

# 環境要因に基づいた大谷石表面の剥離 および変色に関する検討

神保 南<sup>1</sup>・平間 勇輝<sup>2</sup>・飯村 淳<sup>3</sup>・清木 隆文<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>宇都宮市役所（〒320-8540 栃木県宇都宮市旭1丁目1-5）

<sup>2</sup>階上町役場（〒039-1201 青森県三戸郡階上町大字道仏字天当平1-87）

<sup>3</sup>大谷石産業(株)（〒321-0344 栃木県宇都宮市田野町318-3）

<sup>4</sup>正会員 宇都宮大学大学院（〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2）

\* E-mail:tseiki@cc.utsunomiya-u.ac.jp

大谷石は、花崗岩等の硬岩と比較しても軟質であり、加工しやすい一方で、地上環境では風化の進行が早く、それに伴う変色や強度低下、岩石表面の欠落がよく見られる。土木・建築用石材として使用されて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窪みができ、強度の低下につながっている。また、新鮮な大谷石は、淡緑色を呈するが、色調の変化を起こし、赤褐色へと変化する。このような風化現象の予測を可能にするためには、日照、降雨などによる水分、気温等の環境条件と風化現象と鉱物組成の変化の関係を捉え、風化を起こす因子を確認する必要がある。本研究では、室内、屋外の試験を通して、これらの関係を検討する。

**Key Words :** *Oya tuff, spalling, colour tone change, environmental factor*

## 1. はじめに

栃木県宇都宮市北西部に位置する大谷地区は建築用石材として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、耐震性、耐火性に優れていることから様々な用途に利用されてきた。また、これまでに大谷石等の軟岩を対象にして、多くの研究がなされてきた。特に、大谷石に、剥離や色調変化などの風化現象が起こる原因として、岩石に乾湿履歴が与えられること、凍結融解履歴が与えられること、塩類の析出による大谷石表面の剥離などがあげられることから、これまでに、乾湿繰り返し試験や凍結融解試験、屋外暴露試験による強度特性、塩類を析出させる風化実験などの研究が行われてきた<sup>1)5)</sup>。本研究では大谷石の風化現象に注目し、雨水や日光といった環境的素因と温度変化としての誘因に着目し、表面剥離や色調変化発生のメカニズムについて検討する。

## 2. 研究手順について

### (1) 剥離現象の解明について

本研究では、大谷石の風化における gypsum (石膏) の析出のメカニズムを確認するため切り出して間もない新鮮な大谷石と 1 ヶ月間の乾湿繰り返し試験と湿潤繰り返し試験を行い大谷石に人為的風化を

与え、針貫入試験、X 線粉末回折試験(X-Ray Diffraction meter test, 以下 XRD 試験)を行い、構成鉱物の変化の比較を行った。実際の民家に用いられている大谷石外壁の剥離の現状を知るために、赤外線カメラを用いて外部、内部で起きている剥離について観察を行った。また、このカメラの解析ソフトにより、温度変化が剥離に与える影響について考察した。

### (2) 色調変化の解明について

本研究ではまた、新鮮な大谷石試料に対して、環境条件を設定して、長期的な色調変化を観察した。本研究で着目した要因は、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、ICP 発光分析による化学成分の確認も行った。日照は紫外線、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、と考え、既往の研究<sup>2)</sup>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色調変化に伴って、表面構造が変化すると考えられるため、XRD 試験、電界放射型走査型電子顕微鏡(FE-SEM、以下、EDX)による構成鉱物や元素を分析し、針貫入試験によって換算一軸圧縮強さを測定した。

ここでは、石材会社が採石場から切り出して間もな

表-1 大谷石の設定条件

| 対象試料   | 保管場所   | 保管方法                       | 石に影響を与える要因    |
|--------|--------|----------------------------|---------------|
| 新鮮な大谷石 | 室内(暗室) | 静置                         |               |
|        |        | 雨水を塗布                      | 雨水            |
|        |        | 蒸留水を塗布                     | 蒸留水           |
|        | 屋外     | 屋外設置(プラスチックケース)            | 直射日光<br>外気の湿度 |
|        |        | 屋外設置(プラスチックケース)<br>(シリカゲル) | 直射日光          |

表-2 大谷石の構成鉱物の化学式と和名

| 構成鉱物            | 化学式                                                                                                                                    | 和名       |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| clinoptilolite  | $\text{Na}_{1.9}\text{K}_{1.68}\text{Mg}_{0.25}\text{Ca}_{1.16}\text{Al}_{6.3}\text{Si}_{9.6}\text{O}_{72}(\text{H}_2\text{O})_{20.1}$ | クリノタイライト |
| quartz          | $\text{SiO}_2$                                                                                                                         | 石英       |
| cristobalite    | $\text{SiO}_2$                                                                                                                         | クリストバル石  |
| tridymite       | $\text{SiO}_2$                                                                                                                         | 鱗珪石      |
| albite          | $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$                                                                                                            | 曹長石      |
| anorthite       | $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$                                                                                                   | 灰長石      |
| thenardite      | $\text{Na}_2\text{SO}_4$                                                                                                               | 芒硝石      |
| gypsum          | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$                                                                                              | 石膏       |
| montmorillonite | $(\text{Na}, \text{Ca})_{1.33}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{SiO}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$                 | モンモリロナイト |
| mirabilite      | $\text{Na}_2\text{SO}_4$                                                                                                               | ミラビル石    |

い新鮮な大谷石を60 mm × 120 mm × 20 mmの直方体供試体を試験対象とし、新鮮な大谷石が長期間の観察を経て、色調変化の状況を分光測定器で確認した。設定した試験条件を表-1に示す。

### 3. 試験結果と考察

#### (1) 剥離に関連した試験

##### a) 乾湿・湿潤繰り返し試験

各試料についてX線粉末回折試験を行った定量分析結果を示す。また、表-2に構成鉱物の化学式と和名を示す。各条件3つずつの供試体を用意し、その平均値を用いて値を算出し比較を行った。

##### i) 新鮮な試料

新鮮な試料では、大谷石の主成分として考えられているclinoptilolite(単斜プチロル沸石)の含有率は57.5%，quartz(石英)は11.9%であった。各サンプルにおいてclinoptiloliteの含有率が最も高くなり二次的生成物であるgypsum(石膏)は0.4%析出した。これは既往の研究で新鮮な試料からはgypsumは析出せず、切り出して30年経過した壁面から採取した試料ではgypsumが50%近く析出したことから、gypsumの析出が進行するためには雨水や地下水、空気中の水分の酸性成分と乾燥が必要であるため、切り出して間もない新鮮な試料ではその条件が満たされずgypsumの析出は微量となったと考えられる。なお、今回の試験では、大谷石試料を室内保管していたこともあり、水分の供給源は空気中だけからであった。既往の研究<sup>2)</sup>より、大谷石表面は水分の影

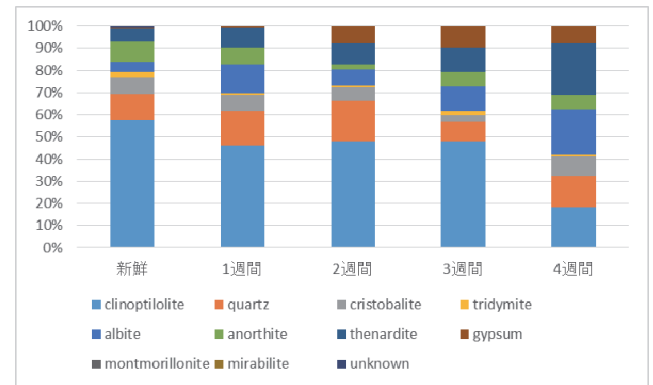


図-1 雨水で乾湿繰り返しした試料の定量分析結果

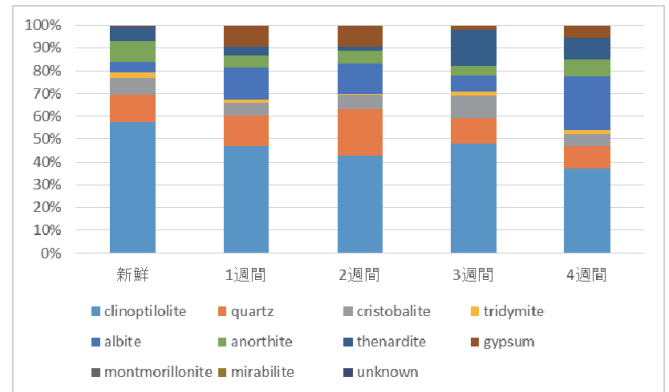


図-2 雨水で湿潤繰り返しした試料の定量分析結果

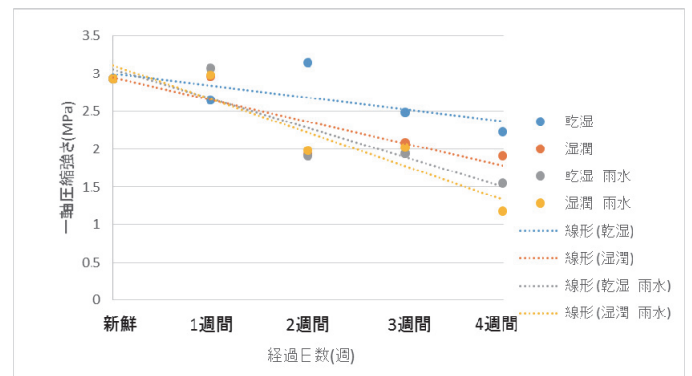


図-3 針貫入試験結果

響を受けやすいことが分かっているの、空気中の水分のみが大谷石に影響を与え、gypsumが析出したと推察される。そこで、空気中の水分の酸性成分や乾燥が必要であることを確認するために、乾湿繰り返し試験と湿潤繰り返し試験を行い、また、実際の雨水による影響が現れるか確認するために、水分供給源として、雨水と蒸留水を用いて、それぞれの比較を行うこととした。

##### ii) 雨水を用いて乾湿繰り返しした試料

実験開始後4週間の雨水での乾湿繰り返しした試料では、大谷石の主成分として考えられているclinoptiloliteの含有率は18.3%，quartzは14.0%であった(図-1)。二次的生成物であるgypsumは7.8%析出した。3週間目まではclinoptiloliteの含有率が最も高くなり、4週目ではthenardite(テナルド石： $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )が最も含有率が高い結果となった。



図-4 空洞化した壁面(赤丸内で空洞化)

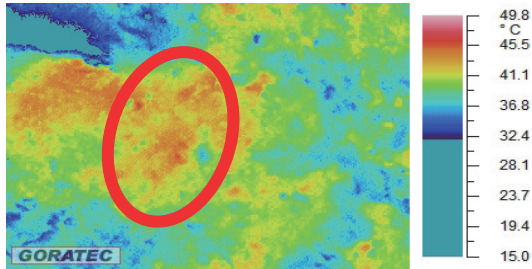


図-5 大谷石擁壁壁面(図-4)の温度分布画像

thenardite は mirabilite (ミラビル石) の脱水分解により生成するもので、mirabilite 自体は大谷石表面に霜柱のように針状結晶として産出する場合や、ミソ部が洗われて欠落した部分に gypsum を伴い析出するといわれている<sup>3)</sup>。4 週間目の試料の表面にミソ部が多かったこともあり、thenardite が clinoptilolite と比べても多く析出したと考えられる。

#### iii) 雨水を用いて湿潤繰り返しした試料

実験開始後 4 週間の雨水での湿潤繰り返しした試料では、大谷石の主成分として考えられている clinoptilolite の含有率は 37.0 %、quartz は 10.0 %であった(図-2)。各週において clinoptilolite の含有率が最も高くなり二次的生成物である gypsum は 5.6 %析出した。新鮮な試料と比べると、乾湿繰り返しした試料と同様に clinoptilolite の割合が低く、gypsum の割合は高くなった。この傾向は蒸留水を用いた場合も同様であった。以上のことから蒸留水、雨水どちらの条件においても乾湿や湿潤を繰り返すことによって、gypsum の含有率が高くなるとともに、大谷石の主成分と考えられている clinoptilolite の含有量が低くなっている。ただし、gypsum の析出量に着目すると雨水の条件下のものの方が顕著に現われている。また、3 週目で gypsum ではなく thenardite の析出が目立つ結果となった。

#### b) 針貫入試験

雨水および蒸留水を用いた各種実験の試料を対象にした針貫入試験の結果を図-3 に示す。測定はミソ部分を避けた基質部分に対して 25 か所ずつ行い、最大値と最小値のうち、極端な値をそれぞれ 3 点ずつ除き、計 19 か所の測定値の平均値を換算一軸圧縮強さとした。また、針の貫入量は、目測で 1/10mm までを読み取り値を算出した。

#### c) 赤外線法を用いた現地調査

本研究では、大谷石擁壁に対する塩類による影響を素因。温度による剥離への影響を誘因として着目

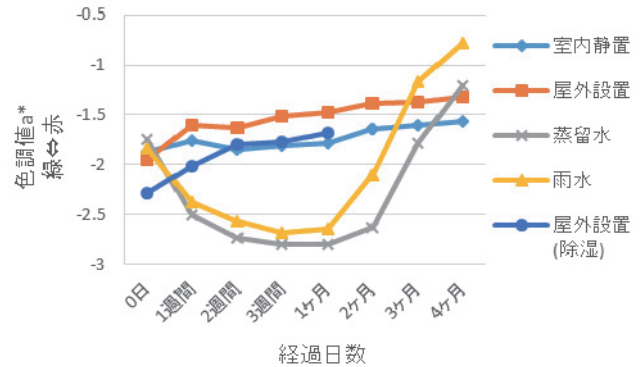


図-6 試験条件による大谷石試料の色調値の推移

した。本来コンクリート外壁の劣化診断に用いられる赤外線法<sup>6)</sup>により、実際の大谷石の擁壁を対象に調査した。擁壁の剥離部と健全部では、温度分布に差が生じ、赤外線カメラで大谷石擁壁の表面を撮影した温度分布画像をもとに剥離について検討を行った。

図-4、図-5 は 2016 年 12 月の午前中に撮影したもので、ハンマーによる打音によって剥離して空洞化していると判断される壁面である。こちらも温度が周りと比べて高く、日照による影響を受けやすいことが分かる。

## (2) 色調変化に関連した試験

### a) 分光測定器による測定

大谷石表面の色調変化を肉眼で捉えるには限界があるため、MINOLTA 社製の分光測色計 CM-600d を用いて、色調値の定量化を行った。本研究では、色調値  $a^*$  を用いて定量化における比較を行った。

#### i) 試験条件による大谷石の色調測定

試験条件別に設定した大谷石試料の色調測定結果を図-6 に示す。室内に設置した試料は、切り出したままの大谷石を静置した試料と蒸留水、雨水を 2 日に 1 回程度の定期的に塗布した試料の 3 種類である。屋外に設置した試料は雨水の影響を排除するために、大谷石試料をプラスチックケースに入れ、日照による影響を確認した。また、プラスチックケース内にシリカゲルを用い、除湿を試みた試料を設定することで、湿度の違いによる影響を検討した。

室内に静置した試料は長期間の観察により、徐々に赤褐色への色調変化の傾向を示すことが確認された。屋外に設置した試料は、室内に静置した試料と比較して赤褐色への色調変化がより顕著である。除湿を試みた試料は、試験開始時期や試料の採石時期が異なるが、1 ヶ月までの色調変化の推移を比較すると、屋外に設置した試料と傾向に変化は見られなかった。しかし、室内に静置した試料が日照による影響を受けなくても、色調変化が生じていることから、湿度の影響は無視できないと推測する。蒸留水、雨水を塗布して静置した試料は、赤褐色への色調変化が顕著であり、特に雨水を塗布した試料の方が色調変化の進行速度が早い傾向にある。ICP 発光分析

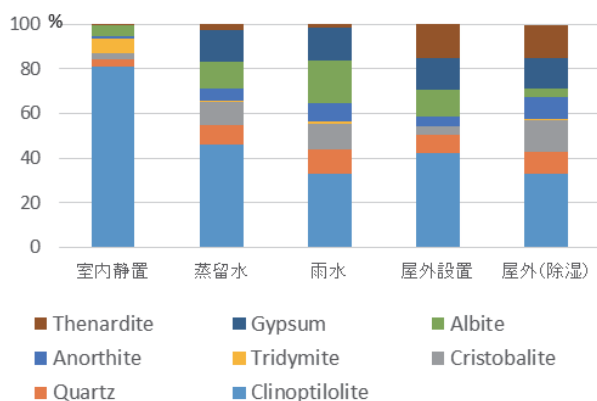


図-7 XRD 試験における定量分析結果

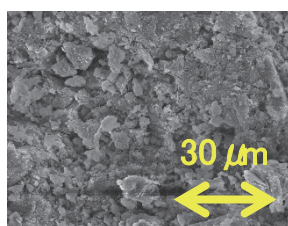


図-8 岩屑状

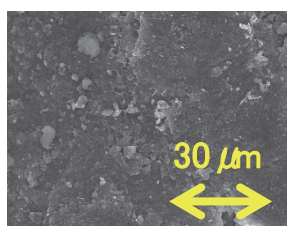


図-9 平坦

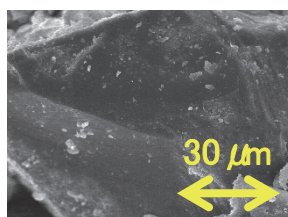


図-10 平滑

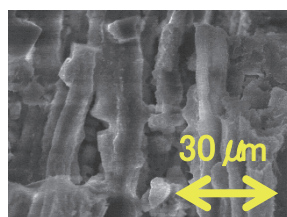


図-11 柱状

の結果から、雨水には Na(ナトリウム), Ca(カルシウム), S(硫黄)が含まれているため、これらの元素が影響を与えると考えられる。本実験は、大谷石の色調変化に水分が最も影響を与える要因であることを示す。

大谷石はclinoptiloliteを主要鉱物とする岩石である。色調変化が進行していない室内に静置した試料に着目するとclinoptiloliteの割合が80%以上を示し、gypsumやthenarditeの割合が1%未満を示している(図-7)。一方で、蒸留水や雨水を塗付し、静置した試料と屋外に設置した試料は、室内に静置した試料の分析結果とは異なり、二次的生成物であるgypsumが上昇していることが分かる。蒸留水や雨水を塗付し、静置した試料の傾向としては、thenarditeの割合は大きく変化せず、gypsumやalbite, anorthiteなどのその他の鉱物の割合が上昇し、clinoptiloliteの割合が減少している。屋外に設置した試料は、gypsumの他にthenarditeの割合が上昇し、蒸留水や雨水を塗付し、静置した試料と同様にその他の鉱物の割合が上昇し、clinoptiloliteの割合が減少している。これは、clinoptiloliteがNa, Ca, Kなどのイオン交換を行い、二次的生成物であるgypsumの析出に影響を与え、全体的な構成鉱物の割合に変化を与えたと考えられる。また、屋外に設置した試料のthenarditeの割合が

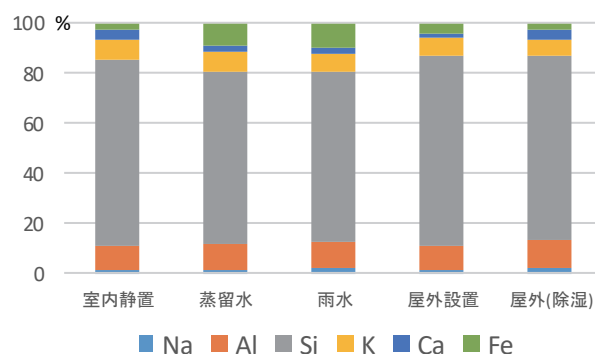


図-12 岩屑状の構造における構成元素の割合

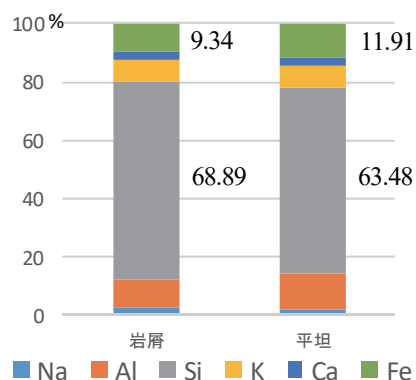


図-13 蒸留水塗布試料における元素分析の結果

上昇した原因として、mirabiliteの脱水分解の影響が考えられる。

#### b) SEMによる大谷石表面の観察結果

試験条件別に設定した大谷石試料をSEMで観察した結果、岩屑状、平坦、平滑、柱状の構造が確認された。SEMの観察倍率は、大谷石の構造を詳しく確認するため、1000倍とした。大谷石表面で確認された各構造の画像を図-8～図-11に示す。

#### c) EDXによる元素分析の結果

大谷石表面の構造の変化に伴い、大谷石を構成する元素の割合に変化が生じていると考えたため、EDXによる元素分析を行った。元素分析の結果から大谷石にFeが含まれていることが確認できた。試験結果を比較するため、どの試験条件でも確認された岩屑状の構造の元素分析の結果を図-12に示す。色調変化が進行していない室内に静置した試料と比較すると、色調変化が顕著であった蒸留水や雨水を塗布し静置した試料はSiの割合が減少し、Feの割合が上昇していた。これは、岩石の化学的風化作用<sup>4)</sup>から、大谷石を構成する鉱物が溶脱したと考えられ、鉱物の溶脱は風化の抵抗度によって決定すると考えられている<sup>7)</sup>。大谷石を構成する元素を溶解度の高い順<sup>9)</sup>に整理すると、Ca, Na > K, Si > Fe, Alであるため、clinoptiloliteの成分であるCa, Naが初期段階で溶脱され、風化と共にSiが溶脱されることにより、Siの割合が減少し、溶脱されにくいFeが残留したと考えられる。そのため、大谷石表面ではFeの割合が上昇し、Siの割合が減少したと推測する。

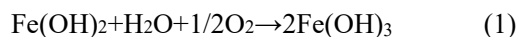
表-3 針貫入試験の結果

| 試験条件         | 換算一軸圧縮強さ(MPa) | 変動率  |
|--------------|---------------|------|
| 試験前          | 2.81          | 0.28 |
| 室内静置         | 2.76          | 0.28 |
| 蒸留水          | 2.20          | 0.38 |
| 雨水           | 2.17          | 0.28 |
| 屋外設置         | 2.68          | 0.21 |
| 屋外設置<br>(除湿) | 2.78          | 0.21 |

表-4 貫入量1.0mmにおける針貫入試験の結果

| 試験条件 | 換算一軸圧縮強さ(MPa) | 変動率  |
|------|---------------|------|
| 室内静置 | 2.65          | 0.20 |
| 雨水   | 1.75          | 0.19 |

SEMによる大谷石表面の観察結果から、蒸留水、雨水を塗布し静置した試料は平坦な構造が多く確認され、岩屑状の構造が溶脱した可能性を示したことから、岩屑状の構造と平坦な構造でEDXによる元素分析の比較を行った。試験結果を図-13に示し、蒸留水、雨水を塗布し静置した試料の傾向として、岩屑状の構造よりも平坦な構造の方がSiの割合が小さく、Feの割合が大きいことが確認された。このことから大谷石表面の鉱物が溶脱し、Fe成分が析出したことにより、色調変化に影響を与えたと考える。色調変化が進行した大谷石表面が赤褐色に変化していることから、鉄化合物として存在し、水酸化鉄の可能性が考えられる。色調変化のメカニズムとして、既往の研究<sup>9)</sup>から大谷石に含まれる白緑色の水酸化鉄(II)が空気中の酸素や水分と反応し、赤褐色の水酸化鉄(III)に変化したことが考えられる。これらの化学反応の機構を示した化学式を式(1)<sup>9)</sup>以下に示す。



#### d) 針貫入試験の結果

試験条件別に設定した試料において針貫入試験を行った結果を表-3に示す。それぞれの試料の実験結果のばらつきの程度を比較するため、変動係数(=標準偏差/平均値)を基準に判断することにした。針貫入量1.0mmの場合の換算一軸圧縮強さに関する試験結果(表-4)から、雨水を塗付した試料は室内に静置した試料に比べて約1.5倍となる結果が見られ、雨水を塗布した試料は室内に静置した試料よりも表層の強さが低い傾向があると考えられる。従って、雨水を塗布した試料のように、色調変化が進行した大谷石の層は深く、容易に針が通ったと考えられる。著者の試験時の感覚では、雨水を塗布した試料に針貫入を行う際、針貫入を始めてすぐに1.0mmに達せず、ある程度の貫入力を必要としたことから、色調変化を起こしたと考えられる層の深さは、1.0mmよりも浅いと考えられる。

## 4. まとめおよび今後の課題

### (1) 環境条件が大谷石剥離に与える影響について

乾湿・湿潤繰り返し試験によって、大谷石の主成分と考えられている clinoptilolite の含有量が低くなり、gypsum の含有率が高くなっている傾向が見られ、風化に伴って換算一軸圧縮強さも低下する傾向が見られた。これは既往の研究<sup>1)</sup>では新鮮な試料からは gypsum は析出しないことや、gypsum の析出は地下水の蒸散、浸透によって単斜プロチル沸石の CaO が溶脱され、その溶脱された CaO の Ca 成分と地下水の酸性成分が結合することで起こると考えられているので、地下水の残留要素と空気中の水分が結合し、大谷石中の Ca, Na 成分と反応し起こったと考えられる。また今回の試料は、内部ではなく表面を削った部分を用いたため水分の影響を受けやすい部分であった。雨水と蒸留水の成分の違いとして雨水にのみ S が検出されたこと、また雨水と蒸留水それぞれの条件での gypsum 析出量の違いから、S 成分による影響も考えられ、既往の研究では影響を与える酸性成分が硫酸イオンと考えている<sup>4)</sup>。また、大谷石表面は水分の影響を受けやすいこと分かっている<sup>2)</sup>、空気中の水分や酸性成分が乏しく微量ではあるが、空気中の酸性成分と結合した可能性も考えられる。

剥離が起こった部分には周囲の健全部と温度差が生じていることが赤外線法を用いた現地調査により明らかになった。また、現地壁面の様子を観察すると日射を多く受ける面(南向きの壁面)での剥離が目立つことから、一日の内で温度変化が大きいほど剥離に影響していることが考えられる。一方、現地調査では民家の表面が平坦な大谷石壁面では、剥離の予測に赤外線法を用いることはできたが、凹凸が激しい壁面においては同方法を使つての観察が困難であったため、赤外線法による剥離診断のデメリットが今回の観察で分かった。

大谷石表面の剥離現象が発生するメカニズムとしては、

- ① 雨水や地下水を供給源とした硫酸イオンや、空気中の微量な酸性成分と大谷石に含まれる Ca, Na 成分により gypsum の析出が起こる。
  - ② gypsum の析出により大谷石内部への弱面の生成、もしくは結晶圧により空洞化が引き起こされる。
  - ③ 日射や気温の変化による温度変化が起こりが、gypsum や空洞部が存在することによる大谷石内部の温度変化や大谷石表面の熱膨張の違いが引き金となり、剥離が起こる。
- と考えられる。

### (2) 大谷石の色調変化の原因について

#### a) 環境条件が大谷石の色調変化に与える影響

室内に静置した大谷石試料を比較対象とし、4ヶ月間と試料観察を行った結果、色調変化が顕著だった試

料は蒸留水、雨水を塗布し静置した試料であった。雨水に含まれる化学成分が影響を与えたと考えられる。ICP発光分析により、雨水にはCa, Na, Sなどが含まれていることが明らかとなっているため、これらのナトリウムイオンや硫化物イオンがclinoptiloliteを構成する元素と結合することで、大谷石の表面構造に影響を与えたと考える。

屋外に設置した試料は室内に静置した試料と比較して、色調変化が顕著であった。紙面の関係で割愛したが、日照による色調変化の原因の一つとして紫外線による影響を検討するために、1ヶ月間継続して紫外線(UV-A)を照射したが、紫外線のための照射では大きな色調変化は確認されなかった。このことから、紫外線のみが大谷石の色調変化に与える影響は小さいと考えられる。

屋外に設置した試料のケース内にシリカゲルを用いて除湿を試みたが、1ヶ月までの屋外に設置した試料と除湿を試みた試料の色調変化の推移を比較した結果から、湿度による大谷石の色調変化に与える影響はほとんどないと結論づけることもできるが、室内に静置した試料は、日照の影響を受けていないにも関わらず、大谷石表面が赤褐色に変化しているため、空気中の水分の影響を受けていると考えられる。

#### b) 色調変化の原因について

SEMによる大谷石表面の観察結果から岩屑状、柱状、平滑、平坦な構造が確認され、平滑な構造は蒸留水や雨水を塗布し静置した試料から多く確認されたことから、平坦な構造は岩屑状の構造が溶脱したのではないかと推測した。

室内に静置した試料と他の設定条件の試料を比較すると、雨水や蒸留水を塗布した試料はSiの割合が減少し、Feの割合が上昇する傾向が見られた。

これは大谷石表面が溶脱した結果、Feが大谷石表面に残留したためと考えられる。

EDXの結果から大谷石の色調変化に影響を与える元素はFeの可能性が高く、大谷石には鉄化合物

として存在する可能性が考えられ、水酸化鉄の可能性が高い。色調変化のメカニズムとして、既往の研究<sup>9)</sup>から大谷石に含まれる白緑色の水酸化鉄(II)が空気中の酸素や水分と反応し、赤褐色の水酸化鉄(III)に変化することが考えられる。水酸化鉄が反応する過程を式(1)に示した。

雨水や空気中の水分の影響を受けることで、clinoptiloliteなどの鉱物が溶脱され、大谷石表面に残留したFeが色調変化に影響を与えたと推測する。

#### 参考文献

- 1) 菊池健太, 清木隆文, 大谷石の風化に影響を与える環境因子抽出に関する試み, 第40回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, 6p, CD-ROM, pp.375-3, 2011.
- 2) 田名網 研太, 多田 海成, 清木 隆文, 大谷石の塩類風化影響と原因に関する検討, 土木学会第42回関東支部技術研究発表会講演概要集, 2ps, CD-ROM, III-26, 2015.3.
- 3) 神山宣彦, 下田右: 栃木県大谷産のミラビル石について, 鉱物学雑誌, 第10巻, 第4号 pp.259-266, 1971.
- 4) 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.
- 5) 折笠 智紀, 多田 海成, 清木 隆文(2015): 色調還元に基づいた大谷石の色調変化の原因に関する検討, 第43回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, 土木学会, pp.42-47, 2015.1.
- 6) 佐藤俊幸, 松下博通, 徳永雄司: ぼた造成地における住宅コンクリート基礎の劣化崩壊について, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2. 2001.
- 7) 岡本研: 岩石の風化作用から何を学ぶか, 研究紀要第18, 2006.
- 8) 木宮一邦: 地質学から見た岩石風化, 応用地質 32巻3号, 1991.

## CONSIDERATION TO SPALLING AND COLOUR TONE CHANGE WITH ENVIROMENTAL FACTOR

Minami JINBO, Yuki HIRAMA, Jun IIMURA and Takafumi SEIKI

Various environmental factor, i.e. sun light, rain water, surface temperature may cause weathering of Oya tuff. The author focus on checking progress of weathering phenomena, spalling and colour tone change. Those phenomena is very serious for the mesons to product wall blocks and segments because of product guarantee although those weathering will occure on the surface. The authors carried out wet-dry cyclic test, submerge test and outdoor exposure test to accelelate the weathering on the surface of Oya tuff samples. And we also check the strength and mineral components by needle penetlation test, XRD, SEM observation, EDX. Finally we conclude key factor of the weathering.