

## 大谷石の風化防止に基づいた劣化機構に関する検討

宇都宮大学 学生会員 ○屋敷 拓海  
宇都宮大学大学院 正会員 清木 隆文

## 1. はじめに

## (1) 研究背景

大谷石(おおやいし)は、今から 1500~2000 万年前に海底火山が噴火し、その際に噴出した火山灰や砂礫が海水中に沈殿して固まってできた軽石火山礫凝灰岩である。大谷石は、栃木県宇都宮市の中心市街地から西北 8km の地点にある大谷町を中心産地として、東西約 4km, 南北約 6km にわたって分布している。大谷石には、「ミソ」と呼ばれる斑点状の模様があり、軽い、軟らかい、孔が多いなどの凝灰岩の特徴を併せ持つ。また、耐火性に優れていること、軟らかく加工がしやすいこと、素朴な風合いなどから建材として重用されてきたり。

## (2) 研究目的

大谷石は風化の進行が早いことが課題として挙げられている。雨風に晒され石表面が剥離したり崩れたりして、本来の新鮮な淡緑色の色合いから赤褐色や黒ずんだ色合いに変化する。こういった風化現象を抑制すべく、本研究では、風化・変色の予防、変色した表面の改善に優れた性能を示す大谷石表面処理剤(以下、処理剤)を大谷石の表面に塗布し様々な実験を通して、大谷石の風化メカニズムの解明に努め、風化を防止することを目的とする。

## 2. 実験の概要

本研究では、採石後 1 年以上が経過し、表面の赤褐色化が進んだ大谷石試料(約 30mm×50mm×50mm, 以下、試料)を用意する。処理剤の原液、処理剤と水との比率が 1:1, 1:2 の液剤を用意し、赤褐色化が進んだ大谷石の面積のおよそ半分に液剤を染み込ませたシートを被せ、1 分後シートを剥がす。シートをはがしてから 30 秒後ごとに変化の様子を記録し、6 分目以降は 1 分ごとに記録し、変色還元速度を比較する。このとき、分光測定器を用いて、肉眼での比較だけでなく  $L^*a^*b^*$  の色調値の面からも変色度合いを定量的に測定する。この時の変化のメカニズムをキーワード 大谷石, 風化, 色調変化

査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope, 以下 SEM), X 線粉末回折試験(X-ray powder diffraction test 以下 XRD), 薄片試料の作成及び観察, 針貫入試験等を通して明らかにする。

## 3. 実験結果と考察

## (1) 分光測定試験

肉眼で確認できる範囲では、原液は約 1min~1.5min で色調が還元され淡い緑色となり、1:1 は約 3min~4min, 1:2 は約 4min~5min で色調が還元されていることから、処理剤の濃度が高いほど変色還元速度も早いといえる。分光測定試験による  $a^*$  値を表-1 に示す。 $a^*$  値がマイナスに近づくほど色調が緑色を呈し、還元されているといえることから、色調還元効果を確認することができた。塗布前と塗布 1 日後の  $a^*$  値の差を比較すると、原液の効果が最も大きく、続いて 1:1, 1:2 の順となっている。よって、処理剤の濃度が高いほど色調還元効果が高いことが明らかになったが、これは濃度が高いほど処理剤に含まれる成分と大谷石表面に含まれる成分がより多く結びつき、色調還元が促進されるためであると考えられる。

表-1 分光測定試験による  $a^*$  値

	塗布前	1日後	新鮮	-2.44
原液	2.02	-2.78		
1:1	1.16	-2.64		
1:2	1.4	-1.85		

## (2) SEM による大谷石表面の観察

SEM で新鮮な大谷石表面と赤褐色化した大谷石試料表面を観察した結果、構造上に大きな違いは見られず、大谷石が赤褐色化することで試料表面の構造に変化が生じるわけではないことが確認された。このことから、赤褐色化は大谷石の表面に汚れや不純物が蓄積されること、表面が削れる、崩れるといった変化ではなく、外気に長期間晒されることによって酸化や風化が促進されることが原因と考えられる。試料表面の構造という目に見える部分ではなく、

マクロな存在である物質の化学的変化などにより色調変化していることが考えられるため、今回 SEM では大きな違いが確認できなかつたと推察する。また、処理剤を塗布することで試料表面が塗り固められている様子が確認された(図-1)。これは、試料表面の間に処理剤が入り込み、乾燥し固まることで、撥水効果を発揮していると考えられる。

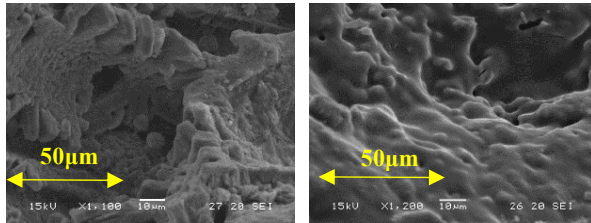


図-1 左：新鮮大谷石，右：大谷石表面処理剤を塗布

(3) XRD による分析

XRD により新鮮な大谷石、赤褐色化した大谷石、処理剤を塗布した大谷石の構成物質を確認した結果、ピーク位置は一致し、一部を除きピーク強度に大きな差は見られなかつた(図-2)。また、3種類とも斜ブチロル沸石(Clinoptilolite)と石英(Quartz)が同定された。この結果から、色調変化している試料表面と新鮮な石表面の鉱物の構成は同じであり、色調変化と構成鉱物には関連性がないことがわかる。今回試料に使用した赤褐色化した大谷石は、屋内で保管されていたため風雨の影響を受けずに色調変化した。このために鉱物構造は試料表面で崩れずに存在していたため、鉱物組成に変化が見られなかつたと推察できる。また、処理剤は色調を還元し、試料表面を塗り固める効果があるが、それによって鉱物を溶かす、崩すといった影響を与えないため、ピーク位置やピーク強度に大きな差が見られなかつたと考えられる。

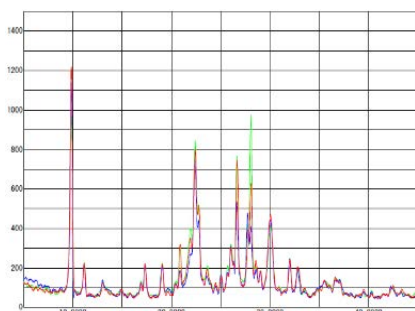


図-2 赤：新鮮，青：赤褐色化，緑：大谷石表面処理  
縦軸が強度(cps)，横軸が回折角度(deg)

(4) 薄片試料の作成過程と観察結果

処理剤を塗布した大谷石の薄片試料には比較的綺

麗な緑色を呈する緑泥石 Chlorite(Chl)が確認された(図-3)。これは、処理剤の塗布により、鉱物の表面にも薄い被膜が張られることで水分の浸入を防ぎ、薄片作成過程における鉱物流出を防いだ結果である。また、処理剤を塗布したものが最も大谷石そのものの構造や形を崩さず薄片を作成できた。これは表面の間に処理剤が浸透し、鉱物の配列が崩れにくくなり、耐水性能が高まった結果であると推察する。

(5) 針貫入試験による強度分析

針貫入試験では、大谷石試料表面の強度を測定した結果、新鮮な試料の針貫入抵抗値 NP(N/mm)がもともと高いが、次いで赤褐色化した試料よりも大谷石表面処理剤塗布のものが強度が高い結果となった(表-2)。これは処理剤の塗布で石表面が塗り固められることにより強度が高まる傾向を示している。

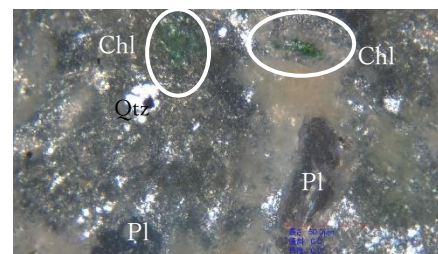


図-3 大谷石表面処理剤塗布 直交ニコル

表-2 針貫入勾配 NP 値(N/mm)

新鮮な大谷石	137.8
赤褐色化した大谷石	100.1
大谷石表面処理剤を塗布した大谷石	119.9

4. まとめと今後の課題

本研究で用いた処理剤は、濃度が高いほど試料表面の色調還元効果が高いことが確認できた。SEM による観察結果からは褐色化した大谷石表面の色調を還元する効果は大谷石の構造に大きな影響を及ぼしておらず、化学的変化の効果であると考えられる。XRD から処理剤を塗布したものを除き色調変化と構成鉱物には関連性がないことがわかつた。薄片試料の作成と針貫入試験から石表面の間に処理剤が浸透し、塗り固められることで鉱物の配列が崩れにくく、強度が増したと推察できる。今後の課題は、化学的変化の観点からも大処理剤の塗布で風化による劣化防止ができる仕組みを明らかにする必要がある。

参考文献

(1) 徳留雄太, 清木 隆文, 飯村 淳: 大谷石の風化による表面変化と強度の関連に関する検討, 第 48 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, 土木学会, pp 264-269, 2022.1