

風化に伴う大谷石の色調変化の原因に関する検討

宇都宮大学 学生会員 ○ 関川 浩平
 宇都宮大学大学院 学生会員 佐藤 陽
 宇都宮大学大学院 学生会員 菊池 健太
 宇都宮大学大学院 正会員 清木 隆文

1. はじめに

(1) 研究背景と目的

宇都宮市は軟岩である大谷石(流紋岩質熔結凝灰岩)の産地である。この大谷石は、耐火性、耐震性に優れており、主に土木、建築材料に利用されている¹⁾。また、大谷石は花崗岩等の硬岩と比較しても軟らかく、加工しやすい一方で、風化の進行が早く、それに伴い強度低下や岩石表面の欠落がよくみられる。数年経過した大谷石の表面には、凹凸やミソ部分の欠落による穴ができ、強度の低下につながっている。

これまでに大谷石などの堆積軟岩について、乾湿履歴や凍結融解履歴によって発生した風化現象についての研究は多くあるものの、風化による色調変化の原因を探究した研究は少ない。「風化に伴いどのように鉱物組成は変化し、色調に関係しているのか」ということに着目し、鉱物組成、色調の変化の特性把握を行う。

2. 対象とした現場の風化と試料の採取について

(1) 大谷石の風化の種類について

大谷石の風化は、1)赤褐色に変色するもの、2)白色の粉状あるいはかさぶた上に肌落ちするもの、3)ある一定の深さで板状に肌落ちするもの、の3種類に大別される¹⁾。本研究では、1)の風化状態に着目した。

(2) 試料の採取

観察、試験に用いた試料は、大谷石採石地下空間より採取した。この地下空間より、切り出して間もない淡緑色の新鮮な試料と、切り出してから30年経過した大谷石の壁面の赤褐色に変色した表面をハンマーなどで削り粉末状の試料を採取した。

3. 試験項目

(1) 針貫入試験

大谷石に針を貫入することによって針貫入勾配 NP を測定し、換算一軸圧縮強さを求めた。

(2) X線粉末回折試験

風化による大谷石の構成成分の変化を調べるためにX線粉末回折試験を行った。

(3) 分光測定試験

風化程度を色調で判別するために、分光測定器を用いて色調変化の測定を行った。分光測定器の色度表色系は、 $L^*a^*b^*$ であり、 L^* 値は黒(0)白(100)、 a^* 値は赤(+)緑(-)、 b^* 値は黄(+)青(-)に対応する。

(4) 走査型電子顕微鏡

走査型電子顕微鏡(FE-SEM.EDX)で定性元素分析により得られた原子数濃度から元素の含有量を推定した。

(5) FeS₂(黄鉄鉱)抽出試験

大谷石中にFeS₂(黄鉄鉱)は含まれ、化学的風化作用によりFe₂O₃(酸化鉄)に変化し色調に影響すると考えられている。既往の研究¹⁾において、新鮮な大谷石中の黄鉄鉱は検出されておらず、HF(フッ化水素酸)処理による粘土鉱物の分離により黄鉄鉱の析出²⁾を試みた。

(6) 屋外暴露試験

試験では13 cm×6 cm×7 cmの直方体に成形したものをを用いた。試料に与える環境条件は6条件に設定した(表-2)。試験項目は針貫入試験及び分光測定試験、X線粉末回折試験である。

4. 試験結果及び考察

(1) 色調変化と一軸圧縮強さの関係及び構成成分の変化

採石年数が経過することによって、色調値 a^* が緑色系から赤色系へと変化していることが分かる(図-1)。また一軸圧縮強さは採石年数が経過して、色調値 a^* が赤色系になるにつれ、大きくなっている。これは大谷石の風化作用により析出されるGypsum(石膏)(表-1)の自硬性が原因であると考えられる。

(2) 黄鉄鉱抽出試験結果

黄鉄鉱抽出試験によって析出した鉱物をX線粉末回折試験で分析を行うと、黄鉄鉱ではなく、Magnetite(磁鉄鉱)が検出された(図-2)。また、走査型電子顕微鏡に

よって定量的分析を行った結果、Titano-magnetite (チタン磁鉄鉱)と呼ばれる鉱物を含む結晶群が検出された(写真-1)。

(3) 屋外暴露試験結果

針貫入試験の結果、換算一軸圧縮強さは条件①、②の試料は低下していないのに対し、条件③、④、⑤、⑥の試料は著しく低下した(図-3)。また、分光測定試験の結果、緑色系から赤色系へ条件①、②の試料が著しく変化した(図-4)。このことから、条件①、②は外気に曝されている環境条件であり、雨風などの外的要因による乾燥湿潤の繰り返しで試料の表面は多孔質になる一方で、乾燥により固結することで換算一軸圧縮強さが著しく低下しないと考えられ、色調値 a^* はこのような厳しい環境条件下では、緑色系から赤色系へ大きく変化することが分かった。

5. まとめおよび今後の課題

黄鉄鉱抽出試験では、黄鉄鉱を検出することができなかった代わりに Titano-magnetite (チタン磁鉄鉱)を含む結晶群が検出された。よって、赤褐色に変色させる鉱物は黄鉄鉱ではないと考えられる。さらに、今回、検出された Magnetite の風化への関与についても検討が必要である。また、屋外暴露試験を行った結果、大谷石の変色は環境条件に大きく関係すると考えられる。今後、さらに実験を重ね、大谷石を赤褐色に変色させる鉱物を特定し、新鮮な大谷石の色調が変化する原因と工学的性質の関係を明らかにする。

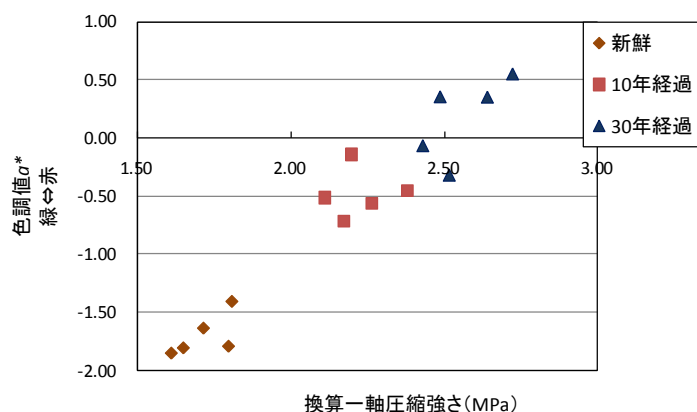


図-1 色調変化と換算一軸圧縮強さの関係

表-1 経過年数による構成成分の変化

構成鉱物 (和名)	新鮮(%)	10年経過(%)	30年経過(%)
Clinoptilolite(単斜ブチロ沸石)	63.0	54.0	45.0
Quartz (石英)	18.7	15.0	1.3
Cristobalite (クリストバル石)	13.5	6.9	3.7
Tridymite (鱗珪石)	1.6	9.0	5.3
Albite (曹長石)	3.2	2.7	0.2
Thenardite (テナルド石)	0.0	2.7	6.5
Gypsum (石膏)	0.0	9.0	38.0
unknown	0.0	0.7	0.0
合計	100.0	100.0	100.0

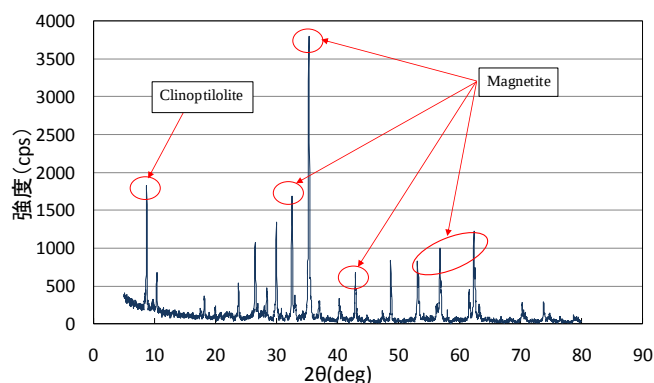


図-2 黄鉄鉱抽出試験

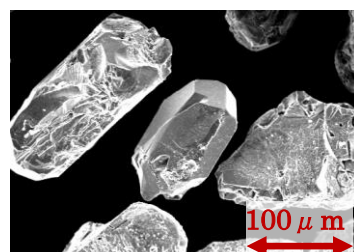


写真-1 SEMによるチタノマグネタイトを含む結晶群

表-2 環境条件

条件	設定した環境条件
①	そのままの状態
②	水分を過剰に与えた状態
③	日陰に置き、暗幕をかけ、日射を遮った状態
④	日陰に置き、暗幕をかけ、日射を遮り、水分を過剰に与えた状態
⑤	圧縮性のビニールカバーで雨水及び外気の接触を遮った状態
⑥	日陰に置き、暗幕をかけ、圧縮性のビニールカバーで雨水及び外気の接触を遮った状態

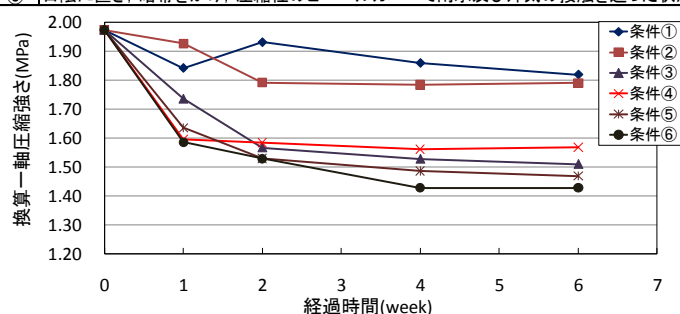


図-3 換算一軸圧縮強さと経過時間の関係

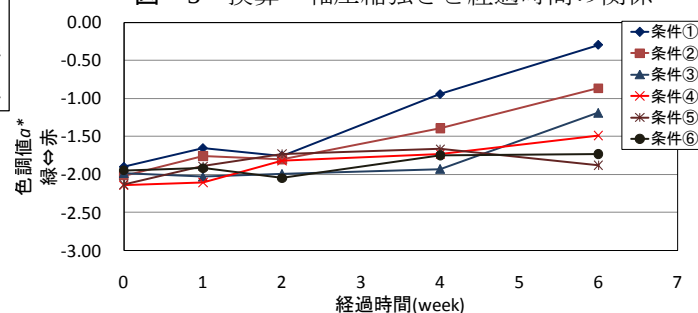


図-4 色調値 a^* と経過時間の関係

参考文献

- 1) 佐藤陽, 清木隆文: 風化による大谷石の構成成分と表面色調への影響及び強度変化に関する検討, 第12回岩の力学国内シンポジウム, 6ps, CD-ROM, 岩の力学連合会, 2008.
- 2) 石田啓祐, 西山賢一, 佐藤威臣, 竹熊隆宏, 長谷川修一: 泥質岩の風化指標としての微細黄鉄鉱抽出法, 徳島大学総合科学部自然科学研究, pp.5-33, 出版, 2006.