

ハンドヘルド蛍光 X 線分析装置による岩石材料の風化変質度の判定について

大成建設（株）技術センター 正会員 ○市來孝志，山上順民，藤原靖
大成建設（株）土木本部土木技術部ダム技術室 正会員 武本隆太郎

1. はじめに

土木工事においては、種々の岩石が構造物の材料として利用されており、施工現場で品質管理を行わなければならない場合も多い。材料の品質を決める岩石の物理特性としては密度および吸水率があり、これらの物性値は岩石の風化変質度に影響される。施工現場での品質管理においては、施工の効率化のために迅速で簡便な手法による風化変質度の判定技術が求められる。その1つとして帯磁率を用いる方法が検討されているが¹⁾、帯磁率の低い花崗岩のように適用の難しい岩種もある。そこで筆者らは、これまで土壤汚染調査やトンネル掘削ズリの有害金属分析等に用いられてきたハンドヘルド蛍光 X 線分析装置^{2) 3)}に着目し、安山岩と花崗岩の風化変質度の判定に用いた。その結果、帯磁率の低い花崗岩についてもその有効性を確認したので報告する。

2. ハンドヘルド蛍光 X 線分析装置

ハンドヘルド蛍光 X 線分析装置（図-1）は、装置前面に設けられた直径 8.0 mm の孔から照射する X 線により、試料から発生する 2 次 X 線（蛍光 X 線）を計測することで、元素の定性・定量分析を行うものである。装置の大きさは約 10cm（幅）×25cm（奥行き）×25cm（高さ）、重量は 1.7 kg 程度である（図-2）。使用したハンドヘルド蛍光 X 線分析装置では、ナトリウム等の一部の軽元素は測定対象外となっているものの、ビスマスまでの重元素を測定できる。従来の卓上型分析装置と比較して、ハンドヘルド分析装置を用いた測定では、次の 3 つのメリットがある。(1) 携帯性に優れる他、防塵・防滴構造のため屋外等の悪環境下でも容易な操作で分析ができること、(2) 測定時間が 1 か所あたり約 30～60 秒と短いこと、(3) 非破壊で分析でき試料調整の必要がないこと、である。

3. 岩石試料と試験方法

岩石試料は安山岩と花崗岩の 2 種を用いた。安山岩については関東北部の土工事現場にて、花崗岩については九州北部の採石場にて採取した。各現場では、主に目視やハンマー打撃で風化変質度の異なる試料を採取し、ハンドヘルド蛍光 X 線分析装置で岩石の元素含有量（重量パーセント濃度）を測定した。測定された主成分元素はケイ素、チタン、アルミニウム、マグネシウム、マンガン、鉄、カリウム、カルシウムの 8 元素である。現場での試験後、室内試験として岩石試料から円柱状供試体を作製し、密度や吸水率の他 8 種の物性値を測定した。一般に、岩石の元素含有量を用いた風化変質度の判定には、風化変質により溶脱しやすい元素（カリウム、カルシウム、ナトリウム等）と溶脱しにくい元素（アルミニウム、ケイ素等）の酸化物の比が用いられる^{5) 6)}。今回は溶脱しやすい元素のうち、本装置で測定対象外のナトリウムを除く元素を用いて判定を試みることにした。

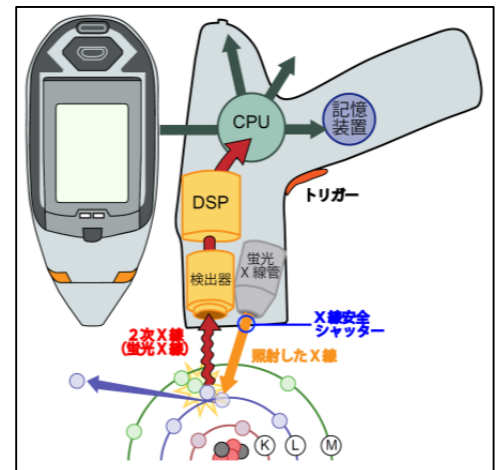


図-1 ハンドヘルド蛍光 X 線分析の原理
(4) に加筆



図-2 ハンドヘルド蛍光 X 線分析装置

4. 結果と考察

試験の結果、カリウムその他の元素についてはカルシウムほど風化変質度に応じた有意義な差は認められなかった。そのため、カルシウムについて酸化物の重量パーセント濃度 (CaO wt%) による判定を試みた。各岩種の CaO 濃度と乾燥密度および吸水率の関係をそれぞれ図-3、図-4 に示す。CaO 濃度と乾燥密度・吸水率の関係は岩種毎に異なり、図-3 (a) および図-4 (a) に示されるように安山岩では線形関係であるが、花崗岩では図-3 (b) および図-4 (b) に示されるように非線形関係である。これらの図を用いて風化変質度の判定を行う場合、一般的にコンクリート用碎石・砕砂に求められる乾燥密度は $2.5 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ 以上、吸水率は 3%以下である (JIS A 5005) ことから、CaO 濃度のしきい値は安山岩では約 6 wt%，花崗岩では約 0.7 wt%となる。これらのしきい値を使って未風化岩、風化岩と判定できると考えられる。CaO 濃度を用いて未風化岩、風化岩と判定できた要因として、安山岩や花崗岩を構成する造岩鉱物中のカルシウムが風化変質により溶脱しやすく、その差異が明確に出るためであると考えられる。

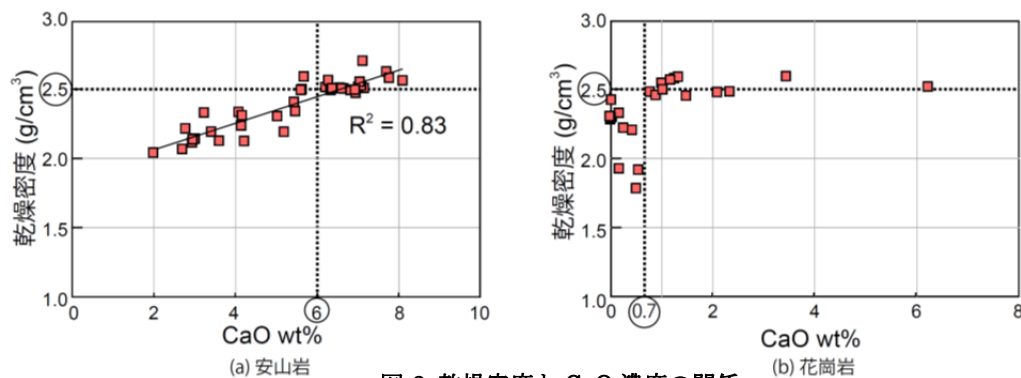


図-3 乾燥密度と CaO 濃度の関係

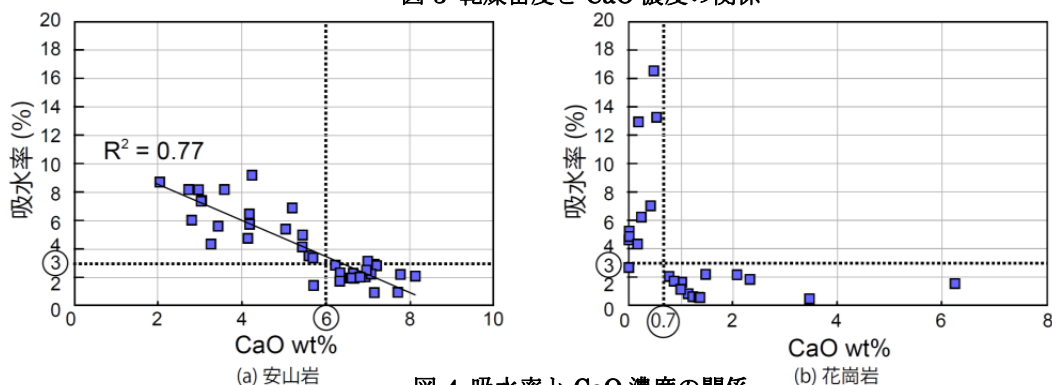


図-4 吸水率と CaO 濃度の関係

5. まとめ

ハンドヘルド蛍光 X 線分析装置による測定の結果、安山岩および花崗岩それぞれについて CaO の重量パーセント濃度を用いて未風化岩および風化岩を判別できる可能性を示した。現場で行われる分析手法としては、数秒程度で風化変質度の判定ができる帯磁率による方法がある¹⁾。しかしながら、帯磁率の低い花崗岩のような岩石の場合には風化変質度の判定が難しいため、現場においてはハンドヘルド蛍光 X 線分析装置を用いた手法が有効であることが分かった。今後は産地の異なる同種の岩石においても同様の知見が得られるか確認したい。さらに堆積岩類についても検討していきたい。

参考文献

- 1) 山上ほか：携帯用帯磁率計による岩石材料の風化変質度の判定について，土木学会第 69 回年次講演概要集，2014.
- 2) 丸茂ほか：小型エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 (EDXRF) を用いた汚染土壌地の現場迅速分析事例，X 線分析の進歩，第 38 集，pp. 235-247，2007.
- 3) 西・打木：自然由来重金属等含有トンネルズリの簡易蛍光 X 線分析装置による汚染土壌の算定にあたっての課題，全地連「技術フォーラム 2014」，2014.
- 4) 「How XRF Works」 (Niton 社 HP)，<http://www.niton.com/en/portable-xrf-technology/how-xrf-works>.
- 5) Reiche, P. : Graphic representation of chemical weathering, Journal of Sedimentary Petrology, 13, pp. 58-6, 1943.
- 6) Nesbitt, H.W. and Young, G.M. : Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations, Geochimica et Cosmochimica Acta, 48, pp. 1523-1534, 1984.