

風化花崗岩切羽画像のニューラルネットワークによる品質区分 QUALITY EVALUATION OF WEATHERED GRANITE BY MEANS OF NEURAL NETWORK

藤原 靖*、小山 哲**、青島 正和***、里 優****

Yasushi FUJIWARA, Satoru KOYAMA, Masakazu AOSHIMA, Masaru SATO

An evaluation method for rock quality by means of a neural network model is discussed. The color of a rock surface can characterize the rock quality, especially degree of weathering. RGB information from a picture of an excavation face is transformed to $L^*a^*b^*$ system. The relationship among each value of a^* and b^* and water absorption of rock specimens, which represent the degree of weathering, is investigated. To evaluate the rock quality of whole face area based on the data obtained from small specimen, the neural network model is adopted. $L^*a^*b^*$ values of specimen are inputted to the neural network as a supervisor, and the distribution of rock quality in the excavation face is calculated by means of back propagation error learning algorithm. As a result, it is shown that the degree of weathering evaluated by the neural network and by observation correspond with each other.

1. はじめに

岩石材料を使用する建設工事では、良質岩を採取しようとするとき採取場所が使用場所から離れていたり、採取場所が近くても廃棄量が多く捨場の確保が難しいなど、経済と環境保全面での問題が生じる。そのため可能な限り、採取した材料を有効に利用することが重要である。

採取地における採取・廃棄の判断は、ほとんどが目視観察やハンマーの打診により判断する 경우가多く、利用下限値の設定が良質側になるため、有効利用が十分に行われにくい面がある。よって、有効利用には、岩石材料の採取・廃棄を判断する際に、迅速かつ定量的に品質判定する手法が必要となる。そのため、迅速な試験方法や広域に分布する岩石の定量的品質区分法が要求される。

岩石材料の定量的品質区分法として、最近では岩石の色彩の数値化に関する研究がなされている。満下他¹⁾は、 $L^*a^*b^*$ 色度表色系を用いると、岩石試料の乾燥湿潤状態はその a^*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が可能であることを示した。芦田他²⁾は、砂岩や頁岩については色彩色差計で計測された b^* で岩級区分ができ、骨材判定に有効であることを示した。しかし、これらは色彩色差計による点情報であり、一定範囲の切羽を対象にして面的に、かつ迅速に品質を判断できるものではない。

そこで本研究では、迅速試験法として簡易的な吸水率試験に、また定量的品質区分法として切羽の撮影画像に対して画像解析に焦点をあてた。また、閃緑岩から花崗閃緑岩で構成されている岩石採取地を調査フィールドとして、ここより得られたデータをもとに、各手法の可能性と問題点について検討を行った。

* 正会員 農博 大成建設(株)技術研究所 *** 正会員 大成建設(株)技術研究所
** 正会員 大成建設(株)技術研究所 **** 正会員 工博(株)地層科学研究所

2. 岩石材料の性質と試験・調査

調査フィールドは、富山県の内陸部に建設中の河川構造物の岩石材料の採取地である。採取地周辺の地質は、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。

閃緑岩類は、石英、長石、角閃石を主要鉱物とする帯緑灰色～緑色、中～粗粒、塊状堅硬な岩で、淡桃色のカリ長石を主とするアプライト脈が多い。尾根頂部を除いて全般に風化は少ない。

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、花崗閃緑岩が分布する東および北側では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。

花崗岩の品質は、まさ土に象徴されるように風化が問題となる。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、迅速試験法として簡易吸水試験とした。これは JIS A1109-1993 もしくは A1110-1989 に準拠せず、以下の方法で測定する吸水率で、ここでは簡易吸水率と呼ぶ。

- (1) 試料採取
- (2) ハンマー等による 5～10g 岩片の作成
- (3) 5～10 個岩片試料の 24 時間吸水と吸水試料の重量測定
- (4) 24 時間 110℃ 炉乾燥と乾燥試料の重量測定

調査フィールドでは、風化度の異なる 21 点の岩塊試料を採取し、写真撮影と簡易吸水試験を行った。これを以下 21 試料とする。切羽では調査・写真撮影、試料採取・迅速試験を第 1 回～3 回までの合計 3 回実施した。21 試料および 3 回の切羽調査における簡易吸水試験結果では、岩石の簡易吸水率は 0.5～10% の範囲であった。

3. 品質区分のための色彩評価

3. 1 色彩を定量的に表わす方法

本研究では、色彩の表現に $L^*a^*b^*$ 色度表色系を用いた。この表色系は、人が知覚できるわずかな岩石の色の差を表現しうる比較的簡単な表色系である。 $L^*a^*b^*$ 表色系のパラメーターの意味は次のとおりである。

- L^* : 色の明度を表わし、100 が白、0 が黒である。
- a^* : 赤緑（正方向が赤、負が緑）の色の程度を示す。
- b^* : 黄青（正方向が黄、負が青）の色の程度を示す。

コンピューターやデジタルカメラでは、RGB 色度表色系が使用されているが、この場合は 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。直接 $L^*a^*b^*$ の値を得る方法としては、色彩色差計（ミノルタ CR-300）での測定がある。これは計測器が発した白色光の反射光をセンサーで受信する方法である。

3. 2 岩石の色彩と物性値の評価

満下他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。ここでは、骨材の良否を判定する際に色彩を指標とした評価の可能性について検討した。調査データは、現地の切羽から採取した試料を 1m 離れて撮影した画像データ（以下、「試料」と呼ぶ）と、現地で切羽から 10m 以上離れた距離から撮影した画像データ（以下、「切羽」と呼ぶ）からなる。

色彩の計測方法として、「色彩色差計、Photoshop」による 2 つの方法について検討を行なった。ここに、「色彩

色差計」は、ミノルタ CR-300 を用いて岩石から直接に $L^*a^*b^*$ を測定する方法である。また、「Photoshop」は、デジタルカメラで撮影した岩石の画像データから Photoshop (アドビ社製画像処理用ソフトウェア) を用いて $L^*a^*b^*$ を求める方法である。

簡易吸水率と Photoshop で計測した b^* との相関性を、21 試料および 3 回の切羽調査データから詳細に調べた結果を、図-1 に示す。第 1 回調査における試料および切羽データの相関が極めて低いのは、少なくとも 2 種類の岩種が含まれているためである。図-1 を見ると、 b^* が 5~15 の範囲で簡易吸水率が 2.0 を境に 2 つのグループに分かれることがわかる。簡易吸水率 2.0 以下のグループ 1 は 21 試料と第 3 回調査の回帰式の中に位置するが、簡易吸水率が 2.0 以上のグループ 2 はもっと勾配の立った回帰式となった。図では、切羽における b^* の相関が試料のそれに比べて低くなっているが、切羽の回帰式 (第 1、2 回) は試料の回帰式 (21 試料、第 3 回) と良く似た傾向を示している。

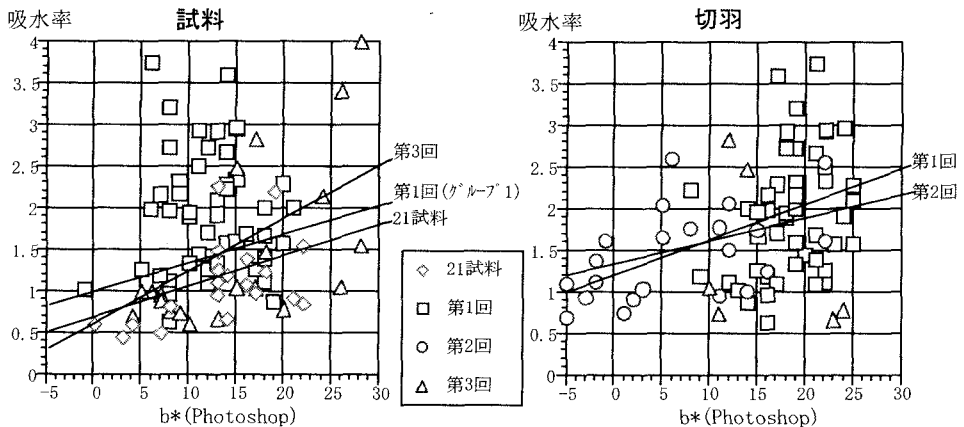
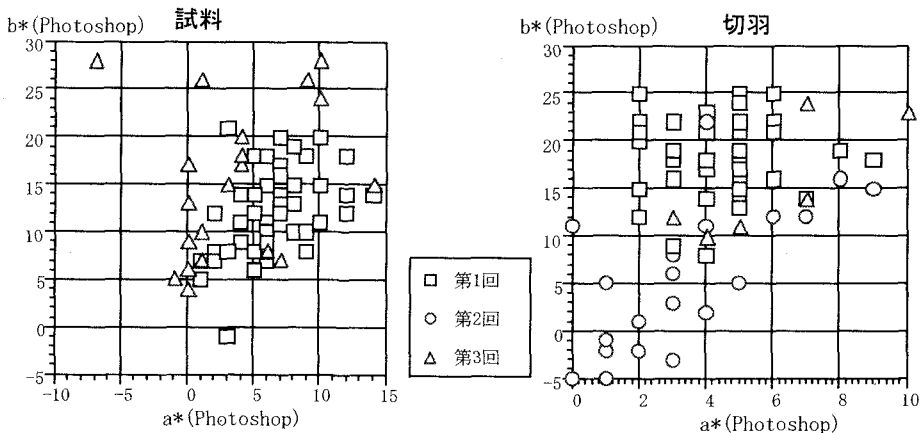


図-1 採取した試料と切羽における b^* の値と吸水率の関係

簡易吸水率と b^* の相関性は認められたが、さらに、 a^* と b^* の関係について検討した。図-2 から明らかなように、各調査毎の試料および切羽ともに a^* と b^* の間に相関性が認められる。データの分布範囲では、色の変化は a^* は緑から赤へ、 b^* は青から黄色に系統的に変化している。

相関は、試料に比べて切羽におけるデータの方が高くなっている。また、試料における第 1 回と第 3 回調査では同じ傾向が表れており、切羽においても同様である。第 2 回が a^*b^* ともに小さめの値であるが、この切羽では良い品質の岩石が多く点在していた。



採取した試料と切羽における a^* と b^* の関係

4. 画像解析による品質区分

4. 1 ニューラルネットワークによる判定

これまでの検討により、画像データより求めた色彩情報 (a^* と b^*) が、岩石の風化度合いと相関があり、これをもとに品質区分が可能であることがわかった。ただし、これらの相関関係を線形の回帰式で表すことは難しく、また、撮影条件や日陰などの要因を受けていることも考えられる。

幸他³⁾は、このような場合の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。すなわち、対象とする切羽面のうち、いくつかの点で試料を採取し、これを試験することで品質区分を明らかにしておく。これを教師データとして、これらの点での色彩情報と品質区分との関係をニューラルネットに学習させ、画像全体にわたる品質区分をこれに行わせようとするものである。

本研究では、ニューラルネット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。この手法の詳細は文献⁴⁾などに詳しいが、概略を示すと以下のとおりである。

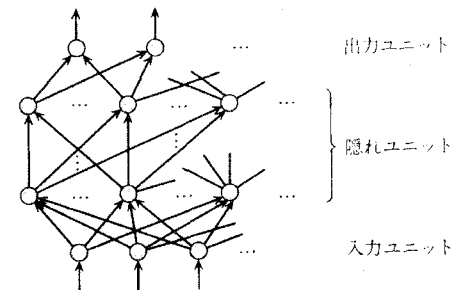


図-3 ニューラルネットワークの概念

図-3のようなニューラルネットを考える。このニューラルネットは、次のような二つの特徴をもっている。

(1) 入力ユニット層と出力ユニット層の間に、隠れユニット層を任意個数もった多層構造 (multilayer structure) をしている。

(2) 入力ユニット層から出力ユニット層へ向かってのリンクは存在するが、逆方向のリンクは存在しないフィードフォワード構造 (feedforward Structure) をしている。

このとき、このような構造をもつニューラルネットに対して、次のような学習アルゴリズムを考える。すなわち、入力データとそれに対する理想出力値の組がいくつか順に与えられるものとする。一方、その入力データに対して、実際にニューラルネットを用いて各ユニットの入出力計算を行えば、実際の出力値が求められる。そこで、同じ入力データに対する理想出力値と実際の出力値の誤差に基づいて、実際の出力値が理想出力値に近くなるようにネットにおけるリンクの重みを変化させる。教師データにより、ニューラルネットにおけるリンクの重みを求めておき、画像全体の色彩情報を順に与えて品質区分を行うのである。

4. 2 画像解析結果と考察

切羽の画像解析にあたっては、 a^* と b^* を入力層とした。教師データとして、I ランク ($a^*=2, b^*=10$)、II ランク ($a^*=5, b^*=15$)、III ランク ($a^*=5, b^*=20$) の3分類のデータを与えて学習を行なった。なお、ニューラルネットによる画像解析には (株) 地層科学研究所製のソフトウェアを用いた。解析対象の画像を、図-4 に示す。

ニューラルネットワークにより分類した結果が図-5である。図では、ランクが I から III になると黒く表現されている。良質な岩は画像の右側を占めており、左側に行くにつれ品質が低下していることは、目視による分類の結果とほぼ一致した。

ニューラルネットの入力層には、さらに L^* を加えて評価することもできる。図-6は L^* の分布を濃淡で示したものであるが、 L^* が一様となっている場所では風化が進み、切羽の表面が平坦になっていると判断できる。逆に、 L^* の変動が激しい場所は、岩石の凹凸が激しく、岩石が新鮮であることがわかる。このような情報も加えることにより、品質区分の精度が向上すると考えられる。

この他、画像データからは、次のような画像情報も引き出すことができる。

- (1) ある領域における、 $L^*a^*b^*$ それぞれの標準偏差
- (2) それぞれの品質ランクが判定された位置座標

たとえば、岩石の凹凸度合いは、ある領域の L^* の変動が激しいほど (標準偏差が大きいほど) 高いと判断でき、

また、風化の進んだ部分のそばには、やはり風化の進んだ部分が存在すると考えられるからである。

4. まとめと問題点

閃緑岩～花崗閃緑岩の岩石採取地で、品質区分のための迅速試験法と撮影画像の画像解析とを組合わせた定量的品質区分法の検討を行った。検討は、切羽および切羽から採取した岩石の試料の撮影画像と岩石試料の迅速試験による物性値と色彩との関係、それに基づく岩石の品質区分の判定を中心に行い、以下の点が明らかとなった。

(1) 今回対象とした閃緑岩や花崗閃緑岩は、簡易吸水率と色彩 a^* および b^* との相関性が認められた。

(2) 試料と切羽を比較すると、一般的に切羽の b^* 値の方が大きめであるが、その差はわずかであり、切羽データから計測した色彩情報で簡易吸水率を推定し、品質の区分判定を行うことができると判断できる。

(3) ニューラルネットワークの入力値として a^* と b^* を与え、品質区分を学習させることで、掘削切羽全体にわたる品質区分を行うことができる。ただし、撮影条件などに a^* と b^* が左右されることがあるため、複数画像の比較などでは注意が必要である。

(4) ニューラルネットワークの学習課程で、ある領域での色彩値の分布や、座標値などを入力値として与えることで、品質区分の精度を向上できる可能性がある。

本研究の成果は、トンネル切羽観察や岩盤斜面の風化度評価などへも応用が可能である。今後は、フィールドでの調査を積み重ね、本手法の適用範囲や拡張性を検討する所存である

参考文献

- 1) 満下淳二 他：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 他：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) 辜彬 他：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.
- 4) 安西拓一郎：認識と学習，岩波講座ソフトウェア科学，vol. 13, 1989.



図-5 撮影された切羽の画像

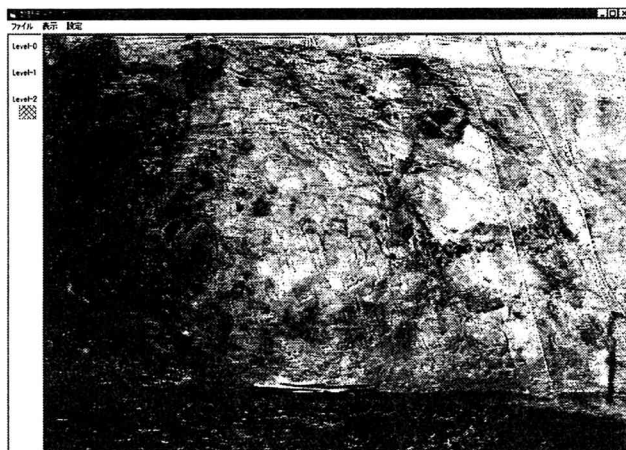


図-6 ニューラルネットワークによる品質区分の例



図-7 L^* 値の分布（濃淡表現）