

試験条件別に設定した大谷石の色調変化の原因究明に関する検討

宇都宮大学 学生会員 ○平間 勇輝
大谷石産業 (株) 飯村 淳
宇都宮大学大学院 正会員 清木 隆文

1. はじめに

栃木県宇都宮市は代表的な堆積軟岩である大谷石（軽石火山礫凝灰岩）の産地であり、これらは耐震性、耐火性に優れ、味のある自然な色合いを持つことで有名である。また、大谷石は軟岩に分類され、加工しやすい点から、主に建築材料として広く利用されてきた。その一方で風化の影響を受けやすく、それに伴って色調変化や岩石表面の剥離などの現象が多数報告されている。また、大谷石の風化に伴う色調変化の原因究明のために様々な液体サンプルを用いて大谷石表面に塗布し、その還元後の色調の様子から明らかにしようとする研究も行われている。

大谷石の色調変化は、その環境条件や管理状態の違いによって色調変化の進行に差が生じ、室内で管理されている大谷石と屋外で管理されている大谷石では、色調変化の程度に大きな差が現れていることが確認されている。実際に外壁に使用されている大谷石の多くは赤褐色や黒色に変化している。自然な色合いを持つ大谷石は建材として魅力的であるが、色調が変化すると、一様に色調が変化せず、変色速度が推定できないことが問題である。そこで、本研究では大谷石に影響を与えられとされる環境条件を設定し、新鮮な大谷石の色調が変化する条件を実験的に検討し、色調値の測定、構成鉱物の特定、表面強度の測定を行うことによって、大谷石が色調変化する原因究明を目的とする。

2. 研究手順

本研究では、大谷石の色調変化に影響を与える要因を明らかにするため、新鮮な大谷石試料に対して、いくつかの環境条件を設定して、長期的な色調変化を観察するものとした。本研究で着目する要因は、日照、雨水、湿度であり、雨水に関しては蒸留水との比較も行い、化学成分も確認した。日光は紫外線、可視光線、赤外線成分がそれぞれ大谷石の色調変化に影響を与えたと考えた。既往の研究をもとに、特に紫外線の影響する可能性を裏付けるために、ブラックライトによる紫外線照射試験を行った。これらの実験に対して大谷石表面の色調を定量化するため、分光測定器によって色調値を測定した。さらに大谷石表面の変色に伴って、表面構造が変化し、それぞれの試験前後で強度が変化する可能性があると考えられたため、針貫入試験によって試料表面の換算一軸圧縮強度を測定した。また、色調変化の原因を明確にするために、X線粉末回折試験(XRD: X-Ray Diffraction meter test, 以下XRD)により構成鉱物の特定も行った。

3. 観察・試験結果

3.1 分光測定器における色調測定

本研究に使用した大谷石試料の寸法は 60×120×20 mm 程度とし、試験条件別に設定した大谷石試料の色調測定結果を図-1に示す。室内に静置したものは、切り出したままの大谷石と蒸留水、雨水を定期的に塗布した大谷石の3種類である。蒸留水と雨水を加えたものは、一度緑色に変化する傾向を示した後、他の試料と同様に赤色へと急速に変化している。屋外では、雨水の影響を排除するために大谷石試料を透明なプラスチックケースに入れ、直射日光が与える影響を確認した。大谷石試料を室内で静置したものに比べて、より顕著に赤褐色に変化する傾向がある。日照による色調変化の原因として、大谷石表面に含まれる鉱物の中に、太陽光成分を吸収することで、赤褐色に変化する鉱物の存在が考えられる。本研究では、観察期間を4ヶ月と設定したが、湿度を低減させて屋外に設置した試料は、他の実験条件と開始時期が異なり、1ヶ月間の結果を示した。

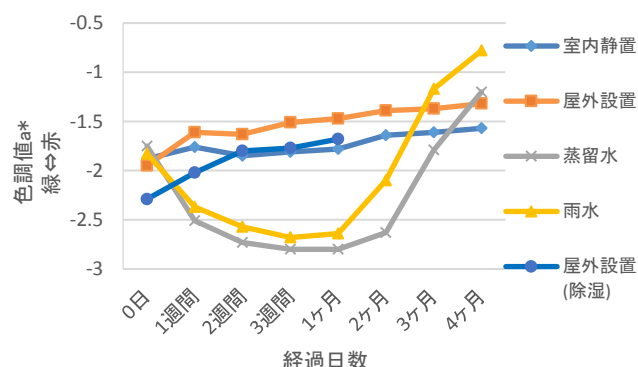


図-1 試験条件別に設定した色調値の推移

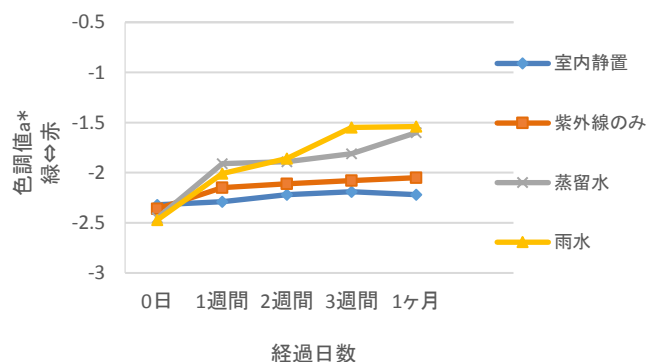


図-2 ブラックライトにおける色調値の推移

室内でブラックライトによる大谷石試料表面への紫外線照射試験を実施した結果を図-2に示す。使用したブラックライトは、UV-A(波長 400nm～315nm)、積算紫外線強度 0.677mW/cm²h の紫外線を発生させるもので、実験試料に1ヶ月間の連続照射した。また、屋外で計測した積算紫外線強度は 0.135mW/cm²h であり、ブラックライトによって照射される紫外線強度のほうが5倍近く大きい。同時期に室内に静置した試料と比較すると、紫外線のみを照射した試料は赤色に変化を示したが、1週間目以降の変化は小さい(図-2)。蒸留水と雨水を加えたものは、他の試料と比べて赤褐色への変化が顕著である。これらの結果から、紫外線が大谷石表面の色調に変化に与える影響は小さいと考えられる。

3.2 針貫入試験の結果

針貫入試験による換算一軸圧縮強さは、試験前に 2.81MPa を示すのに対して、試験後の室内と屋外に設置した試料では大きな変化はなく、蒸留水や雨水を加えたものは強度の低下が見られた。これらの原因として、大谷石表面の色調変化の表層深さに関係があると考え、雨水や蒸留水を加えた試料は色調変化における表層が深いと考えられる。また、変動率は測定によるバラつきを示したものである。試験結果をまとめたものを表-1に示す。

表-1 各試験条件における換算一軸圧縮強さ

管理条件	換算一軸圧縮強さ(MPa)	変動率
試験前	2.81	0.28
室内管理	2.76	0.28
屋外管理	2.68	0.24
蒸留水	2.20	0.30
雨水	2.17	0.28
屋外管理(湿度管理)	2.78	0.21

3.3 XRD 試験の結果

XRD 試験によって同定された鉱物と、その割合を図-3、図-4に示す。室内に静置した試料に対して、赤褐色に変化した試料の構成鉱物を比較すると、Clinoptilolite の割合が減少し、全体的に他の鉱物の割合が増加する傾向がある。構成鉱物の割合に変化が生じることから、鉱物構造が大谷石の色調変化に影響する可能性がある。

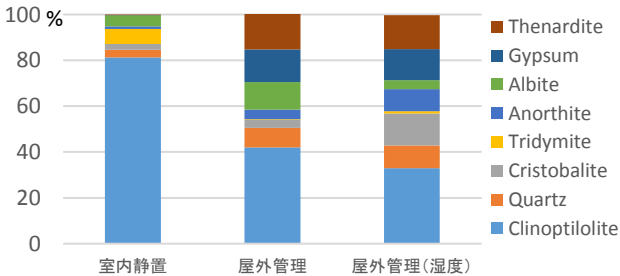


図-3 室内静置と屋外設置における構成鉱物の割合

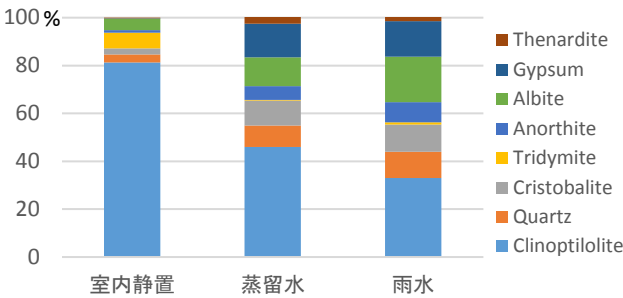


図-4 室内静置と蒸留水、雨水における構成鉱物の割合

4. まとめ

本研究では、日照、雨水、蒸留水、湿度による影響を設定し、大谷石試料の長期的な観察を実施した。日照による大谷石の色調変化が確認されたが、ブラックライトにより、紫外線のみを照射した試料の色調変化は小さいことが分かった。蒸留水と雨水を加えた試料はともに顕著な変化を示しているが、雨水の方がより赤褐色へと変化している。これは雨水に含まれる化学成分が影響すると考えられる。

これらの試験結果から、色調変化に影響を与える要因として、日照や水分の付着が関係すると考えられる。日照による色調変化の原因として、大谷石を構成する鉱物や元素そのものが太陽光成分の影響を受け、表面構造に変化が生じている可能性がある。また、水分の付着による色調変化の原因として、Clinoptilolite などの構成する元素と化学変化が生じ、大谷石の表面構造に変化が生じた結果だと考えられる。

5. 今後の課題

屋外に設置し、除湿を行った大谷石試料は、実験を開始した時期が異なるため、季節の違いによる日射量や紫外線強度などが異なる。それらの試験条件を統一することや、それぞれの時期の紫外線強度を比較することが必要である。

XRD による鉱物の同定を行い、各試験条件による構成鉱物の割合を確認したが、具体的な表面構造の確認や元素の分析を行っていない。色調変化の原因を解明するために、走査型電子顕微鏡(SEM: Scanning Electron Microscope)による観察や、エネルギー分散型 X 線分析装置(EDX: Energy Dispersive X-ray spectrometer)による分析を行う必要がある。これらの分析により、大谷石表面を構成する鉱物や元素の変化による、構造上の違いを明らかにする。また、使用した雨水の化学成分が、大谷石を構成する鉱物や元素に与える影響も検討する。

参考文献

1) 齊藤友彦, 井上達也, 中澤彩, 清木隆文: 風化に伴う大谷石の色調変化の定量化とその原因究明の試み, 土木学会第 39 回関東支部技術発表会講演概要集, III-5, 2012
2) 小森信男: 紫外線と塩酸による玄武岩の変質, 2004 年度春季研究発表会, pp. 306-307, 2004.