

地下採石場における大谷石の風化と強度、色調、成分の経年変化に関する研究

山形県庁 正会員 ○ 坂野 修次
宇都宮大学 正会員 清木 隆文

1. 研究の目的と背景

国内各地で、岩石の凍結融解に起因する岩盤等の斜面崩壊、建造物基礎が膨れるなどの盤膨れ、堆積性軟岩の風化現象に伴う様々な問題が多数報告されている。大谷石は、栃木県宇都宮市に産し、耐震性、耐火性に優れている点から様々な用途に利用されてきた。現在まで、塀や蔵、建物などの建築材料によく利用されてきた。大谷石は硬岩と比較しても加工しやすい一方で、風化の進行が早く、風化に伴う強度の低下、色調の変化や表面の剥がれ落ち等がみられる。また、建築石材として使用されてから数年経過した大谷石は、表面に凹凸やミソ部の欠落による穴等ができることも強度の低下につながっている。こうした風化現象に起因する問題の予測を可能にするためには、風化の発生、進行の過程に伴う成分変化などの原因を明確にするとともに、採石場や石材において、強度の変化状態を定量的に判断できる指標を作成することが望まれる。このため本報文では、粉末 X 線回折試験、ICP (Inductively Coupled Plasma) 発光分析等を行い、風化に伴う成分の変化を検討した。また定量的な劣化状態の指標の作成のために、大谷石の地下採石場において、換算一軸圧縮強度と色調を測定し、それを室内試験の結果と比較し、採掘後の経過年数と関連づけることを試みた。

2. 試験概要

(1) 針貫入試験

この試験は、軟岩の表面を対象に針貫入勾配を測定し、一軸圧縮強さをサンプリングなしで判定が可能である。本研究では現場での採石年数の異なる壁面での一軸圧縮強度の推定に用いた。試験は、採石場の壁面に垂直に針をゆっくりと貫入させ、その貫入力量と貫入深さを測定し、針貫入勾配 NP 値を算出する手順で行った。この値を試験器で標準とされている換算式をもとに一軸圧縮強度へと換算した。

(2) 分光測定試験

この試験は、現場での採石年数での違いを画像解析によって区別するために、現場の壁面の色調を測定するものである。本研究では、分光測色計(ミノルタ CM-508i)を用い、壁面の色調を測定した。分光測定器の色度表色系は $L^* a^* b^*$ であり、これを用いて岩石表面の色を表現した。試験方法は壁面ごとに分光測定器を用いて 16 回程度測定を行い、その平均値を求めた。

(3) 粉末 X 線回折試験

大谷石の風化現象は、何らかの構成成分の変化が原因と考えられる。そこで採石場の採石年代の違う壁面や、様々な採石年代の違う大谷石石材を粉末にし、その化学組成を X 線回折試験機により分析²⁾した。

(4) ICP 発光分析

風化現象の進行は、岩石内外の水分の接触が大きく影響すると考えられる。そこで大谷石の粉末と 5 cm 角の同質量の立方体試料を準備し、三週間水に浸け、その浸潤水の成分を分析することにより、浸けた日数と水中に溶け出した物質の成分変化について調べた。

3. 試験結果と考察

(1) 針貫入試験

図-1 のように、採石後の年数の経過に伴い、換算一軸圧縮強度の低下が見られた。採石年数の長い壁面は風化が進行しているので強度が低下する傾向がある。

(2) 分光測定試験

図-2, 3, 4 (図中「線形」は線形近似の略) のように採石年数が経過するに従って、風化により壁面の L^* 値 ($0 \leq L^* \leq 100$) は黒色から白色、 a^* 値 ($-50 \leq a^* \leq 50$) は緑色から赤色、 b^* 値 ($-50 \leq b^* \leq 50$) は青色から黄色に変化する傾向がある。

(3) 粉末 X 線回折試験

図-5 は採石直後と風化後の大谷石を分析した結果である。風化後には SiO_2 が減少し、「その他」の成分が増える傾向がある。

(4) ICP 発光分析

キーワード 大谷石 風化 強度劣化 粉末 X 線回折試験 ICP 発光分析 分光測色計

連絡先：〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 TEL/FAX 028-689-6216

Na, Mn, Si, Feに着目すると、成分結果は図-6のようになった。日にちが経過するに従って、大谷石から水に溶け込む各成分の検出量が、増加傾向にある。

4. まとめ

採石年数の経過で、換算一軸圧縮強度が低下し、色調が変化した。室内の風化加速試験(蒸散試験)³⁾と比較すると、図-7のようになり、室内試験の繰り返しサイクルと、採石場の採石後の時間経過を結びつけることが出来た。また、本研究は温度湿度などの環境が年間を通してほぼ一定な地下の採石場で計測を行ったため、風化の進行が地上の環境下に比べ遅い結果となった。今後は、地上の一般的な環境を踏まえた強度、色調の検討が必要である。また、水分を介して大谷石の構成成分である Na, Mn, Si, Fe などの成分が減少している傾向がみられた。特に Si の減少は、粉末 X 線回折試験からも確認できた。これらの成分の変化が風化に何らかの影響を及ぼしていると考えられる。今後は、成分の定量的な分析と原因の探求のために、より綿密な分析が必要である。

参考文献

- 1) 大田登 (2001) 色彩工学, 東京電機大学出版局.
- 2) 山中高光 (1993) 粉末 X 線回折による材料分析, 講談社.
- 3) 瀬川隆大 他 (2005) 堆積軟岩の風化による表面色調および強度の変化に関する研究, 第 34 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.477-482.

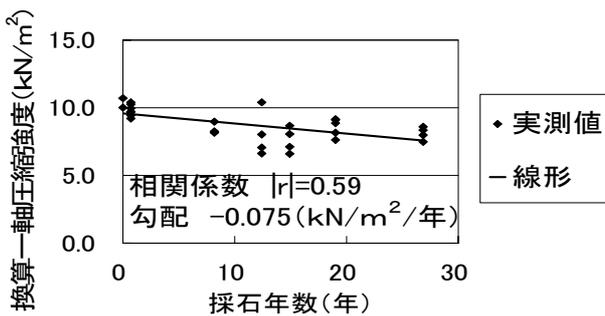


図-1 採石年数と換算一軸圧縮強度

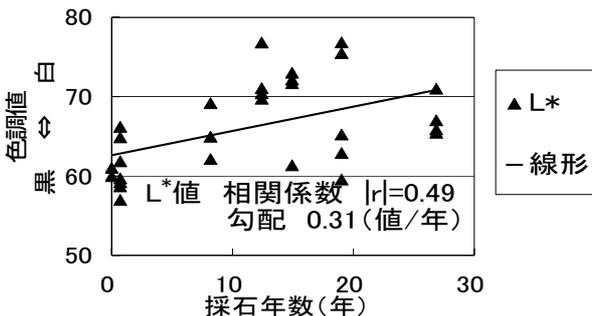


図-2 採石年数と色調 L* 値

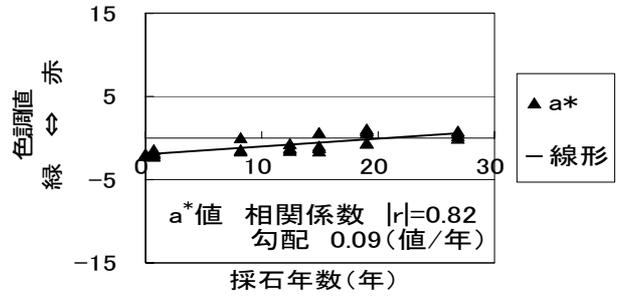


図-3 採石年数と色調 a* 値

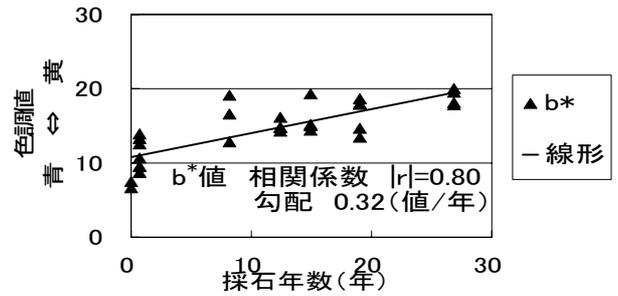


図-4 採石年数と色調 b* 値

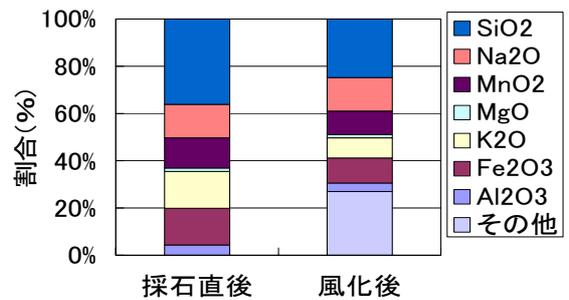


図-5 採石直後と風化後の成分の比較

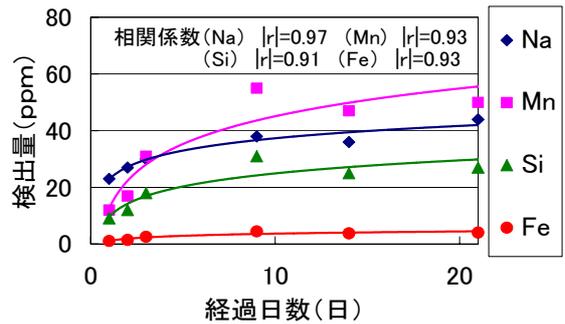


図-6 粉末の試料を水に浸けた経過日数と各成分の検出量

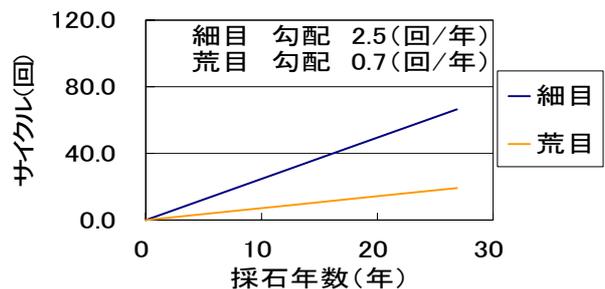


図-7 採石年数と室内試験の繰り返しサイクル