

## 大谷石の風化原因と色調及び強度変化に関する検討

宇都宮大学 学生会員 ○ 依田さやか  
 熊本市 榎木康佑  
 宇都宮大学大学院 正会員 清木隆文

### 1. はじめに

#### 1.1 研究背景

大谷石は、栃木県宇都宮市北西部に位置する大谷地区で産出される軽石火山礫凝灰岩である。これらは耐震、耐火性に優れ、加工しやすく、味のある自然な色合いを持つことで有名である。しかしその一方で風化の影響を受けやすく、それに伴い色調変化や強度低下、岩盤表面の剥離などが発生する。既往の研究<sup>1)</sup>によると大谷石の色調変化に影響を与える原因はFe(鉄の可能性が高い)といわれている。谷石に含まれる白緑色の水酸化鉄(II)(Fe(OH)<sub>2</sub>)が空気中の酸素や水分と反応し、褐色の水酸化鉄(III)(Fe(OH)<sub>3</sub>)に変化することが報告されている。本研究では擁壁モデルを作成し、大谷石の風化に伴って起こる色調変化と強度の関係を確認する。また、大谷石擁壁の最上部は雨等から保護する笠石と呼ばれる部分がある。この笠石の黒色変化について成分分析、分光測定試験、針貫入試験を行う。

#### 2. 試験方法について

##### 2.1 笠石の成分分析

大谷石に発生する特徴的な色調変化のひとつに黒色変化がある。この黒色変化は主に大谷石で作られた擁壁の笠石部分に見られることが多く、通常の色調変化とは違った色の変化を示す。この黒色変化した大谷石は赤褐色に変化した大谷石と比べて強度が高く、内部構造に何らかの変化がある可能性があると考えられる。そこで、電界型走査型電子顕微鏡(FE-SEM.EDX)を用いて新鮮な大谷石及び、黒変色した大谷石試料の観察を行い、それぞれの変色によって構造上の違いが無いかを確認する。また、大谷石の構成元素を特定した後、定量分析を行い大谷石表面の変色の原因を特定することを目的とした。

##### 2.2 擁壁モデルによる風化の加速試験

擁壁の水による風化現象の進行の再現を試みるため、50 mm×100 mm×30 mm に形成した大谷石試料を3つ用いて1つの擁壁モデルを作成する(図-1)。擁壁モデルは6つ作成した。蒸留水に浸した布を使用し、蒸留水の侵入面を擁壁の笠石の上部分と擁壁下部の床部の2つに絞る。これにより実際の大谷石擁壁の水分供給の仕組みを再現できると考える。水分の蒸散速度を加速させるために50°Cに設定したインキュベータに入れて擁壁モデルを観察する。1サイクルは、16時間水を

供給し、8時間は水を供給せず乾燥させるとして、1週間に7サイクル行い、分光測定器を使用した分光測定試験により定量的に色調の測定を行う。この作業を4週間継続した。経過観察は、1週間毎に分光測定試験と針貫入試験を行う。大谷石は柔らかく、また風化は石の表面の1mm~2mm程度で起こるため、針貫入試験は0.5mmを基準として行う。この時の針貫入勾配をNP(0.5)とする。

### 3. 実験結果

#### 3.1 笠石の成分分析

既往の研究<sup>1)</sup>より、大谷石表面をSEM(Scanning Electron Microscope)によって観察すると、新鮮な大谷石において確認されている構造は、岩屑状、柱状、平滑、平坦の構造である。また、今回の観察でも新鮮な大谷石において、既往の研究と同様の構造が確認できた。黒色変化した笠石部分はどれも表面が溶けたような状態になり、構造の違いの判別はできないほどであった。さらに大谷石の表面をEDX(Energy Dispersive X-ray spectrometer)により元素分析を行った。すると、新鮮な大谷石、黒色変化した笠石ともにSi(ケイ素)、Al(アルミニウム)、K(カリウム)が多く含まれ、これらの元素が全体の8~9割以上を占めていた。これらの他に、Na(ナトリウム)、Ca(カルシウム)、Fe(鉄)が含まれていることも確認された。

#### 3.2 擁壁モデルによる風化の加速試験

大谷石擁壁の面について、擁壁下部の床部分を①、擁壁の側面については下部を②、その上部を③、笠石の上部部分を④とした。①と④が水分の供給面である。分光測定試験、針貫入試験は②~④の面について行った。分光測定試験では2週間まではa\*値の大きな変化は見られなかった。針貫入試験では、時間の進行とともにNP値は下がった。また、肉眼では1週間を過ぎたころからミソの部分では色が濃くなった。また水分を供給した後に、水の供給面のミソの部分が水を含み膨れ、乾燥すると元に戻ると同時に次第に剥がれ落ちることが確認できた。

### 4. 考察

#### 4.1 笠石の分析結果について

平滑な構造は分析により、SiとO元素のみで構成されている場合やSi、Oの他にNa、Ca、K、Alが含まれていることが明らかとなった。このことから、平滑な構造はSiO<sub>2</sub>(二酸化ケイ素)から構成されたClinoptiloliteであると考えられる。柱状連絡先〒321-8585 宇都宮市陽東7-1-2 宇都宮大学岩盤工学研究室 TEL028-689-6216

の構造(図-2)は大谷石の内部で多くみられる。規則性がなく様々な方向に結晶が向いているため Clinoptilolite の可能性が高い。岩屑状の構造は、基質部の大部分を占めていることが確認できた。大谷石表面にも多く存在することが考えられ、この構造は Clinoptilolite と考えられている。平坦な構造は赤褐色や黒色変化した大谷石試料に多く見られた。特徴としてはひび割れが生じ、部分的に剥がれていることが確認できた。これは水分の付着によって、岩屑状の構造が溶脱した可能性がある。以上の構造に加え、平坦な構造がさらに変化したと考えられる石の表面が溶けたような構造(図-3)が見られた。この構造は擁壁の笠石が黒色変化した部分にみられた。分析の結果よりこれも岩屑状の構造と似ていることから、水分の付着によって岩屑状の構造が溶脱した可能性がある。既往の研究<sup>2)</sup>より大谷石を構成する元素を空気中の水分や雨水などの付着によって溶解度の高い順に整理すると、Na, Ca > K, Si > Fe, Al となり、Na や Ca が溶解しやすい元素であるといえる。Si も風化が進むにつれて、K(カリウム)同様に溶脱することが分かっている。よって、離脱されにくい Fe や Al に富む岩石に変化する。よって、笠石は黒く変色すると、強度が高くなる傾向があると考えられる(表-1)。

4.2 擁壁モデルによる風化の加速実験

図-4、図-5 より②、④の面は時間が経過するにつれて、a\*値は上昇し、それに伴い侵入する針の長さも増えていった。これより色調変化が進むにつれて石の表面が脆くなり、大谷石表面の強度が小さくなると考えられる。また色調変化と強度の低下は水分を供給していない面でも進行した。このことから大谷石中に侵入した水分は空気に触れている様々な面から蒸発していると考えられる。よって色調変化と強度の低下には大きな関連があることがわかる。また、ミソの部分の色調変化が進みやすいのはほかの部分に比べ柔らかく、水を吸いやすいためであると考えられる。

5. まとめ及び今後の課題

擁壁の笠石部分は、もとは岩屑状の構造であったものが空気中の水分や雨水などの付着や太陽光などの影響により、Fe や Al などの鉱物が残留し、風化が進行することで、Quartz(石英)そのものや Clinoptilolite に含まれる Si も溶脱され、溶脱されにくいと考えられている Al や Fe などの鉄鉱物が笠石表面に残留し、単純に赤褐色に変化するよりも、高い強度になると考えられる。しかし本研究において Clinoptilolite が溶脱されることで大谷石の構造に変化に影響を与えている可能性を示唆したが、実際に溶脱性を確認するための実験として、長期的に水分と色調変化の関係を観察し、Clinoptilolite がどのような特性をもち、時間の経過とともに変化するのか検討する必要がある。笠石の表面が溶けた様な構造となる原因はほかの部分に比べ日光や雨水などの影響を多く受ける面積が多いことと考えられる。また、笠石部分が新鮮な状態からどのよう

な過程を経て黒色化するのかが確認する必要がある。擁壁モデルの実験より、色調変化が進行するにつれて強度が低下することは確認できたが、笠石の黒色変化については、強度に寄与する背景が確定的に確認できていないため、笠石黒色化を再現する長期間の実験を経ての強度発現の過程を確認する必要がある。

参考文献

- 1) 清木 隆文, 榎木 康佑, 鶴田 亮介, 飯村 淳, 大谷石の色調変化定量化及び 剥離防止法に関する検討, 第 47 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.68-73, 土木学会, 2020.1.
- 2) 岡本研, 岩石の風化作用から何を学ぶか, 研究紀要第 18 号, 2006.

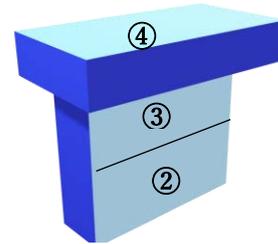


図-1 擁壁モデルのイメージ図

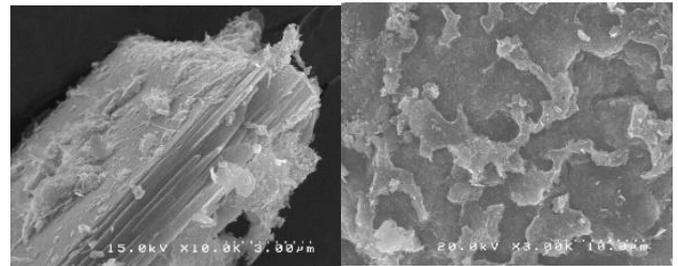


図-2 柱状の構造

図-3 溶けたような笠石表面構造

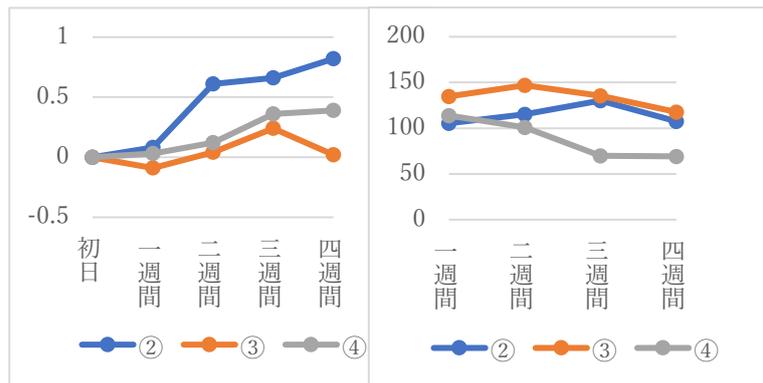


図-5 a 値の変化

図-6 貫入深さ 0.5mm を基準とした場合の NP 値

表-1 a\*値と NP 値の比較

	a値	NP(0.5)(N/5mm)
笠石	3.62	103.84
新鮮な大谷石	-2.72	122.76