

# 分光測色計を用いた地山定量評価の試み - 飛騨トンネルの熱水変質帯での事例 -

A Quantitative Study on Rock Classification Using a Spectrocolorimeter,  
-An Example of Hydrothermal Alteration Zone of the Hida Tunnel, Central Japan-

上野 光<sup>1</sup> 松原利之<sup>2</sup> 築地 功<sup>2</sup> 佐々木和人<sup>2</sup> 兼松 亮<sup>2</sup> 杉山裕子<sup>1</sup>  
Hikaru Ueno, Toshiyuki Matsubara, Isao Tsukiji, Kazuhito Sasaki, Kiyoshi Kanematsu, Yuko Sugiyama

【キーワード】 色 TBM 熱水変質 地山評価 トンネル 削孔データ 分光測色計

## 1. はじめに

飛騨トンネル避難坑工事はTBM(Tunnel Boring Machine)による施工を行っている。TBM施工では安全かつ効率的に施工するため、NATM工法にも増して切羽面前方の地質把握が重要であり、地質探査を目的としたボーリングを随時行っている。すべてのボーリングでコア採取を行うことは行程・経済的にも困難であり、主にノンコアパーカッションボーリングでの削孔データやそのスライムなどから地質状況を推定しているが、定量的な削孔データに比べ、肉眼によるボーリングスライム評価は、岩質・色・粒径など定性的で、削孔データと定量的に対比検討することが困難であった。

一方、色彩を定量的かつ客観的に表示する手法として分光器や測色器を用いた $L^* \cdot a^* \cdot b^*$ 表色系(注1)は現在最も産業界で用いられている。岩石の色彩はその鉱物組成に起因し、風化や熱水変質などの鉱物組成変化を解明する有効な手段である(中嶋, 1994 など)。しかし、土木地質分野で分光測色計を用いた研究例は少なく(竹内ほか, 1994; 満下ほか, 1998 など)、応用例は数例にすぎない。

本論では飛騨トンネル避難坑で行なわれた前方探査工のボーリングスライムを用いて、スライム色彩の定量評価を行い地質区分した上で、削孔データや湧水量と比較検討し、前方地山状況の定量的評価を試みた。

## 2. 色彩測定方法

測定試料はよく水洗いし、常温で風乾した。試料を5

~10cm径のアルミシャーレに入れ、試料厚さが1cm以上(試料下のアルミ製シャーレ底面反射光の影響を避けるため)となるようにした。測定にはMinolta社製の分光測色計CM-2600d(図-1)を用い、色彩は $L^* \cdot a^* \cdot b^*$ 表色系、測定径:8mm、D65光源を用いた。測定はシャーレの中心とその外周部4箇所(計5箇所)の平均を色彩測定値とした。風乾試料の色彩測定の後、表面を湿らせ再度測定を行った。



図-1 Minolta社製の分光測色計(CM-2600d)

従来の岩石色彩測定では、主にボーリングコア表面や岩石の破断面および割れ目を測定していた。一般に岩石の風化や熱水変質は割れ目に沿って進行し、徐々に岩石内部全体に進行する。そのためボーリングコアやトンネル切羽面の岩石表面を直接測定する従来の測定方法では色彩を計測する場所で計測値が大きく異なり、岩石の風化変質程度を判断することが困難な場合が多かった。それに対してボーリングスライムは風化や変質した割れ目を含んだ地山全体を破砕し平均化したものと考えられ、地山を平均的・定量的に評価することができる。分光測色計は携帯型で、現場では削孔直後のスライムをその場で色彩測定し、削孔データとの迅速な対比検討が可能である。

## 3. 色彩測定値による地質区分

ボーリング区間の地質は濃飛流紋岩類に属するガラス

1. 土木本部 土木設計部 設計第2課

2. 名古屋支店 道公天生作業所

質な熔結凝灰岩だが、珪化変質により乳白色～暗灰色と色彩が著しく変化し、切羽面ではそれらが混在する。

色彩測定値は  $a^*b^*$  の測定値変化が大きい湿潤状態を用い、それぞれを  $L^*b^*$  平面(図-2),  $a^*b^*$  平面(図-3),  $L^*a^*$  平面(図-4) にプロットし、これらの分布を用いて色彩による定量的な地質区分を試みた。

$L^*$  と  $b^*$  は良好な相関関係を示す(図-2)。 $L^*=37$  と  $b^*=7$  で A・B・C 型に3区分した。そして、それら3区

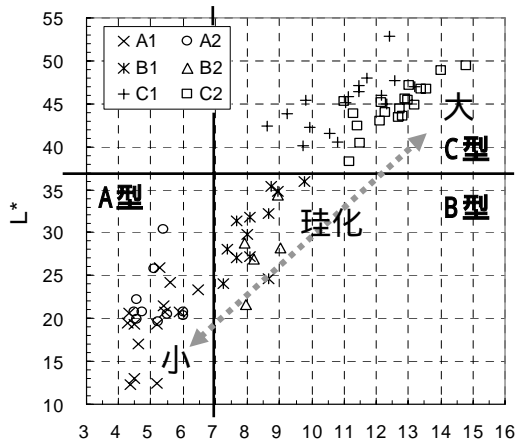


図-2  $L^*b^*$  平面での評価

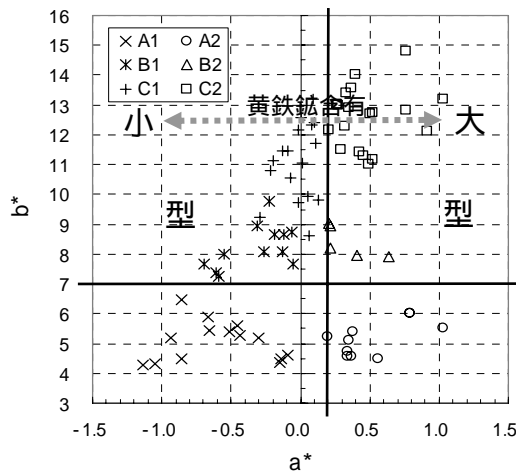


図-3  $a^*b^*$  平面での評価

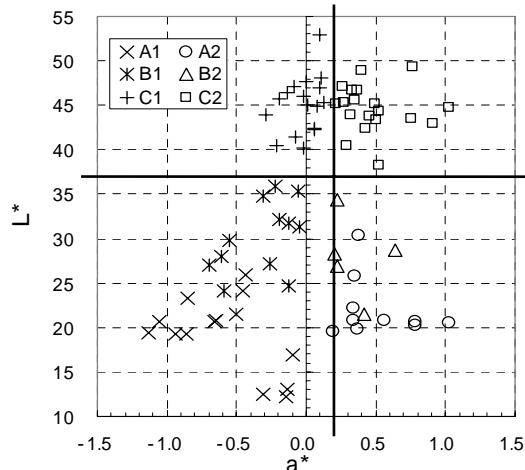


図-4  $L^*a^*$  平面での評価

分を  $a^*=0.2$  ( $a^*b^*$  平面: 図-3) で  $\cdot$  型とさらに細区分した。 $L^*a^*$  平面でも A・A, B・B, C・C は明瞭に区分される(図-4)。

肉眼での観察では、A 型: 暗灰色～黒色のスライム, B 型: A・C 型の混在型, C 型: 乳白色のスライムとなる。 $\cdot$  型の明確な細区分は困難だが、 $\cdot$  型では黄鉄鉱酸化による赤褐色変色が若干認められた。すなわち、A～C 型は珪化変質程度、 $\cdot$  型は黄鉄鉱含有量の変化を色彩として定量評価した結果と考えられる。

#### 4. 色彩・削孔データ・湧水量の深度分布

試料の色彩測定値, 削孔データ・湧水量の深度分布を図-5 に示す。

##### 4.1 色彩測定値: 図-5, 6, 7

同一試料の乾燥(D)・湿潤(W)状態の色彩測定値は異なるが、深度変化に伴う色彩変化傾向はほぼ同一である。今回の色彩測定では、スライムの形状・粒径・表面の乾湿などスライム状況にかかわらず、ほぼ同様の変化を示しており、表面状態や形状に関係なく色彩を定量評価することができたと判断できる。

グラフでは深度 15m と 37m 地点で大きな変化が認められる(図-5～7)。0～15m 区間, 15～37 区間は、変動があるが測定値はほぼ一定値を示す。37m 以深では  $L^*a^*b^*$  とともに + 方向への漸移的な変化を示している。前述の色彩区分を適応すれば、坑口より大まかに A, C, A, B, C 型に区分できる。

##### 4.2 削孔データ: 図-8, 9, 10

掘進速度の変化は著しいが(図-8), 40～55m, 84.5m 以深の区間ではほぼ一定の値を示す。給進力は 26m, 78.5m 付近に顕著なピーク, 29.0m と 36.5m に小さなピークが認められる(図-9)。一方、トルクは 27.5～29.0m, 59m, 65m, 72.5m 付近に顕著なピーク, 36.5m 付近に小さなピークがみられる(図-10)。

一般的に硬質な岩石では掘進速度の低下, 給進力の上昇がみられ、崩落性の地山ではトルク上昇がみられる。また、データのばらつきは地山性状のばらつきを表現していると考えられている。これに従えば、25～40m と 56～80m 区間は地山変化の著しい崩落性の地山, それ以外は多少の硬軟はあるが崩落の少ない比較的安定した地山と考えることができる。

### 4.3 湧水量

湧水量は深度 4m 地点より急激に増加し、45~74m 付近までほぼ一定となるが、74m 以深では徐々に上昇する。湧水量の変化から推定すれば、4~45m 区間と 74m 以深は湧水区間と推定される。

## 5. 地質予測

上述の色彩測定値、削孔・湧水データから各地山状況を以下のように推定した。

### (A 型)

珪化や黄鉄鉱を伴う熱水変質作用は少なく、削孔データも一定で掘削速度も小さい。硬質で亀裂や湧水の比較的少ない地山と推定される。

### (A 型)

珪化はあまり進んでいないが、黄鉄鉱を伴う熱水変質作用が進んでいる。削孔データ(掘削速度)にばらつきが大きく強度変化が著しい。多量の湧水を伴う亀裂の発達部を数m毎に挟在する。

### (C 型)

珪化変質が進んでいるが、黄鉄鉱を伴う熱水変質作用は少ない。削孔データのばらつきや掘削速度も小さい、硬質で比較的安定した地山と考えられる。亀裂密集部を滞在し、その区間では多量の湧水を伴う。

### (C 型)

珪化が進みや黄鉄鉱を多量に含む熱水変質作用が進行している。削孔データのばらつきが大きく地山強度変化が著しく、多量の湧水を伴う亀裂の発達した地山と推定した。色彩変化はないが、25~30m 区間はトルクが大きく崩落を伴う亀裂密集帯と推定される。

### (B 型)

A と C とは色彩変化は漸移的で、掘削データは著しいばらつきがみられトルク変動も大きい。A と B の中間的な地質であるが、亀裂の発達が著しい地山変化の激しい崩落性地山と推定される。湧水は比較的少ない。

## 6. 地山の定量評価

ノンコアボーリングによる、削孔データを用いた地山の力学的特性の把握は頻繁に行われており、施工実績や成果が従来から報告されてきた(山下ほか、2003 など)一方で、岩石の初生的性状を左右する化学的特性の定量

評価や施工への応用は従来ほとんど行われてこなかった。

最近、上野・太田(2003)は玄武岩類の風化作用、上野ほか(2003)は熱水変質作用による色彩変化を報告し、色彩による岩石の化学的・物理的・力学的特性の定量評価の可能性を示唆した。地質評価では力学的特性にも増して、風化や熱水変質などの化学的・物理的・力学的特性が重要な指標であり、本来の地質評価は両者を組み合わせた総合的評価でなければならない。また、特に岩石の力学的特性と化学的・物理的・力学的特性は完全に一致することは少ないことから、両者を補完することでより精度の高い地山の定量評価が期待できる。

## 7. おわりに

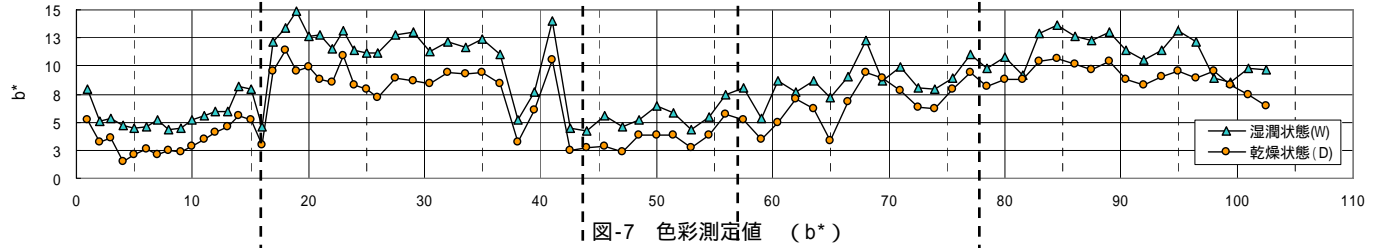
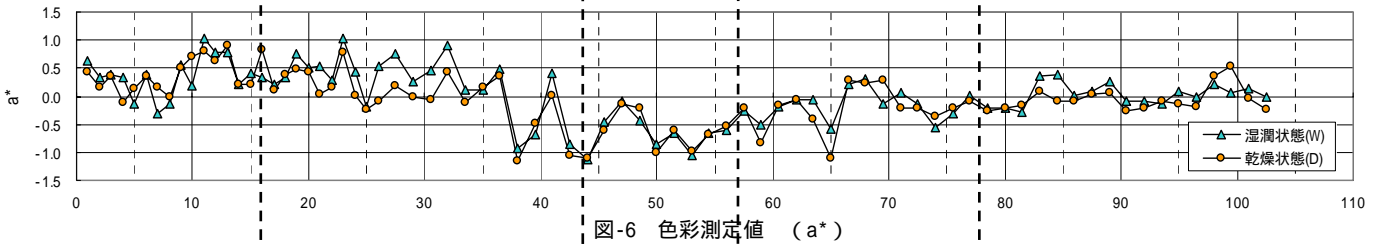
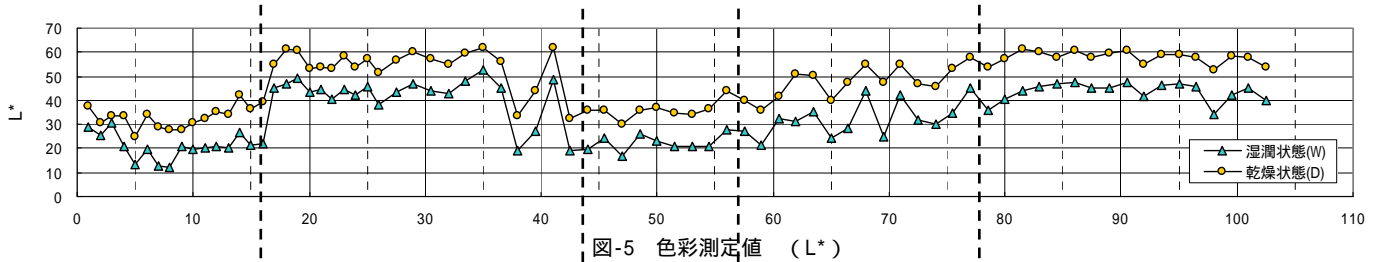
今回は色彩測定値を用いた地質評価を実験的に行った事例の報告であり、TBM施工実績との総合評価を行っていないなど課題も多い。今後はTBM施工での地山定量評価を確立すべく、引き続き研究を行っていくとともに、TBM施工実績(切羽状況やTBM掘進データなど)との対比検討による改良を加えていく予定である。

## 【参考文献】

- 1) 武内ほか(1994):岩石の色彩の数値化と地質工学への利用,第9回岩の力学シンポジウム講演論文集,527-532.
- 2) 満下ほか(1998):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,第38巻,6号,370-385.
- 3) 中嶋 悟(1994):地球色変化 鉄とウランの地球化学,近未来社,1-292.
- 4) 山下ほか(2003):穿孔探査システムによる支保パターン事前想定を試み,土木学会平成15年度全国大会第58回学術講演会講演要旨集
- 5) 上野 光・太田岳洋(2003):土木学会平成15年度全国大会第58回学術講演会講演要旨集
- 6) 上野・太田・中嶋(2003):日本応用地質学会平成15年度研究発表会講演論文集

(注1)

L\*a\*b\*表色系では、明度を L\*、色相と彩度を示す色度を a\*、b\* で表わす。a\*、b\* は、色の方向を示しており、a\* は赤方向、-a\* は緑方向、そして b\* は黄方向、-b\* は青方向を示す。数値が大きくなるに従って色あざやかになり、中心になるに従ってくすんだ色になる。



区分 (A 型) (C 型) (A 型) (B 型) (C 型)

