

大谷石の岩石構造推定に関する試み

青森県庁

宇都宮大学大学院

日東ベスト株式会社

宇都宮大学大学院

学生会員

正会員

木村 理紗子

○高葉 悠

齊藤 友彦

清木隆文

1. はじめに

大谷石は、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⁾。硬岩と比較しても岩質が軟らかく、加工しやすい一方で、風化の進行が早い²⁾ため、強度低下や変色、岩石表面の欠落が多くみられる。これまでに、大谷石について多くの研究が行われてきた²⁾が、風化現象についての研究は多くあるものの、大谷石のどのような鉱物や構造が風化を起しやすくしているかを探求した研究は少ない。そこで本研究では、大谷石の構造特性、およびそれらの配列から劣化メカニズムを解明することを目的とする。

2. 研究手順

走査型電子顕微鏡を用い新鮮な大谷石石材の構造のパターンを確認した後、それらの構造の鉱物組成を明確にするため X 線粉末回折装置、EDX(Energy dispersive X-ray spectrometry, エネルギー分散型 X 線分光法)により定量定性分析を行った。このほか大谷石石堀から肌落ちした試料に対しても同様に観察、試験を行い、劣化メカニズムについて考察した。

3. 観察・試験結果

走査型電子顕微鏡による観察、分析では白色部分に着目し実施した。なお、各構造の構成比は個々の構造を撮影した SEM 画像 1 枚を一つとして数え、総数で除して算出した。

4. 考察

(1) 大谷石の構造推定

走査型電子顕微鏡を用い大谷石切断面を観察した結果(表-1)、岩屑状の構造(図-1)が 75%と大部分を占めていた。岩屑状は大谷石の基質部の大部分を占めていることや、X 線粉末回折試験の結果(表-2)から、クリノタイロライト(Clinoptilolite)が構造の大部分を占めていると考えられる。一方で、局所的に平滑な構造(図-3)や間隙があり、間隙中では板状結晶が集合している様子(図-2)が確認された。平滑な構造は他の構造に比べ Si の割合が高いことから石英(Quartz)やクリストバル石(Cristobalite)、鱗珪石(Tridymite)が多く含まれていると考えられる。またこれらの鉱物は、大谷石を構成する鉱物の中でもモース硬度をもとにすると相対的に強度が大きい³⁾ため、割断面では平滑な構造以外の部分で破壊に至り、平滑な構造の割合が減少したと考えられる。板状結晶は原子数濃度の比が(Na+K+Ca):Al:Si≒1:1:5(図-5)と、クリノタイロライトの化学式の比と類似していることや、クリノタイロライトに代表される板状結晶の様子(図-6)に類似していることから、クリノタイロライトの集合体であると考えられる。板状結晶の周囲には海綿状の構造が付着している様子(図-4)が確認された。海綿状の構造がモンモリロナイトの代表的

表-1 観察面別の各構造の構成比(%)

	岩屑	平滑	板	海綿
切断面	75	14.4	8.1	2.5
割断面	83	5.4	3.4	8.2
肌落ち	90	—	6.25	3.75

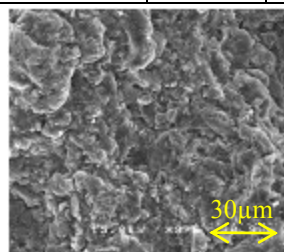


図-1 岩屑状

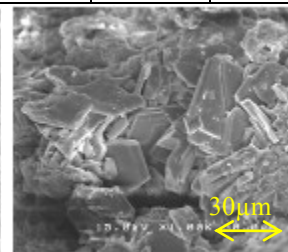


図-2 板状

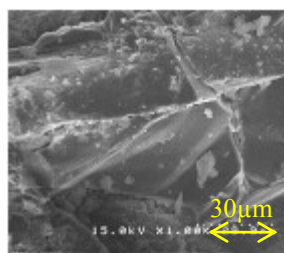


図-3 平滑

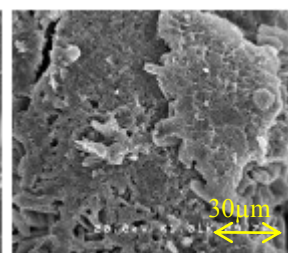


図-4 海綿状

なひだ状の構造(図-7)と似ていることから、海綿状の構造はモンモリロナイトであると推定される。モンモリロナイトは、相対的に強度が小さいため、力を加えた際に簡単に壊れる。このために割断面で海綿状が多く見られたと考えられる。

(2) 劣化メカニズムの検討

新鮮な大谷石試料と大谷石石堀から肌落ちした試料を構造ごとに比較し劣化メカニズムについて検討した。

(i) 岩屑状

EDX による定量分析の結果、肌落ちした試料では S が検出された。肌落ちした大谷石表面の元素の分布状況から、S が多く検出された部分で Ca も多く検出されたことや、X 線粉末回折試験の結果から、これらの部分は石膏であると考えられる。また、新鮮な大谷石石材の切断面より肌落ちした大谷石表面の方が岩屑状構造の粒一つ一つが大きい⁴⁾様子が確認され、岩屑状構造物の間隙に雨水が浸透し石膏が析出したと考えられる。新鮮な大谷石資料に比べて、Fe の割合が高いことが確認された。これは肌落ちした大谷石資料表面が褐色を帯びていることに関係すると思われるが、これまでの実験から Fe が岩屑状の構造内においてどのように存在し、変色や強度に影響を及ぼすのか確認するには至らなかった。

キーワード 大谷石, 風化, 岩石構造, SEM 画像, EDX

連絡先 〒321-8585 宇都宮市陽東 7 丁目 1 番 2 号 宇都宮大学工学部 E-mail : mt116429@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(ii) 板状結晶

新鮮な大谷石試料に比べて肌落ちした大谷石試料の板状結晶は角が溶けたような柔らかな形状を示した。この理由としてクリノタイロライト結晶の溶解、海綿状の構造の溶解と固着、クリノタイロライトと同質異像の鉱物の存在を考え検討したが、原因の解明には至らなかった。

5. まとめ

大谷石の白色基質部分表面は岩屑状の構造、平滑な構造、板状結晶、海綿状の構造から成り立ち、平滑な構造や間隙を取り巻くように岩屑状の構造が大部分に広がっている様子が確認された(図-9)。また、微細な間隙中には、板状結晶と、海綿状の構造が交互に重なっている様子や、円筒状や袋のような海綿状の構造に板状の構造の集合が包まれている様子(図-10)も確認された。しかし、これらの組み合わせや大きさに規則性は見られなかった。一方で、板状結晶と海綿状の構造が密着しているような様子(図-11)が見られたことや、板状結晶同士で結合している様子が見られなかったことから、海綿状の構造に多数の板状結晶が集まるように結合していると考えられる。

肌落ちした試料では海綿状の構造が確認されなかったことから、板状結晶をつなぐ役割を持つ海綿状の構造の溶解も劣化の原因としてあげられる。また、新鮮な大谷石試料と大谷石石堀から肌落ちした試料を構造ごとに比較した結果、肌落ちした試料ではそぼろ状構造に S が検出された。間隙に雨水が浸透し石膏が析出し間隙がさらに大きくなることで劣化を助長したと考えられる。

6. 今後の課題

走査型電子顕微鏡による観察では、サンプル数を増やして定量分析結果の特徴を明確にし、より客観的な微細構造の判断基準を確立することが望まれる。また、定量分析結果の特徴を明確にしたうえで、含まれる鉱物を判断することでより正確な考察ができる。X 線粉末回折試験では、個体差によるものか明確でない部分が多いため、さらにサンプル数を増やすことで大谷石の構造グループなどの特徴をより明確に整理する必要がある。X 線粉末回折試験においても走査型電子顕微鏡での観察と同様にグループごとに試験を行い、比較することが望まれる。これらをふまえ、白色基質部分以外に対して観察、実験を行い、鉱物組成、構造特性およびそれらの配列を明らかにし、大谷石全体での物理特性(図-8)と微視的な構造(図-9)との関連を明確なものとすることで、大谷石の風化についてより詳しく検討できると考えられる。

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) 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.
- 3) 龍谷大学 理工学部 物質科学科 天然ゼオライト (<http://www.chem.ryukoku.ac.jp/>) (2012年1月確認).
- 4) THE MINERALOGICAL SOCIETY : <http://www.minersoc.org/pages/gallery/claypix/smectite/F-general.html> (2012年1月確認).

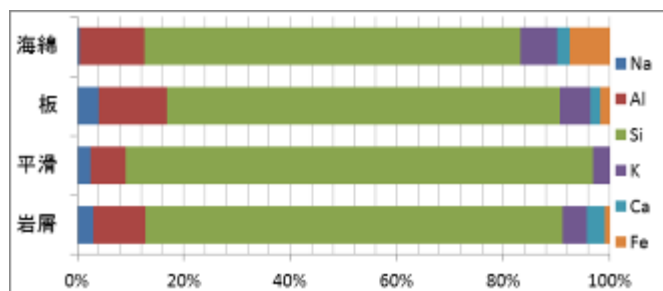


図-5 各構造の定量分析結果(新鮮な大谷石資料)

表-2 X線粉末回折装置による定量分析結果(%)

鉱物名	化学式	新鮮	肌落ち
Clinoptilolite	$(\text{Na,K,Ca})_6(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$	44	48
Quartz	SiO_2	0.9	—
Cristobalite	SiO_2	17	3.8
Tridymite	SiO_2	13	23.7
Albite	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	16	11.2
Anorthite	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	9	10.6
Gypsum	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	—	2.4

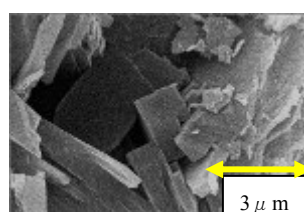


図-6 クリノタイロライト³⁾

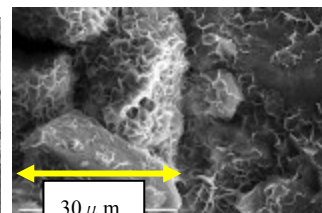


図-7 モンモリロナイト⁴⁾



図-8 マクロスケールの大谷石

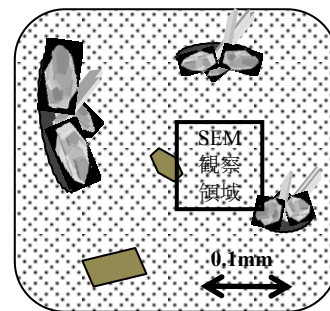


図-9 ミクロスケールの大谷石の構造イメージ

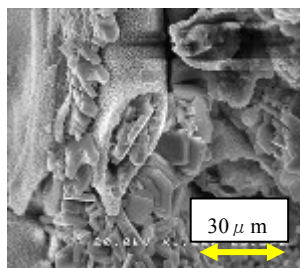


図-10 円筒状の海綿状構造

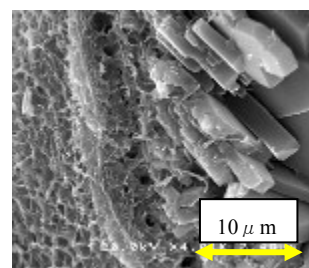


図-11 板状結晶と海綿状の構造