

大谷石の塩類風化と構成鉱物及び岩石構造との関連について

宇都宮大学 学生会員 ○中川生恵
 宇都宮大学大学院 学生会員 菊池健太
 国土交通省 佐藤 陽
 宇都宮大学大学院 正会員 清木 隆文

1. はじめに

大谷石（流紋岩質熔結凝灰岩）は、栃木県宇都宮市に産する石材として、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¹⁾。しかし、硬岩と比較してみても軟らかく、加工しやすい一方で、風化の進行が早いいため、強度低下や変色、硫酸塩鉱物の析出や岩石表面の欠落が多くみられる。岩石表面に石膏などの硫酸塩鉱物を析出する塩類風化は、盤膨れや建築物の劣化の主な原因として、各地で報告されている。塩類風化とは、岩石中の空隙間を移動している溶液が蒸発し、石膏 (Gypsum) ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)などの二次鉱物が晶出して、その際に生じる結晶圧とともに、周囲の岩石を破壊していく現象である。雨水や地下水による硫酸イオンの供給、ゼオライト (Zeolite)や粘土鉱物のイオン交換による、カルシウムイオン、ナトリウムイオンの供給も塩類風化に影響を及ぼす可能性があると考えられる。

そこで本研究では、塩類風化の原因となる、硫酸イオン、カルシウムイオン、ナトリウムイオンの発生源はどこなのか、大谷石のどの鉱物が主に風化の原因となっているのか、ということを確認するため、大谷石を構成している鉱物一つ一つに注目して調べていく。方法として、走査型電子顕微鏡による試料の観察、X線粉末回折試験による構成成分の特定により、大谷石の風化のメカニズムを解明することを目的とした。

2. 観察・試験で用いた試料

(1)大谷石の概要

宇都宮市の中心部から北西に 7 km に位置する大谷町は、標高 200m の丘陵地帯である。この地域の地質は足尾帯に属し、中・古生代のチャート、砂岩、頁岩などから成る古第三紀の基盤岩、大谷層から成る新三基層、宝木礫層と北関東ローム層（宝木粘土層）から成る第四紀の洪積層で構成されている。大谷石は、今から 2,000 万年前新生代第三紀中新世の前半に、流紋岩質の海底火山の爆発により噴出し、火山灰や軽石を含んだ火山灰質のものが、海水中に

表-1 大谷石を構成している鉱物と対応する試料

大谷石中の鉱物	対応する試料
単斜プチロル沸石	クリノタイライト(島根県玉造産)
モンモリロナイト	モンモリロナイト(山形県大江月布産)
灰長石	灰長石(北海道フゴッペ産)
曹長石	アロフェン(栃木県鹿沼市産)

堆積し凝結して出来た凝灰岩の一種である。主成分として、含有量の多い単斜プチロル沸石やモンモリロナイトの粘土鉱物からなっている。

(2)試料の採取

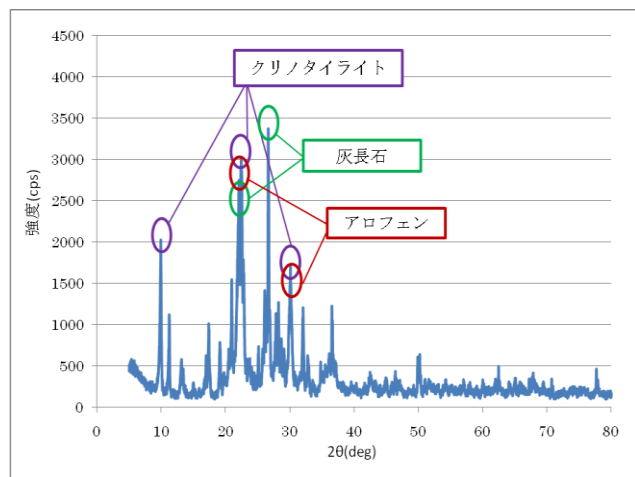
試験に用いた大谷石は、地下空間から切り出して間もない淡緑色の新鮮な大谷石である。大谷石を構成している主な鉱物として、クリノタイライト、モンモリロナイト、などがあげられる²⁾。また、塩類風化の原因と考えられているカルシウムイオン、ナトリウムイオンを含んだ鉱物に着目すると、灰長石や、曹長石などがある。大谷石を硫酸と反応させて岩石表面に石膏 (Gypsum)($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)やテナルダイト (Thenardite)(Na_2SO_4)などを析出させる研究は見られるが、大谷石を構成している鉱物を特定し、個別に反応を確認した例はない。そこで、大谷石を構成している鉱物である、クリノタイライト (Clinoptilolite)、モンモリロナイト (Montmorillonite)、灰長石 (Anorthite)、曹長石 (Albite)と成分がよく似た鉱物を対象に各種試験を行う。

3. 試験項目

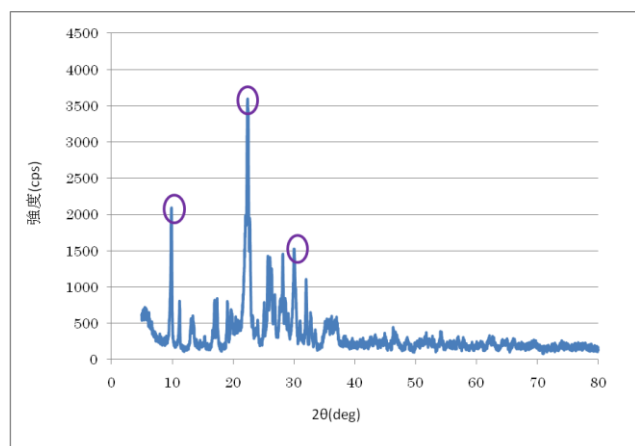
(1)塩類析出確認試験

塩類風化の原因となる、硫酸イオンが外部から供給された場合、大谷石中のカルシウムイオンや、ナトリウムイオンと反応して、塩類が析出するか調べるために、大谷石、大谷石中のみそ、アロフェン（栃木県鹿沼市産）、灰長石（北海道フゴッペ産）、クリノタイライト（島根県玉造産）、モンモリロナイト（山形県大江月布産）の 6 種類の試料に対し、宇都宮市の雨水の硫酸濃度を再現した 2mg/l の硫酸溶液、雨

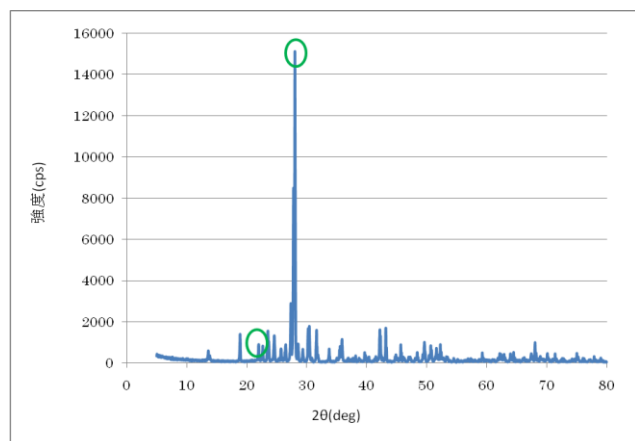
水の硫酸濃度の 10 倍と仮定した 20mg/ℓ の硫酸溶液の 2 種類を噴霧する。



図－1 新鮮な大谷石の XRD 分析結果

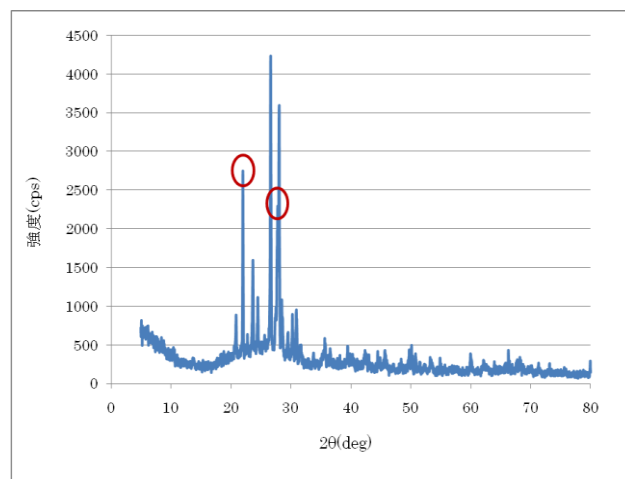


図－2 クリノタイライト（島根県玉造産）の XRD 分析結果

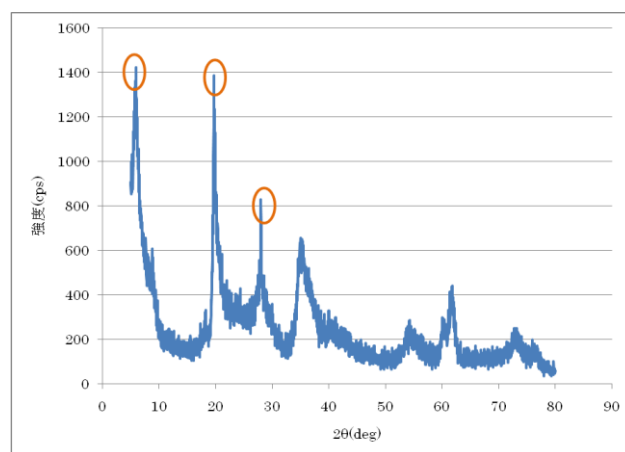


図－3 灰長石（北海道フゴッペ産）の XRD 分析結果
(2)X 線粉末回折試験

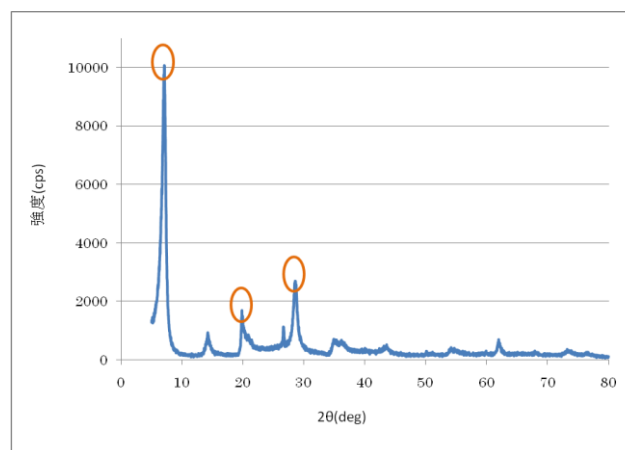
今後、上記の塩類析出確認試験などを行う際に大谷石中の鉱物と同等のものをを用いる必要があ



図－4 アロフェン（栃木県鹿沼市産）の XRD 分析結果



図－5 新鮮な大谷石のミソの XRD 分析結果



図－6 モンモリロナイト（山形県大江月布産）の XRD 分析結果
る．そこで、準備した試料が大谷石中の鉱物の

成分と等しいかを調べた．また、大谷石が風化すると、大谷石中の成分が変化すると考えられ

る。そこで、塩類析出確認試験で用いた大谷石試料を対象に、X線粉末回折試験(X-Ray Diffraction meter test)を行い、化学組成の変化を調べる。X線は、固体物質を構成する結晶に当たると、その一部は回折を起こす性質を持つ。その回折方向と回折強度は、物質特有のものであり、結晶構造は異なる。また、回折強度のピーク高さは、試料に含まれる、結晶物の含有量とその結晶の結晶度によって決まる。

(3)走査型電子顕微鏡

走査型電子顕微鏡(FE-SEM.EDX)によって、大谷石表面の鉱物分布状況を観察するとともに、EDX(Energy Dispersive X-ray spectrometry. エネルギー分散 X線分光法)によって、定性的に元素分析を行い、得られた原子数濃度から元素の含有量を推定した。ここに、原子数濃度とは、試料内の原子の量を原子量で除し、全体に占める割合を表したものである。

4. 試験結果

(1) X線粉末回折試験結果

新鮮な大谷石と、試料の試験結果を比較する。また、モンモリロナイトについては大谷石中のミソに多く含まれているため、地上で採取した新鮮なミソと比較する。

a)クリノタイライトの分析結果

新鮮な大谷石のクリノタイライトの主要なピーク位置(図-1)は、9.89(deg), 22.42(deg), 30.04(deg), クリノタイライト(島根県玉造産)のピーク位置(図-2)は9.88(deg), 22.40(deg), 30.14(deg)と、ほぼ等しい結果となった。

b)灰長石の分析結果

新鮮な大谷石の灰長石の主要なピーク位置(図-1)は21.90deg, 27.99(deg), 灰長石(北海道フゴッペ産)のピーク位置(図-3), は21.92(deg), 27.99(deg)と、ほぼ等しい結果となった。

c)アロフェンの分析結果

新鮮な大谷石の曹長石の主要なピーク位置(図-1)は、22.04(deg), 27.38(deg), アロフェン(栃木県鹿沼市産)のピーク位置(図-4)は22.02(deg), 27.82(deg)となり、ほぼ等しい結果となった。

d)モンモリロナイトの分析結果

新鮮な大谷石のミソ中のモンモリロナイトの主要なピーク位(図-5) 5.92 (deg), 19.74(deg), 28.83 (deg), モンモリロナイト(山形県大江月布産)のピーク位置(図-6)は6.59(deg), 19.82(deg), 28.81(deg)となり、ほぼ等しい結果となった。

(2)塩類析出試験結果

雨水の硫酸濃度の10倍と仮定した20mg/lの硫酸を噴霧した灰長石(北海道フゴッペ産), クリノタイライト(島根県玉造産)は、鉱物表面に白いものが析出した。そこで、アロフェン(栃木県鹿沼市産), 灰長石(北海道フゴッペ産), クリノタイライト(島根県玉造産), モンモリロナイト(山形県大江月布産)の4種類の試料に対してX線粉末回折試験を行った。この結果、二つの鉱物、灰長石(北海道フゴッペ産), クリノタイライト(島根県玉造産)からは、石膏(Gypsum)のピーク位置が確認された。一方、アロフェン(栃木県鹿沼市産), モンモリロナイト(山形県大江月布産)からは、石膏(Gypsum)が検出されなかった。

5. まとめ及び今後の課題

(1)まとめ

新鮮な大谷石やミソと、構成鉱物に対応すると考えられる試料をXRDの試験結果をもとに比較した結果、アロフェン(栃木県鹿沼市産), 灰長石(北海道フゴッペ産), クリノタイライト(島根県玉造産), モンモリロナイト(山形県大江月布産)のピーク位置がほぼ等しいことが確認された。よって、この四つの試料は大谷石中の鉱物と同等として扱う。さらに、塩類析出試験の結果から、塩類析出に大きく影響を与える鉱物が灰長石とクリノタイライトであることが分かった。

(2)今後の課題

今後さらに塩類析出試験を進め、大谷石と大谷石中のミソについてもX線粉末回折試験を行い、灰長石や、クリノタイライトで確認された石膏が含まれているか調べる。また、走査型電子顕微鏡を使用し、内部構造の変化も確認し、風化の原因究明を試みる。

参考文献

- 1) 清木隆文, 鮎澤淳一, 採石跡地下空間の現状と有効利用に関する研究, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第7巻, 土木学会[一般]

投稿論文] , pp.287-294, 2002.

- 2) 林聖也, 高梨倫明, 佐藤陽, 清木隆文, 大谷石類似石の工学的性質の比較と大谷石の自硬性に関する研究, 第40回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, 土木学会, pp.381-386, 2011.
- 3) 佐藤陽, 清木隆文, 大谷石の化学的風化による力学的性質の変化予測について, 土木学会第37回関東支部技術研究発表会講演概要集, 2ps, CD-ROM, III-3, 2010.