

大谷石採石跡地下空間の健全さ調査に関する実験的研究

宇都宮大学工学部
大木建設
宇都宮大学大学院

正員 ○
学生員

清木 隆文
永岡 智子
松枝 真吾

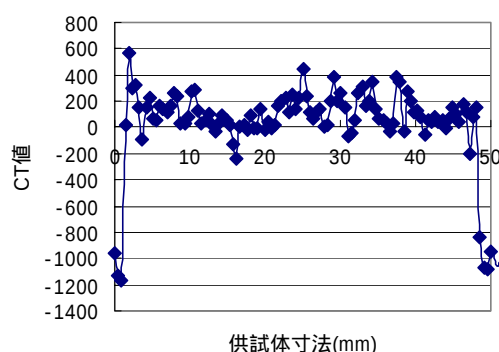
1. はじめに 栃木県宇都宮市大谷町周辺では、建設・建築材料として有名な大谷石(流紋岩質熔結凝灰岩)を産する。良質な石材を産出するために、地下 30 m 以深から採石することにより、結果として地下空間を二次的に形成している。大谷地域に採石跡地下空間は 200 以上も点在している。その力学安全性は、空洞を支える残柱の強度を推定することにより、推定された。平成 13 年 9 月に、この結果が公表され、A, B, C, D, の 4 段階の安定度で区分けされた。安定度が低い採石跡地下空間は即座に崩壊の危機に直面しているのではなく、地震などの外力が作用した時、崩壊の危険性があることを意味するが、将来的には埋め戻されるべきである。一方で安定度の高いものは、一案として、空間資源として活用されるべきである。いずれの場合においても、多くの採石跡地下空洞は、数年から数十年にわたり放置されているものが殆どであるので、埋め戻す場合の安全性を見積もる場合や、有効利用する場合も再度詳細に調査する必要がある。その際に、初期の安全性を保証するには、カメラなどを用いて無人で残柱部、壁面の亀裂の有無などを確認することが考えられる。この画像を用いて、劣化の程度などを推定することが出来れば、幾何学的変状を捉えるだけの調査ではなく、ある程度の確かさで、最低限の安全性の確認が可能となる。そこで、本報文では、その基礎となる大谷石表面の色調と強度の関係について、考察をすすめる。

2. 大谷石の風化特性について 大谷石は、採石される際、空気に曝されることで、劣化(風化)が始まる。雨水浸透による湿潤状態、空気乾燥の繰り返しによる乾燥 - 湿潤繰り返し現象、冬季、坑口付近の気温低下に伴う凍結 - 気温上昇に伴う融解の凍結 - 融解の繰り返し現象が代表的である。風化は、変質して粘土を生成する化学的風化作用、構造的な変形による物理的風化作用、植物、カビなどの発生による生物学的風化に分類される¹⁾。ここに、物理学的風化作用は、主に温度変化による膨張と水の凍結膨張で起こり、寒冷地や乾燥地で際立っている。この他の原因として、内部応力に起因するもの、日射によるものなどがある。一方化学的風化作用は、岩石が水和・炭酸化・酸化・加水分解・溶解等、水を中心とした接触反応で分解し、溶脱される成分と残留物とに分かれる。この化学的風化作用は、乾燥状態ではほとんど起こらず、水蒸気や液体としての水が介在することによって促進される。本報文では、物理的風化作用についての実験・考察を行う。

3. 各種試験の概要

本研究では、栃木県宇都宮市戸室地区で採石される大谷石のなかで、比較的粘土鉱物(みそ)の含有量が少なく均質な細目石を用いた。

(1) 乾湿繰り返し試験²⁾ 供試体を完全に蒸留水で浸水さ



供試体寸法(mm)

図 - 1 2 時間自然脱気状態の大谷石断面の CT 値(横軸：供試体横断面長さ)

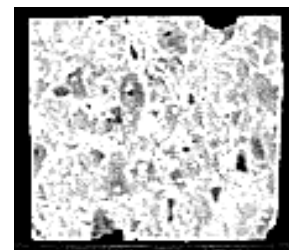


図 - 2 X 線 CT による 2 時間自然脱気状態の大谷石断面

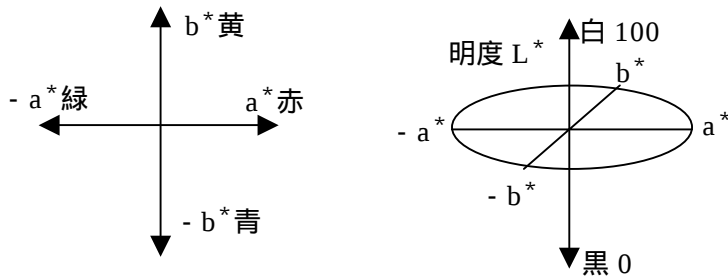
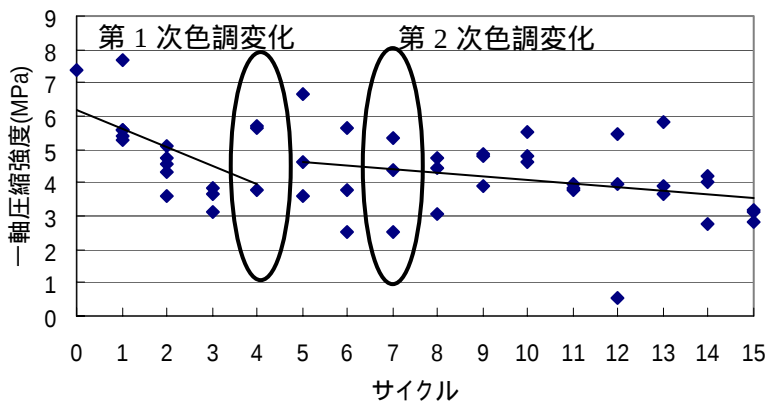
図 - 3 L^* , a^* , b^* 色空間の概念図

図 - 4 凍結融解試験とポイントロード試験の結果

決定し、換算一軸圧縮強さをサンプリングなしで即座に決定することができる。試験方法は、風化面に垂直に針を刺し、その貫入力量と貫入深さを測定し針貫入勾配 NP 値(N/mm)を算出し、一軸圧縮強度に換算するものである。

(5)分光測定試験 岩石の風化程度を画像解析によって区分するために、分光測色計(ミノルタ CM - 501)を用いて、供試体表面の色調変化の測定を実施した。分光測定器の色度表色系は L^* , a^* , b^* であり、これを用いて岩石の色を表現する。色度は、図 - 3 のような座標にプロットし求める。

4. 試験結果と考察 乾湿繰り返し試験では 7 サイクル目で、凍結融解試験では 4 サイクル目で青みを帯びた白色から黄褐色へと変化した。また、変化の状況はいずれの試験でも、初期サイクルでみそのまわりが茶色を帯び、その後全体的に黄色を帯びた茶色に変化し(第 1 次色調変化)、最終的には白色が強くなった(第 2 次色調変化)。第 1 次色調変化は、乾湿繰り返し試験において 7 サイクル目、凍結融解試験でにおいて、4 サイクル目で現れた。第 2 次色調変化はそれぞれ、11 サイクル目、8 サイクル目で現れた。乾湿繰り返し試験および凍結融解試験における換算一軸圧縮強度は、いずれも初期段階で急激に低下し、その後徐々に低下する傾向が見られた。ただし、ある程度の乾湿履歴を与えられても、ほとんど強度は低下しない。また、強度の第 2 次低下は 9~10 サイクル以降から表れた。最低 10 サイクル程度繰り返すと、顕著な強度の低下がみられることが明らかになった(図 - 4: は実験値)。凍結融解試験による換算一軸圧縮強度は、乾湿繰り返し試験による換算値の 2 倍の速さで劣化していく傾向が見られた。以上の結果から、劣化に伴う強度低下と色調には関連性があることが明らかになった。現場画像の色調と分光器による分析結果を結びつけること、乾湿繰り返し試験、凍結融解試験のサイクルと実時間の関係に関連づけることが今後の課題である。

参考文献 1)千木良雅弘 災害地質学入門, 近未来社, 2)一ノ瀬正友, 松井紀久男, 後藤研: 岩石の水分履歴による強度特性の変化, 資源・素材学会誌, Vol.108, No.1, 1992., 3)福田正己: 岩石内の水の凍結融解について, 低温科学, 物理篇, 第 29 号, pp.225 - 229, 1971., 4)高倉望, 伊藤浩: 自動式ポイントロード試験機の開発, 第 36 回地盤工学会論文, 5)地盤工学会編: 岩の調査と試験。

せ、真空ポンプの中で、2 時間脱気状態で湿潤する。湿潤条件は X 線 CT を用いて浸透の程度を確認して決定した(図 - 1, 図 - 2)。その後、炉乾燥機下にて 22 時間自然乾燥(乾燥温度は約 21)させた。自然状態湿潤・乾燥に要する 24 時間を 1 サイクルとして、15 サイクル行った。

(2)凍結融解試験³⁾ 乾湿繰り返し試験と同様に、供試体を湿潤させる。その後、一定勾配をもつ冷凍庫で 11 時間凍結させ、同時に融解する。この 24 時間を 1 サイクルとし、15 サイクル行った。凍結時融解時の温度は約 - 15 ~ 21 で、温度勾配は一定とした。

(3)自動式ポイントロード試験^{4),5)} 岩盤を対象とした簡易力学試験である。試験方法は、2 点で岩石試料を挟み、載荷することによって試料を破断させ、最大荷重から点載荷強度を算出し、換算一軸圧縮強度 $C_0(MPa)$ を求めるものである。

(4)針貫入試験⁵⁾ 軟岩の針貫入勾配を測