把握

A) はじめに

変水位法により凝灰岩の飽和透水係数 (以下透水係数) の測定を行った。変水位法は、毛細管現象の影響を受けず多孔質材料中における溶液の重力のみによる流れを測定でき、透塩水係数を求めることができる。

B) 実験概要

本実験に用いた変水位透水試験装置を Fig. 2 に示す。本実験では円柱形の試験体を用意し、側面をパラフィンおよび気密防水テープにより断湿のうえ装置に設置した。試験体には凝灰岩を用いた。実験は JIS A 1218 の試験方法に従い、試験体を通じた溶液の量を目盛り付きの水槽の水位の差から測定した。水位はタイムラプス撮影により記録し、溶液が一定量流れるまでの時間を測定した。また安定した測定結果を得ることを目的として測定は各塩濃度で計 8 回以上行った。測定は 23℃ 一定の恒温槽内で行い、溶液の溶質には塩化ナトリウム (以下 NaCl) を、溶媒には脱イオン水を使用した。なお、塩溶液の濃度は 23℃ における溶解度に対する飽和度 75%, 50%, 25%, 10%, 0% の溶液を使用した。また測定は塩濃度が降順となるよう行った。なお全ての実験を通して試験体は同一のものを使用し、貯水槽内の溶液を測定ごとに交換することで連続して測定を行った。



Test Specimen Data

- ✓ Diameter: 51.1[mm]
- ✓ Cross-sectional area; 2050.0[mm²]
- ✓ Height 99.3[mm]

Water Tank Data

- ✓ Diameter: 30.9[mm]
- ✓ Cross-sectional area; 749.9[mm²]
- ✓ Height 300.0[mm]

Fig.2 透塩水実験の装置概要

また、多孔質材料中における溶液の流れがハーゲンポアズイコ流れで近似できると仮定すると、透塩水係数は溶液の粘性係数および密度を用いて以下の式で与えられる。

$$D_{sw} = D_w \frac{\rho_{sw}}{\rho_w} \frac{\eta_w}{\eta_{sw}}$$

この式を透塩水係数の予測式とし、実験結果との比較を行った。

C) 実験結果

測定結果およびハーゲンポアズイコ則に基づく式から算出した予測値を Fig.3 に示す。なお、図には同一濃度の透塩水係数の測定値の変化の様子を矢印で、一定時間経過後に安定した際の平均値を透塩水係数の推定値として示した。また、予測値は飽和度 75%での値を基準として算出した。塩濃度を飽和度 75%から減少させていくと透塩水係数は増加していくが、飽和度 10%から純水に交換した際には透塩水係数は減少した。

予測式との比較では、塩濃度が 10%以上の領域において塩濃度の増加に伴い透塩水係数が減少するという傾向は一致し、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大略再現できることが分かる。一方、純水と塩溶液にはこの関係が当てはまらず、予測式では説明できないことが明らかとなった。

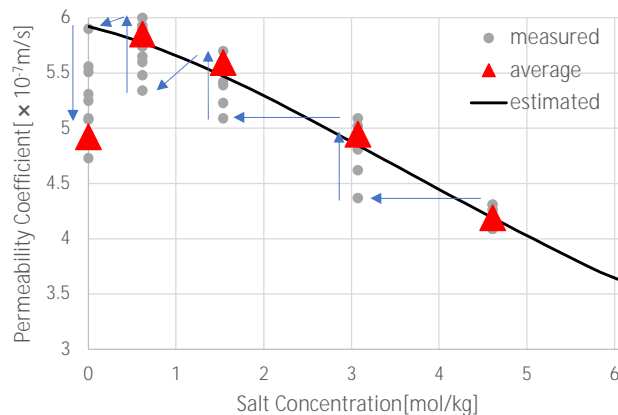


Fig.3 透塩水実験の測定結果

(2)吸塩水実験による多孔質材料中における塩溶液の移動現象の把握

A) はじめに

単純化のために試験体の底面から塩溶液を吸わせる垂直 1 次元の吸塩水実験を行った。吸塩水時における材料中の含塩水率分布の経時変化を測定するため、ガンマ線を用いた水分測定装置を用いた測定を行った。

B) 実験概要

吸塩水実験に用いた装置の概要を Fig.4 に示す。純粋に含浸させた試験体を 60 °C で 3 日以上乾燥させたものを初期状態とし、まず純水の吸水実験を行った。その後再度 60 °C で試験体を 3 日以上乾燥させ、0.61mol/l の塩溶液で吸水実験を行った。試験体には(1)で用いたのと同種の凝灰岩を実験に用い、試験体の数は 6 とした。ただし、純水の吸水速度がほぼ同一の固体以外は検討から除外した。また、質量減弱係数は純水と塩溶液で若干のずれが生じるため、事前に各溶液の質量減弱係数の測定を行い、吸水過程は短時間で生じるためその濃度は時間・位置によらずほぼ一定であると仮定した。

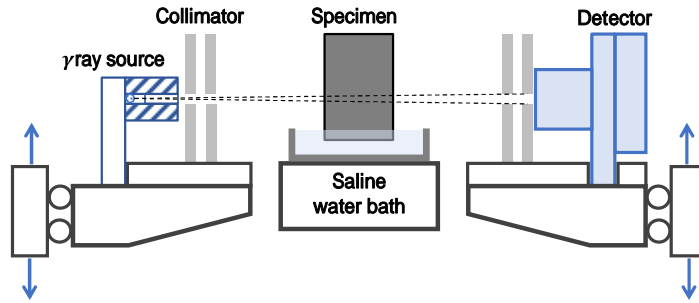


Fig.4 吸塩水実験の装置概要

C) 実験結果

Fig.5 に吸塩水実験時における試験体内部の含塩水率分布の経時変化を示す。実線は純水の、点線は0.61molalのNaCl溶液の結果を示し、青線は1.5時間後の結果を、黒線は6時間後の結果を、赤線は12時間後の結果を示す。透水係数の結果同様、0.61molalのNaCl溶液の方が純水よりも吸水速度がやや早くなっているのが分かる。次に、Fig.6に試験体の平均の含塩水率の経時変化を示す。図中の経過時間に対する含塩水率の関係の傾きが吸水性に相当する。0.61molalのNaCl溶液の方が純水よりも約20%吸水性が高くなっていることが分かり、透塩水係数の測定結果と同様の結果が得られた。

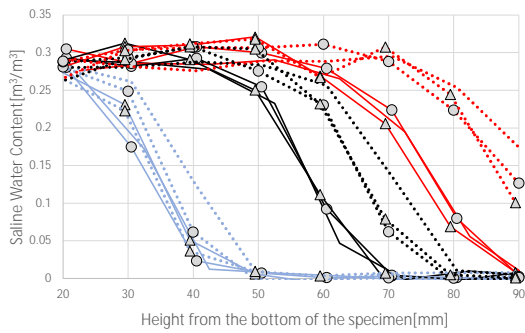


Fig.5 吸塩水実験の結果 (その1)

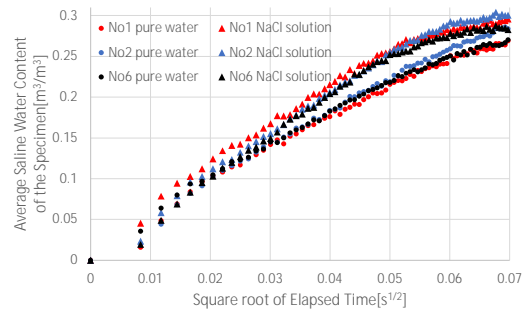


Fig.6 吸塩水実験の結果 (その2)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

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 令和3年度 日本建築学会 近畿支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 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と結晶の熱力学的平衡状態に関する考察
3. 学会等名 令和3年度 日本建築学会 近畿支部研究発表会
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 2021年度 日本建築学会大会（東海）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K Sakai, N Takatori, D Ogura, S Wakiya, M Abuku
2. 発表標題 Investigation of the transport properties for saline water in porous materials - Modeling of the permeability coefficient for saline water-
3. 学会等名 International Buildings Physics Conference 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N Takatori, K Sakai, D Ogura, S Wakiya, M Abuku
2. 発表標題 QUANTITATIVE PREDICTION OF DESALINATION: HOW MUCH DOES SALINE WATER PERMEABILITY DEPEND ON SALT CONCENTRATION?
3. 学会等名 Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures 2021 (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
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 令和4年度 日本建築学会 近畿支部研究発表会
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 2022年度 日本建築学会大会 (北海道)
4. 発表年 2022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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------