

花崗岩の画像解析による風化度区分

Classification of Weathering Degree of Granite by Image Analysis

藤 原 靖 (ふじわら やすし)

大成建設㈱技術センター 主席研究員

小 山 哲 (こやま さとる)

鈔篠塚研究所 主任研究員

里 優 (さと まさる)

㈱地層科学研究所 代表取締役

江 田 正 敏 (えだ まさとし)

大成建設㈱北信越支店 課長

1. はじめに

建設工事で岩石材料を使用する場合あるいは岩盤強度を評価する場合には、ボーリングや掘削で採取した岩石試料での各種の調査・試験により材質区分や岩盤分類を行う。実際の切羽では、目視観察やハンマー打診で得られる経験的な判断で区分や分類を行う場合も多い。その場合、定量性や客観性に欠ける傾向があるため、より迅速かつ定量的に区分・分類する手法が必要となる。

岩石材料の区分・分類法として、最近では岩石の色彩の数値化に関する研究がある。満下ほか¹⁾は、 $L^*a^*b^*$ 色度表色系では岩石試料の乾燥湿潤状態は a^* と b^* に影響を与えず、 b^* と吸水率や絶対乾燥比重と相関があり、岩石の色を数値化し色の変化を鉱物学的に明確にすることで風化区分や物性評価の可能性を示した。芦田ほか²⁾は、砂岩や頁岩で色彩色差計を用いて b^* で岩級区分ができ骨材判定に有効であること示した。しかし、これらは色彩色差計による点情報であり、ある広がりを持った切羽などで、迅速に品質を判断するのは難しい面がある。

そこで本検討では、風化花崗岩で構成されている原石山を調査フィールドとして、迅速試験法として簡易的な吸水率試験、定量的な区分・分類法として切羽の撮影画像に対する画像解析を適用し、同手法の風化度区分への適用の可能性について検討を行った。

2. 風化花崗岩の性質と試験・調査方法

2.1 調査地の風化花崗岩について

調査地は、富山県の内陸部に建設中の河川構造物の原石山である。原石山の地質は、船津花崗岩類の中の薄皮花崗岩から構成されている。薄皮花崗岩は、船津期深成作用の先駆として貫入したとされる閃緑岩類と後に併入した花崗岩類に分けられる。このうち調査対象とした領域は、花崗岩類が分布する場所である。

花崗岩類は、花崗閃緑岩であり全般的にはカリ長石、石英を主要鉱物とする灰～淡桃灰色を呈し、細～粗粒の堅硬な岩で、内部まで風化・変色し脆弱化した部分を有する。新鮮部ではかなり堅硬で閃緑岩と大差はない。しかし、風化を受けやすく、脆弱な岩盤が分布している。両岩はかなり漸移的で境界は明瞭ではなく、ほぼ鉛直に近い形で接していると考えられる。

2.2 花崗岩の風化度

調査地の花崗岩類は、以下の3段階の風化度に区分することができる。

風化度Ⅰは、細～中粒で新鮮～若干風化しているが堅硬で中～粗粒、もしくは若干風化しているが、堅硬である。目視により風化程度が小さく、その分布領域を特定できる。吸水率は0.5～1.5%の範囲である。風化度Ⅱは、中～粗粒で流理構造をしている岩塊も一部存在している。風化しているが、鉱物同士の結合はしっかりしており手では割れず、亀裂面には赤褐色の酸化物が付着しているのが見られる。風化度Ⅲは、風化度Ⅰ、風化度Ⅲとの境界あるいは、分布領域を目視で特定することは困難である。吸水率はばらつきが大きく、1.0～2.5%の範囲である。風化度Ⅲは、中～粗粒で流理構造をしている岩塊も一部存在する。風化が著しく、鉱物同士の結合が弱いために手で割れる。亀裂面には赤褐色の酸化物が付着し、有色鉱物は全体的に緑色を呈する。風化程度が大きく、目視によりその分布領域を特定できる。吸水率は2.0%以上で、3.0%前後のものが多い。

2.3 風化度の迅速試験法と切羽調査

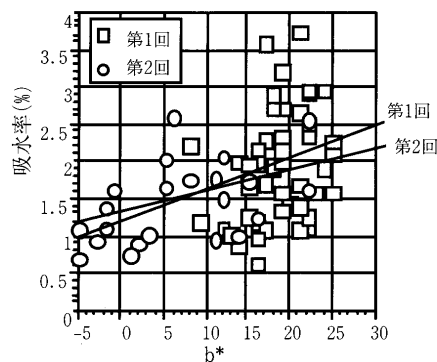
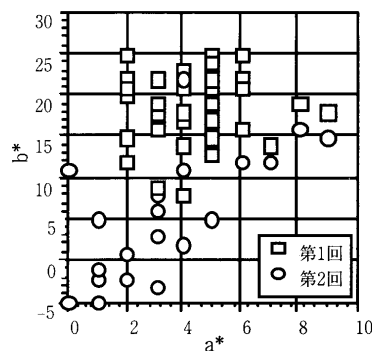
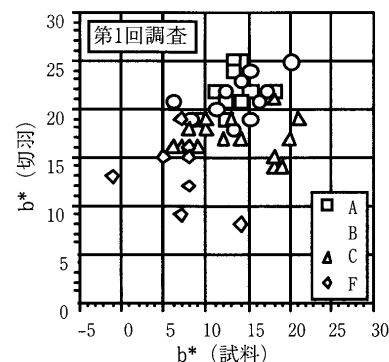
風化花崗岩は、造岩鉱物の各粒子間の結合状態が弱く、主要鉱物である長石類はへき開性を持ち、粘土化しやすく、雲母類は剥離性を有する。

その風化度の指標としては、引張り強さ、吸水率、強熱減量、化学組成の割合など^{3)~5)}があるが、これらの指標のいずれも風化による組織の脆弱化を直接的、間接的に示したものである。中でも吸水率は風化度との相関が高く比較的試験が容易であり、骨材などの試験項目にもあげられている。

そこで、迅速試験法として吸水試験を採用し、特に少量の供試体で簡易に試験を行うため、JIS A1109-1993もしくはA1110-1989に準拠していない次の方法で測定する簡易的な試験法とし、以下これを簡易吸水率と称した。

まず、試料の採取ならびにハンマー等による粉碎で5～10gの岩片を作成し、岩片試料の24時間吸水と吸水試料の重量を測定する。その後、24時間110℃炉乾燥と重量測定を行い、吸水率を算出する。文章および図中の吸水率はすべて簡易吸水率である。

調査地での切羽調査・試料採取方法と手順は以下のと

図一 1 切羽での簡易吸水率と b^* の相関図二 2 切羽での a^* と b^* の関係図三 3 試料の b^* と切羽の b^* の関係

おりである。対象地の概観調査により調査対象ベンチ・切羽範囲を決定し、カメラ器材の設置と試料採取前の写真撮影を行う。測量・試料採取位置のマーキングを行った後、マーキング箇所を試料を採取する。採取試料の写真撮影（写真画像を「試料」とする。）と試料採取後切羽の写真撮影（写真画像を「切羽」とする。）を行う。

切羽調査は2回実施した。第1回調査として、採取試料の簡易吸水試験・写真撮影と切羽の写真撮影を行った。第1回調査と切羽を変えて普遍性を検討するため、第2回調査として採取試料の簡易吸水試験と切羽の写真撮影を実施した。これらの調査における簡易吸水試験結果では、岩石の吸水率は0.5～4%の範囲であった。

3. 画像解析による風化度区分

3.1 岩石の色彩の計測と評価

本研究では $L^*a^*b^*$ 色度表色系を用いた。この表色系は、人が知覚できる僅かな色の差を見分けられる比較的簡単な表色系である。コンピューターで使用されているRGB色度表色系は、RGBと $L^*a^*b^*$ との変換式が必要となる。ここではCIE（国際照明委員会）の変換式を用いた。

満下は¹⁾は、花崗岩が風化することにより、岩石の色が青色系から黄褐色系に変化することを示した。本研究では、切羽での花崗岩の風化度を判定する際に色彩を指標とした評価・区分の可能性について検討した。

画像情報は、現地の切羽から採取した試料を1m離れて撮影した写真画像（試料）と現地で切羽から10m以上離れた距離から撮影した写真画像（切羽）からなる。

色彩の計測方法は、デジタルカメラで撮影した岩石の写真画像から画像処理用ソフトウェア（アドビ社製：Photoshop）を用いて $L^*a^*b^*$ を求める方法である。

撮影された画像が定量的に解析可能であるための条件として、太陽高度、天候、撮影角度、背景色について検討を行った。その結果、 b^* は午後の方がやや大きく、 a^* と b^* はともに曇りと晴天ではほとんど変わらず、撮影角度による画像のゆがみは無視でき、背景色は a^* には影響しないが、 b^* は黒色の方がやや大きくなる傾向があるが、岩石の品質をかなりの精度で判別できると判断した。

3.2 岩石の色彩と簡易吸水率との関係

切羽の画像解析で得られた簡易吸水率と $L^*a^*b^*$ 表色系の b^* との関係を図一1に示した。吸水率と b^* の関係は、第1回と第2回ともに同じような回帰式となり、同様の関係があることが分かる。吸水率が1.5%の時、 b^* は10前後となり、岩石の外観から判断すると、この値付近が風化度ⅠとⅡないしⅢとの境界と考えられる。

図一2には、 $L^*a^*b^*$ 表色系の a^* と b^* の関係について示した。値が大きくなるにしたがって a^* は緑から赤へ、 b^* は青から黄色への系統的な変化を示している。第1回および第2回調査ともに a^* と b^* の間に相関性がみられる。

試料と切羽について、 b^* の相違が認められるかについて検討を行った。図一3に第1回調査における b^* の試料と切羽の関係を示した。図中の凡例A～Fは、切羽における測線位置を示す。測線Fのデータにばらつきはあるものの、両者には相関性が認められる。全般的に切羽の方の b^* 値が大きい傾向が認められた。測線Fは、同地区で一部に分布する閃緑岩の可能性もある。

以上のことから、花崗岩の範囲では吸水率と b^* 、 a^* と b^* 、試料の b^* と切羽の b^* の間に相関性があることが認められた。

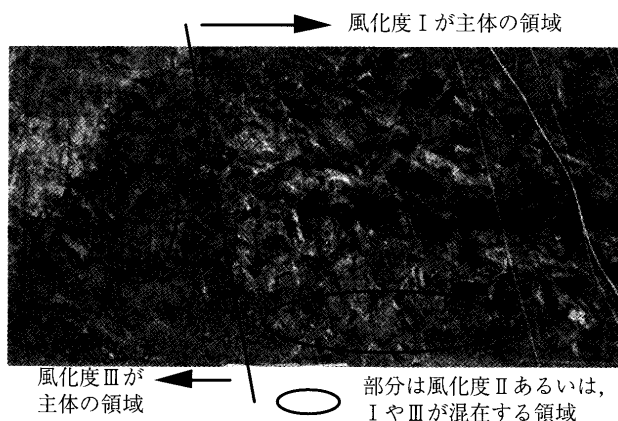
3.3 風化度判定

風化度区分の判定として、閾値での区分とニューラルネットワークでの区分について比較検討を行った。閾値の設定は、図一1の切羽での第1回および第2回調査の回帰式で、簡易吸水率が1.5%に相当する $b^* = 10$ とした。

幸は⁶⁾は、色彩に基づく岩質の分類手法としてニューラルネットワークが有用なことを示した。本研究では、ニューラルネットワークのアルゴリズムとして誤差逆伝播学習（back propagation error learning）を用いた。この手法の詳細は、安斎⁷⁾に詳細に解説されている。

ここでは、RGB値からニューラルネットワーク上で構築した変換式で $L^*a^*b^*$ を求め、 a^* と b^* を入力層、風化度Ⅰ・風化度Ⅲを出力層、1つの中間層（風化度Ⅱ）を設定した。教師データとし、風化度Ⅰ（ $a^* = 2$, $b^* = 10$ ）、風化度Ⅱ（ $a^* = 5$, $b^* = 15$ ）、風化度Ⅲ（ $a^* = 5$, $b^* = 20$ ）の3分類データを与えて学習してネットワークの重み付けで判別した。

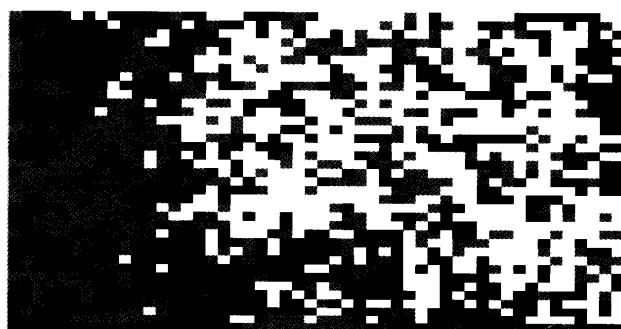
論 文



写真—1 画像解析で風化度区分を検討した切羽



写真—2 閾値分類による風化度区分の例



白：風化度Ⅰ，灰色：風化度Ⅱ，黒：風化度Ⅲ

写真—3 ニューラルネットワークによる風化度区分の例

写真—1には、画像解析の対象とした切羽画像を示した。図中の左側1/3が目視で風化度Ⅲに分類できる領域で、右側2/3が風化度Ⅰを主体にしている。楕円の部分には風化度Ⅰに風化度Ⅲが、風化度Ⅲに風化度Ⅰが混在する、あるいは風化度Ⅱとなっている。

写真—2は簡易吸水率が1.5%に相当する $b^*=10$ を閾値とした場合で、黒く塗りつぶされた領域が風化度Ⅲ($b^*=10$ 以上)に相当している。その領域は、目視での風化度Ⅲに分類される領域よりもやや狭い範囲である。

写真—3はニューラルネットワークにより区分した結果である。写真の黒の領域が風化度Ⅲで白の領域が風化

度Ⅰ、灰色の領域が中間の領域で風化度Ⅱに相当する領域と考えられる。目視で観察された部分的な風化度ⅡやⅠとⅢの混在の分布が良く表現された結果となった。

以上から、 b^* による閾値分類で花崗岩の風化度を区分することが可能であり、 a^* と b^* によるニューラルネットワークで閾値分類とほぼ同等の風化度区分ができ、かつ中間的な風化度についても区分できることや混在領域を表現することが可能であることが明らかとなった。

4. ま と め

花崗岩の風化度区分のための迅速試験法と撮影画像の画像解析とを組み合わせた定量的な風化度区分法の検討を行い、以下の点が明らかとなった。

- 1) 簡易吸水率と $L^*a^*b^*$ 色度表色系の b^* および b^* と a^* との間に相関性が認められた。
- 2) 試料と切羽を比較すると、全般的に切羽の b^* 値の方が大きめであるが、ほぼ同じであると判断でき、切羽撮影画像から計測した色彩情報で風化度指標である簡易吸水率を推定することで風化度の区分が可能であることを確認した。
- 3) b^* 値を閾値として切羽の風化度区分を行うことが可能で、ニューラルネットワークの入力値として b^* と a^* を与え学習させることで中間領域を含めた風化度区分を行うことが可能であることを確認した。

課題として、撮影条件の相違による影響の補正方法、調査、処理、評価、判断までの時間短縮による適用性の向上などがあげられる。本手法は、今後ますます、岩石材料の採取・廃棄の判断の定量化と客観性を付与する手法として発展することが予想され、岩盤斜面の風化度の遠隔モニタリングやトンネル切羽調査への応用が考えられる。

参 考 文 献

- 1) 満下淳二・石沢一吉・遠藤 司・武内俊昭：岩石の色彩測定と風化区分および物性値評価への応用に関する検討，応用地質，Vol. 38, No. 6, pp. 370～385, 1998.
- 2) 芦田仁作・山辺辰男・左近重信：岩石の色彩数値化による地質評価と骨材管理，ダム技術，No. 121, pp. 55～68, 1996.
- 3) 木宮一邦：花こう岩類の物理的風化指標としての引張強度-花こう岩の風化・第1報，地質学雑誌，Vol. 81, No. 6, pp. 319～364, 1975.
- 4) 岡本修一・藤原 靖：風化花崗岩系骨材の有効利用に関する基礎的研究，大成建設技術研究所報，No. 26, 1993.
- 5) 天田高白・岡谷 直：化学的風化指数に関する一考察，新砂防，Vol. 42, No. 4, pp. 5～11, 1989.
- 6) 辜 彬・小池克明・大見美智人：ニューラルネットワークの分類精度に関する基礎的検討とその切羽画像解析への応用，資源と素材，Vol. 155, pp. 155～162, 1998.
- 7) 安斎拓一郎：認識と学習，岩波講座ソフトウェア科学，Vol. 15, 1989.

(原稿受理 2001.3.3)