

微視的観察による風化した大谷石表面の剥離機構に関する検討

宇都宮大学 学生会員 ○館野 秀靖
 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. 研究目的

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。

大谷石は、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。こうした風化による問題の予測を可能にするためには、地上環境における化学的風化の影響によって起こる変色や強度低下、鉱物組成の変化の関係を捉え、化学的風化による劣化状態を定量的に判断できる指標を作成する必要がある。大谷石は石質や使用方法によっては風化し、特に屋外の民家の壁面に用いられている大谷石は、その表面が脆弱化しやすい。雨や雪により大谷石が水分を吸水し、吸水膨張を繰り返すことに伴いその表面は次第に劣化すると予想され、吸水膨張に伴う大谷石表面の変化は、表面劣化の原因に最も影響していると考えられる。そこで本研究では、大谷石の特定の部分もしくは、特定の方向が水分による膨張収縮するのかレーザー顕微鏡と走査型電子顕微鏡で得られた映像を比較し、微視的な視点から大谷石の剥離原因とそのメカニズムを検討する。

2. 研究手順

本研究では、新鮮な大谷石供試体を2つ用意し、初期の乾燥状態と飽和状態における供試体寸法差(X, Y, Z軸の3方向、図-1)をノギス(測定精度 1/20mm)により測定し、各軸に沿った膨張収縮量を算定し、平均化した。また、乾湿による大谷石の膨張収縮度を確認するために、レーザー顕微鏡と走査型電子顕微鏡から得られた同一場所の画像を比較しながら、吸水によって膨張収縮する鉱物を確認した。さらに現地調査として、民家の擁壁など、大谷石壁面が剥離している厚さなどを計測し、石膏が析出される深さを確認した。

3. 試験結果

3.1 大谷石の膨張収縮度の検討

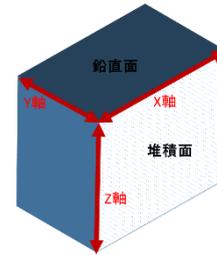


図-1 供試体の各方向



図-2 大谷石の膨張収縮度

大谷石表面の乾湿変化に伴う膨張収縮度の検討結果を図-2に示す。Z軸は、他の方向と比べると変化の幅が大きく、膨張(正)・収縮(負)しやすいことが分かった。膨張の原因として大谷石内に存在する膨潤性粘土鉱物(モンモリロナイト)が吸水膨張したと考えられる。このことから、各方向に膨張収縮する度合いが異なるため、吸水膨張する際に岩石全体が膨張するのではなく、部分的に膨張し、その膨張が不規則に岩石全体に広がっていると考えられる。従って、大谷石石材は、堆積方向を基準に直交する方向に異なる膨張収縮の性質を示す傾向がある。

3.2 顕微鏡による分析結果

ここに、大谷石を構成する主な鉱物を図-3～図-6に、レーザー顕微鏡結果を図-7、図-8に示す。まず、既往の元素分析結果^{1), 2)}や水分との反応、既知の鉱物の結晶写真との比較に基づいて、鉱物の特定を行った。その結果、平滑状は二酸化ケイ素、海綿状はモンモリロナイト、板状と岩屑状がクリノタイトで構成されていると同定した。ここで、表面湿潤時、

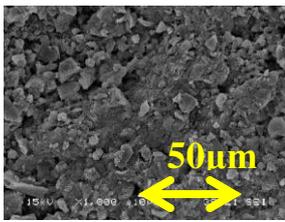


図-3 岩屑状

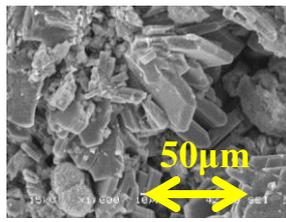


図-4 板状

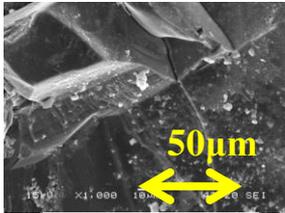


図-5 平滑状

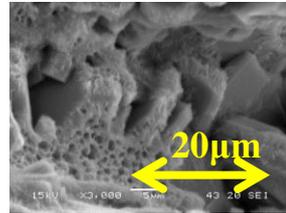


図-6 海綿状

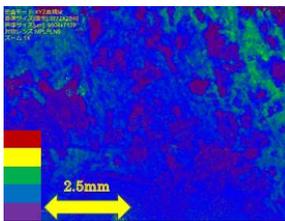


図-7 炉乾燥状態

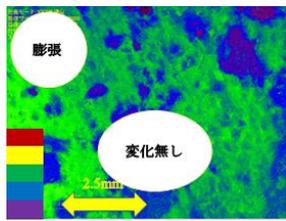


図-8 湿潤状態

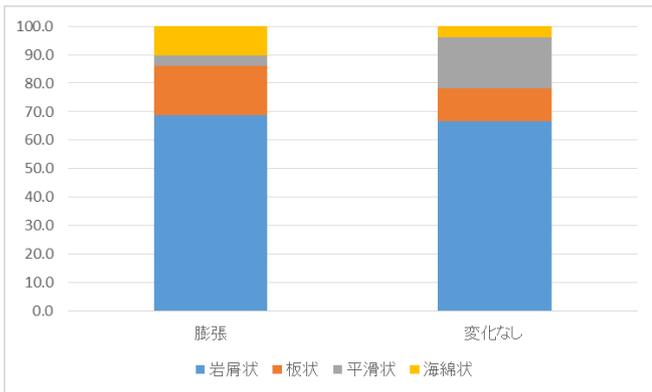


図-9 各構成比

表-1 大谷石の吸水膨張に影響する鉱物の検討

	表面湿潤	飽和	影響を及ぼすと思われる鉱物
1	膨張	膨張	海綿状
2	膨張	変化なし	海綿状
3	変化なし	膨張	板状
4	変化なし	変化なし	平滑状

飽和時の各構造の膨張の有無を表-1に整理する。図-9の結果をもとに、吸水膨張を示した鉱物を確認してみると岩屑状、板状、海綿状の割合が増加していることが分かる。これは、クリノタイライトやモンモリロナイトが存在しているため、吸水性が高く³⁾吸水膨張を起こしたと考えられる。これに対して表面が変化なしで唯一割合が増加したものは、平滑状である。これは、二酸化ケイ素は水と即座に反応しないためだと考える。膨張した鉱物の差は、変化無しの部分の

鉱物と比較して岩屑状、板状、海綿状という順で大きくなり、これらの程度の差を見る限りでは、モンモリロナイトの方が吸水膨張しやすいことが分かる。従って、大谷石内において吸水膨張しやすい鉱物は海綿状のモンモリロナイト、吸水膨張しにくい鉱物は平滑状の二酸化ケイ素と考えられる。

4. まとめおよび今後の課題

本研究で確認できたことを以下に示す。

1. 堆積面を基準に石材を切り出す方向によって異なる膨張収縮の性質がある。
2. 大谷石を構成する海綿状のモンモリロナイトが主に吸水膨張しやすい。
3. 現地調査より石膏が析出される深さは、1mm から15mmとなった。

以上のことを踏まえ、大谷石の剥離原因のメカニズムを推察する。吸水膨張に伴う大谷石表面の変化は、表面劣化に最も影響している影響因子であると考えられ、2であげたモンモリロナイトが、吸水膨張や乾燥を繰り返すことによって表面は次第に劣化していくと考えられる。この表面劣化により、雨水などに含まれる酸性成分が浸透しやすい状態となり、大谷石の主成分であるクリノタイライトのカルシウム(Ca)成分と地下水中の硫化物成分などの酸性成分が結合し、石膏が析出すると考えられる。そのとき間隙や亀裂部への石膏析出により、結晶が生成される際の圧力(結晶圧)の発生によって結晶間の結合力が低下し、そこが界面となり剥離が起きていると考えられる。また3より、剥離している厚さが1mm~15mmであったため、大谷石壁面表面から同様の厚さの範囲で石膏が析出し、そこが境界となり薄面剥離が進行したと考えられる。今後の課題として、クリノタイライトと考えられる岩屑状と板状の吸水膨張の性質の違いを明確にすること、人為的風化によって、強度低下や石膏の析出を確認できたが、結晶間の結合力低下が剥離に影響を及ぼす程度を確認する事が必要である。また、大谷石は膨張収縮に異方性を示す傾向があるので、剥離面との関連を引き続き検討する。

参考文献

- 1) 木村理沙子:大谷石の構造推定と劣化メカニズムに関する研究,平成23年度宇都宮大学卒業論文,2012.
- 2) 坂田裕樹:大谷石と大谷石類似石の強度の発現の仕組みに関する研究,平成24年度宇都宮大学卒業論文,2013.
- 3) 天然ゼオライトの新東北化学工業, <http://www.s-zeolite.com/zeolite.html> (2015年1月確認)