

山岳トンネル切羽の風化変質判定システムの開発 —切羽観察での適用例—

鹿島建設（株） 正会員 ○戸邊勇人，宮嶋保幸，山本拓治，白松久茂，岩村武史，中村祐
国土交通省延岡河川国道事務所 岩熊真一

1. はじめに

山岳トンネル工事において安全かつ合理的な施工を行うためには、地質状況の把握が不可欠である。特に掘削時に切羽前方の地質弱部を事前に把握することは、崩落や変状の発生を防止するために重要であり、これまで様々な探査手法の開発が行われてきた。それとともに、品質の高いトンネルを構築するためには、地質状況に応じた適切な支保パターンを選定することが重要であり、そのためには、これまで以上に高い精度と迅速性をもって切羽の地質状況を評価することが必要である。これらの技術的要請から、筆者らは、切羽の地質評価を支援するためのツールの一つとして『風化変質判定システム』を開発した。

2. 切羽観察による地山評価と風化変質評価

切羽観察では、『硬さ』『風化変質程度』『割れ目の間隔・状態・向き』などの項目を目視によって判定している。そのため、観察結果は、観察者の相違などの影響を受けやすく、特に『風化変質』の項目は、数値化しにくいことから、誤差を生じやすい性質を有していた。

岩盤の風化変質過程には、物理的風化と化学的風化の二つの作用が挙げられる。このうち、物理的風化は、岩盤中の微小亀裂の伸長や拡大に由来するため、点荷試験や打球探査などの試験により、現場で迅速かつ定量的に評価可能である。一方、化学的風化は、造岩鉱物からのイオンの溶脱と、残留物質による粘土鉱物の生成の過程を経る。そのため、化学的風化の程度を定量的に評価するためには、岩盤に含まれる粘土鉱物の含有量を測定する必要がある。粘土鉱物の含有量は、一般に、岩盤より試料を採取し、粉末化してX線回折分析により測定する。この分析法は、数日～一週間程度を要するため、迅速な支保パターンの選定に用いるには実用的でない。

そこで、本稿では、既存研究をもとに、化学的風化により粘土鉱物を生成した岩石の多くは、風化前と異なる色調を示す点に着目した¹⁾²⁾³⁾。岩石は、化学的風化により生成した粘土鉱物の色調や、酸化に伴う茶褐色化などの影響を受けるため、一般的に、同種の岩石であれば、同程度の化学的風化を示す部分は同様の色調を示す。このことから、切羽の色調を定量的に評価することにより、風化変質程度が定量化できると考えた。

3. 色調による風化変質の評価法

岩石の色調の測定には、光量などの周囲の影響を受けない分光測色計が適している。分光測色計で得られる結果は、明度 L^* 、赤度 a^* 、黄度 b^* の数値であるため、風化部分と未風化部分の色調が定量的に比較できる。 $L^*a^*b^*$ の表色系を図1に示す。

風化程度と色調変化を関連付けるためには、事前に施工箇所の強風化岩盤と未風化岩盤から試料を採取し、分光測色計によって色調を計測するとともに、X線回折分析によって測定された粘土鉱物の含有量に関連付ける。これにより、色調を基準とした、切羽の風化程度の評価が可能になる。

Mトンネルでの事例を図2及び写真1に示す。これによると、当トンネル周辺の地質では、化学的風化の進んだ部分が、高い $a^* \cdot b^*$ 値を示し、粘土鉱物の一種であるカオリナイトを多く含む。このことから、Mトンネルでは、 a^* 及び b^* 値の値を基準にして、切羽の化学的風化程度の評価ができると考えた。

キーワード 切羽観察，風化変質，色調変化，タブレット PC

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設株式会社 技術研究所 TEL 042-489-6596

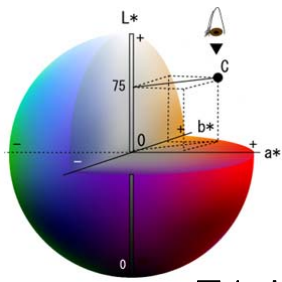


図1 L*a*b*表示系

(出典: ColorDreamNet の HP <http://www.colordream.net/>)

4. 風化変質判定システム

前述のように、分光測色計は、L*a*b*値の測定に最適だが、切羽への接近を要し危険なことから、測定範囲の狭小なことから(数cm四方)、切羽全体の風化程度を評価する目的には適していない。そのため、本システムは、デジタルカメラ内蔵のタブレット PC を用い、切羽から離れた位置での色調測定を可能にした。

本システムの処理は下記の順に行う：(1)切羽写真の撮影、(2)L*a*b*の測定・図化(風化変質度のコンター化)、(3)風化部の面積比算出、(4)切羽全体の風化変質度の判定。この処理で観察者に要求される操作は、タブレット PC を数回タップするだけである。また、出力結果は、数分で得られ、日常の切羽観察や岩判定委員会で活用可能である。

色調の正確な評価のためには、デジタルカメラの画像を L*a*b*値に変換する必要がある。このためには、既存の画像処理ソフトを用いる方法が簡単だが³⁾、煩雑な操作を要する。そこで本システムは、下記の式1～5に基づいた RGB→L*a*b*変換プログラムを作成し、処理を自動化することにより、現場での操作を軽減した。

$$r = R/255, g = G/255, b = B/255 \quad \dots \text{式 1}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3933 & 0.3651 & 0.1903 \\ 0.2133 & 0.7010 & 0.0858 \\ 0.0182 & 0.11170 & 0.9570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r^2 \\ g^2 \\ b^2 \end{bmatrix} \quad \dots \text{式 2}$$

$$L^* = 116 (y/100)^{-1/3} - 16 \quad \dots \text{式 3}$$

$$a^* = 500 \{ (x/95.045)^{-1/3} - (y/100)^{-1/3} \} \quad \dots \text{式 4}$$

$$b^* = 200 \{ (y/100)^{-1/3} - (z/108.892)^{-1/3} \} \quad \dots \text{式 5}$$

ここに、R,G,B:三原色の輝度(0~255);r,g,b:三原色の輝度(0~1);

x,y,z: 変換値; L*:明度 a*:赤度 b*:黄度

なお、デジタルカメラの画像は、撮影条件の相違により、同一の物体でも色調に差を生じることがある。そのため、切羽撮影時には既知の色見本を設置し、色調の補正を行った。

本システムは、こうして得られた L*a*b*値をもとに、風化の判定結果を自動的に出力する。この現場を例にすれば、a*b*値の大きさを基準にして風化程度を算出し、コンター図化するとともに(図3)、切羽に占める風化部分の面積比を算出し、切羽全体の風化程度を判定した。

【参考文献】

- 1)中嶋 悟：地球色変化 鉄とウランの地球化学，近未来社,292p,1994.
- 2)西山ら：風化による岩石物性変化の指標としての色彩測定法(予報)，日本応用地質学会中国四国支部平成 19 年度研究発表会発表論文集,p41-46,2007.
- 3)藤原ら：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，第 30 回岩盤力学に関するシンポジウム,5p,2000

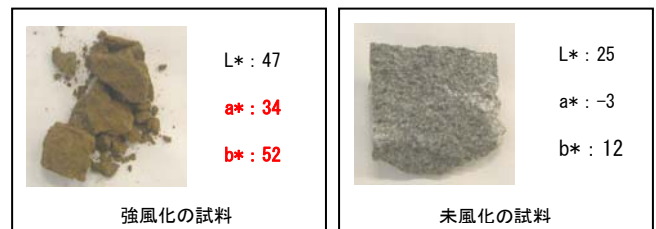


写真1 風化変質度の基準測定試料

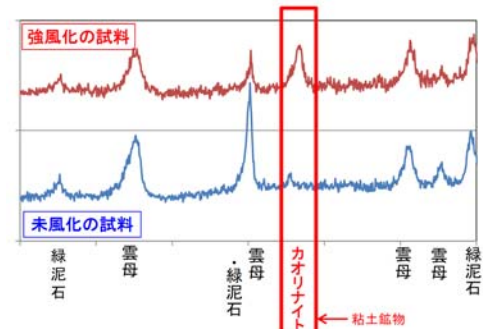


図2 X線回折による粘土鉱物の検出

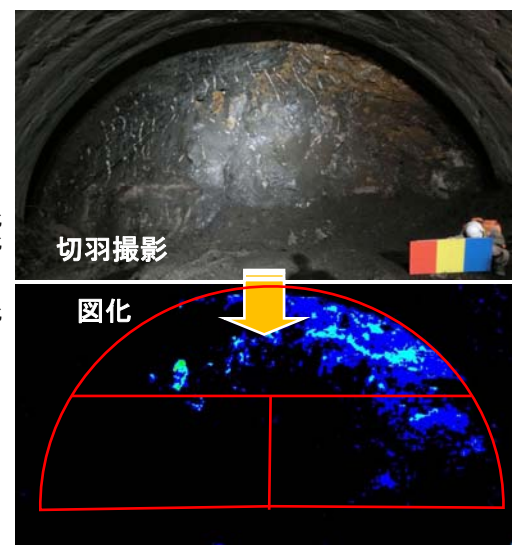


図3 風化変質判定システムの適用