



Akita Society of Quarrying Engineers

秋田県採石研究会会報

2019.6 No.3 発行者：秋田県採石研究会

CONTENTS

活動トピックス

- 「荒川の鉱山誌」発掘プロジェクト …… 1
- X線CT撮影を用いた温泉スケールの3次元微細構造観察
- 発表論文

研究報告

- 十和田凝灰岩の力学特性に及ぼす造岩鉱物の影響 …… 2

イベント参加

- オガーレでの巨大石焼鍋 …… 4

お知らせ

- 研究会役員・会員募集

活動トピックス 平成30年度の研究会の活動

当年度においては、採石業に関して下記の様な論文等を発表するとともに、研究会の研究費によって購入した「PCビデオボード」によって、図1の様なCGを作成することができた。これらの研究では、多くの秋田大学岩盤工学研究室の学生に協力いただいた。ここに記して、謝辞を申し上げる。

◎「荒川の鉱山誌」発掘プロジェクト

我々は、大仙市協和の荒川鉱山跡に残る遺構を、産業遺産として保存活用を図ることを目的に、同市と協力して、平成26年度から本プロジェクトをスタートさせ、5年目の本年度に事業の完成をみた。

本プロジェクトでは、航空測量によって選鉱場遺構の3次元測量を行い、遺構の詳細な測量図とCGを作成した。さらに過去の写真から選鉱場建屋のCGによる復元を行なった(図1)。また、これまでの成果を荒川鉱山の解説ビデオにまとめ、大盛館で広く公開するに至った。



図1 中央選鉱場のCG復元図

◎発表論文

1. 鴨志田直人, 齊藤剛, 今井忠男 (2018) : 新しい円磨度を用いた砕砂の粒子形状評価, 建設用原材料, Vo.26, No.1, pp.15-22.
2. 今井忠男 (2018) : 院内銀山史の新たな資料の公開に向けて, 院内銀山, 第43号, pp.12-15.
3. 石井正己 編 (2018) : 菅江真澄が見た日本, 三弥井書店.
4. 秋田大学鉱業博物館 (2018) : 阿仁鉱山史の研究 一 阿仁鉱山の技術と経済が残したもの(図録集)一, 秋田大学鉱業博物館.
5. 秋田大学鉱業博物館 (2018) : CGでよみがえる荒川鉱山の中央選鉱場(解説ビデオ), 秋田大学鉱業博物館.

◎X線CT撮影を用いた温泉スケールの3次元微細構造観察

温泉水の未利用熱エネルギーの利用促進を目的として、配管に付着する温泉スケール(湯の華)を効率良く除去する技術が求められている。スケール除去法の一つであるウォータージェット法は、水のみを用いた除去法であり、温泉成分に影響を与えないことを特長としている。ウォータージェットを用いて温泉スケールを除去する場合、ウォータージェットの圧力を温泉スケール中に効果的に働かせることが重要である。そこで、温泉スケール内部の微細構造を把握することを目的として、X線CT撮影を用いた3次元微細構造観察を行った。

観察対象に用いた炭酸カルシウムスケール(OB1, OB2, AM)とシリカスケール(SM)の外観写真ならびにX線CT撮影画像を図に示す。炭酸カルシウムスケールでは、柱状や樹状構造が観察され、また、温泉成分等の変化に伴って縞状模様が見られるスケールに対しては、層間にも間隙が観察された。このようなスケールを除去する際には、間隙が連続している方向にウォータージェットを衝突させることが有効と考えられる。一方、シリカスケールに対しては、間隙の少ない非晶質構造が観察された。間隙が少ないスケールに対しては、衝突したウォータージェットが剛体的に働くため、高圧大流量のウォータージェットを直射で衝突させて破壊させることが効果的と考えられる。以上、温泉スケール除去を効果的に進めるために、X線CT撮影による温泉スケールの内部観察は有効な方法と考えられる。

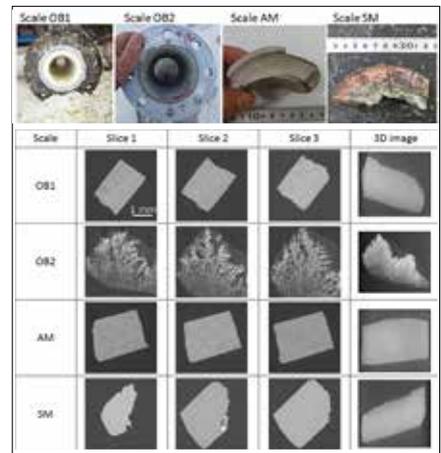


図2 温泉スケールの外観写真とX線CT画像

今井忠男 (秋田大学 国際資源) 伊藤麻也 (秋田大学 工学資源)
 木崎彰久 (秋田大学 国際資源) 山本茂樹 (中野産業株式会社)
 (資源・素材学会 春季大会 2018 で一部発表)

1. はじめに

十和田凝灰岩は、十和田石として知られる建築用の石材で、秋田県の特産品である。日本の近代建築には、大谷石をはじめとする緑色凝灰岩が、建材として多く用いられてきたが、採石資源の枯渇により、現在では十和田石が主な凝灰岩石材として流通しているだけである。

凝灰岩の力学特性については、これまで多くの研究がなされているが、主に均質な鉱物組成および構造を持つ凝灰岩の研究が多く、十和田石のように、濃い緑色の斑状組織などが分布する不均質な凝灰岩については、あまり考慮されてこなかった。したがって、十和田石においては、その鉱物組織固有の力学特性を把握し、石材の品質管理および採石場の安全管理をおこなう必要がある。

本研究では、十和田石中に分布する緑泥石を主とする濃い緑色の斑状組織と、方解石結晶に注目し、これらの含有率が十和田石の曲げ強度に及ぼす影響について、実験によって調べた。とくに、酸化反応および酸の溶解反応による造岩鉱物の劣化が、岩石強度に及ぼす影響について検討した。

2. 十和田石の造岩鉱物と岩石劣化現象

2.1 造岩鉱物

十和田石は、秋田県北部で産する緑色凝灰岩で、新第三紀の海底火山活動によってできた複雑な構造をもつ岩石である。通常の凝灰岩は火山灰を元とするシリカを主成分とするが、十和田石は、写真1に示すように濃い緑色の斑状組織とそれを取り巻く様に方解石の結晶が析出し、その中には少量の黄鉄鉱も見かけられる。濃い緑色の斑状組織は、シリカが粘土鉱物化した緑泥石を主成分としている。十和田石の斑状組織は、通常、数cm大であるが、採石場所によっては数十cmの大きなものもあり、そこに産する方解石の結晶群も大きくなる。このような変質部は、熱水の影響を受けたと考えられ、採掘時に化石水と考えられる湧水が、一時的に湧出したこともある。十和田石は、石材としてこのような変質部の緑色模様が好まれているが、変質部は十和田石の強度特性にも影響を及ぼしていると考えられる。

2.2 劣化した岩石の強度と空隙率の関係

はじめに、十和田石の採石場内の新鮮な岩石と、坑口付近の風化して落石した岩石について、圧縮強度および空隙を調べた。図1にそれらの関係を示す。図より、十和田石は、劣化すると空隙が大きくなり、圧縮強度も低下することがわかった。このことから、十和田石は風化による化学反応によって、主要鉱物の一部が溶け出し、劣化に従い空隙が発達していくと考えられる。

そこで我々は、次の様な十和田石の劣化メカニズムを仮定した。

- (A) 緑泥石の鉄が水酸化鉄として溶出
- (B) 黄鉄鉱あるいは二酸化炭素由来の酸によって方解石が溶出

これらの仮説を調べるため、次章の実験を行った。

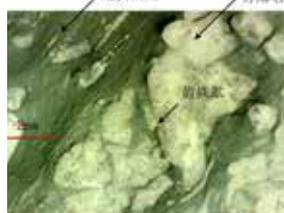


写真1 十和田石の主要組織

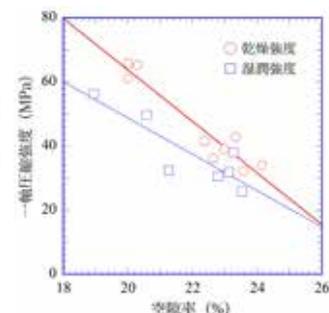


図1 劣化した十和田石の圧縮強度と空隙率の関係

3. 実験方法

3.1 曲げ試験法

本実験では、はじめに斑状組織が試験片の強度に及ぼす影響を調べるため、写真2に示す様な、4点曲げ試験用の試験片を作製した。試験片の形状は、支点間距離90mm、幅30mm、高さ35mmの角柱とし、試験片中央の載荷区間(30mm)に斑状組織が多く含有する様に作製した。次に、写真3に、この試験片を4点曲げ試験ジグに設置した状態を示す。曲げ試験においては、完全湿潤状態の試験片を一定の変位速度(80μm/min)で制御し、破壊荷重から曲げ強度を算定した。

3.2 斑状組織および方解石の含有率の測定法

曲げ試験によって破壊した試験片の断面を写真4に示す。写真に示す試験片の中心が中立軸の位置を表しており、ここから下半分の断面に引張応力が作用することから、下半分の断面における斑状組織(濃い緑色部)の面積割合を画像処理

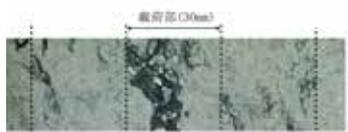


写真2 曲げ試験片の底部



写真3 4点曲げ試験機

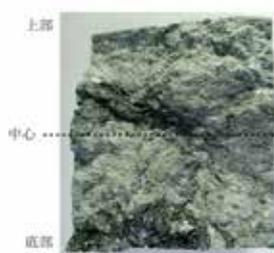


写真4 試験片の破断面

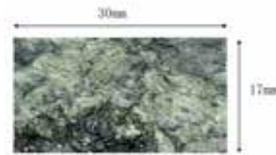


写真5(a) 1/2破断面

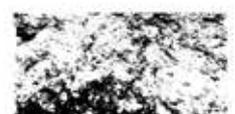


写真5(b) 1/2破断面の2値化画像

表1 試料劣化実験の条件

化学反応	(A) 酸化	(B) 溶解
溶液名	過酸化水素水	塩酸
濃度 (%)	10	35 ~ 37
反応時間条件	24h × 7回	3min × 20回

によって算定した。具体的には、写真5(a)の様に破断面の下半分を切り取った画像を、画像処理ソフト(ImageJ)によって、濃い緑色部だけを黒とする写真5(b)の様な2値化画像に変換し、全体の面積における黒の割合を算定した。この割合を斑状組織含有率と定義した。さらに、元のカラー画像では白色の方解石を抽出した2値化画像も作成し、この画像から方解石含有率も算定した。

3.3 岩石劣化実験法

次に、表1に示すような二種類の方法で、曲げ試験片を劣化させた。仮説(A)に基づき、濃度10%の過酸化水素水(炭酸ナトリウム過酸化水素化物)を用いて、試験片内の鉄を酸化させ水酸化鉄を析出させた。過酸化水素水は時間とともに濃度が現象するため、24h反応させたのち2h乾燥させ、これを7回繰り返して反応を促進させた。また、仮説(B)に基づき、高濃度(平均36%)の塩酸を用いて、試験片内の方解石(炭酸カルシウム)を溶解させた。具体的には、試験片底部の表面に塩酸を塗布し、3min後には新鮮な塩酸を塗布するというサイクルを20回(計60min)行って、方解石の溶出を進めた。これら化学反応によって劣化させた試験片は、湿潤させて曲げ試験に供した。

4. 実験結果

4.1 斑状組織および方解石の含有割合と強度の関係

図2に新鮮な試験片の曲げ強度と斑状組織含有率との関係を示す。図より、斑状組織含有率が増加するに従い、曲げ強度は直線的に低下し、斑状組織含有率が40～80%に2倍増加すると、曲げ強度は約1/2に低下することがわかった。このことから、十和田石における斑状組織部分の曲げ強度は著しく低いと考えられる。したがって、十和田石の採掘場内においては、岩盤に大きな斑状組織が現れた場所では、亀裂の進展や落石等に注意し、積極的な安全管理を進める必要がある。

次に、図3に新鮮な試験片の曲げ強度と方解石含有率との関係を示す。図より、データのバラツキが大きいものの、曲げ強度と方解石含有率には正の相関が見られる。すなわち、斑状組織の周辺に方解石の割合が大きいほど、斑状組織の強度は高くなることを示していると考えられる。なお、データのバラツキが大きい理由は、試験片の斑状組織含有率が一定でなく40～80%に変化しているため、方解石含有率の影響のみを抽出できなかったためである。

4.2 過酸化水素および塩酸による劣化の影響

写真6(a)(b)に酸化反応による斑状組織の変化を示す。写真より、酸化反応によって、試験片全体の色が錆(水酸化鉄)の薄褐色に変色することがわかる。とくに、斑状組織の中で、

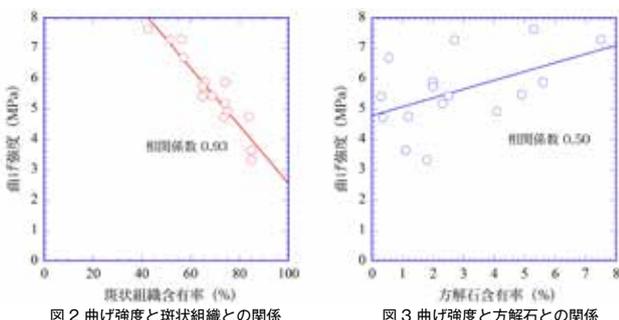


図2 曲げ強度と斑状組織との関係

図3 曲げ強度と方解石との関係

酸化反応後に空隙が発達した部分が見られた。

また、写真7(a)(b)に塩酸の溶解反応による方解石の変化を示す。溶解後の試験片では、反応前の方解石中に見られた空隙が拡大しており、方解石の溶解が進んだことがわかる。

以上の劣化試験後の試験片について、曲げ試験を行った結果を図4に示す。本図は、曲げ強度と斑状組織含有率との関係において、新鮮な試験片、酸化反応後の試験片、溶解試験後の試験片の3つのデータを示している。図より、二種類の劣化実験後の曲げ強度は、新鮮な試験片の傾向とほとんど変化していないことがわかる。劣化試験片の画像観察より、試験片は化学反応によって鉱物組織が変化し、空隙が増加する傾向にあったが、強度が低下しない原因は、空隙の変化が強度の低下を引き起こすまでに至っていないためと考えられる。今後は、十和田石の劣化メカニズムを解明するためには、試験片の空隙率が十分に低下するまで、より長期に劣化試験を行う必要があると思われる。

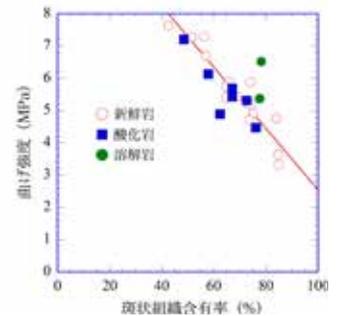


図4 曲げ強度に及ぼす酸化および溶解反応の影響

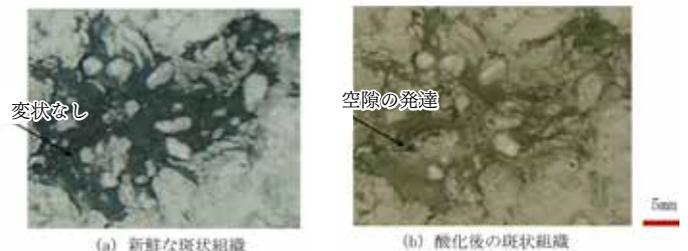


写真6 酸化による斑状組織の変化

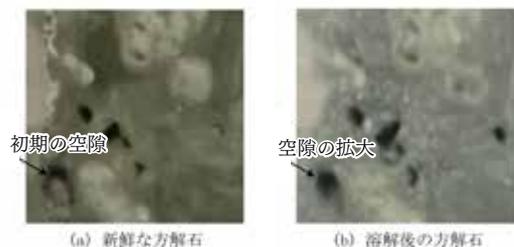


写真7 溶解による方解石組織の変化

5. まとめ

本研究では、十和田凝灰岩中に分布する緑泥石を主とする濃い緑色の斑状組織と、方解石結晶に注目し、これらの含有率が十和田石の曲げ強度に及ぼす影響について調べた。その結果、斑状組織含有率の増加に従い曲げ強度は直線的に低下し、良い相関があることがわかった。さらに、方解石含有率が増加すると曲げ強度は多少増加する傾向にあることがわかった。

次に、過酸化水素の酸化反応および酸の溶解反応による十和田石の劣化実験を行った結果、酸化反応では斑状組織に空隙が発達し、溶解反応では方解石中の空隙が拡大したが、岩石強度への影響はあまり見られなかった。今後は、劣化試験の反応時間を長くし、劣化を十分に促進した実験を検討したい。

イベント参加 オガーレでの巨大石焼鍋

3月9日(土)に、巨大石焼鍋(直径1.8m)のイベントが、「オガーレ」(道の駅おが)で開催されました。JR秋田支社と男鹿市の共同企画「冬の男鹿ぐるめマーケット」の一環で、ギネス認定を狙ったものです。このイベントのアドバイザーとして、今井(秋田大学)が関わりました。イベントまでに、巨大鍋に幾つの金石を投入すべきか、イベントとして巨大な石を投入するにはどうしたら良いか、金石に代替する石はないか、などの問題について相談を受け、何とか巨大石焼鍋を成功させることができました。おかげさまで、今井はJR秋田支社様から感謝状をいただきました。

当日は、フリーアナウンサーの多可様と一緒にイベントに参加し、金石と男鹿石を解説しつつ(写真1)、なまはげが運ぶ巨大焼き石(男鹿石)で、鍋が沸騰する様子を見学できました(写真2)。この鍋料理は、参加者350名に振舞われ、ギネス記録に認定されました(同時に3種類のスープ料理を食べる人数)。

今回の石焼鍋で利用した焼き石は、金石に変わって男鹿石が利用されました。この男鹿石を加工し提供してくださったのは、会員の杉貞石材様です。秋田県採石研究会が関わった大きなイベントとなりました。

なお、今回の石焼鍋に使用された巨大木桶は、道の駅おが「オガーレ」にて展示されています。



写真1 金石と男鹿石について解説する今井(右)とフリーアナウンサーの多可様(左)



写真2 ナマハゲによって巨大石焼鍋(直径1.8m)に投入される男鹿石(直径約30cm)

お知らせ 研究会役員・会員募集

研究会役員

会長	今井 忠 男 (秋田大学)	幹事	木 崎 彰 久 (秋田大学)
副会長	菅 原 廣 悦 (株寒風)	幹事	杉 本 貞 彦 (株杉貞石材)
		監事	鈴 木 健 一 (堀江建材(株))

「秋田県採石研究会」への入会のご案内

このたび、採石に関する諸問題について、産業界及び学校並びに官公庁の関係者が研究討論し、砕石等に関する知見の交流と採石業の支援をはかることを目的として、下記の様な要綱で「秋田県採石研究会」が設立されました。

ご興味ある方は、本会に入会していただき、この会の発足に対しご支援をいただきたいと思います。

- 発行者 / 秋田県採石研究会
- 発行日 / 2019年7月10日
- 事務局 / 〒010-0951 秋田県秋田市山王六丁目 15-11
(一社) 秋田県採石業協会内
TEL : 018-823-1482 FAX : 018-864-8081
- 印刷所 / 太陽印刷株式会社

